

DÉCHARGE DE LA PILA  
SUITE DES DEMARCHES EN RELATION AVEC  
LE PROJET D'ASSAINISSEMENT  
MESURES COMPLÉMENTAIRES  
VERSION 2

Fribourg, le 25 mai 2018  
FR2706.917.600

**CSD INGENIEURS SA**

Chantemerle 37 - Granges-Paccot

Case postale 384

CH-1701 Fribourg

t +41 26 460 74 74

f +41 26 460 74 79

e [fribourg@csd.ch](mailto:fribourg@csd.ch)

[www.csd.ch](http://www.csd.ch)



**TABLE DES MATIÈRES**

<b>1. INTRODUCTION</b>	<b>15</b>
1.1 Historique	15
1.2 Contexte et rappel des objectifs	16
1.3 État de référence et résultats présentés	18
1.3.1 État de référence	18
1.3.2 Résultats présentés	18
1.4 Périmètre d'étude	19
1.5 Références et intervenants	20
1.6 Crue artificielle de la Sarine	20
1.6.1 Planification et objectifs	20
1.6.2 Données de base	21
1.6.3 Compartiments analysés	23
<b>2. COMPARTIMENTS ANALYSÉS DANS LA SARINE</b>	<b>24</b>
2.1 Sédiments	24
2.1.1 Historique et objectifs	24
2.1.2 Méthodes d'échantillonnage et d'analyse	26
2.1.3 Résultats et interprétation	28
2.1.3.1 Fraction < 2mm	28
2.1.3.2 Fraction > 2mm	32
2.1.3.3 Lien PCB et COT	35
2.1.3.4 Relevés géométriques liés à la crue	37
2.1.4 Sommaire et conclusions	40
2.2 Matières en suspension	40
2.2.1 Historique et objectif	40
2.2.2 Méthodes d'échantillonnage et d'analyse	41
2.2.3 Résultats et interprétation	43
2.2.3.1 En temps normal	43
2.2.3.2 En temps de crue	47
2.3 Eau	49
2.3.1 Historique et objectif	49
2.3.2 Méthodes d'échantillonnage et d'analyse	51
2.3.3 Résultats et interprétation	52
2.3.3.1 En temps normal	52
2.3.3.2 En temps de crue	54
2.3.3.3 Facteur de bioconcentration	55
2.4 Gammares	56
2.4.1 Historique et objectifs	56
2.4.2 Méthodes d'échantillonnage et d'analyse	57
2.4.3 Résultats et interprétation	59
2.5 Poissons	62

2.5.1	Historique et objectifs	62
2.5.2	Méthodes d'échantillonnage et d'analyse	64
2.5.3	Résultats et interprétation	66
2.5.3.1	PCB dans la chair	66
2.5.3.2	Contenus stomacaux	68
2.5.3.3	Âge, longueur et poids	71
2.5.3.4	Lipides	73
2.5.4	Sommaire et conclusions	75
<b>3.</b>	<b>COMPARTIMENTS ANALYSÉS SUR LA DÉCHARGE</b>	<b>76</b>
3.1	Décharge – érosion	76
3.1.1	Historique et objectif	76
3.1.2	Méthodes d'échantillonnage et d'analyse	77
3.1.3	Résultats et interprétation	80
3.2	Décharge – glissements de terrain	83
3.2.1	Historique et objectif	83
3.2.2	Méthodes d'échantillonnage et d'analyse	85
3.2.3	Résultats et interprétation	87
3.3	Eaux souterraines	88
3.3.1	Historique et objectif	88
3.3.2	Méthodes d'échantillonnage et d'analyse	90
3.3.2.1	Évaluation de l'influence de la méthode de purge et d'échantillonnage sur la turbidité	90
3.3.2.2	Méthodes de préparation de l'échantillon d'eau souterraine et analyse	91
3.3.2.3	État de pollution des eaux souterraines sur l'ensemble du site	92
3.3.2.4	Suivi de la crue artificielle du 14-15 septembre 2016	93
3.3.3	Résultats et interprétation	95
3.3.3.1	Comparaison de concentrations d'analyses ponctuelles avec des concentrations déduites de capteurs passifs	95
3.3.3.2	État de pollution des eaux souterraines sur l'ensemble du site	96
3.3.3.3	Suivi de la crue artificielle	98
<b>4.</b>	<b>STOCK ET FLUX DE PCB DANS LA SARINE</b>	<b>102</b>
4.1	Contexte et objectifs	102
4.2	Stock de PCB dans le lit de la Sarine	102
4.3	Flux de PCB dissous	105
4.4	Flux de PCB dans les matières en suspension	109
4.5	Synthèse et interprétation	111
4.5.1	Schéma des stocks et flux Sarine 2016	111
4.5.2	Temps nécessaire à l'évacuation du stock de PCB du lit de la Sarine, secteur Pila-Gérine	113
<b>5.</b>	<b>STOCK DE PCB PRÉSENT DANS LA DÉCHARGE ET FLUX DE PCB DE LA DÉCHARGE VERS LA SARINE</b>	<b>115</b>
5.1	Contexte et objectifs	115
5.2	Stock de PCB présent dans la décharge	116
5.3	Flux de PCB depuis les eaux souterraines vers la Sarine	117

5.3.1	Flux de PCB en situation normale pour les états de référence 0 et 2016	118
5.3.2	Comparaison entre une semaine normale et la crue 2016	119
5.3.3	Flux de PCB sous forme particulaire	119
5.4	Flux de PCB par érosion des talus de la décharge vers la Sarine	120
5.5	Flux de PCB à partir de glissements de terrain dans la Sarine	121
5.5.1	Calcul du flux	121
5.5.2	Évaluation de l'impact du flux solide provenant d'un glissement sur les sédiments	124
5.6	Hiérarchisation des flux en provenance de la décharge	127
5.6.1	Synthèse des flux en provenance de la décharge	127
5.6.2	Importance relative des différents flux	129
<b>6.</b>	<b>INFLUENCE DE LA DÉCHARGE SUR LA SARINE ET CONTAMINATION SUBSÉQUENTE DE LA TRUITE</b>	<b>132</b>
6.1	Contexte et objectifs	132
6.2	Importance relative des stocks et des flux dans la décharge et la Sarine	133
6.2.1	Etat 0	134
6.2.2	Etat 2016	134
6.2.3	Synthèse	135
6.3	Contamination de la truite par le PCB solide	135
6.3.1	Mécanismes possibles et modèle conceptuel	135
6.3.2	Proposition de valeurs seuils	137
6.3.3	Respect (ou non-respect) des valeurs seuils pour chaque type de flux	137
6.3.3.1	Etat 0	139
6.3.3.2	Etat 2016	140
6.4	Contamination de la truite par le PCB dissous	140
6.4.1	Plausibilité d'une contamination par le passé	140
6.4.2	Proposition de valeurs seuils	142
6.4.3	Condition du respect des valeurs seuils	142
6.4.3.1	Etat 0	144
6.4.3.2	Etat 2016	145
6.5	Synthèse et conclusions	145
<b>7.</b>	<b>IMPORTANCE ET RÉPARTITION SPATIALE DES FLUX PROVENANT DE LA DÉCHARGE</b>	<b>147</b>
7.1	Bases légales déterminantes	147
7.1.1	Flux de PCB sous forme solide :	147
7.1.2	Flux de PCB sous forme dissoute	147
7.2	Relargage de la décharge : Répartition spatiale des flux	148
7.2.1	Etat 0	148
7.2.2	Etat 2016	149
7.2.3	Hiérarchisation des flux en fonction des secteurs de la décharge	151
7.3	Concentrations des émissions depuis la décharge	152
7.3.1	Concentration des différents flux de PCB	152
7.4	Évolution dans l'espace et dans le temps des flux de la décharge et des concentrations dans le système Sarine	153

7.4.1	Etat 2016	153
7.4.1.1	Évolution des teneurs en PCB dans les sédiments avec un flux érosion.	153
7.4.1.2	Évolution des teneurs en PCB dissous (et particulaire) dans les eaux de la Sarine	154
7.4.2	Etat 0	155
7.4.2.1	Évolution des teneurs en PCB dans les sédiments avec un flux glissement à partir de la décharge	155
7.4.2.2	Évolution des teneurs en PCB dans les sédiments avec un flux érosion à partir de la décharge	156
7.4.2.3	Évolution des flux et teneurs en PCB dissous dans les eaux de la Sarine avec un flux d'eaux souterraines à partir de la décharge	157
7.5	Hierarchisation des effets et de l'importance des flux en fonction des secteurs de la décharge	157
<b>8.</b>	<b>CONSÉQUENCES DES RÉSULTATS DES MESURES COMPLÉMENTAIRES SUR LES VARIANTES D'ASSAINISSEMENT</b>	<b>158</b>
8.1	Rappel des objectifs des mesures complémentaires	158
8.2	Scénario A : suppression du flux PCB sous forme solide lié au glissement et à l'érosion	160
8.2.1	Compartiments concernés	160
8.2.2	Conséquences du scénario	162
8.2.3	Évaluation du scénario sous l'angle de la suppression des flux	162
8.3	Scénario B : suppression des matériaux produisant un flux et des concentrations en PCB déterminants à partir de la décharge	163
8.3.1	Compartiments concernés	163
8.3.2	Évaluation du scénario sous l'angle de la suppression des flux	165
8.4	Scénario C : suppression de la totalité des matériaux contaminés par les PCB	166
8.4.1	Compartiments concernés	166
8.4.2	Évaluation du scénario sous l'angle de la suppression des flux	168
8.5	Comparaison des scénarios en termes de flux supprimés	169
8.5.1	Synthèse des caractéristiques des scénarios	169
8.5.2	Influence des scénarios sur les flux de la décharge, comparaison avec le scénario sans assainissement	170
<b>9.</b>	<b>SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS</b>	<b>175</b>
<b>10.</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>177</b>

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2-1	Calculs des différences de volumes pour les bancs d'alluvions relevés par le géomètre (avant/après crue artificielle)	39
Tableau 2-2	Concentrations en PCB et en COT dans les MES « en temps normal » (gris) versus « en temps de crue » (rouge)	48
Tableau 2-3	Estimations de concentrations en PCB dans les truites de la Sarine à partir des concentrations en PCB dissous mesurées et d'un facteur de bioconcentration de 100'000	55
Tableau 2-4	Nombre de truites pêchées en 2016, regroupées par secteur et par longueur	65

Tableau 2-5	Quatre truites associées à un poids est relativement faible (< 200 g), une concentration en PCB relativement élevée (> 6 pg/g) et la présence de trichoptères à fourreaux dans l'estomac	73
Tableau 3-1	Résultats d'analyse des échantillons par réceptacle à érosion et mois de prélèvement	80
Tableau 3-2	Écart entre le résultat d'analyse et le blanc du laboratoire	92
Tableau 3-3	Comparaison des résultats d'analyse des laboratoires Wessling et Empa en fonction des limites de quantification	93
Tableau 3-4	Synthèse de teneurs de matière filtrables, ammonium, chlorure de vinyle et $\sum$ 6 PCB 4.3 de la campagne d'aout 2016. En jaune : dépassement de la valeur de concentration selon annexe 1 OSites. En rouge : dépassement de 10 x la valeur de concentration selon annexe 1 OSites. Les emplacements correspondants sont illustrés en Annexe 3.3.2-3	96
Tableau 3-5	Concentrations en PCB dissous (ligne supérieure). Analyses EMPA. n.a. non analysé. La ligne inférieure, en couleur, indique le facteur de dépassement du blanc selon la classification indiquée au chap. 3.2.2.	98
Tableau 3-6	Concentrations PCB de la fraction particulaire (ligne supérieure). La ligne inférieure, en couleur, indique le facteur de dépassement du blanc selon la classification indiquée au chap. 3.2.2	99
Tableau 4-1	Stocks moyens (MOY), minimums (MIN) et maximums (MAX) en kilos de PCB dans le lit de la Sarine	104
Tableau 4-2	Flux PCB dissous en temps normal (concentrations corrigées) et en temps de crue	107
Tableau 4-3	Flux PCB dissous à l'Amont et à l'Aval de la décharge entre 2010 et 2016.	108
Tableau 4-4	Flux de PCB associés aux MES sur 3 points dans la Sarine en 2016, en temps normal et en temps de crue	110
Tableau 4-5	Différences des flux de PCB particulaire (MES) et dissous entre l'Amont et l'Aval de la décharge, utilisés pour estimer le temps d'évacuation du stock de PCB présent dans le tronçon Pila-Gérine	113
Tableau 4-6	Calcul du temps de vidange nécessaire à l'évacuation du stock PCB présent dans les sédiments du secteur Pila-Gérine	114
Tableau 5-1	Volumes et masses de PCB présents dans la décharge	116
Tableau 5-2	Volumes et masses de PCB présents dans la zone haute de la décharge	116
Tableau 5-3	Volumes et masses PCB présents dans la zone basse de la décharge	116
Tableau 5-4	Répartition des volumes et des masses PCB entre la zone haute et la zone basse	117
Tableau 5-5	Flux sortant de PCB. Comparaison entre une « semaine normale » et une « semaine de turbinage continu ».	118
Tableau 5-6	Flux de PCB. Comparaison entre période normale et crue. *Zone basse correspond à la somme des segments segF61, segPB et segF27.	119
Tableau 5-7	Flux annuels de matière et de PCB par érosion (état 0 sans palplanches)	120
Tableau 5-8	Synthèse des flux annuels de PCB par érosion	121
Tableau 5-9	Comparaison entre la masse volumique des fractions < 2 mm et > 2 mm dans les matériaux déstabilisés et de masse PCB par fraction.	123

Tableau 5-10	Flux annuel de PCB sous forme solide et dissoute suite à un glissement de matériaux contenant 11.86 kg de PCB.	123
Tableau 5-11	Flux PCB sous forme solide et dissoute depuis la décharge vers la Sarine. ** en temps normal et en temps de crue	127
Tableau 5.5-12	Synthèse des flux à l'état 0	129
Tableau 5.5-13	Synthèse des flux à l'état 2016	129
Tableau 6-1	Valeurs seuils sédiment déterminées par l'approche BSAF	137
Tableau 6-2	Masses de PCB nécessaires pour faire passer la concentration en PCB de 0 aux seuils sédiments dans le secteur Pila-Gérine	137
Tableau 6-3	Simulation d'une bioconcentration eau → truite à partir des valeurs de concentrations en PCB dissous mesurées dans le passé (2010-2015) et en 2016	141
Tableau 6-4	Valeurs seuils eau (Concentration estimée dans l'eau) déterminée sur la base d'un facteur de bioconcentration eau → truite de 100'000	142
Tableau 6-5	Flux de PCB dissous nécessaires pour faire passer l'eau de la Sarine de 0 ng/L aux seuils eau	142
Tableau 8.1	Effets des 3 scénarios	169

## LISTE DES FIGURES

Figure 1-1	Plan de situation du périmètre d'étude (entouré en orange)	19
Figure 1-2	Débit mensuel maximal mesuré à la station hydrométrique Sarine Fribourg entre 1950 et juin 2016	21
Figure 1-3	Débit en fonction du temps sur toute l'année 2016 (haut), en Mai-Juin 2016 (milieu) et en septembre 2016 (bas)	22
Figure 2-1	Sites de prélèvement des sédiments de 2010 à 2016	24
Figure 2-2	Concentrations en PCB dans les sédiments bruts non-tamisés à l'aval de la Pila en 2010, 2014, 2015 et 2016.	25
Figure 2-3	Situation des bancs d'alluvions relevés par le géomètre avant et après la crue artificielle (désignés « MNT » sur la carte) et des sites échantillonnés (désignés S ou C sur la carte) après la crue	28
Figure 2-4	Concentrations en PCB dans les sédiments de surface 0-15 cm, fraction < 2 mm	29
Figure 2-5	Concentration en PCB dans la fraction < 2 mm, par secteur. Deux valeurs extrêmes (1.498 mg/kg pour le site S#16 et 3.419 pour le site C#3) n'apparaissent pas dans le graphique, puisque l'axe Y a été coupé à 0.8 mg/kg.	30
Figure 2-6	Concentrations en PCB dans les sédiments prélevés par carottage cryogénique, L'axe des X est sur une échelle log.	32
Figure 2-7	Illustrations de morceaux d'aspect métalliques observés dans les sédiments pendant l'échantillonnage (gauche) et au laboratoire après tamisage (droite).	33
Figure 2-8	Concentrations en PCB dans les fractions < et > 2 mm, par secteur. Les valeurs associées au site S#16 (1.498 mg/kg sur < 2 mm et 12.896 mg/kg sur > 2 mm) ne sont pas affichées car pour des raisons de lisibilité du graphique. L'axe des Y a été coupé à 1.00 mg/kg.	34

Figure 2-9	Illustrations de condensateurs retrouvés sur le lit de la Sarine en 2016	35
Figure 2-10	Faible corrélation mise en évidence entre le PCB et le COT mesurés dans les sédiments de surface (0-15 cm) fraction < 2 mm sur les secteurs Pila-Gérine (haut) ainsi que Gérine-Lac et Lac Pérolles (bas)	36
Figure 2-11	Variation de concentration en PCB et en COT avant et après la crue artificielle de septembre	37
Figure 2-12	Situation du banc d'alluvions MNT7 (extrait) relevés par le géomètre (avant/après crue artificielle)	38
Figure 2-13	Situation d'une carotte cryogénique constituant l'échantillon C#3 (avant crue)	38
Figure 2-14	Situation des boîtes MES et types d'installation pour le suivi mensuel « en temps normal »	42
Figure 2-15	Évolution temporelle des concentrations en PCB dans les MES des boîtes entre Juin et Décembre 2016. La valeur Passerelle Avril 2017 (0.4 mg/kg) n'est pas affichée car l'axe des Y est coupé à 0.140 mg/kg.	44
Figure 2-16	Précipitations mesurées à proximité de la décharge (Fribourg-Posieux) mesurées chaque 10 minutes, entre avril 2016 et avril 2017. Mise en évidence (rouge) de la période du 10.05.2016 au 22.06.2016.	45
Figure 2-17	Température de l'eau de la Sarine à la station Passerelle, mesurée en continu entre mai 2016 et avril 2017. Mise en évidence (couleur rouge) des périodes Septembre 2016 (19.08-16-13.09.16), Octobre 2016 (13.09.16-18.10.16) et Avril 2017 (04.03.17– 08.04.17)	46
Figure 2-18	Faible corrélation mise en évidence entre le PCB et le COT mesuré dans les MES « en temps normal » en incluant toutes les valeurs (haut) et en excluant la valeur d'Avril 2017 (bas).	47
Figure 2-19	Concentration en PCB dans les MES « en temps normal » versus « pendant la crue » (rouge et orange)	48
Figure 2-20	Évolution temporelle des concentrations en PCB dissous (moyennes annuelles) déterminées à partir des capteurs passifs entre 2010 et 2016. Les concentrations Pila mesurées en 2010 et en 2013 (non-illustrées) sont égales à 565 et 19 ng/L respectivement. La barre d'erreur est l'écart type de la moyenne annuelle. Toutes les concentrations sont calculées sans correction, en assumant un taux de collecte unique et constant de 18 L/jour. Les détails de calculs ng/kg PDMS → ng/L se trouvent en Annexe 2.3.3.1 - 2 PCB dissous Conversion des unités.	49
Figure 2-21	Schéma illustrant la période d'exposition des capteurs passifs (en bleu), les mesures préliminaires à l'assainissement de la Pila (en rouge) et les événements de débits élevés dans la Sarine (en violet)	50
Figure 2-22	Capteurs passifs – carte des sites d'échantillonnage standards (en violet) et complémentaires (en rouge)	51
Figure 2-23	Concentration en PCB dissous mesurées sur 11 sites en novembre 2015, mai 2016, août 2016 et novembre 2016	53
Figure 2-24	Concentrations moyennes en PCB dissous sur 11 sites en 2016, pour les campagnes de Mai, Août et Novembre	53
Figure 2-25	Concentration en PCB dissous mesurées « en temps normal » avec les capteurs passifs versus « pendant la crue » sur des échantillons ponctuels. La valeur maximale (22.75 ng/L) mesurée au Lac de Pérolles n'est pas indiquée sur la figure, puisque l'axe des y est coupé à 7 ng/g.	55

Figure 2-26	Concentration en PCB mesurées dans les gammares entre août 2010 et octobre 2016, sur 2 sites. La concentration en Août 2010 (59.8 pg/g) au site Aval n'est pas affichée puisque l'axe des Y est coupé à 10 pg/g.	56
Figure 2-27	Sites de prélèvement des gammares	58
Figure 2-28	Concentration en PCB mesurée dans les gammares en 2016, sur 5 sites	59
Figure 2-29	Comparaison des concentrations en PCB mesurées dans les gammares et dans les sédiments < 2 mm, sur 5 sites	60
Figure 2-30	Mise en parallèle des paramètres « concentrations en PCB dans les gammares » et « température de l'eau de la Sarine »	61
Figure 2-31	Mise en relation entre la concentration en PCB et la teneur en lipides mesurées dans les gammares	61
Figure 2-32	Historique des concentrations en PCB mesurées dans les truites de la Sarine entre 2007 et 2016, sur trois tronçons	63
Figure 2-33	Mise en évidence des points d'échantillonnage (points jaunes) associés aux truites les plus contaminées, pêchées en 2010	63
Figure 2-34	Concentrations en PCB dans les truites pêchées en 2016, regroupées en trois classes de couleur	67
Figure 2-35	Concentration en PCB dans la chair des truites en 2016, par secteur.	68
Figure 2-36	Diagramme circulaire représentant les proportions moyennes de proies de la truite retrouvées dans les estomacs	69
Figure 2-37	Répartition des proies principales sur les différents tronçons	69
Figure 2-38	Photos illustrant des morceaux de déchets en contact avec des gammares (1), des éphéméroptères (2) et des trichoptères à fourreaux (3)	70
Figure 2-39	Exemple de contenu stomacal, avec des trichoptères portant leurs fourreaux encore entiers (à gauche)	71
Figure 2-40	Relations logarithmiques entre l'âge de la truite, son poids et sa longueur (A-B). Relations linéaires entre la concentration en PCB mesurée dans la chair de la truite, son poids et sa longueur (C-D).	72
Figure 2-41	Teneurs en lipides mises en parallèle avec l'âge moyen des truites, sur 3 tronçons	74
Figure 2-42	Tentative de corrélation entre la teneur en lipides et la concentration en PCB mesurés dans les truites	74
Figure 3-1	Talus hot-spot avec concentrations en PCB de près de 1000 ppm et mini paroi berlinoise au-dessus de la falaise	76
Figure 3-2	Illustration des réceptacles à érosion : mise en œuvre (à gauche) et échantillonnage de septembre (à droite)	78
Figure 3-3	Situation des réceptacles à érosion (points verts)	79
Figure 3-4	Réceptacles érosion E1 et E2 : quantités prélevées et concentrations en PCB de juin 2016 à avril 2017	81
Figure 3-5	Exemple de petit condensateur retrouvé dans le réceptacle E3	82
Figure 3-6	Photo aérienne de 1968 (swisstopo sous <a href="https://map.geo.admin.ch">https://map.geo.admin.ch</a> )	84
Figure 3-7	Glissement à la hauteur de Châtillon, 2002	84
Figure 3-8	Glissement zone « Hot spot » (photos de 2008)	85

Figure 3-9	Érosion des berges de la Pila après la crue de 2005 (crue centennale)	85
Figure 3-10	Talus déstabilisés sur la zone haute de la décharge pour une crue centennale.	86
Figure 3-11	Coupe schématique d'un glissement de terrain	87
Figure 3-12	Comparaison des teneurs PCB dissoutes et particulaire des 3 piézomètres test.	90
Figure 3-13	Limites de quantification pour le PCB dissous des laboratoires Empa et Wessling	92
Figure 3-14	Évolution des niveaux piézométriques en F3 et F27- 08 ; périodes d'échantillonnage durant et après la crue	94
Figure 3-15	Comparaison entre les valeurs déduites des capteurs passifs et les mesures ponctuelles en période de crue	95
Figure 3-16	Différence entre les concentrations en PCB de 2008 et 2016	97
Figure 3-17	Concentration des particules [ng/l] dans les eaux souterraines. Comparaison entre les concentrations analysées lors de la campagne du mois d'août et les concentrations dans les échantillons prélevés lors de la crue.	100
Figure 3-18	Comparaison des concentrations en PCB dissous et particulaire durant la crue	101
Figure 4-1	Schéma représentant les étapes principales de calcul du stock PCB présent dans le lit de la Sarine (sédiments et déchets)	103
Figure 4-2	Stocks de de PCB présents dans le lit de la Sarine par couche, fraction et secteur de cours d'eau	103
Figure 4-3	Stock de PCB sur le lit de la Sarine par secteur, toutes couches et fractions confondues. Les barres bleues se réfèrent aux valeurs moyennes du Tableau 4-1. Les barres oranges se réfèrent à des calculs omettant des couches peu polluées en PCB, supposées indépendantes des influences de la décharge.	105
Figure 4-4	Schéma résumant les étapes principales de calcul des flux de PCB dissous dans la Sarine	105
Figure 4-5	Flux de PCB dissous transitant sur 5 points dans la Sarine en 2016 en temps normal, à partir des mesures de capteurs passifs et des concentrations corrigées	106
Figure 4-6	Flux dissous de PCB transitant sur 5 points dans la Sarine en 2016, en temps normal et en temps de crue	107
Figure 4-7	Flux PCB dissous à l'Amont et à l'Aval de la décharge entre 2010 et 2016	108
Figure 4-8	Schéma illustrant les principales étapes de calcul pour les flux de PCB associés aux MES	109
Figure 4-9	Flux de PCB associés aux MES sur 3 points dans la Sarine en 2016, en temps normal et en temps de crue	110
Figure 4-10	Schéma des stocks et flux transitant dans la Sarine A) en temps normal et B) pendant la crue artificielle La largeur des flèches est à l'échelle de la taille des flux qu'elles représentent.	112
Figure 5-1	Coupe schématique d'un glissement de terrain	122
Figure 5-2	Modèle n° 1 : évolution stock PCB dans la couche sédimentaire de 0-15 cm avec un apport annuel constant en PCB	125
Figure 5-3	Modèle n° 2 : évolution stock PCB dans la couche sédimentaire de 0-15 cm avec un apport annuel aléatoire en PCB	125
Figure 5-4	Modèle n° 3 : évolution stock PCB dans la couche sédimentaire de 0-15 cm avec un apport annuel aléatoire en PCB identique au modèle n° 2 mais avec une perte du	

	stock PCB dans les sédiments « enfouis en profondeur » en fonction des crues de temps de retour observés sur la Sarine entre 1968 et 2017.	126
Figure 5-5-5	Modèle n° 4 : évolution du stock PCB dans la couche sédimentaire 0-15 cm pour les 3 secteurs Pila-Gérine, Gérine-Lac et Lac.	127
Figure 5-6	Synthèse et comparaison des ordres de grandeur des flux à l'état 0	130
Figure 5-5-7	Graphique sommaire des flux à l'état 2016.	131
Figure 6-1	Comparaison des stocks et flux dans la Sarine, versus de la décharge vers la Sarine. Il est à noter que le stock PCB présent dans la décharge correspond à l'estimation de 2008, c'est-à-dire 20 t. La largeur des flèches est à l'échelle de la taille des flux qu'elles représentent.	133
Figure 6-2	Modèle conceptuel de la contamination de la faune benthique (proies principales de la truite)	136
Figure 6-3	Etat 0. Comparaison d'un apport sur une année par érosion et glissement avec le stock PCB dans les sédiments (couche 0-15 cm) à l'état 2016 et les seuils « sédiment » pour poisson (6.5 et 25 pg/g TEQ05)	139
Figure 6-4	Etat 2016. Comparaison d'un apport sur une année par érosion et glissement avec le stock PCB dans les sédiments (couche 0-15 cm) à l'état 2016 et les seuils « sédiment » pour poisson (6.5 et 25 pg/g TEQ05)	139
Figure 6-5	Comparaison des flux PCB dissous à l'état zéro, échelle Y logarithmique	143
Figure 6-6	Comparaison des flux PCB dissous à l'état 2016, échelle Y logarithmique	144
Figure 6-7	Schéma conceptuel des influences de la décharge du point de vue de la contamination de la truite à l'Etat 0 (haut) et à à Etat 2016 (bas)	146
Figure 7-1	Etat 0 : Contribution de la zone haute et basse aux flux de PCB sous forme dissoute et solide. La taille des flèches reflète l'importance du flux.	148
Figure 7-2	Etat 2016 : Contribution de la zone haute et basse aux flux sous forme dissoute et solide. La taille des flèches reflète l'importance du flux	150
Figure 7-3	Hiérarchisation des flux par zone de la décharge.	151
Figure 7-4	Etat 0 : concentrations dans les flux provenant de la décharge sous forme dissoute et solide	152
Figure 7-5	Évolution du stock PCB dans les sédiments du secteur Pila-Gérine (couche entre 0-15 cm) en appliquant le modèle 3 selon chap. 5.5.2, Figure 5-4	153
Figure 7-6	Présentation schématique de l'impact des crues sur les teneurs en PCB dissous dans les eaux de la Sarine.	154
Figure 7-7	Évolution des concentrations PCB sous forme solide dans les sédiments du secteur Pila-Gérine (couche entre 0-15 cm) en appliquant le modèle 3 selon chap.5.5.1,	156
Figure 7-8	Hiérarchie des effets et de l'importance des flux, comparaison entre zone haute et basse	158
Figure 8-1	Secteurs produisant un flux PCB sous forme solide	160
Figure 8-2	Profils n° 03 et 04 (répartition spatiale des classes de contamination par le PCB, extrait de [26])	161
Figure 8-3	Suppression de tous les flux de la zone haute et du flux PCB sous forme solide de la zone basse	163
Figure 8-4	Suppression de tous les flux PCB	166

Figure 8-5	Lixiviat virtuel : détermination de Lixiviat virtuel de 1 µg/l	167
Figure 8-6	A gauche : Scénario d'une contamination résiduelle dans les alluvions de la zone inondable inférieure au seuil poisson de 6.5 pg/g TEQ05 et le solde à une concentration inférieure à la teneur maximale susceptible de produire un lixiviat < 1 µg/l. A droite : Scénario respectant une concentration inférieure à la teneur maximale susceptible de produire un lixiviat < 1 µg/l par recouvrement / enrochement des zones inondables.	168
Figure 8-7	Influence des scénarios sur les flux PCB provenant de la décharge et les améliorations sur le stock PCB dans les sédiments du secteur le plus impacté par la décharge (dans le secteur Pila Gérine) par rapport à un scénario sans mesures d'assainissement.	171
Figure 8-8	Influence des scénarios sur les concentrations en PCB (Somme 6 PCB en [ng/g] dans la truite du secteur le plus impacté par la décharge (entre décharge et barrage Maigrauge) par rapport à un scénario sans mesures d'assainissement.	172
Figure 8-9	Influence des scénarios sur les flux PCB dissous provenant de la décharge et les améliorations sur les flux PCB dissous des eaux de la Sarine et des eaux souterraines s'exfiltrant. Effets pour le secteur le plus impacté par la décharge (secteur Pila-Gérine) par rapport à un scénario sans mesures d'assainissement.	173
Figure 8-10	Influence des scénarios sur les concentrations PCB dissous dans les eaux souterraines s'exfiltrant dans la Sarine. Comparaison avec la valeur de concentration pour les PCB selon annexe 1 OSites.	174

## PRÉAMBULE

CSD confirme par la présente avoir exécuté son mandat avec la diligence requise. Les résultats et conclusions sont basés sur l'état actuel des connaissances tel qu'exposé dans le rapport et ont été obtenus conformément aux règles reconnues de la branche.

CSD se fonde sur les prémisses que :

- le mandant ou les tiers désignés par lui ont fourni des informations et des documents exacts et complets en vue de l'exécution du mandat,
- les résultats de son travail ne seront pas utilisés de manière partielle,
- sans avoir été réexaminés, les résultats de son travail ne seront pas utilisés pour un but autre que celui convenu ou pour un autre objet ni transposés à des circonstances modifiées.

Dans la mesure où ces conditions ne seraient pas remplies, CSD déclinera toute responsabilité envers le mandant pour les dommages qui pourraient en résulter.

Si un tiers utilise les résultats du travail ou s'il fonde des décisions sur ceux-ci, CSD décline toute responsabilité pour les dommages directs et indirects qui pourraient en résulter.

## 1. Introduction

### 1.1 Historique

Le lieu-dit la Pila, situé sur la commune de Hauterive, au Sud-Ouest de la ville de Fribourg, a été utilisé par cette dernière comme décharge d'ordures ménagères entre 1952 et 1975. Des déchets industriels (notamment des condensateurs imprégnés par des PCB) ont également été entreposés sur ce site.

Les premières investigations sur ce site ont débuté à la suite d'une demande déposée par un député du Conseil général de la Ville de Fribourg le 16 décembre 2003. Les questions posées, qui portaient sur le type de déchets déposés dans cette ancienne décharge, sur leur dangerosité et sur les mesures d'assainissement possibles, ont conduit la Ville de Fribourg à engager l'étude de ce site pollué, selon la procédure en étapes prévue par l'Ordonnance fédérale sur les sites contaminés (OSites).

L'investigation préalable, concrétisée par les rapports d'investigation historique (CSD/ 7.09.2004) et d'investigation technique (CSD/ 27.01.2005), a permis de conclure à la nécessité d'assainir ce site. L'investigation détaillée, réalisée en deux étapes (campagne de 2006 et rapport CSD/ 09.03.2007 puis campagne 2008 et rapport CSD/ 15.12.2008), a mis en évidence l'ampleur de la pollution du site, notamment par des PCB. Ces résultats ont conduit au printemps 2007 à un contrôle de l'état de la contamination de la faune piscicole dans la Sarine et à la mise en place de mesures physiques pour limiter l'accès au site (Décision préfectorale du 11 décembre 2007).

Les teneurs en PCB de type dioxine trop élevées trouvées dans la chair des poissons ont abouti le 29 août 2007 (par ordonnance du Conseil d'Etat) à une interdiction de la pêche dans la Sarine entre les barrages de Rossens et de Schiffenen. Le 2 octobre 2007 le Conseil d'Etat a adopté un arrêté relatif à l'organisation de projet pour l'assainissement de l'ancienne décharge de la Pila.

La nécessité d'assainir l'ancienne décharge de la Pila a été confirmée par le Service de l'environnement dans ses déterminations du 26 janvier 2009 et du 3 mars 2010 sur la base de l'investigation détaillée de l'ensemble du site (CSD, 15.12.2008) et des études et investigations menées en 2009.

Des mesures de réduction des flux de polluants en direction de la Sarine ont été proposées en tant que mesures prioritaires dans le cadre de l'Investigation détaillée de l'ensemble du site (CSD 15.12.2008). Dans sa détermination du 26 janvier 2009, le SEn a demandé que soient étudiées et réalisées des mesures intermédiaires visant à limiter l'exportation de polluants en parallèle à l'établissement d'un projet d'assainissement au sens de l'art. 17 OSites.

L'investigation détaillée réalisée sur le site de La Pila a permis de mettre en évidence la présence d'une zone instable dans la partie aval du hot-spot de la décharge, à partir de laquelle des exportations immédiates et importantes de polluants pourraient avoir lieu.

Cette situation a conduit à proposer la réalisation de mesures rapides dans cette partie de la décharge (voir rapport CSD d'investigation détaillée de l'ensemble du site du 15 décembre 2008). Dans sa détermination du 26 janvier 2009, le Service de l'Environnement (SEn) a demandé au consortium La Pila d'entreprendre des mesures rapides à très court terme dans la zone instable à forte concentration de PCB. Une détermination décrivant les premières mesures possibles a été soumise au SEn le 13 février 2009. Des travaux effectués en été 2009 ont permis d'extraire un volume de 324 m<sup>3</sup> de matériaux fortement contaminés par les PCB : au total 1,2 tonnes de PCB ont été évacuées dans le cadre de ces travaux.

À l'issue des investigations complémentaires réalisées en 2009 (Modélisation géostatistique de la décharge de la Pila, Kidova, avril 2009 ; Modélisation hydrogéologique numérique, CSD, 06.10.2009), les mesures préliminaires à l'assainissement ont fait l'objet d'une étude de variantes (CSD, 23.11.2009). Les mesures

retenues visent à agir sur les mécanismes prépondérants de diffusion de polluants dans la Sarine, en particulier:

- réduire les apports d'eau souterraine par l'amont,
- limiter des échanges avec la Sarine par des mesures de confinement ou d'isolation périphérique de la zone d'échange,
- pomper et traiter les eaux polluées se trouvant dans l'enceinte de confinement, de façon à en contrôler le niveau.

Dans sa détermination du 3 mars 2010, le Service de l'environnement a validé ce choix de mesures résultant de l'étude de variantes. À la demande des Autorités, seules des mesures utiles à l'assainissement général du site ont été retenues. Le projet des mesures préliminaires, intégrant l'étude de faisabilité des solutions techniques, a ensuite été élaboré (CSD, 15.11.2010) puis mis à l'enquête (CSD, 08.04.2011). Trois types de mesures ont été mises en place :

1. Interception du flux amont par des drains sub-horizontaux forés dans la molasse.
2. Confinement périphérique partiel de la zone haute de la décharge.
3. Pompage et traitement des eaux dans la zone confinée.

Un projet d'assainissement selon l'art. 17 OSites, a également été développé au cours de l'année 2010 et déposé en décembre de cette même année.

La Direction de l'aménagement, de l'Environnement et des constructions (DAEC) de l'État de Fribourg (Suisse) a confié en 2012 au BRGM et à l'IRSTEA une mission d'expertise des documents relatifs à la problématique de la décharge de la Pila.

Dans leur rapport de novembre 2012, les experts émettent une série de recommandations, notamment en relation avec le diagnostic des processus de transfert des contaminants au sein de la rivière et le lien entre l'extension de l'assainissement de la décharge et l'évolution de la contamination des poissons et des sédiments, qui ne faisaient pas partie du mandat des bureaux d'études à ce stade. Ces recommandations sont concrétisées dans un plan d'action qui, suite la remise à la DAEC en août 2014 des observations des parties sur ce projet et à la détermination du SEn du 2 avril 2015, ont abouti à la proposition mesures complémentaires remise aux autorités le 30 octobre 2015.

Dans leur détermination du 28 janvier 2016 et du 5 février 2016, le SEn et l'OFEV ont demandé des éclaircissements ou adaptations du programme d'études sur certains points déterminants. Ceux-ci ont été intégrés dans le cahier des charges du 8 avril 2016 (Annexe 1.3) pour la réalisation de mesures complémentaires.

Le SEn a remis sa détermination sur ce programme le 8 juillet 2016, dans le cadre de la demande d'allocation adressée à l'OFEV pour la réalisation de ces études qui font l'objet du présent rapport.

## 1.2 Contexte et rappel des objectifs

Le présent rapport s'inscrit dans la suite des démarches en lien avec l'établissement du projet d'assainissement de l'ancienne décharge de la Pila, avec pour objectif principal l'obtention de données complémentaires permettant d'analyser la possibilité de s'écarter des objectifs d'assainissement.

Les études se sont concentrées sur l'analyse des flux de polluants à partir de la décharge et sur la recherche et l'interprétation d'informations additionnelles sur l'état de la Sarine permettant de répondre aux questions suivantes :

- Un assainissement partiel de la décharge permet-il d'atteindre à terme dans la Sarine un effet suffisant en termes de qualité des sédiments et de contamination consécutive des poissons ?
- Si oui, pour quelles variantes d'assainissement ? et à quels coûts ?

La proposition détaillée dans le présent rapport fait suite à la remise à la DAEC en août 2014 des observations des parties sur le projet de plan d'action et répond à la détermination du Service de l'environnement (SEn) du 2 avril 2015 qui détaille les objectifs des mesures complémentaires et énumère les questions auxquelles ces mesures complémentaires devront permettre de répondre en relation avec :

- La décharge et les flux de polluants émis en fonction des variantes d'assainissement,
- Le traitement des matériaux excavés du site dans le cadre de l'assainissement,
- Les mesures complémentaires sur la Sarine (sédiments et faune).

Le rapport fournit une synthèse des données disponibles portant sur les compartiments principalement visés par les mesures complémentaires, à savoir : sédiments, eaux, faune benthique et poissons. L'état actuel des connaissances sur les flux de polluants s'écoulant de la décharge dans la Sarine et sur le comportement des PCB dans la Sarine est également présenté.

Les objectifs des mesures complémentaires sont détaillés dans la note du SEn du 2 avril 2015 ; il s'agit en particulier :

1. D'évaluer pour chaque variante d'assainissement (excavation complète, partielle, confinement, mesures in-situ) :
  - a. L'influence des mesures d'assainissement sur les émissions de la décharge (concentrations et charges, formes sous lesquelles les polluants sont émis).
  - b. Les améliorations attendues au niveau de la Sarine (par rapport à un scénario sans mesures d'assainissement), en distinguant les différents compartiments de la rivière (sédiments, eaux, faune benthique, poissons...).
  - c. Le coût des mesures d'assainissement.
2. Cela signifie que pour chaque variante d'assainissement il faudra pouvoir :
  - a. Démontrer la diminution attendue des concentrations en PCB dans les sédiments superficiels et les eaux à proximité de la décharge.
  - b. Évaluer l'évolution de la concentration en PCB dans les sédiments, les eaux et les poissons en fonction du temps dans le tronçon de rivière le plus impacté (entre le site de la Pila et le barrage de la Maigrauge).
3. Pour atteindre les objectifs précisés plus haut, les mesures complémentaires devront permettre de répondre aux questions suivantes :
  - a. Quel est le stock actuel de PCB présent dans les sédiments (entre le site de la Pila et le barrage de la Maigrauge) ?
  - b. Quel est le mode de transfert des PCB entre les différents compartiments (eau, sédiments, poissons) ? Et de ce fait, quelle sera l'évolution prévisible de la contamination des poissons selon les variantes d'assainissement de la décharge ?

## 1.3 État de référence et résultats présentés

### 1.3.1 État de référence

L'**État 0** est l'état de référence du système décharge-Sarine à partir duquel seront évaluées les différentes variantes d'assainissement.

L'état 0 de pollution du cours d'eau est fixé d'entente avec les autorités à l'état de pollution relevé dans le cadre des études complémentaires réalisées durant l'année 2016. Les données obtenues dans le cadre de cette étude fournissent les informations exhaustives et représentatives en termes de répartition spatiale afin de constituer la référence pour un suivi temporel rigoureux des effets de l'assainissement de la décharge.

L'état 0 de la décharge sans assainissement constitue l'état de référence du site non assaini auquel les variantes d'assainissement de la décharge vont être comparées. Cet état a été défini comme étant **l'état actuel du site, sans pompage ni palplanches**.

La reconstitution d'un état antérieur à la réalisation des mesures préliminaires à l'assainissement n'est abordée que dans le but de comprendre le contexte actuel et son évolution, c'est-à-dire ce qui a conduit à la contamination de la rivière mesurée dans le passé et plus récemment dans les poissons.

### 1.3.2 Résultats présentés

Le présent rapport présente et détaille les principaux éléments suivants :

1. Situation de la pollution dans le cours d'eau, état 2016 :
2. Stock de PCB présent dans les sédiments
3. Flux de PCB sous forme dissoute et solide provenant des compartiments eaux souterraines, rivière, érosion et glissement à partir de la décharge. Les modes de transfert des PCB entre les différents compartiments : eau, sédiments, faune benthique et poisson, sont également analysés.
4. Évolution des concentrations, des stocks et des flux en PCB dans et vers les compartiments sédiments, eaux, faune benthique et poissons en fonction du temps dans le périmètre d'étude et ceci pour 2 états de référence distincts :
  - a. Etat 2016 : compte tenu des mesures préalables à l'assainissement réalisées (évacuation des matériaux du glissement et des berges, réduction des exfiltrations des eaux souterraines par pompage, captage du flux amont et mise en place de palplanches, suppression des vecteurs de dissémination de matériaux solides par les palplanches). Cet état représente la situation actuelle dans laquelle les flux de polluants s'écoulant de la décharge sont presque entièrement coupés.
  - b. Etat 0 = scénario sans mesures d'assainissement : L'état 0 correspond à l'état 2016, sans tenir compte des installations mise en place (réduction des exfiltrations des eaux souterraines par pompage, captage du flux amont et mise en place de palplanches, suppression des vecteurs de dissémination de matériaux solides par les palplanches (cf. chap. État de référence).
5. Développement de valeurs cibles pour les compartiments les plus susceptibles d'influencer la contamination du poisson : sédiments et eaux, sur la base des seuils réglementaires de consommation (6.5 et 25 pg/g TEQ05) de PCB dans la chair du poisson.

6. Hiérarchisation des flux en fonction de leur importance par rapport à la contamination des poissons: étude des effets à court et à long terme sur le système cours d'eau. Comparaison entre les états 2016 et 0.
7. Répartition spatiale du relargage de PCB depuis la décharge sous forme solide et dissoute: hiérarchisation des secteurs de la décharge en fonction de l'importance du relargage et de leur effet sur le cours d'eau et les poissons.
8. Détermination des secteurs de la décharge / compartiments sur lesquels agir prioritairement afin d'éliminer les atteintes ou les dangers concrets d'apparition de telles atteintes qui sont à l'origine de l'atteinte au cours d'eau.

Le présent rapport ne traite pas du thème « Traitement des matériaux ». Ce sujet est traité, conformément à la détermination du SEn du 8 juillet 2016, dans l'étude des variantes d'assainissement qui constitue la suite logique de la présente étude.

## 1.4 Périmètre d'étude

En accord avec la prise de position du SEn du 2 avril 2015, le périmètre d'étude comprend :

1. Le lit de la Sarine entre le pont Hauterive (amont de la décharge de la Pila) et le barrage de la Maigrage situé en vieille Ville de Fribourg. Longueur : env. 9'500 m
2. Le périmètre de la décharge La Pila.

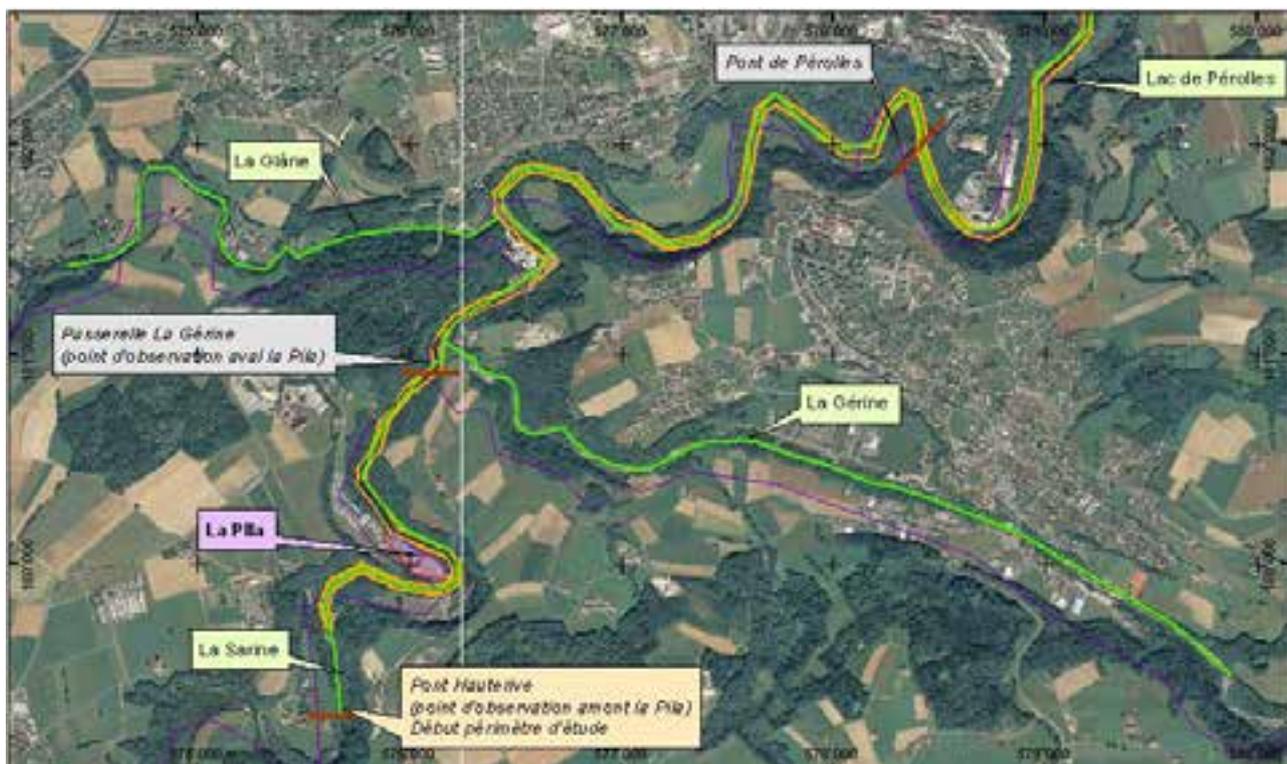


Figure 1-1 Plan de situation du périmètre d'étude (entouré en orange)

## 1.5 Références et intervenants

Les prélèvements, analyses et interprétations réalisées pour la rédaction du présent rapport touchent différents domaines faisant aujourd'hui l'objet de recherches scientifiques : en particulier, les méthodes de prélèvement et d'évaluation de la qualité des sédiments des rivières ou les recherches relatives à la mise en relation entre concentration en polluants dans les sédiments et concentration consécutive dans la chair des poissons.

Divers spécialistes et experts ont été consultés dans la cadre de l'élaboration de ces études et de ce rapport :

- Dr. Benoît Ferrari et Dr. Carmen Casado-Martinez du Centre Ecotox (Ecotox Eawag-EPFL), qui est le centre d'écotoxicologie appliquée de la Suisse et représente une importante passerelle entre la recherche et la pratique, ont été consultés pour les questions liées aux méthodes de prélèvement des sédiments ainsi qu'aux calculs de bioaccumulation sédiment - poisson.
- M. Markus Zennegg de l'EMPA, un institut de recherche du domaine des EPF, a été consulté pour les aspects méthodologiques liés aux mesures des PCB dissous, plus particulièrement l'utilisation de capteurs passifs et l'interprétation des résultats qui y est associée.
- Dr. Christian Bogdal du groupe *Safety and Environmental Technology* de l'ETH Zurich, qui travaille sur les mécanismes et modèles de transport et de déposition des composés organiques persistants dans l'atmosphère et les sédiments lacustres, a été consulté pour les estimations de stocks et flux PCB dans la Sarine.

Ces spécialistes ont contribué à la mise au point des différentes méthodologies de prélèvements et de calcul, ainsi qu'à l'interprétation de résultats. Ils ont également lu et commenté les chapitres 2, 4 (Annexes 4) et 6 (Annexes 6) du présent rapport.

Le bureau PRONAT, avec lequel nous collaborons dans la cadre du projet de la Pila pour le monitoring de la Sarine, a également été impliqué.

Une abondante bibliographie, notamment mise à disposition par les experts et les autorités, a également été consultée et prise en considération pour l'analyse et l'interprétation des données. Les références utilisées figurent dans la section « Bibliographie » à la fin du présent rapport, de même qu'à la fin de certaines Annexes particulièrement l'Annexe 6.3.2 – *Détermination de seuils sédiment et eau*.

## 1.6 Crue artificielle de la Sarine

### 1.6.1 Planification et objectifs

Le régime hydraulique de la Sarine, fortement modifié depuis la construction du barrage de Rossens en 1948, favorise la prolifération d'algues vertes et le colmatage du lit de la rivière qui entravent à leur tour la reproduction des poissons et des invertébrés. La dynamique alluviale est également perturbée en raison de l'absence de charriage, d'un renouvellement insuffisant des habitats et d'un manque de rajeunissement de la végétation riveraine.

Afin de redynamiser le lit de la Petite Sarine entre le barrage de Rossens et la centrale de Hauterive, Groupe e a planifié et réalisé une crue artificielle entre le 14 et le 15 septembre 2016. Les vannes du barrage de Rossens ont ainsi permis le lâcher de 255 m<sup>3</sup>/s d'eau pendant trois heures et 210 m<sup>3</sup>/s durant les trois heures suivantes, soit jusqu'à 100 fois plus que le débit de dotation habituel.

Cette crue artificielle avait pour objectif principal l'arrachage des algues et la mise en mouvement du gravier dans le lit de la rivière ainsi que l'amélioration des sites de reproduction et des habitats piscicoles.

L'opportunité de cette crue a été saisie pour obtenir des informations et données complémentaires dans le cadre des mesures complémentaires, en particulier pour ce qui concerne l'étude de la dynamique du transport des sédiments et des matières en suspension, ainsi que pour mesurer l'effet d'une crue sur la zone basse de la décharge, non confinée.

## 1.6.2 Données de base

La figure suivante montre le débit mensuel maximal mesuré à la station hydrométrique Sarine Fribourg<sup>1</sup> entre janvier 1950 et juin 2016, avec les temps de retour (Q2, Q10, Q30, Q100) estimés. Les données ont été fournies par le département hydrologie de l'OFEV. Avec un débit maximal d'environ 255 m<sup>3</sup>/s et d'après l'historique affiché ci-dessous, la crue de septembre 2016 n'est donc pas un événement extrêmement exceptionnel (temps de retour entre 2 et 10 ans).

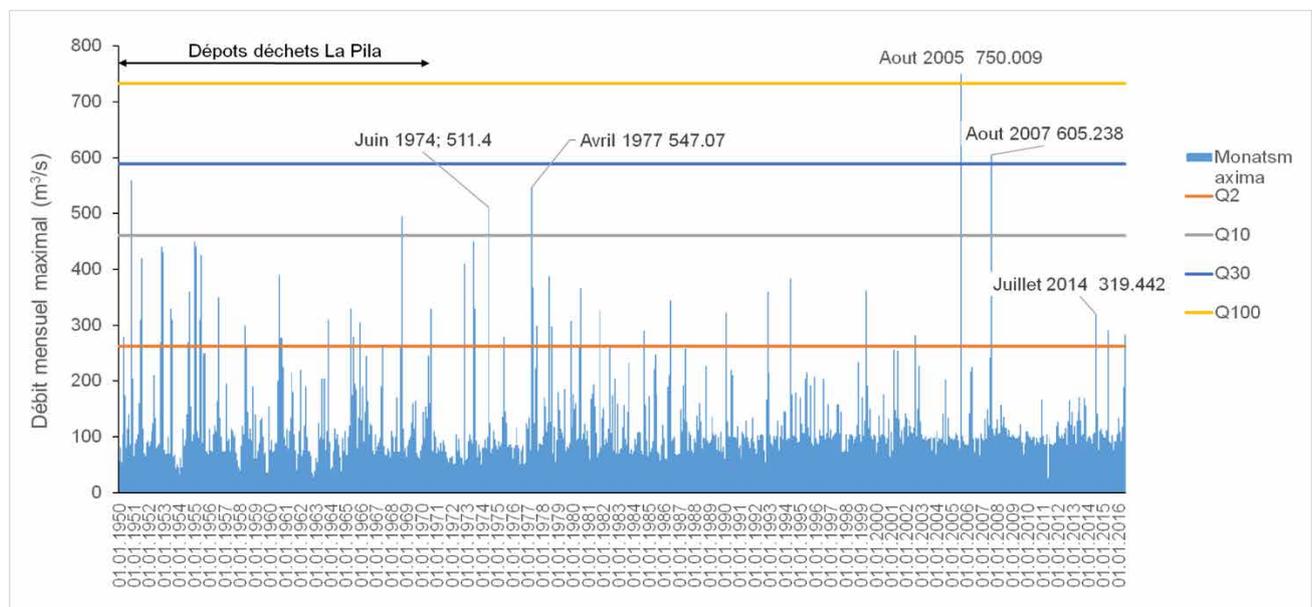


Figure 1-2 Débit mensuel maximal mesuré à la station hydrométrique Sarine Fribourg entre 1950 et juin 2016

Des crues récentes comme celles survenues en août 2005 (750 m<sup>3</sup>/s) et en août 2007 (605 m<sup>3</sup>/s), ainsi que des crues moins récentes par exemple en juin 1974 (511 m<sup>3</sup>/s) et en avril 1977 (547 m<sup>3</sup>/s), ont toutes des temps de retour plus élevés que la crue artificielle de septembre 2016. La figure ci-dessous montre que, suite au dépôt de déchets sur la décharge de la Pila, la Sarine a été affectée par plusieurs crues de plus grande importance que la crue artificielle de septembre 2016.

Pour l'année 2016, les données de débits (présentées avec un pas de temps d'une heure) à l'Amont de la Pila (dotation + déversement au barrage de Rossens) et à l'Aval de la Pila (dotation + déversement au barrage de Rossens + turbinage à la centrale Hauterive) mises à disposition par Groupe E sont présentées ci-dessous.

<sup>1</sup> <https://www.hydrodaten.admin.ch/fr/2119.html>

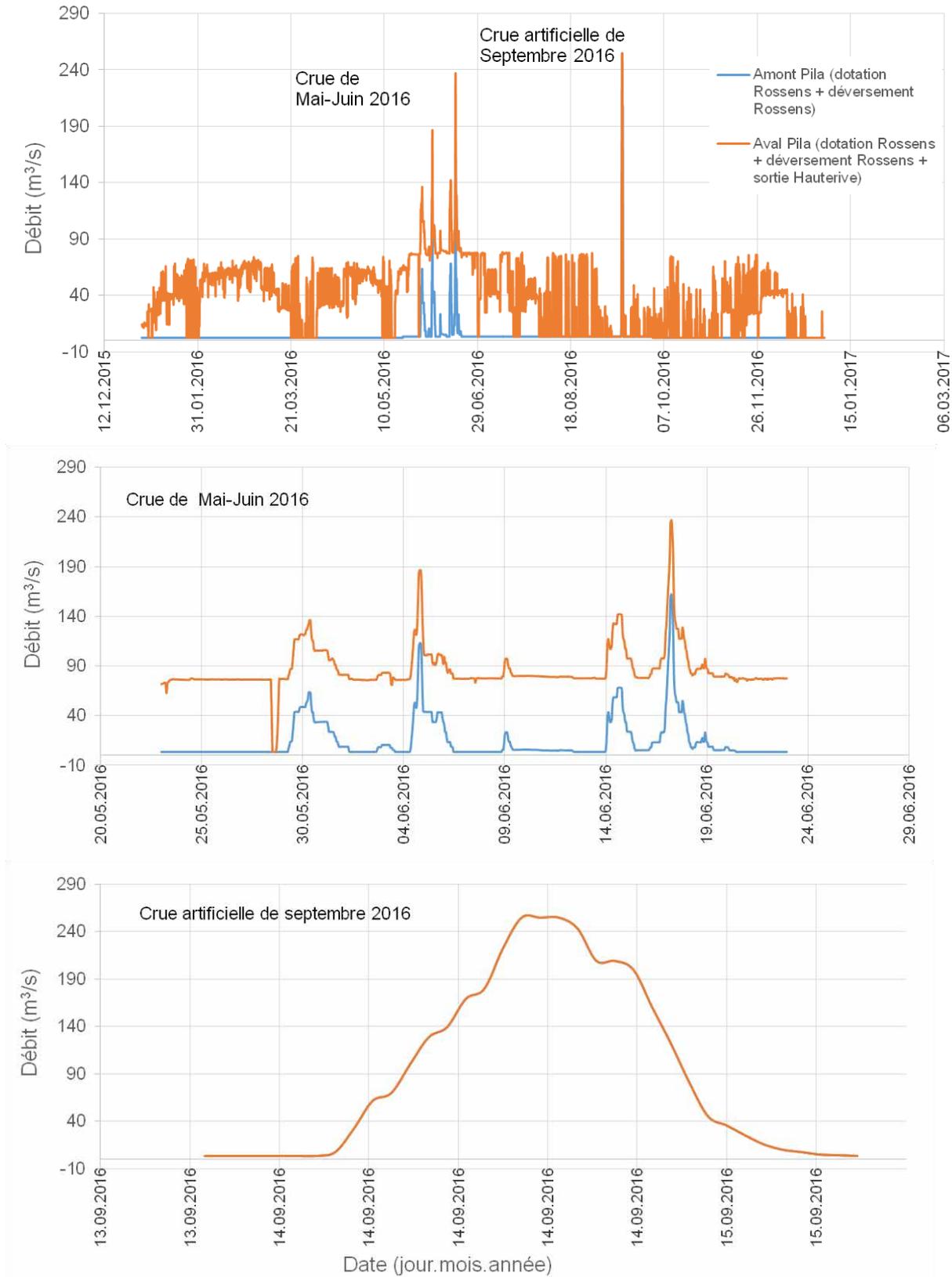


Figure 1-3 Débit en fonction du temps sur toute l'année 2016 (haut), en Mai-Juin 2016 (milieu) et en septembre 2016 (bas)

La crue artificielle de septembre 2016 est caractérisée par une perturbation majeure du tronçon Amont, c'est-à-dire entre le barrage de Rossens et l'Amont de la Pila. Généralement, le débit sur ce tronçon avoisine  $3 \text{ m}^3/\text{s}$ , ce qui correspond au débit de dotation au barrage de Rossens. Pendant la crue de septembre 2016, les débits enregistrés atteignent jusqu'à  $> 255 \text{ m}^3/\text{s}$  (Figure 1-3, bas). L'eau étant déversée depuis le barrage de Rossens et aucun turbinage n'ayant été effectué à la centrale Hauterive, les débits Amont et Aval Pila sont égaux pendant la crue artificielle.

Le seul autre moment de l'année 2016 où les débits dépassent  $3 \text{ m}^3/\text{s}$  sur le tronçon Amont se situe dans la période de Mai-Juin (Figure 1-3, milieu). Ces débits ne dépassent cependant pas  $150 \text{ m}^3/\text{s}$  à l'Amont et demeurent inférieurs à ceux enregistrés à l'Aval (jusqu'à environ  $240 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

### 1.6.3 Compartiments analysés

Le suivi et le monitoring de la crue artificielle des 14 et 15 septembre 2016 a permis l'étude dynamique des compartiments suivants :

- Sédiments de la Sarine : des relevés géométriques des bancs de sédiments ainsi que des prélèvements d'échantillons ont été réalisés avant et après le passage de la crue. Les relevés et prélèvements effectués ainsi que les résultats obtenus sont présentés au Chapitre 2.1.
- Matières en suspension et eau de la Sarine : des échantillonnages ont été effectués pendant la crue sur trois stations toutes les trois heures, pour pouvoir en analyser la concentration en PCB et observer son évolution durant la crue. Les relevés et prélèvements effectués ainsi que les résultats obtenus sont présentés aux chapitres 2.2 et 2.3.
- Eaux souterraines sous la décharge de la Pila : un suivi de l'évolution des niveaux d'eau sous la zone basse de la décharge ainsi que des prélèvements ont permis d'analyser la dynamique du transport des PCB dans la nappe et les vecteurs principaux de la diffusion de ces polluants (forme dissoute et/ ou particulaire). Les relevés et prélèvements effectués ainsi que les résultats obtenus sont présentés au Chapitre 3.3.

## 2. Compartiments analysés dans la Sarine

### 2.1 Sédiments

#### 2.1.1 Historique et objectifs

Dès 2000, la présence de PCB a été mise en évidence dans les sédiments de la Sarine à proximité de la décharge de la Pila, dans des échantillons bruts c'est-à-dire sans tamisage préalable. Des analyses effectuées en parallèle en 2010 sur les fractions brute et tamisée (0.063 mm) ont permis de constater une concentration en PCB relativement élevée dans la fraction tamisée. Les analyses ont été toutefois poursuivies dans la fraction brute, étant donnée la présence de déchets fortement concentrés en PCB dans le secteur Pila-Gérine. En effet, des petits condensateurs ayant une concentration en PCB comprise entre 21'000 et 93'000 mg/kg (somme des 6 indicateurs x 4.3 ; 6i x 4.3) ont été observés entre 2013 et 2014 dans ce secteur. Leur quantité a été estimée entre 5 et 30 par 100 mètres linéaires de cours d'eau (rapport CSD du 08.04.2016, Annexe 1.3).

La figure ci-dessous illustre la position des sites ayant fait l'objet d'un monitoring entre 2010 et 2016 (annuel dès 2014) dans le secteur Pila-Gérine.

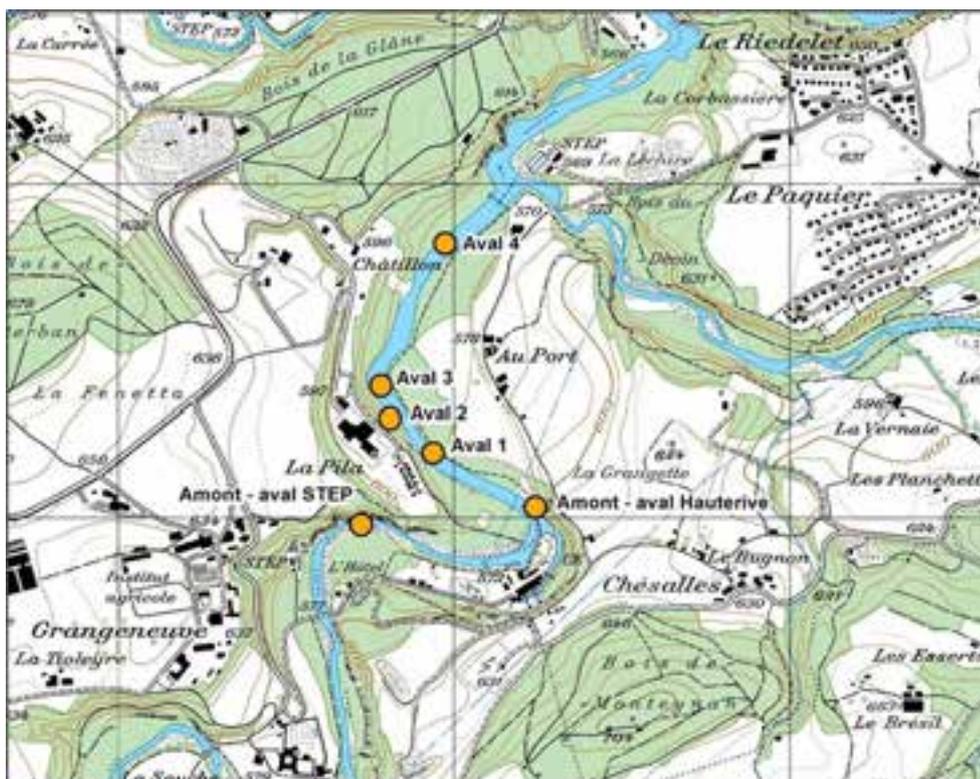


Figure 2-1 Sites de prélèvement des sédiments de 2010 à 2016

L'évolution temporelle des concentrations en PCB mesurées dans les sédiments bruts sur les sites à l'aval de la Pila (Aval 1 à 4) est illustrée à la figure suivante.

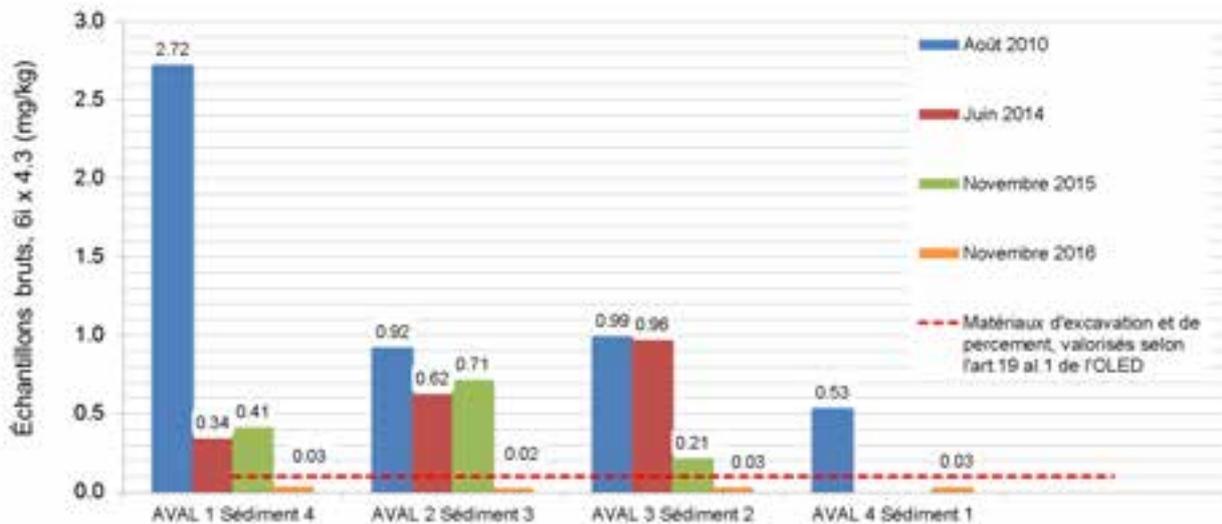


Figure 2-2 Concentrations en PCB dans les sédiments bruts non-tamisés à l'aval de la Pila en 2010, 2014, 2015 et 2016.

Une baisse de concentration a été observée entre 2010 et 2016, sur la majorité des sites. Cette diminution peut être attribuée à :

- L'excavation et l'évacuation de matériaux fortement pollués en PCB entre 2009 et 2013 dans un secteur en glissement et sur le bord de la décharge en contact avec la rivière. Au total, une quantité équivalente à environ 1.5 tonnes de PCB a été extraite de ces zones.
- La mise en place des mesures préliminaires à l'assainissement. Le confinement de la zone haute de la décharge, avec pompage et traitement des eaux dans la zone confinée, a permis de couper les apports de contaminants dans la Sarine à partir de ce secteur.

La chute des concentrations en PCB mesurée dans les échantillons de sédiments prélevés en novembre 2016 doit cependant être considérée avec prudence, puisqu'elle pourrait être liée aux apports de sables non-pollués issus de l'érosion du lit de la Sarine à l'amont suite à la crue artificielle de septembre.

Les concentrations mesurées entre 2010 et 2016 peuvent être comparées, à titre indicatif, à la limite de valorisation des matériaux d'excavation et de percement selon l'art.19 al.1 de l'OLED, qui est de 0.1 mg/kg. En 2015, des dépassements de cette limite OLED étaient encore observés aux sites Sédiment 4, 3 et 2.

Pour ce qui est du Lac de Pérolles, une carotte de sédiment d'une longueur totale de > 60 cm a été prélevée et découpée en plusieurs couches en 2009. Des concentrations en PCB inférieures à la limite OLED ont été analysées dans toutes les couches, exceptée l'une d'entre-elles située à environ 50 cm de profondeur sous l'interface eau-sédiment<sup>[1]</sup>. Entre 1999 et 2007 dans le Lac, une perte globale de volume de sédiments est constatée, sur la base des bathymétries effectuées par Groupe E. Cette perte de sédiment est due, du moins en partie, aux crues qui ont eu lieu entre 1999 et 2007<sup>[2]</sup>, dont la plus importante est celle d'août 2005 avec un débit maximal de 750 m<sup>3</sup>/s (voir chapitre Données de base).

En 2016, plusieurs questions de méthodologie et d'interprétation se posent. Comment échantillonner les sédiments de la Sarine, sur quelle(s) fraction(s) les PCB devraient-ils être analysés et quelles valeurs limites peuvent servir de point de comparaison? Jusqu'à quelle profondeur dans les sédiments les PCB sont-ils détectables et/ou problématiques? Comment une crue affecte-elle les PCB se trouvant dans les sédiments? Est-ce que la pollution des sédiments peut être liée à la contamination des truites et si oui, comment? Il est essentiel de répondre à ces questions afin d'atteindre les objectifs suivants:

- Établir un État 0 décrivant la situation actuelle de la Sarine, avant assainissement de la décharge. Plus particulièrement, évaluer systématiquement le niveau de pollution des secteurs Pila-Gérine, Gérine-Lac et Lac Pérolles avec une méthode (échantillonnage, tamisage) et des valeurs de référence (indicatives ou légales) fixes.
- Estimer un stock de PCB piégé dans les sédiments, lequel risque de contaminer la Sarine à long terme même après assainissement de la décharge. Plus précisément, évaluer le niveau de pollution des couches sédimentaires profondes.
- Évaluer l'influence d'une crue sur le stock de PCB dans le lit de la Sarine, en se basant sur l'analyse des concentrations en PCB avant et après une crue artificielle.
- Comprendre la ou les voies de contamination des poissons, dans un premier temps en testant un lien entre la concentration en PCB et la teneur en carbone organique total dans les sédiments.

## 2.1.2 Méthodes d'échantillonnage et d'analyse

L'échantillonnage et la caractérisation des sédiments sont basés sur le rapport CSD du 13.06.2016 figurant à l'Annexe 2.1.2. *Sédiments reconnaissances et essais*.

Les sédiments de surface (couche 0-15 cm) ont été échantillonnés avec une pelle (berges) ou en plongée (centre de la rivière, lac). Chaque échantillon est constitué de cinq à dix points de prélèvement sur une surface d'environ 10 m<sup>2</sup>. Dans le Lac de Pérolles, l'échantillonnage des sédiments de surface a principalement été effectué depuis un bateau (firme Stuwatec), par un ou deux plongeurs équipé(s) de plusieurs tubes en plexiglas et effectuant des allers-retours à la surface jusqu'à l'atteinte du poids voulu (5 kg minimum). À certains endroits peu profonds du Lac (environ 50 cm ou moins), les sédiments de surface ont été prélevés depuis une embarcation gonflable, à la main et avec des tubes de plexiglas. Au total, 63 échantillons composites d'un poids supérieur ou égal à 5 kg chacun (gros cailloux exclus) ont été prélevés : 24 échantillons sur le secteur Pila-Gérine, 20 sur le secteur Gérine-Lac et 19 sur le secteur Lac.

Ces échantillons ont été envoyés au laboratoire Wessling pour séchage, tamisage et analyse du PCB et du carbone organique total (COT) sur la fraction < 2 mm. Une analyse des 7 PCB (6 indicateurs PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180 et le dl-PCB 118) a été effectuée sur tous les échantillons. Les dl-PCB ont également été analysés sur 5 échantillons correspondant aux sites de prélèvement de gammars (voir chapitre Gammars). Toutes les analyses PCB ont été faites avec une limite de quantification « basse », mis à part 10 échantillons du secteur Pila-Gérine pour lesquels une forte pollution était soupçonnée. Les analyses COT ont toutes été effectuées avec une limite de quantification basse (0.1%).

Les sédiments profonds ont été échantillonnés par carottage cryogénique, à chaque fois sur une surface d'environ 10 m<sup>2</sup> et en plusieurs points du périmètre d'étude. Un total de 6 surfaces a été échantillonné : 3 surfaces dans le secteur Pila-Gérine et 3 dans le secteur Lac. La profondeur de carottage moyenne a atteint 75 cm dans le secteur Pila-Gérine et 105 cm dans le secteur Lac. Les carottes ont été découpées en tranches comprenant toujours les intervalles de profondeur 0-15 cm et 15-30 cm. Le découpage des couches plus profondes a été adapté d'un site à un autre en fonction des échantillons prélevés. Pour chaque couche, un échantillon composite d'un poids supérieur ou égal à 5 kg a été créé (gros cailloux exclus) et envoyé au laboratoire Wessling pour séchage, tamisage et analyse des 7 PCB (LQ basse) ainsi que du COT (LQ basse) sur la fraction < 2 mm. Les dl-PCB ont de plus été analysés dans 4 couches d'une même zone d'échantillonnage du secteur Lac.

La fraction > 2 mm a fait l'objet d'analyses PCB (7 indicateurs, LQ basse) sur 31 échantillons sélectionnés. La première sélection s'est effectuée sur la base des concentrations en PCB retrouvées dans la fraction < 2 mm, de même que sur la base d'observations visuelles. Les échantillons pour lesquels les concentrations en PCB de la fraction < 2 mm étaient élevées et/ou qui contenaient des morceaux métalliques s'apparentant à

des condensateurs ont été systématiquement analysés. Une deuxième sélection s'est faite sur des échantillons des couches profondes, lesquelles étaient sous représentées dans les calculs de stock.

Immédiatement après la crue artificielle, le 16 septembre 2016, des sédiments de surface (0-15 cm) ont été ré-échantillonnés sur 10 sites en utilisant la même approche que celle décrite précédemment. 6 sites se trouvent sur le secteur Pila-Gérine, 3 se trouvent dans le secteur Gérine-Lac et 1 se trouve dans le Lac. Comme pour les analyses avant la crue, les i-PCB (LQ basse) et le COT (LQ basse) ont été analysés par le laboratoire Wessling.

Le suivi des sédiments a été complété par un relevé géométrique des bancs d'alluvions Pila-Gérine et Invua réalisé avant et après (Pila-Gérine) la crue et par un marquage de placettes de couleur sur le tronçon Pila-Gérine.

L'un des objectifs du suivi de la crue était d'apprécier l'évolution du stock de sédiments, en particulier sur les secteurs les plus pollués. Des relevés géométriques ont ainsi été effectués immédiatement avant et immédiatement après la crue pour obtenir le maximum d'informations. Les relevés ont été focalisés sur les bancs d'alluvions les plus représentatifs pour ce qui concerne le stock de PCB. Les deux bancs principaux en rive droite du tronçon Pila-Gérine s'avèrent être des réservoirs importants de pollution pour le système, ce qui a été progressivement précisé au cours de l'été 2016 par les différents prélèvements et analyses effectués.

La figure ci-dessous présente les bancs d'alluvions qui ont fait l'objet d'un relevé géométrique avant et après la crue artificielle ainsi que les sites échantillonnés après la crue entre la Pila et Invua.

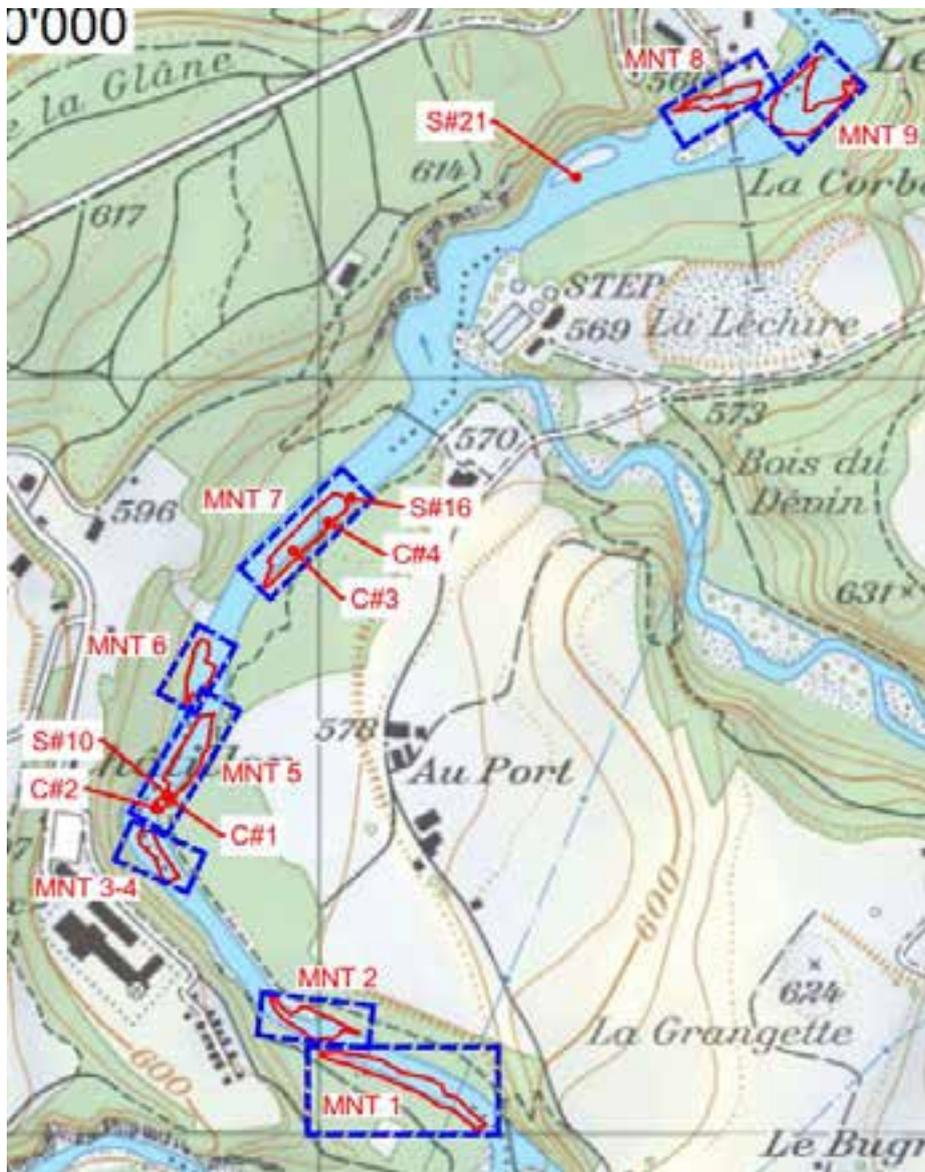


Figure 2-3 Situation des bancs d'alluvions relevés par le géomètre avant et après la crue artificielle (désignés « MNT » sur la carte) et des sites échantillonnés (désignés S ou C sur la carte) après la crue

### 2.1.3 Résultats et interprétation

Une synthèse des résultats liés aux sédiments se trouve en Annexe 2.1.3 *Sédiments résumé des mesures*.

#### 2.1.3.1 Fraction < 2mm

Les résultats bruts (rapports de laboratoire Wessling) de concentrations en PCB dans les couches 0-15 cm pour la fraction < 2 mm se trouvent en Annexes 2.1.3.1 – 1 *Sédiment surface* et 2.1.3.1 – 2 *Sédiments cryogénique*. Ces résultats peuvent être visualisés sur une carte Web, disponible à partir du lien suivant : <https://arcg.is/0Sqqbu>.

La figure ci-dessous donne un aperçu de l'emplacement des sites de prélèvement de sédiments de surface (notations S#1-67), de même que des sites carottages cryogéniques (notations C#1-8), avec pour chaque site un résultats de concentration PCB correspondant à une classe représentée par une couleur.

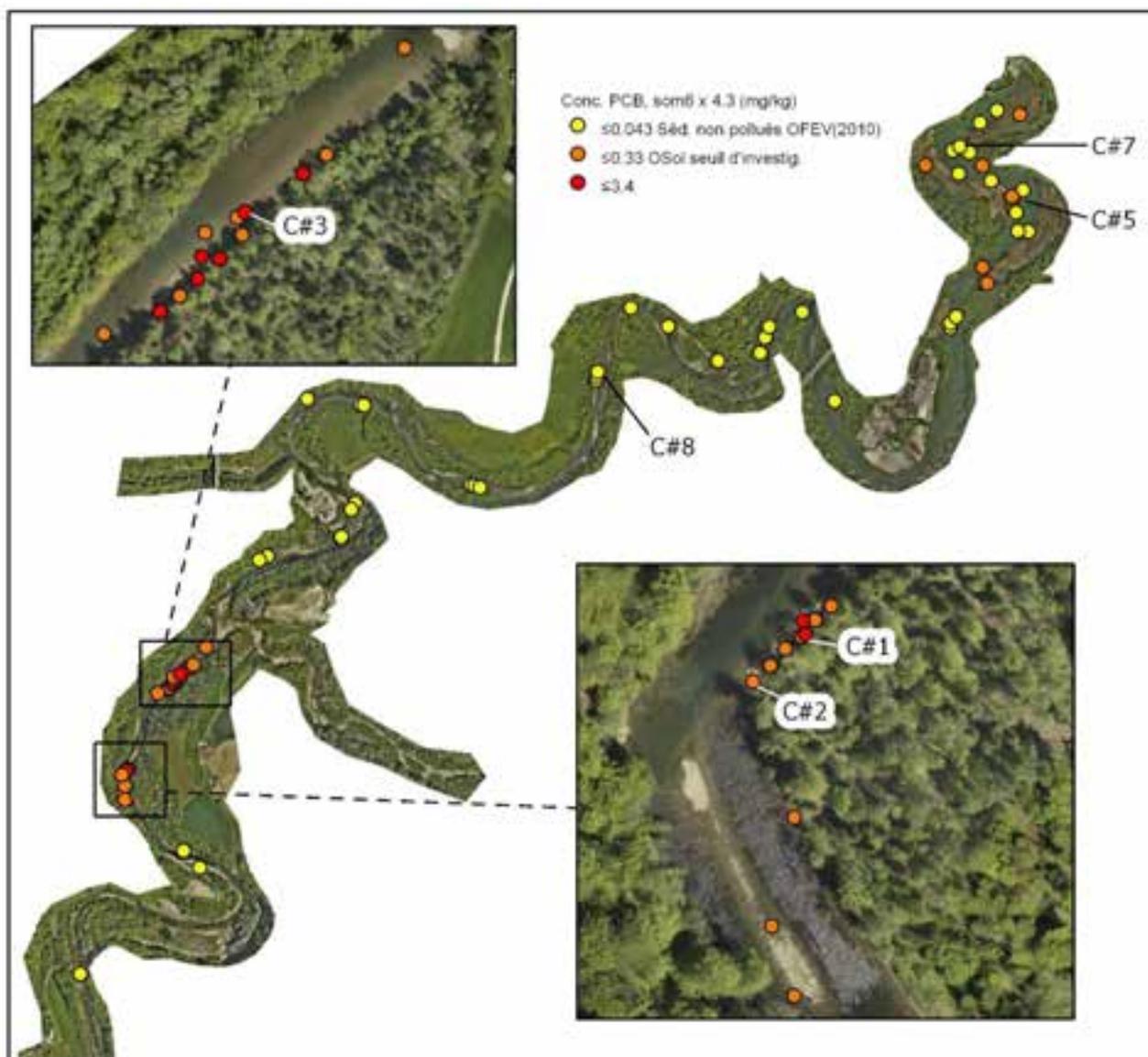


Figure 2-4 Concentrations en PCB dans les sédiments de surface 0-15 cm, fraction < 2 mm

La première classe couleur de concentration (jaune) inclut toutes les valeurs de concentrations en PCB inférieures ou égales à 0.043 mg/kg. Cette valeur sert de repère et non de limite absolue, puisqu'elle n'est ni incluse dans la législation suisse ni clairement établie au point de vue méthodologique. Elle est tirée du document de l'OFEV « PCB dans les eaux en Suisse » (cité comme *OFEV (2010)* ou *Schmidt et al. (2010)*<sup>[3]</sup> dans le présent rapport), recueillant plusieurs données de concentrations en PCB dans l'eau, les poissons et les sédiments en Suisse. Dans ce document, il est possible de lire: « Dans la plupart des cours d'eau examinés, la moyenne des concentrations PCB indicateurs (i-PCB) se situe entre 1 et 10 ng/g de substance sèche (SS) (somme de 6 congénères d'i-PCB). [...] Cette plage de concentration est considérée comme une contamination faible. ». La valeur 0.43 mg/kg est établie à partir de la valeur de 10 ng/g (i-PCB) multiplié par 4.3 pour obtenir des unités somme des 6 x 4.3. Il n'est pas clair si la valeur 10 ng/g s'applique à des

sédiments tamisés à 0.063 mm ou à 2 mm. Il semble, selon une publication du centre Ecotox datant de 2012<sup>[4]</sup>, que les cantons effectuant un suivi selon une approche « chimique » de la qualité des sédiments sur leur territoire s'intéressent principalement à la fraction < 0.063 mm. Les concentrations en PCB ici correspondent à la fraction < 2 mm. Il convient donc de rappeler que la catégorie « jaune / sédiment non pollués » ici sert uniquement de repère conceptuel.

La deuxième classe couleur de concentration (orange) inclut les valeurs comprises entre > 0.043 et 0.33 mg/kg. La valeur 0.33 mg/kg est dérivée du seuil d'investigation liée au risque d'ingestion pour la couche supérieure 0-5 cm dans l'Ordonnance sur les atteintes portées aux sols (OSol). Cette valeur seuil correspond à 0.1 mg/kg en unités correspondant à la somme des 7 indicateurs (6 indicateurs + PCB 118). Elle a été convertie en unités correspondant à la somme des 6 indicateurs avec un facteur de conversion issu des données de concentrations dans les sédiments Sarine (81 données, facteur somme 6/ somme 7= 0.8) puis multipliée par 4.3 pour obtenir des unités correspondant à la somme 6 x 4.3. La valeur légale de l'OSol a l'avantage d'être claire au niveau méthodologique : Elle s'applique à des sols prélevés dans la couche 0-5 cm, lesquels sont généralement tamisés à 2 mm<sup>[5]</sup> comme pour les sédiments analysés ici. Puisque les sédiments ne sont pas des sols à proprement parler et puisque la couche d'échantillonnage ici était plutôt de 0-15 cm, la catégorie « orange / seuil d'investigation » doit aussi être considérée comme un repère conceptuel plutôt qu'une limite absolue.

La troisième classe de couleur de concentration (rouge) comprend les valeurs entre > 0.33 et 3.40 mg/kg. La valeur 3.40 mg/kg correspond à la valeur mesurée la plus élevée, située sur le site C#3.

La figure ci-dessus illustre les concentrations mesurées sur la fraction < 2 mm et rassemblées par secteur, avec les deux valeurs « repères » de 0.043 et 0.33 mg/kg. 42% des valeurs mesurées dans les sédiments de surface dépassent 0.043 mg/kg et 11% dépassent 0.33 mg/kg. La totalité des dépassements de la valeur de 0.33 mg/kg sont observés sur le secteur Pila-Gérine.

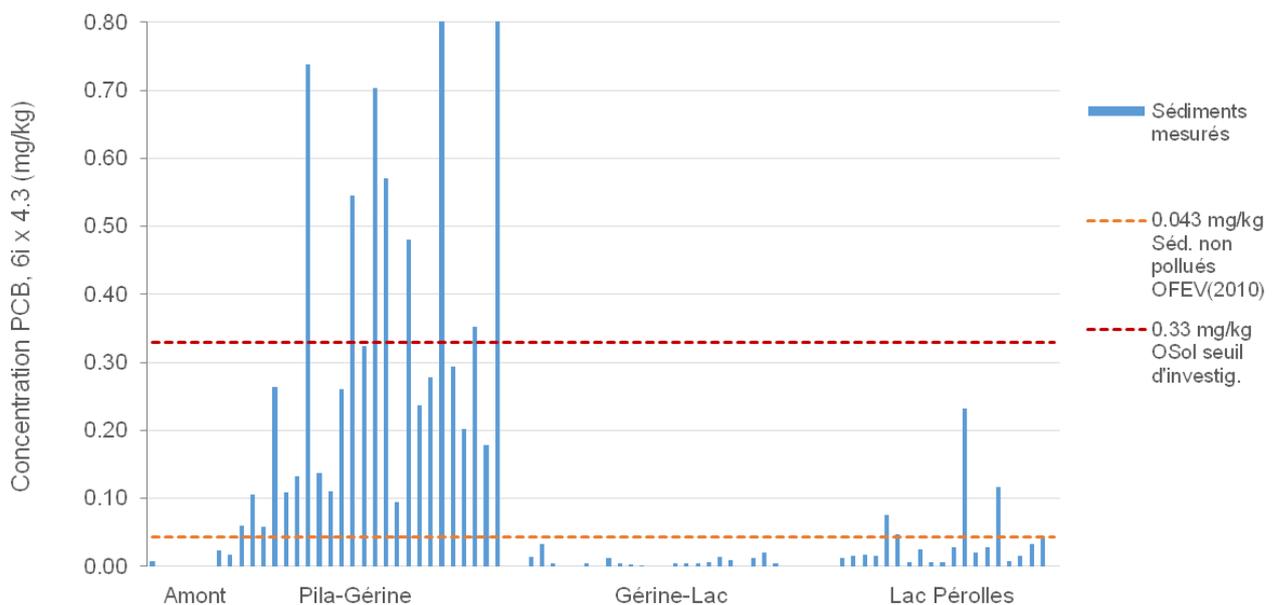


Figure 2-5 Concentration en PCB dans la fraction < 2 mm, par secteur. Deux valeurs extrêmes (1.498 mg/kg pour le site S#16 et 3.419 pour le site C#3) n'apparaissent pas dans le graphique, puisque l'axe Y a été coupé à 0.8 mg/kg.

La figure illustre bien la variation du niveau de pollution entre les différents secteurs, échantillonnés et mesurés de façon similaire puis comparés à des repères fixes. La tendance du niveau de pollution par secteur pourrait être résumée ainsi ; Pila-Gérine > Lac > Gérine-Lac.

Comme il est possible de le remarquer plus en détail sur la carte Web (<https://arcg.is/0Sqqbu>), les sites d'échantillonnage de sédiments < 2 mm sont davantage localisés près des berges de la Sarine qu'au centre de la rivière, surtout pour les secteurs Pila-Gérine et Gérine-Lac. Cela se justifie techniquement par le fait que ces bancs sont à sec en période de basses eaux, ce qui permet un échantillonnage à la pelle sans perte de matières fines potentiellement concentrées en PCB. Les échantillons ont ainsi été prélevés sur des surfaces humides/mouillées, indiquant qu'elles sont exposées à l'eau de la Sarine (et donc éventuellement aux poissons) lorsque le turbinage normal de Groupe E reprend.

Puisque les bancs de sédiments latéraux sont des lieux de déposition de matières fines plus probables que le centre de la rivière, il y a lieu de se demander si les concentrations rapportées ici ne reflètent pas « les concentrations relativement élevées du lit de la rivière ». Pour vérifier cette hypothèse, des échantillons ont été prélevés au centre de la rivière dans les secteurs Pila-Gérine et Gérine-Lac, à l'aide d'un plongeur en combinaison muni d'un cylindre et d'une pelle. Il en ressort que les échantillons du centre (fraction < 2 mm) ont effectivement une concentration en PCB légèrement moins élevée que les échantillons des bancs. Dans le secteur Pila-Gérine, les 19 échantillons des bancs ont une concentration moyenne en PCB de 0.26 mg/kg, versus 0.15 mg/kg pour les 4 échantillons du centre. Dans le secteur Gérine-Lac, les 20 échantillons des bancs ont une concentration moyenne en PCB de 0.007 mg/kg, versus 0.002 mg/kg pour les 2 échantillons du centre. Sur un même secteur (Pila-Gérine ; Gérine-Lac ; Lac), les ordres de grandeur des concentrations en PCB sont similaires (bancs vs centre). L'échantillonnage sur les bancs n'affecte donc pas le classement des niveaux de pollution par secteur.

La figure ci-dessous illustre les concentrations en PCB dans la fraction < 2 mm issue des échantillons prélevés par carottages cryogéniques. Chaque point est associé à la profondeur médiane d'une couche. Par exemple, la profondeur médiane de la couche 0-15 cm correspond à 7.5 cm.

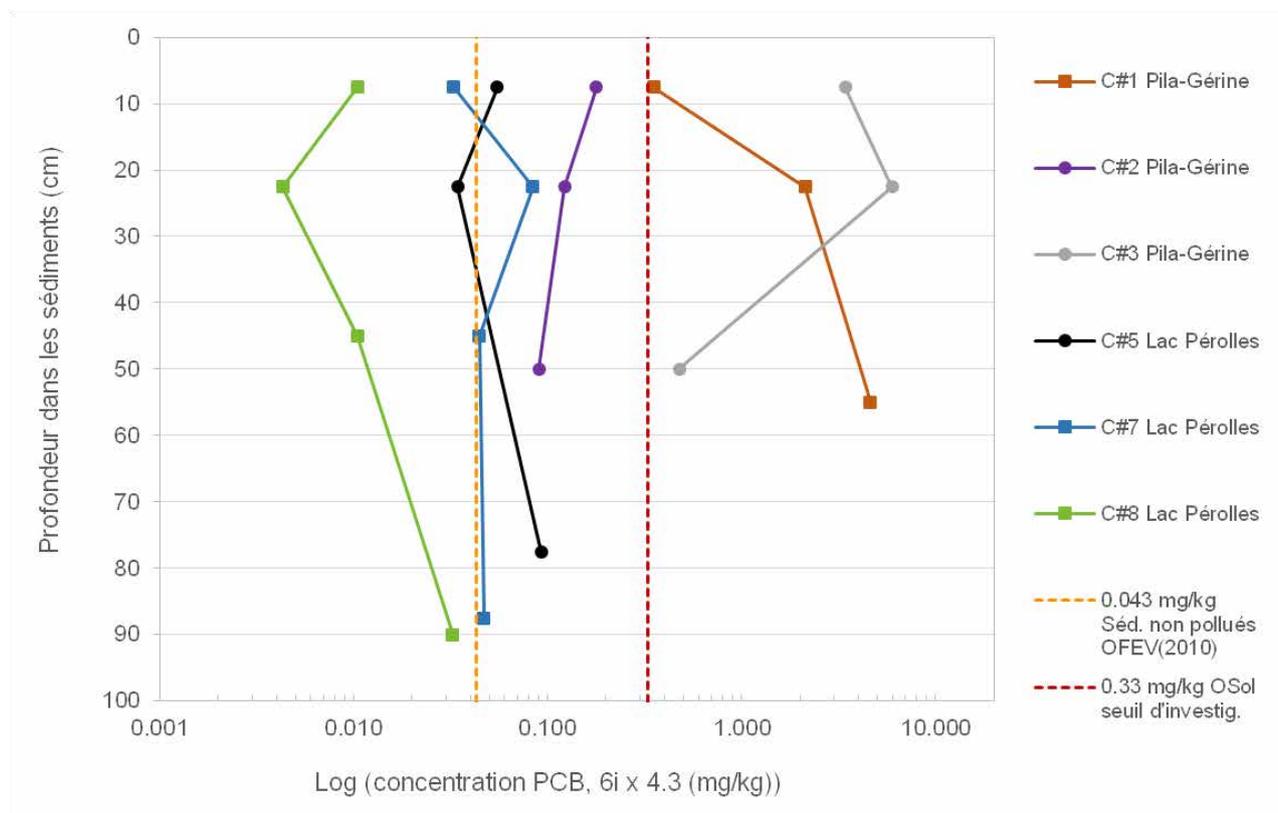


Figure 2-6 Concentrations en PCB dans les sédiments prélevés par carottage cryogénique, L'axe des X est sur une échelle log.

Toutes les valeurs mesurées dans le secteur Pila-Gérine sont supérieures aux valeurs repères de 0.043 et 0.33 mg/kg, même en profondeur (50-65 cm). Les concentrations les plus élevées ont été mesurées dans la couche 15-30 cm du site C#3 (5.981 mg/kg) ainsi que dans la couche 30-80 cm du site C#1 (4.627 mg/kg). Dans le secteur Lac, certaines couches profondes sont associées à une valeur > 0.043 mg/kg. C'est le cas de la couche 30-125 cm du site C#5 (0.093 mg/kg) et de la couche 15-30 du site C#7 (0.084 mg/kg).

Il est difficile de déterminer si les couches profondes du Lac de Pérolles reflètent une pollution liée à la Pila ou non. Des données issues d'autres études montrent, par exemple dans le Lac Greifensee, avec un bassin versant urbanisé et industrialisé, les concentrations en PCB relativement élevées dans les années 1960-1970, avec une valeur maximale de 130 ng/g en unités somme des 6 PCB indicateurs ou 0.559 mg/kg en unités somme des 6 x 4.3<sup>[6]</sup>. Cette valeur est plus élevée que les concentrations maximales mesurées dans le Lac de Pérolles. On ne peut pas exclure que la concentration en PCB des sédiments profonds du Lac de Pérolles ait été influencée par des sources « diffuses » telles que les émissions atmosphériques liées à la production industrielle du PCB vers les années 30, la construction et la modernisation de stations de traitement des eaux usées vers 1970 et par l'interdiction d'utilisation des PCB dans les systèmes ouverts (peintures, plastiques, etc.) en Suisse dès 1972.

### 2.1.3.2 Fraction > 2mm

Les résultats bruts (rapports de laboratoire Wessling) de concentrations en PCB pour la fraction > 2 mm se trouvent en Annexe 2.1.3.2 – *Sédiment refus*.

La présence de résidus métalliques s'apparentant à des morceaux de condensateurs a été observée dans des échantillons des couches profondes du Lac de Pérolles. Comme illustré ci-dessous, ces débris

métalliques ont été mis en évidence sur le terrain lors de l'échantillonnage et dans le laboratoire après tamisage, dans la fraction > 2 mm.



Figure 2-7 Illustrations de morceaux d'aspect métalliques observés dans les sédiments pendant l'échantillonnage (gauche) et au laboratoire après tamisage (droite).

Tous les échantillons (fraction > 2 mm) prélevés par carottage cryogénique et tous les échantillons prélevés sur le tronçon Pila -Gérine ont été inspectés visuellement afin de détecter la présence de débris métalliques s'apparentant à des condensateurs.

La fraction > 2 mm a été systématiquement analysée sur les échantillons suivants :

- Présence de débris métalliques identifiée visuellement.
- Concentration en PCB analysée dans la fraction < 2 mm correspondante relativement élevée.
- Couches sédimentaires profondes.

Des résidus métalliques ont été retrouvés dans les échantillons C#7 (60-115 cm) et C#8 (60-120 cm), mais également à faible profondeur dans l'échantillon C#1 (0-15 cm). Les concentrations en PCB retrouvées dans les fractions < et > 2 mm d'un même échantillon sont présentées sur la figure ci-dessous.

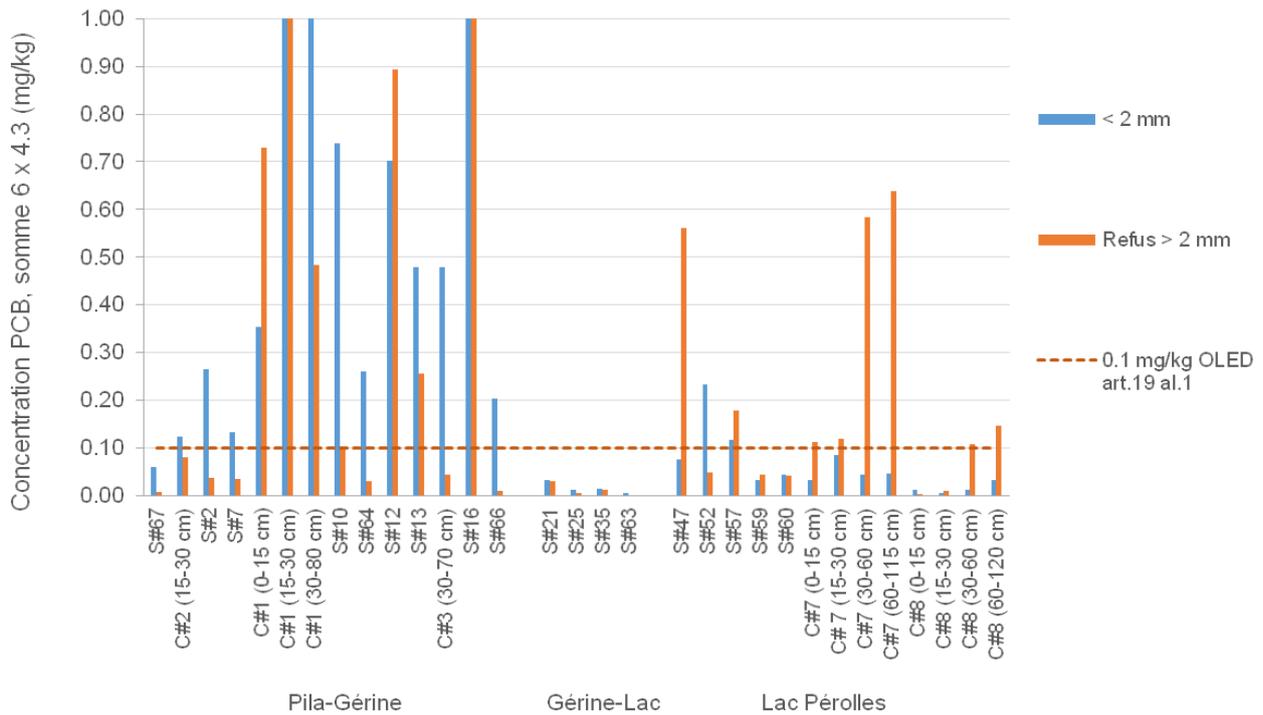


Figure 2-8 Concentrations en PCB dans les fractions < et > 2 mm, par secteur. Les valeurs associées au site S#16 (1.498 mg/kg sur < 2 mm et 12.896 mg/kg sur > 2 mm) ne sont pas affichées car pour des raisons de lisibilité du graphique. L'axe des Y a été coupé à 1.00 mg/kg.

Dans 13 des 31 échantillons analysés (42%), la fraction > 2 mm est plus concentrée en PCB que la fraction < 2 mm. Cette observation se confirme également pour les échantillons C#1 (0-15 cm), C#7 (60-115 cm) et C#8 (60-120 cm) où des morceaux métalliques ont été retrouvés, ce qui confirme l'hypothèse de présence de débris de condensateurs. 48% des concentrations PCB mesurées dans les refus dépassent la valeur « repère » de 0.1 mg/kg de l'OLEDArt.19 al.1. Pour le tronçon Pila-Gérine, les analyses montrent qu'une concentration de la fraction >2mm supérieure ou égale à 0.1 mg/kg de PCB est toujours associée à une concentration de PCB supérieure à 0.1 mg/kg de PCB dans la fraction < 2mm.

Ces résultats mettent en évidence que la fraction > 2 mm, mais également la fraction < 2mm, peuvent être gravement affectées par la présence de déchets de la Pila. La fraction > 2mm qui contient ces résidus de déchets doit impérativement être considérée, tant pour l'estimation d'un stock PCB dans les sédiments que pour la compréhension du processus de contamination des poissons. Cette affirmation est particulièrement valable pour le tronçon Pila-Gérine où des condensateurs / morceaux de condensateurs sont régulièrement retrouvés dans ou sur les sédiments.

À l'été 2016, les condensateurs aperçus lors des campagnes d'échantillonnage (sédiment, pêche, etc.) totalisent une masse « humide » d'environ 550 g. La présence de condensateurs, entiers ou en morceaux, fortement chargés en PCB et piégés dans les sédiments de la Sarine (Pila-Gérine) est toujours d'actualité en 2016. Les photos ci-dessous illustrent quelques exemples.



Figure 2-9 Illustrations de condensateurs retrouvés sur le lit de la Sarine en 2016

Pour rappel, il a été démontré lors des essais de tamisage d'avril 2016 que la fraction fine  $< 0.063$  mm était plus concentrée en PCB que les autres fractions ( $0.063-2$  mm ;  $> 2$  mm et bruts sur le secteur Pila-Gérine pour la majorité (4/5) des sites mais non pas pour la totalité (Annexe 2.1.2. *Sédiments reconnaissances et essais rapport CSD 13.06.2016*). Le site « d'exception » (1/5) affichait alors des concentrations en PCB pratiquement égales ( $0.8$  mg/kg) dans les fractions  $< 0.063$  mm et brute. L'explication de cette exception est vraisemblablement la présence de déchets dans la fraction grossière ( $> 0.063$  ou  $> 2$  mm) telle qu'observée et décrite précédemment.

### 2.1.3.3 Lien PCB et COT

Les résultats bruts (rapports de laboratoire Wessling) de concentrations en PCB et carbone organique total (COT) se trouvent dans les Annexes 2.1.3.1 – 1 *Sédiment surface* et 2.1.3.1 – 2 *Sédiments cryogénique*.

Afin de mieux comprendre le mode de transport et de fixation des PCB dans la rivière et les sédiments, le lien entre présence de PCB et teneur en matière organique dans les sédiments a été testé. Les PCB étant des composés peu solubles et lipophiles, il est possible qu'ils s'associent aux particules fines des sédiments relativement chargées en carbone organique total. Dans le cas de la Sarine cependant, cette tendance n'est pas déterminante pour expliquer la teneur en PCB des sédiments. Aucune relation linéaire ne peut être mise en évidence entre la teneur en PCB et le COT mesurés dans la fraction  $< 2$  mm, autant pour la totalité des analyses (non-illustré) que pour les analyses prises séparément par secteur (figures ci-dessous).

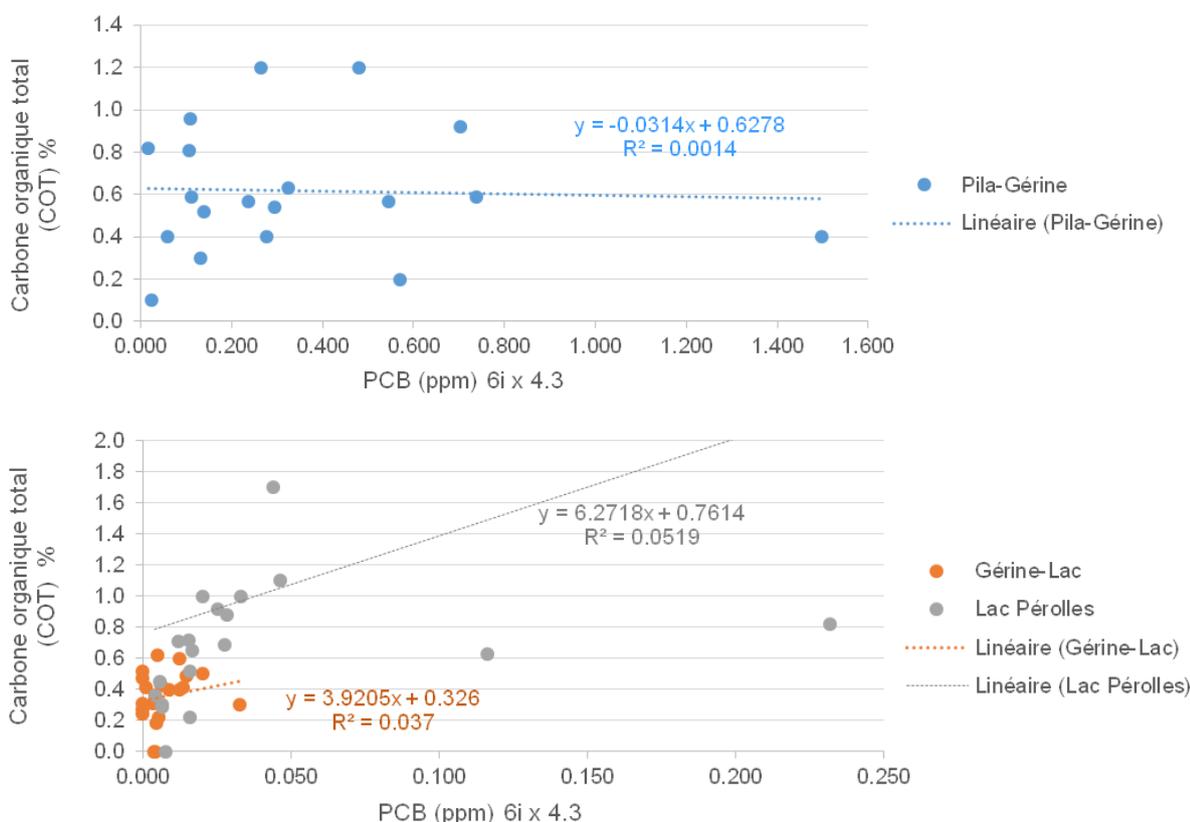


Figure 2-10 Faible corrélation mise en évidence entre le PCB et le COT mesurés dans les sédiments de surface (0-15 cm) fraction < 2 mm sur les secteurs Pila-Gérine (haut) ainsi que Gérine-Lac et Lac Pérolles (bas)

Sur le secteur Lac Pérolles, la série de données PCB-COT peut être modifiée (suppression de 3 échantillons) pour obtenir un meilleur coefficient de corrélation linéaire. Le premier échantillon pouvant être supprimé est S#47, lequel contient des roseaux et donc une concentration en COT anormalement (7.0%) élevée. Les deux autres échantillons pouvant être écartés ont des concentrations en PCB supérieures à 0.1 mg/kg. En écartant ces 3 échantillons, une relation linéaire ( $R^2=0.7207$ ) semble se dessiner entre le PCB et le COT, dans le secteur Lac uniquement. Il est cependant discutable d'écarter les deux échantillons avec une concentration PCB > 0.1 mg/kg du secteur Lac. Il y a plutôt lieu de s'interroger sur la cause de pollution de ces échantillons. Encore une fois, l'hypothèse de morceaux de déchets chargés en PCB est une cause probable. Cette hypothèse pourrait aussi expliquer l'absence de corrélation entre le PCB et le COT sur les deux autres secteurs Pila-Gérine et Gérine-Lac. En somme, la présence fréquente mais aléatoire de débris de condensateurs semble être un facteur déterminant pour expliquer l'absence de corrélation entre la présence de matière organique et la teneur en PCB dans les échantillons de sédiments analysés.

## Observations liés à la crue artificielle

Les résultats bruts (rapports de laboratoire Wessling) de concentrations en PCB et COT avant et après crue se trouvent dans l'Annexe 2.1.3.4 – 1 *Sédiment après crue*.

Avant et après la crue artificielle de septembre 2016, les concentrations en PCB et en carbone organique total de la couche 0-15 cm varient à la baisse ou à la hausse selon les sites. À la figure suivante, les différences de concentration exprimées en % par rapport aux mesures avant crue sont illustrées. En ce qui concerne les concentrations en PCB, un nombre plus important de diminutions (7 valeurs négatives) que

d'augmentations (3 valeurs positives) est observé. L'inverse est vrai pour les concentrations en COT ; un nombre plus important d'augmentations (7 valeurs positives) que de diminutions (3 valeurs négatives) est observé.

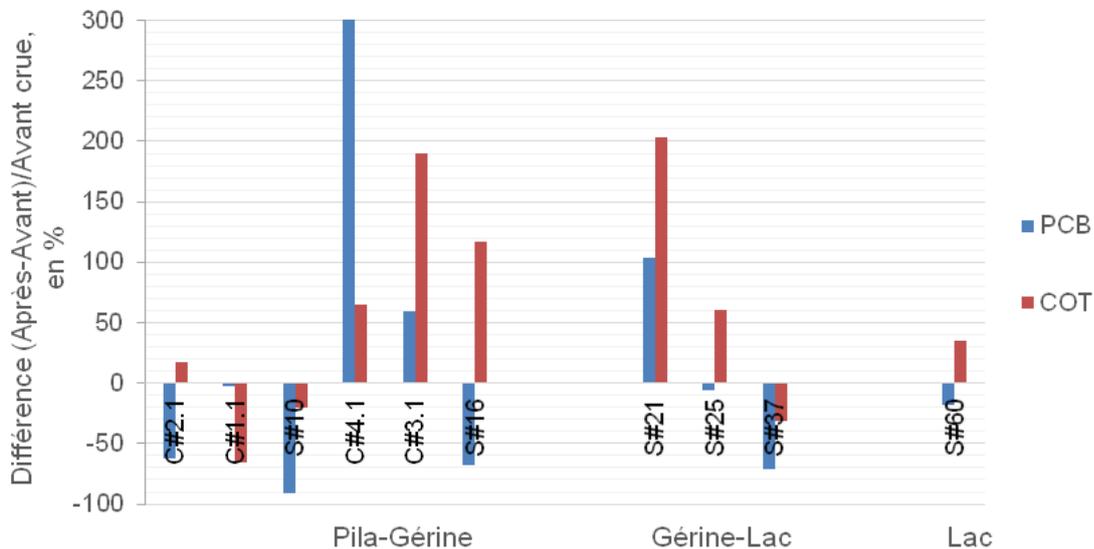


Figure 2-11 Variation de concentration en PCB et en COT avant et après la crue artificielle de septembre

Ces variations apparentes pourraient s'expliquer par l'apport de matériaux de l'amont pendant la crue, lesquels sont faiblement pollués en PCB et chargés en COT. La matière en suspension pendant la crue est effectivement appauvrie en PCB et enrichie en COT, par rapport à la matière en suspension en temps normal (Tableau 2-2). Toutefois en absolu, les concentrations après crue sont proches des concentrations avant crue ou semblent situées dans la gamme liée à l'hétérogénéité des sédiments. Par conséquent, une tendance générale ne peut pas être confirmée sur la base de ces résultats.

### 2.1.3.4 Relevés géométriques liés à la crue

La Figure 2-3 présente les bancs d'alluvions entre la Pila et la Gérine, ainsi que dans le secteur d'Invua, qui ont fait l'objet d'un relevé géométrique avant et après la crue artificielle. Pour le tronçon Pila – Gérine, 6 bancs d'une surface totale d'environ 1.6 ha (env. 25% du lit de la Sarine) ont été relevés.

Pour chaque banc, les augmentations et diminutions de niveaux ont été calculées et représentées sur les plans figurant en Annexe 2.1.3.4-2 *Sédiments avant après crue*. Les deux figures suivantes présentent un extrait pour le banc MNT7, situé à l'amont de l'embouchure de la Gérine. La couleur verte représente une diminution de niveau après la crue et la couleur rouge une augmentation. Les variations aux différents points du modèle numérique de terrain sont exprimées en mètres. Sur cette base, le relevé après crue indique une augmentation du niveau quelques centimètres dans le secteur de réalisation de l'échantillon C#3.

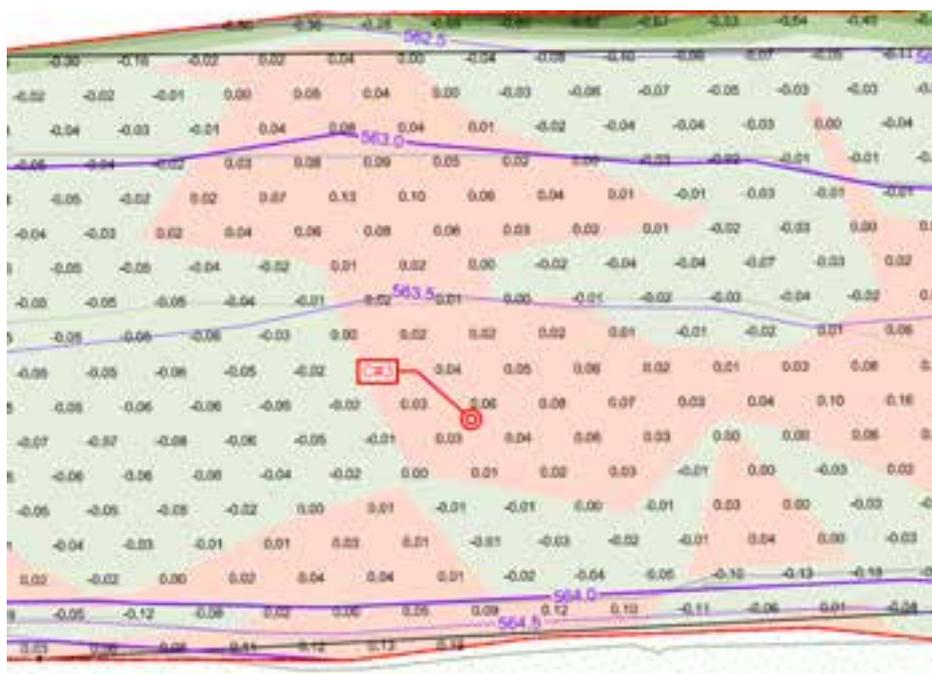


Figure 2-12 Situation du banc d'alluvions MNT7 (extrait) relevés par le géomètre (avant/après crue artificielle)



Figure 2-13 Situation d'une carotte cryogénique constituant l'échantillon C#3 (avant crue)

Les résultats du calcul des différences de volumes avant et après la crue sont résumés dans tableau suivant :

Secteur	Surface m <sup>2</sup>	Volume enlevé m <sup>3</sup>	Volume ajouté m <sup>3</sup>	Différence de volume m <sup>3</sup>
<b>Tronçon Pila Gérine</b>				
MNT 1	3865.69	86.48	234.86	148.37
MNT 2	2311.11	262.25	56.77	-205.48
MNT 3-4	1264.25	126.28	25.27	-101.01
MNT 5	3311.97	118.85	312.61	193.76
MNT 6	1807.75	56.48	56.73	0.25
MNT 7	3662.1	168.3	69.01	-99.29
<b>Total</b>	<b>16222.87</b>	<b>818.64</b>	<b>755.25</b>	<b>-257.41</b>
<b>Zone Invua</b>				
MNT 8	1755.93	27.2	143.52	116.32
MNT 9	4490.95	146.61	308.65	162.04
<b>Total</b>	<b>6246.88</b>	<b>173.81</b>	<b>452.17</b>	<b>278.36</b>

Tableau 2-1 Calculs des différences de volumes pour les bancs d'alluvions relevés par le géomètre (avant/après crue artificielle)

Pour chaque banc, nous constatons des mouvements de sédiments avec des augmentations et des diminutions de volume. La répartition spatiale de ces variations est plutôt hétérogène (voir plans annexés) et les ordres de grandeurs relativement faibles avec des variations moyennes (augmentations ou diminutions) inférieures à 10 cm. Visuellement, sur le tronçon Pila-Gérine, seul l'aval immédiat du premier méandre a subi des modifications remarquables.

Pour le reste du secteur, aucune modification de la morphologie n'était perceptible ; seuls le « nettoyage » du lit mouillé et quelques dépôts sableux sur les bords étaient évidents. Les apports de sable sont liés à l'érosion de la molasse ; en amont immédiat de la Pila, nous avons en effet pu constater le détachement de molasse altérée par « plaques » dans le lit de la Petite Sarine.

Le résultat de ces mesures est cohérent avec les différentes observations effectuées dans le cadre du suivi de la crue artificielle, qui n'a pas eu d'effet morphogène sur le lit du cours de la Sarine. Les matériaux grossiers déplacés ont parcouru des distances relativement faibles (communication orale Diego Tonnola : quelques centaines de mètres pour les cailloux marqués avec des puces RFID).

À l'échelle d'un banc d'alluvions relevé, nous constatons une faible influence de la crue, avec des différences de volume maximales de l'ordre de 200 mètres cubes. Sur l'ensemble du relevé Pila-Gérine, le bilan global conduit à une diminution de moins de l'ordre de 60 mètres cubes. Un calcul identique a été effectué afin d'identifier les variations entre le vol LIDAR de 2014. Le bilan global conduit à une diminution de l'ordre de 100 mètres cubes.

Des marquages en couleur de placettes de sédiments ont également été effectués et inspectés après une période de turbinage et avant/après la crue. Les placettes ont été constituées par ajout de sable, ajout de graviers 16-32 mm et marquage in situ. En cas de turbinage normal, les marquages avec ajout de sable n'ont pas été retrouvés ; les marquages avec ajout de graviers 16-32 ainsi que les marquages in situ ont subi des modifications visibles même après une courte période de « hautes eaux ». Après crue les placettes n'ont plus été retrouvées, les galets marqués ont été ponctuellement retrouvés épars. Seules les placettes situées à proximité immédiate de la berge ainsi que quelques galets marqués in situ ont été retrouvés aux emplacements initiaux. Certains déchets grossiers (métalliques ou minéraux) identifiés de longue date ont été retrouvés à proximité.

## 2.1.4 Sommaire et conclusions

Une baisse significative de la quantité de PCB dans les sédiments a été constatée sur tous les points de prélèvement entre 2010 et 2016. Cette baisse peut être attribuée, au moins partiellement, aux mesures urgentes et préliminaires de 2009 à 2013, qui ont permis l'extraction de près d'une tonne et demie de PCB provenant de déchets et de condensateurs partiellement présents dans le lit mouillé de la Sarine.

Le tronçon de rivière compris entre la décharge de la Pila et la Gérine est celui où l'on observe la concentration en PCB la plus importante dans les sédiments < 2 mm. Le Lac de Pérolles, qui constitue l'exutoire final de la Sarine avant le barrage de la Maigrage, est le deuxième secteur le plus impacté.

La présence de débris de condensateurs est déterminante pour expliquer le contenu en PCB des différentes fractions de sédiments analysées. Les déchets de condensateurs retrouvés sur les berges du tronçon Pila-Gérine en 2016 totalisent une masse « humide » d'environ 550 g. Dans le Lac de Pérolles, tout indique que les morceaux métalliques retrouvés dans les sédiments profonds [C#7 (60-115 cm) et C#8 (60-120 cm)] sont bien des morceaux de condensateurs.

Des condensateurs pesant quelques grammes, de forme cylindrique et d'une longueur habituellement comprise entre 3 et 15 cm ont été transportés dans la rivière depuis des années, se sont déposés et ont été remobilisés par le courant ou les crues sous la forme de résidus ou de fragments de déchets que l'on retrouve de façon aléatoire dans les sédiments. Ce phénomène induit une très forte hétérogénéité de la contamination en PCB dans les sédiments de la rivière, qui par effet « pépité » introduit une grande incertitude dans tous les modèles prédictifs qui pourraient être construits pour tenter d'expliquer en détail les liens, et leur évolution dans le temps, entre contaminants/sédiments/biote et poissons.

### Suivi de la crue artificielle

Les relevés géométriques et le marquage de placettes confirment que des matériaux se sont déplacés, sans qu'il y ait toutefois de modification majeure de la morphologie du lit de la Sarine. Les matériaux fins provenant de l'amont de la Pila ont traversé la zone d'étude ; seuls quelques dépôts de matériaux sableux ont pu être observés sur le tronçon Pila-Gérine. Les matériaux plus grossiers ont pu être déplacés, sur des distances limitées et en relativement faibles quantités. Rapportée à l'ensemble du secteur Pila-Gérine, la diminution de volume mesurée sur les bancs représente une perte de moins d'un centimètre.

Les échantillons prélevés après la crue peuvent, d'une part, contenir des matériaux sableux « propres » provenant de l'amont de la décharge, mais aussi des matériaux « pollués » déplacés ou déjà présents localement sur une partie de l'épaisseur d'alluvions n'ayant pas été mobilisée par la crue. Cela explique l'absence de tendance générale, pour les 10 sites échantillonnés avant et après la crue, et confirme la faible influence de la crue en particulier sur les matériaux grossiers et les principaux bancs d'alluvions pollués.

## 2.2 Matières en suspension

### 2.2.1 Historique et objectif

En 2008, deux valeurs de matières en suspension (4 et 5 mg/L) mesurées dans la Sarine entre la Pila et le Lac de Pérolles sont disponibles dans un rapport intitulé *Étude de l'état sanitaire des cours d'eaux du canton de Fribourg - La Basse Sarine - Campagne 2008*<sup>[7]</sup>. En supposant une concentration de matière en suspension dans l'eau de 5 mg/L, il faudrait, pour arriver à mesurer les 6 i-PCB dans la matière en suspension (MES), 1'000 L pour une limite de quantification basse (5'000 mg de MES) et 2'000 L pour une

limite de quantification standard (10'000 mg de MES). Selon nos informations en 2016, aucun dispositif technique<sup>2</sup> ne permet l'extraction efficace d'un tel volume d'eau et d'une telle masse de MES de la Sarine. Il n'en demeure pas moins que le PCB a tendance à s'associer aux particules solides et que les MES peuvent par conséquent jouer un rôle déterminant dans le transport et la dispersion du PCB issu de la décharge.

Une photo prise lors de la crue d'août 2005 (750 m<sup>3</sup>/s) montre que les eaux de la Sarine sortant de l'évacuateur de crues au barrage de la Maigrauge sont brunes et donc probablement chargées en MES (Annexe 1.3 *Mesures complémentaires rapport CSD*). Il n'est pas possible de déterminer si la crue d'août 2005 a eu pour effet de déplacer les sédiments contaminés par les déchets de la Pila en direction du Lac (Pila-Gérine vers Lac) ou encore plus à l'aval de celui-ci.

Dans le cadre de la réalisation des mesures complémentaires, les réflexions se sont concentrées sur la mise en place d'un dispositif ayant pour objectifs :

- de récolter efficacement les MES de la Sarine pour analyser leur contenu en PCB
- de déterminer efficacement la quantité de MES (mg/L) se trouvant dans l'eau de la Sarine, en temps normal et en temps de crue

La notion d'efficacité ici implique une mise en œuvre réaliste avec des coûts d'installation et de maintenance raisonnables, de même qu'une bonne capacité des dispositifs à intégrer les MES sur une longue période (plusieurs jours/mois) en temps normal. Les objectifs à atteindre sont les suivants :

- Établir un état initial avant assainissement de la décharge, en termes de concentrations en PCB dans les MES sur des sites plus ou moins affectés par la décharge (Amont et Aval) et en comparant avec une seule valeur de référence fixe. Proposer des mécanismes pour expliquer les variations saisonnières, si présentes.
- Déterminer les flux de PCB transitant dans la Sarine en temps normal et en temps de crue, tout d'abord en comparant les concentrations en PCB dans le MES et en établissant une relation entre la quantité de MES (mg/L) et la turbidité (unités NTU) pouvant être mesurée en continu.

## 2.2.2 Méthodes d'échantillonnage et d'analyse

Pour analyser la concentration en PCB dans les MES de la Sarine en temps normal, le défi consistait à récolter une quantité suffisante de MES pour analyse par les laboratoires Wessling ou EMPA, avec une méthode simple. Plusieurs options ont été envisagées, notamment le pompage actif de l'eau de la Sarine suivi d'une filtration, de même que l'utilisation d'une centrifugeuse à flux continu. Ces options ont été abandonnées étant donné :

- la faible représentativité temporelle d'un échantillon d'eau filtrée sur quelques minutes (voire heures) en temps normal
- les coûts engendrés par le personnel travaillant au pompage régulier (plusieurs fois par mois)
- les coûts engendrés par l'achat d'une centrifugeuse à flux continu et l'impossibilité (ou la difficulté) d'en louer une en territoire suisse

L'option d'échantillonnage qui a été retenue pour les périodes hors crue est une boîte métallique avec ouvertures circulaires à l'avant et à l'arrière, qui permet de récolter passivement (sans intervention) des matières en suspension sur une longue durée (plusieurs semaines). Cette boîte, pouvant être suspendue ou fixée à un mur sous le niveau de l'eau, a d'abord été installée pour tester la méthode sur 3 sites en avril 2016: au Pont de l'Abbaye d'Hauterive à l'amont de la décharge, à la Passerelle Gérine et au Pont de Pérolles. En juillet 2016, 2 boîtes supplémentaires ont été installées à la Passerelle Gérine pour obtenir une

---

<sup>2</sup> selon communication avec les autorités cantonales de Fribourg et de Berne

quantité suffisante de MES et une boîte a été installée dans la Gérine pour juger de sa contribution (supposée faible) aux flux de PCB dans la Sarine. Finalement en Octobre 2016 suite à des suspicions d'apports importants en PCB dans la Sarine, une boîte MES a été installée dans la Glâne. La figure ci-dessous résume la situation des boîtes MES en 2016 et précise le mode d'installation (fixe ou suspendue) pour chaque site.

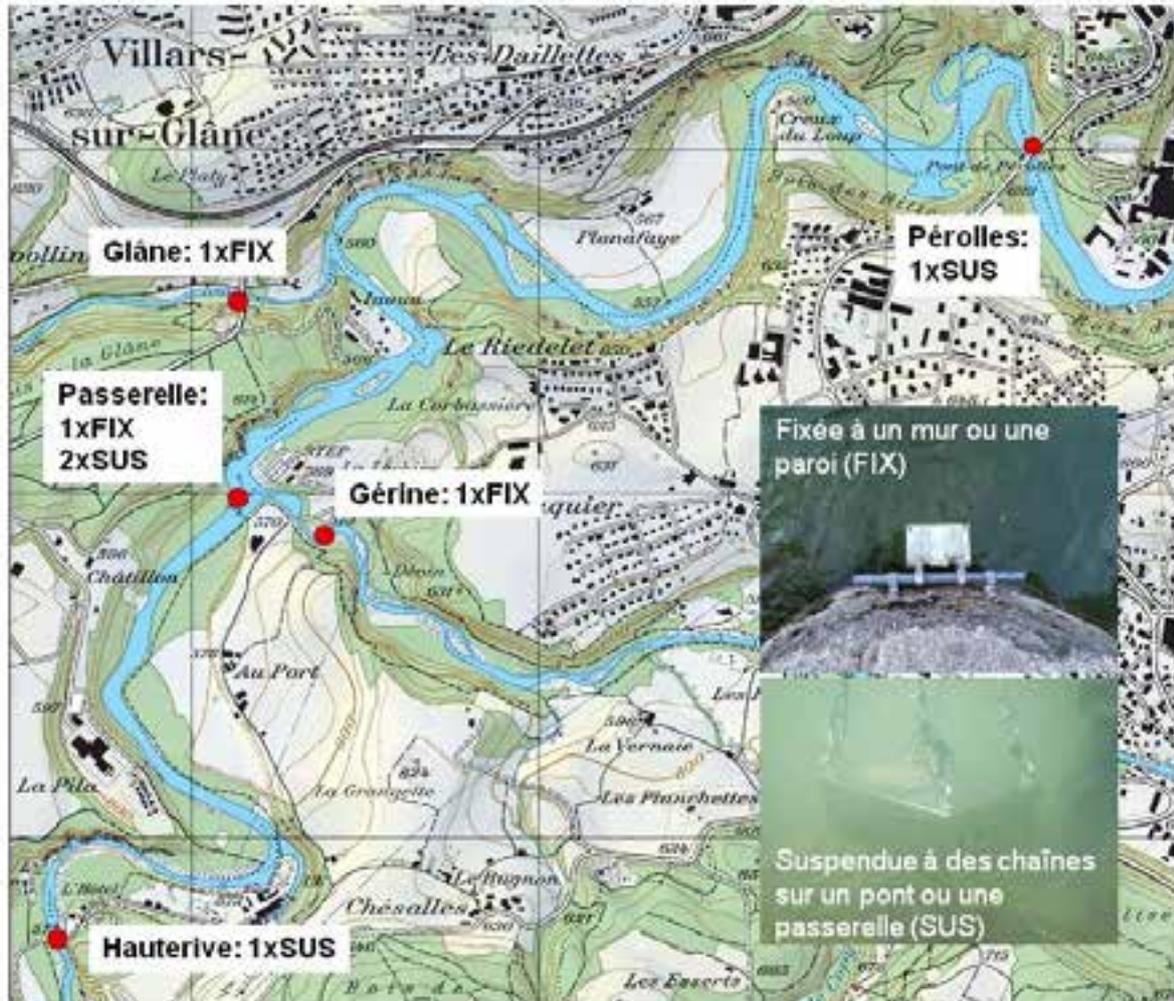


Figure 2-14 Situation des boîtes MES et types d'installation pour le suivi mensuel « en temps normal »

Suite à leur installation, les boîtes ont été échantillonnées chaque mois grâce à des bottes Waders ou un kayak gonflable selon la profondeur d'eau dans la rivière. Leur contenu a été transféré dans un seau en plastique fourni par Wessling et laissé environ 24 heures à décanter à l'abri du soleil et à température stable (environ 15°C, stationnement souterrain). Le surplus d'eau a ensuite été enlevé délicatement à l'aide d'une seringue en plastique, avant d'être envoyé aux laboratoires Wessling pour séchage et analyses du PCB (i-PCB avec LQ basse) et du COT (LQ basse). Les masses de MES sèche récoltées dans les boîtes varient entre 5.3 g (Passerelle, mai 2016) et 2'372.7 g (Glâne, novembre 2016).

Pendant la crue artificielle de septembre 2016, de l'eau de la Sarine a été prélevé aux points Hauterive, Passerelle et Péroilles, à l'aide de seaux plastique de 6 L attachés à des cordes sur un système de poulies. Pour récolter suffisamment de MES pour une analyse PCB sur les 3 stations, des volumes de 50 L ont été échantillonnés 6 fois environ toutes les 3 heures, pour un volume « composite » total de 300 L stocké dans

un grand contenant en plastique muni d'un couvercle. À la station Passerelle, un deuxième composite a été créé avec des échantillons d'environ 30 L, prélevés toutes les heures pendant 10 heures, pour un volume total de 300 L. Les quatre échantillons composites 300 L ont été déposés sur place et sécurisés (attachés à un arbre ou un poteau, couvercles fermés) pendant environ 24 heures pour permettre une décantation des MES au fond du seau. L'eau excédentaire a été enlevée sur place et les MES s'étant déposées au fond du seau ont été transférées dans un plus petit seau. Les 4 échantillons composites ont été envoyés aux laboratoires EMPA pour séchage et analyse des 6 i-PCB. Les masses sèches de MES récoltées dans les seaux 300 L varient entre 25 et 40 g.

Afin de déterminer la quantité de MES présente dans l'eau (mg/L) en temps de crue et la lier aux mesures de turbidité (NTU), différents types d'échantillons d'eau ont été prélevés. D'une part, des volumes de 1L ont été prélevés toutes les heures au site Passerelle. 9 de ces échantillons ont été analysés par Wessling pour les MES (mg/L). Leur turbidité (NTU) a été estimée :

1) à partir des mesures in-situ, obtenues par une sonde fixe dans la Sarine au moment du prélèvement d'eau et,

2) par analyse de l'échantillon avec une sonde portable (AQUAfast, AQ3010) calibrée.

D'autre part, des volumes de 2.5 L prélevés toutes les 3 heures ont été stockés dans des contenants en verre. 16 de ces échantillons 2.5 L (4 aux stations Hauterive et Pérolles, 5 à la station Passerelle) ont fait l'objet d'analyses par l'EMPA, ce qui a permis de déterminer la quantité de MES (mg/L) présente. Leur turbidité a été estimée à partir des mesures NTU in-situ, réalisées avec une sonde fixe dans la Sarine au moment du prélèvement d'eau.

## 2.2.3 Résultats et interprétation

### 2.2.3.1 En temps normal

Les résultats bruts (rapports de laboratoire Wessling) des analyses mensuelles des PCB et du COT sur les matières en suspension (MES) prélevées dans les boîtes de mai 2016 à avril 2017 figurent en Annexe 2.2.3.1 *Boîtes MES*.

Les concentrations en PCB dans les MES n'avaient pas pu être quantifiées en Avril 2016, la limite de détection demandée (LQ normale, Laboratoire Wessling) se trouvant au-dessus de la concentration de l'échantillon. Depuis juin 2016 cependant, les concentrations ont pu être quantifiées systématiquement aux trois stations. Tel qu'illustré à la figure suivante, les concentrations à la station Passerelle sont généralement supérieures (juillet, août, septembre, octobre, janvier, mars et avril ; 7 mois sur 11) à la valeur limite correspondant à des sédiments non pollués selon l'OFEV (2010) [3].

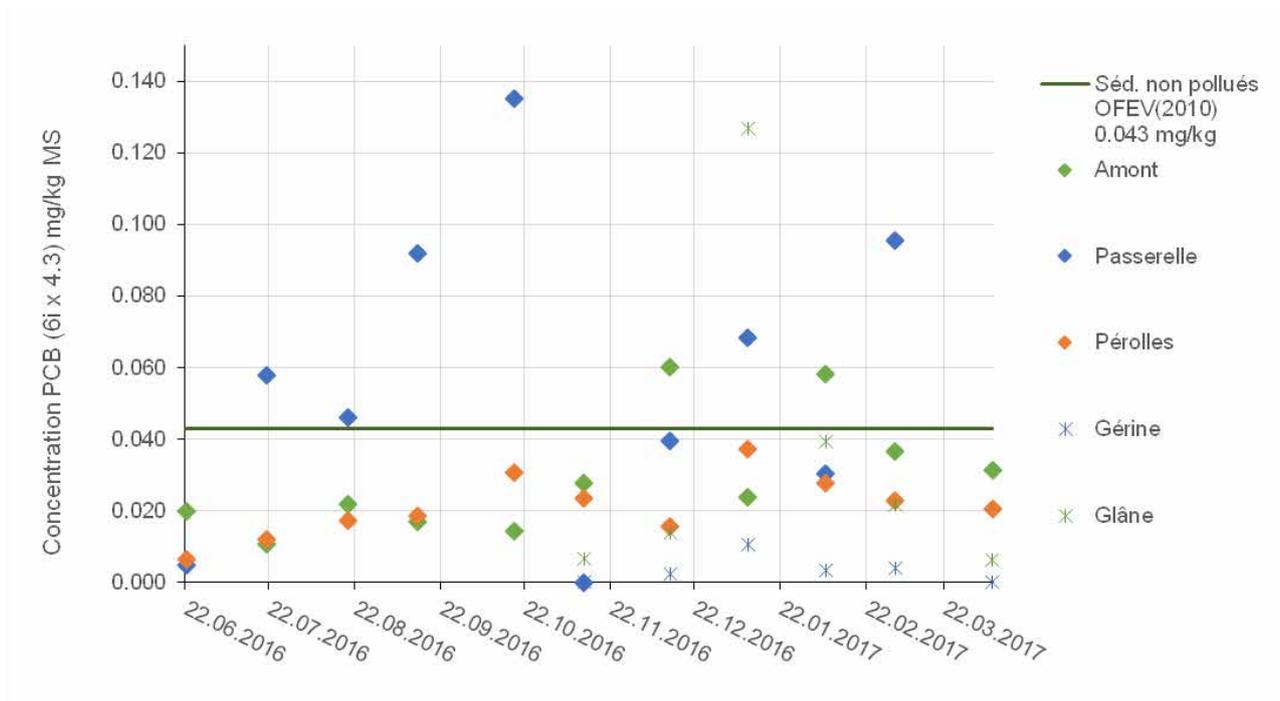


Figure 2-15 Évolution temporelle des concentrations en PCB dans les MES des boîtes entre Juin et Décembre 2016. La valeur Passerelle Avril 2017 (0.4 mg/kg) n'est pas affichée car l'axe des Y est coupé à 0.140 mg/kg.

Les concentrations généralement élevées au point Passerelle s'expliquent par une remise en suspension de sédiments impactés par les déchets de la Pila, tel que présenté dans le chapitre précédent (2.1). L'ordre du niveau de pollution par secteur peut être décrit comme suit : « Passerelle > Hauterive et Pérolles ».

Les paragraphes suivants présentent les variations mensuelles observées au point Passerelle.

En juin 2016, les concentrations mesurées à la Passerelle sont relativement basses et inférieures à la limite de l'OFEV (2010). La boîte MES de Juin 2016 intègre la période du 10.05.2016 au 22.06.2016. Or pendant cette période, la somme des précipitations intégrées sur 10 minutes dépasse souvent (au moins 10 x) 1 mm, comme illustré à la figure suivante.

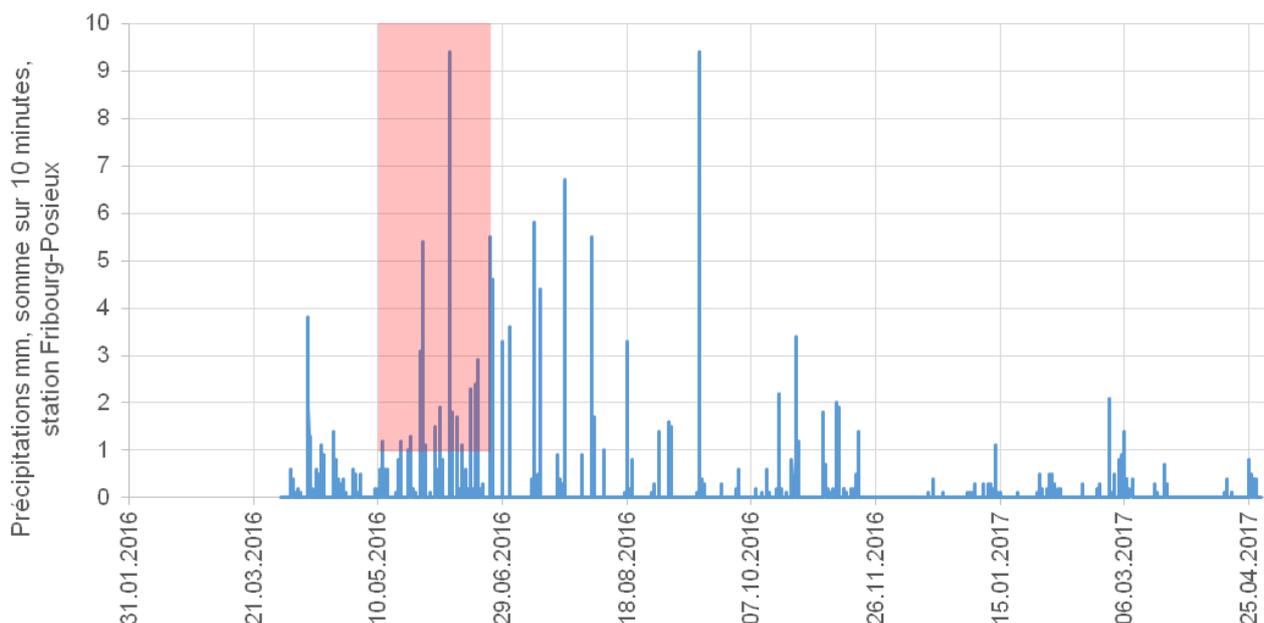


Figure 2-16 Précipitations mesurées à proximité de la décharge (Fribourg-Posieux) mesurées chaque 10 minutes, entre avril 2016 et avril 2017. Mise en évidence (rouge) de la période du 10.05.2016 au 22.06.2016.

Les débits dans la Sarine dépassent aussi fréquemment (minimum 4 fois) 40 m<sup>3</sup>/s à l'Amont de la décharge entre la mi-mai et la fin juin (voir Figure 1-3). Une explication possible pour la faible concentration mesurée en Juin 2016 est donc la présence d'épisodes de crues accompagnées de pluies, causant une dilution avec l'eau/les particules du bassin versant et/ou de l'Amont peu chargées en PCB.

A la Passerelle les PCB, ne sont pas détectés en novembre 2016. Il convient de noter :

- 1) qu'une forte odeur de purin se dégageait des échantillons au moment de l'échantillonnage
- 2) que les masses de MES récoltées étaient importantes comparativement aux autres périodes. Une dilution par des apports de sols agricoles environnants pourrait donc expliquer le résultat de novembre.

Les concentrations en PCB les plus élevées sont mesurées au point Passerelle en Septembre (19.08.16-13.09.16), Octobre (13.09.16-18.10.16), Mars (07.02.17-04.03.2017) et Avril (04.03.17- 08.04.17). Il n'est pas exclu qu'un effet saisonnier explique ces observations. Comme illustré à la figure suivante, la température de l'eau à la station Passerelle est à son maximum entre mi-août et mi-octobre 2016.

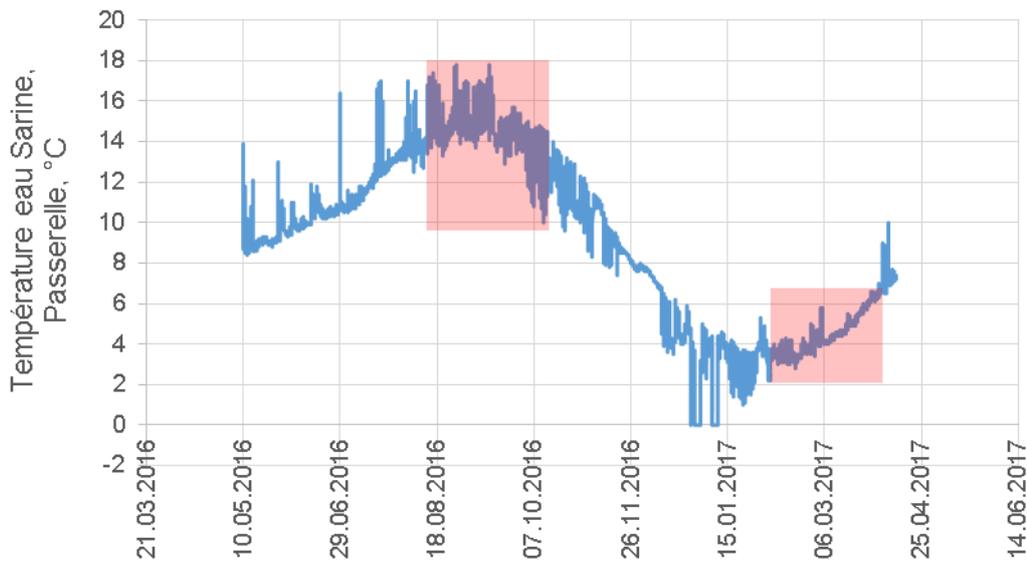
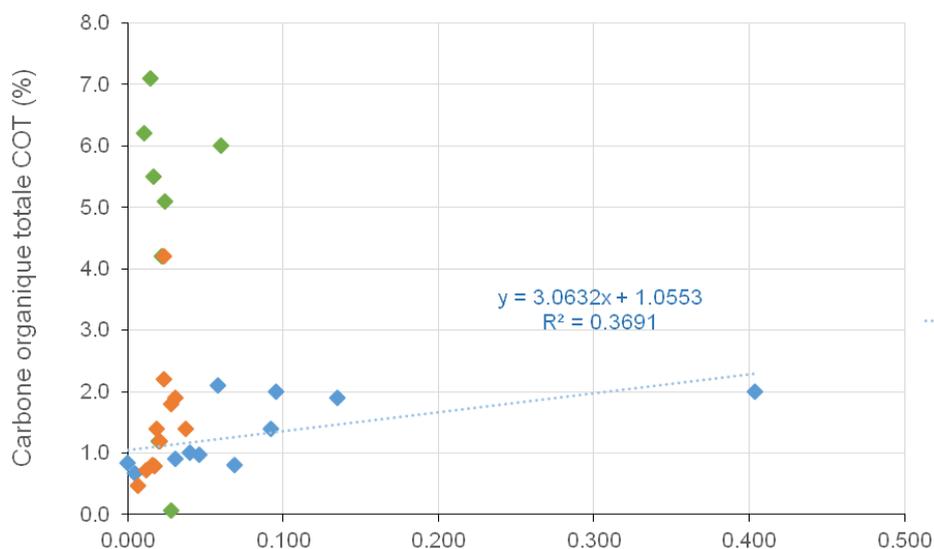


Figure 2-17 Température de l'eau de la Sarine à la station Passerelle, mesurée en continu entre mai 2016 et avril 2017. Mise en évidence (couleur rouge) des périodes Septembre 2016 (19.08-16-13.09.16), Octobre 2016 (13.09.16-18.10.16) et Avril 2017 (04.03.17– 08.04.17)

Les températures relativement élevées de mi-août à mi-octobre pourraient favoriser la production primaire (ex. bryophytes) et la présence de biofilm, lesquels permettraient une adsorption du PCB et le relargage de celui-ci sous forme de MES. Par contre, en avril, la température est nettement plus basse ; dans ce cas, la concentration élevée en PCB serait plutôt expliquée par le charriage de sédiments voire de déchets issus du tronçon Pila-Gérine.

Il ne semble toutefois pas y avoir de relation linéaire claire entre le carbone organique total et la concentration en PCB dans les MES récoltées à la Passerelle, tel qu'illustré sur la figure suivante.



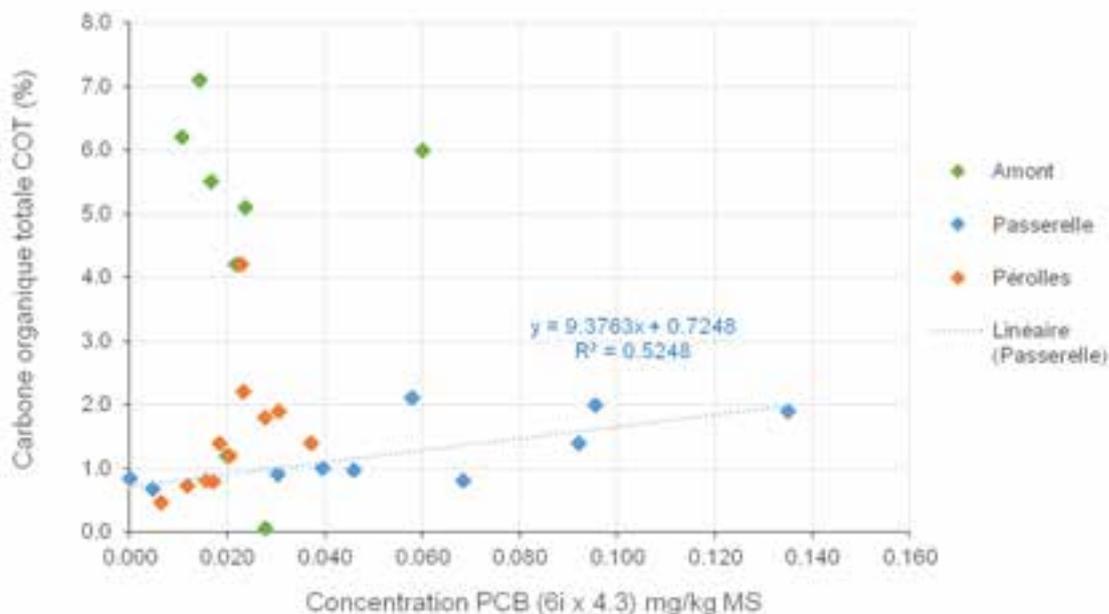


Figure 2-18 Faible corrélation mise en évidence entre le PCB et le COT mesuré dans les MES « en temps normal » en incluant toutes les valeurs (haut) et en excluant la valeur d'Avril 2017 (bas).

En excluant l'échantillon d'avril 2017 (0.4 mg/kg), une relation linéaire plus claire apparaît (au bas de la figure ci-dessus). Bien que plausible, l'hypothèse de la production primaire et de la présence accrue de biofilm n'est pas suffisante pour expliquer toutes les valeurs hautes en Septembre, Octobre, Mars et Avril. L'échantillon d'Avril 2017 pourrait, par exemple, contenir des particules de condensateurs, ce qui expliquerait à la fois son contenu relativement élevé en PCB et son contenu relativement faible en COT.

### 2.2.3.2 En temps de crue

Les résultats bruts des concentrations en PCB et en COT mesurées dans les échantillons de MES prélevées régulièrement durant la crue artificielle de septembre 2016 figurent en Annexes 2.2.3.2 - 1 *MES composites crue (rapports laboratoires EMPA et Wessling)* et 2.2.3.2 - 2 *MES crue calibrations NTU mgL (mesures CSD)*. Pour rappel, les données en temps normal sont issues des boîtes MES (sous-chapitre précédent) alors que les données en temps de crue proviennent d'échantillons ponctuels.

Comme représenté sur la figure ci-dessous, les concentrations en PCB mesurées dans les MES en temps de crue (0.01 à 0.02 mg/kg en unités 6i x 4.3) sont comparables en ordre de grandeur aux concentrations en PCB mesurées dans les MES en temps normal.

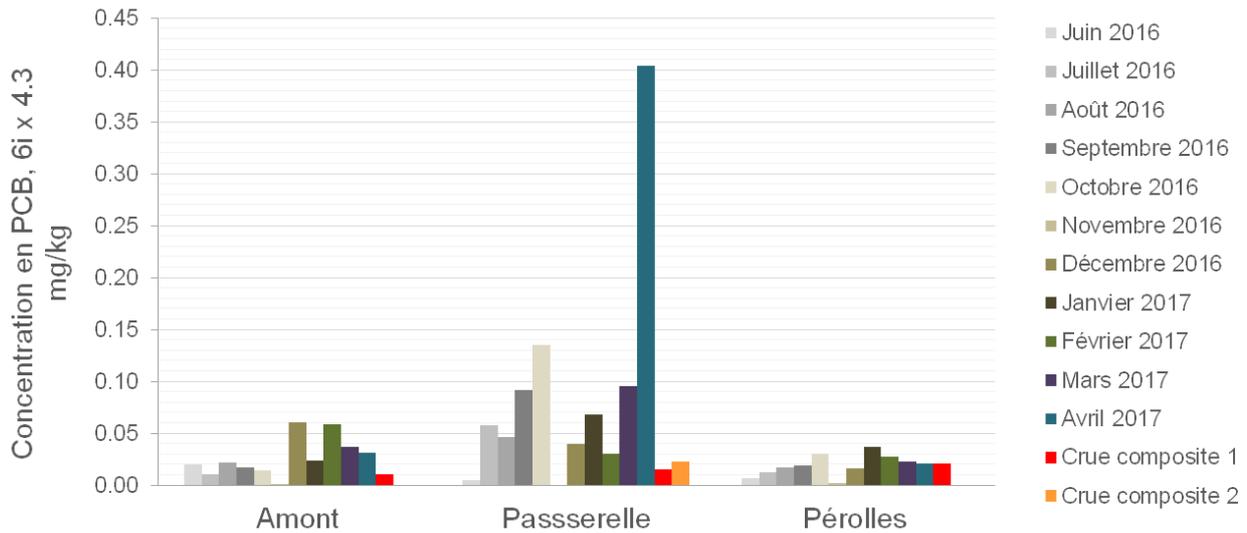


Figure 2-19 Concentration en PCB dans les MES « en temps normal » versus « pendant la crue » (rouge et orange)

Le tableau ci-dessous présente les concentrations moyennes en PCB et en COT observées en temps normal (boîte MES) et en temps de crue (échantillons ponctuels).

Tableau 2-2 Concentrations en PCB et en COT dans les MES « en temps normal » (gris) versus « en temps de crue » (rouge)

<b>PCB-MES conc. moyennes mg/kg somme 6 x 4.3</b>				
Temps	Amont	Passe	Pérolles	Moyenne
Normal	0.03	0.09	0.02	0.04
Crue	0.01	0.01	0.02	0.02
<b>COT-MES conc. moyennes %</b>				
Temps	Amont	Passe	Pérolles	Moyenne
Normal	5.6	1.3	1.5	2.8
Crue	4.1	4.0	3.0	3.7

En moyenne, la concentration en PCB dans les MES est légèrement plus basse en temps de crue qu'en temps normal. Pour ce qui est du COT, c'est plutôt l'inverse qui peut être observé : c'est-à-dire que la concentration est plus élevée en temps de crue qu'en temps normal.

Les échantillons ponctuels obtenus pendant la crue artificielle ont aussi permis d'effectuer des mesures parallèles de turbidité (NTU) et de quantité de matière en suspension (mg/L). Ces mesures sont présentées en détail dans l'Annexe 2.2.3.2 - 2 MES crue calibrations NTU mg/L. Il existe clairement une relation linéaire significative entre les NTU et les mg/L mesurés dans les eaux de la Sarine pendant la crue artificielle de septembre 2016. Les coefficients de corrélation ( $R^2$ ) des trois relations retenues sont compris entre 0.7159 et 0.9488. Ces relations linéaires seront utilisées ultérieurement (Chapitre 4) pour calculer des quantités de matière en suspension transitant mensuellement et annuellement dans la Sarine.

## 2.3 Eau

### 2.3.1 Historique et objectif

Entre 2010 et 2016, la pose et l'analyse de capteurs passifs a été la méthode la plus utilisée pour la détermination de la concentration en PCB dans l'eau de la Sarine. Selon l'OFEV (2016), les capteurs passifs en PDMS sont simples à mettre en place et permettent de déterminer de manière fiable des concentrations moyennes en PCB dans les cours d'eau sur une longue période et sur différents sites<sup>[8]</sup>.

Dès 2010, des concentrations en PCB dans l'eau de la Sarine mesurées à partir de capteurs passifs sont disponibles aux sites Amont, aval immédiat (Pila) et Aval de la décharge (voir Figure 2-22). Bien que les capteurs passifs aient été exposés en 2010 sur des périodes relativement longues (3 et 5 semaines), il est possible de normaliser ces résultats sur 2 semaines, afin de correspondre aux durées d'exposition des années suivantes. Afin de comparer les résultats de 2010 avec ceux des années suivantes, cette normalisation a été faite et est présentée sur la figure suivante.

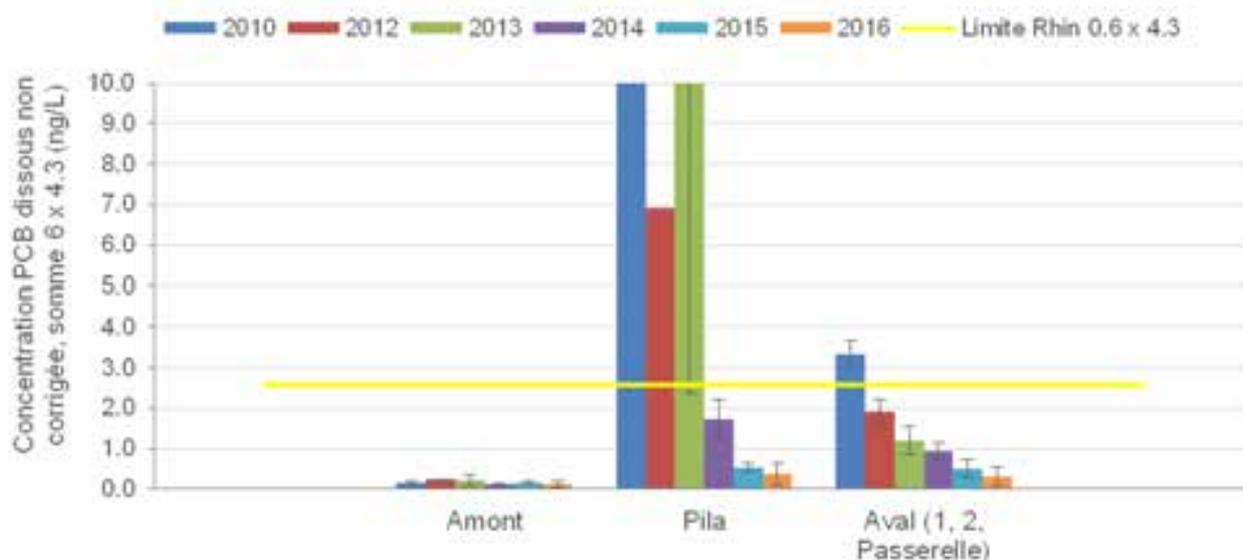


Figure 2-20 Évolution temporelle des concentrations en PCB dissous (moyennes annuelles) déterminées à partir des capteurs passifs entre 2010 et 2016. Les concentrations Pila mesurées en 2010 et en 2013 (non-illustrées) sont égales à 565 et 19 ng/L respectivement. La barre d'erreur est l'écart type de la moyenne annuelle. Toutes les concentrations sont calculées sans correction, en assumant un taux de collecte unique et constant de 18 L/jour. Les détails de calculs ng/kg PDMS → ng/L se trouvent en Annexe 2.3.3.1 - 2 PCB dissous Conversion des unités.

Malgré la normalisation, l'année 2010 atteint des records historiques en termes de PCB dissous au site Pila, avec une concentration de 565 ng/L pour la somme des 6 x 4.3 (non-illustrée), équivalant à plus de 100 x les concentrations trouvées en 2016 sur le même site. À titre de comparaison, l'OFEV mentionne que la valeur 0.1 ng/L par congénère développée par la Commission Internationale pour la Protection du Rhin (CIPR) « peut servir de grandeur indicative pour l'évaluation de la pollution des eaux par des i-PCB »<sup>[3]</sup>. Cette valeur indicative du CIPR, illustrée par une ligne jaune continue sur la figure suivante, correspond à 0.6 x 4.3 ou 2.58 ng/L en unités somme des 6 x 4.3. La valeur de 565 ng/L mesurée au site Pila en 2010 correspond donc à plus de 200 fois la valeur indicative de 2.58 ng/L.

Une diffusion du PCB depuis les déchets dans l'eau pourrait expliquer cette valeur élevée. Deux capteurs passifs avaient été installés sur une même tige en novembre 2010 sur le site Pila; l'un étant plus proche des sédiments que l'autre. Une concentration en PCB beaucoup plus élevée avait été mesurée sur le capteur

placé près des sédiments (11'071'104 ng/kg PDMS, somme des 6 x 4.3) comparativement à celui placé au-dessus (56'055 ng/kg PDMS, somme 6 x 4.3).

De 2012 à 2016, des campagnes de capteurs passifs ont eu lieu chaque année sur les trois sites Amont, Aval immédiat (Pila) et Aval de la décharge. Au site Pila, les concentrations en PCB dissous demeurent relativement élevées et dépassent la valeur indicative de 2.58 ng/L en 2012 et en 2013. Dès 2014 c'est-à-dire après les travaux d'excavation de 2013, les concentrations de PCB dissous tombent sous la valeur indicative de 2.58 ng/L au site Pila. Aux sites Aval, les concentrations en PCB diminuent aussi significativement entre 2012 et 2016. Ces diminutions sont liées aux mesures préliminaires à l'assainissement, en particulier l'excavation des matériaux sous le niveau des basses eaux. Le schéma suivant illustre les différentes campagnes de capteurs passifs de 2012 à 2016, se déroulant en parallèle à la réalisation des travaux liés aux mesures préliminaires à l'assainissement (en rouge).

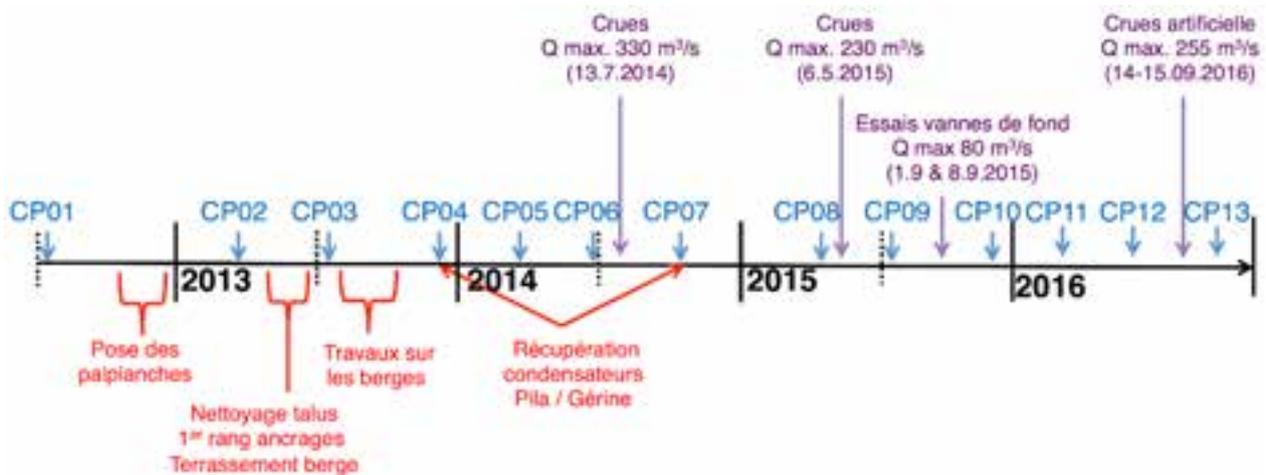


Figure 2-21 Schéma illustrant la période d'exposition des capteurs passifs (en bleu), les mesures préliminaires à l'assainissement de la Pila (en rouge) et les événements de débits élevés dans la Sarine (en violet)

Trois crues ayant eu lieu entre 2014 et 2016 sont indiquées en violet dans le schéma ci-dessus. À ces trois événements s'ajoutent les événements de mai et de juin 2016 présentés précédemment (voir Figure 1-3). Lors des crues et d'autres événements exceptionnels, les débits élevés à l'aval de la Pila ( $> 200 \text{ m}^3/\text{s}$ ) peuvent engendrer une remise en suspension des sédiments pollués et des déchets se trouvant concentrés sur le secteur Pila-Gérine. L'eau de la Sarine pourrait ainsi jouer un rôle de vecteur de PCB (particulaire et dissous) lors d'événements de crue.

Sur la base de ces observations, les questions principales qui se posent dans la cadre de la réalisation des mesures complémentaires sont les suivantes : « Quelles sont les concentrations en PCB dans l'eau de la Sarine pour les secteurs Gérine-Lac et Lac Pérolles ? Sont-elles problématiques si l'on se réfère à la valeur indicative existante (CIPR)? Les concentrations en PCB dissous augmentent-elles en temps de crue ? Est-ce que l'eau peut servir de vecteur de contamination pour la truite et si oui, dans quelle mesure ? ». Il est essentiel de répondre à ces questions afin d'atteindre les objectifs suivants:

- Établir un État 0 décrivant la situation actuelle de la Sarine, avant assainissement de la décharge. Plus particulièrement, évaluer systématiquement le niveau de pollution des secteurs Pila-Gérine, Gérine-Lac et Lac Pérolles avec une méthode (capteurs passifs) et une valeur de référence (CIPR) fixe.
- Évaluer l'influence d'une crue sur les concentrations en PCB dissous de l'eau de la Sarine.

- Comprendre la ou les voies de contamination de la truite, tout d'abord en émettant l'hypothèse que seule la bioconcentration eau → truite explique la contamination actuelle.

## 2.3.2 Méthodes d'échantillonnage et d'analyse

En Novembre 2015, en Mai 2016 et en Août 2016, des capteurs passifs ont été installés sur 11 sites dans la Gérine, dans la Glâne et dans la Sarine, entre l'Amont de la Pila et l'aval du barrage de la Maigrauge (voir figure ci-dessous). Ces 11 sites incluent 5 sites standards, c'est-à-dire soumis à un monitoring annuel dans la Sarine depuis 2010 (couleur violet). En Novembre 2016, seuls les 5 sites standards ont été investigués.

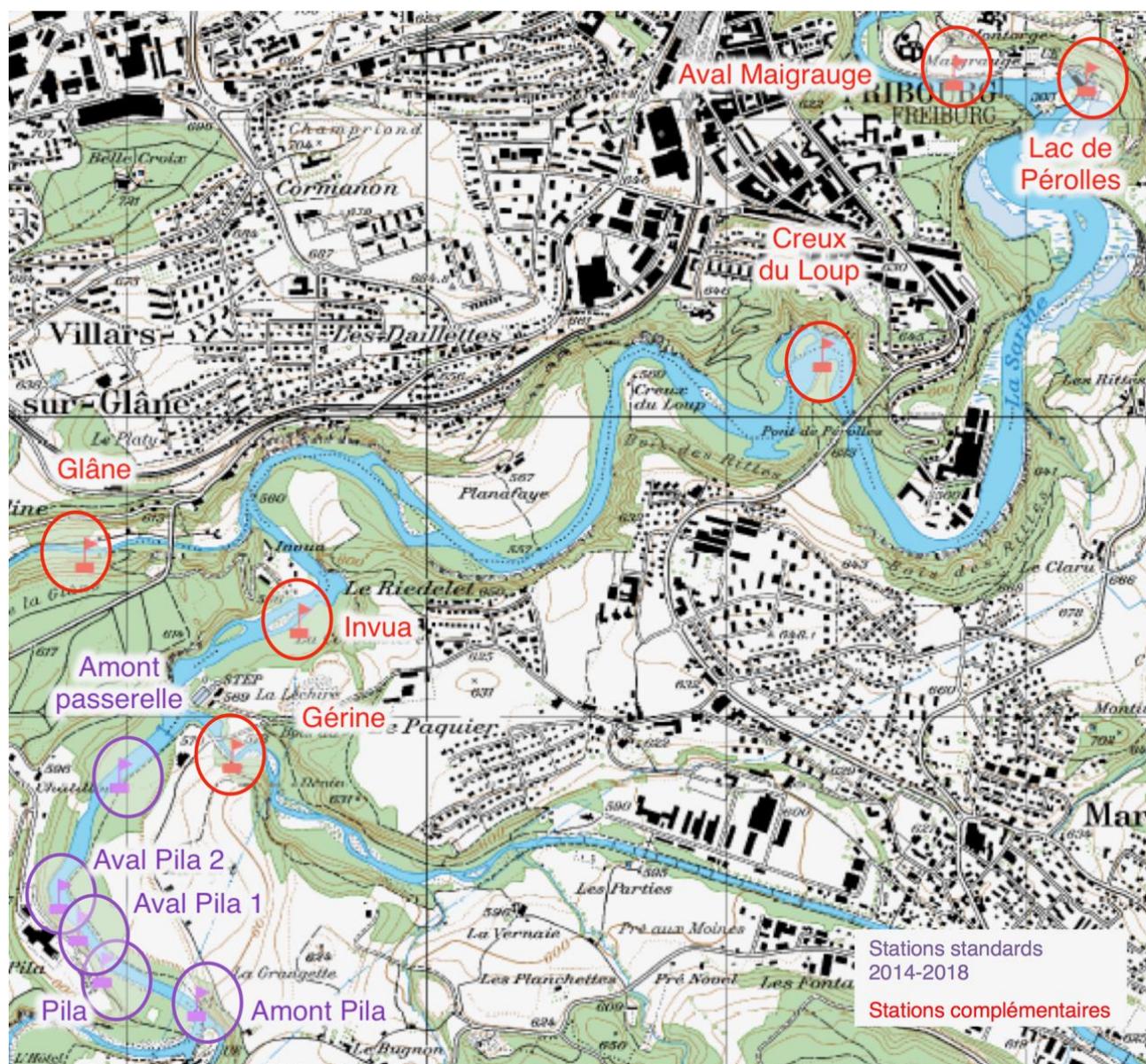


Figure 2-22 Capteurs passifs – carte des sites d'échantillonnage standards (en violet) et complémentaires (en rouge)

Les capteurs passifs, composés d'une membrane de *polymethylsiloxan* (PDMS), ont été placés sur un support métallique enfoncé dans les sédiments, à environ 20 cm au-dessus de l'interface eau-sédiment. Sur chaque site, 2 capteurs, séparés par une distance d'environ 1 mètre, ont été installés. Un piquet en acier a été planté profondément dans les sédiments à environ 50 cm en amont des capteurs, puis attaché aux supports métalliques des capteurs. Ces piquets assurent d'une part la stabilité physique des capteurs et les protègent d'une accumulation de débris et de biofilm.

Tous les capteurs ont été exposés 2 semaines dans la Sarine, mis à part 9 capteurs installés en novembre 2015 et exposés pendant 4 semaines. Ces derniers ont été normalisés sur 2 semaines pour permettre une comparaison. Lors du retrait des capteurs de la Sarine, le biofilm (algues, etc.) présent sur le capteur a été enlevé.

Les capteurs passifs ont été envoyés au laboratoire de l'EMPA pour analyses des 6 i-PCB et des 12 dl-PCB. Les PCB ont été extraits du capteur avec des solvants organiques (méthanol, hexane), purifiés (avec du gel silice) et quantifiés par chromatographie gazeuse couplée à un spectromètre de masse haute résolution (HRGC/HRMS). Pour des détails concernant la méthode d'analyse de l'EMPA, consulter le rapport Novembre 2015 de l'Annexe 2.3.3.1 - 1 *Capteurs passifs Rapports EMPA Nov.2015 à Nov.2016*.

Les conditions auxquelles sont soumis les capteurs passifs sont différentes entre les sites Pila, Gérine, Glâne et Lac Pérolles, notamment en termes de vitesse de courant. Pour comparer les concentrations en PCB sur ces différents sites, des facteurs de correction développés par l'EMPA (entre 0.9 et 6 basé sur la perte de composés dans les capteurs marqués avec des PRC « composés de référence ») ont donc été appliqués. Ensuite, pour convertir les unités ng/kg PDMS en unités ng/L, la masse du capteur passif est de 40 g PDMS et l'intervalle du taux d'échantillonnage (unités volume d'eau Sarine/temps) a été considéré entre 8 et 18 L/jour. Pour des détails concernant les facteurs de corrections et les taux d'échantillonnage, voir l'Annexe 4 ainsi que les Annexes 2.3.3.1 – 1 et 2.3.3.1 – 2.

Pendant la crue artificielle de septembre 2016, de l'eau de la Sarine a été prélevée aux points Hauterive/Amont, Passerelle et Pérolles, à l'aide de seaux en plastique d'une contenance de 6 L attachés à des cordes sur un système de poulies. Des volumes de 2.5 L prélevés toutes les 3 heures ont été stockés dans des contenants en verre. 13 de ces échantillons de 2.5 L (4 aux stations Hauterive et Pérolles, 5 à la station Passerelle) ont fait l'objet d'analyses par l'EMPA, ce qui a permis de déterminer la concentration de PCB (ng/L) dans l'eau par extraction (et non pas à l'aide de capteurs passifs). Il faut noter que le point de prélèvement « Hauterive/Amont » en temps de crue n'est pas exactement au même endroit qu'au point « Amont Pila » sur la Figure 2-22. Il se trouve sur le pont menant à l'Abbaye Hauterive, c'est-à-dire à l'amont du point « Amont Pila » sur la Figure 2-22.

## 2.3.3 Résultats et interprétation

### 2.3.3.1 En temps normal

La figure suivante illustre les concentrations obtenues pour chaque campagne d'échantillonnage en 2015 et 2016. La hauteur de la colonne et la barre d'erreur représentent la moyenne et l'écart type des données obtenues à partir des différents capteurs (2 capteurs/campagne) et des différents taux de collecte (8, 12, 16 et 18 L/jour) pour les sites échantillonnés sur le cours de la Sarine.

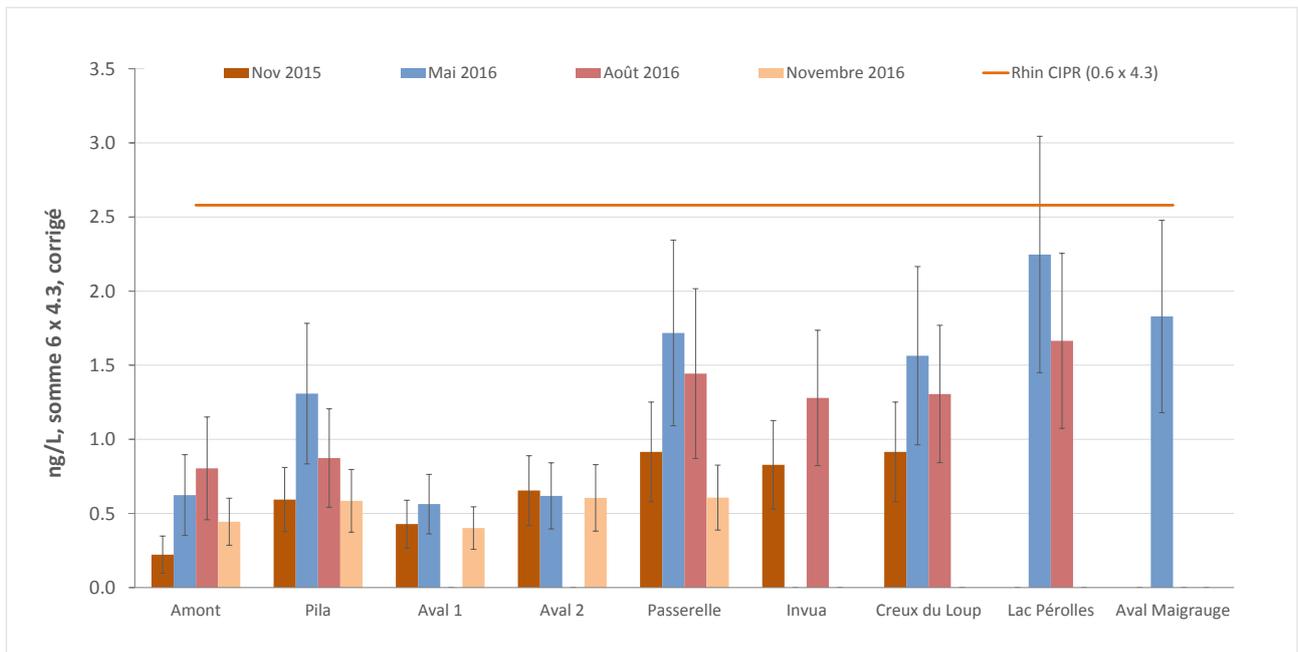


Figure 2-23 Concentration en PCB dissous mesurées sur 9 sites en novembre 2015, mai 2016, août 2016 et novembre 2016

Dans la figure suivante, une seule valeur représentative de l'année 2016 (moyenne et écart type des mois de Mai, Août et Novembre) est illustrée. La barre d'erreur représente uniquement l'écart type sur les résultats moyens de 2016 présentés dans la figure précédente et non l'incertitude sur les résultats ; c'est pourquoi aucune barre d'erreur n'est représentée pour les sites avec une seule campagne de mesures disponible (voir également § 9 Expression des incertitudes et analyse critique des résultats, chap. 2.5).

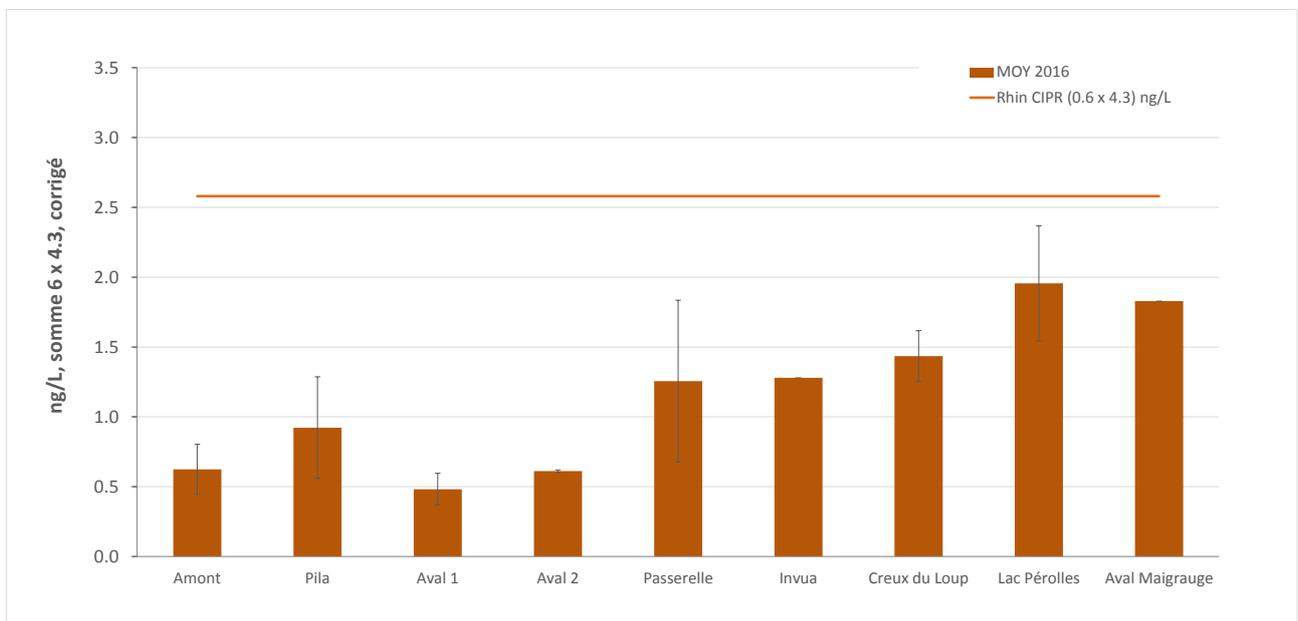


Figure 2-24 Concentrations moyennes en PCB dissous sur 9 sites en 2016, pour les campagnes de Mai, Août et Novembre

A partir du site Passerelle, à l'aval du tronçon Pila-Gérine, on note des concentrations en PCB légèrement plus élevées qu'en amont. En plus de l'influence des sédiments pollués du tronçon Pila-Gérine et de la Glâne selon les résultats de 2016 (voir Annexes 2.3.3.1 – 1 et 2), il n'est pas exclu que des apports urbains (eaux de ruissellement, réseaux d'eaux claires, évent. déversements d'eaux usées) entrent en ligne de compte. De plus, pour les sites Creux du Loup et Lac Pérolles, les vitesses de courant sont faibles (< 1 m/s)

et les sédiments sont chargés en PCB (> 0.043 mg/kg somme des 6 x 4.3) par endroits, ce qui pourrait favoriser une diffusion du sédiment vers l'eau. En somme, les concentrations légèrement élevées dans le secteur Lac peuvent s'expliquer non seulement par les anciennes influences de la Pila, mais aussi par d'autres apports urbains non identifiés (eaux usées, etc.).

Pour ce qui est du site Pila, la concentration est relativement faible et comparable aux sites Amont, Aval 1 et Aval 2. Cela démontre que l'influence relative du site de la Pila sur la concentration en PCB dissous dans les eaux de surface à l'aval n'est pas significative en 2016. Il faut rappeler qu'en 2010, la concentration en PCB dissous au site Pila était de l'ordre du 500 ng/L, c'est-à-dire environ 500 fois la concentration en PCB représentée dans la figure précédente.

Comme toutes les valeurs de concentration mesurées dans la Sarine se situent sous la valeur indicative de la CIPR (2.58 ng/L), il n'y a pas de distinction claire entre les différents secteurs (Pila-Gérine, Gérine-Lac et Lac) en termes de niveau de contamination en PCB dissous dans l'eau. Toutes les concentrations mesurées dans la Sarine en 2016 peuvent être jugées «satisfaisantes», du moins sur la base de la valeur CIPR de 2.58 ng/L mentionnée à titre indicatif dans les figures précédentes.

Des concentrations ont également été calculées pour les affluents Gérine et Glâne (voir Annexes 2.3.3.1 – 1 et 2.3.3.1 – 2) dans le but d'estimer des flux de PCB et de comparer les sites de la zone d'étude entre eux.

Dans la Gérine, les concentrations ainsi calculées en novembre 2015 et mai 2016 sont plus basses que dans la Sarine, ce qui semble confirmer un apport peu important de PCB dissous dans la Sarine.

Dans la Glâne, les concentrations ainsi calculées en novembre 2015, mai et août 2016 sont plus élevées que dans la Sarine, ce qui tend à montrer un apport de PCB dissous par cet affluent. Sur la base de ce premier constat, des investigations complémentaires spécifiques ont été effectuées sur la Glâne, dans le secteur de St- Apolline, en 2017 et 2018. Selon le résumé des derniers résultats transmis par le SEn (email du 24.05.2018), « les teneurs en PCB que l'on peut déduire pour les eaux de la Glâne à partir des concentrations mesurées dans les capteurs passifs sont plus basses que celles figurant dans le présent rapport ».

### 2.3.3.2 En temps de crue

Dans la figure suivante, les concentrations en PCB mesurées ponctuellement dans l'eau de la Sarine pendant la crue (points gris) sont comparées aux concentrations moyennes mesurées à l'aide de capteurs passifs en mai, août et novembre 2016 (points jaunes).

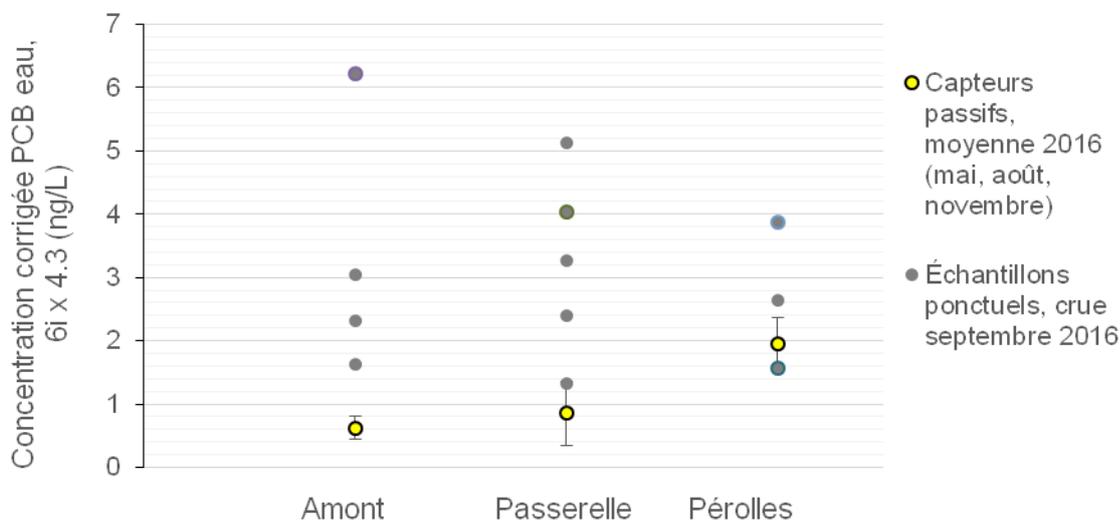


Figure 2-25 Concentration en PCB dissous mesurées « en temps normal » avec les capteurs passifs versus « pendant la crue » sur des échantillons ponctuels. La valeur maximale (22.75 ng/L) mesurée au Lac de Pérolles n'est pas indiquée sur la figure, puisque l'axe des y est coupé à 7 ng/g.

Les valeurs moyennes mesurées en temps normal (jaunes) semblent être légèrement inférieures à l'intervalle des valeurs ponctuelles mesurées pendant la crue (gris).

La valeur ponctuelle maximale (22.8 ng/L, somme 6 x 4.3, non indiquée sur la figure) est mesurée au site Pérolles, en fin de crue le 15.09.2016. La deuxième valeur ponctuelle la plus élevée (6.2 ng/L) est mesurée au site Amont le 14.09.2016. Ces valeurs extrêmes mettent en évidence l'irrégularité temporelle des concentrations en PCB dissous en temps de crue et sont également susceptibles de refléter la méthode d'échantillonnage (volume 2.5 L en l'espace de quelques minutes), qui au contraire des capteurs passifs n'intègre pas le PCB dissous sur une longue période.

La concentration élevée mesurée à Pérolles pourrait également s'expliquer par les apports de sédiments pollués du secteur Pila-Gérine pouvant notamment contenir des déchets de condensateurs. En ce qui concerne la concentration élevée mesurée à l'Amont (6.2 ng/L), une explication possible est la remise en suspension de sédiment/sols anciens affectés par des sources diffuses de PCB telles que les dépositions atmosphériques.

### 2.3.3.3 Facteur de bioconcentration

Les concentrations en PCB mesurées dans l'eau de la Sarine en 2016 peuvent être utilisées pour estimer la concentration PCB TEQ05 retrouvée dans la truite, en supposant un facteur de bioconcentration (eau → truite) de 100'000 tiré des rapports de l'OFEV (2010, 2016)<sup>[3][8]</sup>. Les concentrations moyennes de PCB dissous par secteur (somme des 6 ng/L) sont d'abord calculées, puis multipliées par 100'000 pour donner une estimation de la concentration de PCB dans les truites en unités somme des 6 ng/kg ou pg/g. Ces valeurs sont ensuite divisées par 12'500 pour obtenir des unités TEQ98 (selon la table de conversion de l'OFEV (2010)<sup>[3]</sup>), puis multipliées par 0.8125 (6.5/8) pour obtenir des unités TEQ05 pg/g. Dans le tableau suivant, les résultats attendus sur les truites en considérant les concentrations de PCB dissous mesurées (*Truite estimée*) sont affichés.

Tableau 2-3 Estimations de concentrations en PCB dans les truites de la Sarine à partir des concentrations en PCB dissous mesurées et d'un facteur de bioconcentration de 100'000

Secteur	Eau mesurée entre Nov.2015 et Nov.2016, moyenne sur secteur ng/L, somme 6 x 4.3, corrigée	Truite estimée*,** TEQ05 pg/g	Truite mesurée en 2016, moyenne sur secteur TEQ05 pg/g	Ratio mesurée / estimée
Pila-Gérine***	0.81	1.2	8.1	7
Gérine-Lac	1.18	1.8	2.5	1
Lac Pérolles	1.30	2.0	3.8	2

\*iPCB/12'500 = TEQ98 selon OFEV(2010)

\*\*TEQ05 = TEQ98 x 0.8125 (6.5/8)

\*\*\* Capteur site Pila inclus

Les valeurs estimées (*Truite estimée*) peuvent être comparées aux valeurs mesurées dans les truites en 2016. Pour calculer la valeur « *Truite mesurée* » dans le tableau ci-dessus, les truites sont regroupées par secteur et seuls les individus âgés d'un ou de deux ans sont utilisés, pour assurer une exposition représentative à l'eau en 2016. Le ratio mesurée/estimée (dernière colonne du tableau ci-dessus)

représente le ratio « *Truite mesurée / Truite estimée* ». Ces ratios sont supérieurs ou égaux à 1, signifiant que les valeurs mesurées sont égales (tronçon Gérine-Lac) ou supérieures (tronçons Pila-Gérine, Lac Péroilles) aux valeurs estimées.

Sur les tronçons Pila-Gérine et Lac Péroilles, d'autres facteurs que la bioconcentration eau → poisson sont susceptibles d'expliquer la contamination au PCB des truites. Cette affirmation vaut surtout pour le secteur Pila-Gérine, où la valeur mesurée correspond à 7 fois la valeur estimée. Bien que la bioconcentration du PCB présent dans l'eau vers le poisson n'est pas exclue comme phénomène de contamination de la truite, il n'est probablement pas le seul phénomène en jeu, ni celui qui explique de façon prépondérante la contamination du poisson pour les tronçons Pila-Gérine et Lac Péroilles.

## 2.4 Gammares

### 2.4.1 Historique et objectifs

Dès 2010, des concentrations en PCB dans les gammares ont été mesurées sur deux sites de prélèvement (Amont et Aval) à proximité de la décharge. Les concentrations en PCB dans les gammares peuvent être comparées au seuil réglementaire de consommation de l'OSEC (2015) et au règlement CE no 1881/2006, qui est de 8 pg/g TEQ98 ou 6.5 pg/g TEQ05<sup>[9][10]</sup>. Au site Aval de la décharge, les concentrations en PCB mesurées dans les gammares étaient supérieures à 6.5 pg/g TEQ05 en août 2010, en octobre 2010 et en juin 2014 (voir figure ci-dessous).

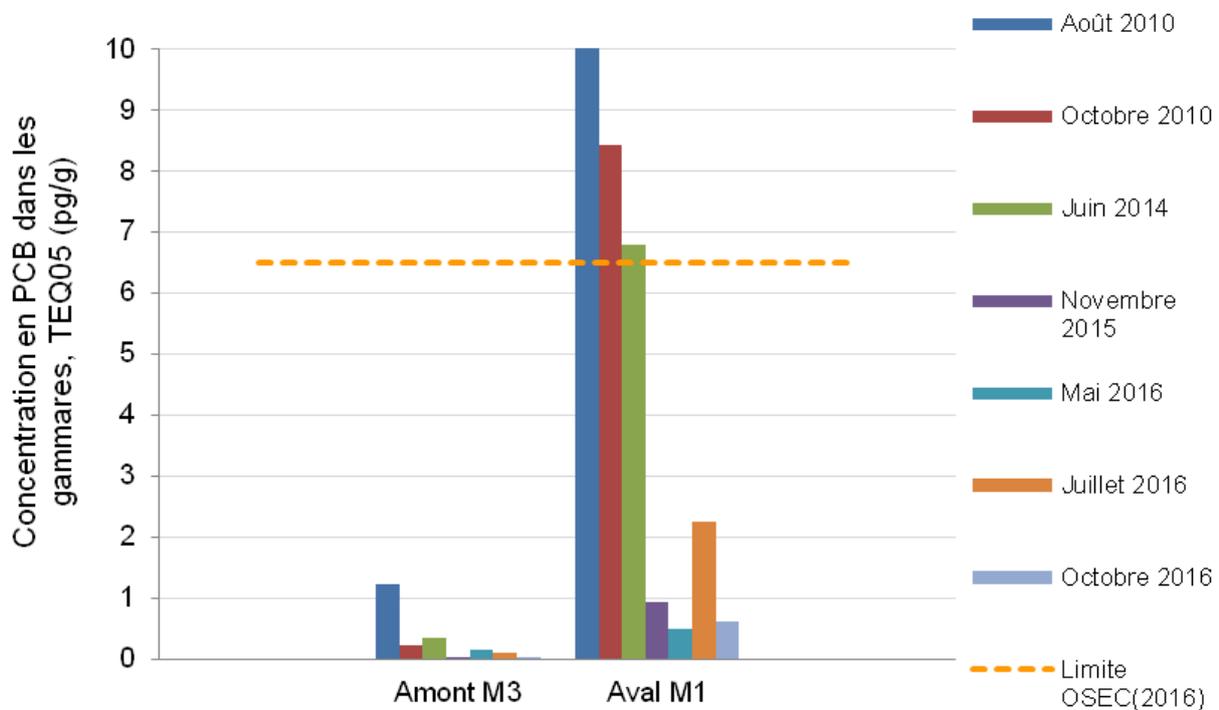


Figure 2-26 Concentration en PCB mesurées dans les gammares entre août 2010 et octobre 2016, sur 2 sites. La concentration en Août 2010 (59.8 pg/g) au site Aval n'est pas affichée puisque l'axe des Y est coupé à 10 pg/g.

Toujours au site Aval de la décharge, la baisse importante de concentration observée entre août 2010 et octobre 2016 (-59.2 pg/g TEQ05) est fort probablement liée à l'excavation de matériaux contaminés du lit mouillé de la Sarine et des berges de la décharge entre 2009 et 2013. Depuis novembre 2015, les concentrations mesurées dans les gammars au site Aval demeurent inférieures à 6.5 pg/g TEQ05.

Les concentrations mesurées sur le site Aval sont toutes plus élevées que celles mesurées sur le site Amont, pour une même période (année, mois). Cette tendance (Aval>Amont) est valable, historiquement, autant pour les gammars que pour l'eau de la Sarine (voir Figure 2-20).

En 2010 et en 2016, les gammars ont été récoltés pendant deux saisons distinctes. En août (été) 2010, les concentrations en PCB mesurés dans les gammars sont plus élevées qu'en octobre (automne) 2010, sur les deux sites. De façon similaire en juillet (été) 2016, les concentrations sont plus élevées qu'en octobre (automne) 2016, mais pour le site Aval M1 uniquement. Il n'est pas exclu qu'un effet saisonnier affecte les valeurs de PCB dans les gammars.

Les analyses réalisées en 2016 dans le cadre des mesures complémentaires visent à tracer un portrait global des concentrations en PCB dans les gammars, non seulement sur les secteurs Amont et Aval de la décharge, mais également sur toute la zone d'étude (secteurs Pila-Gérine, Gérine-Lac et Lac). Elles ont également pour objectif d'investiguer l'influence des sédiments/déchets ainsi que de la saison sur les concentrations en PCB dans les gammars. Les objectifs des mesures de 2016 peuvent être formulés ainsi:

- Établir un État 0 décrivant la situation actuelle de la Sarine, avant assainissement de la décharge. Plus particulièrement, évaluer systématiquement le niveau de pollution des secteurs Pila-Gérine, Gérine-Lac et Lac Pérolles avec une méthode (même nombre d'individus, même saison) et des valeurs de référence fixes.
- Comprendre la ou les voies de contamination des gammars, notamment en tentant d'établir des liens entre la concentration en PCB dans les gammars, leur teneur en lipides, la concentration en PCB dans les sédiments et la température de l'eau.

## 2.4.2 Méthodes d'échantillonnage et d'analyse

En mai et juillet 2016, des gammars ont été récoltés sur 5 sites (M3, M1, M4, M5 et M6). La récolte de gammars en novembre 2016 n'a concerné que 2 sites seulement (M3 et M1), dans le contexte d'un monitoring annuel amorcé en 2014.

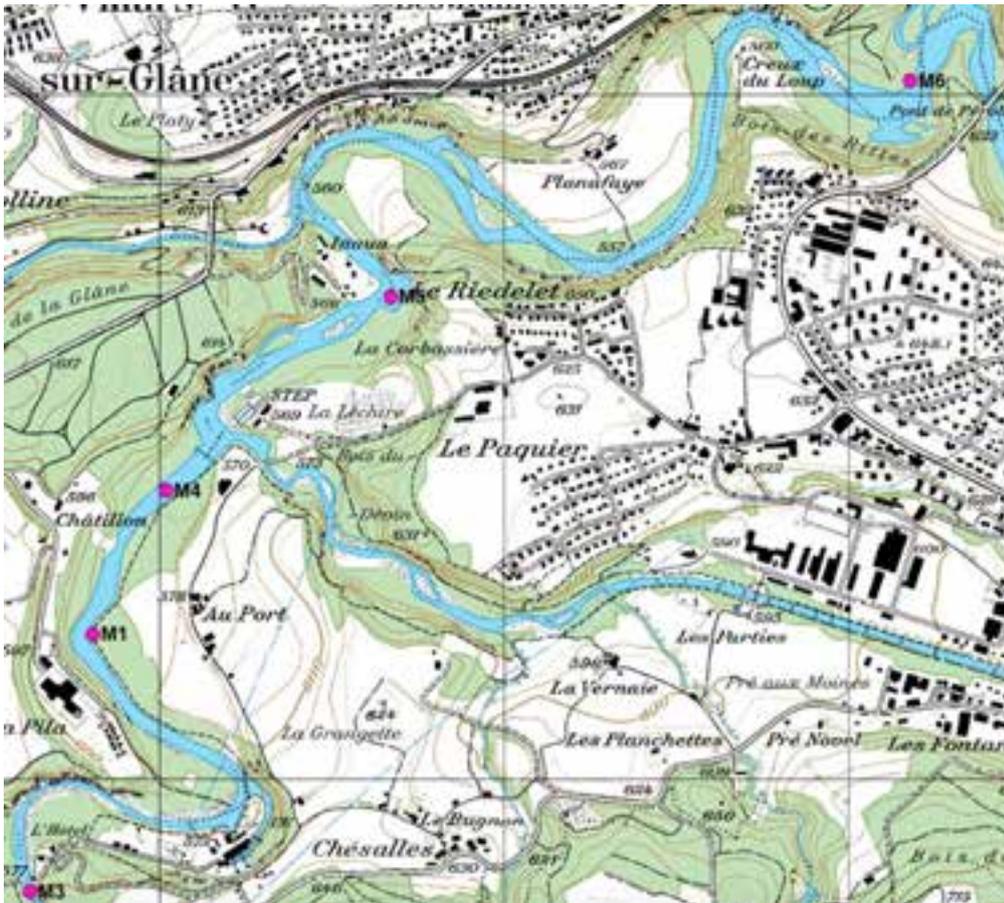


Figure 2-27 Sites de prélèvement des gammares

L'échantillonnage des gammares a été effectué par le bureau Pronat SA. Le benthos a d'abord été capturé à l'aide de filets, puis tamisé sur place avec sélection du genre *Gammarus* uniquement. Environ 400 à 500 grammes de gammares ont été extraits de la Sarine, ce qui représente un grand nombre d'individus (5'000 environ). Après échantillonnage, les gammares ont été placés dans un récipient sans eau et conservés au congélateur (-20°C) jusqu'à la prise en charge par le laboratoire cantonal de Berne pour analyse des 6 i-PCB (28, 52, 101, 138, 153, 180) ainsi que des 12 dl-PCB (81, 77, 123, 118, 114, 105, 126, 167, 156, 157, 169 et 189). Après analyse du PCB, les masses restantes de gammares (environ 200 g poids frais) ont été envoyées aux laboratoires UFAG pour analyse de la teneur en lipides, ceci pour les 10 échantillons prélevés en mai et en juillet 2016 seulement.

Des sédiments ont été échantillonnés en juillet 2016, aux mêmes endroits que les 5 sites de prélèvement de gammares, selon la méthode décrite précédemment pour des sédiments de surface 0-15 cm (voir chapitre 2.1.2). Les analyses (i- et dl-) PCB ont été effectuées sur la fraction < 2 mm dans les laboratoires Wessling.

Des températures de l'eau de la Sarine peuvent être associées aux sites M3 (Amont), M1 (Aval), M4 (Passerelle) et M6 (Pérolles). Ces températures correspondent à la moyenne des valeurs mesurées toutes les dix minutes par une sonde in situ pendant 10 jours, en incluant la date exacte d'échantillonnage des gammares, c'est-à-dire les 11 et 14 mai 2016 (campagne mai 2016), ainsi que les 19 et 20 juillet 2016 (campagne juillet 2016). Des moyennes de température de l'eau de la Sarine ont été calculées entre les 10 et 20 mai 2016 (campagne mai 2016), ainsi qu'entre les 10 et 20 juillet 2016 (campagne juillet 2016).

### 2.4.3 Résultats et interprétation

Les résultats bruts d'analyses PCB et de teneur en lipides des gammarex se retrouvent en Annexe 2.4.3 - 1 *Gammarex et Poissons Résultats d'analyses PCB (Labo Berne) et lipides (Labo UFAG)*, alors que les données de températures provenant de la sonde in situ sont présentées à l'Annexe 2.4.3 - 2 *Température eau Sarine mesurée in situ (sonde)*.

Dans la figure ci-dessous, les concentrations en PCB mesurées dans les gammarex en 2016 sont illustrées. Toutes les concentrations en PCB sont inférieures à 6.5 pg/g TEQ05.

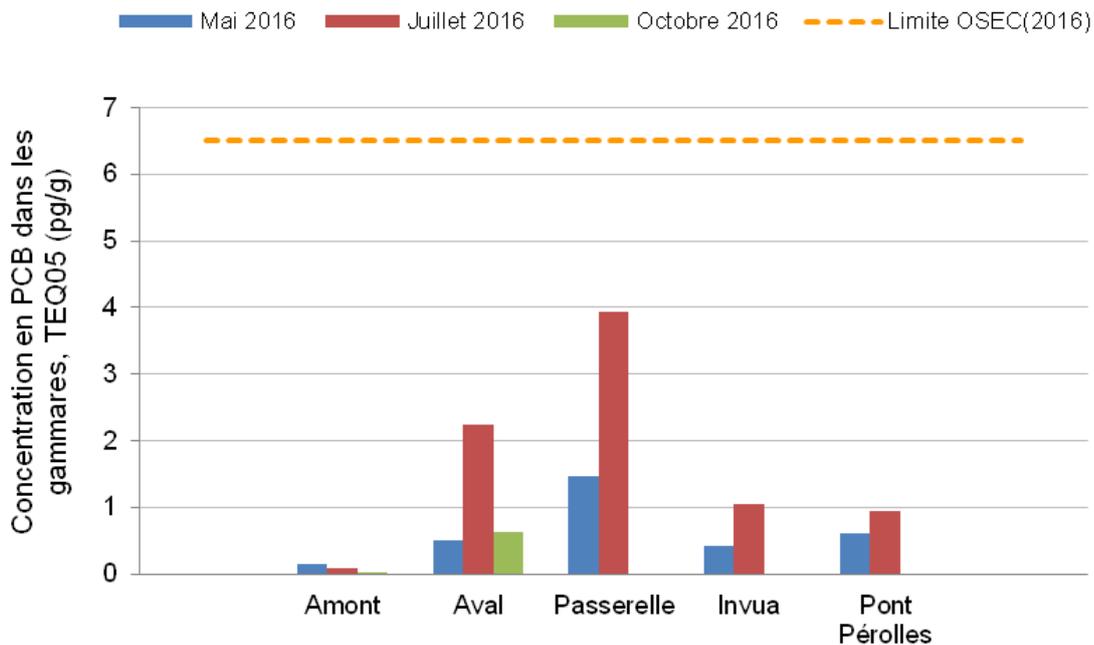


Figure 2-28 Concentration en PCB mesurée dans les gammarex en 2016, sur 5 sites

Le niveau de contamination en PCB des gammarex augmente dans le sens suivant : « Amont < Invua et Péroilles < Passerelle et Aval ».

Les concentrations en PCB mesurées dans les gammarex en mai et en juillet sont plus élevées sur le site Passerelle (1.5 et 3.9 pg/g) que sur le site Aval (0.5 et 2.2 pg/g TEQ05). Ce fait peut s'expliquer par une pollution plus importante des sédiments au site Passerelle. Tel qu'illustré à la figure suivante, la concentration en PCB retrouvée dans les sédiments au site Passerelle (2.9 pg/g TEQ05) en juillet 2016 équivaut à 15 fois la concentration des sédiments au site Aval (0.2 pg/g TEQ05).

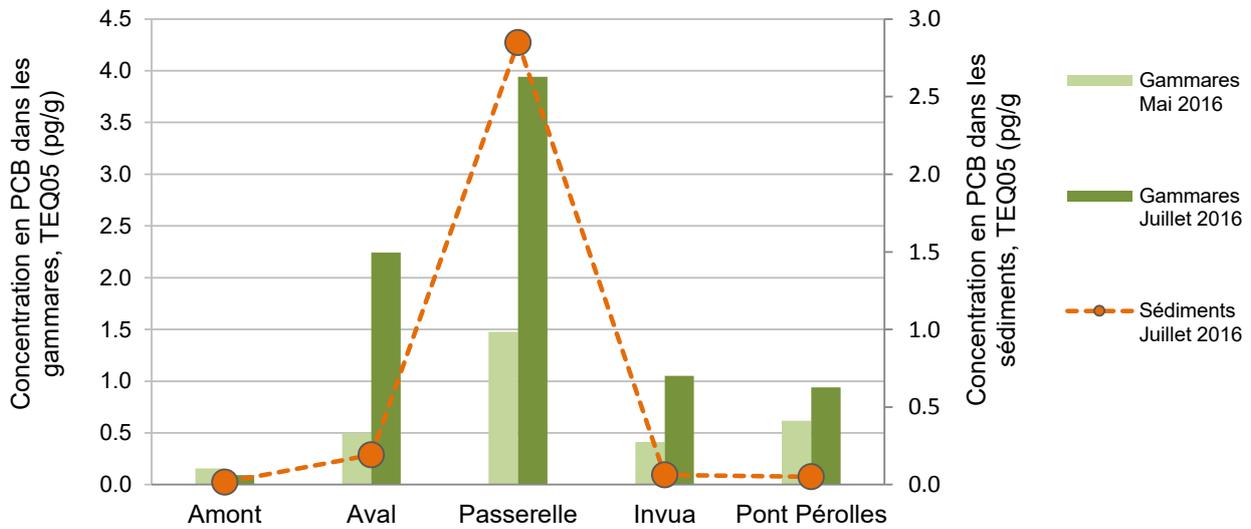


Figure 2-29 Comparaison des concentrations en PCB mesurées dans les gammare et dans les sédiments < 2 mm, sur 5 sites

Des concentrations élevées en PCB sur la fraction < 2 mm des sédiments ont aussi été mesurées à proximité du site Passerelle, par exemple sur les sites S#16 (1.5 mg/kg somme 6 x 4.3) et C#3 (3.4 mg/kg somme 6 x 4.3). De plus, la grande majorité des condensateurs qui ont été retrouvés dans le lit de la Sarine en 2016 l'ont été à proximité du site Passerelle.

Sur tous les sites mis à part le site Amont, les concentrations en PCB retrouvées dans les gammare en Juillet 2016 sont plus élevées qu'en Mai 2016. Une cause possible expliquant cette tendance est l'augmentation de température de mai à juillet, favorisant la diffusion du PCB des déchets/sédiments vers l'eau interstitielle en contact avec les gammare. Comme illustré à la figure suivante, les températures moyennes de l'eau de la Sarine aux sites Aval et Passerelle passent de 9°C en mai à 12°C en juillet. Au site Péroilles, la température passe de 10°C en mai à 13°C en juillet.

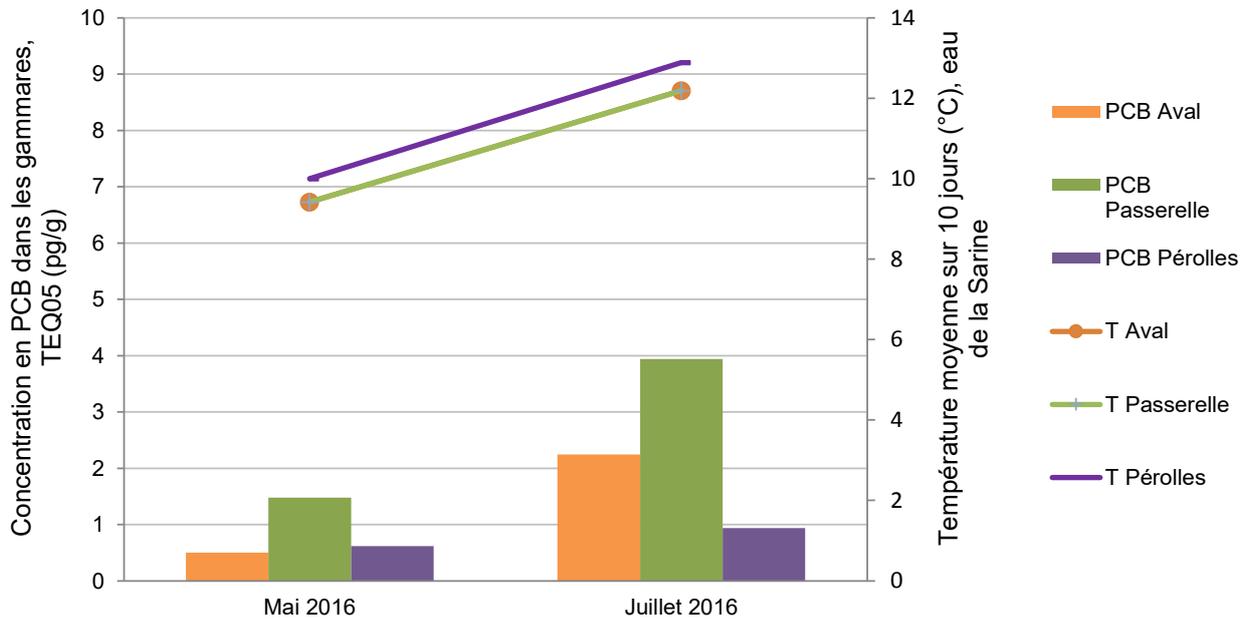


Figure 2-30 Mise en parallèle des paramètres « concentrations en PCB dans les gammars » et « température de l'eau de la Sarine »

Il est donc possible que l'augmentation de la température, comme suggéré précédemment, affecte la concentration en PCB dans les gammars par le biais de la diffusion déchets/ sédiments → eau interstitielle. Sur le site Péroilles, l'augmentation de la concentration en PCB (mai/juillet) est moins marquée que sur les sites Aval et Passerelle, malgré une hausse de la température de l'eau. La présence de déchets sur le secteur Pila-Gérine pourrait expliquer la plus forte sensibilité des sites Aval et Passerelle au facteur « température de l'eau ».

La figure ci-dessous met en évidence qu'aucune relation entre la concentration en PCB dans les gammars et leur contenu en lipides n'est identifiable.

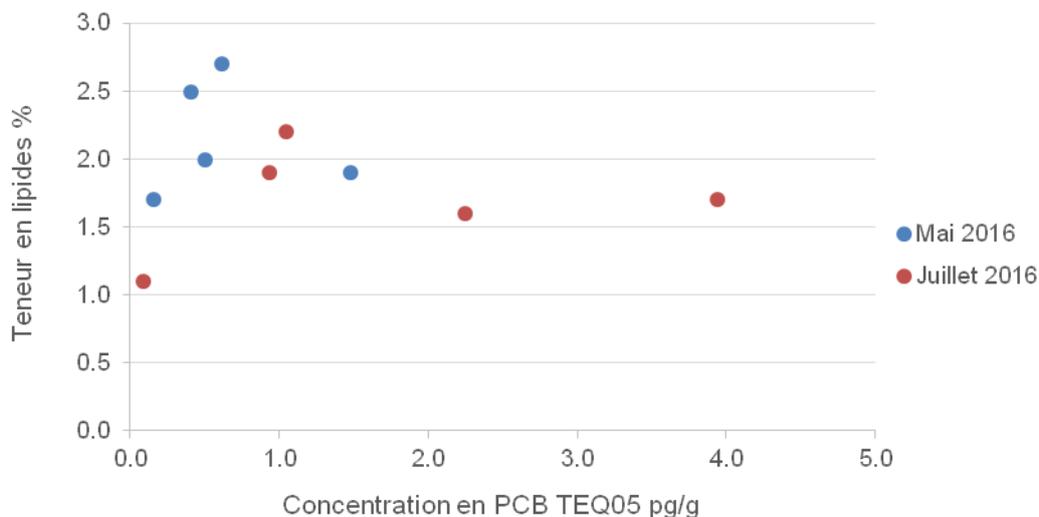


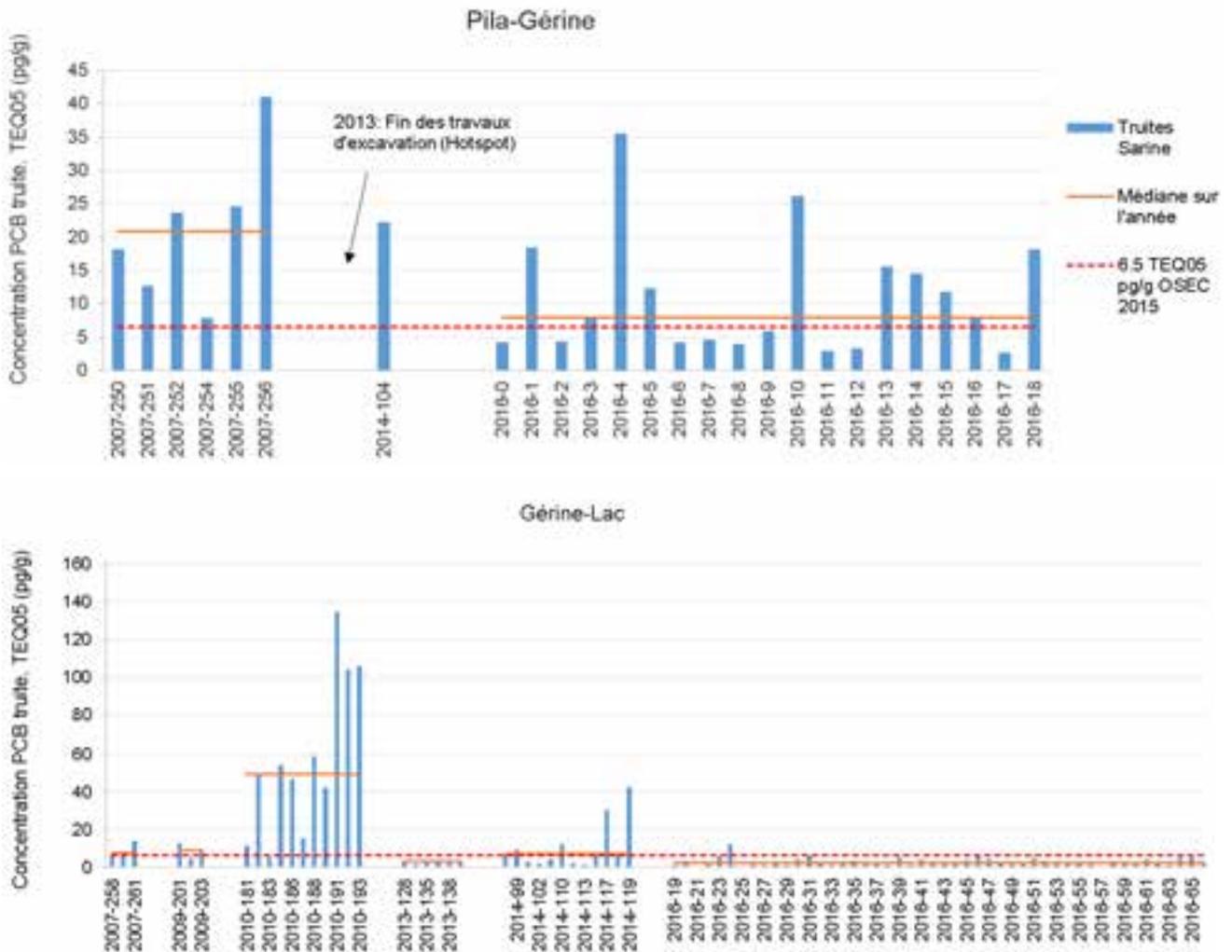
Figure 2-31 Mise en relation entre la concentration en PCB et la teneur en lipides mesurées dans les gammars

Il apparaît donc que d'autres facteurs que le contenu lipidique expliquent la concentration en PCB dans les gammars. La proximité de sédiments/déchets fortement chargés en PCB, telle qu'évoquée précédemment, constitue probablement un facteur important.

## 2.5 Poissons

### 2.5.1 Historique et objectifs

Des analyses de dl-PCB sur des truites pêchées dans la Sarine entre la Pila et le Lac de Pérolles ont été réalisées dès l'année 2007. Les figures ci-dessous présentent les concentrations en PCB mesurées sur les truites entre 2007 et 2016, classées par année et par secteur. Les lignes orange continues représentent les concentrations médianes sur l'ensemble des truites pêchées dans la même année. La ligne rouge discontinue représente le seuil réglementaire de consommation de 8 pg/g TEQ98 (ou 6.5 pg/g TEQ05) selon l'OSEC(2015) et le règlement no.1881/2006 de la Commission Européenne (CE)<sup>[9][10]</sup>.



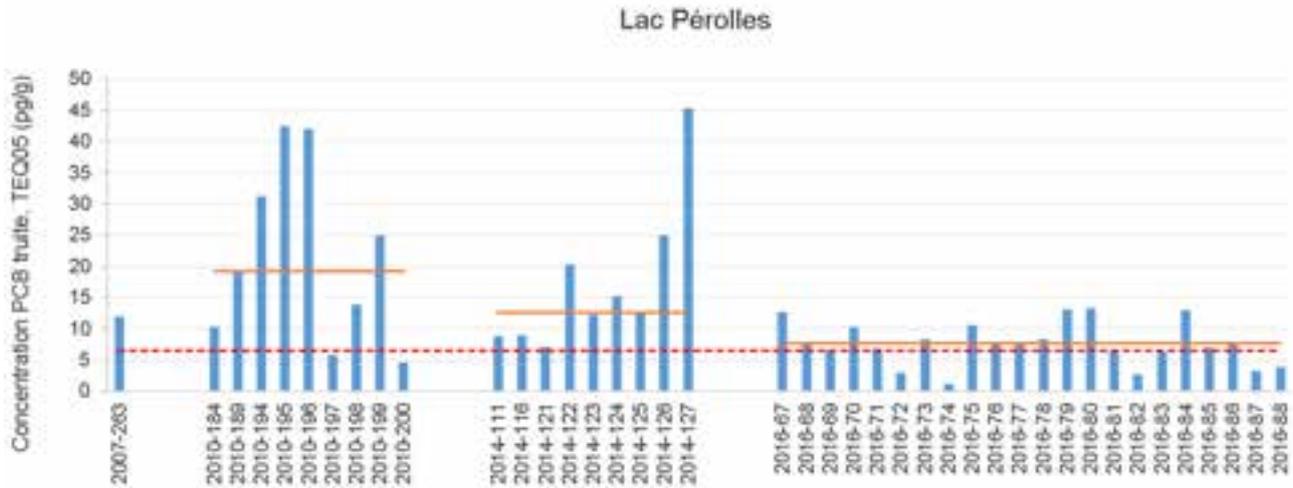


Figure 2-32 Historique des concentrations en PCB mesurées dans les truites de la Sarine entre 2007 et 2016, sur trois tronçons

Les truites n’ont pas fait l’objet d’un monitoring systématique lié à la décharge de la Pila, ce qui implique que certaines années ne sont pas représentées et que le nombre d’individus pêchés par secteur n’est pas constant. Il est toutefois possible de mettre en évidence une baisse des concentrations médianes entre 2010 et 2016 sur les secteurs Gérine-Lac et Lac ; de même qu’entre 2007 et 2016 sur le secteur Pila-Gérine. Cette baisse pourrait être liée à l’extraction de matériaux fortement contaminés sur les berges de la Pila dans le cadre des mesures urgentes et préliminaires à l’assainissement, réalisées entre 2009 et 2013.

Historiquement, les truites les plus contaminées (135, 106, 104 et 59 TEQ05 pg/g) ont été pêchées en 2010 sur le secteur Gérine-Lac. En regardant de plus près et tel qu’illustré à la figure suivante, ces truites ont été pêchées près d’Invua, entre la Gérine et la Glâne.

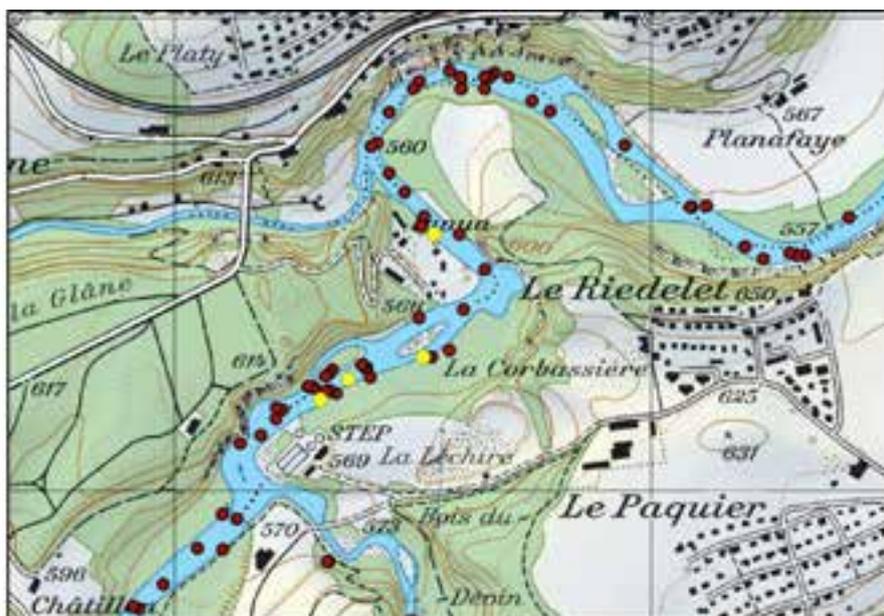


Figure 2-33 Mise en évidence des points d’échantillonnage (points jaunes) associés aux truites les plus contaminées, pêchées en 2010

Comme aucune pêche n'a eu lieu dans le tronçon Pila-Gérine en 2010, il est impossible de comparer les deux secteurs (Pila-Gérine et Gérine-Lac) durant cette période. Il n'est pas à exclure que le tronçon Pila-Gérine était tout aussi pollué à ce moment. Une cause possible des mesures très élevées à Invua en 2010 est le déplacement, par les crues successives d'août 2005 et d'août 2007 (voir Figure 1-2), de déchets/sédiments depuis la décharge ou depuis le secteur Pila-Gérine.

En 2007 et en 2008, une pratique courante dans le cadre des pêches et d'analyses des dl-PCB consistait à grouper plusieurs poissons pour former un échantillon composite, ayant un poids généralement supérieur à 300 g. Le désavantage de cette approche était la perte d'informations pertinentes pour l'interprétation des concentrations en PCB telles que la longueur, le poids et l'âge de chaque individu. Après 2008, cette pratique de composite a été abandonnée et les concentrations PCB analysées peuvent ainsi être associées à un poids et à une longueur d'individu.

Les mesures de 2016 visent à clarifier certaines questions demeurant en suspens, telles que « Comment varient les concentrations dl-PCB mesurées sur les truites d'un secteur à un autre, sur une même année? » et « Est-ce que l'âge de la truite affecte de façon prévisible sa contamination en PCB (augmentation de la contamination avec l'âge) ? ». Il est essentiel de répondre à ces questions afin d'atteindre les objectifs suivants:

- Établir un État 0 décrivant la situation actuelle de la Sarine, avant assainissement de la décharge. Plus particulièrement, évaluer systématiquement le niveau de pollution des secteurs Pila-Gérine, Gérine-Lac et Lac Pérolles avec une méthode (nombre d'individus, longueur/âge) et des valeurs de référence fixes.
- Comprendre la ou les voies de contamination de la truite, notamment en effectuant des analyses de contenus stomacaux et en vérifiant l'influence des paramètres âge, poids, longueur et teneur en lipides sur la contamination en PCB.

## 2.5.2 Méthodes d'échantillonnage et d'analyse

Les truites ont été pêchées entre mai et août 2016, par pêche électrique et pêche à la ligne dans les secteurs Pila-Gérine ainsi que Gérine-Lac. Dans le secteur Lac, la pêche a été effectuée avec des filets installés en soirée et récupérés tôt le lendemain. L'organisation des pêches et du matériel nécessaire étaient assurés par le Service des Forêts et de la Faune de l'État de Fribourg (SFF).

L'objectif initial de la pêche était d'obtenir un nombre égal de truites par secteur (20), avec 50% des truites ayant un âge de moins de 2 ans (longueur estimée de moins de 24 cm) sur chaque secteur. Ces truites < 2 ans (< 24 cm) auraient alors passé la totalité de leur vie dans des conditions ultérieures aux excavations des matériaux pollués (2009-2013).

Le nombre de truites par secteur, ainsi que le pourcentage des truites de longueur inférieure et supérieure à 24 cm obtenus suite aux pêches de 2016 sont présentés dans le tableau ci-dessous. Au total, 68 truites ont été pêchées. En moyenne sur les trois secteurs, le pourcentage de truites dont la taille dépasse 24 cm est supérieur au pourcentage de truites dont la taille est inférieure à 24 cm. Les truites dont la taille est supérieure à 24 cm sont surtout surreprésentées pour le secteur Lac (82%).

Tableau 2-4 Nombre de truites pêchées en 2016, regroupées par secteur et par longueur

Secteur	Nombre total d'individu	% < 24 cm	% > 24 cm
Pila-Gérine	19	47	53
Gérine-Lac	27	52	48
Lac Pérolles	22	18	82
Total	68	39	61

Sur le terrain, les paramètres relevés incluaient non seulement la longueur de la truite, mais aussi son poids et la position géographique de sa pêche. Des écailles ont été prélevées sur chaque individu et mises dans des petits sachets en plastique pour analyse ultérieure de l'âge par la scalimétrie. Les estomacs ont aussi été prélevés sur le terrain le jour même de la pêche (quelques minutes/heures après). Ils ont été mis dans des petits contenants en plastique ou en verre dans de l'éthanol concentré.

Les 68 truites ont d'abord été envoyées au Service de la sécurité alimentaire et des affaires vétérinaires de l'État de Fribourg (SAAV) pour étiquetage et congélation jusqu'à leur envoi au laboratoire cantonal de Berne. Ce dernier s'est chargé de prélever un échantillon de muscle de chaque individu et d'effectuer les analyses des 6 i-PCB (28, 52, 101, 138, 153, 180) ainsi que des 12 dl-PCB (81, 77, 123, 118, 114, 105, 126, 167, 156, 157, 169 et 189) sur chaque échantillon. Les restes de muscles non-utilisés pour les analyses de PCB ont été mis de côté et préservés congelés au laboratoire cantonal de Berne pour analyse ultérieure des lipides dans un autre laboratoire (UFAG, Sursee).

Le poids minimal d'échantillon nécessaire pour effectuer une analyse de lipides dans les laboratoires de l'UFAG est de 40 g (poids frais). Pour certaines petites truites, ce poids minimal après analyse de PCB n'était plus disponible. Dans ces cas, des échantillons composites ont été créés. Ces composites respectent les conditions suivantes :

- 1) truites issues du même secteur,
- 2) concentration en dl-PCB du même ordre de grandeur,
- 3) masse égale de chair pour chaque individu d'un composite,
- 4) poids total du composite d'au moins 40 g.

En tout, des prélèvements de 40 truites ont été inclus dans un composite pour analyse de la teneur en lipides ; alors que 28 truites ont été analysées individuellement.

L'analyse de l'âge par scalimétrie a été effectuée par le personnel du SFF. L'approche consiste à compter les cernes visibles sur les écailles, chaque cerne correspondant en principe à une année. En tout, la scalimétrie a permis d'estimer l'âge de 63 individus. Pour les 5 individus restants, l'écaille était soit absente (erreur à l'échantillonnage/étiquetage) ou régénérée (cernes manquants).

L'analyse du contenu stomacal a été effectuée par des professionnels spécialisés de la firme Scimabio. Les proies « identifiables » ont été classées et le volume qu'elles occupent a été mesuré avec une seringue de 1 mL, avec des graduations de 0.025 mL. Les proies non identifiables (digérées et/ou abîmées) sont attribuées à une classe nommée « indéterminé ». En tout, 70 estomacs ont été analysés ; certains provenant de truites pêchées dans le cadre d'un projet du SAAV indépendant de la Pila. Malheureusement, 10 estomacs étaient complètement vides, surtout dans le secteur Lac où la technique de pêche (filet) a fait en sorte que les proies sont restées un certain moment dans l'estomac de la truite sans vie (digestion avancée). Pour assurer un bon niveau de précision dans la distribution relative des proies, seuls les contenus stomacaux ayant un volume total de plus de 0.1 mL sont retenus. En tous, 44 analyses de contenus stomacaux (> 0.1 mL) sont retenues pour illustrer la distribution relative des proies, dont 16 dans le secteur Pila-Gérine, 24 dans le secteur Gérine-Lac et 4 dans le secteur Lac.

## 2.5.3 Résultats et interprétation

Un résumé des mesures effectuées sur les truites (poids, longueur, coordonnées, PCB, âge et lipides) se retrouve dans l'Annexe 2.5.3 - 1 *Truites résumé des mesures*.

### 2.5.3.1 PCB dans la chair

Les résultats bruts des analyses de PCB et de lipides sont présentés dans l'Annexe 2.4.3 - 1 *Gammars et Poissons Résultats d'analyses PCB (Labo Berne) et lipides (Labo UFAG)*. Comme pour les sédiments, les concentrations en PCB dans les truites peuvent être visualisées sur une carte en ligne à partir du lien suivant : <https://arcg.is/0Sqqbu>.

La figure ci-dessous donne un aperçu de l'emplacement des pêches, de même que des concentrations en PCB (3 catégories) mesurées dans les truites en 2016. Au Lac de Pérolles, plusieurs truites semblent provenir exactement du même point, mais c'est la position du filet qui leur a été attribuée.

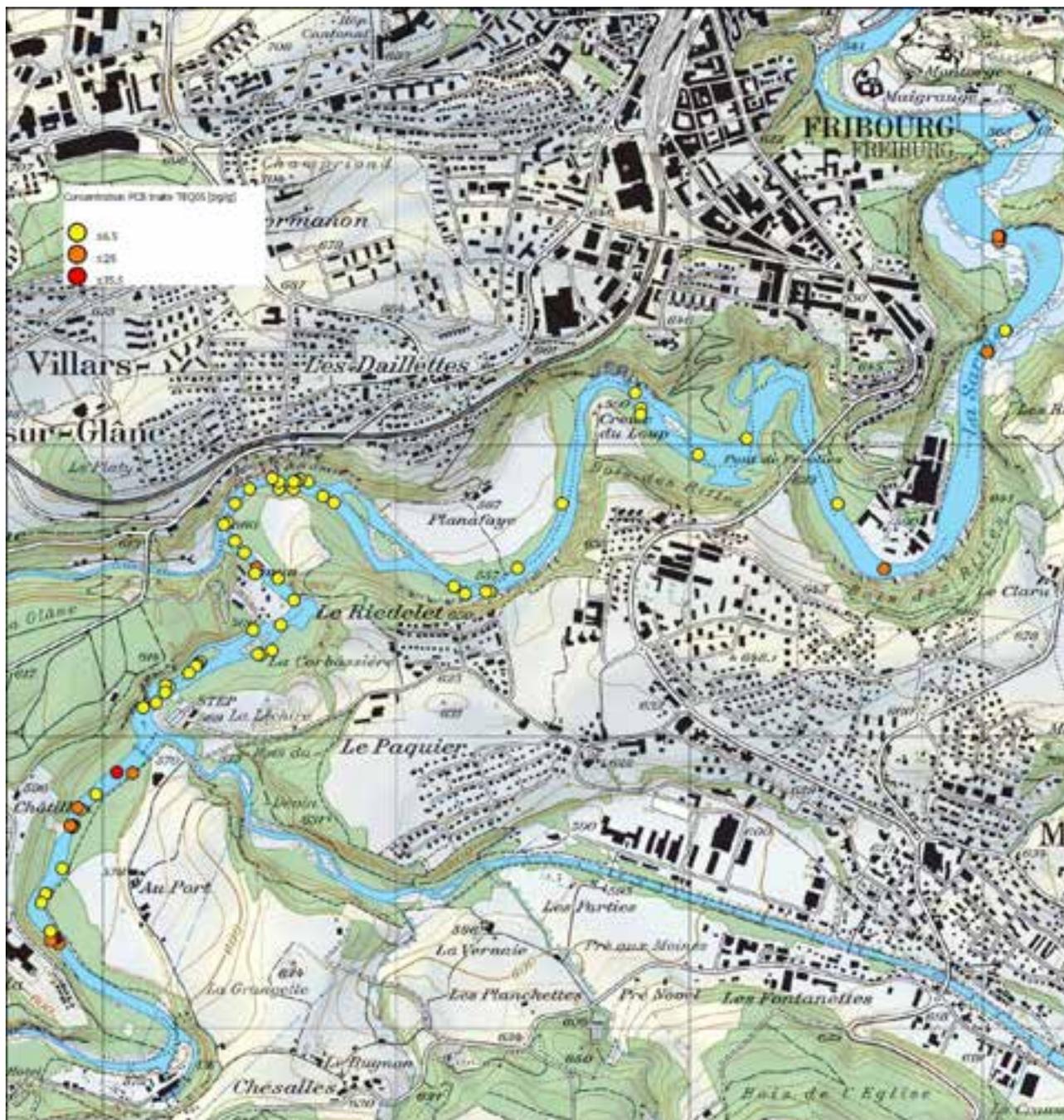


Figure 2-34 Concentrations en PCB dans les truites pêchées en 2016, regroupées en trois classes de couleur

La première catégorie de concentration (jaune) regroupe les truites qui ont une concentration inférieure à 6.5 pg/g TEQ05. Dans un document de l'OFEV<sup>[3]</sup> traitant du PCB dans les eaux en Suisse, les unités utilisées ne sont pas explicitement mentionnées, mais il est supposé ici qu'il s'agit d'unités TEQ98. Selon ce même document de l'OFEV, aucune mesure liée à la pêche professionnelle ou la pêche à la ligne par des particuliers n'est nécessaire lorsque les valeurs moyennes analysées dans les poissons sont inférieures à 8 TEQ98 pg/g, ce qui correspond à 6.5 pg/g en unités TEQ05.

La deuxième catégorie de concentration (orange) regroupe les truites qui présentent une concentration comprise entre 6.5 et 25 TEQ05 pg/g PCB. Selon l'OFEV, lorsque la moyenne de concentration en PCB

dépasse 6.5 pg/g TEQ05 [3], il est recommandé d'interdire la commercialisation dans le cadre de la pêche professionnelle et d'émettre des mises en garde et/ou des recommandations de consommation dans le cas de la pêche à la ligne par des particuliers sans remise à des tiers. Dans la publication en ligne du SEN<sup>3</sup>, il est mentionné que les valeurs entre 6.5 et 25 pg/g « permettent la pêche avec recommandations »

La troisième catégorie de concentration (rouge) regroupe les truites qui ont une concentration comprise entre 25 et 35.5 TEQ05 pg/g. La valeur 35.5 TEQ05 pg/g représente tout simplement la valeur la plus élevée mesurée en 2016.

La figure ci-dessous illustre les concentrations TEQ05 pg/g des truites rassemblées par secteur, avec les deux valeurs « repères » de 6.5 et de 25 pg/g TEQ05.

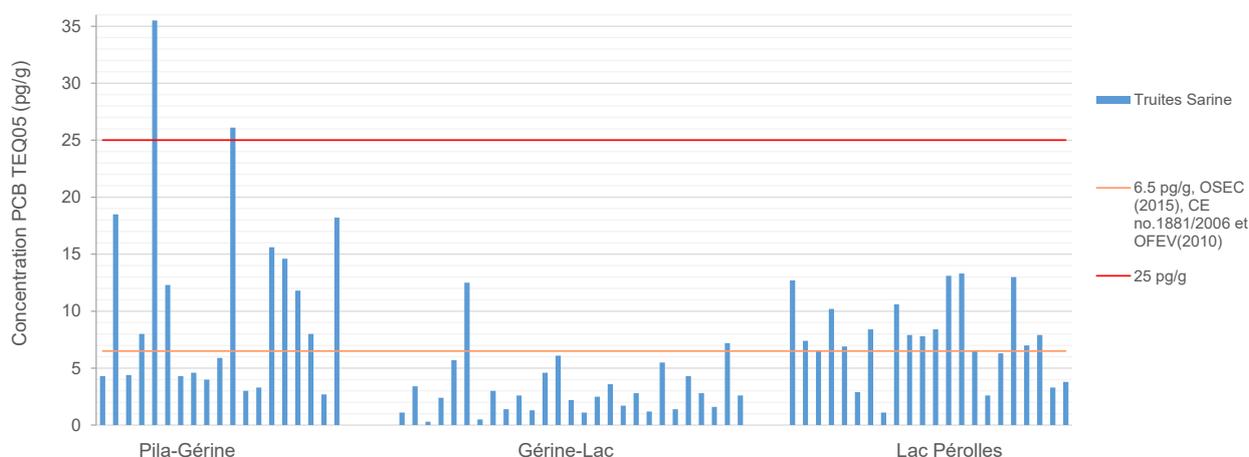


Figure 2-35 Concentration en PCB dans la chair des truites en 2016, par secteur.

38% des truites dépassent la valeur 6.5 pg/g, alors que seulement 3% (2 truites sur 68) dépassent la valeur 25 pg/g. Les deux seules valeurs supérieures à 25 pg/g sont observées sur le secteur Pila-Gérine. La figure ci-dessus permet de bien distinguer le niveau de pollution entre les différents secteurs, échantillonnés et mesurés de façons similaires puis comparés à des repères fixes. La tendance du niveau de pollution par secteur pourrait être résumée ainsi ; Pila-Gérine > Lac > Gérine-Lac.

La longueur et l'âge moyen des individus pêchés étant relativement élevés au Lac de Pérolles comparativement aux autres tronçons, il n'est pas exclu que les concentrations en PCB dans ce secteur soient « biaisées ». Toutefois, la concentration médiane des truites < 24 cm (n=4) étant de 4 pg/g et celle des truites > 24 cm (n=18) étant de 8 pg/g., la concentration médiane en PCB tendrait vers 6 pg/g (médiane de 4 et 8) si la distribution des longueurs (< 24 cm et > 24 cm) était parfaitement équilibrée. Sur la base des concentrations médianes par secteur, l'ordre du niveau de contamination resterait donc le même, c'est-à-dire Pila-Gérine (8 pg/g) > Lac (6 pg/g) > Gérine-Lac (3 pg/g)

### 2.5.3.2 Contenus stomacaux

Les résultats détaillés des analyses de contenus stomacaux figurent en Annexe 2.5.3 - 2 *Truites analyses contenus stomacaux*.

La figure ci-dessous illustre les distributions relatives moyennes des proies sur tous les estomacs analysés (n=44).

<sup>3</sup> [http://www.fr.ch/pila/fr/pub/actualites.cfm?fuseaction\\_pre=Detail&NewsID=58212](http://www.fr.ch/pila/fr/pub/actualites.cfm?fuseaction_pre=Detail&NewsID=58212)

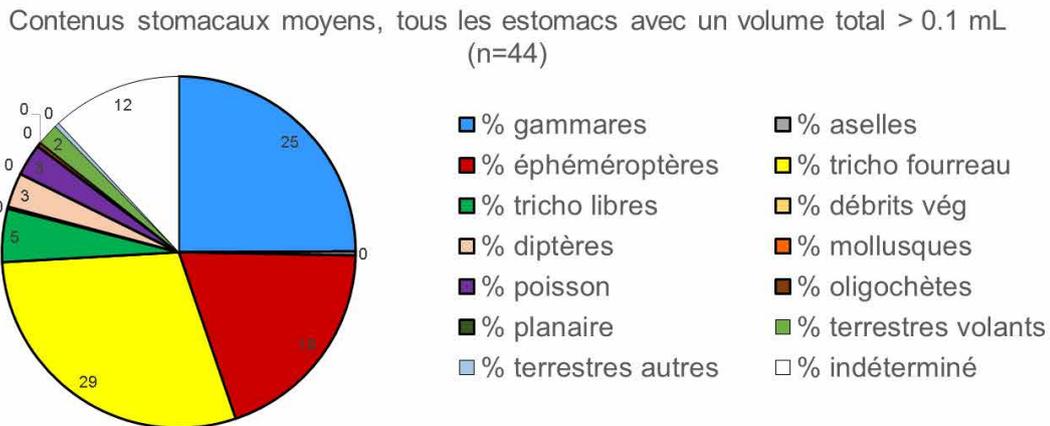


Figure 2-36 Diagramme circulaire représentant les proportions moyennes de proies de la truite retrouvées dans les estomacs

Les trois proies identifiables les plus abondantes sont les trichoptères à fourreau (*tricho fourreau*, jaune), les gammares (bleu) et les éphéméroptères (rouge). Ces proportions représentent bien les estomacs des truites des secteurs Pila-Gérine (n=16) et Gérine-Lac (n=24). Le secteur Lac est toutefois sous-représenté (n=4).

Dans la figure suivante, la proportion des trois proies principales (tricho fourreau, gammares et éphéméroptères) retrouvée dans l'estomac de chaque individu est illustrée, pour les 3 tronçons Pila-Gérine, Gérine-Lac et Lac Péroilles.

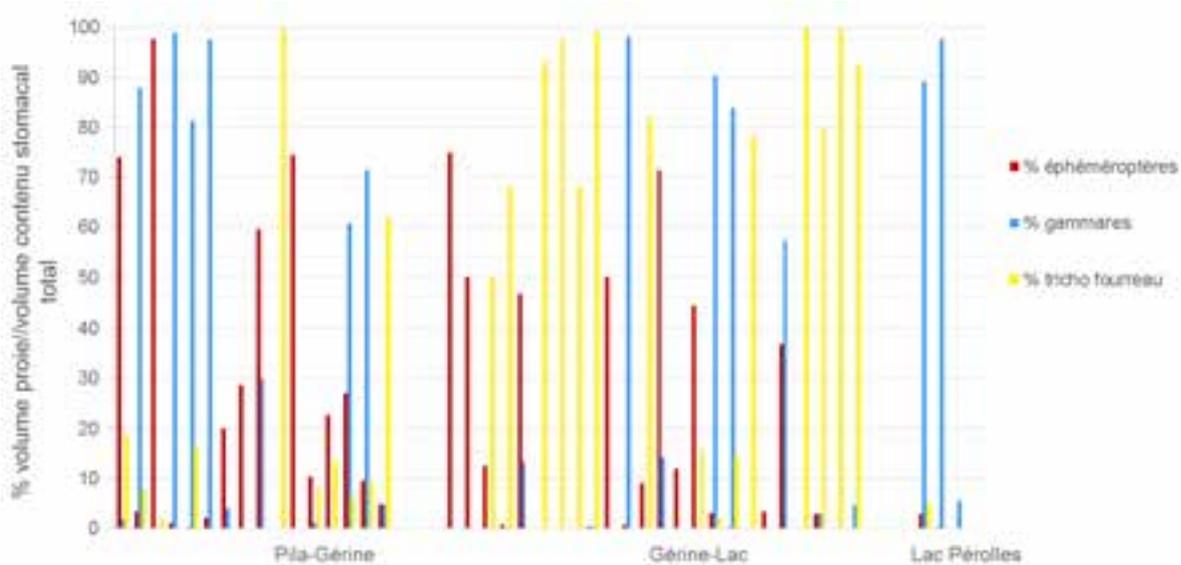


Figure 2-37 Répartition des proies principales sur les différents tronçons

Dans le secteur Lac, la proportion de gammares dans les estomacs analysés est assez élevée, par rapport aux trichoptères à fourreaux et aux éphéméroptères. Malgré la quantité limitée d'analyses dans le secteur Lac (n=4), il semble que le régime alimentaire des truites y soit différent par rapport aux secteurs « rivières » Pila-Gérine et Gérine-Lac. Une truite avait d'ailleurs ingéré un petit poisson dans le secteur Lac, alors qu'une autre avait ingéré des oligochètes en quantités appréciables (> 10 % du volume du contenu stomacal total, voir Annexe 2.5.3 - 2 *Truites analyses contenus stomacaux*). Il apparaît assez logique que l'alimentation de

la truite soit distincte dans le tronçon lac ; la vitesse de courant y est basse, les gammares y sont abondants et la couleur de la chair des truites (susceptible de refléter l'alimentation) y est particulièrement rosée.

Le pourcentage de proies (gammares, trichoptères, éphéméroptères) retrouvé dans l'estomac a été mis en relation avec la concentration en PCB dans la chair de la même truite. Cependant, aucune relation n'a pu être mise en évidence. Il faut rappeler que le contenu stomacal est analysé ponctuellement dans le temps et donne des informations pertinentes au moment de la pêche, mais n'est pas forcément représentatif de l'alimentation de la truite sur toute sa durée de vie.

Les trois proies principales de la truite dans la Sarine (gammares, trichoptères à fourreaux, éphéméroptères) peuvent se trouver en contact direct avec des condensateurs ou des morceaux de condensateurs. Les photos ci-dessous montrent :

- 1) des gammares se trouvant sur un condensateur abîmé/fendu sur la berge asséchée en période de basses eaux,
- 2) un morceau de condensateur flottant au milieu d'un échantillon de faune benthique (échantillonnage *kicknet* suite aux retournements de pierres, lit mouillé en période de basses eaux) incluant des gammares et des éphéméroptères,
- 3) des morceaux métalliques, probablement des morceaux de condensateurs, composant les fourreaux de trichoptères (échantillonnage *kicknet*, lit mouillé en période de basses eaux).

Toutes les photos ont été prises sur le secteur Pila-Gérine.

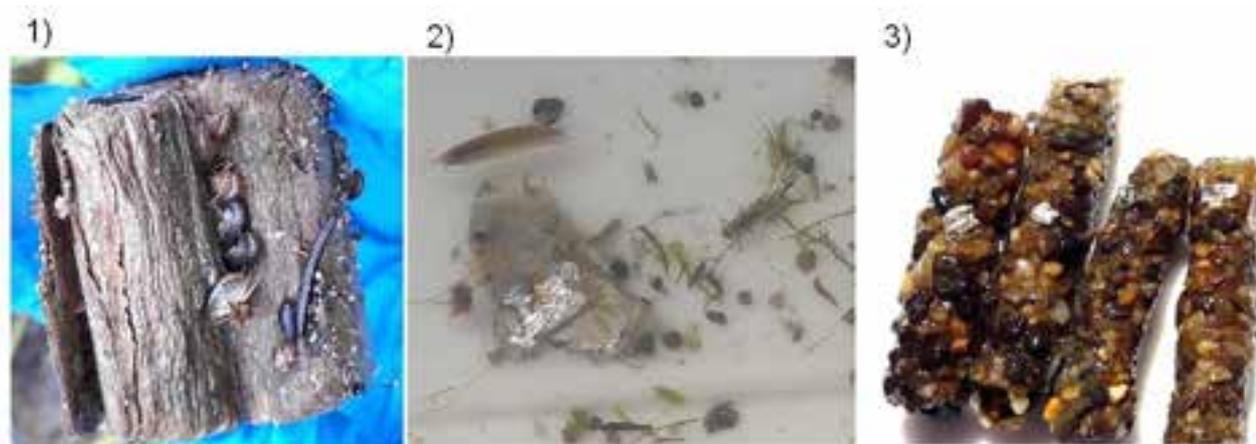


Figure 2-38 Photos illustrant des morceaux de déchets en contact avec des gammares (1), des éphéméroptères (2) et des trichoptères à fourreaux (3)

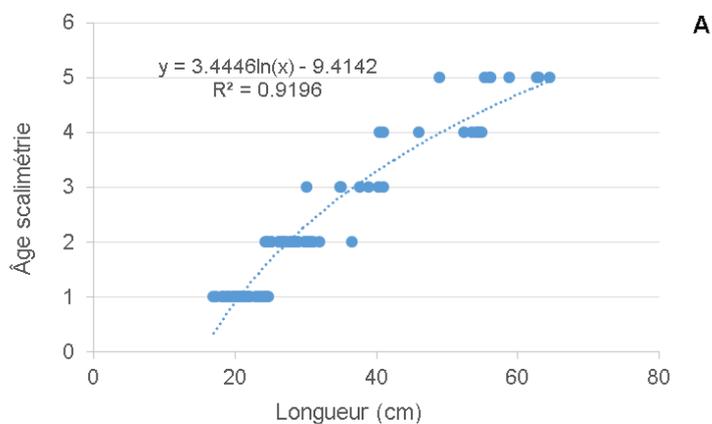
Bien que les photos ci-dessus illustrent des proies échantillonnées dans leur milieu (et non pas à l'intérieur des estomacs), elles montrent bien que les proies peuvent entrer en contact direct avec des condensateurs ou des débris de condensateurs. Il est aussi probable que des morceaux de condensateurs collés aux fourreaux de trichoptères se retrouvent dans l'estomac d'une truite de la Sarine. Comme l'illustre la photo d'un exemple de contenu stomacal ci-dessous, les trichoptères peuvent se retrouver dans l'estomac d'une truite avec leur fourreau entier.



Figure 2-39 Exemple de contenu stomacal, avec des trichoptères portant leurs fourreaux encore entiers (à gauche)

### 2.5.3.3 Âge, longueur et poids

Il n'existe pas de relation claire entre l'âge de la truite déterminé par scalimétrie et sa teneur en PCB (non illustré). Toutefois, l'âge déterminé par scalimétrie est lié à la longueur et au poids, lesquels sont à leur tour corrélés à la concentration en PCB dans la truite (voir quatre figures suivantes).



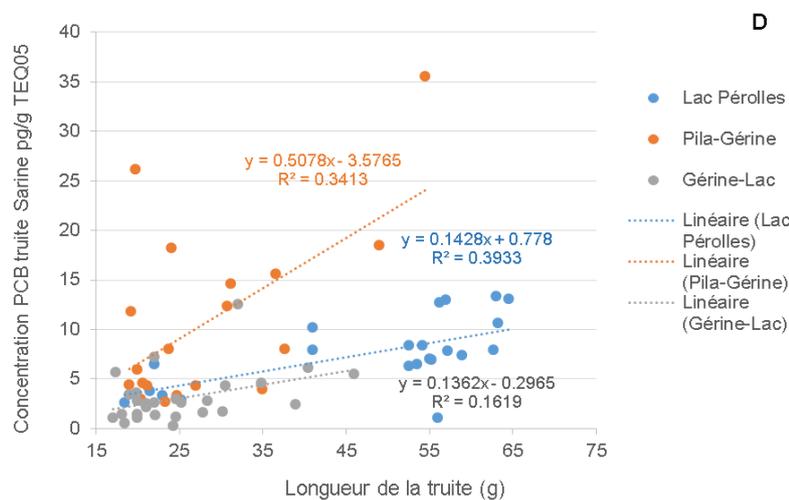
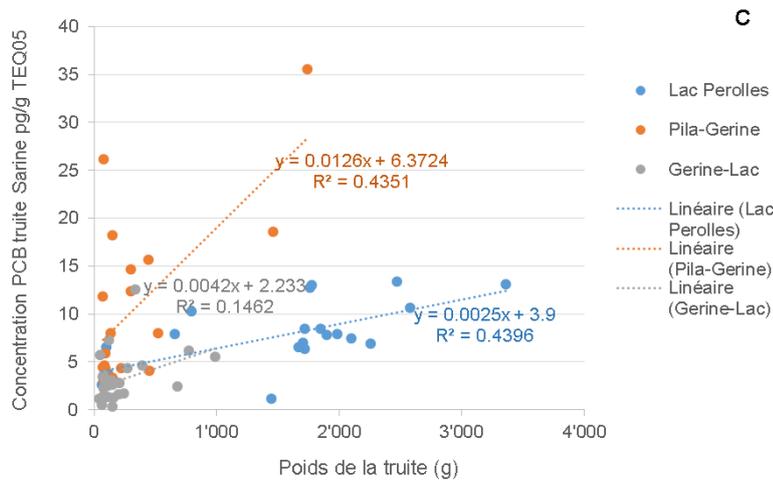
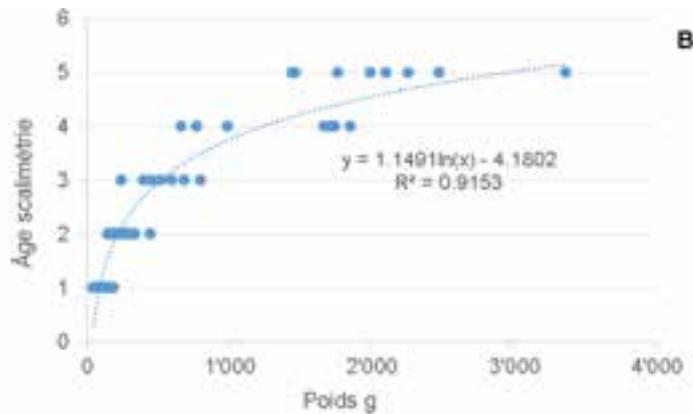


Figure 2-40 Relations logarithmiques entre l'âge de la truite, son poids et sa longueur (A-B). Relations linéaires entre la concentration en PCB mesurée dans la chair de la truite, son poids et sa longueur (C-D).

L'absence de relation claire entre l'âge et la concentration en PCB s'explique potentiellement par la faible précision de la méthode scalimétrique (compte des cernes visibles sur les écailles), qui est de plus ou moins un an. Les paramètres poids et longueur, en revanche, peuvent être mesurés à quelques grammes et à quelques centimètres près. Il est donc plus facile de distinguer les individus sur la base de leur poids et de leur longueur que sur la base de leur âge. Dans tous les cas, la figure ci-dessus montre:

- Qu'il existe une certaine relation entre la concentration en PCB et l'âge de la truite, mais que cette relation n'est pas linéaire possiblement en raison de la faible précision du paramètre âge déterminé par scalimétrie mais aussi peut-être à cause d'autres facteurs.
- Que les truites plus longues et plus lourdes (et donc, indirectement, plus âgées) sont généralement plus contaminées en PCB.

Ce dernier point est conforme à l'idée de bioaccumulation, selon laquelle le PCB est accumulé plus efficacement qu'il n'est excrété et qu'il se stocke donc dans la chair du poisson au fil du temps.

Les relations entre le poids, la longueur et la concentration en PCB (Figure 2-40 C et D) sont particulièrement évidentes pour les secteurs Pila-Gérine et Lac. Dans le secteur Gérine-Lac, les coefficients de régression linéaire ( $R^2$ ) sont plutôt faibles c'est-à-dire 0.15 pour le poids et 0.16 pour la longueur. L'absence de relation poids/longueur-PCB dans ce secteur pourrait s'expliquer par l'alimentation (trichoptères à fourreaux) combinée à la faible pollution des sédiments. Les fourreaux des trichoptères sont effectivement composés de petits graviers/sables issus du lit de la rivière, lequel est faiblement pollué dans le secteur Gérine-Lac (Figure 2-5). La bioaccumulation dans le secteur Gérine-Lac pourrait donc être faible voire même absente.

Malgré des relations linéaires relativement claires entre le poids, la longueur et la concentration en PCB dans les secteurs Pila-Gérine et Lac (Figure 2-40 C et D), certains individus avec un poids faible et une concentration en PCB élevée dévient de ces relations linéaires. Ces « déviations » pourraient s'expliquer par l'ingestion de trichoptères à fourreaux, qui au contraire de la bioaccumulation du PCB par des sources diffuses (ex. gammars affectés par diffusion sédiment → eaux interstitielles) induirait une contamination ponctuelle, non-linéaire dans le temps. Pour tester cette hypothèse, le contenu stomacal des truites fortement contaminées en PCB et ayant un faible poids ont été scrutés de près. Il en ressort que quatre truites ayant un poids faible (< 200 g) et une concentration en PCB élevée (> 6 pg/g) dans le secteur Pila-Gérine ont effectivement des trichoptères à fourreaux dans leur estomac. Voir tableau suivant.

Tableau 2-5 Quatre truites associées à un poids est relativement faible (< 200 g), une concentration en PCB relativement élevée (> 6 pg/g) et la présence de trichoptères à fourreaux dans l'estomac

No d'échantillon	Poids truite g	Concentration PCB truite TEQ05 pg/g	Contenu stomacal truite % volume proie / volume stomacal		
			gammars	éphéméroptères	tricho fourreau
16-75537	86	26.1	0	0	100
16-75541	78	11.8	61	27	7
16-75542	143	8.0	0	26	53
16-75559	157	18.2	5	5	62

### 2.5.3.4 Lipides

Dans la figure suivante, les teneurs en lipides mesurées dans la chair des truites (individus et composites) sont illustrés, avec l'âge moyen par secteur (ligne orange) déterminé à partir des données de scalimétrie.

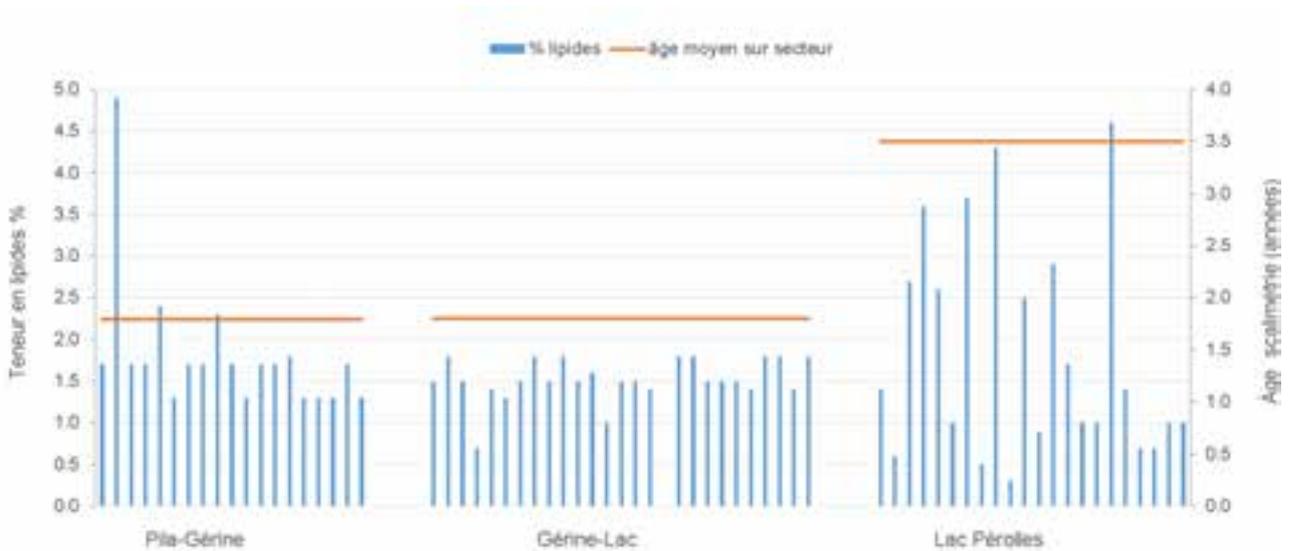


Figure 2-41 Teneurs en lipides mises en parallèle avec l'âge moyen des truites, sur 3 tronçons

Les teneurs en lipides et l'âge moyen sont relativement élevés sur le secteur Lac. Les deux paramètres (lipides et âge) semblent donc être liés, malgré l'absence de relation linéaire (non illustré).

La relation entre la teneur en lipides et la concentration en PCB d'un même individu a aussi été testée. Une relation positive entre ces deux paramètres est attendue, puisque :

- La teneur en lipides augmente avec l'âge et donc la durée de bioaccumulation.
- Les PCB sont des composés lipophiles, c'est-à-dire s'associant préférentiellement aux lipides des poissons et des proies qu'ils consomment.

Or, aucune relation linéaire claire n'a pu être observée (voir figure suivante).

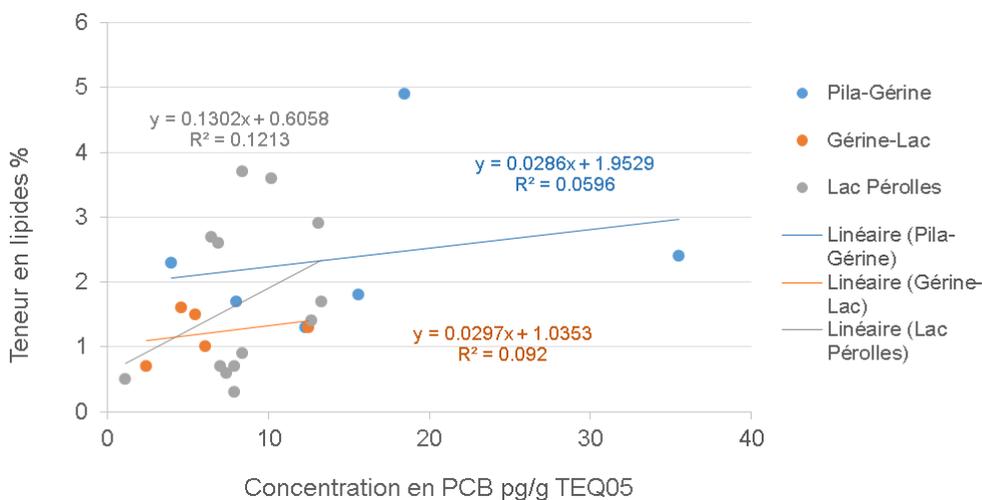


Figure 2-42 Tentative de corrélation entre la teneur en lipides et la concentration en PCB mesurés dans les truites

L'absence de corrélation pourrait entre autres s'expliquer par la méthode d'analyse des lipides en échantillons composites. Certaines truites étant trop petites pour permettre une analyse de lipides (masse de chair inférieures à 40 grammes), elles ont été associées à des échantillons composites comprenant plusieurs truites pour atteindre un poids de 40 grammes. Plusieurs individus se retrouvent donc avec une valeur commune de teneur en lipides. En excluant les valeurs de lipides obtenues sur des échantillons composites, une relation semble se dessiner mais sa validité est discutable, puisque le coefficient de corrélation linéaire demeure très faible (non illustrée,  $R^2=0.1$ ).

Une autre hypothèse pour expliquer l'absence de corrélation lipides-PCB est l'alimentation de la truite dans la Sarine. Des trois proies principales (gammare, trichoptères à fourreaux, éphéméroptères), l'une d'entre-elles (trichoptères à fourreaux) a le potentiel de transférer du PCB non pas par le biais de ses lipides mais plutôt par le biais de son fourreau inorganique formé de graviers/sédiments/déchets pollués.

## 2.5.4 Sommaire et conclusions

L'ensemble des observations présentées dans ce chapitre peuvent être résumées en quelques points :

- Une baisse générale de la concentration en PCB analysée dans la chair des poissons peut être constatée entre 2007 et 2016 pour tous les tronçons (Figure 2-32).
- Les analyses effectuées en 2016 sur la chair des truites montrent une contamination par tronçon (Figure 2-35) similaire à celle observée pour les sédiments (Figure 2-5): la teneur en PCB contenue dans la chair des truites pêchées sur le tronçon Pila-Gérine présente la valeur médiane la plus importante, suivi par la chair des truites issues du Lac. La contamination la plus faible est observée sur les poissons pêchés sur le tronçon Gérine Lac.
- La bioaccumulation des PCB est partiellement attestée par la relation longueur et poids des poissons faiblement corrélée à la teneur en PCB dans les tronçons Pila-Gérine et Lac (Figure 2-40).
- L'analyse des contenus stomacaux a permis de mettre en évidence que ceux-ci étaient composés en moyenne de 29% de trichoptères à fourreaux (Figure 2-36). Des observations de terrain sur des trichoptères prélevés sur le tronçon Pila-Gérine, ont permis de mettre en évidence la présence de débris de condensateurs parmi les constituants de certains fourreaux (Figure 2-38). Les trichoptères à fourreau peuvent ainsi provoquer, lorsqu'ils sont ingérés par les poissons, une absorption directe de déchets de condensateurs fortement chargés en PCB qui pourrait expliquer les teneurs élevées en PCB dans les chairs que l'on ne peut expliquer ni par l'âge, ni par la longueur, ni par le poids ou la teneur en lipides.

### 3. Compartiments analysés sur la décharge

#### 3.1 Décharge – érosion

##### 3.1.1 Historique et objectif

Les apports solides de PCB de la décharge vers la Sarine, que ce soit sous forme de glissements de terrain ou d'érosion, apparaissent comme considérables par rapport aux apports liquides. Les estimations existantes fixent la masse de PCB entraînée dans la Sarine par un glissement de terrain en 2008 à 4.7 kg de PCB et les flux de PCB liés à l'érosion de sols à des valeurs comprises entre 0.35 et 1.05 kg/a pour l'Etat 0 (situation en 2016 sans confinement). En comparaison, les flux de PCB qui s'échappent de la décharge de la Pila sous forme liquide par le biais des eaux souterraines sont relativement bas (62 à 157 g/a selon le modèle hydrogéologique actualisé, voir Chapitre 5).

La quantification du transport solide de PCB vers la Sarine souffre cependant d'énormes incertitudes. L'estimation de 0.35 et 1.05 kg/a est basée sur une formule empirique exprimant la perte de sol, et n'a été appliquée qu'à la zone haute i.e. une partie de la décharge ayant une forte pente (devant le Hotspot). L'érosion et les glissements de terrain ne sont pas des événements réguliers et pourraient n'être déclenchés qu'en présence de conditions météorologiques particulières (par exemple fortes pluies ou niveaux élevés de la Sarine).

L'érosion des sols se trouvant sur la falaise devant le Hotspot (Talus hot-spot) derrière le soutènement (mini paroi berlinoise) pourraient causer à long terme des apports non négligeables de PCB vers la Sarine. Les analyses effectuées en 2014 et 2017 (voir figure suivante et chapitre 3.2) donnent des concentrations en PCB de près de 1'000 ppm dans ce secteur contenant des déchets de condensateurs.



Figure 3-1 Talus hot-spot avec concentrations en PCB de près de 1000 ppm et mini paroi berlinoise au-dessus de la falaise

Les principales questions ouvertes portent sur une quantification plus précise des transports de PCB sous forme solide de la décharge vers la rivière. En particulier :

- Quelle est l'importance du transport solide (érosion, glissement de terrain) de PCB provenant de la décharge ?
- Quelle est, en proportion du transport solide, la part de transport liquide (fraction dissoute de PCB des eaux souterraines) ?
- Est-ce que des événements de fortes pluies sont susceptibles de déclencher des apports considérables de PCB solides vers la Sarine et si oui, quelle est l'origine de ces apports (zone haute, zone basse)?

### 3.1.2 Méthodes d'échantillonnage et d'analyse

Deux types de réceptacles capables de récolter les matériaux solides issus de l'érosion sur le site de la décharge ont été conçus et testés dès le mois d'avril 2016.

Au total, 6 réceptacles à érosion ont ensuite été installés sur le site (voir situation illustration et situation des réceptacles à érosion ci-après). Les premiers réceptacles mis en œuvre durant la phase de test ont été échantillonnés depuis les mois de mai-juin 2016. Depuis le mois de septembre 2016, les 6 réceptacles en place ont été échantillonnés chaque mois, à l'exception des périodes de gel. Les derniers échantillons ont été prélevés en avril 2017.

La totalité de la matière déposée dans le réceptacle est prélevée et envoyée au laboratoire pour déterminer les teneurs totales. Les PCB (7 indicateurs) ont été analysés avec une limite de quantification standard (0.002 mg/kg par congénère). Le carbone organique total a été déterminé avec une limite de quantification de 0.1%. Pour chaque prélèvement, la matière sèche totale a également été déterminée.

E1 « falaise »



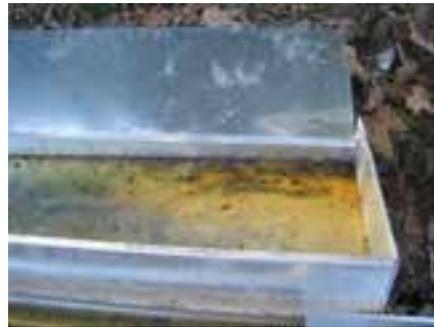
E2 talus



E3 « aval petit glissement »



E4 talus



E6 talus



Figure 3-2 Illustration des réceptacles à érosion : mise en œuvre (à gauche) et échantillonnage de septembre (à droite)



Figure 3-3 Situation des réceptacles à érosion (points verts)  
FR2706.917.600 | 25 mai 2018 | La Pila Mesures complémentaires |

### 3.1.3 Résultats et interprétation

Pour chaque réceptacle, les durées d'exposition entre deux échantillonnages, les quantités de matière échantillonnée ainsi que les résultats d'analyses sont résumés dans le tableau ci-dessous. Les rapports d'analyses du laboratoire figurent en Annexe 3.1.3.

Tableau 3-1 Résultats d'analyse des échantillons par réceptacle à érosion et mois de prélèvement

Réceptacle ID échant.	Mois échant. 2016-17	Nbr jours exposition	Quantité prélevée [kg MS]	Somme PCB 6 x4.3 [mg/kg MS]	COT [% MS]
E1- S01	mai	24	0.090	9.3	0.89
E1- S02	juin	39	0.126	64	2.6
E1- S03	juillet	32	0.340	81	2.6
E1- S04	août	32	0.088	5.8	5.3
E1- S05	septembre	34	0.064	6	4
E1- S06	octobre	29	0.064	3.7	5.1
E1- S07	novembre	27	0.298	3.6	3
E1- S08	mars	119	0.757	0.11	1.1
E1- S09	avril	35	0.180	4.4	1.5
E3-S01	août	32	0.985	0.66	1.2
E3-S02	septembre	34	0.705	553.9	1.5
E3-S03	octobre	29	0.458	1.5	2.5
E3-S04	novembre	27	0.387	0.53	1.5
E3-S05	février	83	65.6	18	1.1
E3-S06	mars	36	85.00	11	0.7
E3-S07	avril	35	15.72	10	0.93
E2-S01	juin	23	0.969	0.29	2.3
E2-S02	juillet	38	1.435	0.36	2.1
E2-S03	août	32	0.278	0.65	7.1
E2-S04	septembre	34	0.103	0.35	2.2
E2-S05	octobre	29	0.104	0.21	3
E2-S06	novembre	27	0.830	0.25	1.9
E2-S07	février	83	1.3994	0.3	0.9
E2-S08	mars	36	0.5446	0.17	1.1
E2-S09	avril	35	1.2	0.41	2.1
E4-S01	septembre	21	0.004	<LQ	6.2
E4-S02	octobre	29	0.004	<LQ	17
E4-S03	novembre		<0.004	na	na
E4-S04	février		<0.004	na	na
E4-S05	mars	146	0.006	2.8	2.3
E4-S06	avril	35	0.028	2.4	2.5
E5-S01	septembre	21	0.008	<LQ	<LQ
E5-S02	octobre	29	0.016	2.2	2.5
E5-S03	novembre	27	0.209	0.54	6.1
E5-S04	février	83	0.007	6.9	3.4
E5-S05	mars	36	0.008	0.39	1.8
E5-S06	avril	35	0.005	4.8	4.5
E6-S01	septembre	21	0.020	0.51	2.1
E6-S02	octobre	29	0.041	0.2	2.9
E6-S03	novembre	27	0.328	1.5	2.6
E6-S04	février	83	0.021	4	1.5
E6-S05	mars	36	0.022	1.6	0.9
E6-S06	avril	35	0.023	3.1	2.5

Les figures suivantes montrent des exemples de la répartition temporelle des quantités de matière prélevées et des concentrations en PCB, pour les réceptacles E1 et E2.

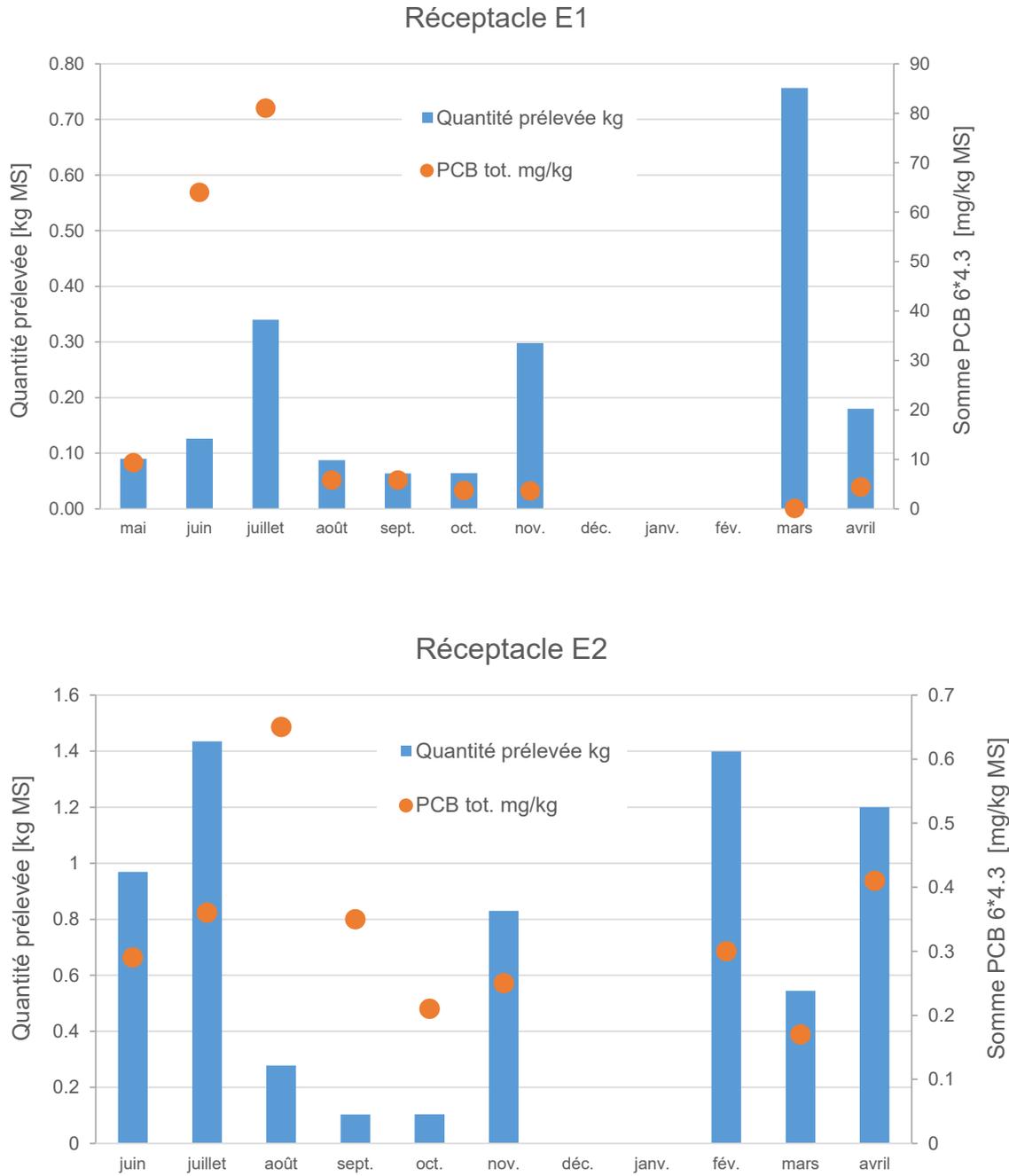


Figure 3-4 Réceptacles érosion E1 et E2 : quantités prélevées et concentrations en PCB de juin 2016 à avril 2017

En septembre 2016, deux petits condensateurs ont été retrouvés dans le réceptacle E3 (voir exemple dans la photo ci-dessous). Ces condensateurs ont été extraits, pesés (déchet de petit condensateur 4.4 g et petit condensateur violet 3.4 g) et n'ont pas été envoyés au laboratoire. La concentration de l'échantillon transmis au laboratoire était de 0.6 ppm. Cette concentration a été corrigée en additionnant les déchets de condensateur (7.8 g à 50'000 mg/kg) donnant ainsi une concentration moyenne de 553.9 mg/kg.



Figure 3-5 Exemple de petit condensateur retrouvé dans le réceptacle E3

En décembre 2016 et janvier 2017, aucun prélèvement n'a pu être effectué car tous les réceptacles étaient gelés. En février 2017, le réceptacle E1 était encore gelé.

En février et mars 2017, compte tenu des quantités importantes prélevées dans le réceptacle E3, seule une partie de l'échantillon, soit 27 et 16 kilos, a été envoyée au laboratoire. Ces deux échantillons ont été tamisés à 2 mm et chaque fraction a été analysée. Pour chaque échantillon, les concentrations en PCB étaient identiques sur les deux fractions.

Les concentrations moyennes en PCB les plus élevées sont observées pour les réceptacles E1 (env. 22 mg/kg) et E3 (env. 98 mg/kg), après prise en compte des condensateurs. Ces deux réceptacles ont été considérés pour représenter une longueur totale de 30 m à l'aval du site, qui sera utilisée pour calculer les flux de PCB (Chapitre 5). Ces concentrations élevées, associées à la présence possible de déchets de condensateurs, sont cohérentes avec la situation des réceptacles où des quantités importantes de condensateurs ont été extraites dans le passé. Dans la configuration actuelle du site, seuls les matériaux représentés par le réceptacle E1 aboutissent dans la Sarine.

Les concentrations moyennes des réceptacles E2, E4, E5 et E6 se situent entre 0.3 et 2.5 mg/kg. Ces concentrations sont plutôt basses, en raison d'une moins grande densité de déchets de condensateurs mais aussi de la présence de végétation et d'humus.

Les quantités de matière prélevées dans les réceptacles permettent d'estimer l'érosion de la zone. Nous constatons une érosion continue sur l'ensemble des réceptacles, à l'exception du réceptacle E4 dans lequel la quantité de matière échantillonnée n'a jamais dépassé quelques grammes. Ces quantités sont très variables selon les secteurs et dans le temps. L'érosion la plus faible est mesurée dans les réceptacles E4, E5 et E6. Bien que situé dans un talus raide, le réceptacle E4 est entouré d'une couche végétale protectrice plus importante limitant l'érosion. Les réceptacles E5 et E6 sont, quant à eux, situés dans les talus les moins raides à la périphérie de la zone basse de la décharge.

L'érosion peut notamment augmenter après des précipitations importantes. La pluie exceptionnelle du 8 juin 2016, avec 38 mm de 11h00 à 13h00 à la station de Posieux, et les précipitations des semaines suivantes ont par exemple eu pour conséquence une augmentation de l'érosion en juin et juillet. Les précipitations

importantes d'octobre à novembre 2016, sans qu'il n'y ait d'évènement exceptionnel, semblent avoir conduit à une augmentation de l'érosion en novembre.

La période de dégel, est également le moteur d'une augmentation de l'érosion, ainsi que le laissent supposer les quantités plus importantes de matériaux prélevés dans les réceptacles durant les mois de février et mars 2017.

Les résultats présentés dans cette section servent de base au calcul des flux de PCB de la décharge dans la Sarine du chapitre Flux de PCB par érosion des talus de la décharge vers la Sarine (Chapitre 5).

## 3.2 Décharge – glissements de terrain

### 3.2.1 Historique et objectif

Les objectifs liés à l'estimation des apports solides de PCB dans la Sarine par érosion et glissements de terrain sont rappelés au paragraphe 3.1.1.

Les pentes des talus de la zone haute de la décharge sont supérieures à 38°. En temps normal (régime hydraulique quotidien de la Sarine) ces pentes sont stables, on n'observe pas de glissement. En cas de crues importantes de temps de retour 50 ou 100 ans (comme celle d'août 2005), les pentes de la décharge deviennent instables suite à la montée rapide du niveau de la Sarine et des eaux souterraines. Celles-ci peuvent alors immerger les déchets à la base de la décharge sur une hauteur de 1-2 m.

Il s'agit cependant d'une situation théorique dans la configuration actuelle du site de la Pila : en effet, la paroi de palplanches et les mesures de confortation ponctuelles (mini paroi berlinoise, gabions en pied de talus), rendent la probabilité d'occurrence d'un glissement de terrain très faible (pour une crue max. de T = 100 ans).

La démarche présentée ci-après, menée par étapes, a pour objectif de compléter les données afin d'estimer l'ampleur et les conséquences d'un glissement de terrain pour un état de référence 0 théorique, sans palplanches ni système de pompage.

En premier lieu, une recherche historique a été menée pour évaluer l'importance du risque de glissement sur le site de la Pila et dans la région proche.

#### **Situation en fin d'exploitation de la décharge de la Pila**

Sur la photo aérienne de 1968, on observe que les activités sur le site de la Pila se sont concentrées sur la partie nord-ouest du périmètre de la décharge, désignée suite à la réalisation des mesures urgentes d'assainissement comme zone « hot spot » et « talus à mini paroi berlinoise ».

Comme l'illustre la photo ci-dessous, les dépôts de déchets s'étendent jusqu'au bord de la Sarine. Les structures observables dans les zones de dépôt indiquent la présence d'instabilités dans les masses déposées sur un terrain de pente importante.

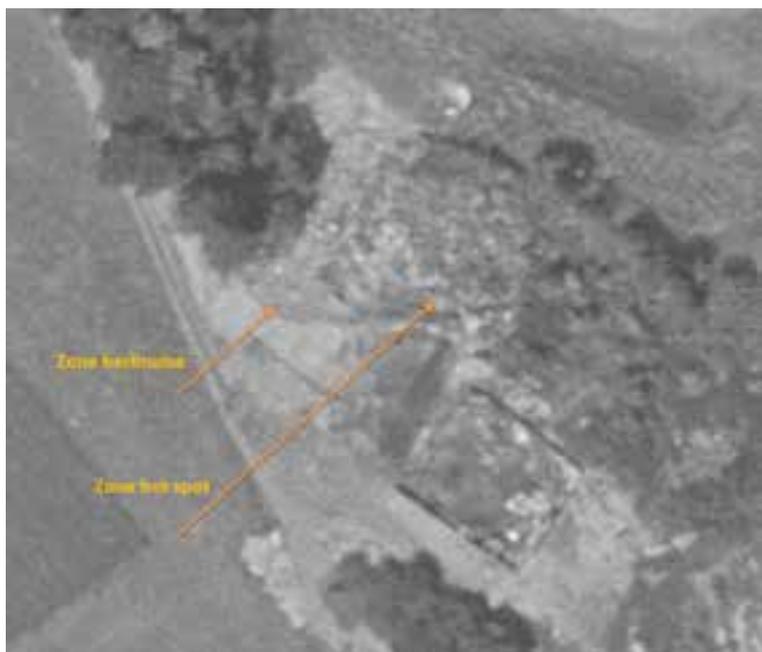


Figure 3-6 Photo aérienne de 1968 (swisstopo sous <https://map.geo.admin.ch>)

## **Glissements observés sur le site de La Pila et à proximité de la décharge**

Les deux figures suivantes documentent l'instabilité des talus situés à proximité de la décharge et surplombant la Sarine. L'érosion de ces talus par la Sarine en situation de crues est bien visible.



Figure 3-7 Glissement à la hauteur de Châtillon, 2002



Figure 3-8 Glissement zone « Hot spot » (photos de 2008)

**Effets d'érosion de la Sarine sur les berges et le bord nord de la décharge La Pila (avant la réalisation des mesures préliminaires)**



Figure 3-9 Érosion des berges de la Pila après la crue de 2005 (crue centennale)

L'instabilité du secteur du « hot-spot » a été identifiée dès les premières investigations de terrain (2006 et 2008) et date probablement de bien avant si l'on considère la taille des arbres qui s'y trouvaient.

La crue de 2005 a notamment détruit les enrochements de l'ancien rejet SAIDF situé sur le site de la décharge ; elle a probablement érodé la berge et le pied du glissement dans la zone du hot-spot : des déchets ont certainement été emportés par la rivière. La crue de 2007, moins importante, a probablement eu des effets similaires bien que moins marqués. Le petit glissement observé en 2008 est probablement une conséquence tardive de ces crues.

**3.2.2 Méthodes d'échantillonnage et d'analyse**

Sur la base de la recherche historique réalisée sur l'occurrence des glissements de terrain à proximité et sur la décharge de la Pila, un modèle simplifié a été élaboré pour évaluer les conséquences de glissements de déchets résultant d'un évènement extrême comme une crue centennale. La zone haute de la décharge est principalement concernée par ce phénomène en raison de ses talus raides où des glissements se sont déjà produits par le passé.

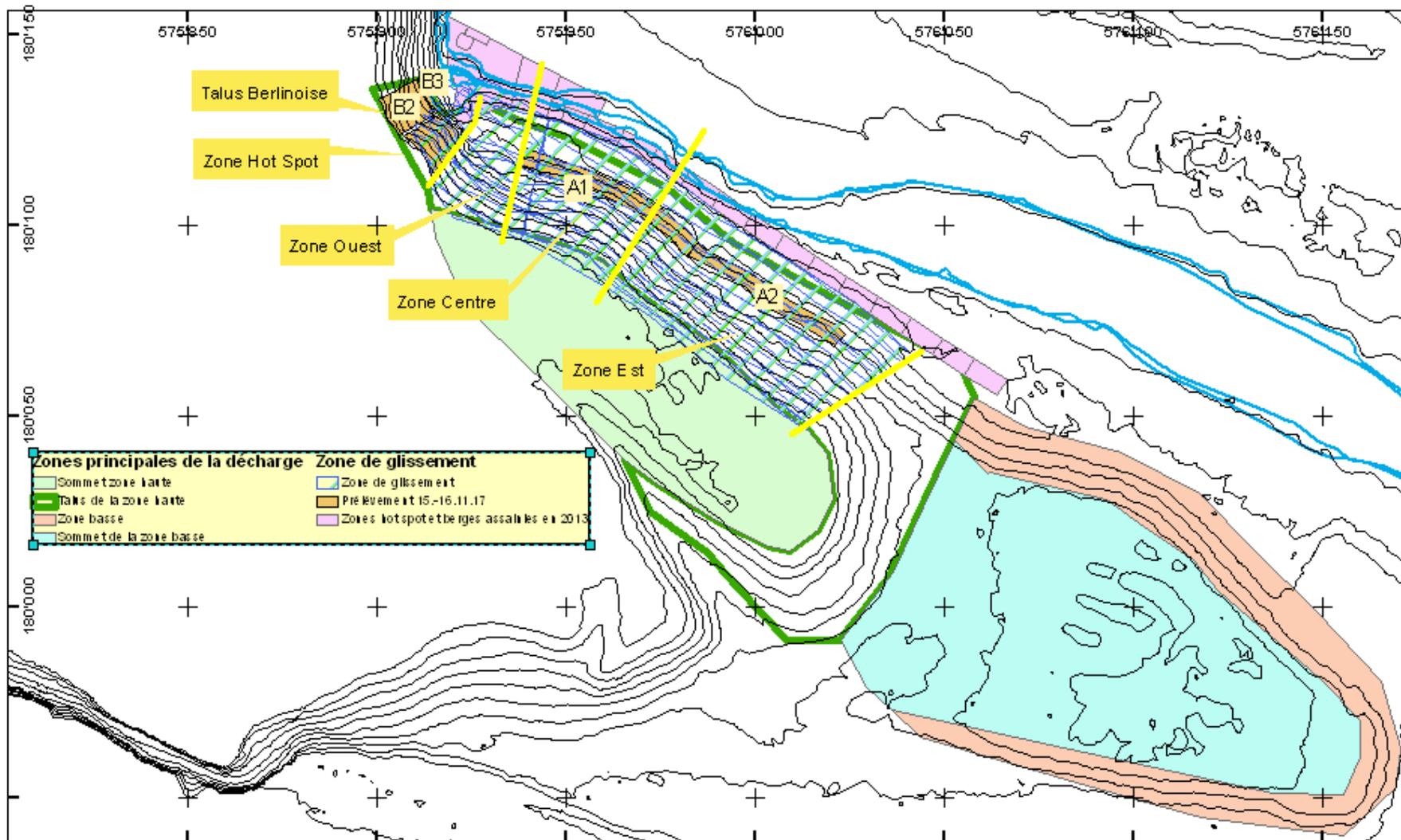


Figure 3-10 Talus déstabilisés sur la zone haute de la décharge pour une crue centennale.

L'étude et l'évaluation des zones de la décharge potentiellement déstabilisées par une crue de la Sarine a été réalisée selon les étapes suivantes (voir le détail méthodologique et les résultats en Annexe 3.2) :

1. Évaluation des masses potentiellement déstabilisées suite à une crue centennale pour un état 0 correspondant à la situation de la décharge en 2016, sans confinement ni système de pompage : étude de la stabilité de la pente dans la zone haute.
2. Subdivision de la zone déstabilisée en secteurs de contamination similaire en PCB. Celle-ci est basée sur la répartition spatiale des PCB résultant de l'étude géostatistique 3D réalisée en 2010.
3. Échantillonnage de matériaux solides dans les secteurs. Détermination de la teneur totale en PCB
4. Calcul de la masse en PCB dans chaque secteur.
5. Évaluation de l'impact du glissement sur la Sarine pendant les premières 24 h consécutives à un glissement sur la base d'un essai de mise en suspension.

### 3.2.3 Résultats et interprétation

Les détails se trouvent en Annexe 3.2.

Les calculs géotechniques ont mis en évidence qu'un volume total d'environ 22'000 m<sup>3</sup> de déchets, représenté schématiquement sur la coupe ci-dessous, peut être déstabilisé suite à une crue centennale, en l'absence de palplanches et de système de pompage.

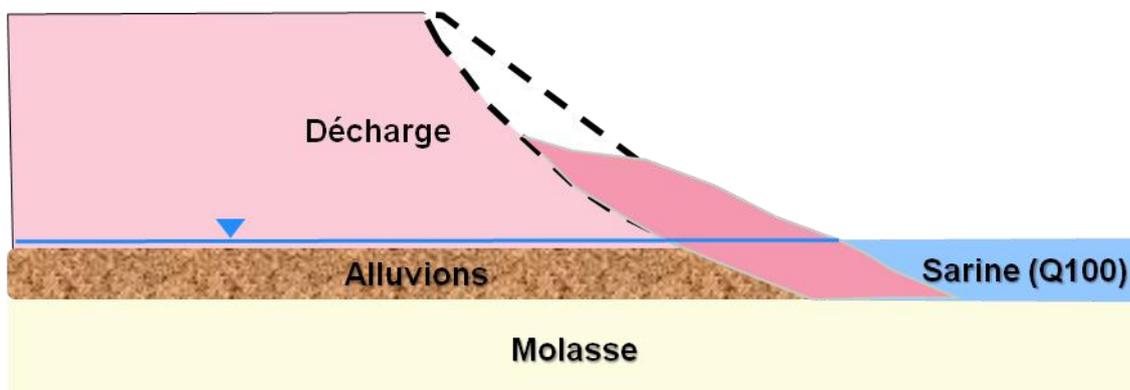


Figure 3-11 Coupe schématique d'un glissement de terrain

Ce glissement de terrain potentiel se produirait uniquement au droit de la zone haute de la décharge. La masse totale de PCB contenue dans ces matériaux a été estimée, sur la base des analyses et de la présence de déchets de condensateurs, à 5'900 kilos.

Une partie des déchets déstabilisés aboutirait directement dans la Sarine, en pied de décharge, et constituerait une source de déchets à long terme située directement dans le lit du cours d'eau.

Le test de mise en suspension effectué sur une durée de 24 heures donne un aperçu du comportement à court terme de déchets qui tomberaient dans la Sarine. Les concentrations en PCB dans l'eau pourraient être élevées, de l'ordre de 10 µg/l PCB (somme 6 \* 4.3), en fonction des résultats du test réalisé avec des condensateurs ou des matériaux fortement pollués. On observe également la mise en suspension de particules, de l'ordre du gramme par litre, avec des concentrations en PCB de même ordre ou supérieures à celles des échantillons.

Ce test est effectué en batch et ne tient pas compte du renouvellement avec de l'eau fraîche comme c'est le cas dans le cours d'eau. Il montre cependant qu'un apport rapide de matériaux dans la Sarine peut conduire à une augmentation importante des concentrations en PCB dans les eaux et dans la matière en suspension. Relativement à la masse de PCB contenue dans les déchets, ce phénomène n'est cependant pas susceptible de diminuer significativement le stock de PCB, dont une proportion importante est contenue dans les condensateurs et les déchets.

Les matériaux ainsi déposés dans le cours d'eau constituent un stock de PCB, source de PCB dissous et solides, sous différentes formes/granulométries.

Le volume de décharge potentiellement déstabilisé par une crue a été calculé pour un niveau de la Sarine équivalent à Q100. Des événements de moindre ampleur sont également susceptibles de déstabiliser des volumes de déchets et des glissements de terrain auraient également pu se produire suite aux crues des années passées si la berge n'avait pas été stabilisée par les palplanches.

Lorsque des matériaux sont mis à nu par un glissement ou que la végétation est peu présente, les précipitations peuvent également avoir une influence importante, comme on le voit par exemple dans certains réceptacles à érosion.

Les résultats présentés dans cette section servent de base au calcul des flux de PCB à partir de la décharge dans la Sarine détaillés au chapitre 5.5.

## 3.3 Eaux souterraines

### 3.3.1 Historique et objectif

Les eaux souterraines font l'objet d'un suivi depuis 2010, notamment dans le cadre du programme de surveillance et monitoring du site contaminé.

Le rapport de Surveillance des eaux souterraines selon OSites & Monitoring de la Sarine (Pronat) 2016 (CSD, 22.05.2017) résume les résultats des campagnes de surveillance de 2016 et les compare avec ceux obtenus lors des campagnes de 2010 à 2015. L'appréciation récapitulative figurant dans le rapport susmentionné est la suivante (la situation des points d'échantillonnage figure en Annexe 3.3.2-3) :

*Deux campagnes d'échantillonnage ont été effectuées en 2016. Il s'agit de la troisième année de surveillance depuis les travaux du lot 4 (paroi de palplanches, excavation et reconstitution berge), seuls les résultats importants du point de vue du fonctionnement du système sont brièvement commentés.*

*Les mesures effectuées en 2016 présentent des résultats globalement similaires aux mesures des campagnes précédentes :*

- *Concernant les PCB, on note qu'aucun dépassement de 10 fois la valeur de concentration OSites n'a été mesuré en 2016. Jusque-là, seul le puits PP1 présentait des concentrations en PCB dépassant cette valeur. La tendance à la baisse qui apparaît en PP1 peut être expliquée par différents facteurs : colmatage des environs du puits par précipitation de fer, diminution progressive des apports en PCB dissous par abaissement de la nappe et captage du flux amont.*
- *Concernant l'ammonium, seuls les puits PP1 et PP2 ont présenté des dépassements de 10 fois la valeur de concentration OSites lors de la campagne d'août en 2016. Jusque-là, tous les puits de pompage ainsi que le piézomètre F48 (non représentatif) ont pu présenter des concentrations dépassant cette valeur.*
- *Concernant le chlorure de vinyle, il a uniquement été détecté dans les puits PP1 et PP2, à des concentrations largement inférieures à 10 fois la valeur de concentration de l'Annexe 1 OSites.*

- *En 2016, comme en 2015, les PCB, l'ammonium et le chlorure de vinyle n'ont pas été détectés en F50-12 et F53-12, situés en dehors du confinement, ni en F27-12 et Piézo bleu, situés à l'aval de la zone basse de la décharge non confinée. De plus, aucune de ces trois substances n'a été détectée au point de prélèvement Sarine aval.*

*Les résultats des analyses des deux campagnes d'échantillonnage de 2016 confirment le bon fonctionnement du système de confinement et l'influence quasi nulle de la décharge sur les eaux souterraines et la Sarine à l'aval de la zone basse de la décharge en situation « normale » (sans crue).*

Les mesures proposées pour les eaux souterraines dans le cadre des études complémentaires avaient pour objectifs principaux de :

1. Définir et préciser la méthode de purge et d'échantillonnage.
2. Valider la méthode de préparation des échantillons et d'analyse de l'Empa et la comparer avec les recommandations OFEV.
3. Clarifier l'importance du flux de PCB de la fraction particulaire.
4. Clarifier l'importance de la LQ basse par rapport à la LQ standard et établir l'incertitude de l'analyse.
5. Évaluer l'état de pollution des eaux souterraines sur l'ensemble du site et comparaison des concentrations en PCB entre 2008 et 2016.
6. Suivre l'influence de la crue artificielle sur les concentrations en PCB

Pour répondre aux objectifs présentés ci-dessus, les relevés, analyses et évaluations suivants ont été réalisés :

Pour les points 1 à 3 :

Campagne d'échantillonnage de 3 piézomètres en mai 2016, permettant d'évaluer l'effet de la purge et de l'échantillonnage sur la turbidité en appliquant le procédé « low-flow purging and sampling ».

Prélèvement d'un seul échantillon (10l), homogénéisation sur site et répartition dans 2 récipients pour analyse par Empa (a) selon méthodologie Empa et b) selon OFEV) et par le laboratoire Wessling, Lyss (méthodologie OFEV avec LQ standard).

Évaluation 1: importance du flux de PCB lié à la fraction particulaire et comparaison avec les données de la littérature.

Évaluation 2 : importance de l'incertitude de l'analyse en cas de concentrations proches de la LQ.

Validation de la méthodologie de la purge et de l'échantillonnage.

Pour le point 4 :

Application de la méthode d'échantillonnage validée pour une campagne d'échantillonnage de tous les sondages sur le site.

Déterminer le procédé d'échantillonnage pour le suivi de la crue artificielle en septembre 2016.

Pour les points 5 et 6 :

Détermination de 5 piézomètres caractéristiques pour le suivi de l'influence de la crue sur les concentrations en PCB sous forme dissoute et particulaire.

Suivi en continu des paramètres physico-chimiques et de la turbidité pendant la crue.

### 3.3.2 Méthodes d'échantillonnage et d'analyse

#### 3.3.2.1 Évaluation de l'influence de la méthode de purge et d'échantillonnage sur la turbidité

Une campagne d'échantillonnage de 3 piézomètres a été effectuée en mai 2016 en collaboration avec l'Empa. Le procédé de prélèvement ainsi que les résultats obtenus sont décrits dans le rapport figurant en Annexe 3.3.2-1.

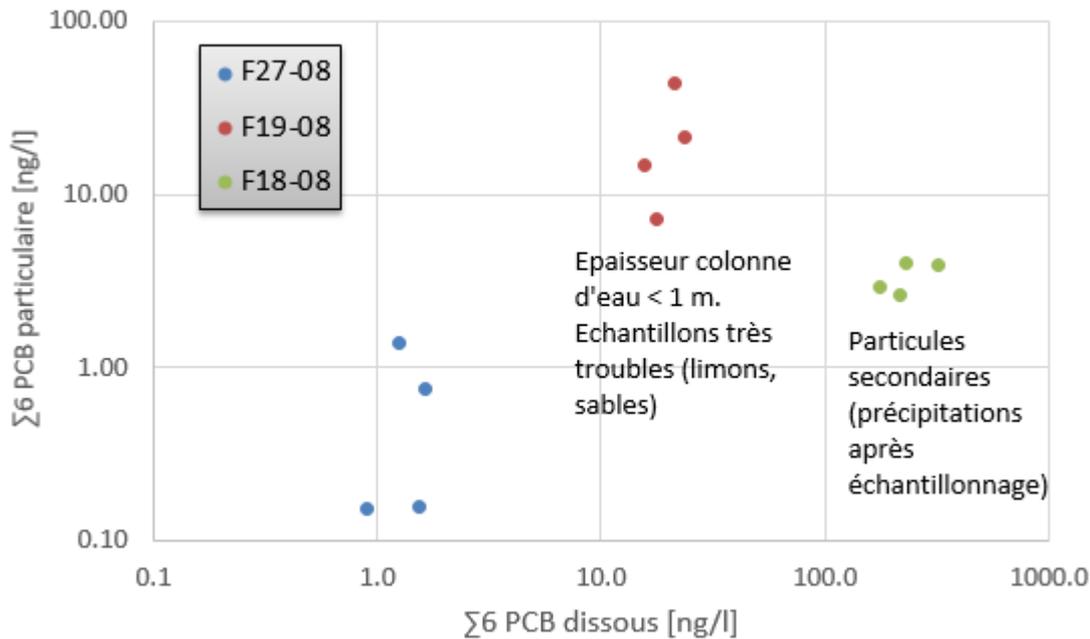


Figure 3-12 Comparaison des teneurs PCB dissoutes et particulaire des 3 piézomètres test.

Les mesures de la turbidité en continu durant quelques jours avant le prélèvement montrent que la turbidité du milieu naturel des eaux souterraines est très faible, voire absente. Malgré le débit de pompage pour la purge (env. 6 l/min) et pour le prélèvement (1 l/min) la turbidité de l'échantillon est influencée par des effets liés aux caractéristiques du milieu (sondage F19-08 : épaisseur faible de la zone saturée et l'accumulation de fines au fond du sondage qui est le toit de la molasse) et aux particules précipitées après échantillonnage (sondage F18-08).

La méthode de prélèvement à des débits très faibles réduit considérablement la turbidité générée par le pompage, l'échantillon prélevé n'est cependant pas comparable au milieu naturel. En effet, la littérature indique que le prélèvement d'échantillons représentatifs du milieu naturel en termes de turbidité exige une durée de purge qui peut aller de 1 heure à plusieurs heures jusqu'à ce que la turbidité se stabilise. Selon un exemple fourni par le CHYN (Centre Hydrogéologique de l'Université de Neuchâtel), le suivi de la turbidité en continu lors de la purge a permis d'observer une stabilisation des valeurs après 1 heure environ.

Les 3 sondages échantillonnés ont été choisis en fonction de l'importance de la contamination par les PCB ; les résultats obtenus permettent de tirer des conclusions relatives à la proportion du PCB particulaire par rapport à la teneur totale de PCB.

- La méthodologie du « low flow sampling » (débit de purge max. 6l/min, débit de prélèvement < 1 l/min) réduit considérablement la libération de particules fines dans les échantillons prélevés sur le

site de la Pila. Les caractéristiques du milieu ne permettent cependant pas de prélever des échantillons représentatifs du milieu naturel avec une durée de purge raisonnable.

- Les résultats d'analyses de la concentration en PCB de la fraction particulaire sont fortement influencés par des particules qui sont libérées par le pompage et qui sont caractéristiques du milieu dans lequel se situe le sondage: par exemple, les concentrations sur les particules sont sensiblement plus élevées pour les sondages situés au centre de la décharge. Pour le sondage F27-08 situé à l'aval de la décharge (hors zone contaminée), la concentration en PCB est en revanche très faible. Ceci montre que les particules dans les échantillons d'eaux souterraines proviennent essentiellement du milieu immédiat dans lequel le sondage se situe.

Pour plus de la moitié des sondages sur le site la Pila, l'épaisseur de la zone saturée est inférieure à 1.5 m et / ou les teneurs en oxygène dissous indiquent un milieu réducteur (risque de précipitations de particules après échantillonnage).

Les résultats de l'essai de la méthode low flow sampling de mai 2016 ont été concluants. Cette méthode é donc été sélectionnée pour effectuer les campagnes d'échantillonnage du mois d'août 2016, ainsi que durant la crue artificielle. L'analyse des PCB sous forme particulaire sera effectuée sur les échantillons prélevés durant la crue artificielle.

### 3.3.2.2 Méthodes de préparation de l'échantillon d'eau souterraine et analyse

L'essai de mai 2016 (voir rapport en Annexe 3.3.2 - 1) a permis de comparer les méthodes de préparation de l'échantillon d'eaux souterraines pour l'analyse de la fraction dissoute et particulaire du PCB.

Concernant la méthode d'analyse, les résultats du laboratoire Empa pour les 2 méthodes ainsi que ceux du laboratoire Wessling sont comparables. Le traitement de l'échantillon liquide (décantation durant 24 h et prélèvement du surnageant) permet l'analyse des PCB dissouts.

Pour donner suite à la remarque du Service de l'Environnement datant du 27.07.16 qui estimait que les deux méthodes de séparation des fractions à analyser étaient difficilement interprétables « du fait des faibles quantités de particules (en relation avec les faibles volumes d'eaux prélevées et à la faible charge en MES) », des essais avec des volumes plus importants (10 l au lieu de 2.5 l) ont été réalisés lors de la campagne d'échantillonnage d'août 2016 au sondage F19-08. L'objectif était d'évaluer une éventuelle « perte » de PCB sous forme de colloïdes, qui ne serait analysée ni dans la fraction dissoute ni dans la fraction particulaire. Le programme d'analyse a donc été élargi en considérant la teneur totale en PCB.

Le volume plus élevé de l'échantillon n'a guère augmenté la masse de particules, de plus la limite de quantification dépend non seulement de la masse de particules mais également de la concentration en PCB sur les particules.

La différence entre la teneur totale et la somme des teneurs en PCB dissous et particulaires est inférieure à l'incertitude de la méthode. On peut donc en conclure que les teneurs en PCB liées aux colloïdes sont négligeables.

La comparaison des méthodes de préparation et d'analyse effectués par les 2 laboratoires Empa et Wessling montre que les résultats sont comparables et, par conséquent, que les 2 méthodes d'analyse des PCB dissous et particulaires sont validées.

On observe toutefois que la limite de quantification pour le PCB dissous indiquée par l'Empa est nettement inférieure à celle de Wessling, ce qui permet de quantifier les PCB pour la vérification de traces ou pour observer une évolution dans le temps comme c'est le cas pour la crue artificielle de 2016.

				PCB dissous, par congénère	
Labo	Méthode	Type		LQ standard	LQ basse
Wessling	Standard labo	LQ standard	ng/l	2	pour tous les congénère
		LQ basse	ng/l	0.4 - 0.8	LQ différent par congénère
Empa	Blanc de la méthode (cartouche) sans utilisation eau	Blan	ng/l	0.0019 - 0.0092	LQ différent par congénère
	Blanc de la méthode Lichrosolv Merck (eau ultrapure)		ng/l	0.024 - 0.07	LQ différent par congénère

Figure 3-13 Limites de quantification pour le PCB dissous des laboratoires Empa et Wessling

Afin d'évaluer la limite de quantification d'un échantillon, le laboratoire Empa se réfère à la méthodologie de blanc de laboratoire pour chaque congénère PCB. La méthodologie du blanc de l'Empa pour le PCB dissous et le PCB particulaire est décrite en Annexe 3.3.2-2. L'écart d'une concentration analysée par rapport au blanc est évalué, par l'Empa, selon la classification suivante :

Tableau 3-2 Écart entre le résultat d'analyse et le blanc du laboratoire

Ecart au blanc	Evaluation
< 2.5 x blanc	Résultat proche de la limite de quantification
2.5 – 5 x blanc	Résultat avec un écart suffisamment important de la limite de quantification
> 5 x blanc	Résultat clairement supérieur à la limite de quantification

Dans l'interprétation des résultats, les résultats < 2.5 x blanc et entre 2.5-5 x blanc sont à traiter avec précaution. Seuls les résultats >5 x blanc sont considérés comme clairement représentatifs.

### 3.3.2.3 État de pollution des eaux souterraines sur l'ensemble du site

Les méthodes d'échantillonnage et d'analyse pour l'échantillonnage de l'ensemble des piézomètres défini pour la campagne d'août 2016 peuvent être résumées comme suit (cf. détail en Annexe 3.3.2.-3) :

- Pompage à faible débit durant la purge et réduction du débit lors de l'échantillonnage afin de réduire au maximum la libération de fines autour des crépines et de réduire autant que possible la dissolution de PCB adsorbés sur les fines.
- Analyse des PCB dissous uniquement : Méthode d'analyse et prétraitement de l'échantillon selon la méthode OFEV, E-12, limite de quantification : 2 ng/l par congénère.

La situation et la liste des points de prélèvements ainsi que les méthodes d'échantillonnage et d'analyses de la campagne d'août 2016 sont présentés en Annexe 3.3.2-3. Les piézomètres, les puits de pompage, ainsi que le point de prélèvement Sarine aval, qui font partie du programme de surveillance 2014-2018, ont été intégrés dans cette campagne.

Dans le cadre de cette campagne, une phase préparatoire a été réalisée pour le suivi de la crue afin de déterminer la limite de quantification nécessaire lors du suivi de la crue. 2 échantillons d'eaux souterraines ont été prélevés dans les sondages faisant l'objet du suivi et ont été analysés par les laboratoires Wessling

(limite de quantification : 2ng/l) et Empa (limite de quantification en fonction du blanc) (les résultats d'analyse figurent en Annexe 3.3.3-2a et 3.3.3-2b):

Tableau 3-3 Comparaison des résultats d'analyse des laboratoires Wessling et Empa en fonction des limites de quantification

	Blanc / LQ	Piezo F61-16	Piezo F21-08	Piezo Bleu	Piezo F23-08	Piezo F27-16
<b>Empa: 4.3 <math>\Sigma</math> 6 PCB [ng/l]</b>	0.12	1.9	32.9	3.3	8.1	2.8
<b>Wessling: 4.3 <math>\Sigma</math> 6 PCB [ng/l]</b>	8.6 *	26.0	22.0	-/-	-/-	-/-
<b>Rapport Empa/Wessling</b>		0.1	1.5			

\* LQ = 4.3 x 2 g/l

Les résultats montrent que les concentrations sont comparables pour les deux échantillons ; la limite de quantification de l'Empa est plus basse et permet cependant d'assurer une observation plus fine de l'évolution des concentrations durant la crue.

Suite à cette comparaison, il a été décidé de faire analyser les échantillons prélevés lors de la crue artificielle par l'Empa.

### 3.3.2.4 Suivi de la crue artificielle du 14-15 septembre 2016

5 points d'échantillonnage ont été sélectionnés pour mesurer l'impact de la crue sur les flux de PCB sortant de la décharge vers la Sarine. Il s'agit des points F21-08, F23-08, F27-08, Piezo-bleu et F61-16 (voir Annexe 3.3.2-3), préalablement échantillonnés en août 2016. Ces points ont été échantillonnés au total 10 fois entre le début de la crue, le 14.09.2016 et la fin des basses eaux qui ont suivi la crue, le 18.09.2016. 7 prélèvements ont été analysés.

En parallèle, des sondes de mesures automatiques avaient été installées dans 16 piézomètres, dont les 5 piézomètres échantillonnés durant la crue, pour le suivi du niveau piézométrique, de la conductivité électrique et de la température (cf. plan de situation en Annexe 3.3.2-4).

Crue artificielle du 14 au 15.09.2016

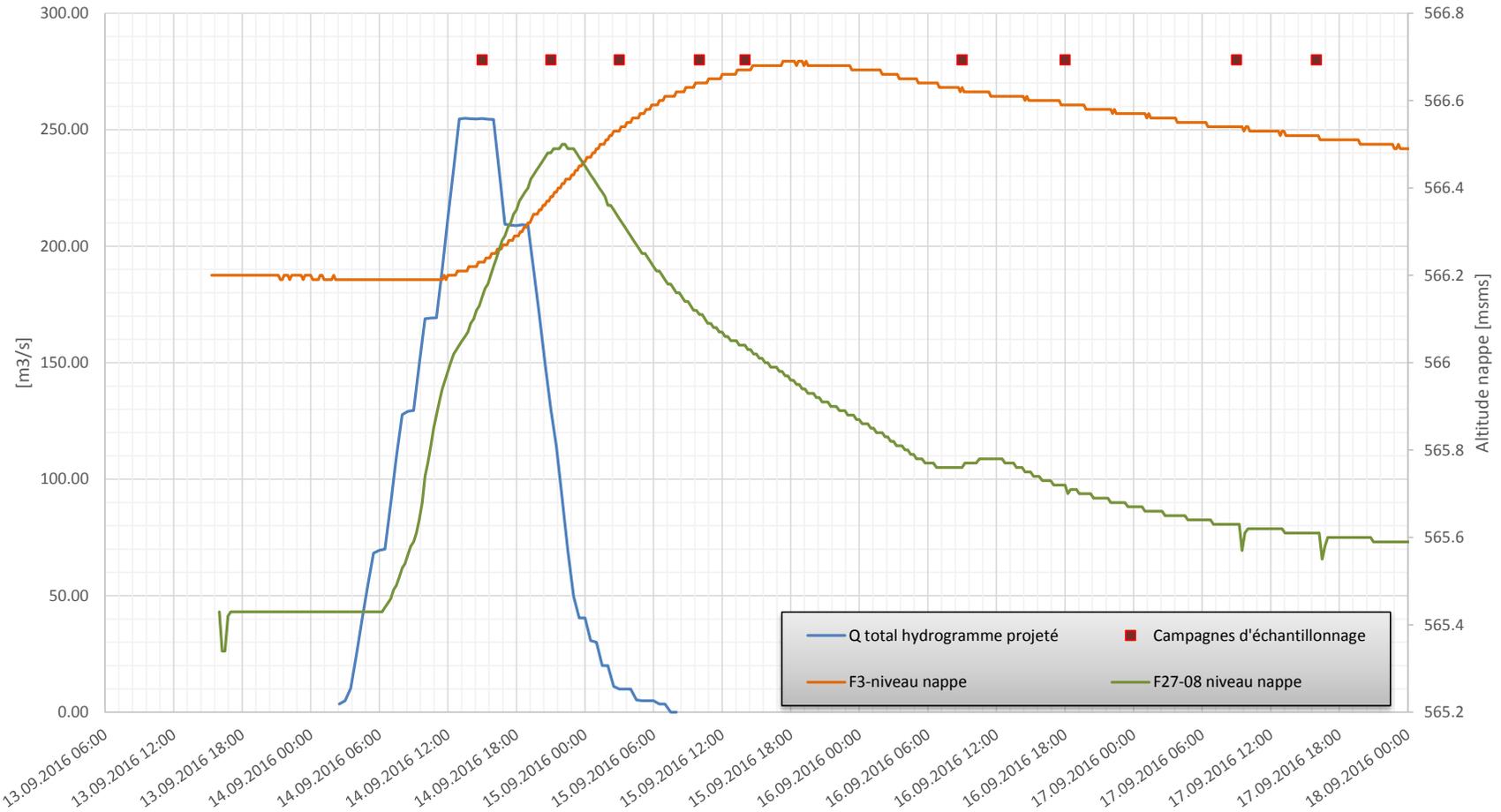


Figure 3-14 Évolution des niveaux piézométriques en F3 et F27- 08 ; périodes d'échantillonnage durant et après la crue

Les méthodes de prélèvement et d'analyse retenues pour l'ensemble des piézomètres échantillonnés durant la campagne d'août 2016 et pendant la crue peuvent être résumées comme suit :

- Installation des pompes dans les piézomètres la veille de la crue. Les pompes sont restées dans les piézomètres jusqu'au 18.09.16 pour éviter de perturber l'eau souterraine par les manipulations.
- Pompage à faible débit durant la purge et réduction du débit lors de l'échantillonnage afin de réduire au maximum la libération de fines autour des crépines et de réduire au max la dissolution de PCB adsorbés sur les fines.
- Analyse des PCB dissous et particulaires: Méthode d'analyse et prétraitement de l'échantillon selon la méthode Empa.

De plus, des capteurs passifs ont été installés dans ces 5 piézomètres durant 3 périodes d'exposition de 2 semaines chacune avant, durant et après la crue. Ces mesures avaient pour but d'obtenir des résultats permettant de comparer les piézomètres entre eux en intégrant les concentrations en PCB sur une plus longue durée dans les cas où les concentrations dans l'eau ne seraient pas détectées par le laboratoire dans les échantillons ponctuels.

### 3.3.3 Résultats et interprétation

#### 3.3.3.1 Comparaison de concentrations d'analyses ponctuelles avec des concentrations déduites de capteurs passifs

Les résultats (rapport EMPA) et interprétations des capteurs passifs sont décrits de manière détaillée à l'Annexe 3.3.3 – 1. Ils montrent que les concentrations en PCB calculées à partir des capteurs passifs et analysées ponctuellement sont d'un même ordre de grandeur (Figure 3-15). Il n'y a donc pas eu de flux « manqué » lors des mesures ponctuelles et de plus, les analyses des capteurs passifs permettent de confirmer les analyses des mesures ponctuelles.

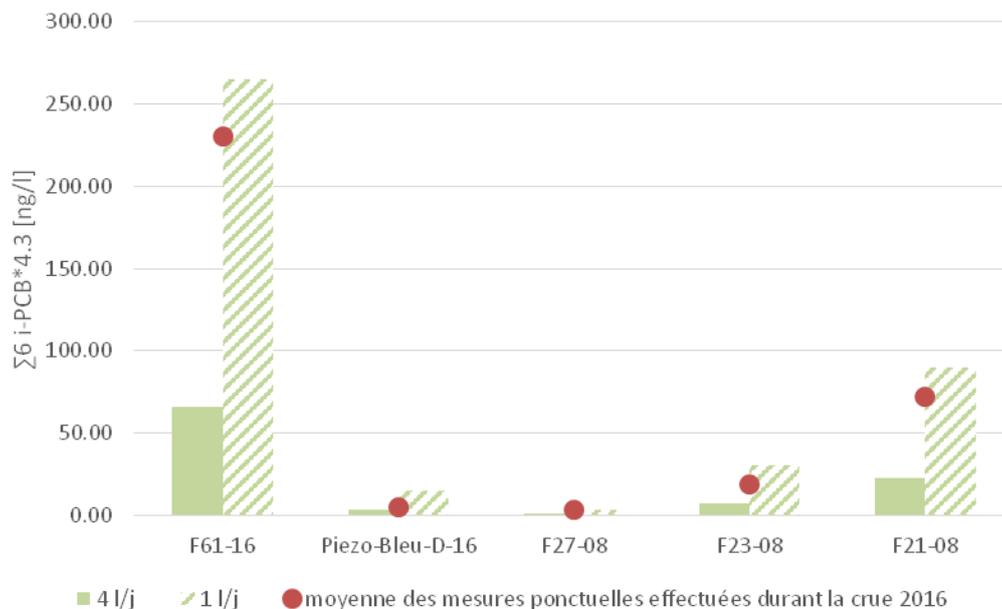


Figure 3-15 Comparaison entre les valeurs déduites des capteurs passifs et les mesures ponctuelles en période de crue

### 3.3.3.2 État de pollution des eaux souterraines sur l'ensemble du site

La documentation relative à l'état de pollution des eaux souterraines est présentée comme suit :

- Fiches d'échantillonnage ; Annexe 3.3.3-2a
- Rapports d'analyses des laboratoires (Wessling & EMPA), Annexes 3.3.3-2b et 2c
- Plans de situation des résultats d'analyse d'août 2016 pour les PCB et l'ammonium : Annexe 3.3.3 – 2d

La synthèse des résultats des analyses des différents piézomètres échantillonnés est présentée dans le tableau ci-dessous.

Nom	Emplacement	Matières filtrables [mg/l]	Ammonium (NH4) [mg/l]	Chlorure de vinyle [µg/l]	Somme des 6 PCB x 4,3 [µg/l]
<i>Valeur de concentration OS/tes</i>		-	0.5	0.5	0.1
<b>F06-08</b>	Zone haute	180	1.8	<LQ	0.24
<b>F07-08</b>		50	34	0.45	0.056
<b>F09-08</b>		35	100	0.29	2.7
<b>F10-08</b>		22	74	0.83	0.043
<b>F11-08</b>		n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
<b>F14-08</b>		20	28	0.75	0.03
<b>F15-08</b>		38	1100	0.73	160
<b>F16-08</b>		n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
<b>Pila 3</b>		n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
<b>F05-08</b>	Aval de la zone haute à l'intérieur du confinement	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
<b>F1</b>		19	15	0.25	6.3
<b>PP1</b>		44	15	<LQ	<LQ
<b>PP2</b>		16	28	0.36	<LQ
<b>PP3</b>		<LQ	3.8	<LQ	<LQ
<b>PP4</b>		<LQ	0.04	<LQ	<LQ
<b>F26-08</b>	Aval immédiat hors confinement - zone haute	26	0.01	<LQ	<LQ
<b>F50-12</b>		<LQ	0.02	<LQ	<LQ
<b>F53-12</b>		<LQ	0.02	<LQ	<LQ
<b>F18-08</b>	Zone basse	60	96	0.47	1.4
<b>F19-08</b>		<LQ	0.85	<LQ	0.06
<b>F20-08</b>		84	27	0.14	0.43
<b>F21-08</b>		15	0.01	<LQ	0.022
<b>F22-08</b>		<LQ	0.03	<LQ	<LQ
<b>F23-08</b>		<LQ	1.3	<LQ	<LQ
<b>F24-08</b>		15	0.01	<LQ	<LQ
<b>F28-08</b>		52	18	1.8	0.22
<b>F29-08</b>		n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
<b>F3</b>		50	0.11	0.26	0.86
<b>F27-08</b>	Aval immédiat - zone basse	<LQ	0.02	<LQ	<LQ
<b>F27-D-16</b>		<LQ	0.02	<LQ	<LQ
<b>F60-16</b>		38	0.11	<LQ	<LQ
<b>F61-16</b>		<LQ	<0.01	<LQ	0.026
<b>Piézo-bleu</b>		<LQ	0.02	<LQ	<LQ
<b>Piézo-bleu-16</b>		<LQ	0.02	<LQ	<LQ
<b>Pila 2</b>		n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
<b>Sarine aval</b>	eau de surface dans la zone calme, au pied des big-bags	61	0.02	<LQ	<LQ

Tableau 3-4 Synthèse de teneurs de matière filtrables, ammonium, chlorure de vinyle et  $\sum$  6 PCB 4.3 de la campagne d'août 2016. En jaune : dépassement de la valeur de concentration selon annexe 1 OSites. En rouge : dépassement de 10 x la valeur de concentration selon annexe 1 OSites. Les emplacements correspondants sont illustrés en Annexe 3.3.2-3

## Constats:

1. Les sondages présentant des concentrations en PCB supérieures à 1 µg/l et en ammonium supérieures à 5 mg/l (les concentrations correspondent à 10 x la valeur de concentration selon annexe 1 OSites) dans les eaux souterraines se situent principalement dans la zone haute.
2. Aucun dépassement d'une valeur de concentration n'est observé à l'aval de la zone basse.

La figure suivante présente les différences de concentrations en PCB entre les campagnes de 2008 et d'août 2016. Les valeurs positives indiquent une augmentation alors que les valeurs négatives indiquent une diminution. Les piézomètres F1 et F15-08 avec des différences de -139 et + 81 [µg/L], respectivement, ne sont pas représentés.

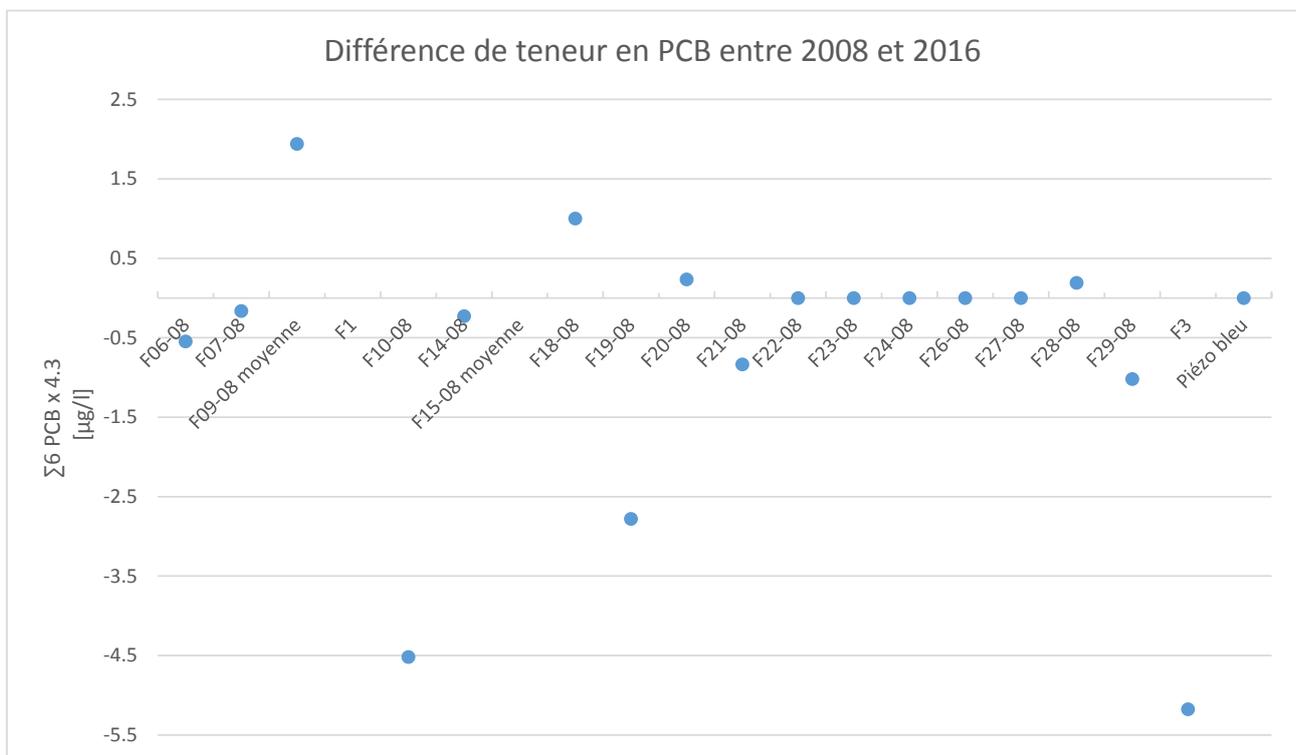


Figure 3-16 Différence entre les concentrations en PCB de 2008 et 2016<sup>4</sup>

Pour les 20 piézomètres comparés, nous constatons 9 diminutions, 5 augmentations et 6 concentrations identiques, qui étaient inférieures aux limites de quantification du laboratoire. Au total, 14 variations sont inférieures ou égales à 1 µg/l pour l'essentiel (12/14) sur des piézomètres situés sur la zone basse ou à l'aval à proximité du site.

Ces constatations ne suffisent pas pour en tirer une tendance générale. Les conditions d'échantillonnage strictes de 2016, avec de très faibles débits minimisant la perturbation du milieu, peuvent expliquer une partie des diminutions. Les variations de concentrations les plus importantes, par exemple en F1 et F15-08, sont quant à elles expliquées par les niveaux de contamination élevés de la décharge dans ces secteurs et à la présence de phases huileuses.

<sup>4</sup> Lorsque le nom du point est suivi par « moyenne », cela signifie que plusieurs prélèvements avaient été réalisés durant l'année 2008 et que la valeur moyenne des résultats a été considérée

La campagne d'échantillonnage menée en 2016 montre cependant que les ordres de grandeur des concentrations mesurées sont globalement similaires à 2008 ou sont cohérents avec la situation des points d'échantillonnage. La relative stabilité du niveau de pollution des eaux souterraines est corroborée par les analyses effectuées dans le cadre de la surveillance du site.

### 3.3.3.3 Suivi de la crue artificielle

Les documents de base relatifs au suivi des eaux souterraines durant la crue artificielle sont les suivants :

Annexe 3.3.3 – 3a	Fiches d'échantillonnage
Annexe 3.3.3 – 3b	Graphiques des teneurs en PCB particulières et dissous par piézomètre durant la crue.
Annexe 3.3.3 – 3c	Rapport d'analyses laboratoire Wessling
Annexe 3.3.3 – 3d	Rapport d'analyses laboratoire EMPA
Annexe 3.3.3 – 3e	Tableau de synthèses résultats EMPA
Annexe 3.3.3 – 3f	Graphique des particules dans les eaux souterraines

Le tableau suivant présente l'évolution du PCB dissous dans les piézomètres échantillonnés pendant la crue artificielle:

Tableau 3-5 Concentrations en PCB dissous (ligne supérieure). Analyses EMPA. n.a. non analysé. La ligne inférieure, en couleur, indique le facteur de dépassement du blanc selon la classification indiquée au chap. 3.2.2.

n° échantillon		1	3	4	5	7	8	9	10
<b>PCB dissous</b> <b>4.3x<sub>6</sub> PCB</b>	22-25 aout 2016	14.09.2016 15:00	15.09.2016 03:00	15.09.2016 10:00	15.09.2016 15:00	16.09.2016 18:00	17.09.2016 09:00	17.09.2016 16:00	18.09.2016 08:00
		[ng/l]							
Piezo Bleu	3.25	3.2	5.7	n.a.	2.9	5.6	2.8	10.4	2.1
		2.9	5.2	n.a.	2.7	5.2	2.5	9.6	2.0
F61-16	1.9	282.1	134.2	161.7	506.5	236.2	71.6	249.9	201.1
		260.2	123.8	149.2	467.3	218.0	66.1	230.5	185.5
F27-08	2.77	4.4	3.3	n.a.	3.8	3.0	3.1	4.1	3.1
		4.0	3.0	n.a.	3.5	2.8	2.9	3.7	2.9
F23-08	8.08	15.4	n.a.	n.a.	58.6	11.8	7.8	9.2	11.7
		14.2	n.a.	n.a.	54.0	10.9	7.2	8.5	10.8
F21-08	32.95	89.0	149.2	n.a.	n.a.	54.8	42.4	42.7	55.8
		82.1	137.6	n.a.	n.a.	50.6	39.1	39.4	51.5

Le tableau ci-dessus et les graphiques en Annexe 3.3.3-3b montrent que globalement, durant la crue et la décrue, les concentrations en PCB augmentent ponctuellement par rapport à une période « normale » :

- Au centre de la décharge, les niveaux de la nappe montent d'environ 1 à 1.2 m et la concentration en PCB dissous augmente entre 5 et 7x (valeur mesurée en aout et la teneur maximale observée durant la phase de la crue/décrue respectivement aux piézomètres F21-08 et F23-08).
- À l'aval immédiat, les concentrations au F27-08 et au Piézo bleu sont de 1.5 à 3x plus importantes pour valeurs maximales mesurées durant la crue par rapport aux mesures en période normale. Étant donné les concentrations déjà très faibles en période normale, l'augmentation des concentrations

durant la crue restent marginales et se situent dans une marge d'incertitude de 2.5 – 5 x du blanc du laboratoire.

- Au piézomètre F61-16 qui se situe à l'extrémité est de l'aval de la zone basse, l'augmentation est nettement plus importante, jusqu'à environ 270 x plus importante en période de crue qu'en période normale.

Les résultats des capteurs passifs confirment ces résultats : l'ordre de grandeur des concentrations faibles à nulles en F27-08 et Piézo bleu en situation « normale » et en temps de crue, ainsi qu'une augmentation des teneurs en PCB au F61-16 durant la crue sont visibles. Les analyses des capteurs passifs permettent ainsi de confirmer qu'il n'y a pas de flux de PCB « manqué » entre 2 analyses ponctuelles. De plus, cela permet de confirmer que même si le F61-16 n'a été qu'échantillonné qu'une seule fois en période normale, cet échantillonnage peut être considéré comme représentatif car les résultats suivent les mêmes tendances que ceux observé par les capteurs passifs.

Cette augmentation des teneurs en PCB dissous durant la crue peut s'expliquer par un lessivage de la zone non saturée. Bien que les concentrations en PCB augmentent ponctuellement durant la crue de 2016, les valeurs restent relativement faibles et n'ont jamais dépassé 1 µg/l à l'aval immédiat de la décharge (ni au centre de la décharge).

La crue de 2016 n'a pas atteint les déchets de la décharge, ce qui pourrait potentiellement augmenter de façon plus importante le lessivage des polluants. À la hauteur du sondage F61-16 les teneurs nettement plus élevées peuvent être expliquées par les directions d'écoulement des eaux pendant la crue susceptibles d'entraîner des eaux souterraines polluées du centre de la décharge.

Le tableau ci-dessous présente l'évolution du PCB particulaire dans les piézomètres échantillonnés pendant la crue:

Tableau 3-6 Concentrations PCB de la fraction particulaire (ligne supérieure). La ligne inférieure, en couleur, indique le facteur de dépassement du blanc selon la classification indiquée au chap. 3.2.2

n° échantillon		1	3	4	5	7	8	9	10
<b>PCB particulaire 4.3xΣ 6 PCB</b>	22-25 aout 2016 (matière filtrable)	14.09.2016 15:00	15.09.2016 03:00	15.09.2016 10:00	15.09.2016 15:00	16.09.2016 18:00	17.09.2016 09:00	17.09.2016 16:00	18.09.2016 08:00
	[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]
Piezo Bleu	<5	4.4	2.3	n.a.	1.4	6.5	4.9	2.8	2.2
		2.9	1.5	n.a.	0.9	4.3	3.3	1.8	1.4
F61-16	<5	41.5	309.4	48.4	40.7	61.2	1168.1	118.2	99.1
		27.3	204.0	31.9	26.9	40.3	770.2	78.0	65.3
F27-08	<5	16.8	2.0	n.a.	4.0	5.0	5.9	5.1	7.0
		11.1	1.3	n.a.	2.6	3.3	3.9	3.3	4.6
F23-08	<5	9.1	n.a.	n.a.	21.5	49.9	11.8	13.1	543.6
		6.0	n.a.	n.a.	14.2	32.9	7.8	8.7	358.5
F21-08	15	1234.9	521.9	n.a.	n.a.	60.8	22.7	40.6	22.6
		814.2	344.1	n.a.	n.a.	40.1	14.9	26.8	14.9

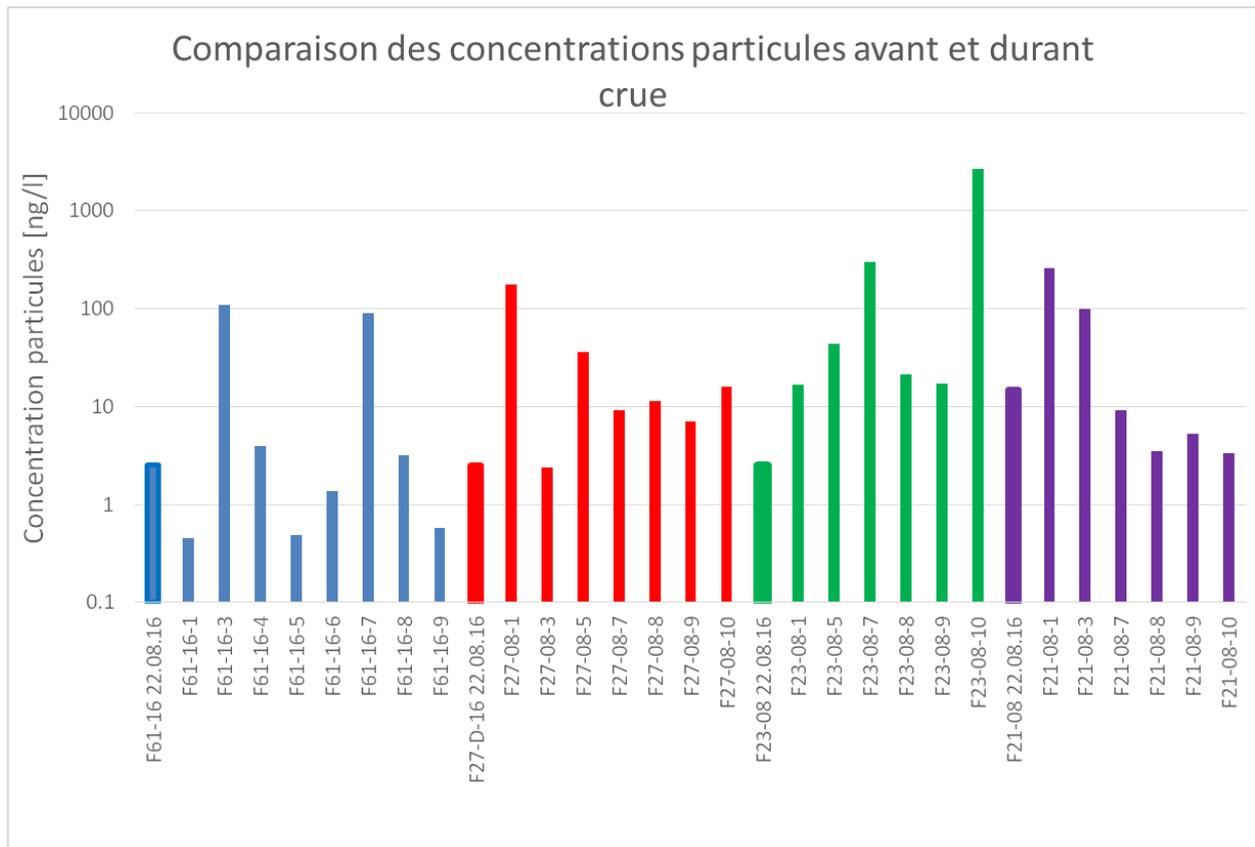


Figure 3-17 Concentration des particules [ng/l] dans les eaux souterraines. Comparaison entre les concentrations analysées lors de la campagne du mois d'août et les concentrations dans les échantillons prélevés lors de la crue.

Les concentrations en particules dans les eaux souterraines prélevées au cours de la crue sont partiellement supérieures à celles observées un mois avant la crue (campagne du mois d'août). Pour certains piézomètres l'augmentation est directement liée à la crue (n° d'échantillons 1 et 3) ou à la situation après la crue (période de basses eaux du 16 au 18 septembre, n° d'échantillons 5, 7 et 9). Ce phénomène peut être lié au fait que l'augmentation rapide du niveau d'eau durant la crue a provoqué une libération accentuée de particules fines de la zone non saturée.

Pour les sondages à l'aval du site (Piezo Bleu et F27-08) les teneurs en PCB liées à la fraction particulaire se situent fréquemment dans la marge d'incertitude de 2.5 – 5 x le blanc du laboratoire.

Selon le graphique suivant, l'importance de la concentration en PCB particulaire est nettement supérieure à la teneur en PCB sous forme dissoute, à l'exception du sondage F61-16. Comme indiqué au chapitre précédent, ce phénomène est lié à la perturbation du milieu par le pompage et par la situation des sondages dans ou hors le corps de la décharge. En plus, la remontée rapide de la nappe provoque une libération accrue de particules.

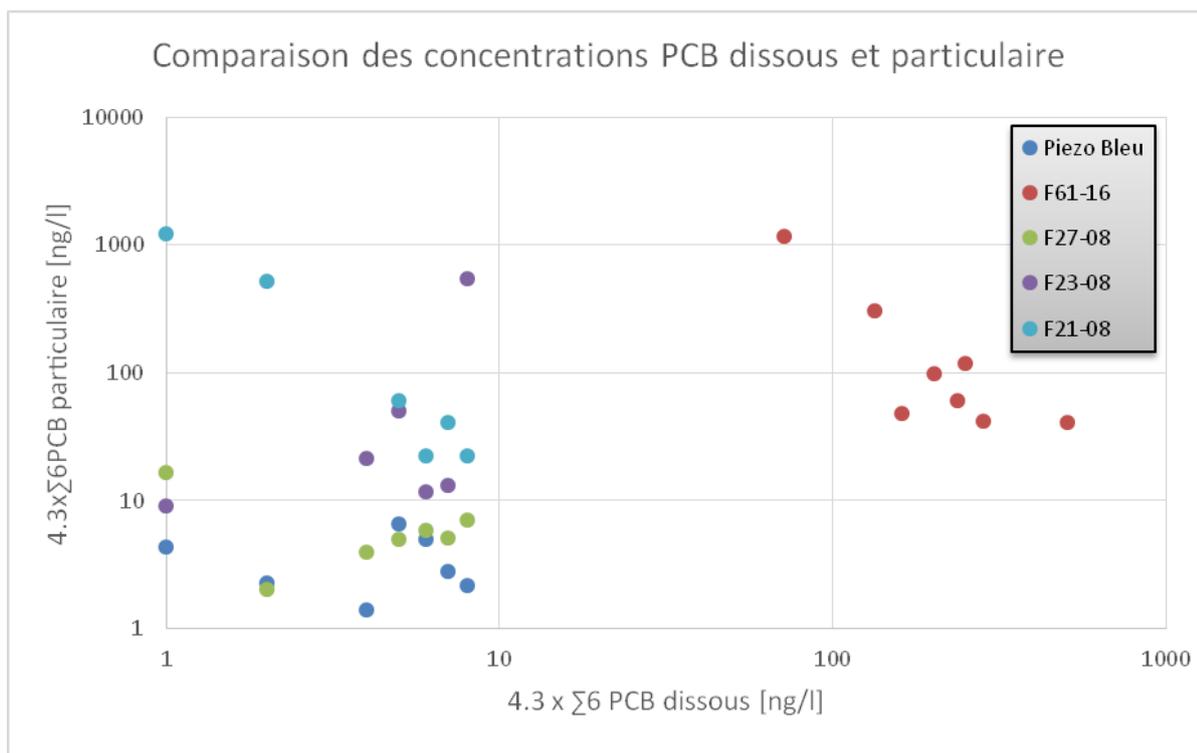


Figure 3-18 Comparaison des concentrations en PCB dissous et particulaire durant la crue

Bien qu'une augmentation des particules de PCB soit observable aux points échantillonnés durant la crue, cela ne signifie pas qu'on observe un flux de particules de PCB dans la Sarine plus important. En effet, en raison des faibles vitesses d'écoulement, elles ne peuvent être transportées que de façon restreinte dans l'aquifère et ne s'exfiltrent pas dans la Sarine.

Les PCB présents sous forme particulaire dans les échantillons d'eaux souterraines sont déterminés par la configuration du piézomètre prélevé (niveau de pollution), par les caractéristiques de l'aquifère (granulométrie, hauteur d'eau) et par la méthode de prélèvement (mode de pompage). Les PCB présents sous forme particulaire et analysés dans les différents piézomètres ne sont pas représentatifs du transport réel de particules fines contaminées dans la nappe ; ils reflètent la situation spécifique autour du point de prélèvement dans lequel les particules sont entraînées mécaniquement par l'action du prélèvement.

## 4. Stock et flux de PCB dans la Sarine

### 4.1 Contexte et objectifs

L'étude d'autres milieux aquatiques contaminés par des PCB, comme par exemple la Birse (Suisse) ou le Lac de Bourget (France), a mis en évidence qu'une intervention sur la source de polluants peut produire des effets immédiats ou beaucoup plus lents selon le contexte.

Dans le cas de la Birse (Suisse) des effets positifs ont rapidement pu être observés : Une baisse remarquable des concentrations en PCB dans l'eau et les poissons a été mesurée dans la Birse, après qu'une usine de Choindex ait cessé le rejet de ses eaux résiduelles de lavage polluées en PCB dans la rivière<sup>5</sup>. La source de PCB vers la Birse était principalement sous forme liquide. Les sédiments analysés avant que la source n'ait été coupée (2010) présentaient des concentrations en PCB relativement faibles<sup>[3]</sup>.

Dans le cas du lac du Bourget, une pollution résiduelle demeure jusqu'à ce jour. L'une des sources de PCB identifiées est un ancien site industriel où des transformateurs électriques ont été fabriqués, et qui est lié au Lac de Bourget par la rivière Tillet<sup>[11]</sup>. La rivière Tillet a été restaurée entre 2012 et 2013 ; son lit a été asséché et les sédiments s'y trouvant ont été remplacés par des matériaux propres. Malgré cet assainissement et une diminution de la teneur en PCB pour certaines espèces de poissons du Lac, une pollution résiduelle demeure, probablement due à la présence d'autres sédiments pollués (communication E. Naffrechoux).

Les prélèvements et analyses effectués en 2016 dans le lit de la Sarine (secteur Pila-Gérine) montrent que celui-ci est pollué par des sédiments contaminés et des déchets, et cela même en profondeur (Figure 2-6). Cette pollution semble être aujourd'hui la source principale de contamination du milieu aquatique de la Sarine, en l'absence d'émissions significatives depuis le confinement partiel de la décharge (on calcule tout de même des flux de PCB pour l'état 2016, mais ils sont nettement plus faibles que dans le passé). Afin de comprendre plus finement la dynamique du système et d'en prédire l'évolution, il convient d'estimer la quantité de PCB stockée dans le lit de la Sarine et les flux de PCB régulant « naturellement » (hors influence de la décharge) ce stock dans la rivière. Les objectifs visés dans le présent chapitre sont les suivants :

- Estimer le stock de PCB piégé dans les sédiments et les déchets présents dans le lit de la Sarine en 2016, lequel risque de contaminer la rivière à long terme indépendamment de l'assainissement de la décharge.
- Comprendre la dynamique des flux de PCB dans la rivière en estimant les quantités de PCB (sous forme MES ou dissoutes) transitant annuellement en temps normal et durant la crue artificielle de septembre 2016.
- Estimer, à partir des stocks et flux de PCB dans la Sarine, le temps nécessaire à l'élimination de la pollution jusqu'à ce qu'un niveau de contamination de fond soit atteint.

### 4.2 Stock de PCB dans le lit de la Sarine

L'approche retenue pour estimer le stock de PCB présent dans la Sarine est la suivante :

1. Évaluation de la masse de sédiments et de condensateurs présente sur les trois secteurs d'étude du cours d'eau (Pila-Gérine, Gérine-Lac, Lac Pérolles) et pour les fractions de sédiments supérieures et inférieures à 2 mm;

---

<sup>5</sup> <http://www.jura.ch/DEN/ENV/Eaux/Cours-d-eau/Qualite-des-eaux/Qualite-des-eaux.html> (document *Qualité de l'eau de la Birse : évolution positive selon les dernières analyse d'eau et de poissons*)

- Estimation de la masse de PCB en appliquant les concentrations mesurées aux différents secteurs et aux différentes fractions.

Les étapes de calcul sont présentées dans le schéma suivant et développées en Annexe 4 - *Calcul stock et flux PCB Sarine*.

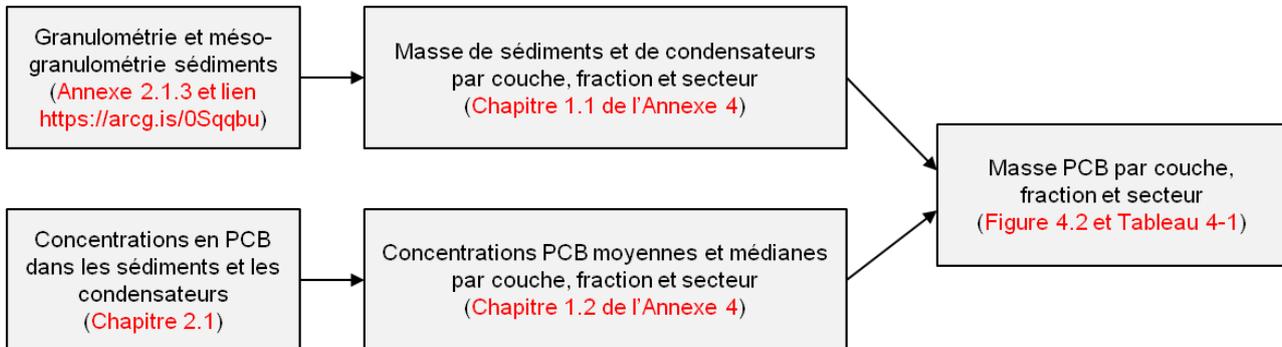


Figure 4-1 Schéma représentant les étapes principales de calcul du stock PCB présent dans le lit de la Sarine (sédiments et déchets)

Les résultats de l'évaluation du stock de PCB présent dans chaque secteur de la rivière sont représentés, par fraction et couche prélevée, dans la figure suivante et le tableau suivant. Dans la figure, la hauteur des barres représente la valeur moyenne, alors que les barres d'erreurs représentent les valeurs minimum et maximum. Ces minimum et maximum sont obtenus en faisant varier la superficie, la masse volumique des sédiments, le pourcentage massique de la fraction < 2 mm ainsi que la concentration en PCB dans les sédiments et les condensateurs (voir le Tableau 1-1 de l'Annexe 4 - *Calcul stock et flux PCB Sarine*).

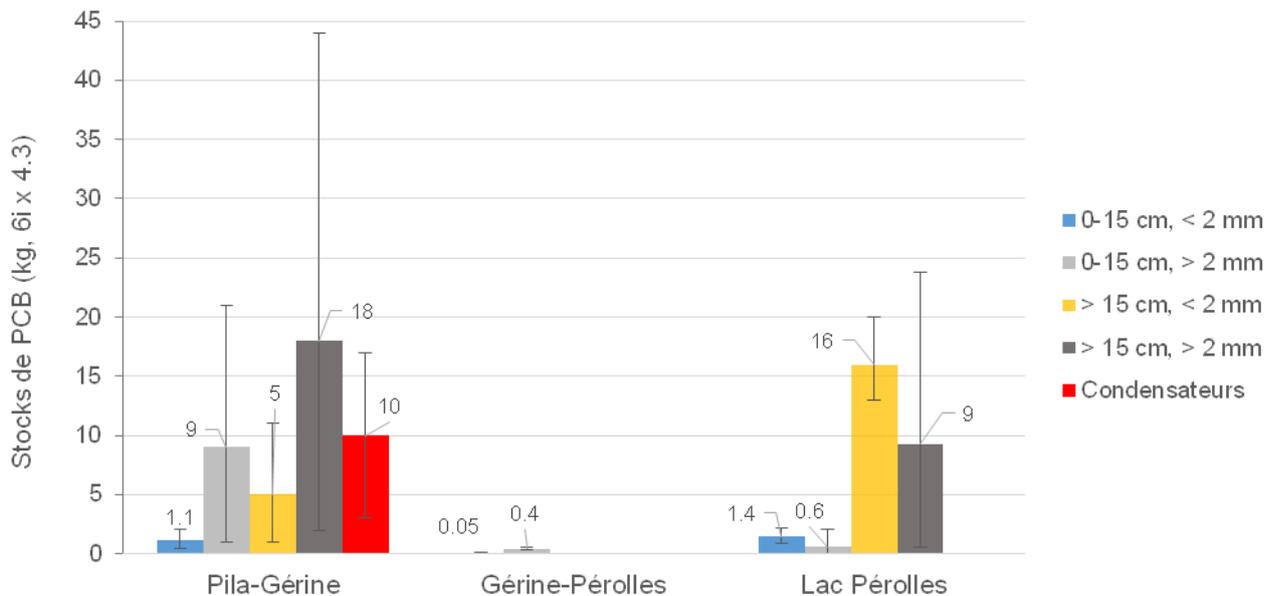


Figure 4-2 Stocks de de PCB présents dans le lit de la Sarine par couche, fraction et secteur de cours d'eau

Fraction		< 2 mm	< 2 mm	> 2 mm	> 2 mm	Condensateurs	Total
Couche		0-15 cm	> 15 cm	0-15 cm	> 15 cm	0-75 cm	kg PCB
Pila-Gérine	MOY	1	5	9	18	10	43
	MIN	0.4	1	1	2	3	7
	MAX	2	11	21	44	17	95
Gérine-Pérolles	MOY	0.05	-	0.4	-	-	0.5
	MIN	0.02	-	0.3	-	-	0.3
	MAX	0.09	-	0.5	-	-	0.6
Pérolles	MOY	1.4	16	0.6	9	-	27
	MIN	0.8	13	0	0.5	-	14
	MAX	2	20	2	24	-	48
Total	MOY	3	21	10	27	10	71
	MIN	1	14	1	3	3	22
	MAX	4	31	24	68	17	144

Tableau 4-1 Stocks moyens (MOY), minimums (MIN) et maximums (MAX) en kilos de PCB dans le lit de la Sarine

En moyenne, les fractions grossières (> 2 mm) des couches profondes (15-75 cm) du secteur Pila-Gérine contribuent majoritairement au stock de PCB présent dans le lit de la Sarine avec une moyenne estimée à 18 kg (entachée d'une grande incertitude : entre 2 et 44 kg). Cette incertitude provient principalement de l'hétérogénéité des concentrations dans ce secteur/cette couche/cette fraction, avec une moyenne de 3 et une médiane de 0.28 mg/kg (Tableau 1-2 de l'Annexe 4 *Calcul stock et flux PCB Sarine*). Les contributions les plus faibles au stock présent dans le lit de la Sarine proviennent du secteur Gérine-Lac, avec des masses de PCB moyennes de 0.05 kg pour la fraction < 2 mm et 0.4 kg pour la fraction > 2 mm. Il faut rappeler que les couches profondes (> 15 cm) ne sont pas égales d'un secteur à un autre : elles comprennent l'intervalle 15-65 cm pour le secteur Pila-Gérine, elles sont inexistantes pour le secteur Gérine-Lac et elles incluent l'intervalle 15-120 cm pour le secteur Lac Pérolles.

La fraction « condensateurs », estimée pour l'intervalle de profondeur 0-75 cm sur le secteur Pila-Gérine, contient au minimum 3 kg de PCB. Ce minimum est le plus élevé de tous, après celui des couches sédimentaires profondes (15-120 cm) du Lac de Pérolles, estimé à 13 kg. Dans le cas des condensateurs, ce sont les concentrations en PCB extrêmement élevées qui assurent un stock important alors que dans le cas des couches sédimentaires profondes du Lac de Pérolles, c'est la masse importante de sédiments (Chapitre 1 de l'Annexe 4 *Calcul stock et flux PCB Sarine*).

Lorsque les couches et fractions sont rassemblées par secteur, les stocks de PCB obtenus sont ceux illustrés à la figure suivante.

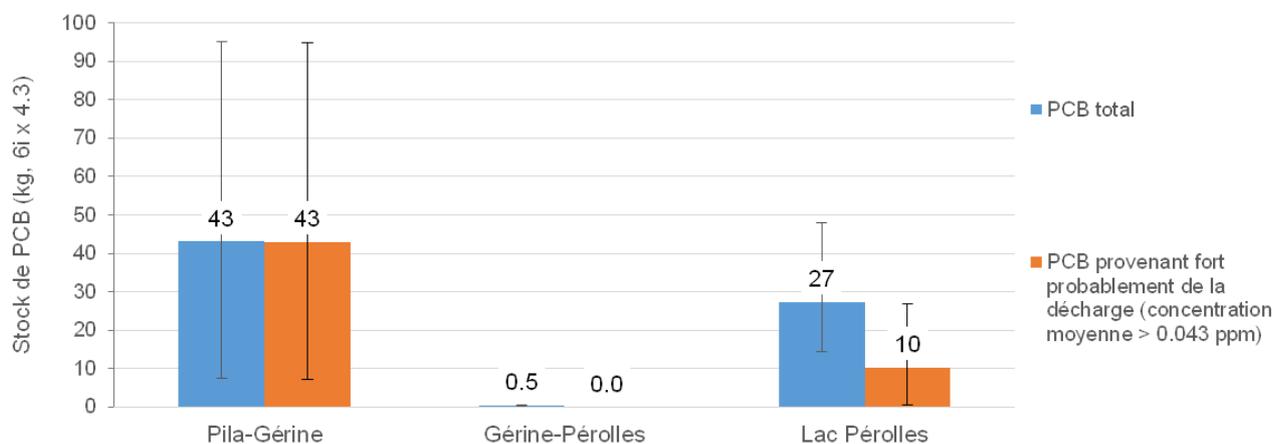


Figure 4-3 Stock de PCB sur le lit de la Sarine par secteur, toutes couches et fractions confondues. Les barres bleues se réfèrent aux valeurs moyennes du Tableau 4-1. Les barres oranges se réfèrent à des calculs omettant des couches peu polluées en PCB, supposées indépendantes des influences de la décharge.

En moyenne, c'est le secteur Pila-Gérine (43 kg) qui contribue majoritairement au stock de PCB présent dans le lit de la Sarine, avec cependant une large gamme des valeurs possibles (de 7 à 95 kg de PCB).

Le calcul du PCB « provenant probablement de la décharge » est expliqué dans l'Annexe 4. En résumé, les couches liées à des concentrations en PCB inférieures à 0.043 mg/kg  $6i \times 4.3$  ont été omises (c'est-à-dire toutes les couches du secteur Gérine-Lac et toutes les couches de la fraction < 2 mm du Lac de Pérolles). Comme pour le PCB total, le PCB provenant de la décharge est concentré dans les secteurs Pila-Gérine (entre 7 et 95 kg) et Lac Pérolles (entre 14 et 48 kg de PCB). Toutefois dans le Lac, le stock PCB moyen « provenant fort probablement de la décharge (10 kg) » est plus bas que le stock PCB moyen « total (27 kg) ».

La quantité totale de PCB se trouvant dans le lit de la Sarine entre la décharge de la Pila et le barrage de la Maigrauge est ainsi estimée entre 22 et 144 kg. Ces chiffres sont basés sur les meilleures estimations possibles à partir des résultats disponibles et ne devraient pas être cités hors de leur contexte méthodologique et avec une précision exagérée, et indépendamment des objectifs cités dans la présente étude. Ces chiffres ont uniquement pour but de fixer des ordres de grandeur (entre  $1 \times 10^0$  et  $1 \times 10^2$  kg de PCB) représentant la quantité de PCB présente dans le lit de la Sarine; celle-ci sera ultérieurement comparée à d'autres quantités, telles que le stock de PCB présent dans la décharge et susceptible de se retrouver dans la Sarine à court/moyen/long terme. Afin de refléter l'incertitude sur les valeurs, il convient de parler de quelques dizaines à une centaine de kilos de PCB présent dans les sédiments de la Sarine (voir également Annexe 9 Expression des incertitudes et analyse critique des résultats).

À titre de comparaison, la quantité de PCB extraite du lit mouillé de la Sarine entre 2009 et 2013 est estimée à plusieurs centaines de kg. Il est donc possible d'affirmer que la quantité de PCB extraite du lit mouillé entre 2009 et 2013 est supérieure à la quantité de PCB se trouvant dans le lit de la Sarine en 2016.

### 4.3 Flux de PCB dissous

L'approche retenue pour calculer un flux PCB dissous dans la Sarine a consisté à multiplier un volume d'eau (L) transitant annuellement dans la rivière, par une concentration en PCB (ng/L) moyenne annuelle calculée à partir des données obtenues par les capteurs passifs (temps normal) ou à partir d'échantillons ponctuels (crue artificielle). Les grandes étapes de calcul sont résumées dans le schéma suivant et sont développées en l'Annexe 4 - *Calcul stock et flux PCB Sarine*.

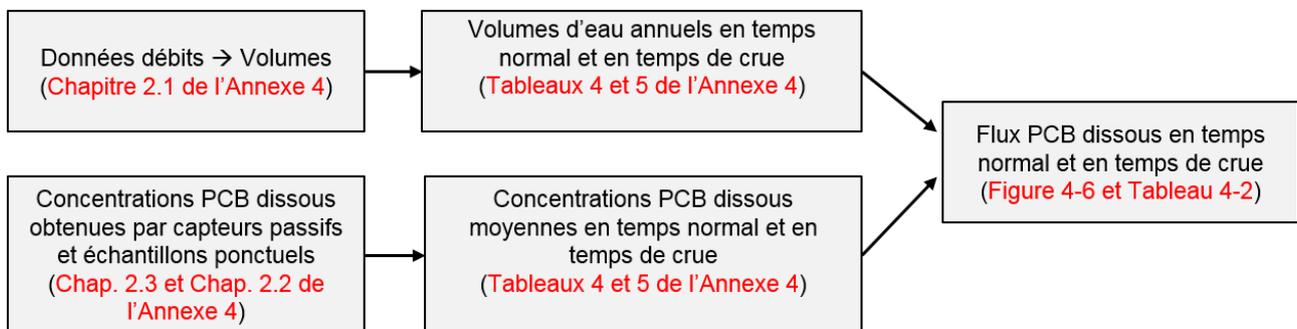


Figure 4-4 Schéma résumant les étapes principales de calcul des flux de PCB dissous dans la Sarine

Les flux dissous calculés à partir des concentrations corrigées selon les facteurs déterminés par l'EMPA à l'aide des capteurs passifs marquées avec les PCR (voir Tableau 4-A de l'Annexe 4) sont représentés sur la figure suivante et le Tableau 4-2.

La barre d'erreur représente l'écart type de toutes les valeurs obtenues en faisant varier la concentration en PCB dissout calculée à partir des capteurs passifs, laquelle dépend du taux de collecte des capteurs passifs, (voir calcul des concentrations en Annexe 2.3.3.1-2). La barre d'erreur rend compte de la variation saisonnière observée en 2016 et des différents taux de collecte des capteurs passifs, assumé à des valeurs comprises entre 8 et 18 L/jour. (voir également Annexe 9 Expression des incertitudes et analyse critique des résultats, chap. 2.5).

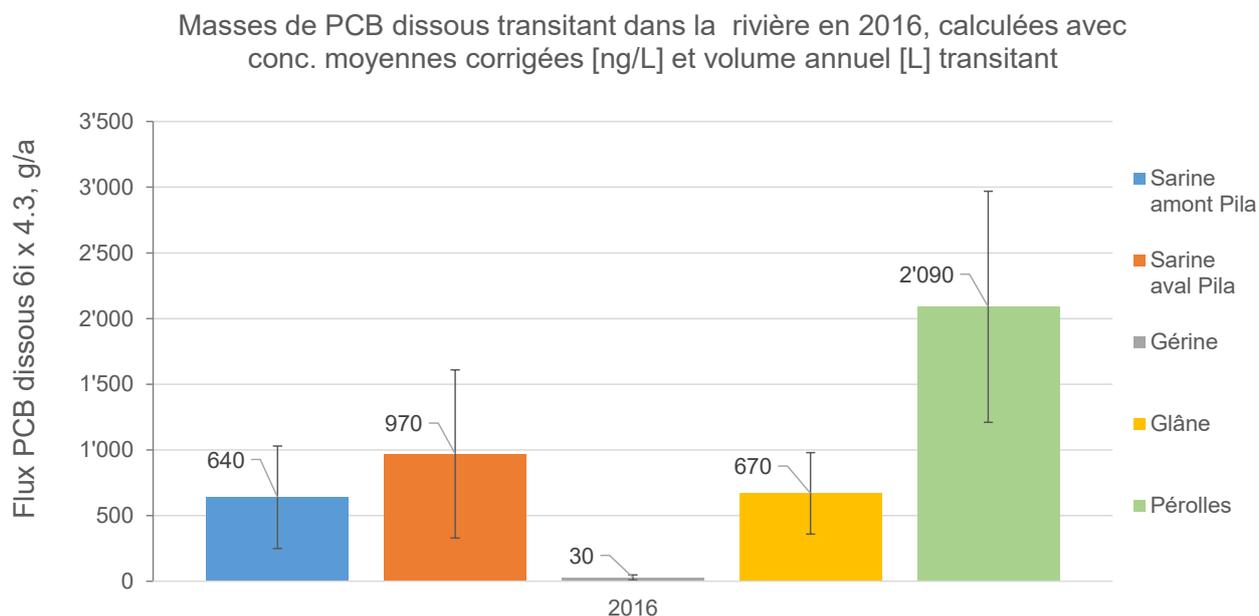


Figure 4-5 Flux de PCB dissous transitant sur 5 points dans la Sarine en 2016 en temps normal, à partir des mesures de capteurs passifs et des concentrations corrigées

Le flux de PCB dissous le plus important est celui estimé à l'entrée du Lac de Péroilles (2'090 ± 880 g/a). Ce dernier correspond plus ou moins à la somme des flux dissous provenant depuis l'amont de la station, de la Gérine et de la Glâne calculés avec des concentrations corrigées. Sur la base de ce calcul, la Glâne pourrait contribuer à environ à 30% du flux dissous de PCB transitant à l'entrée du Lac de Péroilles. Ce constat est basé sur un nombre de données limité et n'est pas suffisant pour conclure à un problème dans la Glâne. Des investigations indépendantes de la présente étude ont été effectuées dans la Glâne en 2017 et 2018 (voir Chapitre 2.3.3.1).

Par contre, cela confirme la complexité du système en montrant que le flux de PCB dissous à l'entrée du Lac de Péroilles en 2016 ne dépend donc pas exclusivement des apports (anciens et présents) de la Pila.

En 2016, les flux de PCB dissous transitant à l'Amont et à l'Aval de la décharge sont du même ordre de grandeur si l'on tient compte de l'incertitude. En moyenne cependant, le flux Aval est plus élevé que le flux Amont. Cela peut être attribuable à un épuisement graduel du stock-PCB présent dans le lit de la Sarine dans le secteur Pila-Gérine, lequel s'évacue entre autres sous forme liquide, par remise en suspension des sédiments et mise à l'équilibre avec l'eau, ou encore par diffusion des PCB des sédiments vers la phase aqueuse.

Dans le graphique et le tableau suivants, les flux estimés pendant la crue artificielle sont comparés aux flux estimés en temps normal (concentrations corrigées). L'axe des y est indiqué en g/a. Il faut toutefois souligner que le flux de la crue artificielle est une masse de PCB intégrée dans un volume d'eau ayant transité pendant 24 heures (du 14.09.2016 à 6:00 au 15.09.2016 à 6:00).

Comparaison de PCB dissous transitant dans la rivière en 2016 en temps normal VS en temps de crue

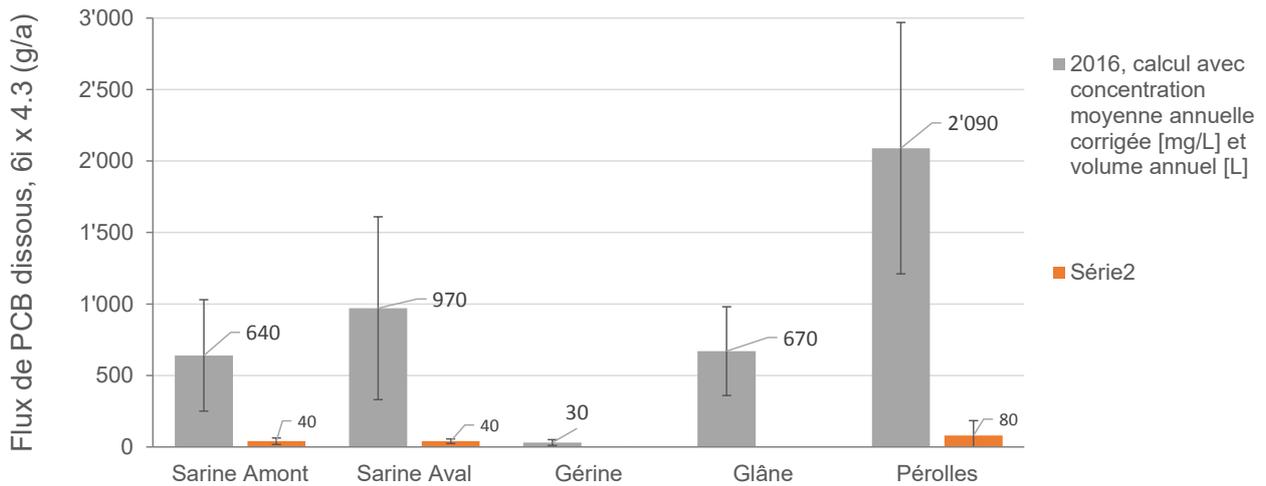


Figure 4-6 Flux dissous de PCB transitant sur 5 points dans la Sarine en 2016, en temps normal et en temps de crue

Tableau 4-2 Flux PCB dissous en temps normal (concentrations corrigées) et en temps de crue

Secteur	2016 temps normal		Crue 14-15.09.2017	
	g/a, 6i x 4.3	±	g/24h, 6i x 4.3	±
Sarine Amont	640	390	40	20
Sarine Aval	970	640	40	20
Gérine	30	20	-	-
Glâne	670	310	-	-
Pérolles	2090	880	80	100

Pendant la crue aux sites Amont et Aval, les flux de dissous PCB (environ 40 g/24h) sont d'environ deux ordres de grandeur inférieurs aux flux estimés en temps normal sur les mêmes sites (640 et 970 g/a, respectivement). La crue artificielle a donc contribué à 4 et 6% du flux annuel total de PCB dissous, aux sites Amont et Aval respectivement.

En appliquant l'approche utilisée pour l'année 2016 aux années 2010 et 2016, les flux de PCB dissous peuvent être estimés pour cette période à l'aide des concentrations non-corrigées mesurées sur 2 points dans la Sarine (Amont et Aval Pila) et en considérant un taux de collecte unique de 18 L/j pour les capteurs passifs (voir Tableau 4-B de l'Annexe 4). Les concentrations non corrigées sont utilisées afin de permettre une comparaison avec les résultats antérieurs à 2016, ne disposant pas de facteurs de correction avec des capteurs marqués par les PRC. L'utilisation de valeurs non corrigées et d'un taux de collecte unique de 18 L/j conduit à des flux annuels inférieurs, c'est pourquoi les valeurs Amont et Aval sont différents des résultats présentés ci-dessus. Les estimations sont illustrées dans la figure et le tableau suivants.

Masses de PCB dissous transitant dans la Sarine, calculées avec conc. moyennes annuelles non-corrigées [ng/L] et volume annuel [L] transitant

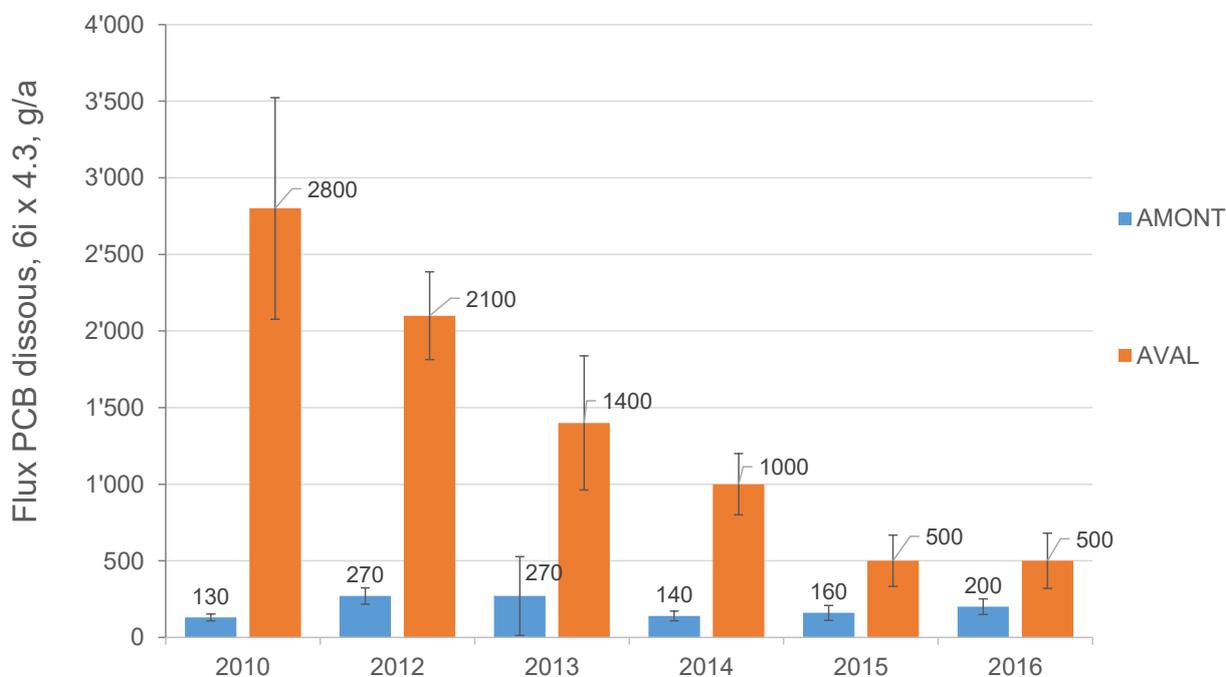


Figure 4-7 Flux PCB dissous à l'Amont et à l'Aval de la décharge entre 2010 et 2016

Tableau 4-3 Flux PCB dissous à l'Amont et à l'Aval de la décharge entre 2010 et 2016.

Année	Flux PCB dissous, g/a 6i x 4.3			
	AMONT		AVAL	
	g/a	±g/a	g/a	±g/a
2010	140	30	2'900	300
2012	267	-	2'100	300
2013	300	200	1'400	400
2014	140	10	1'000	200
2015	160	30	500	200
2016	200	30	500	200

De 2010 à 2016 au site Amont, les flux de PCB demeurent relativement stables (entre 140 et 300 g/a). Au site Aval par contre, le flux passe de 2'900 g/a en 2010 à 500 g/a en 2016. Au site Aval, les ratios des flux (2'900/500 g/an = 6) et des concentrations (0.78/0.10 ng/L = 8) entre 2010 et 2016 sont semblables. C'est donc principalement la diminution des concentrations de PCB dissous qui explique la diminution des flux de durant cette période au site Aval. Cette diminution est probablement liée aux mesures urgentes et préliminaires à l'assainissement réalisées entre 2009 et 2013, qui ont mené à l'excavation de matériaux pollués du lit mouillé de la Sarine.

## 4.4 Flux de PCB dans les matières en suspension

Afin d'estimer le flux de PCB lié à la matière en suspension dans la Sarine, l'approche suivante a été appliquée :

1. Estimer les masses de MES transitant mensuellement dans la Sarine aux points Amont, Passerelle et Péroilles
2. Mesurer les concentrations en PCB des MES transitant mensuellement aux mêmes points
3. Sur la base de ces résultats, estimer les flux mensuels et annuels de PCB dans les matières en suspension « PCB MES » transitant par ces points

Les principales étapes de calcul sont résumées dans le schéma suivant et sont développées en Annexe 4 - *Calcul stock et flux PCB Sarine*.

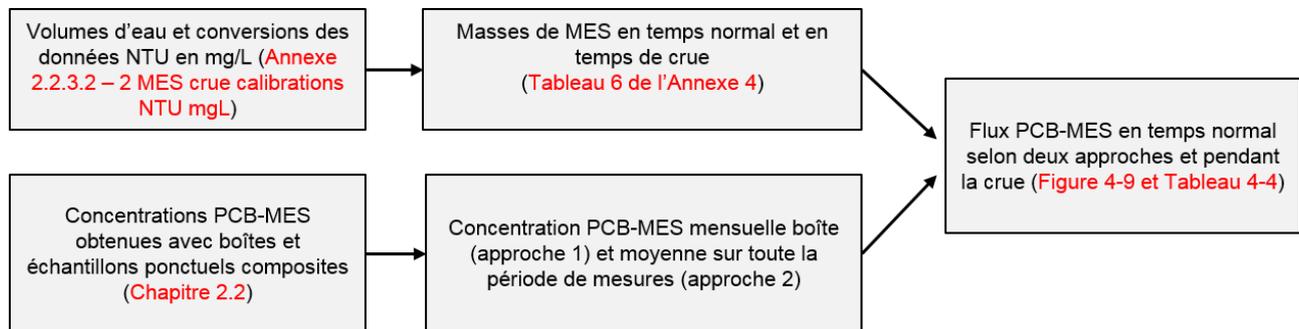


Figure 4-8 Schéma illustrant les principales étapes de calcul pour les flux de PCB associés aux MES

Les flux annuels de PCB-MES estimés en temps normal (Approches 1 et 2 de l'Annexe 4) et pendant la crue artificielle de septembre 2016 sont illustrés sur la figure suivante et détaillés dans le tableau ci-dessous. Ces 2 approches sont décrites au chapitre 3 de l'Annexe 4 - *Calcul stock et flux PCB Sarine*.

En résumé, l'Approche 1 consiste à faire la somme des flux PCB-MES mensuels obtenus (sur 11 mois) et de la normaliser sur un an (12 mois). L'Approche 2 consiste à faire la somme des masses mensuelles de MES obtenues (sur 11 mois), de la multiplier par la moyenne des concentrations obtenues et de normaliser le tout sur un an (12 mois) ; dans ce cas, l'écart-type est considérable car il reflète la variabilité importante des concentrations mesurées chaque mois, en particulier à l'aval du tronçon Pila-Gérine (Passerelle).

Masses de PCB particulaire (MES) transitant dans la Sarine en temps normal (2 approches de calcul) et pendant la crue de 09.2016

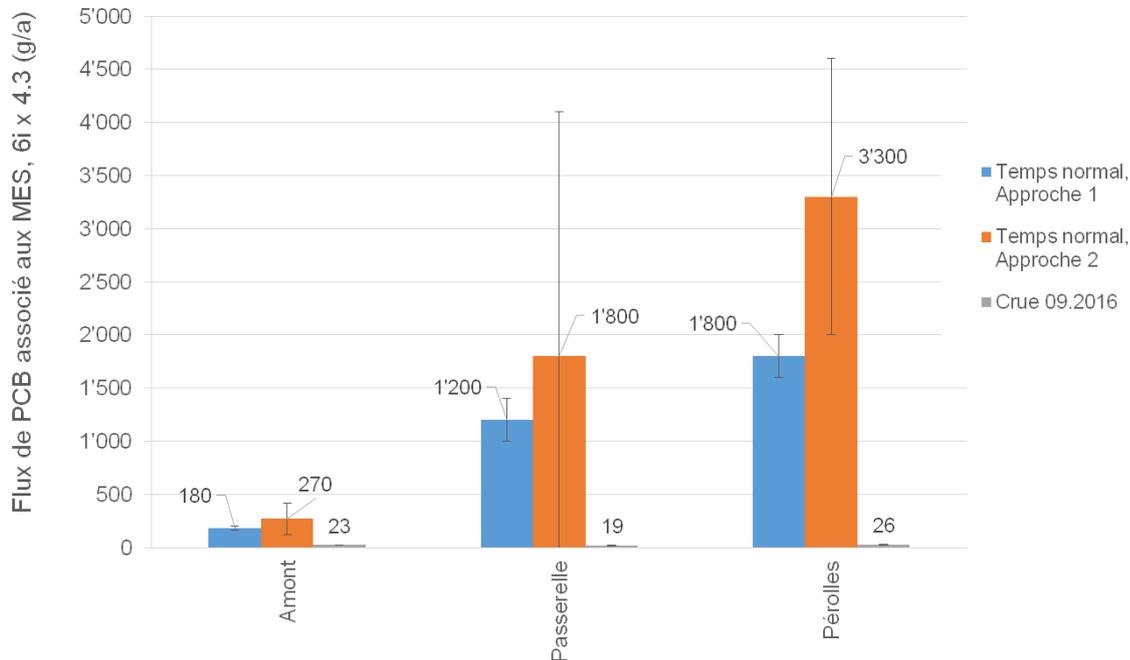


Figure 4-9 Flux de PCB associés aux MES sur 3 points dans la Sarine en 2016, en temps normal et en temps de crue

Tableau 4-4 Flux de PCB associés aux MES sur 3 points dans la Sarine en 2016, en temps normal et en temps de crue

Site	Temps normal, Approche 1		Temps normal, Approche 2		Crue 09.2016	
	Moy somme 6 x 4.3 (g/a)	±	Moy somme 6 x 4.3 (g/a)	±	Moy somme 6 x 4.3 (g/24h)	±
Amont	180	20	270	150	23	1
Passerelle	1'200	200	1'800	2'300	19	4
Pérolles	1'800	200	3'300	1'300	26	6

Les flux de PCB MES utilisés dans les schémas de synthèse des chapitres suivants sont une moyenne des 2 approches dont les résultats moyens sont du même ordre de grandeur (voir également Annexe 9).

En temps normal, les flux de PCB-MES (entre 180 et 3'300 g) sont de 1 à 2 ordres de grandeur supérieurs aux flux PCB-MES en temps de crue (entre 19 et 26 g). Sur l'échelle de l'année 2016, la crue artificielle de septembre n'a donc pas eu d'influence majeure sur le transport particulaire de PCB. Il faut rappeler que la crue artificielle de septembre 2016 n'est pas exceptionnelle en termes de débit maximal et temps de retour (voir Figure 1-2). Par le passé, d'autres crues n'ayant pas fait l'objet d'une surveillance sont susceptibles d'avoir provoqué des mouvements de MES et de sédiments beaucoup plus importants.

En temps normal et pour une même méthode de calcul, l'ordre des flux PCB-MES par site de mesure du cours d'eau est le suivant : Pérolles > Passerelle > Amont. L'ordre Pérolles > Passerelle ne s'explique pas forcément uniquement par les apports antérieurs de la Pila. La quantité de matière MES transitant au site Pérolles est souvent d'un ordre de grandeur supérieure à la quantité de matière MES transitant au site Passerelle. Cela pourrait être dû aux apports sédimentaires de la Gérine et/ou de la Glâne. Les concentrations en PCB retrouvées dans les MES de la Gérine sont très faibles (chapitre 2.2.3) et l'on

s'attendrait par conséquent à une dilution du PCB à l'aval de cet effluent. Toutefois, dans la Glâne, une concentration PCB-MES élevée (0.127 mg/kg somme 6 x 4.3) a été observée en janvier 2017 et les concentrations en PCB dissous sont également relativement élevées (voir chapitre 2.2.3). Il pourrait donc y avoir une source de PCB non identifiée à ce jour dans la Glâne, qui aurait pour effet d'augmenter les flux de PCB au point Pérolles par rapport au point Passerelle. Les flux de PCB-MES issus de la Glâne n'ont pas pu être estimés, car aucune mesure de NTU (ni de calibration NTU-mg/L) n'a été effectuée sur ce cours d'eau.

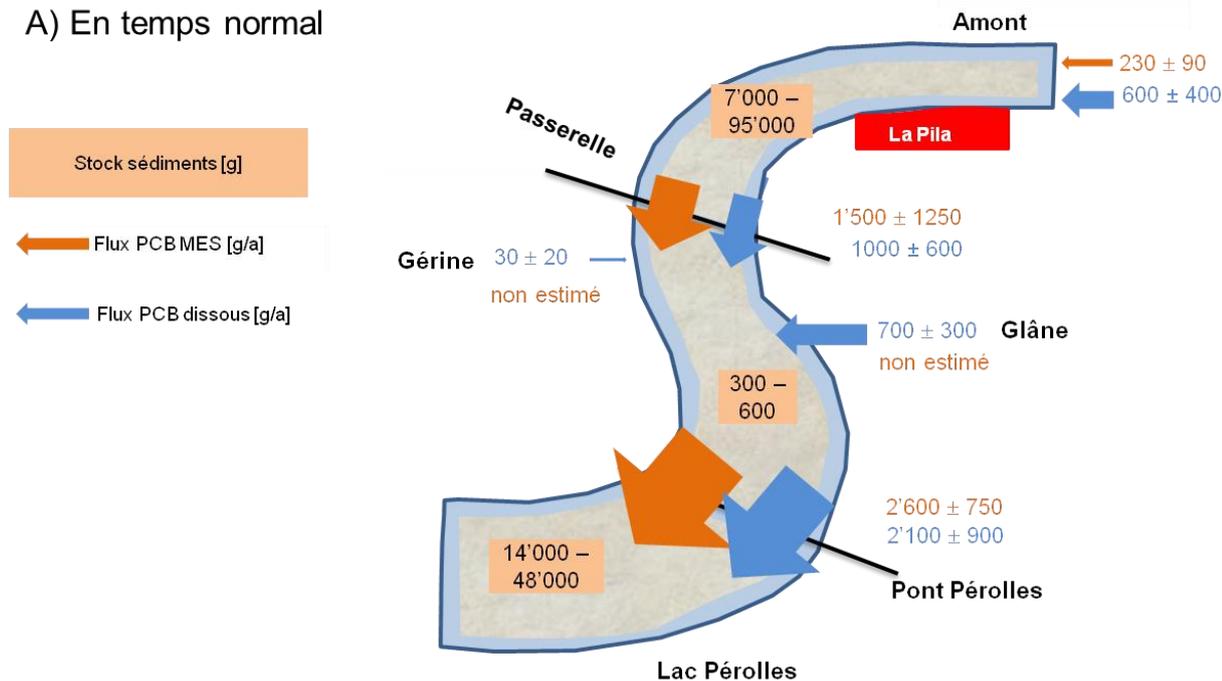
Le fait que le flux PCB-MES Passerelle soit plus grand que le flux PCB-MES Amont s'explique sans doute par le réservoir de PCB dans le lit de la rivière. Il existe un stock-PCB non négligeable (de 7 à 95 kg de PCB) lié aux influences de la Pila dans les sédiments du secteur Pila-Gérine, lequel peut s'épuiser notamment par remise en suspension de sédiments et/ou de morceaux de déchets faisant partie de la MES.

## 4.5 Synthèse et interprétation

### 4.5.1 Schéma des stocks et flux Sarine 2016

La figure suivante présente une synthèse de l'ensemble des stocks et flux (MES, dissous) de PCB présents dans la Sarine en 2016 « en temps normal et en temps de crue ». Les stocks illustrés sont les stocks totaux, c'est-à-dire sans correction des secteurs où les concentrations moyennes dans les sédiments sont inférieures à 0.043 mg/kg.

#### A) En temps normal



B) Crue artificielle septembre 2016

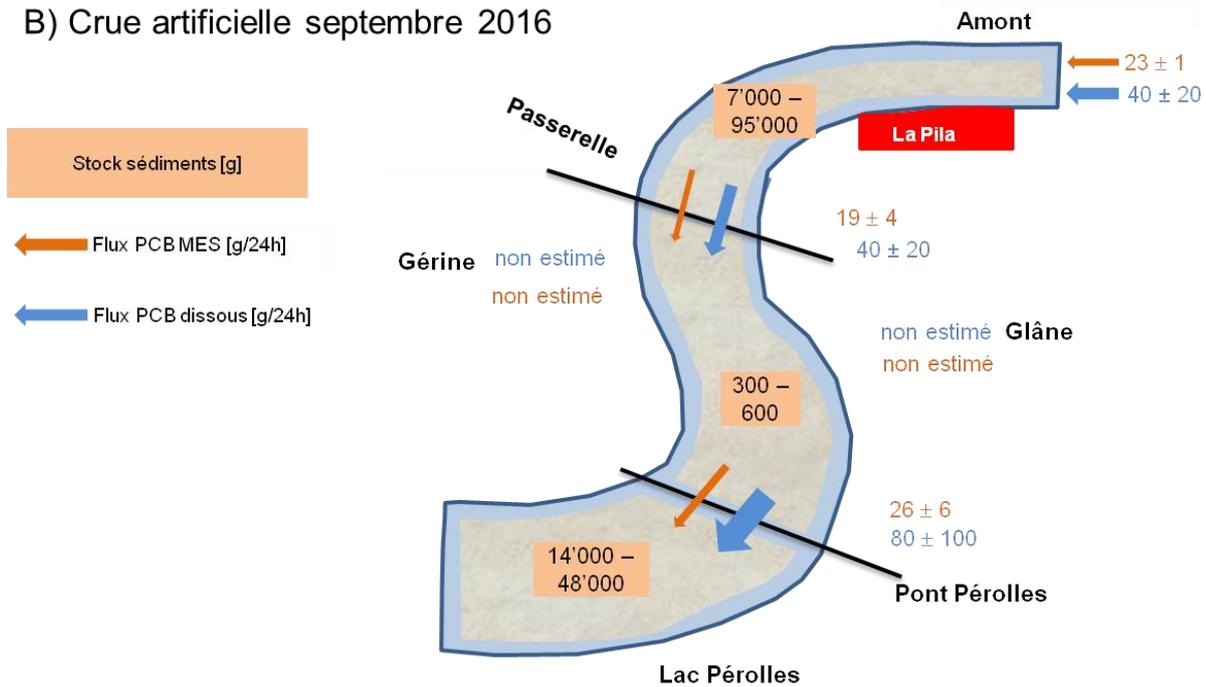


Figure 4-10 Schéma des stocks et flux transitant dans la Sarine A) en temps normal et B) pendant la crue artificielle La largeur des flèches est à l'échelle de la taille des flux qu'elles représentent.

**En temps normal**, les flux de PCB MES illustrés à la Figure 4-10 et repris dans le tableau ci-dessous correspondent à la moyenne des flux déterminés selon les deux approches du Tableau 4-4.

Flux PCB MES en temps normal Moyenne des approches 1 et 2 pour schémas de synthèse		
Site	somme 6 x 4.3 (g/a)	±
Amont	230	90
Passerelle	1'500	1'250
Pérrolles	2'600	750

Les flux dissous correspondent illustrés à la Figure 4-10 et repris dans le tableau ci-dessous correspondent à un arrondi des flux déterminés dans le Tableau 4-2.

Flux PCB dissous 2016 en temps normal, calcul avec conc. moy. corrigées Arrondis pour schémas de synthèse		
Secteur	g/a, 6i x 4.3	±
Sarine Amont	600	400
Sarine Aval	1000	600
Gérine	30	20
Glâne	700	300
Pérrolles	2100	900

Les flux PCB au point Passerelle (=Sarine Aval) sont plus grands que les flux PCB au point Amont. Cela est vrai pour les flux PCB associés aux MES (1'500 versus 230 g/a) autant que pour les flux dissous (1'000

versus 600 g/a). Cela est probablement causé par l'évacuation graduelle du stock considérable de PCB dans le tronçon Pila-Gérine (7-95 kg), par le biais du transport dissous et lié aux MES.

Les flux de PCB dissous représentés pour l'Amont et la Glâne peuvent sembler élevés au premier abord. Rappelons qu'il s'agit ici d'ordres de grandeur, destinés à comparer les différents sites entre eux (voir également Annexe 9 Expression des incertitudes et analyse critique des résultats, chap. 2.5). Des résultats différents peuvent être obtenus selon le calcul effectué : par exemple pour l'amont, le calcul avec des concentrations non corrigées et un taux d'échantillonnage de 18 L/j donne un flux annuel de 200 +/- 50 g (Tableau 4-3). Ce résultat, bien qu'inférieur à la valeur de 600 +/- 400 utilisée pour comparer les sites dans les schémas de synthèse, est du même ordre de grandeur.

**Pendant la crue artificielle**, les flux de PCB (MES et dissous) représentés sur la figure sont issus des

Tableau 4-2 et Tableau 4-4. Ces flux sont pratiquement équivalents, ce qui signifie que le PCB entrant dans le système par l'amont a traversé rapidement la zone d'étude sans influence notable de la décharge et du tronçon Pila-Gérine. Sur la base des relevés géométriques de sédiments (Chapitre 2.1), une masse de PCB sortant du tronçon Pila-Gérine a été estimée. En admettant que 63 m<sup>3</sup> de sédiments ont quitté le secteur et en appliquant les concentrations moyennes et maximales mesurées sur la couche 0-15 cm, la diminution du stock de PCB résultante est en moyenne de 20 grammes et au maximum de 160 grammes. Relativement à la masse de PCB présente dans les sédiments dans ce secteur (7-95 kg), cette diminution engendrée par la crue est négligeable.

#### 4.5.2 Temps nécessaire à l'évacuation du stock de PCB du lit de la Sarine, secteur Pila-Gérine

Sur la base des données des flux de PCB dissous et MES aux points Amont et Aval (Passerelle) de la décharge, il est possible d'estimer un « Flux de vidange » c'est-à-dire un flux qui représente l'épuisement du stock de PCB piégé dans les sédiments du secteur Pila-Gérine. Ce flux peut être exprimé comme suit :

$$\text{Flux de vidange} = \text{Flux Aval} - \text{Flux Amont}$$

Le Flux de vidange du secteur Pila-Gérine correspond donc à la différence des flux Aval-Amont. Pour les flux MES, des différences de flux sont calculées avec les approches 1 et 2. Pour les flux dissous, des différences de flux sont calculées avec des concentrations corrigées avec les mesures issues des capteurs passifs marqués et non-corrigées. Notons que le mode de calcul des concentrations en PCB dissous (avec ou sans correction) n'influence pas la différence de flux entre l'amont et l'aval de la Pila.

La moyenne des différences peut ensuite être estimée comme le présente le tableau ci-dessous.

Tableau 4-5 Différences des flux de PCB particulaire (MES) et dissous entre l'Amont et l'Aval de la décharge, utilisés pour estimer le temps d'évacuation du stock de PCB présent dans le tronçon Pila-Gérine

<b>Flux MES</b>	<b>Unités</b>	<b>2016 approche 1</b>	<b>2016 approche 2</b>	<b>Moyenne</b>
Aval - Amont	g/a 6iPCB x 4.3	1'020	1'530	1'275
<b>Flux dissous</b>	<b>Unités</b>	<b>2016 conc non- corrigées</b>	<b>2016 conc corrigées</b>	<b>Moyenne</b>
Aval - Amont	g/a 6iPCB x 4.3	300	330	315

Comme décrit précédemment, le stock de PCB total se trouvant dans les sédiments du secteur Pila-Gérine est compris entre 7'000 et 95'000 g (moyenne = 43'000 g). Ce stock total est comparable au stock probablement issu de la décharge, puisque les concentrations moyennes et médianes de PCB dans les sédiments de ce secteur sont supérieures à 0.043 mg/kg. En utilisant l'estimation du stock de PCB dans les sédiments du secteur Pila-Gérine (moyenne = 61'000 g) et des flux de vidanges (MES et dissous) présentés dans le tableau ci-dessus, il est possible d'estimer « un temps de vidange ». Ce dernier peut être exprimé comme suit :

$$\text{Temps de vidange} = \frac{\text{Stock PCB Sédiment}}{\text{Flux vidange PCB MES} + \text{Flux vidange PCB dissous}}$$

Les temps de vidange ainsi estimés, de même que les détails des calculs, se trouvent dans le tableau suivant.

Tableau 4-6 Calcul du temps de vidange nécessaire à l'évacuation du stock PCB présent dans les sédiments du secteur Pila-Gérine

<b>Stock PCB-sédiment Pila-Gérine, g</b>		
Stock 0-75 cm	g MOY	43'000
< et > 2 mm	g MIN	7'000
	g MAX	95'000
<b>Flux PCB MES, g/an</b>		
Aval - Amont	g/a MOY	1'275
<b>Flux de PCB dissous, g/an</b>		
Aval - Amont	g/a MOY	315
<b>Temps de vidange du stock Pila-Gérine, années</b>		
Temps vidange	a MOY	27
	a MIN	4
	a MAX	60

En utilisant les valeurs moyennes, le temps nécessaire à l'évacuation du stock de PCB présent dans le secteur Pila-Gérine du lit de la Sarine est d'environ 27 ans. En tenant compte de toutes les variations possibles (écart types sur les valeurs de stock et de flux), les temps minimum et maximum sont de 4 et 60 ans, respectivement. Bien que possibles, ces extrêmes sont considérés comme plutôt improbables. D'après la moyenne (27 ans) et la valeur maximum (60 ans), le temps de vidange peut donc être estimé à quelques dizaines d'années. Des pertes ponctuelles de stock sédiment lors de crues sont susceptibles d'accélérer ce processus de vidange, pour autant que ces crues soient d'une ampleur plus importante que la crue artificielle de septembre 2016. Afin de refléter l'incertitude sur ces estimations, il convient de parler d'un temps de vidange de quelques dizaines d'années pouvant aller jusqu'à cent ans.

## **5. Stock de PCB présent dans la décharge et flux de PCB de la décharge vers la Sarine**

### **5.1 Contexte et objectifs**

La quantité de PCB présente dans la décharge (20 t selon l'estimation de 2008<sup>[12]</sup> et 31 tonnes en moyenne selon le Tableau 5-1) et celle susceptible de s'écouler annuellement dans la Sarine au travers des eaux souterraines (entre 40 et 500 g/a, voir Chapitre 2.5 de l'Annexe 1.3) ont fait l'objet de plusieurs analyses par le passé. Ces estimations peuvent toutefois être revus à la lumière des nouvelles connaissances, notamment en ce qui concerne le stock PCB-Pila, qui peut être ré-estimé et comparé au stock plus global de PCB dans les décharges en Suisse. En ce qui concerne les eaux souterraines, la robustesse et la précision du modèle hydrogéologique peut être améliorée, par exemple en définissant mieux le toit de la molasse à l'amont de la décharge et en effectuant des nouveaux forages afin de mesurer les flux de PCB dissous en temps de crue.

Contrairement aux flux dissous, les quantités de PCB susceptibles de se retrouver dans la Sarine par le biais de solides (sols, condensateurs) n'ont pas fait l'objet de multiples analyses. Une estimation du flux de PCB de la décharge à la Sarine par le biais de l'érosion avait été avancé en 2008 (350-1'050 g/a) mais reposait uniquement sur des données théoriques.

Pour ce qui est des phénomènes de glissement, leur existence a été constatée en 2005 sur les berges de la décharge (Chapitre 3.2). Le glissement de zones instables de la décharge dans la Sarine est probablement à l'origine du transfert de quantités importantes de PCB vers la rivière ; en raison de son caractère imprévisible, lié aux crues et aux conditions météorologiques, celui-ci n'a toutefois pas été quantifié

Les objectifs visés concernant l'estimation des flux de polluants décharge → Sarine sont les suivants :

- Ré-estimer un stock PCB présent dans la décharge de la Pila ; le confronter à la valeur de 2008.
- Pour l'état 0 et l'état 2016 de la décharge, développer un modèle hydrogéologique amélioré qui tient compte des valeurs mesurées dans les nouveaux forages, des scénarios possibles de turbinage (turbinage le jour ou en continu) et d'une situation de crue (crue artificielle de septembre 2016). Confronter les flux eau souterraines décharge → Sarine du passé avec ceux du modèle mis à jour (données 2012-2016).
- Pour l'état 0 et l'état 2016 de la décharge, estimer les flux solides issus de l'érosion, sur la base des mesures effectuées en 2016 (Chapitre 3.1).
- Pour l'état 0 de la décharge, simuler un glissement de terrain induisant une exportation de PCB de la décharge vers la Sarine, en posant des hypothèses réalistes et simples, basées sur un maximum d'observations.

Il est indispensable de souligner que les résultats numériques exposés dans cette étude présentent des incertitudes importantes. Compte tenu des incertitudes et en raison du caractère unique de ce projet, les résultats numériques des différents calculs de flux de PCB doivent donc être considérés comme des ordres de grandeurs. Les résultats obtenus peuvent être comparés entre eux, mais ils ne doivent pas être utilisés individuellement, en dehors du contexte des études complémentaires (voir également Annexe 9 Expression des incertitudes et analyse critique des résultats, chap. 2.4 – 2.6).

## 5.2 Stock de PCB présent dans la décharge

Le stock de PCB présent dans la décharge a été ré-estimé, en considérant les volumes de la décharge ainsi que les volumes de la zone haute et basse issus de l'étude géostatistique *Modélisation géostatistique de la contamination de la décharge de la Pila* (Kidova, 2010). Cette étude a permis de spatialiser les concentrations en PCB dans un modèle tridimensionnel composé de mailles de 8 m<sup>3</sup>, en se basant sur l'étude des variogrammes de distribution.

Le tableau suivant présente les volumes et les masses de PCB, regroupés en fonction des différentes gammes de concentration (catégories).

Tableau 5-1 Volumes et masses de PCB présents dans la décharge

Volume total						Masse PCB: multiplication du volume avec teneur moyenne de la catégorie. Densité: 1.8				
Catégorie	PCB [mg/kg ms]	Q0.025	Moyenne	Q0.975	Ratio moyen	Erreur sur la moyenne	Concentration	Masse PCB. Q0.025	Masse PCB. Moyenne	Masse PCB. Q0.975
		[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]			[mg/kg]	[kg]	[kg]	[kg]
1	x < 0.1	38'666	49'753	62'858	18%	24%	0.05	3	4	6
2	0.1 < x < 1	52'373	60'933	68'667	22%	13%	0.55	52	60	68
3	1 < x < 10	84'317	93'734	102'808	34%	10%	5.50	835	928	1'018
4	10 < x < 50	41'048	48'347	56'190	17%	16%	30.00	2'217	2'611	3'034
5	50 < x < 1000	14'185	20'478	28'036	7%	34%	525.00	13'405	19'352	26'494
6	1000 < x	1'746	4'353	8'090	2%	73%	1000.00	3'143	7'835	14'562
<b>total</b>		<b>232'335</b>	<b>277'598</b>	<b>326'649</b>				<b>19'654</b>	<b>30'791</b>	<b>45'182</b>

Tableau 5-2 Volumes et masses de PCB présents dans la zone haute de la décharge

Catégorie	PCB [mg/kg ms]	Erreur sur la moyenne	Volume moyen adapté zone haute selon nouveau talus			Masse PCB: multiplication du volume avec teneur moyenne de la catégorie. Densité: 1.8			
			Répartition égale sur les catégories de la différence entre les volumes totales			Concentration moyenne des catégories	Masse PCB. Q0.025	Masse PCB. Moyenne	Masse PCB. Q0.975
						[mg/kg]	[kg]	[kg]	[kg]
1	x < 0.1	24%	20'868	26'764	33'508	0.05	1.88	2	3.02
2	0.1 < x < 1	13%	29'335	34'436	38'668	0.55	29.04	34	38.28
3	1 < x < 10	9%	52'572	57'855	63'093	5.50	520.46	573	624.62
4	10 < x < 50	13%	29'178	33'463	38'202	30.00	1'575.59	1'807	2'062.89
5	50 < x < 1000	29%	11'464	15'456	20'032	525.00	10'833.04	14'606	18'929.92
6	1000 < x	67%	2400.54	4'325	6'916	1000.00	4'320.97	7'785	12'448.20
<b>TOTAL</b>			<b>145'815</b>	<b>172'300</b>	<b>200'417</b>		<b>17'281</b>	<b>24'808</b>	<b>34'107</b>

Tableau 5-3 Volumes et masses PCB présents dans la zone basse de la décharge

			Volume moyen adapté zone haute selon nouveau talus			Masse PCB: multiplication du volume avec teneur moyenne de la catégorie. Densité: 1.8			
Erreur sur la moyenne	PCB [mg/kg ms]	Erreur sur la moyenne	Répartition égale sur les catégories de la différence entre les volumes totales			Concentration moyenne des catégories	Masse PCB. Q0.025	Masse PCB. Moyenne	Masse PCB Q0.975
						[mg/kg]	[kg]	[kg]	[kg]
1	$x < 0.1$	25%	17'827	22'989	29'309	0.05	2	2	3
2	$0.1 < x < 1$	13%	23'067	26'497	29'958	0.55	23	26	30
3	$1 < x < 10$	11%	31'774	35'879	39'674	5.50	315	355	393
4	$10 < x < 50$	20%	11'899	14'884	17'947	30.00	643	804	969
5	$50 < x < 1000$	45%	1'719	5'022	7'963	525.00	1'624	4'746	7'525
6	$1000 < x$	87%	406	27.83	1'133	1000.00	731	50	2'039
<b>TOTAL</b>			<b>86'693</b>	<b>105'298</b>	<b>125'982</b>		<b>3'336</b>	<b>5'983</b>	<b>10'958</b>

Au total, un volume de 280'000 m<sup>3</sup> de déchets et d'alluvions contaminés par les PCB et contenant une masse moyenne de 31 t de PCB est présent sur le site. Il est à noter que l'erreur sur l'estimation des volumes va de 15% pour les classes inférieures à 10 ppm, plus de 80% pour les catégories de contamination plus élevées. En considérant l'incertitude inhérente aux estimations de stocks de PCB (et en particulier l'incertitude des classes de concentration les plus élevées), la masse moyenne de 31 t calculée ici est cohérente avec l'estimation de 2008 de 20 t. Des explications complémentaires sont disponibles dans l'Annexe 9 Expression des incertitudes et analyse critique des résultats, chap. 1.1).

Le tableau suivant souligne l'importance de la zone haute en termes de volumes et de masses en PCB comparé avec la zone basse :

Tableau 5-4 Répartition des volumes et des masses PCB entre la zone haute et la zone basse

Pourcentage de la zone haute et basse de la décharge	Volume Q0.025	Volume moyen	Volume Q0.975	Masse PCB. Q0.025	Masse PCB. Moyenne	Masse PCB Q0.975
	[m3]	[m3]	[m3]	[kg]	[kg]	[kg]
<b>Décharge entière</b>	232'335	277'598	326'649	19'654	30'791	45'182
<b>Zone Haute</b>	60%	59%	59%	88%	81%	75%
<b>Zone basse</b>	40%	41%	41%	17%	19%	24%

La zone haute de la décharge, qui occupe la moitié de l'emprise de la décharge et représente 60% du volume total des déchets et des alluvions contaminés, enfermant jusqu'à 80% de la masse totale de PCB.

### 5.3 Flux de PCB depuis les eaux souterraines vers la Sarine

Les résultats ci-dessous proviennent de simulations numériques réalisées à l'aide d'un modèle FEFLOW. Le modèle généré est présenté en détail à l'Annexe 5.3, y compris les limites du modèle, ainsi que les incertitudes sur les résultats. En complément, une analyse critique des résultats présentés dans les chapitres suivants figure en Annexe 9, chap. 1.4 et 1.5). Seuls les principaux résultats sont présentés dans le chapitre ci-dessous.

### 5.3.1 Flux de PCB en situation normale pour les états de référence 0 et 2016

Dans les précédentes études, les flux de PCB dissous exportés dans la Sarine par les eaux souterraines en provenance de la décharge ont été évalués dans une fourchette comprise entre 40 et 500 grammes par année (voir Chapitre 2.5 de l'Annexe 1.3).

Pour l'état 2016 considéré dans le présent rapport, la quantité de PCB s'exfiltrant de la décharge vers la Sarine se situe entre 3 g/a (moyenne) et 7 g/a (maximum) en situation de « semaine normale<sup>6</sup> ».

Rappelons qu'en amont du calcul des flux de PCB, les flux d'eau pris en compte sont des flux sortants totaux, qui constituent une surestimation de la réalité comme expliqué en Annexe 5.3.

Les concentrations en PCB prises en considération sont évidemment déterminantes pour le calcul des flux de PCB. La prise en compte de nouvelles données comme celles du piézomètre F61-16 conduit à un nouveau calcul du flux de PCB basé sur deux échantillons ponctuels prélevés en 2016.

Les données futures de la surveillance du site pourront être intégrées à ce modèle pour mettre à jour le calcul des flux.

Pour l'état 0, sans palplanches ni pompage, le tableau suivant montre que, dans le cas d'une année caractérisée par des semaines de type « normal », la quantité de PCB s'exfiltrant de la décharge vers la Sarine varie entre 62 et 157 g/a.

Tableau 5-5 Flux sortant de PCB. Comparaison entre une « semaine normale » et une « semaine de turbinage continu ».

	Flux hydraulique (m3/semaine)				Concentration en PCB dissous 4.3 Σ 6PCB (ng/l)		Flux de PCB (g/semaine)							
	Etat 2016		Etat 0		moy.	max.	Etat 2016				Etat 0			
	Semaine normale	Turb. continu	Semaine normale	Turb. continu			moy.	max.	Semaine normale	Turbinage continu	Semaine normale	Turbinage continu	moy.	max.
segF61	2'191	1'084	2'256	1'084	14	26	0.03	0.06	0.02	0.03	0.03	0.06	0.02	0.03
segPB	973	579	1'014	586	3	17	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.01
segF27	1'083	561	1'112	593	0.3	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PaIPP4	5	2	282	161	75	300	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.08	0.01	0.05
PaIPP3	12	5	254	116	50	271	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.07	0.01	0.03
PaIPP2	8	3	136	68	42	280	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.00	0.02
PaIF07-PP1	6	2	457	215	1'572	3'883	0.01	0.02	0.00	0.01	0.72	1.77	0.34	0.83
PaIF05-PP1	7	3	253	144	1'572	3'883	0.01	0.03	0.00	0.01	0.40	0.98	0.23	0.56
<b>Somme [semaine]</b>	<b>4'284</b>	<b>2'238</b>	<b>5'764</b>	<b>2'967</b>			<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.0</b>	<b>0.1</b>	<b>1.2</b>	<b>3.0</b>	<b>0.6</b>	<b>1.5</b>
<b>Somme [année]</b>	<b>222'784</b>	<b>116'366</b>	<b>299'728</b>	<b>154'299</b>			<b>3</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>62</b>	<b>157</b>	<b>31</b>	<b>80</b>

Plus de 90% de ce flux est dû à l'importante concentration en PCB mesurée en PP1. Les flux ainsi calculés par la nouvelle version du modèle hydrogéologique et sur la base des analyses effectuées entre 2012 et 2016 sont cohérents avec les estimations issues du modèle de 2008 qui donnait un flux total de PCB de 116 grammes par année.

Le scénario de turbinage peut également influencer les échanges d'eau entre la décharge et la Sarine et, par conséquent, les flux de PCB. La modélisation effectuée avec un turbinage en continu, présentée dans le Chapitre 3.3, montre que les flux de PCB sont réduits de moitié avec un régime quasi constant de la Sarine. Concrètement, cela veut dire que les longues périodes de turbinage, destinées à produire de l'énergie de

<sup>6</sup> Turbinage en semaine et arrêt de turbinage le week-end. La semaine du 22.08.2016, présentant un régime hydraulique « normal » de la Sarine, a été choisie. Cette semaine a été simulée 10 fois de suite avec le modèle.

réglage du réseau électrique en continu (contrats SDL pour Swissgrid devenus importants dès 2016), tendent à diminuer l'exportation de PCB par les eaux souterraines vers la Sarine.

### 5.3.2 Comparaison entre une semaine normale et la crue 2016

Les flux de PCB exportés vers la Sarine par les eaux souterraines et calculés à l'aide du modèle mis à jour sont 15 fois plus importants en temps de crue ; ces résultats sont obtenus en comparant 1 journée de turbinage suivie de 2 jours de basses eaux et la crue artificielle de 2016 (24h également) suivie de 2 jours de basses eaux.

Cette différence est essentiellement due à la l'augmentation du flux d'eau en temps de crue et à la différence des concentrations en PCB dissous mesurées au point F61-16 en situation normale et en temps de crue. Les concentrations mesurées aux autres piézomètres suivis et échantillonnés pendant la crue, le F27-08 et Piézo bleu, montrent des résultats d'un même ordre de grandeur pour les situations normales et crue. Il faut toutefois relativiser ces différences car même en temps de crue et en considérant les concentrations maximales mesurées durant la crue, les flux sortants de PCB sont faibles (0.67g/3j).

Concrètement, selon le scénario « worst-case » (état 0, teneur maximale en PCB), la crue de 2016 aurait généré un ajout de 1g supplémentaire de PCB dissous dans la Sarine par rapport à une période « normale ». Ainsi, pour l'état 2016, le flux de PCB dissous additionnel comparé à une journée normale généré par la crue est d'environ 10% pour une année de turbinage normale, ce qui n'affecte pas l'ordre de grandeur du flux de PCB exporté dans la Sarine sous forme de PCB dissous.

Tableau 5-6 Flux de PCB. Comparaison entre période normale et crue. \*Zone basse correspond à la somme des segments segF61, segPB et segF27.

	Flux hydraulique (m3/3j)				Concentration en PCB dissous 4.3∑6PCB (ng/l)				Flux de PCB (g/3j)							
	Etat 2016		Etat 0		Situation normale		Crue		Etat 2016				Etat 0			
	sem. norm. 3j	crue	sem. norm. 3j	crue	moy.	max.	moy.	max.	moy.	max.	moy.	max.	moy.	max.	moy.	max.
									semaine normale - 3j	crue						
segF61	617	1245	728	1246	14	26	230	507	0.01	0.02	0.29	0.63	0.01	0.02	0.29	0.63
segPB	326	495	373	495	3	17	5	10	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01
segF27	388	596	431	603	0.3	3	4	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PalPP4	2	3	120	161	75	300	75	300	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.01	0.05
PalPP3	5	7	136	162	50	271	50	271	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.01	0.04
PalPP2	4	5	62	84	42	280	42	280	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02
PalF07-PP1	3	3	224	269	1'572	3'883	1'572	3'883	0.00	0.01	0.01	0.01	0.35	0.87	0.42	1.04
PalF05-PP1	3	4	68	118	1'572	3'883	1'572	3'883	0.00	0.01	0.01	0.01	0.11	0.26	0.19	0.46
∑ Zone basse*	1331	2336	1532	2344					0.01	0.02	0.29	0.64	0.01	0.03	0.29	0.64
∑ totale	1348	2356	2142	3139					0.02	0.05	0.30	0.67	0.49	1.25	0.92	2.26

### 5.3.3 Flux de PCB sous forme particulière

Le flux de PCB sous forme particulière n'est pas pris en considération pour les raisons expliquées en détail dans le Chapitre 3.3.

Les concentrations en PCB sous forme particulière analysées sur les échantillons prélevés en temps normal et en période de crue sont fortement surestimées et ne reflètent pas l'état naturel de l'aquifère en raison de :

- a) la perturbation du milieu par l'effet de pompage et par la remontée rapide de la nappe en période de crue et
- b) des effets secondaires comme la précipitation de particules après prélèvement.

Pour l'ensemble de la décachge, le scénario worst-case présenté en Annexe 9 donne une masse de particules de près de 2 tonnes produisant un flux de PCB sous forme particulière de l'ordre de 13 grammes

par an pour l'état 0 en situation normale. Ce flux hypothétique représente 8 à 20% du flux annuel de PCB dissous présenté dans le Tableau 5-5 en situation normale et n'est donc pas susceptible de modifier l'ordre de grandeur des estimations effectuées.

## 5.4 Flux de PCB par érosion des talus de la décharge vers la Sarine

Les résultats des échantillonnages et analyses, présentés au Chapitre 3.1, ont été exploités afin d'estimer des flux annuels de matière et de PCB émis depuis la décharge par érosion le long des talus de celle-ci. Le calcul a été effectué globalement pour l'état 0, sans palplanches. Les quantités de matériaux retrouvées dans les réceptacles situés derrière les palplanches ont été retranchées pour estimer les flux actuels (état 2016).

Le bord de la décharge longeant la Sarine, d'une longueur totale de 300 mètres, a été subdivisé en 6 segments, représentés chacun par un réceptacle à érosion. Pour chaque segment, les matériaux érodés peuvent atteindre la Sarine, soit directement pour le réceptacle E1 situé en falaise, soit à plus long terme pour les réceptacles E5 et E6, plus éloignés de la Sarine. En l'absence des palplanches et des mesures de confortation en place, les matériaux érodés représentés par le réceptacle E3 pourraient également atteindre directement la Sarine.

Les flux de matière ont été extrapolés sur une année en considérant le flux quotidien moyen de chaque échantillon. Cela permet de calculer un flux annuel par mètre linéaire de falaise, respectivement de talus de la décharge. Le flux annuel d'un segment donné est obtenu par multiplication par la longueur du segment.

Les concentrations en PCB appliquées sont les concentrations moyennes de tous les échantillons disponibles du secteur représenté par le réceptacle.

Le tableau ci-dessous présente les résultats de ce calcul dont le détail figure en Annexe 5.4. Le calcul a été effectué pour l'état 0, sans palplanches.

Tableau 5-7 Flux annuels de matière et de PCB par érosion (état 0 sans palplanches)

Réceptacle	Longueur segment m	Flux annuel de matière kg MS		Concentration PCB moy. [mg/kg MS]	Flux PCB annuel /segment grammes [g]
		par mètre	par segment		
E1	20	1.90	38	19.75	0.75
E3	10	192.00	1920	85.09	163.38
E2	50	7.80	390	0.33	0.13
E4	70	0.11	7	1.33	0.010
E5	80	0.55	44	2.97	0.13
E6	70	0.98	68	1.82	0.12
Total	300		2'468		165
Estimation 2008			5'000 - 15'000 kg		350 - 1'050 g

Le flux annuels provenant de l'érosion des talus de la décharge ainsi calculés pour toute la longueur de la décharge (environ 300 mètres) sont de 2'468 kg de matière et 165 grammes de PCB pour l'état 0, sans palplanches. Si l'on ne considère pas les déchets de condensateurs retrouvés dans le réceptacle E3, le flux annuel de PCB calculé tombe à 13 grammes.

Pour l'état 2016, seuls les réceptacles E1, E5 et E6 peuvent contribuer au flux solide de PCB par érosion, soit un total de 1 gramme par année.

Les mesures et analyses ont montré que la présence de condensateurs est une contribution majoritaire au flux solide de PCB. Bien que cela n'ait pas été observé dans le réceptacle E1 en 2016-17, des condensateurs peuvent atteindre la Sarine le long de la falaise représentée par ce même réceptacle. En fonction de l'état de remplissage de l'ouvrage (mini paroi berlinoise purgée en 2013) retenant une partie des matériaux au-dessus de la falaise, des quantités de matière plus importantes pourraient également atteindre la Sarine. Afin d'évaluer la sensibilité des calculs de flux à ces influences possibles, nous avons appliqué une concentration en PCB moyenne de 1000 mg/kg, analogue à celle des matériaux échantillonnés au-dessus de la paroi berlinoise et contenant des condensateurs (voir Chapitre 3.2). Sur cette base, pour l'état 2016, le flux annuel solide de PCB passerait ainsi de 1 à près de 40 grammes.

Le tableau ci-dessous présente les flux de PCB provenant de l'érosion des talus de la décharge dans la Sarine pour l'état 2016 ainsi que pour l'état 0, sans palplanches. Le flux total de PCB solide, mesuré et calculé préalablement, est réparti en trois fractions :

- fraction solide supérieure à 2 mm comprenant également les condensateurs (90%) ;
- fraction solide inférieure à 2 mm (10%) comprenant également les PCB adsorbés sur les particules fines ;
- 1 fraction dissoute (<1%).

Cette répartition est basée sur les analyses effectuées dans le cadre de la simulation du glissement de terrain présentées dans le chapitre 3.2. Compte tenu de la présence de condensateurs dans la fraction supérieure à 2 mm, la contribution de cette fraction au flux de PCB devient prépondérante.

Pour le calcul à l'état 2016, seuls les réceptacles E1, E5 et E6 peuvent contribuer au flux de PCB par érosion. Pour la situation à l'état 0, en l'absence des palplanches, l'ensemble des réceptacles peut contribuer au flux de PCB par érosion. Dans les deux cas, la gamme de valeurs présentée est produite par l'application de concentrations en PCB de l'ordre de 1000 ppm sur le tronçon représenté par le réceptacle E1.

Tableau 5-8 Synthèse des flux annuels de PCB par érosion

PCB totaux (somme 6*4.3)		PCB solide > 2mm et condensateurs	PCB solide < 2mm - particulaire	PCB dissous	Total
<b>Erosion état 2016</b>	[g/an]	0.9 – 35.8	0.1 - 4	0 – 0.2	1 - 40
<b>Erosion état 0</b>	[g/an]	147 - 180	17 - 21	0.7 – 0.9	165 - 202

## 5.5 Flux de PCB à partir de glissements de terrain dans la Sarine

### 5.5.1 Calcul du flux

Les résultats présentés au Chapitre 3.2, avec notamment le calcul du volume d'un glissement de terrain potentiel et l'estimation de la masse de PCB contenue dans les déchets déstabilisés, ont été exploités pour estimer des flux annuels de PCB qui pourraient parvenir dans les compartiments sédiments et eaux de la Sarine. Rappelons qu'il s'agit d'une situation théorique, pour un état 0 sans palplanches, dont le but est d'évaluer l'importance du transport solide de PCB provenant de la décharge dans une situation sans mesures préliminaires à l'assainissement.

La dynamique du glissement de terrain peut difficilement être anticipée. L'entier de la masse maximale déstabilisée (pour un temps de retour T=100), soit 22'000 m<sup>3</sup>, pourrait se retrouver rapidement dans le cours

d'eau. Ce volume entraverait considérablement l'écoulement de la Sarine et conduirait à des apports très conséquents de déchets à l'aval de la Pila.

## Analogie avec le passé :

1. Mesures d'assainissement 2009 : Évacuation des matériaux du glissement dans la zone hot spot ( ) : 325 m<sup>3</sup> contenant env. 1'400 kg PCB. Env. 20 % (280 kg PCB) se situait sous le niveau des hautes eaux.
2. Mesures d'assainissement 2013 : Évacuation des matériaux fond de fouille (sous le niveau des basses eaux) dans la zone hot spot contenant env. 100 kg PCB:
3. Mesures d'assainissement 2013 : Évacuation des matériaux de la berge zone haute, contenant env. 250 kg PCB.

Au total, une masse de 1'750 kg de PCB a été évacuée, dont environ 380 kg PCB se situait en partie sous le niveau des hautes et basses eaux de la Sarine et qui contribuait à la contamination du milieu de la rivière par les PCB.

Une estimation grossière de la masse totale en PCB qui aurait pu quitter le site la Pila depuis env. 1960 (milieu de la période de stockage 1950 – 1970, début du stockage sur la zone haute) est présentée en annexe 5.5.1. Elle se base sur le stock PCB présent dans les sédiments (état 2016), sur une estimation de la masse de PCB dissous et particulaire transportée rapidement par le cours d'eau, et sur la quantité de matériaux évacués en 2009/2013 et située sous la ligne d'eau de la Sarine. Au total une masse d'env. 1'000 ± 200 kg PCB a probablement atteint le système Sarine durant la période comprise entre 1960 et 2010 (début des mesures d'assainissement), c'est-à-dire sur une durée de 50 ans.

Par analogie avec les événements passés (dépôts des déchets à proximité ou même dans le cours d'eau, glissements, érosion, cf. photos chap.3.2.1) observés dans le secteur aval, nous posons l'hypothèse d'un événement plutôt lent, en considérant que seule 10% de la masse déstabilisée glisse définitivement et alimente directement la Sarine avec des déchets. Cette masse correspond à un flux total de 590 kg PCB, soit env. 50 - 70 % de la masse totale qui aurait pu parvenir dans le système Sarine en 50 ans.

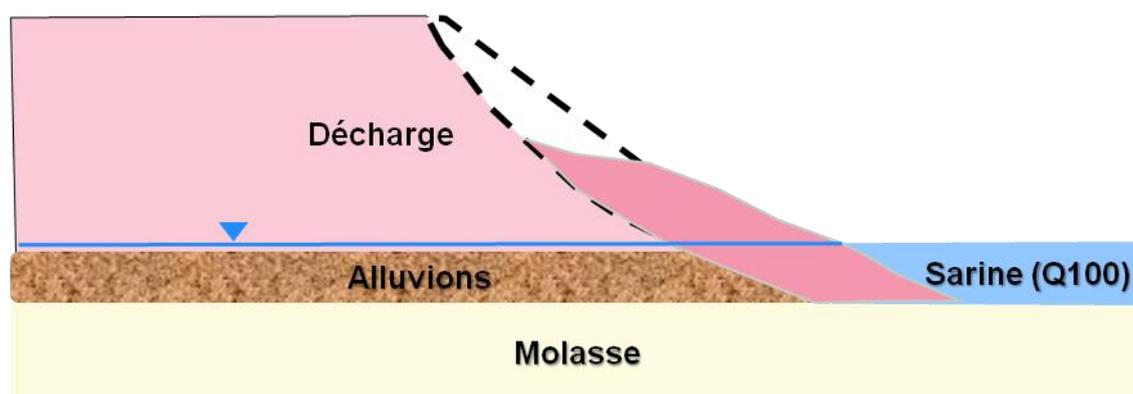


Figure 5-1 Coupe schématique d'un glissement de terrain

Nous admettons de plus que le glissement ne se produit pas en une seule fois, mais que des petits glissements répartis sur une durée relativement longue, soit 50 ans, se produisent. En admettant une répartition linéaire sur 50 ans ceci signifierait un flux moyen d'environ 12 kg de PCB par année.

La contribution des différentes fractions au flux annuel de PCB dans la Sarine a été estimée sur la base des analyses et essais effectués (cf. résultats chap.3.2.3). La fraction grossière, supérieure à 2 mm et contenant des condensateurs représente entre 60 et 80% de la masse volumique et contient 90% de la masse de PCB.

Tableau 5-9 Comparaison entre la masse volumique des fractions < 2 mm et > 2 mm dans les matériaux déstabilisés et de masse PCB par fraction.

Masse PCB dans la masse déstabilisée		Fraction granulométrique		masse PCB par fraction		
Zone de glissement	Référence	<2 mm	>2 mm	<2 mm	>2 mm	Total
		%	%	kg PCB	kg PCB	kg PCB
Zone Est	A1A2	20%	80%	65	447	512
Zone ouest + centre	A1A2 + cond.	20%	80%	47	3956	4003
Talus Berlinoise + Hotspot	B2B3, fdf2013	40%	60%	504	912	1416
<b>TOTAL</b>				<b>616</b>	<b>5315</b>	<b>5931</b>
<b>POURCENTAGE moyen de PCB par fraction</b>				<b>10%</b>	<b>90%</b>	

La fraction inférieure à 2 mm représente près de 10% du flux de PCB. Il s'agit de la fraction qui est susceptible d'être emmenée rapidement par le cours d'eau après le glissement et peu après.

Le flux annuel de PCB sous forme dissoute, généré à partir de la masse glissée dans la Sarine, a été estimé sur la base des résultats de l'essai de mise en suspension des déchets provenant de la zone de glissement (cf. chap. 3.4), en admettant une valeur moyenne pour les matériaux des 3 secteurs étudiés « zone hot spot et talus berlinoise », « zone ouest et centre » et « zone est ». Le flux sous forme dissoute (cf. calcul en détail en annexe 5.5.2) représente moins de 1% du flux total de PCB.

Tableau 5-10 Flux annuel de PCB sous forme solide et dissoute suite à un glissement de matériaux contenant 11.86 kg de PCB.

PCB tot (4.3Σ6PCB)		PCB solide > 2mm et condensateurs	PCB solide < 2mm + PCB part.	PCB dissous	Total
Flux glissement	[g/an]	10'565	1'245	30 - 40	11'860
Ratio des flux		89%	11%	0.3%	100%

Ces résultats sont confirmés par les observations sur le terrain de la présence de déchets de condensateurs sur tout le secteur, en particulier dans les bancs d'alluvions du tronçon Pila-Gérine, qui contiennent par ailleurs de nombreux autres déchets grossiers provenant de la décharge. La présence de ces déchets jusque dans les échantillons de carottes cryogéniques prélevés dans le lac de Pérolles, démontre l'importance du transport solide de ces déchets dans le système.

## 5.5.2 Évaluation de l'impact du flux solide provenant d'un glissement sur les sédiments

La répartition physique des matériaux solides provenant d'un glissement de terrain dans les sédiments du cours d'eau peut être estimée de différentes manières. Une simulation simple de la répartition des masses de PCB sur le tronçon Pila-Gérine donne une idée de l'augmentation potentielle des concentrations en PCB dans les sédiments superficiels :

Avec une surface de sédiments de 63'000 m<sup>2</sup> sur le tronçon Pila-Gérine, sur une épaisseur de 15 cm, la masse totale de sédiments est de 17'000 tonnes (avec une masse volumique admise de 1.8 tonnes/m<sup>3</sup>). En admettant que le flux annuel total de 11.9 kg de PCB se dépose uniformément sur le tronçon Pila-Gérine, cela représente 188 mg/m<sup>2</sup> PCB total et conduit à une augmentation de la concentration en PCB dans les sédiments bruts de 0.69 mg/kg PCB totaux pour les 15 premiers centimètres.

Une autre approche adoptée, présentée en annexe 5.5.2, consiste à simuler l'évolution du stock PCB dans les sédiments (couche comprise entre 0 et 15 cm) et ceci sur une durée de 50 ans. Cette simulation repose sur un nombre important d'hypothèses émises sur la base des analyses de sédiments et des estimations du stock de PCB.

Compte tenu de l'absence de beaucoup d'informations à plusieurs niveaux (masse PCB rejetée depuis l'ouverture de la Pila, dynamique hydro-sédimentaire, masses de PCB sortant du système, etc) un modèle simplifié se basant sur un bilan annuel (variation du stock = somme des apports et des pertes), peut être décrit par l'équation suivante:

$$DS = S(t) - S(t - 1) = A - P_p - P_d$$

Avec :  $DS$  : variation du stock de PCB dans la couche sédimentaire 0 – 15 cm

$S(t)$ : stock de PCB dans la couche sédimentaire 0 – 15 cm au temps  $t$  (ou  $t - 1$ )

$A$ : apports annuels de PCB (en moyenne 12 kg)

$P_p$ : stock de PCB enseveli à plus de 15 cm de profondeur, et par conséquent non bio – accumulable

$P_d$ : pertes sous forme de PCB dissous ou PCB particulaire

La première simulation à partir de ce modèle se base sur les hypothèses suivantes :

1. Le flux de PCB annuel par glissement est constant sur les 50 ans, c'est-à-dire 11.86 kg / année
2. La perte par enfouissement de PCB  $P_p$  du stock est constante et linéaire
3. La perte de PCB sous forme dissoute et particulaire est linéaire

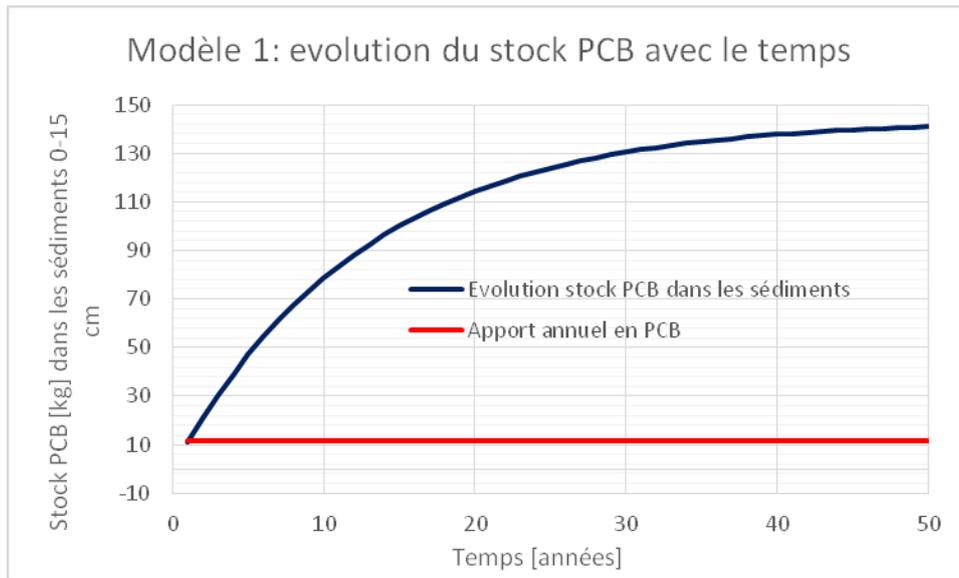


Figure 5-2 Modèle n° 1 : évolution stock PCB dans la couche sédimentaire de 0-15 cm avec un apport annuel constant en PCB

La 2<sup>ème</sup> simulation est basée sur les mêmes éléments que la première mais considère un apport annuel de PCB variant de manière aléatoire, ce qui est probablement plus proche de la réalité

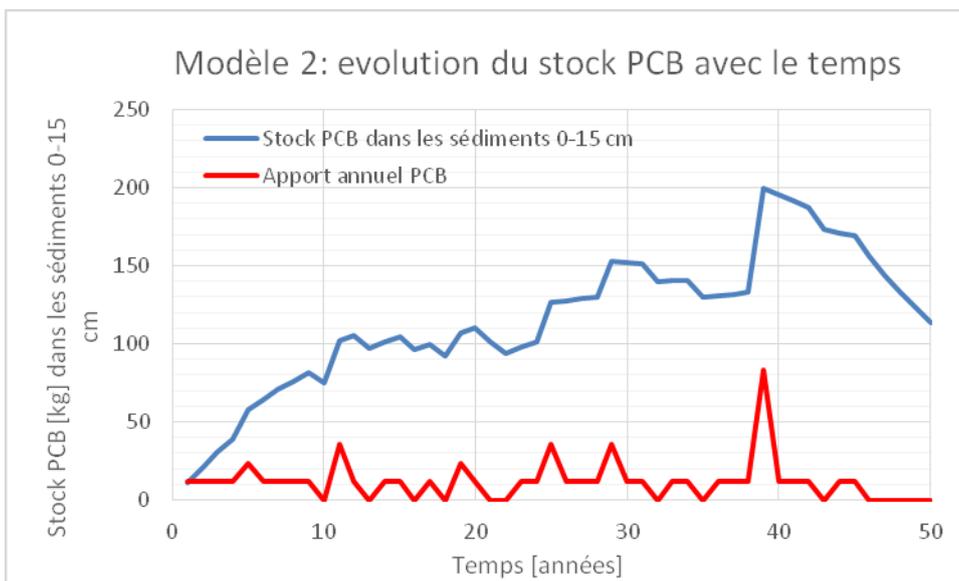


Figure 5-3 Modèle n° 2 : évolution stock PCB dans la couche sédimentaire de 0-15 cm avec un apport annuel aléatoire en PCB

La 3<sup>ème</sup> simulation se base sur la 2<sup>ème</sup> en tenant compte d'une « perte PCB enfoui en profondeur » plus élevée en période de crue : plus la crue est importante, plus la perte augmente. Les données de base sont les hydrogrammes annuels de la Sarine entre 1968 et 2017 (période de 50 ans).

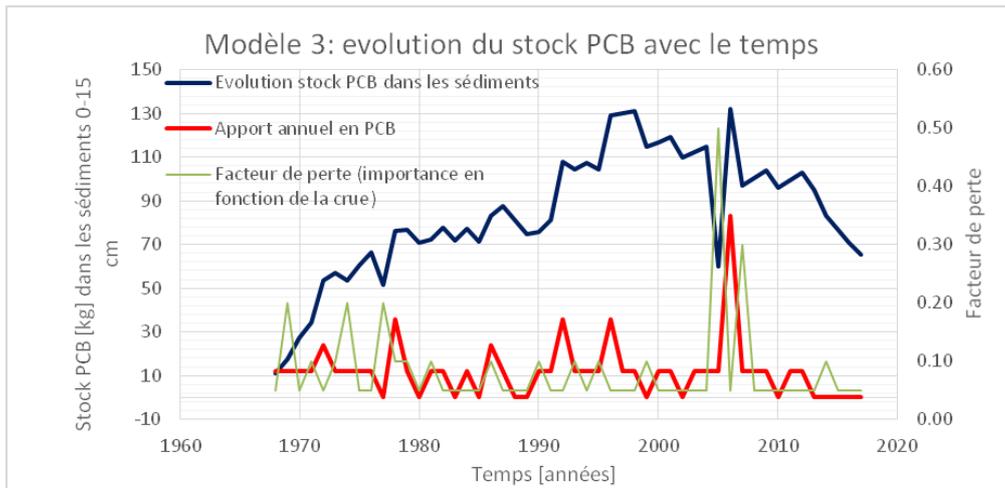


Figure 5-4 Modèle n° 3 : évolution stock PCB dans la couche sédimentaire de 0-15 cm avec un apport annuel aléatoire en PCB identique au modèle n° 2 mais avec une perte du stock PCB dans les sédiments « enfouis en profondeur » en fonction des crues de temps de retour observés sur la Sarine entre 1968 et 2017.

Dans la première application du modèle (modèle n° 1), le stock PCB augmente rapidement au début mais se stabilise après quelques années en raison de la perte linéaire qui devient de plus en plus importante avec un stock de PCB croissant avec le temps. Le modèle n° 2 montre une évolution très similaire entre l'apport aléatoire en PCB et l'évolution du stock PCB dans les sédiments : un apport plus important conduit à une augmentation du stock. Le stock cependant tend à évoluer de la même manière que pour le modèle n° 1. L'apport zéro des dernières années (simulant l'effet des palplanches) fait cependant rapidement diminuer le stock. Le modèle n° 3 intègre des pertes plus réalistes qui tiennent compte des crues observées sur la Sarine entre la fermeture de la décharge de la Pila et aujourd'hui. On observe en particulier la crue centennale de 2005 et la crue d'un temps de retour de 30 ans 2 ans plus tard, qui ont probablement été à l'origine des glissements successifs dans la zone du « hot spot » (cf. l'augmentation importante de l'apport). Malgré l'apport très important en PCB, la perte de PCB « enfouis en profondeur » suite à un transport important de sédiments lors de la crue a rapidement réduit le stock de PCB dans la couche sédimentaire comprise entre 0-15 cm.

De manière générale, les modèles 2 et 3 reflètent de manière plus réaliste l'évolution du stock dans les sédiments en tenant compte d'une « perte » de PCB liée aux crues et d'un apport généré par une crue susceptible de déstabiliser des matériaux du talus de la décharge en quantités plus ou moins importantes.

Le modèle n° 4 se base sur les mêmes réflexions que les modèles 1 à 3, mais intègre plus de paramètres pour lesquels les résultats d'analyse et les calculs de stock de 2016 sont disponibles, en particulier :

- La répartition du stock PCB entre les secteurs Pila-Gérine, Gérine-Lac et Lac.
- Le ratio entre le stock PCB observé en 2016 dans la couche sédimentaire comprise entre 0-15 cm et plus en profondeur (15 cm jusqu'à max. 75 cm).
- Le transport plus important de la fraction < 2 mm par rapport aux déchets > 2mm.
- Un apport constant sur 50 ans de 11.86 kg PCB par année.

Ce modèle permet de calculer l'évolution du stock PCB dans la couche sédimentaire de 0-15 cm sur les 3 tronçons de rivière pour des pas de temps de 1 an, 5 ans, 10 ans, 20 ans et 50 ans :

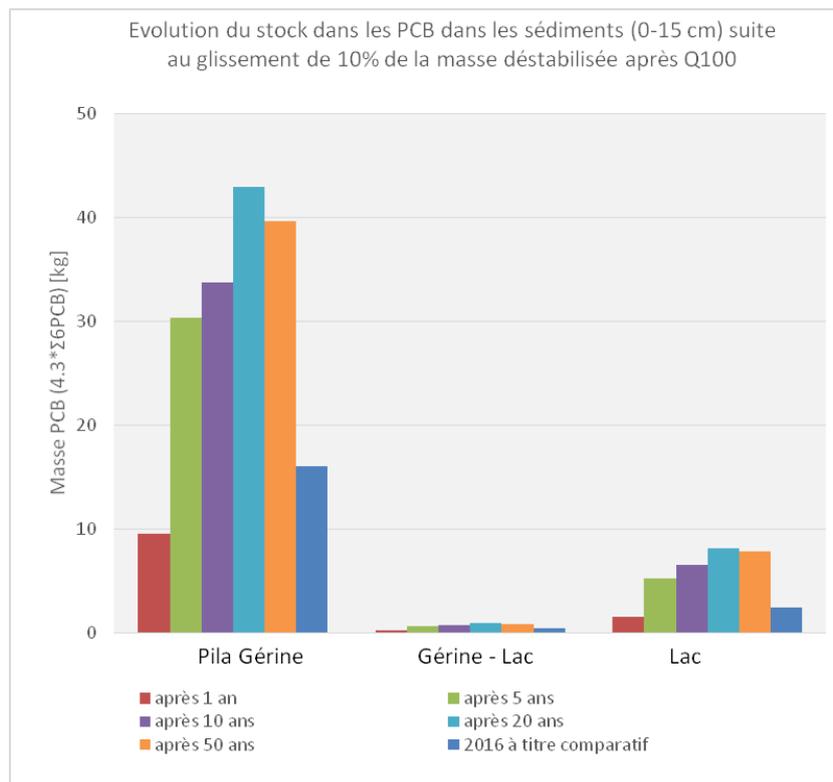


Figure 5-5-5 Modèle n° 4 : évolution du stock PCB dans la couche sédimentaire 0-15 cm pour les 3 secteurs Pila-Gérine, Gérine-Lac et Lac.

La répartition relative des stocks de PCB entre les différents secteurs obtenue par ce modèle correspond aux résultats des mesures et observations effectuées sur la Sarine en 2016. Par contre, la quantité de PCB stockée dans la couche sédimentaire 0-15 cm est surévaluée par le modèle en comparaison avec les résultats de 2016.

## 5.6 Hiérarchisation des flux en provenance de la décharge

### 5.6.1 Synthèse des flux en provenance de la décharge

Les flux dissous et solides de la décharge vers la Sarine ont été estimés dans les chapitres précédents pour deux états de référence : l'Etat 0 et l'Etat 2016 ; ceux-ci sont résumés qualitativement dans le tableau suivant.

Tableau 5-11 Flux PCB sous forme solide et dissoute depuis la décharge vers la Sarine. \*\* en temps normal et en temps de crue

État de référence	Flux solide Décharge→Sarine	Flux dissous Décharge→Sarine	Caractéristiques de l'état de référence
Etat 0	- Glissement possible - Erosion E1 à 6	Eaux souterraines : Flux** segments PP1, PP2, PP3, PP4, segPB, segF61	Pas de pompage Pas de palplanches Pas de captage des flux d'eaux souterraines amont
Etat 2016	- Pas de glissement - Erosion E1, E5 et E6	Eaux souterraines : Flux** segments PP1, segPB, segF61	Avec pompage Avec palplanches Avec captage flux eaux souterraines amont

L'état 0 correspond à une situation théorique, qui serait celle de la décharge en 2016 sans mesures préliminaires à l'assainissement (confinement partiel par paroi de palplanches, puits de pompage (PP1 à 4) dans la zone confinée et captage des flux amont d'eaux souterraines). Dans cette configuration sans confinement, les eaux souterraines s'exfiltrent dans la Sarine et l'érosion des talus de la décharge est susceptible d'entraîner des matériaux et des déchets dans le cours d'eau. Enfin, l'absence de confinement et de confortation de la berge rendent possibles les glissements de terrain.

L'état 2016 correspond à la configuration actuelle du site, après la réalisation des mesures préliminaires à l'assainissement. Le confinement partiel, constitué de la paroi de palplanches et des 4 puits de pompage, bloque les flux de PCB qui pourraient s'écouler de la décharge dans la Sarine (eaux souterraines et érosion). Ce confinement empêche également d'éventuels glissements de terrain dans la Sarine (pour une crue de temps de retour T100) en stabilisant le pied de la zone haute de la décharge et en évitant une augmentation du niveau de l'eau dans son emprise.

Les tableaux et figures suivants présentent une synthèse du calcul des flux de la décharge vers la Sarine pour les états 0 et 2016 ; les calculs figurent aux chapitres 5.3 à 5.5.

Le tableau ci-dessous distingue les flux solides d'une granulométrie supérieure et inférieure à 2 mm. Cette distinction permet d'identifier la quantité de PCB qui se dépose sur le secteur Pila-Gérine (fraction plus grande que 2 mm) de celle qui est rapidement transportée à l'aval de du secteur Pila-Gérine (fraction plus petite que 2 mm).

Les gammes de valeurs définies pour les différents flux résultent de nombreuses hypothèses de calcul. Les résultats numériques présentés ici doivent être considérés comme des ordres de grandeur (voir Annexe 9).

**Etat 0**

Tableau 5.5-12 Synthèse des flux à l'état 0

PCB totaux (somme 6*4.3)		PCB solide > 2mm et condensateurs	PCB solide < 2mm - particulaire	PCB dissous	Total (arrondi)
Eaux souterraines	[g/an]	0	0	62 – 157	62 - 157
Eaux souterraines : crue artificielle	[g/3 j]	0	0	0.3 – 0.65	<1
Érosion	[g/an]	147 - 180	17 - 21	0.7 – 0.9	165 - 202
Glissement de terrain	[g/an]	10'565	1'245	30 - 40	11'860
<b>Total</b>	<b>[g/an]</b>	<b>10'710 – 10'745</b>	<b>1'262 – 1'266</b>	<b>93 - 200</b>	<b>12'090 – 12'220</b>

**Etat 2016**

Tableau 5.5-13 Synthèse des flux à l'état 2016

PCB totaux (somme 6*4.3)		PCB solide > 2mm et condensateurs	PCB solide < 2mm - particulaire	PCB dissous	Total (arrondi)
Eaux souterraines	[g/an]	0	0	3 – 7	3 - 7
Eaux souterraines : crue artificielle	[g/3 j]	0	0	0.3 – 0.65	<1
Érosion	[g/an]	1 – 36	0.1 - 4	0 – 0.2	1 – 40
Glissement de terrain	[g/an]	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>[g/an]</b>	<b>1.1 – 35.8</b>	<b>0.1 - 4</b>	<b>3.3 – 7.8</b>	<b>5 – 48</b>

**5.6.2 Importance relative des différents flux**

Les graphes ci-dessous représentent la contribution relative des différents flux de PCB, de la décharge vers la Sarine, résumés dans les tableaux précédents. Ils permettent de mettre en évidence leur importance relative pour les deux états de référence considérés. Pour l'état 2016, les valeurs hautes intègrent la présence de condensateurs et déchets de condensateurs dans les matériaux érodés.

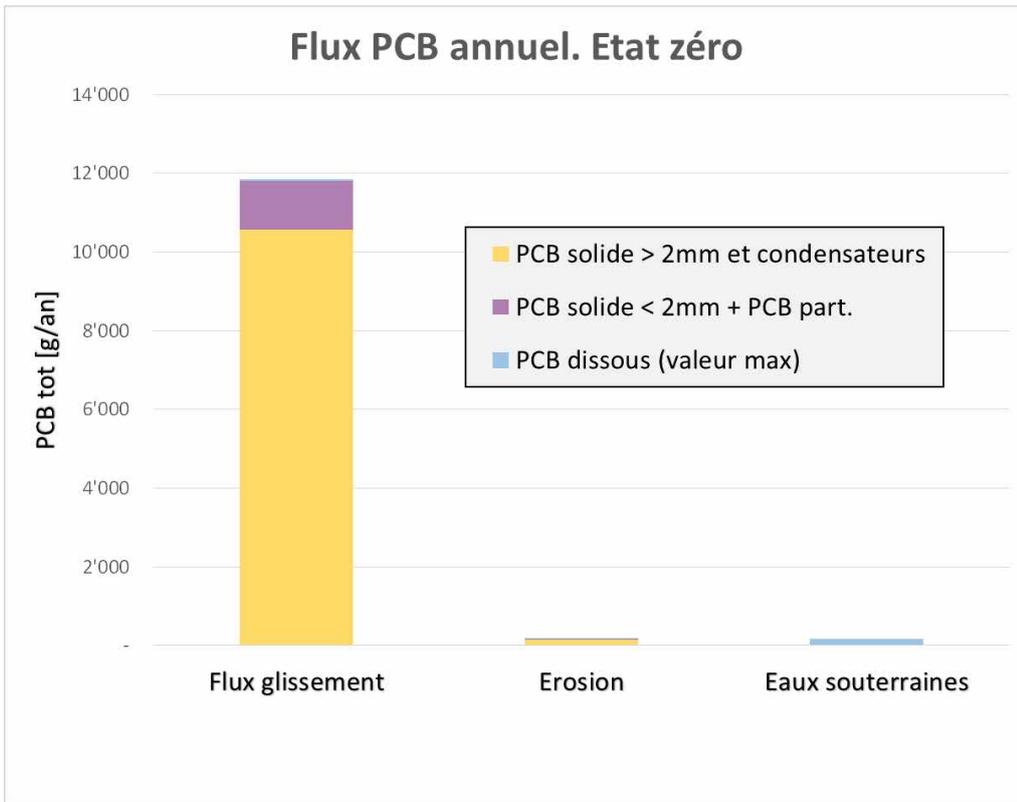
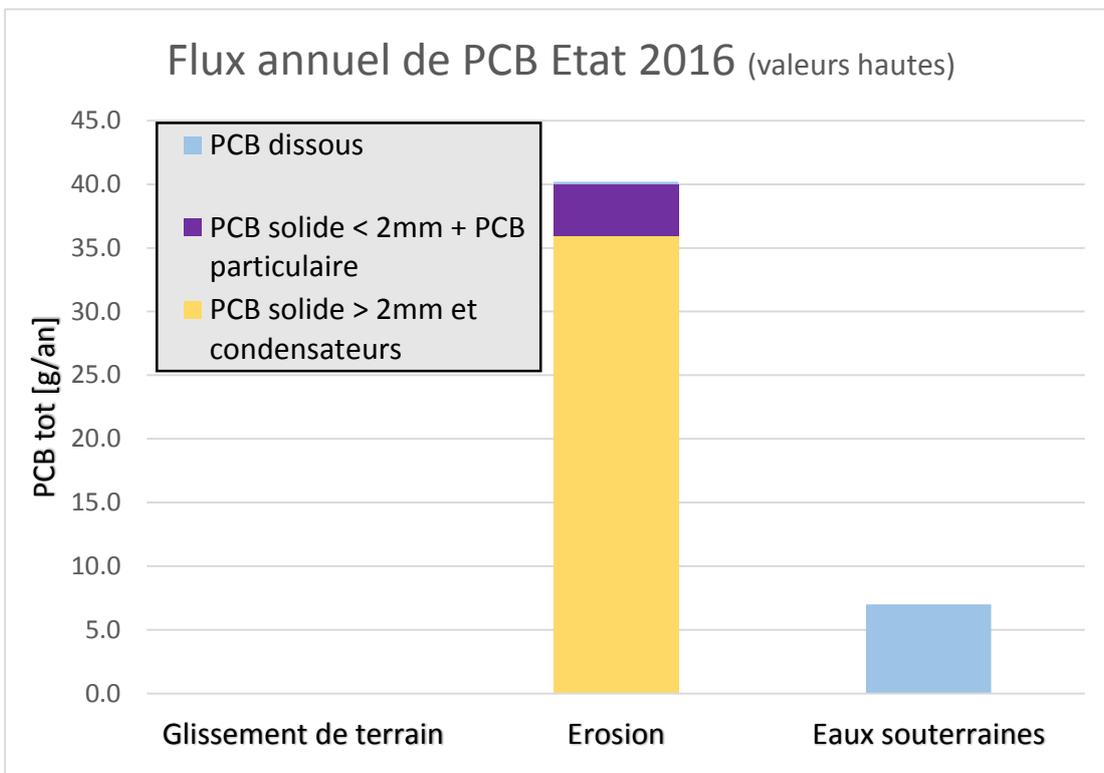


Figure 5-6 Synthèse et comparaison des ordres de grandeur des flux à l'état 0



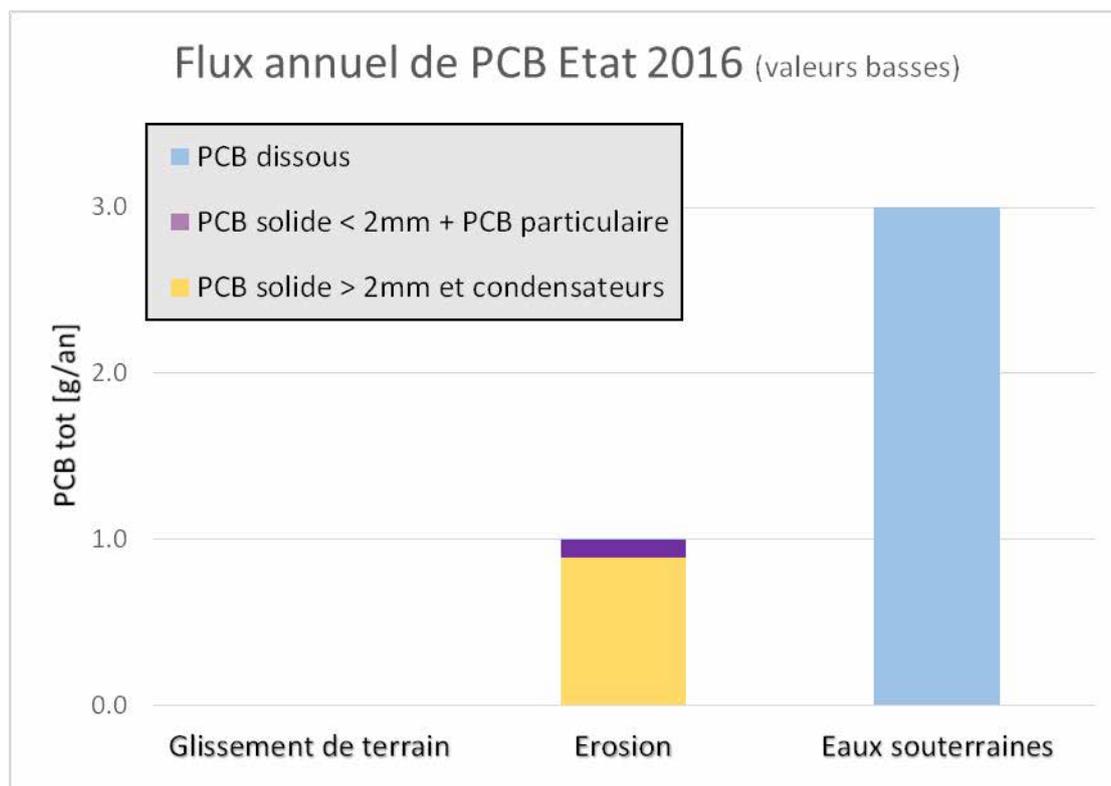


Figure 5-5-7 Graphique sommaire des flux à l'état 2016.

Le flux qui contribue de façon majeure à la contamination de la rivière est celui généré par le glissement potentiel d'une partie de la décharge dans la rivière. Ce flux, de l'ordre de 12 kg de PCB par an, représente 97% du flux potentiel annuel total de PCB pour le site non assaini à l'état 0.

Pour l'état 2016, les mesures préliminaires à l'assainissement permettent de bloquer presque la totalité des flux de PCB qui pourraient être générés par la zone haute de la décharge. Les flux annuels de PCB sont donc considérablement plus faibles de l'ordre de 50 grammes de PCB par an.

La contribution relative du flux de PCB dissous qui s'écoule de la décharge vers la Sarine via les eaux souterraines est faible : de l'ordre de 60 à 150 grammes de PCB par an pour l'état 0. La valeur haute de ce flux de PCB dissous (157 g) rapportée au flux d'eau total sortant dans la Sarine (env. 300'000 m<sup>3</sup>) pour l'état 0 donne une concentration moyenne de 0.5 µg/L de PCB dissous qui correspond à la moitié de 10x la valeur de concentration figurant dans l'annexe 1 OSites. Pour l'état 2016, ce flux est encore plus faible et s'établit à des valeurs comprises entre 3 et 7 grammes par an.

Le flux de PCB produit par l'érosion a été estimé sur la base des mesures des quantités de matière échantillonnée et analysée mensuellement dans tous les réceptacles à érosion posés sur le site de la Pila. La valeur basse présentée dans le tableau est basée sur les données récoltées entre 2016 et 2017. La valeur haute tient également compte des observations qui ont été faites sur le tronçon représenté par le réceptacle le plus à l'aval, en falaise, où des condensateurs ont été observés.

Pour l'état 0, le flux annuel de PCB par érosion de la décharge dans la Sarine a été estimé entre 165 et 202 grammes : il essentiellement constitué d'un flux solide dont la composante principale (90%) est la fraction supérieure à 2 mm qui peut contenir des condensateurs. Pour l'état 2016, le flux annuel de PCB par érosion de la décharge dans la Sarine est estimé entre 1 et 40 grammes, constitué essentiellement d'un flux solide dont la composante principale (90%) est constituée par la fraction supérieure à 2 mm et peut contenir des condensateurs.

## **6. Influence de la décharge sur la Sarine et contamination subséquente de la truite**

### **6.1 Contexte et objectifs**

Les mesures effectuées dans la Sarine en 2016 mettent en évidence un stock important de PCB (moyenne estimée de 71 kg, Tableau 4-1) présent dans le lit de la rivière et pouvant affecter les gammares, les trichoptères et les truites pendant de nombreuses années indépendamment de l'assainissement de la décharge de la Pila (Chapitre 4).

En ce qui concerne les flux de PCB qui pourraient parvenir dans la Sarine depuis la décharge, il a été mis en évidence que ce sont les flux générés à partir d'un glissement d'une partie du talus de la décharge qui sont déterminants. Sans assainissement du site, c'est-à-dire pour l'état 0, ils pourraient représenter des quantités de PCB de l'ordre de quelques kg par année et risqueraient par conséquent d'avoir un impact considérable sur l'écosystème de la Sarine (Chapitres 3 et 5).

Les chapitres précédents ont permis de décrire et de quantifier les stocks et les flux de PCB présents dans la Sarine et ceux générés par la décharge pour les deux états de référence considérés. Dans ce chapitre, les flux de PCB générés à partir de la décharge et présents dans le tronçon Pila –Gérine sont comparés aux autres flux présents dans la Sarine, mis en évidence dans le cadre des études complémentaires.

L'importance relative des flux générés par la décharge par rapport au bruit de fond présent dans la rivière indépendamment de la décharge de la Pila permet d'orienter la suite des réflexions sur les flux déterminants pour le cours d'eau et sur les secteurs de la décharge à l'origine de ces flux.

Le Chapitre 2.5 a permis de mettre en évidence que la contamination des sédiments par des PCB et des déchets de condensateurs semble être à l'origine de la contamination des poissons. Les mécanismes permettant d'expliquer la contamination de la truite à partir des sédiments doivent toutefois encore être précisés. Les concentrations de PCB « admissibles » dans les sédiments, valeurs seuils, c'est-à-dire les valeurs qui permettent d'assurer le respect des valeurs légales 6.5 et 25 pg/g TEQ05 PCB dans la chair des poissons doivent également être déterminées.

Dans ce chapitre, les objectifs poursuivis sont les suivants :

- Comparer les stocks et les flux de PCB présents dans la Sarine (Chap.4) à ceux provenant de la décharge (Chap.5) pour les états 0 et 2016. Identifier les stocks et flux déterminants pour la contamination de la Sarine et du poisson.
- Étudier un/des mécanisme(s) de contamination de la truite à partir des sédiments/déchets se trouvant dans le lit de la Sarine et proposer une méthode permettant d'évaluer les concentrations en PCB admissibles (seuils) dans les sédiments.
- Proposer des concentrations en PCB admissibles (seuils) dans l'eau qui assurent le respect des valeurs légales de contamination des poissons (ex. 6.5 et 25 pg/g) et vérifier si ces valeurs seuils sont respectées à l'état 0 et à l'état 2016.
- Identifier les conditions auxquelles ces valeurs seuils (dans les sédiments et dans l'eau) peuvent être respectées pour agir sur les flux déterminants dans le cadre du projet d'assainissement de la décharge de la Pila.

## 6.2 Importance relative des stocks et des flux dans la décharge et la Sarine

Les figures suivantes présentent l'ensemble des stocks et des flux de PCB mis en évidence dans le cadre des investigations complémentaires.

Les stocks de PCB présents dans la décharge ainsi que les flux générés par celle-ci pour les états de référence 0 et 2016 sont indiqués et comparés aux stocks et flux de PCB présents dans la Sarine en 2016 (identiques pour l'état 0 et l'état 2016).

Les figures ci-dessous illustrent ces différents stocks et flux pour les deux états de référence et mettent également en évidence la présence de flux de PCB sous forme solide et dissoute en provenance de l'amont de la décharge.

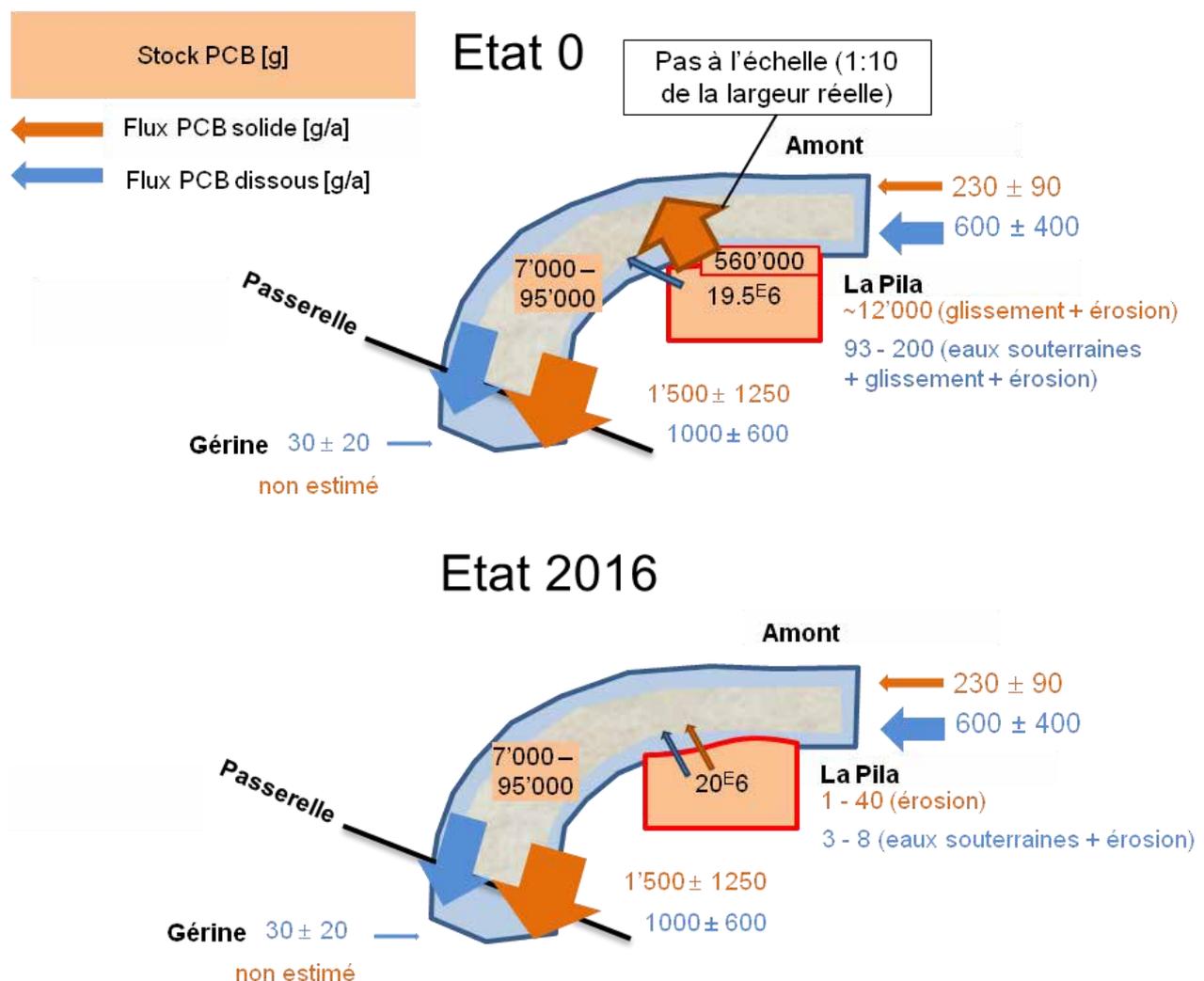


Figure 6-1 Comparaison des stocks et flux dans la Sarine, versus de la décharge vers la Sarine. Il est à noter que le stock PCB présent dans la décharge correspond à l'estimation de 2008, c'est-à-dire 20 t. La largeur des flèches est à l'échelle de la taille des flux qu'elles représentent.

Ces figures présentent uniquement le tronçon Pila-Gérine de la Sarine : en effet, ce tronçon est le plus directement impacté par la décharge, tant en termes de PCB présents dans les poissons (chap.2.5) qu'en

terme de déchets / PCB dans les sédiments (chap.2.1). De plus, les flux de PCB dissous calculés dans l'eau de la Glâne en 2016 rendent l'interprétation de la situation en aval de la passerelle difficile et le lien avec les flux de PCB en provenance du tronçon Pila-Gérine directement impacté par la décharge impossible à discriminer. Enfin, la dynamique du tronçon Pila-Gérine est relativement bien connue, puisque des flux PCB-MES et PCB-dissous ont pu être déterminés aux points Amont et Passerelle.

Dans les sous-chapitres suivants, les stocks et flux des états 0 et 2016 sont présentés et analysés en détail, toujours en comparant la Sarine à la décharge et à l'influence potentielle de cette dernière sur le système « rivière ».

## 6.2.1 Etat 0

Le **flux de PCB solide** prépondérant à partir de la décharge est celui généré par le glissement potentiel d'une partie de la décharge dans la rivière. Ce flux, de l'ordre de 12 kg de PCB par an, est le seul qui puisse être clairement discriminé des flux de PCB solides présents dans la rivière en 2016. Il est en effet largement supérieur au flux Sarine Amont sous forme de MES ( $230 \pm 90$  g/a). En termes de flux annuel, un glissement potentiel de la zone haute de la décharge induirait une influence directe considérable de la décharge sur la Sarine.

En absence de glissement toutefois, c'est le stock de PCB présent dans les sédiments de la Sarine (7-95 kg) qui représente le réservoir principal de PCB. L'érosion en provenance de la décharge pour l'état de référence 0 constitue un flux de PCB solide proche de celui qui provient de l'amont du site.

Le **flux de PCB dissous** provenant de la décharge à l'état 0 comprend l'exfiltration des eaux souterraines (62-157 g/a), de même que la dissolution de PCB depuis les matériaux aboutissant dans le lit de la Sarine par voie de glissement (30-40 g/a) et d'érosion (0.7-0.9 g/a). Le flux total de PCB dissous en provenance de la décharge est toutefois inférieur ou équivalent au flux de PCB dissous circulant dans la Sarine au point Amont ( $600 \pm 400$  g/a selon Figure 6-1). En termes de flux annuel de PCB dissous, l'influence directe de la décharge sur la Sarine ne peut donc pas être clairement discriminée et reste faible en valeur absolue. Le flux de PCB dissous provenant de la décharge demeure moins important que la différence entre les flux PCB dissous moyens aval - amont dans l'eau de la Sarine (315 g/a selon Tableau 4-5). Cette différence aval - amont s'explique en 2016 par la diffusion et la remise en suspension de sédiments pollués sur le tronçon Pila-Gérine. À l'état 0, le flux PCB dissous provenant directement de la décharge ne représenterait que 20 % à 50 % de cette différence.

Pour évaluer l'effet de la décharge par rapport celui de la Sarine on peut conclure, pour l'état 0 :

- Le flux PCB solide provenant du glissement est la majeure source de pollution des sédiments.
- En absence de glissement, c'est le stock de PCB sédimentaire qui est le plus susceptible de contribuer à la contamination du poisson.
- Même sans palplanches ni pompage, le flux de PCB dissous lié à la décharge ne participe que dans une moindre mesure à l'augmentation du flux entre amont et aval de la décharge.
- L'augmentation du flux de PCB dissous entre l'amont et l'aval de la décharge s'explique par la désorption/dissolution de PCB dans les sédiments (eaux interstitielles, surface du lit exposée aux courants).

## 6.2.2 Etat 2016

Le **flux PCB solide** provenant de la décharge à l'Etat 2016 comprend l'érosion (1-40 g/a) uniquement. Le glissement ne contribue pas au flux PCB solide dans ce cas, Le flux de PCB solide est toutefois non seulement constitué d'une fraction fine, inférieure à 2 mm et de PCB particulières, mais également d'une

fraction supérieure à 2 mm pouvant contenir des déchets de condensateurs (voir Figure 5-5-7). Alors que la fraction fine aura tendance à transiter rapidement dans le système avec le cours de l'eau, la fraction grossière pourra se déposer et charger les sédiments. Par conséquent, le flux solide de PCB décharge → Sarine (1-40 g/a) pourrait provoquer des augmentations de concentrations en PCB dans les sédiments à long terme. En 2016, le flux PCB solide lié à la fraction < 2mm issu de la décharge (1-4 g/a, cf. chap. 5.4)) est largement inférieur à la différence de flux dans la Sarine, entre l'amont et la Passerelle pour les MES (1'300 g/a en moyenne). L'augmentation entre l'amont et la Passerelle est donc quasi exclusivement produite par la remise en suspension et la diffusion de PCB à partir des sédiments du tronçon Pila-Gérine, impactés par les PCB et contenant des déchets de condensateurs.

Le **flux de PCB dissous** provenant de la décharge à l'état 0 comprend l'exfiltration des eaux souterraines (3-7 g/a) et la dissolution de PCB depuis les matériaux aboutissant dans le lit de la Sarine par voie de d'érosion des secteurs hors palplanches (0 – 0.2 g/a). Le flux PCB dissous depuis la décharge (~ 3-8 g/a) est largement inférieur au flux de PCB dissous dans les eaux de la Sarine au point Amont (600 ± 400 g/a selon Figure 6-1).

Dans l'objectif d'évaluer l'effet de la décharge par rapport à l'effet de la Sarine sur les stocks de PCB dans la Sarine on peut conclure, pour l'état 2016, que :

- Sous réserve d'une accumulation à long terme par le biais de l'érosion (en provenance de la falaise au-dessus du hot spot), l'importance des flux décharge – Sarine (érosion, eaux souterraines) sont négligeables par rapport au stock PCB Sarine (sédiments) et par rapport aux flux provenant de l'amont ou d'autres sources dans le bassin versant.

### 6.2.3 Synthèse

Si l'on considère l'ensemble des stocks et des flux de PCB présents dans la Sarine en 2016, le seul flux provenant de la décharge pouvant clairement être discriminé des flux présents dans la rivière est celui lié à un glissement potentiel.

## 6.3 Contamination de la truite par le PCB solide

### 6.3.1 Mécanismes possibles et modèle conceptuel

En 2016, les sédiments de la Sarine et les déchets qu'ils contiennent contribuent de façon prépondérante à la contamination des truites. Cela est d'abord visible par une tendance des concentrations en PCB présentes dans les poissons et les sédiments similaire dans les différents tronçons de la rivière. Autant pour les truites que pour les sédiments, l'ordre du niveau de contamination est le suivant : Pila-Gérine > Lac Pérolles > Gérine-Lac (Figure 2-5 et Figure 2-35). De plus, les gammares et les trichoptères à fourreaux, proies importantes des truites de la Sarine, sont en lien étroit avec les sédiments. Ils se nourrissent tous deux entre autres de débris végétaux<sup>[10]</sup> se trouvant à l'interface eau-sédiment. Les gammares ont, de plus, tendance à se réfugier dans les interstices des sédiments en période sèche<sup>[11]</sup>. Dans le cas de la Sarine, avec un marnage fréquent causé par les variations de débit particulièrement importantes sur le tronçon Pila-Gérine (2.5 à max. 75 m<sup>3</sup>/s), les gammares peuvent se déplacer dans les interstices des sédiments impactés par les PCB et contenant des déchets. Lorsque des condensateurs ou débris de condensateurs sont présents, les concentrations en PCB dans l'eau interstitielle peuvent être localement considérablement augmentées par diffusion/dissolution des PCB (réf. disc. E. Naffrechoux). La Figure 2-29 suggère d'ailleurs un lien étroit entre les concentrations en PCB retrouvées dans les sédiments et celles retrouvées dans les gammares sur un même secteur ; un maximum est perceptible au site Passerelle. Quant aux trichoptères, ils utilisent les matériaux (principalement des petits cailloux) se trouvant sur le lit de la Sarine pour construire

leurs fourreaux, mais peuvent à l'occasion inclure des morceaux de condensateurs comme l'illustrent les photos de la Figure 2-38.

Afin de mettre en évidence des liens entre le PCB détecté dans les truites, les sédiments, les gammares, l'eau, les déchets et la matière en suspension ; la distribution des congénères indicateurs (%congénères/IPCB) dans ces différents substrats a été étudiée. Des coefficients de corrélation entre les différentes distributions ont été estimés et figurent sous formes de matrice et de schéma en Annexe 6.3.1 *Matrice corrélation distribution congénères*. Les résultats montrent notamment que la distribution des 7 PCB indicateurs dans les gammares du tronçon Pila-Gérine est corrélée à celle des déchets et des sédiments avec un facteur supérieur à 0.9.

La figure suivante est un modèle conceptuel qui illustre schématiquement les mécanismes de contamination de la truite à partir des sédiments, en liant les sédiments/déchets aux proies principales de la truite.



Figure 6-2 Modèle conceptuel de la contamination de la faune benthique (proies principales de la truite)

Les mécanismes illustrés dans le modèle conceptuel incluent :

- la diffusion du PCB des sédiments/déchets vers les eaux interstitielles/de surface, lesquelles sont en contact avec les proies
- l'incorporation de sédiments/déchets sous forme solide dans les fourreaux de trichoptères

Ces processus de contamination des poissons ne sont pas seulement valables pour l'état actuel (Etat 2016). Tel que mis en évidence dans le chapitre précédent, un flux important de PCB sous forme solide (glissement) de la décharge vers la Sarine pourrait survenir pour l'Etat de référence 0. Bien qu'hypothétique,

ce flux solide risquerait d'ajouter une quantité considérable de PCB au stock-sédiment déjà présent dans la Sarine et ainsi renforcer l'influence des sédiments/déchets sur la contamination des truites.

### 6.3.2 Proposition de valeurs seuils

Compte tenu du caractère central des sédiments/déchets pour expliquer la contamination actuelle et potentielle future des truites, des études ont été entreprises pour préciser un seuil sédiment propre à la Sarine, c'est-à-dire une concentration en PCB dans les sédiments qui serait liée à une truite consommable sans restriction (6.5 pg/g TEQ05)<sup>[3]</sup> et qui n'impliquerait pas l'interdiction de la pêche (25 pg/g TEQ05) conformément aux prescriptions suivies par le canton de Fribourg été intégrée (voir Annexe 9 Chapitre 2.3 *Objectif qualité sédiments de la Sarine + scénarios dépassement*).<sup>7</sup> Par analogie avec les seuils pris en considération pour l'eau, la cible poisson à 3.3 pg/g TEQ05 a également

La méthodologie de ces études est basée sur le *Biota Sediment Accumulation Factor* (BSAF), qui permet d'établir un ratio entre la concentration du contaminant dans le biote et celle contenue dans les sédiments. La détermination des seuils sédiments à partir de l'approche BSAF sont présentés et détaillés en Annexe 6.3.2 *Détermination seuils sédiment et eau*. Les seuils sédiments obtenus pour des cibles poissons à 3.3, 6.5 et 25 pg/g figurent dans le tableau suivant. Ils sont respectivement de 0.040, 0.058 et 0.161 mg/kg, en unités somme des 6 i-PCB x 4.3, dans la fraction fine (inférieure à 2 mm).

Tableau 6-1 Valeurs seuils sédiment déterminées par l'approche BSAF

Seuil poisson	Seuil sédiment	Erreur Type II	Efficacité globale
pg/g TEQ05	mg/kg somme 6 iPCB x 4.3	%	%
3.3	0.040		
6.5	0.058	12	71
25	0.161	17	75

À chaque seuil correspond une erreur type II et d'une efficacité globale. Conceptuellement, l'erreur type II décrit la probabilité, dans le cas où le seuil sédiment est respecté (ici < 0.058 ou < 0.161 mg/kg somme 6 iPCB x 4.3), de se retrouver avec des poissons contaminés (ici > 6.5 ou > 25 pg/g TEQ05). L'erreur type II est relativement faible (< 20%) dans les deux cas présentés.

Pour ce qui concerne l'efficacité globale, elle reflète les probabilités :

1. d'avoir un poisson contaminé lorsque le seuil sédiment est dépassé,
2. d'avoir un poisson propre lorsque le seuil sédiment est respecté.

L'efficacité globale est supérieure à 70% dans les deux cas présentés ci-dessus.

### 6.3.3 Respect (ou non-respect) des valeurs seuils pour chaque type de flux

Dans le tableau suivant, les masses de PCB susceptibles de contaminer les sédiments bruts (couche 0-15 cm) au-delà des seuils «sédiments» sont estimées.

Tableau 6-2 Masses de PCB nécessaires pour faire passer la concentration en PCB de 0 aux seuils sédiments dans le secteur Pila-Gérine

7

[http://www.fr.ch/pila/fr/pub/actualites.cfm?fuseaction\\_pre=Detail&NewsID=58212](http://www.fr.ch/pila/fr/pub/actualites.cfm?fuseaction_pre=Detail&NewsID=58212)

Cible poisson	Seuil < 2 mm	Seuil brut	Masse sédiment brut 0-15 cm	Masse PCB sédiment brut avec seuil brut
TEQ05	BSAF	BSAF	PG	
pg/g	mg/kg 6 x 4.3	mg/kg 6 x 4.3	kg	g, somme 6 x 4.3
3.3	0.04	0.015	16'099'970	243
6.5	0.058	0.023	16'099'970	364
25	0.161	0.066	16'099'970	1'058

Comme les valeurs 0.058 et 0.161 avaient été définies sur la fraction < 2 mm, une conversion des concentrations < 2 mm → brutes est nécessaire. Les détails de cette conversion, qui tient compte de la granulométrie et de la concentration mesurée dans la fraction > 2 mm, figurent en Annexe 6.3.3.

La masse de sédiment brut considérée est celle de la couche 0-15 cm du secteur Pila-Gérine (16 millions de kg). Pour faire passer cette masse de 0 mg/kg à 0.023 mg/kg, la quantité de PCB nécessaire est estimée à 364 g. L'estimation du tableau ci-dessus implique l'hypothèse suivante : les sédiments de la Sarine ne contiennent aucun PCB. L'hypothèse est uniquement formulée dans le but d'isoler l'effet du flux décharge → Sarine sur les sédiments de la Sarine.

Les deux figures suivantes permettent de visualiser, pour l'état 0 et l'état 2016 sur l'espace d'une année :

- les masses de PCB solides nécessaires pour faire passer les sédiments de 0 mg/kg à 0.023 mg/kg (364 g, ligne jaune) et de 0 mg/kg à 0.066 mg/kg (1'058 g, ligne rouge)
- les masses de PCB solides provenant des flux décharge – Sarine (barres brunes)
- les masses minimum et maximum de PCB stockées dans la couche sédimentaire 0-15 cm (entre 1 et 23 kg, lignes violettes)
- la masse estimée de PCB extraite de la Sarine pendant les mesures d'urgence en 2012/2013 (1'300 kg, point rouge)

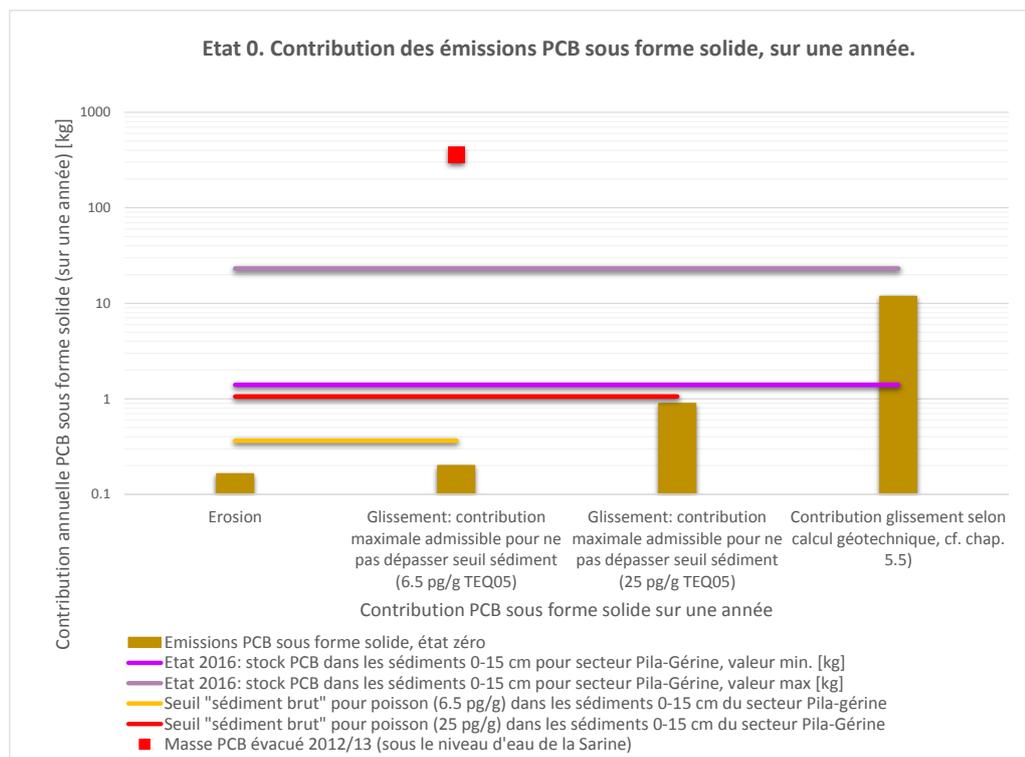


Figure 6-3 Etat 0. Comparaison d'un apport sur une année par érosion et glissement avec le stock PCB dans les sédiments (couche 0-15 cm) à l'état 2016 et les seuils « sédiment » pour poisson (6.5 et 25 pg/g TEQ05)

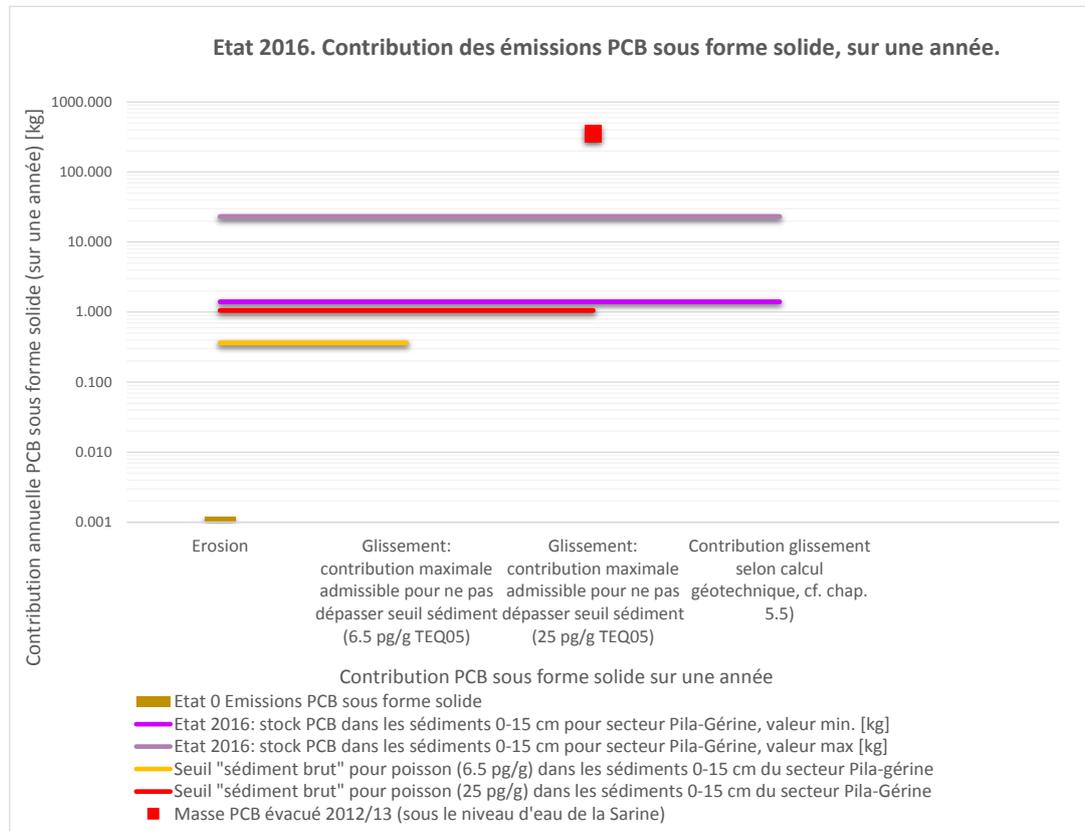


Figure 6-4 Etat 2016. Comparaison d'un apport sur une année par érosion et glissement avec le stock PCB dans les sédiments (couche 0-15 cm) à l'état 2016 et les seuils « sédiment » pour poisson (6.5 et 25 pg/g TEQ05)

Les flux lié à l'érosion (164-201 g/a pour l'état 0 et 1-40 g/a pour l'état 2016) sont repris des colonnes « PCB solide » des Tableau 5.5-12 et Tableau 5.5-13. Pour ce qui est du glissement de terrain à l'état 0, non seulement la contribution selon le calcul géotechnique (11.86 kg) est illustrée, mais aussi les masses de PCB nécessaires pour atteindre les seuils « sédiments bruts » pour poisson 6.5 et 25 pg/g TEQ05. Pour calculer ces deux derniers flux, une concentration moyenne de 168 mg/kg PCB dans les matériaux de glissement (concentration moyenne calculée sur une masse de 22'000 m<sup>3</sup> de déchets contenant 5'900 kg PCB) sur les échantillons prélevés dans la zone instable (cf. chap. 3.2) a été considérée. Les stocks PCB dans les sédiments 0-15 cm sont issus du Tableau 4-1(somme des fractions < 2 mm et > 2 mm, valeurs min. et max. pour le tronçon Pila-Gérine).

Il faut rappeler que les masses de PCB présentées dans le Tableau 6-2 sont calculées en supposant un stock de PCB nul dans les sédiments de la Sarine et que ceci n'est pas la réalité en 2016. Les masses calculées permettent toutefois d'isoler l'effet de la décharge sur la Sarine. Cet effet, de même que l'effet « réel » c'est-à-dire en présence d'une quantité non-nulle de PCB dans les sédiments, sont détaillés dans les sous-chapitres suivants, pour l'état 0 et l'état 2016. Les figures ci-dessus servent d'appui visuel aux explications.

### 6.3.3.1 Etat 0

En supposant que les sédiments de la Sarine ne contiennent pas de PCB (Tableau 6-2), une masse totale de PCB 364 g est nécessaire pour faire passer les sédiments bruts du secteur Pila-Gérine (16 millions de kg, couche 0-15 cm) de 0 mg/kg à 0.023 mg/kg en moyenne. Avec une masse de 164-201 g sur une année,

l'érosion contribue déjà à plus de 50% de la masse nécessaire pour atteindre le seuil « sédiment » admissible (cible poissons de 6.5 pg/g TEQ05). Il suffirait alors d'un glissement d'environ de 0.5 m<sup>3</sup>, additionné au flux érosion, pour atteindre ce seuil poisson.

Pour dépasser le seuil poisson de 25 pg/g TEQ05, il suffit d'environ 3 m<sup>3</sup> de matériaux du glissement additionné au flux érosion (164-201 g/a). Dans l'hypothèse de glissements réguliers sur 50 ans (12 kg/a), une année suffit pour faire dépasser les concentrations dans les sédiments bruts de 0 mg/kg à des valeurs supérieures au seuil « sédiment » (cible poisson de 25 pg/g TEQ05). Pour mémoire : les matériaux évacués du lit mouillé lors des travaux d'assainissement entre 2009 et 2013 contenaient env. 1300 kg PCB.

Ainsi, un glissement de terrain a clairement le potentiel de contribuer directement à la pollution des sédiments et conséquemment des truites vivant dans le tronçon Pila-Gérine. En l'absence de glissement, c'est le stock de PCB présent dans les sédiments qui présente une source non-négligeable de pollution. L'érosion n'exerce qu'une contribution mineure à court et moyen terme ; elle pourrait avoir une importance relative plus importante à long terme, en l'absence de glissement et de stock de PCB dans les sédiments et en absence d'apport par l'amont.

### **6.3.3.2 Etat 2016**

En supposant que les sédiments de la Sarine ne contiennent pas de PCB (Tableau 6-2), une masse totale de 364 g est nécessaire pour faire passer les sédiments bruts du secteur Pila-Gérine (16 millions de kg, couche 0-15 cm) de 0 mg/kg à 0.023 mg/kg. Dans ce cas, et en posant l'hypothèse que 90% du flux érosion (1-40 g/a) se dépose sur le lit de la Sarine et y demeure, le flux lié à l'érosion pourrait contaminer la couche sédimentaire entre 0 et 15 cm au-delà du seuil « sédiment » pour la cible poisson de 6.5 pg/g (masse de 364 g nécessaire) en l'espace de 10 ans environ.

Ce scénario est toutefois hypothétique. En réalité, il existe en 2016 une quantité non négligeable de PCB présente dans le lit de la Sarine (entre 7 et 95 kg) et ce stock présent dans les sédiments mettra plusieurs décennies avant de quitter le secteur Pila-Gérine.

Ainsi, c'est le stock de PCB présent dans les sédiments qui contribue en 2016 à la contamination de la truite. On ne peut pas exclure que l'érosion puisse exercer une contribution relative plus importante à long terme (pour le cas théorique d'un épuisement du stock, 4 -60 ans selon Tableau 4-6, et d'un apport nul de l'amont) à la contamination des sédiments et des truites du secteur Pila-Gérine.

## **6.4 Contamination de la truite par le PCB dissous**

### **6.4.1 Plausibilité d'une contamination par le passé**

En 2016, les résultats des études ont montré qu'il est improbable que la bioconcentration eau→poisson soit le processus déterminant pour expliquer la contamination des poissons dans le secteur Pila-Gérine. En effet, l'influence de l'eau de la Sarine sur la contamination de la truite n'a pas été écartée, mais a été jugée faible sur la base des données de concentrations en PCB dissous déterminées à l'aide des capteurs passifs en 2016 et d'un facteur de bioconcentration de 100'000 (Chapitre 2.3).

Cependant, suite à un glissement de terrain un stock de PCB important pourrait se retrouver dans les sédiments ; dans ce cas, il n'est pas exclu que le PCB diffuse des sédiments vers l'eau et puisse affecter significativement le poisson.

Afin de tester cette hypothèse bioconcentration eau→poisson, il est pertinent de considérer les concentrations en PCB retrouvées dans l'eau de 2010 à 2016, aux sites Pila et Aval. Dans le tableau suivant,

ces concentrations sont affichées et servent de base pour calculer la contamination subséquente de la truite à l'aide d'un facteur de bioconcentration de 100'000.

Tableau 6-3 Simulation d'une bioconcentration eau → truite à partir des valeurs de concentrations en PCB dissous mesurées dans le passé (2010-2015) et en 2016

Site	Année	Concentration en PCB dans l'eau, moyenne non-corrigée mesurée sur l'année ng/L somme 6 x 4.3	Concentration estimée en PCB dans la truite		
			pg/g somme 6 x 100'000	pg/g TEQ98 iPCB/12'500	pg/g TEQ05 TEQ98*0.8125
Pila	2010	565.4	13'148'871	1'051.9	854.7
	2012	6.9	160'810	12.9	10.5
	2013	19.0	442'091	35.4	28.7
	2014	1.7	39'916	3.2	2.6
	2015	0.5	12'395	1.0	0.8
	2016	0.5	10'978	0.9	0.7
Aval (1, 2, Passerelle)	2010	3.3	77'586	6.2	5.0
	2012	1.9	44'288	3.5	2.9
	2013	1.2	27'986	2.2	1.8
	2014	0.9	21'780	1.7	1.4
	2015	0.5	12'020	1.0	0.8
	2016	0.4	9'804	0.8	0.6

Avant la fin de la réalisation des mesures préliminaires à l'assainissement sur le site de la Pila, en octobre 2013, la bioaccumulation eau→poisson était capable de faire passer la truite de la Sarine au-dessus des seuils réglementaires 6.5 et 25 pg/g TEQ05 (au site Pila uniquement). Cette estimation suppose toutefois que la truite passe le 100% de sa vie au point de mesure Pila (Hotspot), ce qui est improbable. Au site Aval, lequel inclut les capteurs Aval 1, Aval 2 et Passerelle, la concentration moyenne dans l'eau représente un territoire plus large et est donc plus susceptible de représenter l'aire d'habitat d'une truite sur sa durée de vie. À ces endroits, la bioconcentration ne suffit pas à faire passer la truite de la Sarine au-dessus des seuils réglementaires 6.5 et 25 pg/g TEQ05, même entre 2010 et 2013.

En somme, le tableau ci-dessus montre uniquement que la bioconcentration eau→poisson a eu un impact plus grand sur la contamination de la truite durant la période 2010-2013, comparativement à celle 2014-2016. Sur le tronçon « Aval », le phénomène de bioconcentration n'arrive pas, à lui seul, à induire un dépassement du seuil PCB dissous. Il faut supposer que la truite passe le 100% de sa vie dans une zone très polluée (Pila 2010, 2012 et 2013) pour induire un dépassement des seuils 6.5 et 25 pg/g.

La situation de 2010-2013 peut se comparer à la situation hypothétique d'un glissement de terrain, avec des volumes importants de matériaux (> 500 m<sup>3</sup>), fortement concentrés en PCB et contenant notamment des déchets de condensateurs, situés en permanence dans le lit mouillé de la Sarine. Le lieu de dépôt de ces matériaux, en plus d'alimenter les sédiments sous forme d'un flux solide de PCB, contribue également au flux dissous de PCB dans la Sarine par diffusion/dissolution des PCB contenus dans les déchets. La probabilité de contamination de la truite par le biais de la bioconcentration, dans ce cas, repose sur la dispersion des déchets sur le tronçon Pila-Gérine ainsi que sur la proximité de la truite par rapport aux déchets sur toute sa durée de vie.

Ces derniers facteurs étant inconnus, la bioconcentration pour l'état de référence 0 n'est pas exclue, mais elle toutefois jugée improbable sur la base des calculs effectués au tableau ci-dessus.

### 6.4.2 Proposition de valeurs seuils

Malgré le soupçon d'une contribution mineure de la bioconcentration, il convient de déterminer des seuils « eau » propres à la Sarine, c'est-à-dire des concentrations en PCB dissous qui seraient liés à une truite consommable sans restriction (6.5 pg/g TEQ05)<sup>[3]</sup> et qui n'impliqueraient pas l'interdiction de la pêche (25 pg/g TEQ05) selon le canton de Fribourg<sup>8</sup>.

Un seuil poisson additionnel (4 pg/g TEQ098) est considéré pour les calculs. Cette valeur est tirée du Tableau 10 de Schmid et al. (2010)<sup>[3]</sup>, dans lequel la plage de valeurs 0 à 4 pg/g TEQ98 dans le poisson correspond entre autres aux effets toxiques suivants : la perturbation du développement embryonnaire, la mortalité accrue des embryons et des troubles de la reproduction. Or dans l'Ordonnance sur la protection des eaux (OEaux), l'Annexe 2 concernant les exigences générales liées aux eaux superficielles précise que « La qualité des eaux doit être telle que les eaux propices au frai des poissons soient conservées. ». La valeur 4 pg/g TEQ98 (3.3 pg/g TEQ05) représente donc la limite supérieure de quantité de PCB retrouvée dans le poisson, permettant de satisfaire aux exigences de l'OEaux concernant le frai des poissons.

Les détails du calcul des seuils PCB dissous, basé sur un facteur de bioconcentration de 100'000, est détaillé en Annexe 6.3.2 *Détermination seuils sédiment et eau*. Les seuils « eau » obtenus en considérant une concentration de PCB dans le poisson de 3.3, 6.5 et 25 pg/g TEQ05 sont affichés dans le tableau suivant :

Tableau 6-4 Valeurs seuils eau (Concentration estimée dans l'eau) déterminée sur la base d'un facteur de bioconcentration eau → truite de 100'000

Concentration en PCB fixée dans la truite			Concentration en PCB estimée dans l'eau	
pg/g TEQ05	pg/g TEQ98	pg/g somme 6 iPCB	ng/L somme 6	ng/L somme 6 x 4.3
3.3	4.0	50'000	0.5	2.2
6.5	8.0	100'000	1.0	4.3
25	31	384'615	3.8	17

Les seuils « eau » sont donc estimés à 2.2, 4.3 et 17 ng/L somme des 6 x 4.3. Ces seuils sont discutés et comparés à des données de concentrations en PCB dans des eaux de surface en Suisse dans l'Annexe 6.3.2 *Détermination seuils sédiment et eau*.

Une analyse de sensibilité montrant l'influence du facteur de bioconcentration est disponible en Annexe 9.

### 6.4.3 Condition du respect des valeurs seuils

Dans le tableau suivant, les flux de PCB susceptibles de contaminer le volume d'eau transitant annuellement dans le secteur Pila-Gérine au-dessus des seuils PCB «eau » sont estimés:

Cible poisson	Seuil eau	Volume trans	Masse PCB
TEQ05	6i x 4.3	PG	PG
pg/g	ng/L	L/an	g/an
3.3	2.2	1.2157E+12	2'675
6.5	4.3	1.2157E+12	5'228
25	17	1.2157E+12	20'668

Tableau 6-5 Flux de PCB dissous nécessaires pour faire passer l'eau de la Sarine de 0 ng/L aux seuils eau

8 [http://www.fr.ch/pila/fr/pub/actualites.cfm?fuseaction\\_pre=Detail&NewsID=58212](http://www.fr.ch/pila/fr/pub/actualites.cfm?fuseaction_pre=Detail&NewsID=58212)

Les seuils avec pour cibles le poisson à 3.3 pg/g, 6.5 et 25 pg/g apparaissant dans le tableau ci-dessus correspondent aux cibles poisson pour lesquels des seuils sédiments ont également été calculés. Le volume d'eau ( $1.2157 \times 10^{12}$ ) est celui ayant transité en 2016 à l'aval de la Pila. Dans les figures ci-dessous, les cibles poisson à 3.3, 6.5 et 25 pg/g sont représentées.

Pour atteindre dans ce volume d'eau une concentration de 4.3 ng/L de PCB, il faudrait l'adjonction d'une masse totale de 5'228 g de PCB. L'estimation du tableau ci-dessus implique l'hypothèse suivante : l'eau de la Sarine ne contient aucun PCB. L'hypothèse est uniquement formulée dans le but d'isoler l'effet du flux de charge → Sarine sur les eaux de la Sarine.

Les 2 figures suivantes permettent de visualiser, à l'état 2016 et à l'état 0, les effets du flux de PCB dissous provenant de la décharge par rapport aux flux PCB dissous observés en 2016 dans les eaux de la Sarine. Les figures incluent :

- les flux annuel PCB dissous susceptible de contaminer le volume d'eau transitant annuellement dans le secteur Pila-Gérine au-dessus des seuils « eau » (lignes jaune et rouge)
- les flux de PCB dissous provenant de la décharge (barres bleues)
- les flux PCB dissous observés dans les eaux de la Sarine (barres vertes)

Il est important de noter que l'axe des Y est représenté sur une échelle logarithmique.

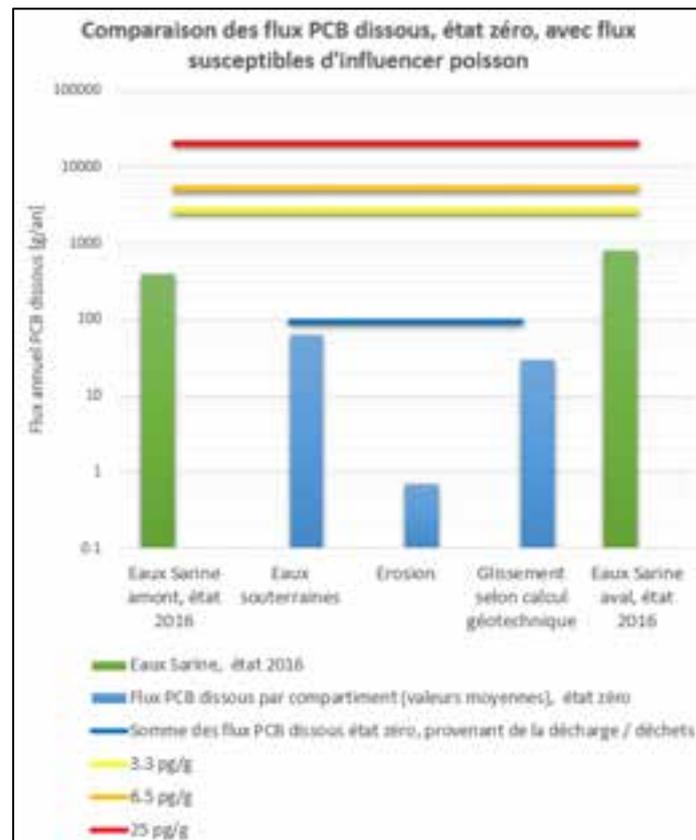


Figure 6-5 Comparaison des flux PCB dissous à l'état zéro, échelle Y logarithmique

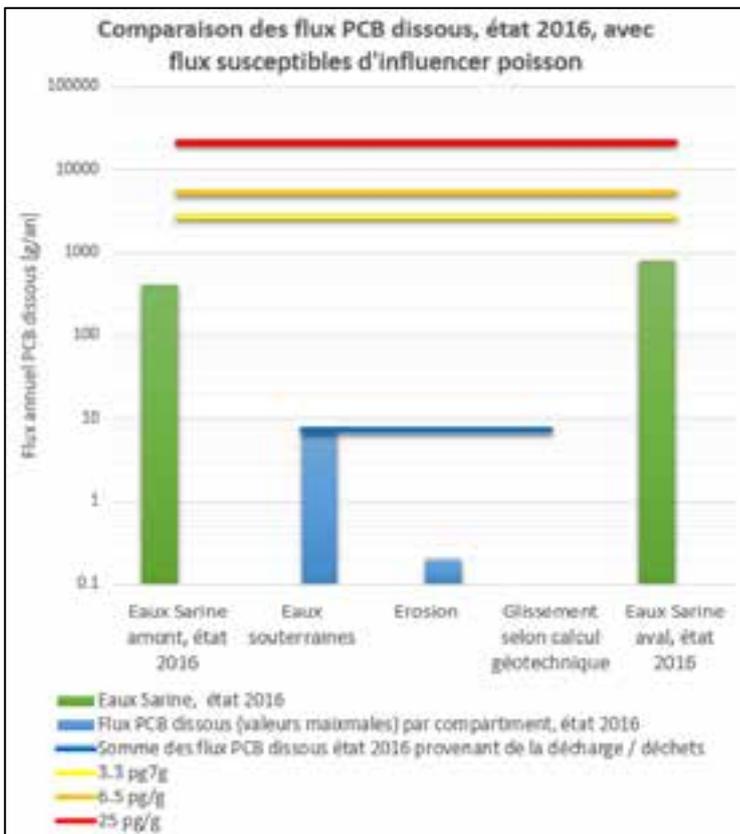


Figure 6-6 Comparaison des flux PCB dissous à l'état 2016, échelle Y logarithmique

### 6.4.3.1 Etat 0

Même en incluant l'influence potentielle du glissement de terrain (30-40 g/a), les flux PCB dissous de la décharge vers la Sarine (env. 90-200 g/a) sont largement inférieurs aux seuils « eau » de 2'675 g/a (pour le poisson à 3.3 pg/g TEQ05), 5'228 g/a (pour le poisson à 6.5 pg/g TEQ05) et de 20'668 g/a (pour le poisson à 25 pg/g TEQ05).

De plus, les flux PCB dissous de la décharge vers la Sarine (93-200 g/a<sup>9</sup>) sont inférieurs ou semblables, si l'on considère l'incertitude, aux flux de PCB dissous observés dans les eaux de la Sarine en 2016 à l'amont de la décharge (200-640 g/a<sup>10</sup>). Si le phénomène d'adsorption du PCB dissous sur les sédiments/autres particules organiques était important pour l'accumulation de PCB dans le tronçon Pila-Gérine, ce phénomène se produirait autant avec le PCB dissous provenant de l'Amont qu'avec le PCB provenant de la décharge.

Or, le flux de PCB à l'Amont (200-640 g/a) est comparable ou même supérieur au flux de PCB provenant de la décharge (93-200 g/a). Par conséquent, ce phénomène n'est pas écarté mais il est jugé d'importance mineure pour ce qui a trait à l'influence de la décharge sur la contamination des sédiments et des truites.

<sup>9</sup> Selon Tableau 5.5-12

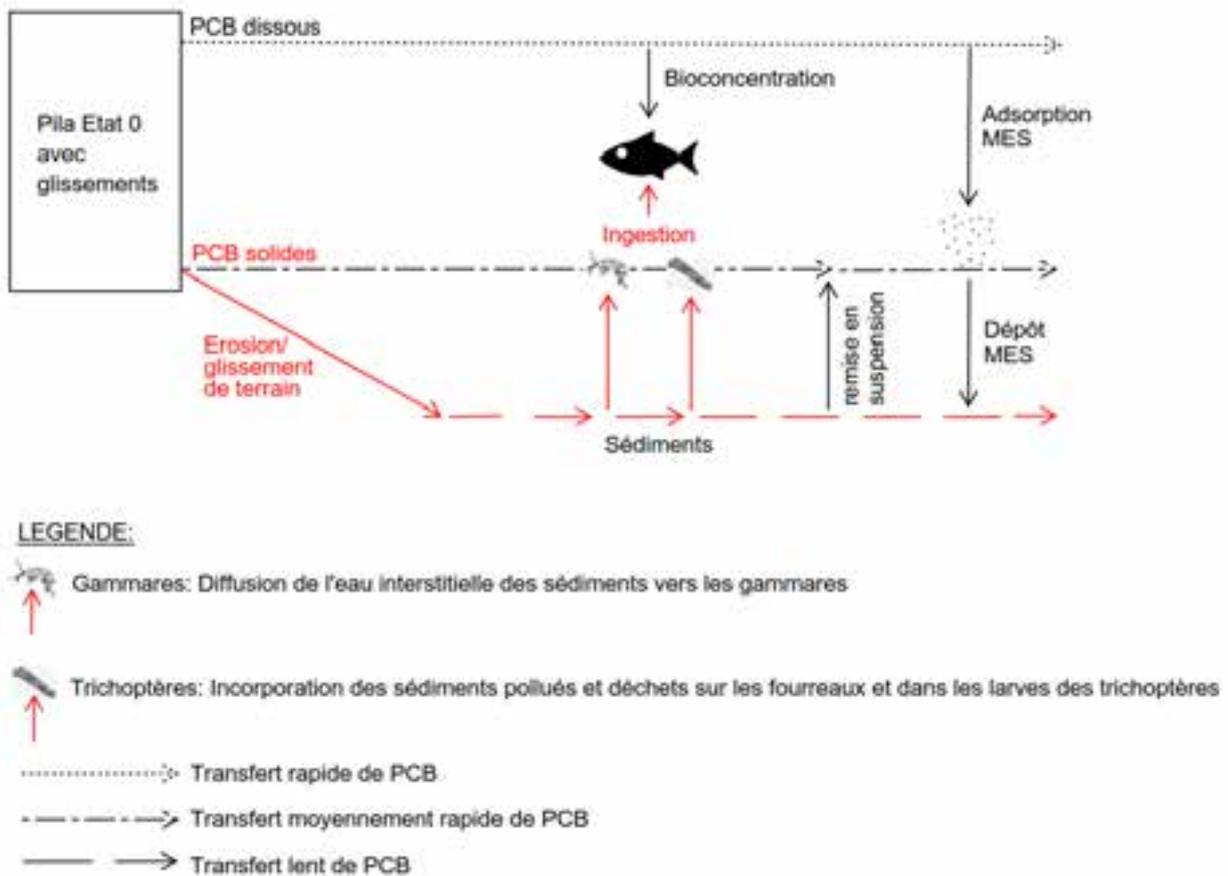
<sup>10</sup> Valeurs moyennes selon Tableau 4-3 et Tableau 4.2

6.4.3.2 Etat 2016

Les flux PCB dissous provenant de la décharge (3-8 g/a<sup>11</sup>) sont largement inférieurs aux seuils « eau » de 5'228 g/a (pour le poisson à 6.5 pg/g TEQ05) et de 20'668 g/a (pour le poisson à 25 pg/g TEQ05), de même qu'au flux de PCB dissous observé dans les eaux de la Sarine en 2016 (200-640 g/a en amont).

6.5 Synthèse et conclusions

Les schémas suivants synthétisent les influences de la décharge du point de vue de la contamination de la truite du secteur Pila-Gérine, en fonction des dépassements de seuils eau et sédiment pour l'état 0 et l'état 2016 présentés dans les chapitres précédents. Les processus d'importance sont indiqués en rouge. Les processus indiqués en noir sont existants, mais sont d'importance non déterminante du point de vue de la truite.



<sup>11</sup> Selon Tableau 5.5-13

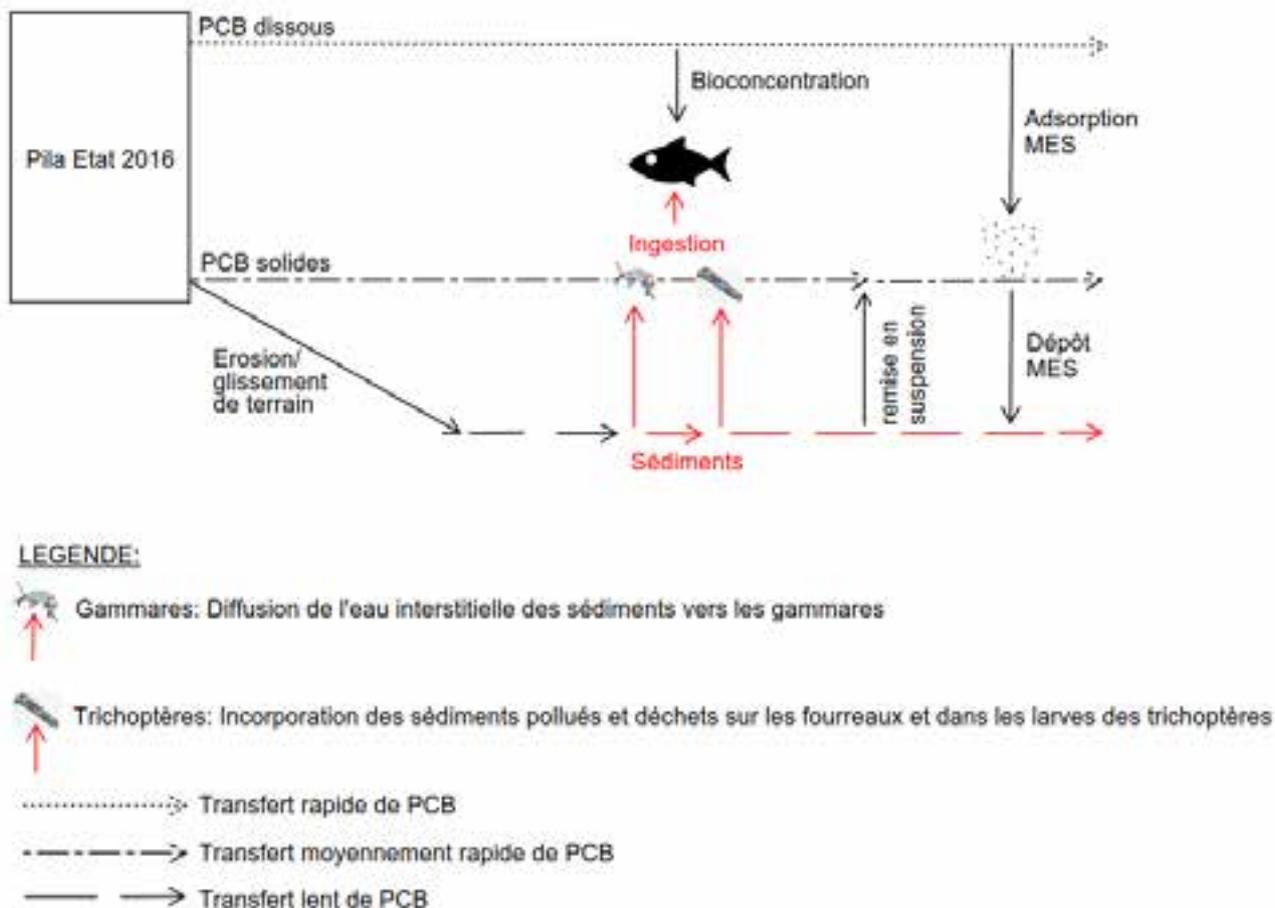


Figure 6-7 Schéma conceptuel des influences de la décharge du point de vue de la contamination de la truite à l'Etat 0 (haut) et à l'Etat 2016 (bas)

Ces schémas permettent de distinguer les effets de la décharge par rapport à l'effet de la Sarine. Ils présentent également l'effet du temps de séjour des PCB dans le système Sarine. Les faits suivants peuvent être mis en évidence :

- À l'Etat 0, les flux de PCB déterminants pour la truite de la Sarine sont les flux sous forme solide qui affectent la couche sédimentaire entre 0 et 15 cm par le vecteur de dissémination « glissement » et « érosion ». Le glissement est particulièrement déterminant, car il suffit, à lui seul et sur une courte durée, à conduire à un dépassement du seuil « sédiment » lié à l'objectif poisson de 3.3 pg/g TEQ05.
- À l'Etat 2016, la contamination de la truite est principalement contrôlée par le stock de PCB déjà présent dans les sédiments, lequel influence les proies gammarès et trichoptères. Ce stock sédiment s'épuise relativement lentement par « roulements, bris et dégradation des condensateurs en petits morceaux » dans le lit de la rivière, de même que par la remise en suspension, association aux MES et diffusion. L'évolution de la contamination de la truite dépend aussi de cet épuisement progressif du stock de PCB présents dans la Sarine, qui pourrait être complet d'ici quelques dizaines d'années jusqu'à une centaine d'années.
- Pour l'Etat 0 et l'Etat 2016, la voie principale de contamination de la truite est l'ingestion de gammarès et de trichoptères à fourreaux en contact étroit avec les sédiments contaminés.

- Pour l'Etat 0 et l'Etat 2016, le flux PCB sous forme dissoute provenant de la décharge ne joue qu'un rôle secondaire : d'une part il ne contribue que partiellement à l'augmentation du flux de PCB dissous dans les eaux de la Sarine, d'autre part les masses de PCB dissous sont rapidement transférées à l'aval du secteur. En outre, leur contribution au flux de PCB dissous dans la Sarine n'est pas déterminant en relation avec le seuil «eau » pour la cible poisson de 3.3 pg/g TEQ05 PCB. Le phénomène de bioconcentration est par conséquent considéré comme mineur.

En ce qui concerne une possible augmentation des concentrations en PCB dans les sédiments par adsorption de PCB dissous sur les MES et déposition de ces MES sur le lit de la Sarine, elle est jugée non pertinente pour la contamination de la truite. L'une des raisons est que le flux amont de PCB dissous est semblable ou supérieur aux flux de PCB dissous provenant de la décharge pour les deux états. Une autre raison provient des observations faites dans la Birse. Malgré une contamination importante en PCB dissous dans l'eau de la Birse, les sédiments sont peu affectés et présentent des concentrations en PCB relativement faibles<sup>[8]</sup>.

Une évaluation complémentaire présentée en Annexe 9 (Chapitre 2.1 Analyse question biofilm) montre que les PCB dissous émis par la décharge ne sont pas susceptibles de conduire à une augmentation des concentrations en PCB dans les sédiments.

## **7. Importance et répartition spatiale des flux provenant de la décharge**

### **7.1 Bases légales déterminantes**

#### **7.1.1 Flux de PCB sous forme solide :**

Les dispositions générales des lois fédérales sur la protection de l'Environnement (LPE, 814.01) et des eaux (LEaux, 814.20) interdisent, fondamentalement, l'apport de substances polluantes dans les cours d'eau :

- Art. 1 al.1, LPE : But : La présente loi a pour but de protéger les hommes, les animaux et les plantes, leurs biocénoses et leurs biotopes contre les atteintes nuisibles ou incommodes, et de conserver durablement les ressources naturelles, en particulier la diversité biologique et la fertilité du sol.
- Art. 3, OEaux : Devoir de diligence : Chacun doit s'employer à empêcher toute atteinte nuisible aux eaux en y mettant la diligence qu'exigent les circonstances.
- Art. 6 al. 1, OEaux : Il est interdit d'introduire directement ou indirectement dans une eau des substances de nature à la polluer; l'infiltration de telles substances est également interdite.

#### **7.1.2 Flux de PCB sous forme dissoute**

L'article 10 point 2 de l'Ordonnance sur les sites contaminés (OSites) dispose qu'un site pollué nécessite un assainissement du point de vue de la protection des eaux superficielles

a. si, dans l'eau qui s'écoule dans des eaux de surface, la concentration des substances provenant du site dépasse dix fois la valeur de concentration mentionnée à l'annexe 1; ou

b. si, selon l'al. 1, let. a, le site nécessite une surveillance et qu'il présente un danger concret de pollution des eaux de surface en raison d'une rétention ou d'une dégradation insuffisante des substances provenant du site.

## 7.2 Relargage de la décharge : Répartition spatiale des flux

### 7.2.1 Etat 0

Afin de représenter uniquement l'effet de la décharge sur le système Sarine, la figure suivante présente l'état 0, représentatif du site de la Pila sans mesures préliminaires à l'assainissement, sans tenir compte du stock de PCB présent dans les sédiments à l'état 2016 et sans tenir compte du flux de PCB provenant de la dissolution des sédiments impactés par le PCB.

La figure permet de visualiser :

- ➔ La contribution des 2 parties (zones haute et basse) de la décharge.
- ➔ L'importance relative des flux sous forme dissoute et solide sur le système Sarine (eaux, sédiments) à l'aval de la décharge.

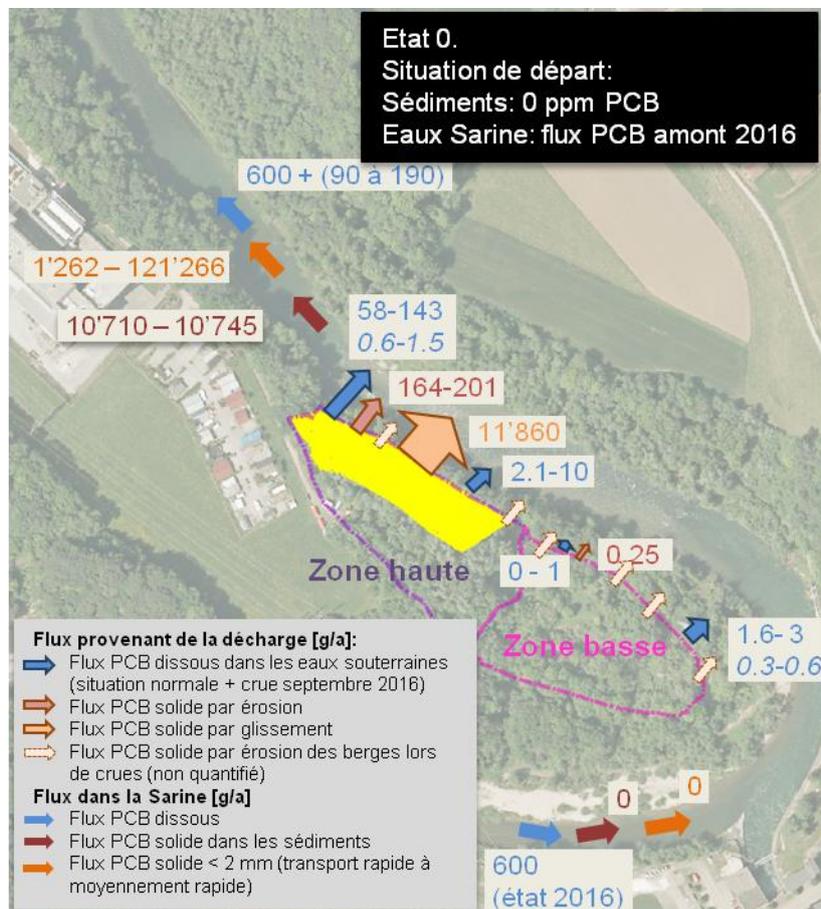


Figure 7-1 Etat 0 : Contribution de la zone haute et basse aux flux de PCB sous forme dissoute et solide. La taille des flèches reflète l'importance du flux.

La distribution spatiale des flux PCB sous forme dissoute et solide met en évidence les secteurs de la décharge qui contribuent majoritairement ou exclusivement aux flux susceptibles d'atteindre la Sarine :

1. La zone haute contribue à 100% au flux de PCB sous forme solide par l'effet de glissement. Ce flux a été reconnu comme étant le flux déterminant pour la contamination des sédiments dans la Sarine. Ce flux de PCB sous forme solide est, pour la fraction > 2 mm (valeur encadrée), clairement

susceptible d'augmenter la concentration en PCB dans les sédiments et de conduire à un dépassement du seuil « sédiments » défini en relation avec la cible poisson de 3.3 pg/g TEQ05.

2. La zone haute contribue à quasiment 100% du flux de PCB sous forme solide par l'effet d'érosion.
3. La zone haute contribue à 90-95% au flux de PCB sous forme dissoute provenant de l'exfiltration des eaux souterraines. Les flux se concentrent principalement sur la zone hot spot située à l'extrémité nord-ouest de la zone haute.
4. Le flux par érosion des berges des zones haute et basse en cas de crue centennale ou plus n'est pas quantifié. En raison de la topographie, il est cependant plus important sur la zone haute qu'en zone basse.

Comme mis en évidence dans les chapitres précédents, le flux de PCB sous forme solide provenant de glissements (événements ponctuels) et de l'érosion (processus continu) induit des effets à court, moyen et à très long terme pour la contamination des sédiments et par conséquent pour le poisson.

## 7.2.2 Etat 2016

L'état 2016 correspond à la configuration actuelle du site, après la réalisation des mesures préliminaires à l'assainissement. Le confinement partiel, constitué de la paroi de palplanches et des 4 puits de pompage, bloque les flux de PCB qui pourraient s'écouler de la décharge dans la Sarine (eaux souterraines et érosion). Ce confinement empêche également d'éventuels glissements de terrain dans la Sarine (pour une crue de temps de retour T100) en stabilisant le pied de la zone haute de la décharge et en évitant une augmentation du niveau de l'eau dans son emprise.

Cet état de référence est comparable à un état pour lequel les flux produits par la zone haute de la décharge sont éliminés (à l'exception de l'érosion produite par le secteur de falaise à l'extrême nord, hot spot, de la décharge).

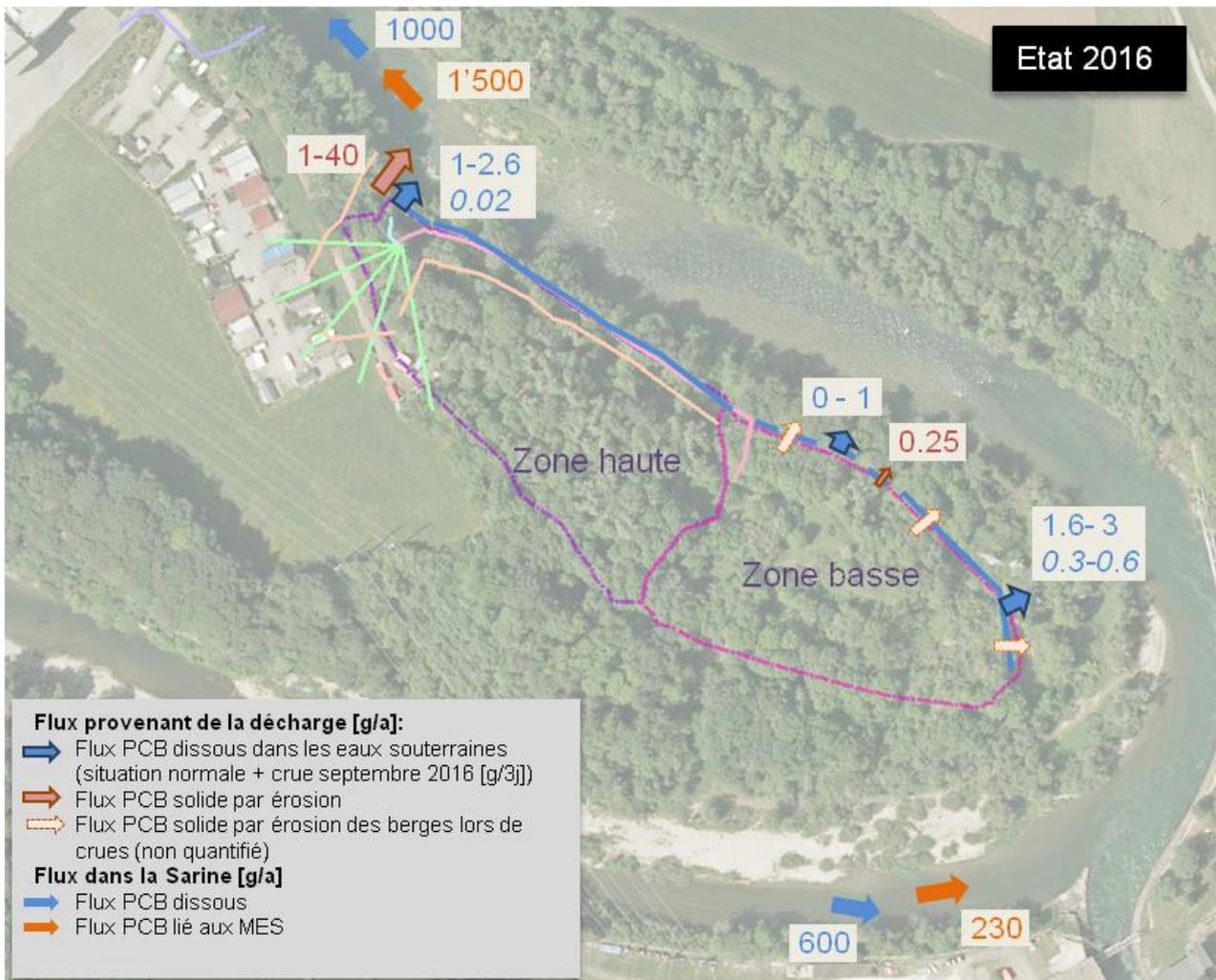


Figure 7-2 Etat 2016 : Contribution de la zone haute et basse aux flux sous forme dissoute et solide. La taille des flèches reflète l'importance du flux

La distribution spatiale des flux de PCB sous forme solide et dissoute met en évidence l'importance des secteurs de la décharge qui contribuent aux flux de PCB susceptibles d'atteindre la Sarine :

1. La zone haute, à la hauteur du hot spot, contribue à quasiment 100% au flux PCB sous forme solide par effet d'érosion. Cela est dû à la contamination importante liée à la présence de condensateurs dans les matériaux de cette zone.
2. La zone haute contribue à 90-95% aux flux PCB sous forme dissoute provenant de l'exfiltration des eaux souterraines. Les flux se concentrent principalement sur la zone du hot spot située à l'extrémité nord-ouest de la zone haute. Le confinement de ce secteur réduit ce flux de 50 -150 fois par rapport à l'état 0.
3. Le flux par érosion des berges des zones haute et basse en cas de crue centennale (ou plus importante) n'est pas quantifié. En raison de la topographie, il est cependant plus important sur la zone haute qu'en zone basse.

### 7.2.3 Hiérarchisation des flux en fonction des secteurs de la décharge

La figure ci-dessous présente, pour les différents états de référence et les différents vecteurs de PCB possibles (eaux souterraines, glissement, érosion), les contributions relatives des différents flux de PCB provenant de la décharge

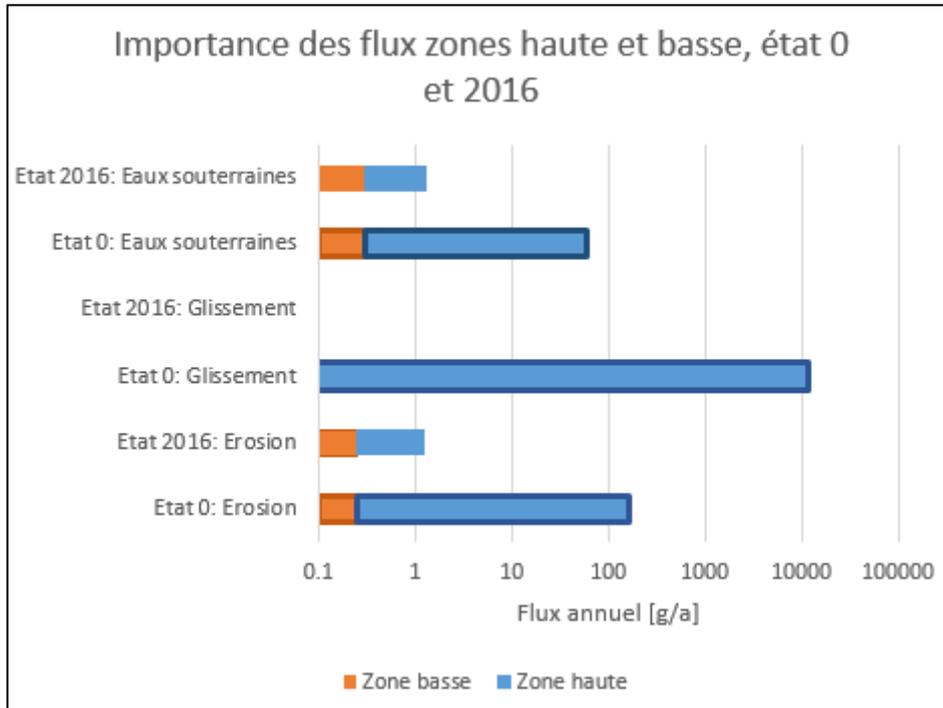
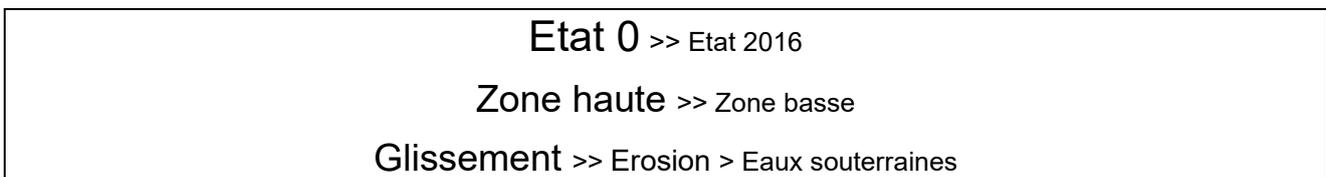


Figure 7-3 Hiérarchisation des flux par zone de la décharge.

Pour tous les états de référence et tous les flux de PCB possibles, la zone haute est clairement le secteur de la décharge qui contribue de façon prépondérante aux flux de PCB qui s'écoulent dans la Sarine.

La hiérarchisation des flux et de leur répartition spatiale peut être synthétisée schématiquement comme suit :



## 7.3 Concentrations des émissions depuis la décharge

### 7.3.1 Concentration des différents flux de PCB



Figure 7-4 Etat 0 : concentrations dans les flux provenant de la décharge sous forme dissoute et solide

Constats :

1. Les concentrations en PCB dans les flux érosion et glissement provenant de la zone haute de la décharge sont si importantes qu'une contamination des sédiments à l'aval de la décharge au-delà du seuil «sédiment» en relation avec la cible poisson de 6.5 µg/g TEQ05 se présente en moins d'une année.
2. Les concentrations dans les eaux souterraines à l'aval du secteur nord-ouest de la zone haute sont systématiquement supérieures à 10x la valeur de concentration de 0.1 µg PCB /l (4.3 x somme 6 i-

PCB). Ces dépassements sont observables en temps normal. En période de crue, il est probable que les concentrations sont encore plus élevées.

3. En période de crue, les eaux souterraines dans le secteur est de la zone basse présentent des teneurs plus élevées qu'en temps normal. Étant donné que cette augmentation a été observée lors de la crue artificielle de septembre 2016 (qui présente une crue de temps de retour 2-5 ans), il existe un risque de dépassement des concentrations supérieures à 10x la valeur de concentration de 0.1 µg PCB / l (4.3 x somme 6 i-PCB) lors de crues plus importantes.

## 7.4 Évolution dans l'espace et dans le temps des flux de la décharge et des concentrations dans le système Sarine

### 7.4.1 Etat 2016

#### 7.4.1.1 Évolution des teneurs en PCB dans les sédiments avec un flux érosion.

La démarche pour évaluer l'évolution du stock PCB sous forme solide dans les sédiments est présentée au le chapitre 5.5.

À l'état 2016, le flux PCB sous forme solide provenant de l'érosion a été estimé entre 1-40 g/a PCB tot. Il s'agit d'un flux constant sur toute l'année qui peut s'accroître durant les périodes de pluie et de dégel.

Rappelons que la valeur maximale de 40 g/a tient compte d'un flux additionnel liés aux condensateurs présents dans la falaise (paroi berlinoise, cf. chap. 5.4).

Rappelons également que ce flux provient pratiquement à 100% de la zone haute.

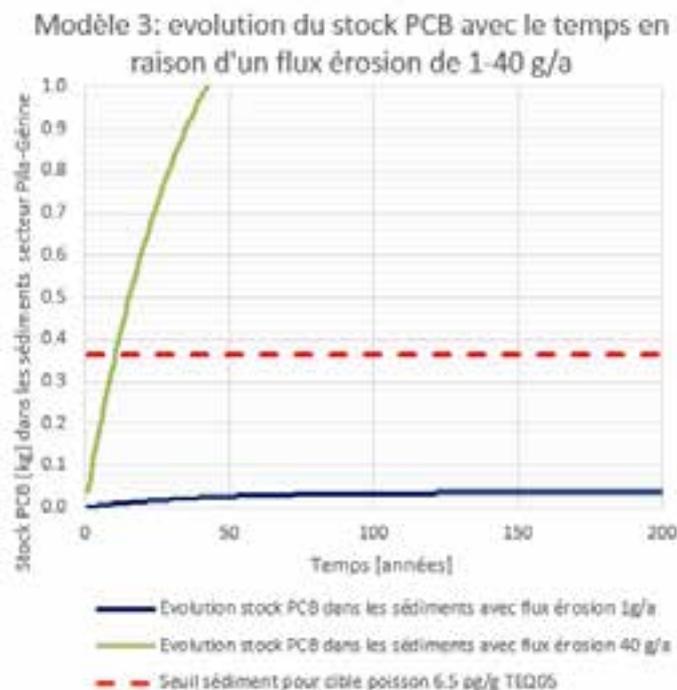


Figure 7-5 Évolution du stock PCB dans les sédiments du secteur Pila-Gérine (couche entre 0-15 cm) en appliquant le modèle 3

selon chap. 5.5.2, Figure 5-4

La figure ci-dessus simule l'évolution dans le temps du stock de PCB dans les sédiments en tenant compte de flux d'érosion annuels de 1g et de 40 g/ de PCB et en appliquant le modèle n° 3 présenté au chap. 5.5.2. On constate que le flux de 1g/a ne génère pas de concentration en PCB dans les sédiments de la rivière susceptible de provoquer l'atteinte du seuil « sédiment » de 364 g, valeur au-delà de laquelle la cible poisson de 6.5 pg/g TEQ05 est dépassée. Le flux de 40g/a amène à l'atteinte de ce seuil dans les sédiments après env. 11 ans, en admettant que les PCB contenus dans la fraction > 2 mm soient répartis et stockés dans la couche 0-15 cm des sédiments du tronçon Pila- Gérine.

Les flux et concentrations en PCB en provenance de la zone haute de la décharge sont susceptibles de générer des dépassements du seuil « sédiments » dans la Sarine à très court terme dans le cas d'un glissement et après une dizaine d'années en relation avec l'érosion.

### 7.4.1.2 Évolution des teneurs en PCB dissous (et particulaire) dans les eaux de la Sarine

Les teneurs en PCB dissous dans les eaux de la Sarine sont principalement influencées par la dissolution de PCB depuis les sédiments. Les concentrations plus élevées lors de la crue artificielle de septembre 2016 peuvent s'expliquer par une remise en suspension de sédiments pollués par les PCB. On peut en déduire que les concentrations peuvent être encore plus élevées en cas de crues plus importantes.

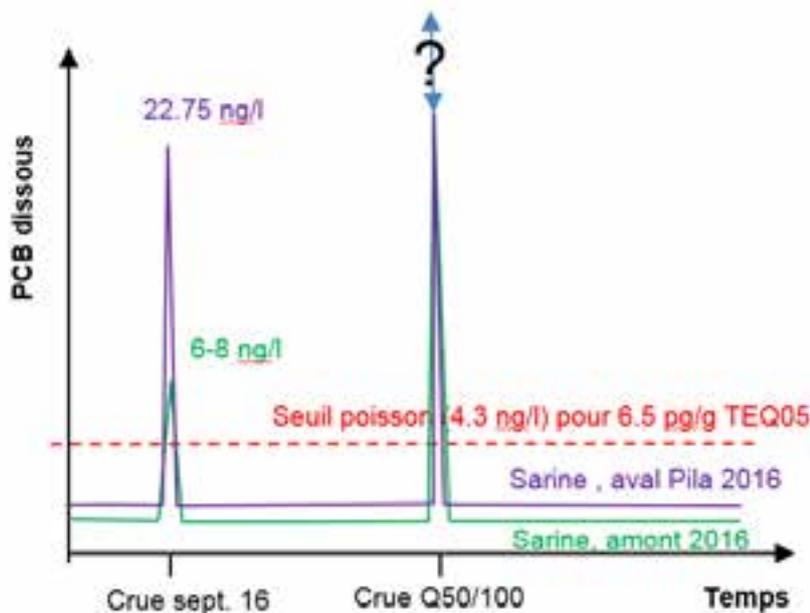


Figure 7-6 Présentation schématique de l'impact des crues sur les teneurs en PCB dissous dans les eaux de la Sarine.

La contribution aux flux PCB dissous par l'exfiltration des eaux souterraines est, comme présenté au chapitre 5.3, peu déterminante. Comme indiqué dans ce même chapitre, ceci est encore plus vrai avec un turbinage en continu, les flux de PCB sont en effets réduits de moitié avec un régime quasi constant de la Sarine.

L'importance des concentrations en PCB dissous lors des crues diminue à mesure que le stock de PCB diminue dans les sédiments. Ceci concerne également les concentrations en PCB liés à la MES.

Les concentrations les plus élevées en PCB dissous sont ponctuelles et se concentrent sur les périodes de crues; hors crue, elles sont nettement inférieures à la cible « eau » pour le poisson (6.5 pg/g TEQ05).

## Constats :

1. La contribution aux flux de PCB dissous par l'exfiltration des eaux souterraines est, comme indiqué au chap.6.4, peu déterminante. La suppression de ce flux n'influence ni les flux ni les concentrations en PCB dissous dans les eaux de la Sarine.
2. Les flux de PCB sous forme dissoute et solide dans les eaux de la Sarine sont influencés principalement par le PCB présent dans les sédiments. Leur importance dépend entièrement du stock de PCB présent dans le cours d'eau. L'évolution des flux et des concentrations suit l'évolution du stock de PCB.

## 7.4.2 Etat 0

### 7.4.2.1 Évolution des teneurs en PCB dans les sédiments avec un flux glissement à partir de la décharge

Le flux glissement ne peut se produire que dans la zone haute de la décharge. Un volume équivalent à 10% des matériaux déstabilisés après une crue centennale peut produire des glissements plus ou moins importants. Comme décrit dans le chap. 6.3, un glissement de 0.5 m<sup>3</sup> suffit à augmenter les concentrations de PCB dans les sédiments du secteur Pila- Gérine de telle façon qu'elles atteignent le seuil « sédiment » en relation avec la cible poisson 6.5 pg/g TEQ05.

L'évolution dans l'espace et dans le temps du stock dans les sédiments impactés par un flux PCB provenant de glissements de déchets (et de condensateurs) dépend essentiellement de l'importance des apports et de la dynamique du cours d'eau (fréquence et importance des crues), comme le montrent les simulations présentées au chapitre 5.5.

Ces simulations se basent sur un flux de PCB provenant d'un glissement d'un ordre de grandeur comparable à la masse PCB qui a atteint historiquement la Sarine depuis les activités de stockage sur le site de la Pila. L'évolution du stock et des concentrations de PCB dans la rivière suite à un glissement devrait donc être comparable à celle qui s'est produite durant les 50 dernières années. L'impact pourrait être encore plus important si l'on considère que la totalité de la masse déstabilisée atteint le cours d'eau.

## Constats :

1. La suppression du flux de PCB lié à un glissement est déterminante pour les sédiments sur l'ensemble du périmètre d'étude. Un flux comparable a conduit à la contamination importante de la Sarine et des poissons par le passé.
2. La suppression du flux de PCB lié à un glissement est une mesure indispensable en relation avec les exigences légales.
3. La suppression du flux de PCB lié à un glissement sans inclure le flux érosion, contenant notamment des déchets de condensateurs, ne permet toutefois pas de réduire à long terme le stock de PCB présent dans les sédiments de façon à atteindre une concentration inférieure aux seuils « sédiment » (cf. prochain chapitre).

**7.4.2.2 Évolution des teneurs en PCB dans les sédiments avec un flux érosion à partir de la décharge**

La démarche pour évaluer l'évolution du stock de PCB sous forme solide dans les sédiments est présentée au chapitre 4.2.

À l'état 0 le flux de PCB sous forme solide provenant de l'érosion est de 165 – 200 g/a. Il s'agit d'un flux constant sur toute l'année qui peut s'accroître durant les périodes de pluie et de dégel.

Rappelons que la valeur maximale de 200 g/a tient compte d'un flux additionnel liés aux condensateurs présents dans la falaise (paroi berlinoise, cf. chap. 5.4).

Rappelons également que ce flux provient pratiquement à 100% de la zone haute.

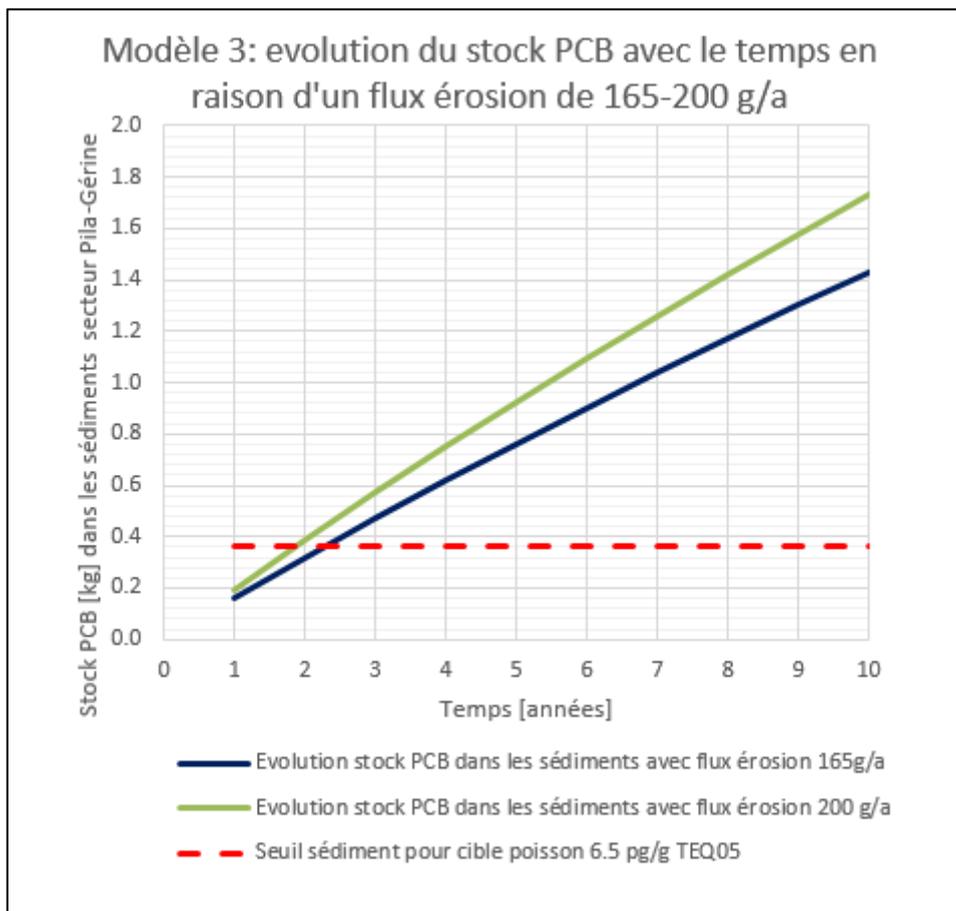


Figure 7-7 Évolution des concentrations PCB sous forme solide dans les sédiments du secteur Pila-Gérine (couche entre 0-15 cm) en appliquant le modèle 3 selon chap.5.5.1,

Pour la couche sédimentaire 0-15 cm le flux annuel de PCB lié à l'érosion, compris entre 165-200 g/an, entraîne un dépassement du seuil « sédiment » pour la cible poisson de 6.5 pg/g après 2 ans.

**Constats :**

1. Si l'on considère que les matériaux tombant dans la Sarine s'accumulent et se répartissent dans le tronçon Pila-Gérine, Le flux érosion peut avoir un effet considérable sur les sédiments et par conséquent sur les poissons, même si le flux est environ 60 fois plus faible que le glissement.
2. En supprimant le flux de PCB lié à l'érosion, le temps de vidange est de quelques dizaines d'années et pourrait atteindre une centaine d'année (cf. chap. 4.5.2).

### 7.4.2.3 Évolution des flux et teneurs en PCB dissous dans les eaux de la Sarine avec un flux d'eaux souterraines à partir de la décharge

Le flux annuel de PCB dissous provenant de la décharge contribue, comme présenté au chapitre 0, à hauteur de 40% à l'augmentation du flux de PCB dissous mesuré entre l'amont et l'aval (hauteur Passerelle Gérine) de la Pila.

Étant donné que le flux PCB dissous dans la Sarine à l'état actuel est largement inférieur au seuil « eaux » permettant de respecter la cible poisson de 6.5 pg/g TEQ05, et en admettant une diminution du stock de PCB dans les sédiments suite à la suppression totale des flux de PCB solide (glissement + érosion), le flux de PCB dissous (qui est principalement alimenté par la dissolution de PCB des sédiments contaminés) tend à diminuer à l'aval de la décharge.

Par conséquent, la contribution relative des eaux souterraines au flux de PCB dissous dans les eaux de la Sarine tend à augmenter. Toutefois, même avec un stock « zéro » dans les sédiments, le flux de PCB dissous provenant des eaux souterraines s'écoulant de la décharge ne permet en aucun cas d'atteindre le seuil « eaux » dans la rivière

En ce qui concerne les concentrations des eaux souterraines s'exfiltrant dans la Sarine, elles dépassent clairement 10 fois la valeur de concentration OSites de 1 µg/l pour les PCB dans le secteur nord-ouest de la zone haute. Ces teneurs élevées ont été constatées depuis le début des investigations sur le site et plus en détail lors des campagnes de surveillance qui ont été mises en place en 2014. Dans la zone basse, l'augmentation des teneurs dans le secteur et autour du forage F61-16 permet de conclure qu'il existe un risque de dépassement de la valeur de 10x OSites en cas de crues de plus grande importance que la crue artificielle de septembre 2016.

#### Constats :

1. Le flux PCB dissous lié à l'eau souterraine exfiltrée n'a pas d'effet sur le seuil « eaux » permettant le respect de la cible poisson de 6.5 pg/g TEQ05.
2. La suppression du flux PCB dissous pour les eaux souterraines s'exfiltrant de la zone haute permet d'atteindre des concentrations inférieures à 10 x la valeur de concentration OSites.
3. La suppression du flux PCB dissous pour les eaux souterraines s'exfiltrant de la zone basse élimine le risque de dépassement ponctuel 10 x la valeur de concentration OSites en cas de crue.

## 7.5 Hiérarchisation des effets et de l'importance des flux en fonction des secteurs de la décharge

Afin de hiérarchiser la contribution de chaque flux de PCB à partir de la décharge par rapport à son effet sur le système Sarine, les critères suivants ont été évalués une échelle de valeurs entre 0 et 10 :

- Importance des flux (quantitatifs)
- Importance des concentrations (en relation avec les bases légales et les seuils « eaux » et « sédiments » pour la cible poisson de 6.5 pg/g TEQ05)

- Effet sur la répartition spatiale dans le système Sarine
- Effet temporel (transfert lent, moyen, rapide et temps de vidange)
- Effet sur le poisson (flux nécessaire pour dépasser les seuils « sédiments » et « eaux »)

La figure suivante met en évidence la classification de ces critères pour les deux secteurs de la décharge :

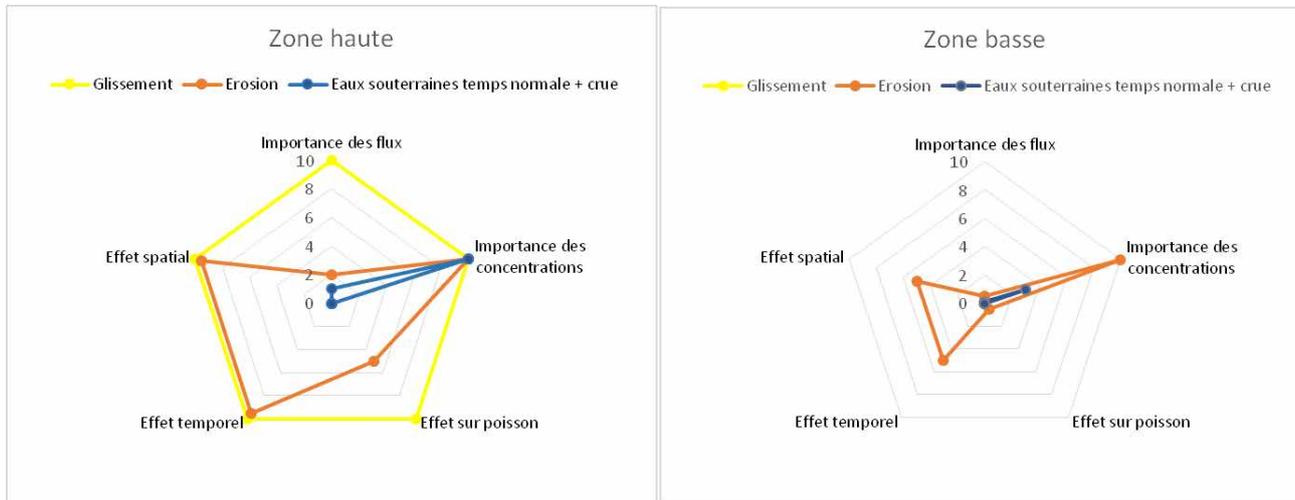


Figure 7-8 Hiérarchie des effets et de l'importance des flux, comparaison entre zone haute et basse

Constat :

1. Pour tous les critères l'effet du flux glissement depuis la zone haute est déterminant et pour tous les flux la zone haute est déterminante.
2. Les concentrations en PCB dans les flux solides (érosion, glissement) sont celles qui ressortent comme étant prépondérantes pour le système Sarine.
3. Les concentrations en PCB dissous présentes dans les eaux souterraines s'exfiltrant depuis la zone haute sont également déterminantes pour ce qui est du respect des bases légales.
4. Les effets temporel et spatial sur les sédiments, liés aux flux érosion provenant de la zone haute, sont rapides et conséquents. Ils le sont à un moindre degré, car plus ponctuels, pour la zone basse.

## 8. Conséquences des résultats des mesures complémentaires sur les variantes d'assainissement

### 8.1 Rappel des objectifs des mesures complémentaires

La réalisation des mesures complémentaires avait pour objectifs :

1. Affiner la connaissance du flux de polluants au niveau de la décharge (relargages, PCB sous forme dissoute ou particulière ...) afin de pouvoir évaluer les émissions résiduelles en fonction des variantes d'assainissement envisageables (évacuation totale, ou partielle de matériaux,,,) .
2. Évaluer l'effet sur la Sarine, notamment sur les poissons, des mesures qui pourraient être prises sur la décharge.

### 3. Déterminer pour chaque variante d'assainissement

- a. L'influence des mesures d'assainissement sur les émissions de la décharge (concentrations et charges, formes sous lesquelles les polluants sont émis, à voir :
  1. La diminution attendue des concentrations en PCB dans les sédiments superficiels et les eaux à proximité de la décharge.
  2. L'évolution de la concentration en PCB dans les sédiments, les eaux et les poissons en fonction du temps dans le tronçon de rivière le plus impacté (entre le site de la Pila et le barrage de la Maigrauge).
- b. Les améliorations attendues au niveau de la Sarine (par rapport à un scénario sans mesures d'assainissement), en distinguant les différents compartiments de la rivière (sédiments, eaux, faune benthique, poissons...).

Les chapitres suivants présentent 3 scénarios de suppression des flux déterminants pour le système de la Sarine entre le site la Pila et le barrage de la Maigrauge.

Pour chaque scénario, l'influence de la suppression du ou des flux sur l'évolution temporelle du stock dans les sédiments et des flux / concentrations en PCB dans les sédiments, les eaux et les poissons est évalué.

Ces scénarios constituent la base pour l'élaboration des variantes d'assainissement du site de la décharge de la Pila.

La suppression des flux solides à partie de la décharge implique l'élimination secteurs de la décharge les plus susceptibles de produire des flux déterminants pour le système Sarine.

## 8.2 Scénario A : suppression du flux PCB sous forme solide lié au glissement et à l'érosion

### 8.2.1 Compartiments concernés

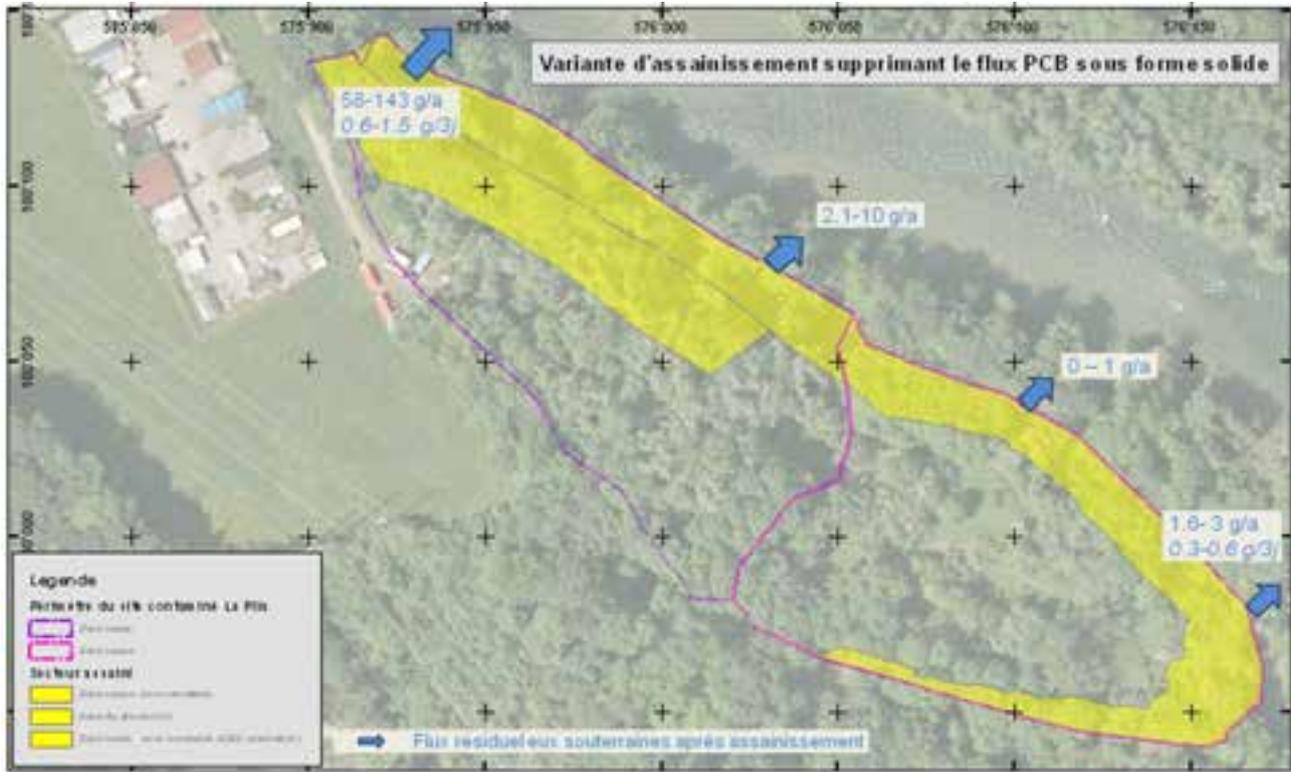


Figure 8-1 Secteurs produisant un flux PCB sous forme solide

Ce scénario supprime tous les flux PCB sous forme solide (glissement + érosion) de la zone haute et le flux de PCB sous forme solide (érosion) de la zone basse.

#### Comparaison avec l'état 0 (sans assainissement)

Comparé à une variante sans assainissement (état 0) cette variante permet de :

1. Supprimer à 100% le flux PCB sous forme solide sur l'ensemble du site

Les flux résiduels après la suppression du flux PCB solide sont les suivants :

1. Flux de PCB sous forme dissoute provenant des eaux souterraines s'exfiltrant de la zone basse en temps normale (62 – 157 g/a)
2. Augmentation du Flux PCB sous forme dissoute provenant des eaux souterraines s'exfiltrant lors de crues avec risque de dépassement de 10x la valeur de concentration pour les PCB selon l'OSites. Cette augmentation est cependant limitée dans le temps (durant la période de crue) et n'a pas d'effet à long terme sur le système Sarine (poisson, faune benthique, sédiments)

**Zones / secteurs de la décharge concernées :**

**Zone haute** : Les 2 profils sur la figure suivante représentent la distribution spatiale de la contamination en PCB de la zone haute, les alluvions et la ligne de glissement des matériaux déstabilisés (22'000 m<sup>3</sup>).

La suppression du flux PCB sous forme solide nécessite l'excavation de la partie de la zone haute qui est exposée au risque de glissement et d'érosion (berges).

Les concentrations en PCB sont les plus importantes dans la partie inférieure de la zone haute, dans les alluvions et dans les eaux souterraines dans la partie centrale de la décharge (cf. les teneurs en PCB dans les eaux souterraines sur le plan de situation de la Figure 8-3 et plan en Annexe 3.3.3.2d).

L'excavation amène en surface des déchets et alluvions fortement contaminés et des zones d'exfiltrations de lixiviats très chargés.

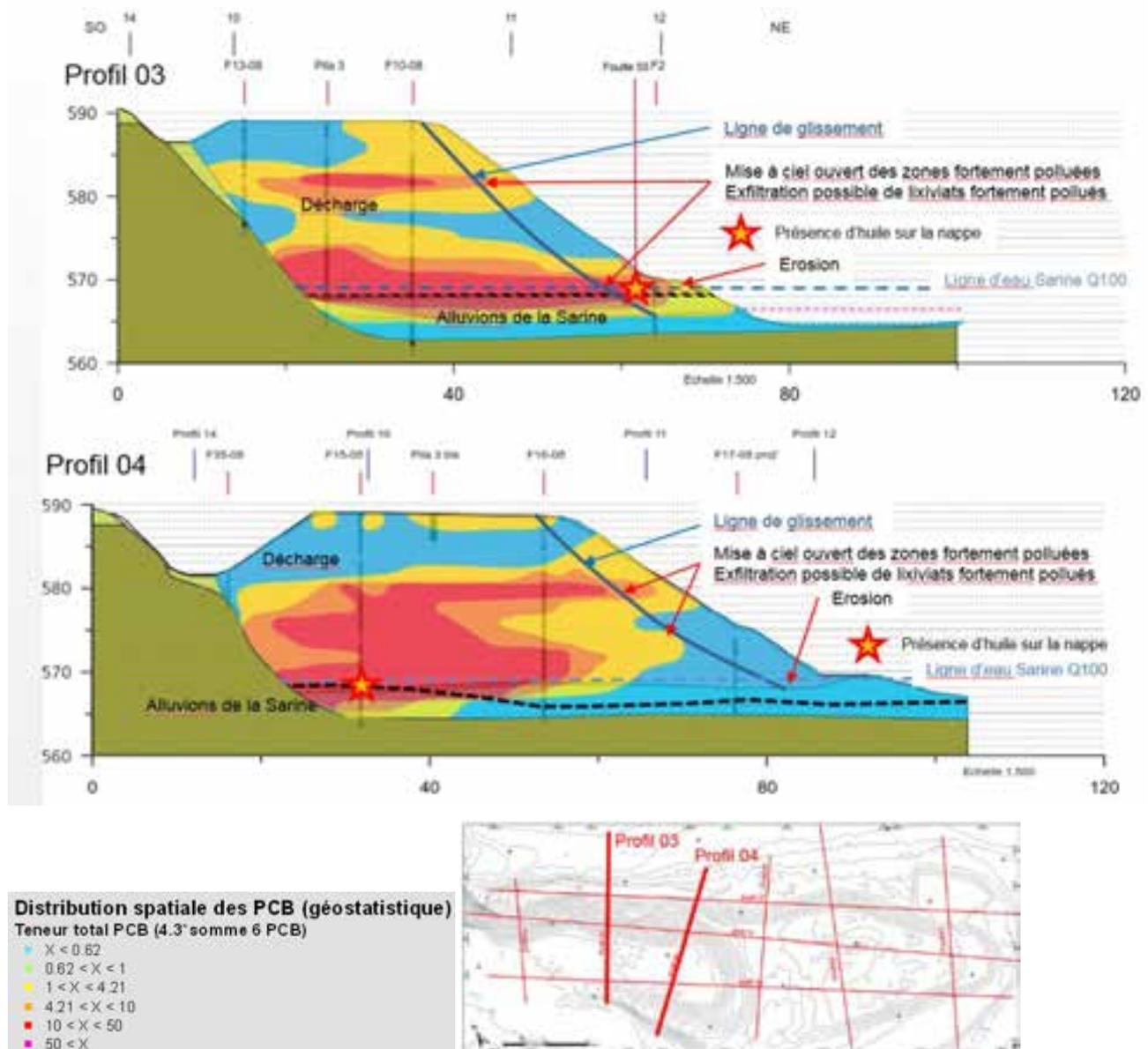


Figure 8-2 Profils n° 03 et 04 (répartition spatiale des classes de contamination par le PCB, extrait de [26])

**Zone basse** : La variante d'assainissement inclut également l'assainissement des berges de la zone basse (confinement, décontamination, autres).

## 8.2.2 Conséquences du scénario

En raison de l'instabilité des talus de la zone haute, les matériaux susceptibles de glisser doivent être excavés et éliminés. Afin de garantir une stabilité à long terme, la pente du futur talus doit être réduite ce qui nécessite une excavation d'un plus grand volume que les 22'000 m<sup>3</sup> de matériaux déstabilisés qui correspondent à une crue de T=100 ans.

Le pied de la décharge se situe sous le niveau des hautes eaux en cas de crue. Le solde de la décharge nécessite non seulement un confinement du futur talus et du pied de la décharge mais également une confortation ; des ancrages pourraient être nécessaires afin de garantir une stabilité durable.

La mise à ciel ouvert de déchets fortement contaminés avec des zones d'exfiltration de lixiviats le long du futur talus sont susceptibles d'agir comme chemins préférentiels pour les lixiviats qui peuvent augmenter le flux ou les concentrations en PCB dans les eaux souterraines à l'aval de la zone haute.

Des mesures de confinement, de sécurisation du solde de la décharge, de drainage et / ou de traitement de eaux sont à évaluer sous l'angle de la durabilité.

## 8.2.3 Évaluation du scénario sous l'angle de la suppression des flux

### Évolution des concentrations après réalisation

En supprimant les flux PCB sous forme solide, le système Sarine n'est exposé qu'aux flux de PCB sous forme dissoute. Comme présenté dans le chap. 7.4.2.3 ce flux (et par conséquent l'évolution des concentrations dans les eaux de la Sarine) n'est pas déterminant pour le système Sarine. Cette variante ne permet toutefois pas d'éliminer l'exfiltration d'eaux souterraines présentant des concentrations en PCB dépassant 10x la valeur de concentration pour les PCB selon l'OSites.

Ce scénario présente un certain nombre de risques:

- Augmentation possible du flux PCB sous forme dissoute dans les eaux souterraines.
- Incertitudes sur la durabilité de la stabilité du futur talus, en particulier en cas de crues extrêmes (supérieures à T=100 ans) ; cela nécessiterait la mise en place de mesures de confinement et confortation probablement importants et coûteux.
- Mesures de surveillance et peut-être de traitement à long terme probablement nécessaires.

Ce scénario ne permet pas de garantir, à long terme, la suppression du flux PCB solide sans mesures de surveillance et d'entretien à long terme. Sans confinement, le flux de PCB dissous par les lixiviats s'écoulant le long du nouveau talus de la décharge ne respecterait pas les bases légales (10x la valeur de concentration pour les PCB selon l'annexe OSites).

### Effet spatial et temporel de la suppression des flux et évolution des concentrations

La suppression des flux les plus importants pouvant impacter les sédiments à long terme a un effet immédiat sur le système Sarine: le stock de PCB dans les sédiments n'est plus alimenté et se réduit pour disparaître, selon les estimations, entre quelques dizaines et au maximum une centaine d'année (cf. chap.7.4.1.2).

L'amélioration est similaire à celle apportée par la réalisation des mesures urgentes et préliminaires à l'assainissement: l'excavation de 380 kg PCB dans le lit mouillé a réduit le stock PCB dans les sédiments (état 2016 : 90 ± 65 kg) de 80 %.

L'effet de réduction du stock PCB dans les sédiments sur les concentrations en PCB dans les truites a été démontré dans le chap. 2.5.

Malgré que le flux PCB sous forme dissoute par l'exfiltration des eaux souterraines ne soit pas déterminant pour le système Sarine, ce scénario ne permet pas de réduire les PCB dissous s'exfiltrant dans les eaux souterraines de telle façon que les valeurs légales soient respectées (cf. chap.7.4.2.3).

### 8.3 Scénario B : suppression des matériaux produisant un flux et des concentrations en PCB déterminants à partir de la décharge

#### 8.3.1 Compartiments concernés

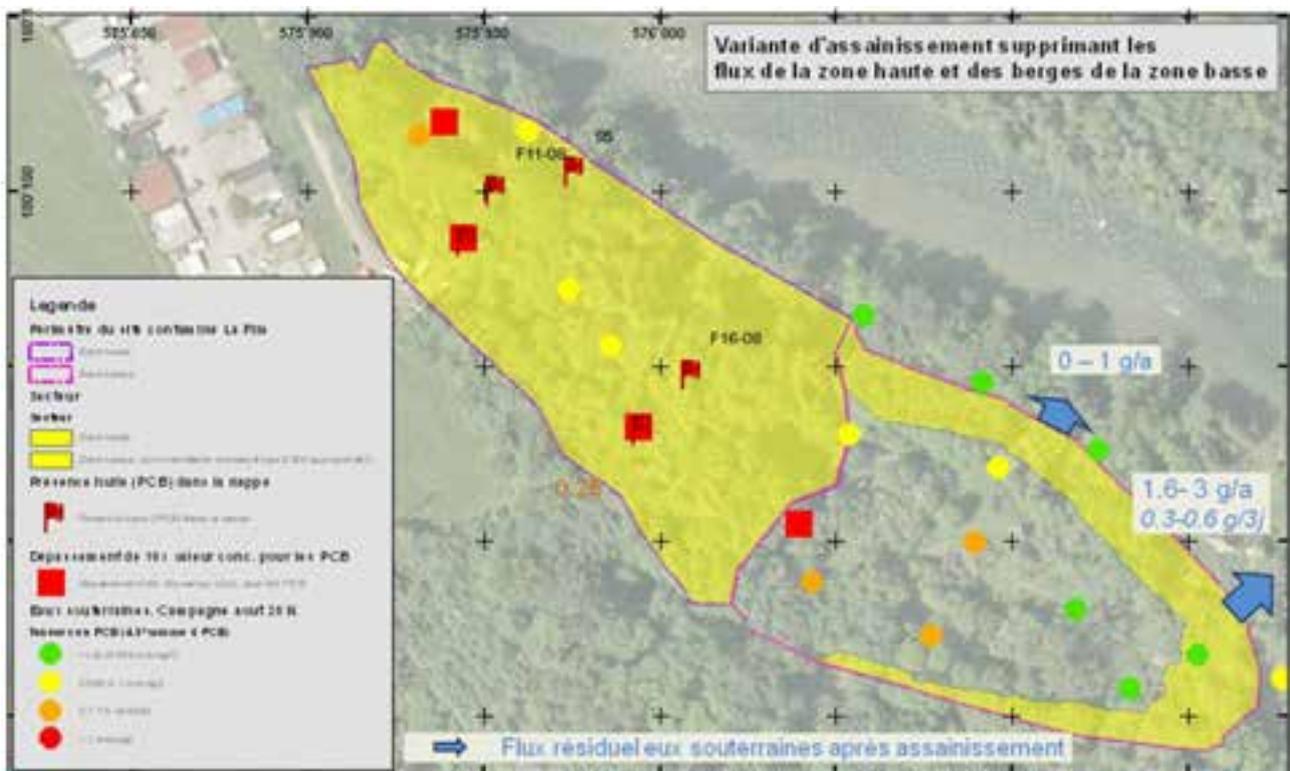


Figure 8-3 Suppression de tous les flux de la zone haute et du flux PCB sous forme solide de la zone basse

#### Objectifs

Ce scénario supprime tous les flux PCB sous forme solide (glissement + érosion) et les flux de PCB sous forme dissoute dans les eaux souterraines s'exfiltrant dans la Sarine provenant de la zone haute de la décharge ; celle-ci est le secteur qui contribue le plus à la génération des flux de PCB en provenance de la décharge.

Ce scénario supprime également tous les risques du scénario précédent, en particulier ceux susceptibles d'augmenter le flux PCB dans les eaux souterraines. En effet, ces derniers pourraient nécessiter la mise en place de mesures de sécurité et de traitement des eaux dont la durabilité et l'applicabilité ne sont pas garanties à long terme. Étant donné que les matériaux les plus contaminés et les plus susceptibles d'être à l'origine des dépassements importants des concentrations en PCB dans les eaux souterraines, se situent

dans la partie inférieure du corps de la décharge (cf. Figure 8-2), ce scénario inclut la décontamination totale de la zone haute (corps de la décharge + alluvions).

Ce scénario inclut également la suppression des flux PCB sous forme solide (érosion des berges) de la zone basse. Cet objectif peut être atteint par confinement de la surface ou décontamination par excavation.

## Comparaison avec état sans assainissement

Comparé à l'état sans assainissement (état 0) ce scénario permet de :

2. Supprimer à 100% le flux de PCB sous forme solide.
3. Réduire de 90% le flux de PCB sous forme dissoute.
4. Supprimer les flux d'eaux souterraines présentant des teneurs supérieures à 10x la valeur de concentration de l'OSites pour les PCB à l'aval immédiat du site.

Les flux résiduels après assainissement sont les suivants :

3. Flux PCB sous forme dissoute provenant des eaux souterraines s'exfiltrant de la zone basse en temps normale (1.6-3 g/a)
4. Augmentation du Flux PCB sous forme dissoute provenant des eaux souterraines s'exfiltrant lors de crues avec risque ponctuel de dépassement de 10x la valeur de concentrations pour les PCB selon l'OSites. Cette augmentation est cependant limitée dans le temps (durant la période de crue) et n'a pas d'effet à long terme sur le système Sarine (poisson, faune benthique, sédiments)

## Zone haute

L'élimination de la zone haute de la décharge crée un nouveau talus vers la zone basse de la décharge restant en place. Les plans et profils en annexe 8.3.1 se basent sur l'étude géostatistique de 2010 de la distribution spatiale de la contamination en PCB dans le corps de la décharge et les alluvions. Les différentes couches présentent les classes de contamination pour une épaisseur de 2 m. Les alluvions forment les couches comprises entre 563 – 565 msm et 565-567 msm :

Sur ces plans et profils, les périmètres d'assainissement sont indiqués pour chaque couche. Notons l'incertitude par rapport à l'extension horizontale de la classification de la contamination en PCB qui peut aller jusqu'à 50 % pour les catégories de matériaux les plus contaminées. Le périmètre d'assainissement de la zone haute a été déterminé, pour chaque couche de 2 m, en considérant des critères suivants:

- Élimination complète des parties fortement polluées de la zone haute.
- Élimination de matériaux fortement pollués sur la zone basse en tenant compte d'une zone tampon de matériaux faiblement pollués entre la limite du terrassement et les secteurs les plus pollués dans le centre de la zone basse.

Cette approche permet de minimiser le risque de la mise à nu de déchets fortement contaminés et des zones de suintement de lixiviats de décharge s'écoulant le long du futur talus et alimentant ainsi les eaux souterraines.

## Avantages:

Comparé au scénario A, le présent scénario ne réduit pas seulement le flux de PCB sous forme solide déterminant pour le système Sarine, mais il annule tout risque par rapport au flux PCB sous forme dissoute. Ce flux est supprimé par l'élimination complète de tous les matériaux pollués susceptibles de produire un lixiviat fortement chargé en PCB. Les risques liés à une augmentation du flux PCB dans les eaux souterraines ou à une déstabilisation des matériaux restants sur place sont fortement réduits pour des raisons suivantes :

1. La future limite de la zone basse est optimisée par rapport au degré de pollution de la couche de matériaux proche de la surface du futur talus
2. Avec son orientation quasiment perpendiculaire à la direction d'écoulement de la Sarine, le risque de déstabilisation des matériaux restant sur place est fortement réduit.

### **Contraintes / désavantages :**

Le confinement de la nouvelle limite nord de la zone basse doit permettre, de manière durable et efficace, que le flux PCB dissous dans les eaux souterraines ne puisse pas augmenter et atteindre les valeurs limites légales.

## **8.3.2 Évaluation du scénario sous l'angle de la suppression des flux**

### **Évolution des flux et des concentrations après réalisation**

En supprimant 100% du flux de PCB sous forme solide et 90% du flux de PCB sous forme dissoute, les compartiments sédiments, eaux et poisson du système Sarine ne sont plus impactés par les flux de PCB provenant de la décharge.

Les flux résiduels n'ont pas d'incidence déterminante ou discriminable sur ces 3 compartiments.

### **Diminution attendue des concentrations en PCB dans les sédiments et les eaux à proximité de la décharge**

La suppression des flux les plus importants pouvant impacter les sédiments à long terme a un effet immédiat sur le système Sarine: le stock PCB dans les sédiments n'est plus alimenté et se réduit, selon les estimations, sur une période de quelques dizaines à une centaine d'années (cf. chap. 7.4.1.2).

L'amélioration est similaire à celle apportée par la réalisation des mesures urgentes et préliminaires à l'assainissement: l'excavation de 380 kg PCB dans le lit mouillé a réduit le stock de PCB dans les sédiments (état 2016 :  $90 \pm 65$  kg) de 80 %.

L'effet de réduction du stock PCB dans les sédiments sur les concentrations en PCB dans les truites a été démontré dans le chap.2.5.

## 8.4 Scénario C : suppression de la totalité des matériaux contaminés par les PCB

### 8.4.1 Compartiments concernés

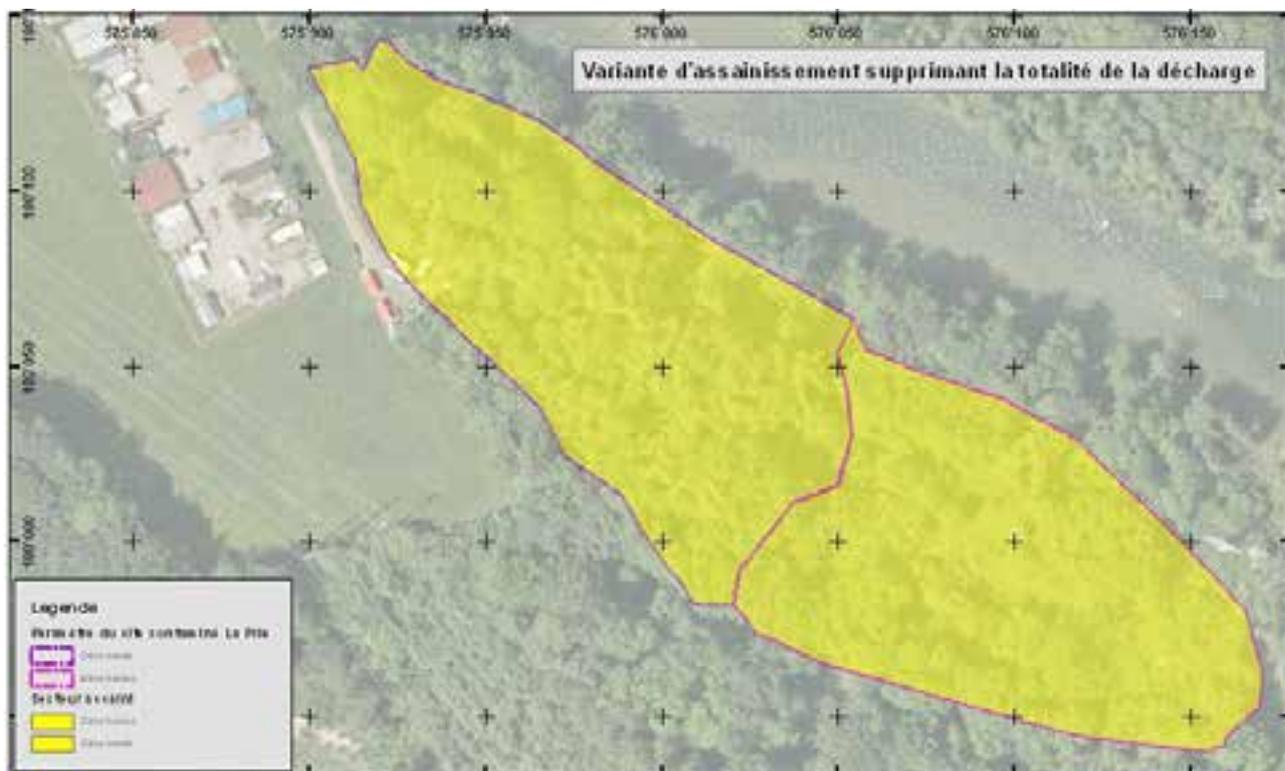


Figure 8-4 Suppression de tous les flux PCB

### Objectifs

Ce scénario agit sur tous les flux susceptibles d'impacter le système Sarine. Il prévoit ainsi l'élimination totale de tous les matériaux susceptibles de produire, à court et à long terme, des flux PCB sous forme dissoute et solide. Ceci signifie l'élimination du corps entier de la décharge et des alluvions contaminées par le PCB. Avec ce scénario, tous les risques résiduels liés au scénario B sont éliminés de manière durable et définitive.

### Contamination résiduelle en PCB acceptable dans les alluvions

Le scénario peut être subdivisé en sous-scénarios en fonction d'une contamination résiduelle acceptable en PCB dans les alluvions. 2 scénarios se présentent :

1. L'élimination du corps de la décharge sans mesures de recouvrement permet des mesures de revitalisation du cours d'eau en créant des espaces d'inondation des zones d'alluvions actuellement sous la décharge. La création de zones inondables sans recouvrement implique que la contamination résiduelle des alluvions dans la zone inondable ne doit pas dépasser le seuil « sédiment » 0.058 mg/kg pour la cible poisson de 6.5 pg/g TEQ05. Cf figure Figure 8-6 à gauche.
2. Dans l'objectif d'atteindre une contamination résiduelle en PCB ne produisant pas un dépassement de 10x la valeur de concentration en PCB dans les eaux souterraines, la teneur totale en PCB ( =

4.3 x somme 6 i-PCB) a été calculée à l'aide du test de lixiviation virtuel selon l'OSites pour les polluants organiques :

$$c_w = \frac{c_t}{(K_d + \frac{\phi_w}{\rho})}$$

$$K_d \sim f_{oc} \cdot K_{oc}$$

- C<sub>w</sub>* : concentration du composé dans l'eau interstitiel (lixiviat)
- C<sub>t</sub>* : teneur totale du composé dans l'échantillon solide [mg/kg]
- K<sub>d</sub>* : coefficient de répartition entre la phase aqueuse et la phase solide [k/kg]. Utilisation des valeurs de la base de données du programme de simulation 1d TransSim 2.0 (OFEV, 2012: Modèle mathématique de simulation pour l'évaluation du transport des polluants dans les zones insaturées jusqu'à leur arrivée dans les eaux souterraines)
- f<sub>oc</sub>* : fraction du carbone organique dans l'échantillon solide [-]. La teneur moyenne de tous les analyses effectuées sur les alluvions a été utilisée.
- φ<sub>w</sub>* : Fraction de la phase aqueuse dans le volume totale de l'échantillon solide (=porosité efficace) [-]
- ρ* : Densité globale de l'échantillon solide sec [kg/l]

Selon le calcul ci-dessus, une teneur moyenne de 0.8 mg/kg, susceptible de produire un lixiviat virtuel de 1 µg/l dans les alluvions, a été calculée.

PCB	koc Transsim	Ct [mg/kg]	Cw [µg/l]	foc moyen alluvions	0.32%
28	96'930	0.03	0.095	<i>φ<sub>w</sub></i>	0.1
52	175'200	0.05	0.095	<i>ρ</i>	2
101	528'000	0.05	0.030	<i>ρω</i>	1
138	1'794'000	0.04	<b>0.007</b>		
153	1'580'000	0.02	<b>0.004</b>		
180	5'122'000	-	0.000		
<b>Teneur totale</b>		<b>0.83</b>	<b>1.0</b>		

Figure 8-5 Lixiviat virtuel : détermination de Lixiviat virtuel de 1 µg/l

Cette concentration maximale dans les alluvions est largement supérieure au seuil « sédiment » pour la cible poisson de 6.5 pg/g TEQ05. Par contre les concentrations en PCB inférieures à 0.8 mg/kg dans les alluvions ne produisent largement pas un flux PCB dissous dans les eaux souterraines qui augmentent le flux PCB dans la Sarine.

Ce scénario nécessite des mesures de sécurisation (confinement, enrochement) des zones inondables par la Sarine en cas de crue (cf. Figure 8-6 à droite).

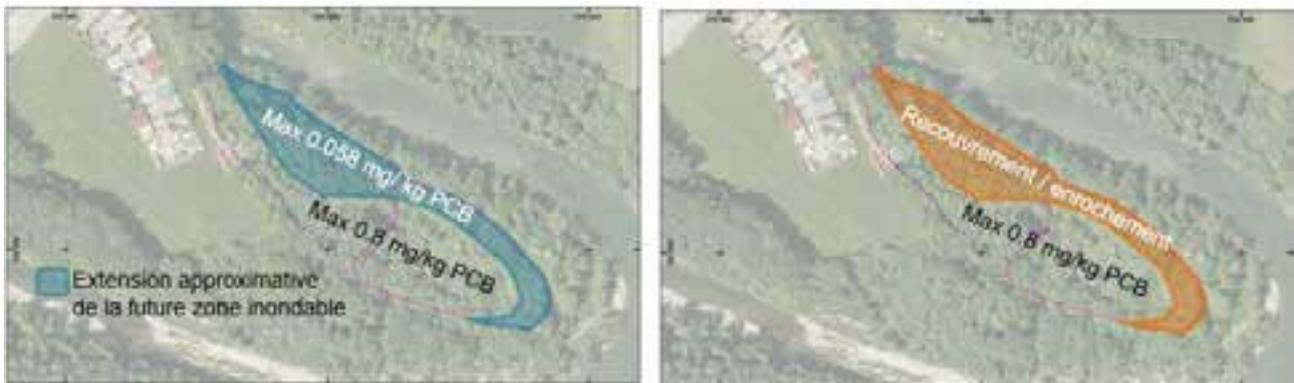


Figure 8-6 A gauche : Scénario d’une contamination résiduelle dans les alluvions de la zone inondable inférieure au seuil poisson de 6.5 µg/g TEQ05 et le solde à une concentration inférieure à la teneur maximale susceptible de produire un lixiviat < 1 µg/l. A droite : Scénario respectant une concentration inférieure à la teneur maximale susceptible de produire un lixiviat < 1 µg/l par recouvrement / enrochement des zones inondables.

Ces mêmes sous-scénarios peuvent être envisagés pour le scénario B.

## 8.4.2 Évaluation du scénario sous l’angle de la suppression des flux

### Évolution des flux et des concentrations après réalisation

En décontaminant l’ensemble de la décharge, les flux de PCB sous forme solide et sous forme dissoute sont éliminés de manière définitive.

En fonction de la contamination résiduelle en PCB dans les alluvions, un flux de PCB dans les eaux souterraines reste présent. Sur la base d’information actuellement à disposition, il n’est pas possible de quantifier précisément ce flux et les concentrations dans les eaux souterraines relatives à la contamination résiduelle dans les alluvions. En effet, les flux et les concentrations dans les eaux souterraines sont plus ou moins influencés par les lixiviats de la décharge. En plus, l’importante hétérogénéité de la nature des déchets (déchets de construction, remblais, ordures ménagères, déchets spéciaux) et la distribution spatiale des PCB dans le corps de la décharge (répartition diffuse et très concentrée des PCB sous forme de condensateurs) sont à l’origine de lixiviats également très hétérogènes dans l’espace et dans leur composition. Ces facteurs ainsi que l’épaisseur très variable de la décharge, allant de moins d’un mètre à plus ou moins 20 m, déterminent principalement la contamination des alluvions sous-jacentes et les eaux souterraines qui peuvent varier entre « inférieur à la limite de quantification » et 3.8 µg/l dans la zone du hot spot. De manière générale, les concentrations élevées en PCB dans les eaux souterraines coïncident avec des concentrations élevées à très élevées dans les couches très contaminées présentes dans la partie inférieure de la décharge et les alluvions impactés (cf. exemple Figure 8-2).

Bien que les flux et les concentrations dans les eaux souterraines, influencées par une contamination résiduelle dans les alluvions (0.058 ou 0.8 mg/kg PCB) ne puissent pas être précisément quantifiés, il est incontestable que les flux sont insignifiants et que les concentrations sont largement inférieures à la valeur de concentration selon l’annexe 1 OSites.

### Diminution attendue des concentrations en PCB dans les sédiments et les eaux à proximité de la décharge

La suppression de tous les flux pouvant impacter les sédiments à long terme a un effet immédiat sur le système Sarine: le stock de PCB présent dans les sédiments n’est plus alimenté et se réduit pour disparaître progressivement, selon les estimations, entre quelques dizaines à une centaine d’années (cf. chap.7.4.1.2).

L'amélioration est similaire à celle que les mesures urgentes et préliminaires à l'assainissement a apportées : l'excavation de 380 kg PCB dans le lit mouillé a réduit le stock PCB dans les sédiments (état 2016 : 90 ± 65 kg) de 80 %.

L'effet de réduction du stock PCB dans les sédiments sur les concentrations en PCB dans les truites a été démontré dans le chap. 2.5.

## 8.5 Comparaison des scénarios en termes de flux supprimés

### 8.5.1 Synthèse des caractéristiques des scénarios

Critères	Scénario A	Scénario B	Scénario C
Flux de PCB solide supprimé	100% Risque de défaillance du confinement en cas de crue extrême -> augmentation flux PCB solide ou confinement non durable	100%	100%
Flux de PCB dissous supprimé	0 % Augmentation du flux de PCB dissous possible	90% Très faible risque d'augmentation du flux PCB dissous	± 100%
Risque de flux de PCB résiduel	Grand	Faible	Zéro
Evolution flux / concentration dans les sédiments	Vidange du stock PCB état 2016 en qq. décennies à une centaine d'année	Idem	idem
Effet suppression flux PCB solide :			
sur les sédiments	100%	100%	100%
L'eau de la Sarine	100%	100%	100%
Le poisson	100%	100%	100%
Effet suppression flux PCB dissous			
sur les sédiments	Flux non pertinent	Flux non pertinent	Flux non pertinent
L'eau de la Sarine	Dépassement 10x valeur de conc. PCB OSites	Concentrations < 10x valeur de conc. PCB OSites	Concentrations << valeur de concentrations OSites
Le poisson	Non déterminant	Non déterminant	Non déterminant
Risques	Durabilité Mesures de surveillance et d'entretien	Faible risque d'une augmentation du flux PCB dissous	Risques éliminés définitivement

Tableau 8.1 Effets des 3 scénarios

### 8.5.2 Influence des scénarios sur les flux de la décharge, comparaison avec le scénario sans assainissement

Les graphiques suivants présentent une simulation dans le temps des effets des scénarios A, B et C en comparaison avec l'état 0 et ceci pour les paramètres suivants :

1. Évolution du stock PCB dans les sédiments. Le stock PCB est comparé avec le seuil « sédiment » pour la cible poisson de 6.5 et 25 pg/g TEQ05.
2. Évolution des concentrations en PCB dans la truite (il s'agit d'une conversion des unités du premier graphique).
3. Évolution des flux PCB dissous dans les eaux souterraines et de la Sarine. Le flux PCB dissous est comparé avec le seuil « eau » pour la cible poisson de 6.5 pg/g TEQ05.
4. Évolution des concentrations en PCB dissous dans les eaux souterraines.

#### Bases

1. Simulation avec le modèle n° 3, présenté au chap.5.5.2 :
2. Pour la période avant assainissement (-50 – 0 ans) :
  - a. Glissement de 590 kg PCB, réparti de manière aléatoire sur 50 ans
  - b. « Perte de PCB en profondeur » plus élevée en période de crue : plus la crue est importante, plus la perte augmente. Simulation à partir des crues de la Sarine entre 1968 et 2017 (= 50 ans).
3. Assainissement au temps T = 0 (voir graphes ci-dessous).
4. Simulation du scénario sans assainissement (période entre 0 – 50 ans) :
  - a. Glissement de 590 kg PCB, réparti de manière aléatoire sur 50 ans
  - b. « Perte de PCB en profondeur » plus élevée en période de crue : plus la crue est importante, plus la perte augmente. Simulation analogue aux crues historiques de la Sarine entre 1968 et 2017 (= 50 ans).
5. Simulation des scénarios A, B et C selon les mêmes calculs.

#### Constat :

La suppression du flux PCB sous forme solide fait partie intégrante des 3 scénarios du fait qu'il présente le flux déterminant pour les compartiments « sédiments superficiels » et « poissons ». La suppression de ce flux est définitive et durable pour les variantes B et C. Pour le scénario A, des « fuites » spontanés et moyennement importantes de PCB sous forme de glissements sont intégrées dans la simulation pour montrer le risque de défaillance du confinement en cas de crue exceptionnelle supérieure à T=100. Les effets dépendent à 100% du flux de PCB libéré ; dans le graphique il est admis que cette libération est nettement inférieure au flux de PCB apporté par un glissement.

L'augmentation du flux PCB dissous entre l'amont et l'aval de la décharge est contrôlée en majeure partie par les effets de désorption / dissolution des PCB dans les sédiments. Même pour un scénario sans assainissement (selon l'hypothèse d'un flux solide de 590 kg sur 50 ans), le flux de PCB dissous dans les eaux de la Sarine ne dépasse pas le seuil « eaux » pour la cible poisson de 6.5 pg/g TEQ05 sur le secteur Pila-Gérine. La contribution aux flux par les eaux souterraines exfiltrées n'est ainsi pas un facteur

déterminant en termes de contamination du poisson. Pour le scénario A, le flux de PCB des eaux souterraines peut devenir plus important que la contribution aux flux depuis les sédiments, ce qui est lié à la vidange du stock PCB dans les sédiments. Ce flux n'a aucun effet sur les compartiments de la Sarine (eaux, sédiments, poisson, faune benthique). Le flux PCB dissous résiduel dans les eaux souterraines pour le scénario B n'est pas déterminant.

Les effets sur le flux PCB dissous dans les eaux souterraines sont similaires pour les scénarios B et C. La variante A correspond au scénario sans assainissement. Là également, l'absence de la suppression du flux n'a aucun effet sur les compartiments de la rivière (eaux, poissons, faune benthique, sédiments).

L'augmentation du flux PCB dissous dans les eaux de la Sarine, pour un scénario sans assainissement, ne permet pas d'atteindre le seuil « eaux » pour la cible poisson 6.5 pg/g TEQ05.

Le scénario A n'a pas d'effet sur les concentrations des eaux souterraines à l'aval du site. En raison du dépassement de 10x la valeur de concentration pour les PCB, la variante A ne permet pas de supprimer la nécessité d'assainissement du site du point de vue de la protection des eaux de surface. Les scénarios B et C permettent par contre de respecter la valeur seuil de 10 x la valeur de concentration de l'OSites.

Les scénarios B et C sont (quasiment) identiques en ce qui concerne la diminution attendue des flux et des concentrations de PCB dans les sédiments superficiels, dans les eaux de la Sarine et les eaux souterraines, dans les poissons et la faune benthique. Elles se distinguent par rapport au potentiel de pollution laissé sur place et par rapport au risque résiduel que présente ce potentiel de pollution à long et à très long terme.

Evolution du stock PCB dans les sédiments avec le temps en fonction des scénarios A, B et C

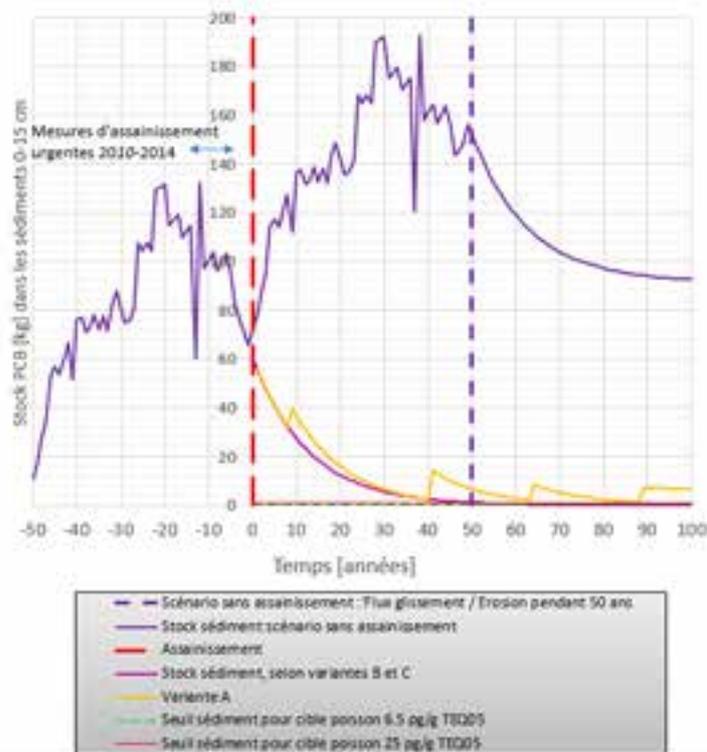


Figure 8-7 Influence des scénarios sur les flux PCB provenant de la décharge et les améliorations sur le stock PCB dans les sédiments du secteur le plus impacté par la décharge (dans le secteur Pila Gérine) par rapport à un scénario sans mesures d'assainissement.

Evolution des concentrations dans la truite avec le temps en fonction des scénarios A, B et C

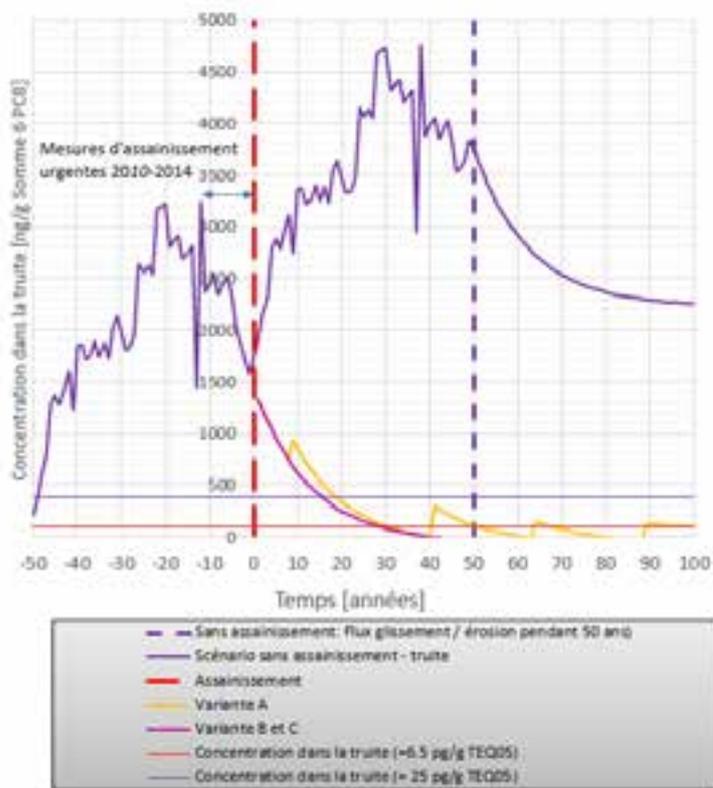


Figure 8-8 Influence des scénarios sur les concentrations en PCB (Somme 6 PCB en [ng/g]) dans la truite du secteur le plus impacté par la décharge (entre décharge et barrage Maigrauge) par rapport à un scénario sans mesures d'assainissement.

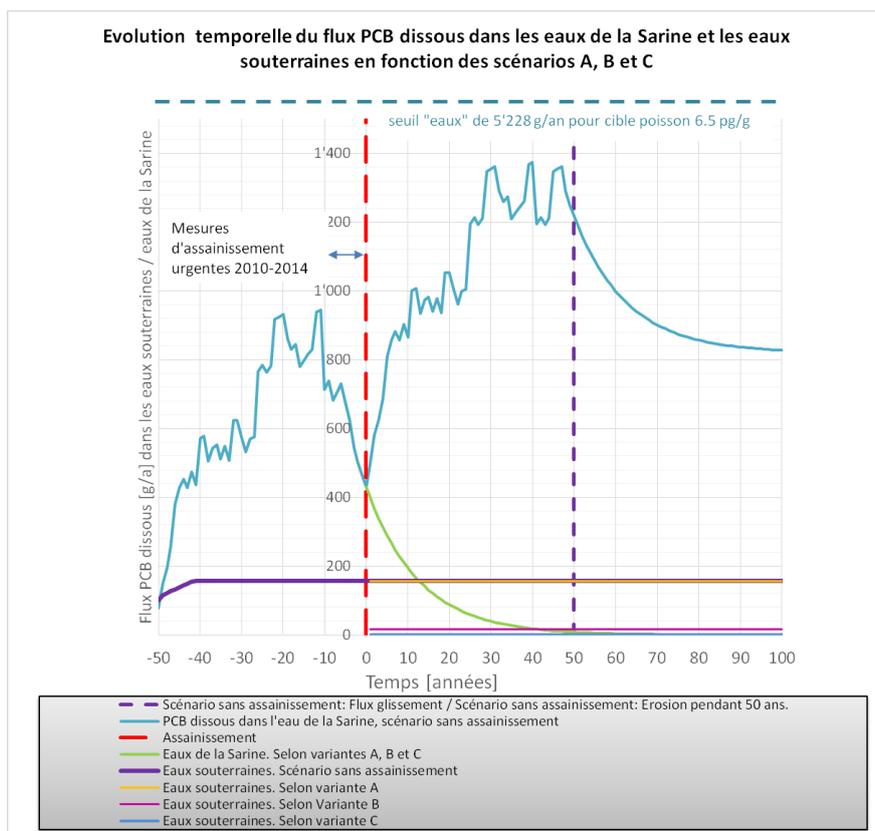


Figure 8-9 Influence des scénarios sur les flux PCB dissous provenant de la décharge et les améliorations sur les flux PCB dissous des eaux de la Sarine et des eaux souterraines s'exfiltrant. Effets pour le secteur le plus impacté par la décharge (secteur Pila-Gérine) par rapport à un scénario sans mesures d'assainissement.

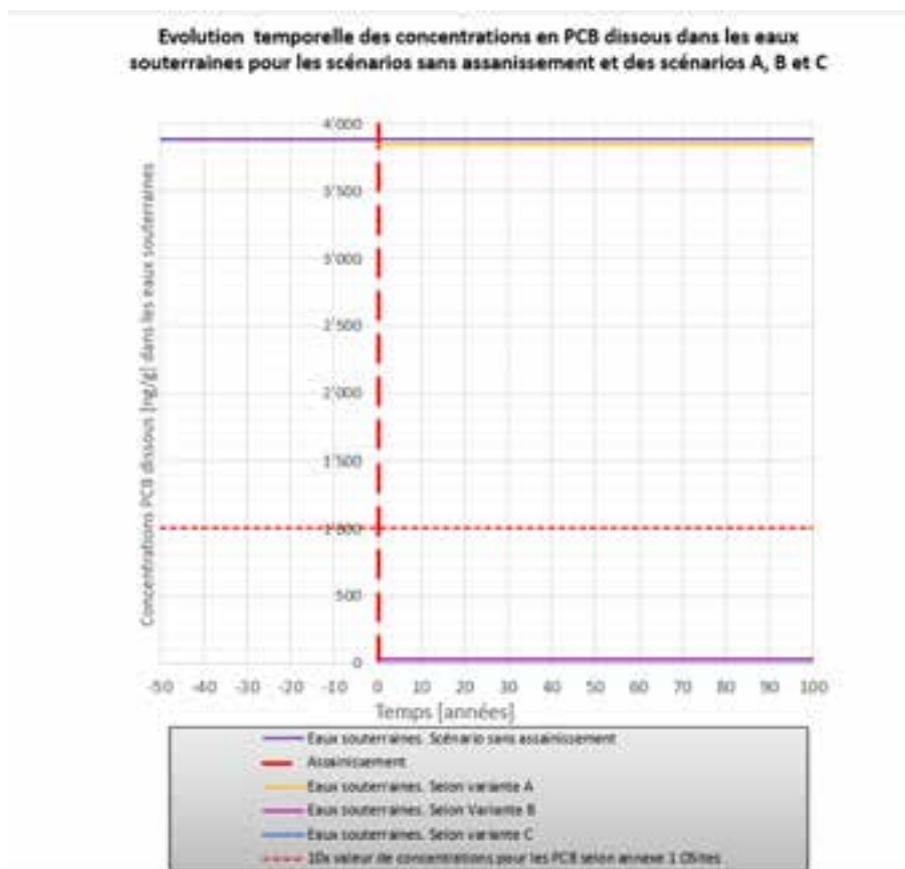


Figure 8-10 Influence des scénarios sur les concentrations PCB dissous dans les eaux souterraines s'exfiltrant dans la Sarine. Comparaison avec la valeur de concentration pour les PCB selon annexe 1 OSites.

## 9. Synthèse et conclusions

La réalisation des mesures complémentaires a permis de disposer de données de base exhaustives et représentatives de l'état de pollution de la Sarine et en particulier des compartiments sédiments, eaux et faune benthique. L'impact d'une crue sur l'évolution d'un tel système a également été observé. Les mesures et analyses effectuées pendant la crue ont également permis d'estimer l'évolution dans le temps du stock de polluants présent dans la rivière.

Les observations et les analyses des différents compartiments ont permis de souligner le rôle déterminant de la contamination des sédiments par les apports de déchets depuis le site de la décharge, soit par des événements ponctuels comme les glissements de terrain, ou par des flux continus comme l'érosion.

Le mode de transfert des PCB entre les compartiments environnementaux et la faune benthique a été étudié jusqu'au poisson en étroite collaboration avec des experts du domaine. Les mécanismes principaux à l'origine de la bioconcentration de PCB dans la truite de la Sarine ont pu être identifiés:

- La diffusion du PCB des sédiments/déchets vers les eaux interstitielles/de surface avec lesquelles sont en contact les proies de la truite.
- L'incorporation de sédiments/déchets sous forme solide dans les fourreaux de trichoptères ingérés par les poissons.

Compte tenu du caractère central des sédiments/déchets pour expliquer la contamination du poisson, des études ont été entreprises pour préciser un seuil sédiment propre à la Sarine, c'est-à-dire une concentration en PCB dans les sédiments qui serait liée à une truite consommable sans restriction (6.5 pg/g TEQ05) et qui n'impliquerait pas l'interdiction de la pêche (25 pg/g TEQ05) conformément aux prescriptions légales. Des ratios entre la concentration du contaminant dans le biote et celle contenue dans les sédiments et les eaux ont ainsi pu être établis à partir d'une méthodologie basée sur le *Biota Sediment Accumulation Factor* (BSAF). Ces valeurs seuils ont permis de démontrer la sensibilité du système sédiment -> proie -> truite à un flux de PCB sous forme solide (déchets emmenés par glissements et érosion) et leurs effets à long terme.

Contrairement au flux PCB sous forme solide, le flux PCB dissous provenant des exfiltrations des eaux souterraines et de la dissolution des matériaux de glissements / érosions), ne joue qu'un rôle secondaire dans le compartiment « eaux » de la Sarine. Les eaux de la rivière sont impactées par d'autres sources diffuses / ponctuelles présentes à l'amont de la décharge et à l'aval de la confluence de la Glâne. De plus, les concentrations en PCB émises depuis la décharge de la Pila, ainsi que celles présentes dans l'eau de la rivière toutes sources confondues, sont largement inférieures au seuil de PCB « eaux » fixé en relation avec la cible poisson de 6.5 pg/g TEQ05 et ceci sur l'ensemble du périmètre d'étude.

L'étude d'un état de référence 0, sans assainissement du site de la Pila, a permis de mettre en évidence l'effet prépondérant sur la rivière du flux de PCB solide provenant d'un glissement de déchets qui pourrait se produire par déstabilisation des talus pentus de la zone haute de la décharge lors d'une crue centennale ou lors de périodes de pluies intenses. Le scénario tenant compte de 10% de la masse déstabilisée après une crue centennale montre le caractère déterminant de l'apport de PCB sous forme solide par rapport aux flux de PCB provenant des phénomènes d'érosion ou aux flux de PCB sous forme dissoute.

Selon les dernières informations obtenues auprès des mandataires de groupe E en charge d'une étude sur les événements extrêmes pouvant se produire sur le cours d'eau, des crues plus importantes que des crues centennales sont possibles sur ce secteur de la Sarine. Ceci signifie que le scénario d'une déstabilisation de matériaux de 22'000 m<sup>3</sup> après une crue centennale ne présente pas un scénario worst-case.

Les flux de PCB parvenant sous forme dissoute à la rivière par les eaux souterraines exfiltrées depuis la décharge ne contribuent que marginalement à l'augmentation du flux PCB dissous dans la Sarine entre l'amont et l'aval de la décharge. Ils sont même inférieurs ou équivalents aux flux de PCB dissous présents dans les eaux de la Sarine à l'amont de la décharge de la Pila. En période de crue, on constate une

augmentation importante des concentrations en PCB dissous dans les eaux de la Sarine avec un effet de très courte durée (lié à la durée de la crue), sans effet à long terme sur les compartiments de la Sarine. Ce « pic » correspond à un apport plus important depuis l'amont de la décharge et avec la mise en solution de PCB depuis les sédiments contaminés. De manière générale, la contribution des flux PCB sous forme dissoute à partir des eaux souterraines sous la décharge reste marginale et non déterminante pour le système.

Le développement d'une simulation simple des effets de glissements sur les compartiments sédiments, eaux et poissons a donc permis de mettre en évidence l'impact immédiat et important d'un tel événement sur ces compartiments. La durée de la « vidange » du stock de PCB accumulé dans les sédiments a également pu être estimée.

Les résultats des études complémentaires, en permettant de hiérarchiser et de mettre en évidence les flux de PCB déterminants pour la Sarine et ses différents compartiments, constituent la base à partir de laquelle une intervention sur les compartiments de la décharge à l'origine de ces flux déterminants peut être planifiée.

L'influence de mesures d'assainissement sur les émissions de la décharge, et par conséquent l'amélioration attendue sur les compartiments du système Sarine (sédiments, eaux, faune benthique, poissons) en termes de flux et de concentrations, ont ainsi pu être comparées avec un scénario sans assainissement.

Trois scénarios de suppression des flux de PCB depuis la décharge de la Pila ont été élaborés :

1. Scénario A. Suppression du flux le plus important : Flux de PCB sous forme solide provenant du glissement et de l'érosion.
2. Scénario B : Suppression des flux provenant de tous les matériaux de la zone de la décharge la plus susceptible de produire des flux PCB sous forme solide et dissous : élimination de la zone haute de la décharge. Suppression du flux le plus important de la zone basse : flux de PCB sous forme solide provenant de l'érosion.
3. Scénario C : Suppression de tous les flux et de tous les matériaux susceptibles de produire des flux de PCB sous forme solide et dissoute : élimination de la totalité de la décharge.

A priori, en termes de flux déterminant, seule l'élimination du flux PCB sous forme solide des glissements et de l'érosion conduit à une amélioration durable et définitive de tous les compartiments de la Sarine. Le scénario A permet d'atteindre l'objectif d'assainissement pour le système Sarine en termes de flux. Du point de vue de la faisabilité technique, de la durabilité des infrastructures de surveillance et de sécurité, le risque lié à ce scénario (notamment en lien avec une crue extrême  $> T=100$ ) est une contrainte non négligeable qui doit être étudiée plus précisément dans le cadre de l'analyse des variantes d'assainissement.

Les scénarios B et C éliminent ce risque en supprimant les sources PCB susceptibles de produire des flux de PCB sous forme solide, mais également des flux à l'origine des dépassements des valeurs de concentrations en PCB dissous dans les eaux souterraines.

Les scénarios B et C sont (quasiment) identiques en ce qui concerne la diminution attendue des flux et des concentrations de PCB dans les sédiments superficiels, dans les eaux de la Sarine, dans les eaux souterraines, dans les poissons et la faune benthique. Ces deux scénarios se distinguent par rapport au potentiel de pollution laissé sur place et par rapport au risque résiduel que présente ce potentiel de pollution à long et à très long terme, notamment en relation avec une crue extrême  $> T=100$ .

La contribution du flux résiduel provenant de la décharge pour le scénario B est insignifiante en comparaison avec le stock de PCB déjà présent dans les sédiments et les flux de PCB provenant de ce stock. Ce flux est également insignifiant si on le compare avec le flux de PCB sous forme solide et dissoute présent dans les eaux de la Sarine à l'amont du site La Pila.

Ces 3 scénarios constituent la base à partir de laquelle les variantes d'assainissement seront élaborées et analysées.

## 10. Bibliographie

- [1] CSD-ingénieurs. Décharge de la Pila, Suites des démarches en relation avec le projet d'assainissement, Rapport de synthèse et proposition de mesures complémentaires, Avril. 2016.
- [2] Pronat Conseils SA. Étude du lac de Schiffenen et du lac de Pérolles, Pollution de la Sarine par les PCB, Mandat ES 2 étape 2 (Etat Novembre 2010), Décembre. 2009.
- [3] Schmid et al. Polychlorobiphényles (PCB) dans les eaux en Suisse. Données concernant la contamination des poissons et des eaux par les PCB et les dioxines: évaluation de la situation. 2010.
- [4] Centre Ecotox. Surveillance de la qualité des sédiments en Suisse; Etat actuel des méthodes disponibles et mise en place de recommandations. 2012.
- [5] Office fédéral de l'environnement des forêts et du paysage O. Manuel de prélèvement sol (OSol) Prélèvement et préparation d'échantillons de sols pour l'analyse de substances polluantes. 2003;
- [6] Zennegg M, Kohler M, Hartmann PC, Sturm M, Gujer E, Schmid P, et al. The historical record of PCB and PCDD/F deposition at Greifensee, a lake of the Swiss plateau, between 1848 and 1999. *Chemosphere* 2007;67(9):1754–61.
- [7] CSD Ingénieurs. Décharge de la pila – mesures complémentaires - Reconnaissance et essais sédiments, Proposition de méthode. 2016.
- [8] OSEC. Ordonnance du DFI sur les substances étrangères et les composants dans les denrées alimentaires (Ordonnance sur les substances étrangères et les composants, OSEC) [Internet]. 2015. Available from: [http://www.admin.ch/ch/f/rs/817\\_021\\_23/#fn1](http://www.admin.ch/ch/f/rs/817_021_23/#fn1)
- [9] Commission des communautés européennes. Règlement (CE) no.1881/2006, Fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires, Journal officiel de l'Union européenne, 19 Décembre. 2006.
- [10] Tachet H, Richoux P, Bournaud M, Usseglio-Bournaud P. Invertébrés d'eau douce: Systématique, biologie, écologie. 2000.
- [11] Vander Vorste R, Mermillod-Blondin F, Hervant F, Mons R, Datry T. *Gammarus pulex* (Crustacea: Amphipoda) avoids increasing water temperature and intraspecific competition through vertical migration into the hyporheic zone: a mesocosm experiment. *Aquat Sci* [Internet] 2017;79(1):45–55. Available from: "<http://dx.doi.org/10.1007/s00027-016-0478-z>
- [12] Babut M, Roy A, Lopes C, Pradelle S. Contamination des poissons d'eau douce par les PCB et d'autres contaminants persistants dans le bassin Rhône-Méditerranée. 2011.
- [13] Babut M, Lopes C, Pradelle S, Persat H, Badot PM. BSAFs for freshwater fish and derivation of a sediment quality guideline for PCBs in the Rhone basin, France. *J Soils Sediments* 2012;12(2):241–51.
- [14] Bhavsar SP et al. Estimating sediment quality thresholds to prevent restrictions on fish consumption: Application to polychlorinated biphenyls and dioxins-furans in the Canadian Great Lakes, *Integrated Environmental Assessment and Management*. 2010.
- [15] Walters DM, Jardine TD, Cade BS, Kidd K a., Muir DCG, Leipzig-Scott P. Trophic Magnification of Organic Chemicals: A Global Synthesis. *Environ Sci Technol* 2016;50(9):4650–8.
- [16] Burkhard L. Estimation of biota sediment accumulation factor (BSAF) from paired observations of chemical concentrations in biota and sediment. US Environ Prot Agency, Ecol Risk Assess Support Center, Cincinnati, OH 2009;EPA/600/R – 06/047.
- [17] Pavlova P a., Zennegg M, Anselmetti FS, Schmid P, Bogdal C, Steinlin C, et al. Release of PCBs from Silvretta glacier (Switzerland) investigated in lake sediments and meltwater. *Environ Sci Pollut Res* 2016;23(11):10308–16.

- [18] Iozza S, Müller CE, Schmid P, Bogdal C, Oehme M. Historical Profile of Chlorinated Paraffins and Polychlorinated Biphenyls in a Sediment Core From Lake Thun. *Environ Sci Technol* 2008;42(August):1045–50.
- [19] Zennegg et al. Mesure des PCB et des dioxines dans les cours d'eau. 2016;
- [20] Rébecca Flück. Surveillance de la qualité des sédiments, *Aqua & Gas* No.4, pp.18-22. 2012.
- [21] Thevenon F, Alencastro LF De, Loizeau JL, Adatte T, Grandjean D, Wildi W, et al. A high-resolution historical sediment record of nutrients, trace elements and organochlorines (DDT and PCB) deposition in a drinking water reservoir (Lake Brêt, Switzerland) points at local and regional pollutant sources. *Chemosphere* 2013;90(9):2444–52.
- [22] Bogdal C, Scheringer M, Schmid P, Bläuenstein M, Kohler M, Hungerbühler K. Levels, fluxes and time trends of persistent organic pollutants in Lake Thun, Switzerland: Combining trace analysis and multimedia modeling. *Sci Total Environ* [Internet] 2010;408(17):3654–63. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.04.038>
- [23] CSD Ingénieurs SA, 28.12.2010 : Décharge de la Pila. Projet d'assainissement selon l'OSites. FR2706.900
- [24] KIDOVA, 2010. Modélisation géostastique de la contamination de la décharge la Pila. Note technique
- [25] Kidova, 2009 : Modélisation géostastique de la contamination de la décharge la Pila. Rapport de synthèse.
- [26] CSD Ingénieurs SA, 15.12.2008 : Décharge de la Pila. Investigation détaillée de l'ensemble du site. FR2706.300

## CSD INGENIEURS SA

Olga Darazs

pp. Sébastien Paratte

Fribourg, le 25 mai 2018

### **PRINCIPAUX COLLABORATEURS CHARGÉS DE L'ÉTUDE**

Olga Darazs, Géologue dipl. UNIFR, Hydrogéologue dipl. CHYN, MBA dipl. UNIFR

Alexandra Fröhlich, Dipl. sc. nat. EPFZ, Hydrogéologue dipl. CHYN

Sébastien Paratte, Ingénieur en Environnement dipl. EPFL

Marie-Eve Randlett, Dr. sc. Environnement ETH Zurich

Stéphane Studer, Hydrogéologue dipl. CHYN

Eric Di Gioia, Géologue dipl UNIFR, Hydrogéologue dipl. CHYN

Olivier Masset, Hydrogéologue dipl. CHYN

Léa Tallon, Hydrogéologue dipl. CHYN

M:\Inter-Filiale\FR\_Fribourg\Datas\Csdfr\MANDATS\2700-749\FR2706.18 Pila\Rapport études complémentaires\Rapport final\La Pila Rapport final études complémentaires mai 2018.docx

Pour préserver l'environnement, CSD imprime ses documents sur du papier 100 % recyclé (ISO 14001).



## ANNEXES

No d'annexe = no chapitre	Désignation	Support
Annexe 1.3	Synthèse de mesures et proposition de mesures complémentaires - Rapport CSD	CD
Annexe 2.1.2	Reconnaisances et essais sédiments – Proposition de méthodes - Rapport CSD	Cahier
Annexe 2.1.3	Synthèse des mesures sédiments	Cahier
Annexe 2.1.3.1 - 1	Résultats d'analyses Wessling. - Sédiments de surface	CD
Annexe 2.1.3.1 – 2	Résultats d'analyses Wessling. - Échantillons cryogéniques	CD
Annexe 2.1.3.2	Résultats d'analyses Wessling. - Sédiments du refus	CD
Annexe 2.1.3.4 – 1	Résultats d'analyses Wessling. - Sédiments après crue	CD
Annexe 2.1.3.4 – 2	Relevés géométriques des bancs de sédiments avant et après la crue	Cahier
Annexe 2.2.3.1	Résultats d'analyses Wessling - Boîtes MES – Résultats de mai 2016 à avril 2017	CD
Annexe 2.2.3.2 - 1	Rapport EMPA et Wessling - MES composites durant la crue	CD
Annexe 2.2.3.2 – 2	Calibration de la MES pour les données de la crue	Cahier
Annexe 2.3.3.1 - 1	Rapport EMPA - Capteurs passifs dans les eaux de surface	CD
Annexe 2.3.3.1 – 2	Conversion des unités ng kg-1 PDMS en ng L-1	Cahier
Annexe 2.3.3.2	Mesures EMPA de PCB dissous dans la Sarine durant la crue	Cahier
Annexe 2.4.3 – 1	Résultats d'analyses laboratoire de Berne et UFAG - Gammarets et poissons	CD
Annexe 2.4.3 – 2	Température de la Sarine mesurée in situ	Cahier
Annexe 2.5.3 – 1	Résumé des mesures des truites	Cahier
Annexe 2.5.3 – 2	Résultats d'analyses Wessling - Contenus stomacaux des truites	Cahier
Annexe 3.1.3	Résultats d'analyses Wessling. - Érosion	CD
Annexe 3.2	Glissement de terrain à la décharge	Cahier
Annexe 3.3.2 – 1	Méthodes d'échantillonnage et d'analyses - Eaux souterraines - Rapport CSD	Cahier
Annexe 3.3.2 – 2	Méthode EMPA – Blanc	Cahier
Annexe 3.3.2 – 3	Campagne d'échantillonnage des eaux souterraines d'août 2016	Cahier
Annexe 3.3.2 – 4	Plan de situation des sondes piézométriques	Cahier
Annexe 3.3.3 – 1	Capteurs passifs - Rapport CSD et résultats EMPA	Cahier
Annexe 3.3.3 – 2a	Fiches d'échantillonnage de la campagne des eaux souterraines d'août 2016	CD
Annexe 3.3.3 – 2b	Rapport d'analyses Wessling - Résultats de la campagne des eaux souterraines d'août 2016	CD
Annexe 3.3.3 – 2c	Rapport EMPA - Résultats de la campagne d'échantillonnage des eaux souterraines d'août 2016	CD
Annexe 3.3.3 – 2d	Plan de situation des résultats des PCB et d'ammonium	Cahier
Annexe 3.3.3 – 3a	Fiches d'échantillonnage des eaux souterraines durant la crue	CD
Annexe 3.3.3 – 3b	Graphiques PCB dissous et particuliers durant la crue	Cahier
Annexe 3.3.3 – 3c	Résultats d'analyses Wessling – Campagne d'échantillonnage des eaux souterraines durant la crue	CD

Annexe 3.3.3 – 3d	Résultats EMPA – Campagne d'échantillonnage des eaux souterraines durant la crue	CD
Annexe 3.3.3 – 3e	Résultats EMPA – Synthèse de la campagne d'échantillonnage durant la crue	Cahier
Annexe 3.3.3 -3f	Graphique des teneurs en PCB particulières avant et durant la crue dans les eaux souterraines	Cahier
Annexe 4	Calcul des stocks et flux de PCB dans la Sarine	Cahier
Annexe 5.3	Rapport du modèle hydrogéologique de la décharge	Cahier
Annexe 5.4	Calcul des flux liés à l'érosion	Cahier
Annexe 5.5.1	Stock de PCB antérieur	Cahier
Annexe 5.5.2	Estimation du flux dû aux glissements	Cahier
Annexe 6.3.1	Matrice de corrélation et distribution des congénères	Cahier
Annexe 6.3.2	Détermination seuils sédiment et eau	Cahier
Annexe 6.3.3	Conversion des concentrations PCB sédiments < 2mm sédiments bruts	Cahier
Annexe 8.3.1	Variante d'assainissement – Plan de profil	Cahier
Annexe 9	Expression des incertitudes et analyse critique des résultats	Cahier

## **Annexe 1.3**

### **Synthèse de mesures et propositions de mesures complémentaires – Rapport CSD**

**DÉCHARGE DE LA PILA  
SUITE DES DÉMARCHES EN RELATION AVEC  
LE PROJET D'ASSAINISSEMENT  
RAPPORT DE SYNTHÈSE ET PROPOSITION DE MESURES  
COMPLÉMENTAIRES**

Fribourg, le 08.04.2016  
FR2706.915.600

**CSD INGENIEURS SA**

Chantemerle 37 - Granges-Paccot  
Case postale 384  
CH-1701 Fribourg  
t +41 26 460 74 74  
f +41 26 460 74 79  
e fribourg@csd.ch  
www.csd.ch



**TABLE DES MATIÈRES**

<b>1. INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
1.1 Rappel du contexte général	1
1.2 Objectifs des mesures complémentaires	1
1.3 Références et intervenants	2
<b>2. SYNTHÈSE DES DONNÉES DISPONIBLES</b>	<b>3</b>
2.1 Sédiments	3
2.2 Eaux	5
2.2.1 Analyses ponctuelles des eaux de la Sarine	5
2.2.2 Capteurs passifs dans la Sarine	6
2.2.3 Eaux souterraines	10
2.3 Faune benthique	12
2.4 Analyses de poissons	13
2.5 Flux de polluants dans la Sarine	15
2.6 Comportement des PCB dans la Sarine	19
2.7 Évolution du site de la décharge aux abords de la Sarine entre 2009 et aujourd'hui	25
<b>3. PROGRAMME D'INVESTIGATIONS COMPLÉMENTAIRES</b>	<b>27</b>
3.1 Préambule – procédure par étapes	27
3.2 Etat 0 (2016)	29
3.2.1 Définition	29
3.2.2 Questions ouvertes	29
3.2.3 Programme d'études complémentaires	29
3.2.3.1 Méthode	29
3.2.3.2 Résultats attendus et incertitudes	33
3.3 Stocks de PCB bio-disponibles dans la Sarine	34
3.3.1 Données disponibles	34
3.3.2 Questions ouvertes	36
3.3.3 Programme d'études complémentaires	37
3.3.3.1 Méthode	37
3.3.3.2 Résultats attendus et incertitudes	45
3.4 PCB fraction dissoute / fraction particulaire dans les eaux souterraines	46
3.4.1 Questions ouvertes / hypothèses	46
3.4.2 Programme d'études complémentaires	46
3.5 Flux de PCB à partir de la décharge dans la Sarine	47
3.5.1 Flux solides	48
3.5.1.1 Données disponibles	48
3.5.1.2 Questions ouvertes	49
3.5.1.3 Programme d'études complémentaires	49
3.5.2 Eaux souterraines en situation « normale »	54

3.5.2.1	Données disponibles	54
3.5.2.2	Questions ouvertes	54
3.5.2.3	Programme d'études complémentaires	54
3.5.3	Eaux souterraines en temps de crue	56
3.5.3.1	Données disponibles	56
3.5.3.2	Questions ouvertes	61
3.5.3.3	Programme d'études complémentaires	62
<b>4.</b>	<b>MESURES COMPLÉMENTAIRES - COMPRENDRE LE FONCTIONNEMENT DU SYSTÈME</b>	<b>68</b>
4.1	Discrimination de l'effet de la décharge par rapport à l'effet de la Sarine	68
4.1.1	Données disponibles	68
4.1.2	Questions ouvertes	69
4.1.3	Programme d'études complémentaires	70
4.1.3.1	Méthode	70
4.1.3.2	Résultats attendus et incertitudes	70
4.2	Processus de contamination des poissons, des gammares	70
4.2.1	Données disponibles	70
4.2.2	Questions ouvertes	71
4.2.3	Programme d'études complémentaires	72
4.2.3.1	Méthode	72
4.2.3.2	Résultats attendus et incertitudes	74
4.3	Détermination de valeurs cibles sans effet sur les poissons	74
4.3.1	Données disponibles	74
4.3.2	Programme d'études complémentaires	77
4.3.2.1	Méthode	77
4.3.2.2	Résultats attendus et incertitudes	78
<b>5.</b>	<b>MESURES COMPLÉMENTAIRES - SIMULATION DE L'ÉVOLUTION DU SYSTÈME SELON LES VARIANTES D'ASSAINISSEMENT</b>	<b>79</b>
5.1	Élaboration d'un modèle empirique du système Décharge - Sarine	79
5.1.1	Données disponibles	79
5.1.2	Questions ouvertes	79
5.1.3	Programme d'études complémentaires	80
5.1.3.1	Méthode	80
5.1.4	Procédure par étapes	81
5.1.4.1	Résultats attendus et incertitudes	81
5.2	Evolution des stocks, des flux et des effets en fonction des variantes d'assainissement	83
5.2.1	Données disponibles	83
5.2.2	Variantes à considérer	84
5.2.3	Questions ouvertes	86
5.2.4	Programme d'études complémentaires	87
5.2.4.1	Méthode	87
5.2.4.2	Procédure par étapes	93
5.2.4.3	Résultats attendus et incertitudes	94
<b>6.</b>	<b>MESURES COMPLÉMENTAIRES – TRAITEMENT DES MATÉRIAUX</b>	<b>94</b>

6.1	Données disponibles	94
6.2	Questions ouvertes	97
6.3	Programme d'études complémentaires	98
6.3.1	Méthode	98
6.3.2	Résultats attendus et incertitudes	100
<b>7.</b>	<b>MESURES COMPLÉMENTAIRES – SYNTHÈSE</b>	<b>101</b>
7.1	Résumé des études complémentaires	101
7.2	Comparaison des variantes d'assainissement – Coût/ efficacité/ Risques	102
7.2.1	Méthode	102
7.2.2	Résultats attendus et incertitudes	104
7.3	Planning général et coordination des mesures	105
7.4	Synthèse des coûts	107

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1	: Concentrations en PCB dans les sédiments de la Sarine	4
Tableau 2.2	: Données sédiments 2010-2014	5
Tableau 2.3	: Concentrations en PCB dans les eaux à l'aval immédiat de la Pila. Surligné orange : > 0.1 µg/L	6
Tableau 2.4	: Concentrations des i-PCB en ng / kg PDMS mesurées dans l'eau selon la classification EMPA et Pronat	7
Tableau 2.5	: Aperçu des précisions associées aux mesures de capteurs passifs entre 2013 et 2015	9
Tableau 2.6	: Concentration en PCB dans les gammars	12
Tableau 2.7	: Concentrations de PCB dans les poissons	14
Tableau 2.8	: Facteurs de conversion dl-PCB et 6i PCB	15
Tableau 2.9	: Détails de l'estimation des flux de PCB exportés par les eaux souterraines CSD 2009	17
Tableau 3.1	: Aperçu de la campagne test sédiments Avril 2016	31
Tableau 3.2	: Aperçu des campagnes d'échantillonnage par capteurs passifs et de prélèvement de gammars et poissons en Mai et en Août 2016	32
Tableau 3.3	: Paramètres caractéristiques des sédiments du secteur d'étude	35
Tableau 3.4	: Planification des investigations en situation normale et en situation de crue	67
Tableau 4.1	: Concentrations en PCB dans divers compartiments, Amont versus Aval de la décharge	68
Tableau 4.2	: Programme d'échantillonnage poisson en Mai 2016	72
Tableau 4.3	: Concentrations limites en PCB dans les sédiments permettant une évaluation de la qualité éco-toxicologique. Tiré de Flück et al. (2012) <i>Surveillance de la qualité des sédiments en Suisse – État actuel des méthodes disponibles et mise en place de recommandations.</i>	75
Tableau 4.4	: Cibles sédiments et dépassements (%) pour la Sarine, selon diverses cibles poissons comprises entre 6.5 et 20 pg TEQ/g.	76

Tableau 5.1	Calcul de la teneur en PCB dans l'eau	91
Tableau 6.1	Volume de la décharge et des couches inférieures – matériaux en place	95
Tableau 6.2	Synthèse statistique des volumes de matériaux estimés pour chacune des 6 classes de teneurs en PCB pour une maille de 8 m <sup>3</sup> .	96
Tableau 7.1	synthèse des études prévues et les résultats attendus	101
Tableau 7.2	Critères d'évaluation pour la faisabilité et l'efficacité	103
Tableau 7.3	Critères d'évaluation pour l'impact sur l'environnement.	104
Tableau 7.4	Critères d'évaluation pour les coûts.	104
Tableau 7.5	Vision d'ensemble du programme des études complémentaires	106
Tableau 7.6	Synthèse des coûts	109

## LISTE DES FIGURES

Figure 2.1	Sédiments prélevés et préparés pour analyses : à gauche sédiments bruts et à droite, les sédiments tamisés à 0.063 mm. Tiré de Pronat (2011. Fig.4).	5
Figure 2.2	Évolution temporelle des [PCB]eau mesurée à l'aide de capteurs passifs à l'aval immédiat de la Pila (Pila), dans le segment Pila-Gérine ainsi qu'à l'aval de la passerelle située à l'embouchure de la Gérine (Pass. Gérine). À noter que les valeurs [PCB]eau dépassent 50'000 6 indic. x 4.3 ng/ kg PDMS en Mars et en Juin 2013.	8
Figure 2.3	Schéma des flux de polluants de la décharge vers la Sarine.	15
Figure 2.4	Flux sortants d'eau (noir) et de PCB (orange) s'exfiltrant de la décharge vers la Sarine, séparés par secteurs.	16
Figure 2.5	Simulation d'accumulation de sédiments fins pour un débit de 120 m <sup>3</sup> /s sur 1 an. Les zones de déposition sont désignées par des couleurs vert foncé, orange et rouge. Des simulations avec des débits 30 m <sup>3</sup> /s et 60 m <sup>3</sup> /s sont aussi disponibles. Avec ces débits, les variations du lit sont moins prononcées mais les zones d'accumulation restent les mêmes.	19
Figure 2.6	Aperçu de la remise en suspension de matières solides lors de la crue d'août 2005	20
Figure 2.7	Répartition des sédiments accumulés de 1999 à 2007, figure tirée du Rapport des levés bathymétriques des 2 et 3 juillet 2007, Lac de Pérolles, Barrage de la Maigrange, Groupe E (05.11.2007)	21
Figure 2.8	Distribution verticale de PCB dans une carotte de sédiment prélevée près du Pont de Pérolles. La ligne bleue symbolise la valeur correspondant au bruit de fond suisse (0.01 mg/kg) et la ligne noire la valeur indicatrice de la directive sur les matériaux d'excavation (0.1 mg/kg).	22
Figure 2.9	Distribution des 7 indicateurs des échantillons de sédiments du Lac de Pérolles (Pérolles) et de la Pila (matrice solide, eaux souterraines). Les axes de % n'ont pas tous la même échelle.	23
Figure 2.10	Photos de condensateurs récoltés sur le lit de la Sarine en 2013 et en 2014, entre la Pila et la confluence Gérine	24
Figure 2-11	Situation de la décharge aux abords de la Sarine en 2009 et 2010.	25
Figure 212	Situation schématique des mesures préliminaires à l'assainissement après travaux	26

Figure 3.1 : Exemple d'un carottage cryogénique avec l'échantillon obtenu (images tirées de <a href="http://casperjournal.com/news">http://casperjournal.com/news</a> )	30
Figure 3.2 : Séparation de couches sédimentaires suite à un carottage cryogénique. Tiré de <a href="http://scholarsmine.mst.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=6374&amp;context=masters_theses">http://scholarsmine.mst.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=6374&amp;context=masters_theses</a>	30
Figure 3-3 : Séparation de couches sédimentaires suite à un carottage cryogénique. Tiré de <a href="http://scholarsmine.mst.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=6374&amp;context=masters_theses">http://scholarsmine.mst.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=6374&amp;context=masters_theses</a>	31
Figure 3.4 Schéma d'un montage comprenant trois capteurs passifs et un câble tenu par une ancre et une bouée dans le lac de Pérolles.	33
Figure 3.5 : Schéma illustrant les estimés grossiers de stock bio-disponibles.	35
Figure 3.6 : Dynamiques des particules selon la taille des grains Référence : <a href="http://theses.univ-lyon2.fr/documents/getpart.php?id=lyon2.2008.pintomartins_d&amp;part=154405">http://theses.univ-lyon2.fr/documents/getpart.php?id=lyon2.2008.pintomartins_d&amp;part=154405</a> (Gauche). Vitesses moyennes mesurées à 3 endroits différents du secteur d'étude (Droite).	36
Figure 3.7 : Photos d'exemples de boîtes à sédiments. Le petit format (300 x 200 x 100 mm) sera utilisé pour échantillonner la Sarine.	37
Figure 3.8 : Exemple de profil de vitesses mesuré à l'aide d'un bateau ADCP (Monitron AG)	40
Figure 3.9 : Emplacement des stations hydrométriques	41
Figure 3.10 : Exemple d'essais en laboratoire visant à estimer le flux de diffusion du PCB des sédiments et/ou des condensateurs vers l'eau de la Sarine. Les intervalles de temps et le nombre d'échantillon sont à titre indicatif seulement.	43
L'influence de cette crue artificielle pourrait être investiguée au niveau du lit de la Sarine. Avant et après la crue, des échantillons seraient prélevés sur deux profils en travers. L'un de ces profils pourrait par exemple être localisé entre la Pila et la Gérine (profil no. 37'218, Figure 3.11).	43
Figure 3.12 : Carte montrant les sites de profils suggérés (cercles noirs), les sites où des profils sont disponibles (lignes jaunes) et les sites déjà échantillonnés dans le passé (points roses)	44
Figure 3.13 : Schéma illustrant la répartition des 5 échantillons de sédiments sur un profil en travers	44
Figure 3.14 : Schéma simplifié de processus de transport et flux de PCB.	48
Figure 3.15 Schéma d'un réceptacle permettant d'estimer l'érosion des sols	50
Figure 3.16 : Plan schématique avec l'emplacement des réceptacles (boîtes roses)	50
Figure 3.17 : Représentation schématique des flux annuels de PCB de la décharge vers la Sarine, selon le processus de transfert, l'origine et le type de PCB	53
Figure 3.18 : Flux tirés du modèle numérique par secteur pour une semaine standard de turbinage et évaluation des quantités de PCB s'exfiltrant de la nappe	57
Figure 3.19 : Variations du niveau d'eau et conductivité dans le piézomètre F2 du 3 août 23 août 2007	58
Figure 3.20 : Position des profils incluant les profils 7, 6 et 5	59
Figure 3.21 : Profil 7 : Niveau d'eau de la Sarine en temps de crue (ligne bleu foncée) et décharge	59
Figure 3.22 : Profil 7 : Concentrations en PCB dans la décharge <sup>[5]</sup>	59
Figure 3.23 : Profil 6 : Concentrations en PCB dans la décharge	59
Figure 3.24 : Suivi de la crue de septembre 2015	61

Figure 3.25 : Hydrogramme de crue Pronat e-dric 2015	62
Figure 3.26 : Situation des piézomètres (existants et nouveaux).	63
Figure 3.27 : Situation des investigations complémentaires et autres éléments.	63
Figure 4.1 : Distribution des PCB dans des échantillons de sédiments ; 2 à l'amont et 3 à l'aval	69
Figure 4.2 : Voies de contamination des poissons par les PCB. Tiré de Babut et al. (2010)	71
Figure 4.3 Schéma illustrant les étapes suivant l'échantillonnage de poissons	73
Figure 4.4 : Distribution des valeurs BSAF déterminées avec les données de la Sarine	76
Figure 4.5 : Schéma mettant en lien les flux décharge-Sarine et les compartiments où une valeur cible sera éventuellement fixée.	77
Figure 5.1 Modèle de transfert et distribution des flux de PCB par les eaux souterraines (exemple avec données fictives)	80
Figure 5.2 : Comparaison des flux annuels de PCB Décharge → Sarine pour deux variantes (exemple avec données fictives)	82
Figure 5.3 : Comparaison de l'effet de deux variantes sur les teneurs en PCB dans les sédiments (exemple avec données fictives)	82
Figure 5.4 : Variante 2a assainissement partiel	85
Figure 5.5 : Variante 2b assainissement partiel	85
Figure 5.6 : Variante 2b assainissement partiel – profil assaini (base profil 10)	86
Figure 5.7 Corrélation entre teneur totale et lixiviat OSites (E/M=0.25) par congénère PCB (résultats d'analyse décrits dans le rapport d'investigation de détail).	88
Figure 5.8 Corrélation entre teneur total et lixiviat OSites (E/M=3) par congénère PCB (résultats d'analyse décrits dans le rapport d'investigation de détail).	89
Figure 5.9 Corrélation entre teneur total et lixiviat OTD par congénère PCB (résultats d'analyse décrits dans le rapport d'investigation de détail).	90
Figure 5.10 Schéma de calcul de la concentration moyenne du lixiviat et extrapolation sur l'ensemble d'un polygone Thyssen.	91
Figure 6.1 : Modèle 3D	95
Figure 6.2 : Répartition moyenne des catégories de matériaux par classe de teneurs en PCB	96
Figure 7.1: Exemple de simulation des coûts à long terme pour 3 scénarios (CSD 2014)	105

## ANNEXES

Annexe A Bibliographie	112
Annexe B Sites de prélèvement des sédiments (campagne test avril 2016), des capteurs passifs et des gammares (Mai 2016)	114
Annexe C Lettres de validation du centre Ecotox et de l'EMPA	115

## PRÉAMBULE

CSD confirme par la présente avoir exécuté son mandat avec la diligence requise. Les résultats et conclusions sont basés sur l'état actuel des connaissances tel qu'exposé dans le rapport et ont été obtenus conformément aux règles reconnues de la branche.

CSD se fonde sur les prémisses que :

- le mandant ou les tiers désignés par lui ont fourni des informations et des documents exacts et complets en vue de l'exécution du mandat,
- les résultats de son travail ne seront pas utilisés de manière partielle,
- sans avoir été réexaminés, les résultats de son travail ne seront pas utilisés pour un but autre que celui convenu ou pour un autre objet ni transposés à des circonstances modifiées.

Dans la mesure où ces conditions ne sont pas remplies, CSD décline toute responsabilité envers le mandant pour les dommages qui pourraient en résulter.

Si un tiers utilise les résultats du travail ou s'il fonde des décisions sur ceux-ci, CSD décline toute responsabilité pour les dommages directs et indirects qui pourraient en résulter.

## 1. Introduction

### 1.1 Rappel du contexte général

Le présent document s'inscrit dans la suite des démarches en lien avec l'établissement du projet d'assainissement de l'ancienne décharge de la Pila. Pour rappel, ces démarches ont pour objectif principal d'obtenir des données complémentaires à partir desquelles une analyse de la possibilité de s'écarter des objectifs d'assainissement pourra être faite.

En particulier, il s'agira de disposer des données complémentaires sur les flux de polluants à partir de la décharge et d'informations additionnelles sur l'état de la Sarine permettant de répondre aux questions suivantes :

- Un assainissement partiel de la décharge permet-il d'atteindre à terme dans la Sarine un effet suffisant en termes de qualité des sédiments et de contamination consécutive des poissons ?
- Si oui, pour quelles variantes d'assainissement ? et à quels coûts ?

La proposition détaillée dans le présent rapport fait suite à la remise à la DAEC en août 2014 des observations des parties sur le projet de plan d'action et répond à la détermination du Service de l'environnement (SEn) du 2 avril 2015 qui détaille les objectifs des mesures complémentaires et énumère les questions auxquelles ces mesures complémentaires devront permettre de répondre en relation avec :

- La décharge et les flux de polluants émis en fonction des variantes d'assainissement,
- Le traitement des matériaux excavés du site dans le cadre de l'assainissement,
- Les mesures complémentaires sur la Sarine (sédiments et faune).

Le rapport fournit une synthèse des données disponibles portant sur les compartiments principalement visés par les mesures complémentaires, à savoir : sédiments, eaux, faune benthique et poissons. L'état actuel des connaissances sur les flux de polluants s'écoulant de la décharge dans la Sarine et sur le comportement des PCB dans la Sarine est également présenté.

Une première version de ce rapport de synthèse et de proposition des mesures complémentaires a été remise aux autorités le 30.10.2015. Dans leur détermination du 28 janvier 2016 et du 5 février 2016, le SEn et l'OFEV ont demandé des éclaircissements ou adaptations du programme d'études sur certains points déterminants. Ceux-ci sont présentés dans les chapitres suivants ; pour en faciliter la lecture et la comparaison avec le document du 30.10.2015, le texte ajouté ou modifié par rapport à la version initiale du programme d'investigations complémentaires est mis en évidence en couleur.

### 1.2 Objectifs des mesures complémentaires

Les objectifs des mesures complémentaires, formulés par le SEn dans sa note du 9 avril 2014, sont les suivants :

1. Affiner la connaissance du flux de polluants au niveau de la décharge (relargages, PCB sous forme particulaire ou dissoutec ) afin de pouvoir évaluer les émissions résiduelles en fonction des variantes d'assainissement envisageables (évacuation totale ou partielle de matériaux).

2. Analyser les possibilités d'optimisation des opérations de tri des matériaux et tester des procédés de traitement alternatifs éprouvés afin de permettre de réaliser des économies sur l'élimination des matériaux.
3. Évaluer l'effet sur la Sarine, notamment sur les poissons, des mesures qui pourraient être prises sur la décharge.

Les objectifs des mesures complémentaires sont également détaillés dans la note du SEn du 2 avril 2015 ; il s'agit en particulier :

1. D'évaluer pour chaque variante d'assainissement (excavation complète, partielle, confinement, mesures in-situ) :
  - a. L'influence des mesures d'assainissement sur les émissions de la décharge (concentrations et charges, formes sous lesquelles les polluants sont émis).
  - b. Les améliorations attendues au niveau de la Sarine (par rapport à un scénario sans mesures d'assainissement), en distinguant les différents compartiments de la rivière (sédiments, eaux, faune benthique, poissons ).
  - c. Le coût des mesures d'assainissement.
2. Cela signifie que pour chaque variante d'assainissement il faudra pouvoir :
  - a. Démontrer la diminution attendue des concentrations en PCB dans les sédiments superficiels et les eaux à proximité de la décharge.
  - b. Évaluer l'évolution de la concentration en PCB dans les sédiments, les eaux et les poissons en fonction du temps dans le tronçon de rivière le plus impacté (entre le site de la Pila et le barrage de la Maigrauge).
3. Pour atteindre les objectifs précisés plus haut, les mesures complémentaires devront permettre de répondre aux questions suivantes :
  - a. Quel est le stock actuel de PCB présent dans les sédiments (entre le site de la Pila et le barrage de la Maigrauge) ?
  - b. Quel est le mode de transfert des PCB entre les différents compartiments (eau, sédiments, poissons) ? Et de ce fait, quelle sera l'évolution prévisible de la contamination des poissons selon les variantes d'assainissement de la décharge ?

## 1.3 Références et intervenants

L'élaboration de la présente proposition de mesures complémentaires touche différents domaines faisant aujourd'hui l'objet de recherches scientifiques. Par exemple, la Suisse ne dispose pas encore de méthode unifiée pour prélever et évaluer la qualité des sédiments des rivières.

Diverses études sont aujourd'hui en cours pour mettre au point et tester des méthodes de prélèvement, d'analyse et d'évaluation de la qualité des sédiments :

- Le Centre Ecotox (Ecotox Eawag-EPFL), qui est le centre d'écotoxicologie appliquée de la Suisse et représente une importante passerelle entre la recherche et la pratique, est en train d'élaborer des méthodes adaptées dans le cadre du système modulaire gradué. Depuis 2015, il travaille avec l'Office fédéral de l'environnement à l'élaboration d'un module « Sédiments » qui aidera les services cantonaux de la protection des eaux à évaluer la qualité de ce compartiment et donc à mieux protéger celle de l'eau.

- L'EMPA, un institut de recherche du domaine des EPF, est également en train d'élaborer une étude portant sur la mesure des PCB dans les rivières en Suisse. Il développe en particulier les aspects méthodologiques liés au prélèvement des sédiments et la mise au point de l'utilisation de capteurs passifs pour la mesure des PCB dissous dans l'eau.

Des spécialistes de ces deux entités, messieurs Benoît Ferrari et Markus Zennegg, ont été consultés pour la mise au point et l'élaboration de la présente proposition. Ces spécialistes seront aussi consultés dans le futur à propos de sujets qu'ils maîtrisent afin de prendre des décisions éclairées. Des lettres d'appui signées par messieurs Ferrari et Zennegg figurent en Annexe C.

Le bureau PRONAT, avec lequel nous collaborons dans le cadre du projet de la Pila pour le monitoring de la Sarine, a également été impliqué.

D'autres études ou résultats de travaux de recherche, notamment mis à disposition par les autorités, ont également été consultés et pris en compte pour l'élaboration des propositions de mesures complémentaires figurant dans le présent rapport. Une liste bibliographique est fournie en annexe; les références aux différents documents consultés figurent dans le texte.

## 2. Synthèse des données disponibles

### 2.1 Sédiments

Des sédiments de la Sarine ont été échantillonnés entre 2000 et 2014, dans un espace incluant l'amont de la décharge (AMONT), le segment entre la décharge et la confluence de la Gérine (PILA-GERINE) ainsi que le Lac de Pérolles (LAC) ; les 28 valeurs de concentrations en PCB obtenues dans les sédiments ([PCB]sed) sont disponibles à l'Annexe C du rapport Pronat 2015 et sont reportées dans Tableau 2.1 : Concentrations en PCB dans les sédiments de la Sarine Tableau 2.1le **Erreur ! Argument de commutateur inconnu.** ci-dessous.

	Mois	Année	Description	[PCB] <sub>sed</sub> 7 indic. (mg/kg)	[PCB] <sub>sed</sub> 6 indic. x 4.3 (mg/kg)
<b>AMONT</b>	Décembre	2000	Petite Sarine 1dS	0.045	0.194
	Décembre	2000	Petite Sarine 3gS	0.084	0.361
	Juillet	2010	AMONT	0.0198	0.07422
	Août	2010	AMONT	0.0029	0.0094
	Juillet	2012	AMONT	0.0614	0.2462
<b>PILA - GÉRINE</b>	Juillet	2010	PILA	768.98	2855.67
	Juillet	2012	PILA	0.0934	0.3357
	Décembre	2000	Sarine 4g1S	0.043	0.185
	Décembre	2000	Sarine 5gS	0.099	0.426
	Décembre	2000	Sarine 6gS	90.86	289.3
	Décembre	2000	Sarine 8dS	0.097	0.417
	Avril	2000	Sarine AP1	0.805	-
	Avril	2000	Sarine AP2	2.225	-
	Juin	2007	Pas 8	0.209	0.718
	Juillet	2010	AVAL	2.629	9.03
	Août	2010	AVAL 1	0.534	2.7176
	Août	2010	AVAL 2	0.2845	0.9189
	Août	2010	AVAL 3	0.3055	0.9881
	Août	2010	AVAL 4	0.1694	0.5302
	Novembre	2010	Gérine/Sarine Brut	0.0007	0.0021
	Novembre	2010	Gérine/Sarine Tamisé	0.0244	0.0755
	Mars, EMPA	2012	AVAL	0.1137	0.349
	Mars, EMPA	2012	Gérine	0.0038	0.0138
	Juillet	2012	AVAL	0.0221	0.0717
	Juin	2014	AVAL 1	0.0941	0.3401
Juin	2014	AVAL 2	0.1652	0.6201	
Juin	2014	AVAL 3	0.2751	0.9636	
<b>LAC</b>	-	2007	Pérolles	-	0.59
	Novembre	2010	Pérolles bruts	0.0089	0.0276
	Mars	2009	LAC 11	0.0234	0.0878
	> 0.04 ppm		Nbre valeurs	29	28
	> 0.1 ppm		Minimum	0.0007	0.002
			Maximum	768.98	2855.67

Tableau 2.1 : Concentrations en PCB dans les sédiments de la Sarine

Parmi ces valeurs, 5 concernent le secteur amont de la décharge, 20 le secteur Pila-Gérine et 3 seulement le secteur Gérine-Maigrauge, qui est sous-représenté. 86 % des résultats dépassent la valeur représentative des sédiments non-pollués en Suisse (0.04 ppm, OFEV 2010) et 71 % dépassent la valeur limite (0.1 ppm) de l'OTD (1990) pour les matériaux d'excavation et déblais non-pollués. La majorité des sédiments analysés à ce jour peuvent donc être considérés comme étant pollués par les PCB.

Les valeurs [PCB]<sub>sed</sub> les plus hautes ont été observées à l'aval immédiat de la Pila, alors que les valeurs les plus faibles ont été observées à la confluence Gérine/Sarine dans les sédiments bruts i.e. non tamisés. Une fois tamisés à 0.063 mm, les sédiments à la confluence Gérine/Sarine présentent une [PCB]<sub>sed</sub> (0.0755 ppm

6 indic. x 4.3) égale à environ 36 fois la valeur sans tamisage (0.0021 ppm pour les 6 indic. x 4.3). Cela indique que le mode de préparation et de traitement des échantillons revêt donc un caractère primordial pour permettre une interprétation correcte des résultats d'analyses de sédiment.



Figure 2.1 : Sédiments prélevés et préparés pour analyses : à gauche sédiments bruts et à droite, les sédiments tamisés à 0.063 mm. Tiré de Pronat (2011. Fig.4).

La réduction des 28 valeurs PCB contenus dans le Tableau 2.2 à une moyenne apparaît irréaliste, étant donnée l'ampleur de l'écart type. Par exemple en unités 6 indic x 4.3 (mg/kg), cette moyenne est de  $113 \pm 540$ . Cela indique tout simplement que les teneurs ne peuvent pas être réduites (années et sites confondus) à une valeur moyenne. Il est donc pour l'instant plus convenable de résumer les teneurs en PCB en fréquence de valeurs pour des intervalles données :

Tableau 2.2 : Données sédiments 2010-2014

Intervalles[PCB] <sub>sed</sub> 6 indic. x 4.3 (mg/kg)	Nombre de valeurs dans l'intervalle
0-0.01	2
0.01-0.05	4
0.05-0.10	7

## 2.2 Eaux

### 2.2.1 Analyses ponctuelles des eaux de la Sarine

Des prélèvements d'eau de la Sarine ont été effectués par CSD entre 2008 et 2012, à l'aval immédiat de la décharge : 6 mesures ponctuelles de PCB ont été réalisées. Les valeurs sont rapportées en unités de  $\mu\text{g}$  des 6 indic. x 4.3 (valeur représentative des PCB totaux) par litre d'eau. Les valeurs peuvent être comparées à titre indicatif aux valeurs de concentration de l'Ordonnance sur l'assainissement des sites pollués (OSites 1998) pour l'évaluation des atteintes portées aux eaux par les sites pollués, à savoir 0.1  $\mu\text{g/L}$ . Des 6 valeurs obtenues, la moitié dépasse la valeur de concentration de l'annexe 1 OSites.

Date	Description	Matière en suspension (mg/L)	[PCB] <sub>eau</sub> 6 indic. x 4.3 (µg/L)
Avril 2008	Sarine Aval 00309-08 centrifugé	1.2	1.63
Août 2010	Sarine Aval 00813-10	0.1	0.0129
Août 2010	Sarine Aval 00826-10	10	0.043
Mars 2011	Sarine Aval 00294-11	2.6	2.107
Mars 2011	Sarine Aval 00294-11	0.4	0.0301
Août 2012	Sarine Aval 002446-1	14	0.1806

Tableau 2.3 : Concentrations en PCB dans les eaux à l'aval immédiat de la Pila. Surligné orange : > 0.1 µg/L

### 2.2.2 Capteurs passifs dans la Sarine

Les concentrations en PCB mesurées dans l'eau ([PCB]<sub>eau</sub>) entre 2010 et 2014 à l'aide de capteurs passifs figurent en Annexe A du rapport Pronat 2015. Ces données sont comparées aux résultats obtenus en 2015 et résumées dans le Tableau 2.4 ci-dessous. Les capteurs ont été installés à l'amont de la Pila (AMONT), à l'aval immédiat de la Pila (PILA), ainsi qu'à l'aval de la Pila jusqu'à l'embouchure de la Gérine (PILA-GERINE; PASSERELLE GERINE). Les unités de [PCB]<sub>eau</sub> correspondent à la masse totale en nanogrammes des 6 indicateurs (congénères 28, 52, 101, 138, 153 et 180) multipliés par un facteur 4.3, représentatif des PCB totaux, normalisées par le poids du capteur passif composé de matériel polyméthylsiloxane (6 indic. x 4.3 ng / kg PDMS).

Les valeurs individuelles [PCB]<sub>eau</sub> peuvent être classées selon une échelle établie par Pronat et EMPA (2014), sur la base d'observations faites à l'aide de capteurs passifs dans des cours d'eau en Suisse tels que : la Birse, l'Aar et un cours d'eau alpin dans les Grisons. Parmi les 99 valeurs [PCB]<sub>eau</sub> disponibles, 11% peuvent être considérées comme faibles, 62% moyennes et 27% très élevées. Toutes les valeurs faibles sont observées en amont de la décharge.

	Date	[PCB] <sub>eau</sub> 6 indic. x 4.3 ng/kg PDMS		Date	[PCB] <sub>eau</sub> 6 indic. x 4.3 ng/kg PDMS		Date	[PCB] <sub>eau</sub> 6 indic. x 4.3 ng/kg PDMS				
<b>AMONT</b>	Juin 2010	2'832	<b>PILA</b>	Mars 2014	15'003	<b>PILA-GERINE</b>	Juin 2014	5'416				
	Nov.2010	1'299		Juin 2014	6'518		Juin 2014	5'290				
	Nov.2010	1'258		Juin 2014	8'356		Juin 2014	4'691				
	Juillet 2012	1'312		Oct.2014	15'061		Oct.2014	4'641				
	Juillet 2012	1'772		Oct. 2014	7'287		Oct.2014	4'499				
	Mars 2013	4'136		Avril 2015	3'572		Oct. 2014	5'888				
	Mars 2013	861		Avril 2015	3'630		Oct.2014	8'117				
	Juin 2013	842		Juillet 2015	1'216		Avril 2015	3'198				
	Juin 2013	1'193		Juillet 2015	4'220		Avril 2015	3'785				
	Nov.2013	711		Juin 2010	56'056		Avril 2015	3'114				
	Nov.2013	835	Nov. 2010	22'123	Avril 2015	4'198						
	Mars 2014	827	Nov. 2010	36'717	Juillet 2015	3'731						
	Mars 2014	1'088	Juillet 2012	10'948	Juillet 2015	2'647						
	Juin 2014	835	Juillet 2012	10'961	Juillet 2015	2'969						
	Juin 2014	751	Juillet 2012	14'676	Juillet 2015	4'355						
	Oc.2014	616	Juillet 2012	13'799	Juillet 2012	11'111						
	Oct.2014	1'103	Mars 2013	5'540	Juillet 2012	10'492						
	Avril 2015	153	Mars 2013	4'956	Mars 2013	4'350						
	Avril 2015	1'408	Mars 2013	5'456	Mars 2013	4'593						
	Juillet 2015	153	Mars 2013	5'267	Juin 2013	9'634						
Juillet 2015	686	Juin 2013	8'110	Juin 2013	196'294							
<b>PILA</b>	Juin 2010	11'071'104	<b>PILA-GERINE</b>	Juin 2013	7'983	<b>PASSERELLE GERINE</b>	Nov. 2013	10'593				
	Nov.2010	7'190'608		Juin 2013	10'018		Nov. 2013	10'569				
	Nov.2010	896'244		Juin 2013	8'104		Mars 2014	5'521				
	Juillet 2012	39'104		Nov. 2013	7'032		Mars 2015	5'405				
	Juillet 2012	48'022		Nov. 2013	6'089		Juin 2014	6'486				
	Mars 2013	94'521		Nov. 2013	9'088		Juin 2014	6'479				
	Mars 2013	124'655		Nov. 2013	9'213		Oct.2014	5'552				
	Juin 2013	164'258		Mars 2014	3'922		Oct. 2014	6'631				
	Juin 2013	294'186		Mars 2014	6'235		Avril 2015	1'198				
	Nov.2013	17'242		Mars 2014	8'372		Avril 2015	3'060				
	Nov. 2013	23'713		Mars 2014	9'314		Juillet 2015	5'020				
	Mars 2014	12'655		Juin 2014	3'745		Juillet 2015	5'502				
								Nbre valeurs	99			
								< 1'000 ng/kg Faible	% Faible	11		
								1'000 - 10'000 ng/ kg Moyen	% Moyen	62		
							> 10'000 ng/kg Très élevé	% Élevée	27			

Tableau 2.4 : Concentrations des i-PCB en ng / kg PDMS mesurées dans l'eau selon la classification EMPA et Pronat

Les valeurs [PCB]<sub>eau</sub> les plus élevées ont été observées en Juin et en Novembre 2010 à l'aval immédiat de la Pila. Les capteurs passifs avaient alors été exposés aux eaux de la Sarine pendant 5 et 3 semaines, respectivement. Depuis Juillet 2012, les capteurs passifs sont exposés pendant 2 semaines aux eaux de la Sarine. Entre Juillet 2012 et Juillet 2015, les [PCB]<sub>eau</sub> à l'aval immédiat de la Pila ont diminué malgré certaines irrégularités (valeurs hautes en Mars et Juin 2013). Les valeurs [PCB]<sub>eau</sub> observées à l'aval immédiat de la Pila en Juin 2014, en Avril 2015 et en Juillet 2015 étaient en-dessous de 10'000 6 indic. x 4.3 ng/kg PDMS. Cette diminution fait suite à la réalisation des mesures préliminaires à l'assainissement finalisées en octobre 2013.

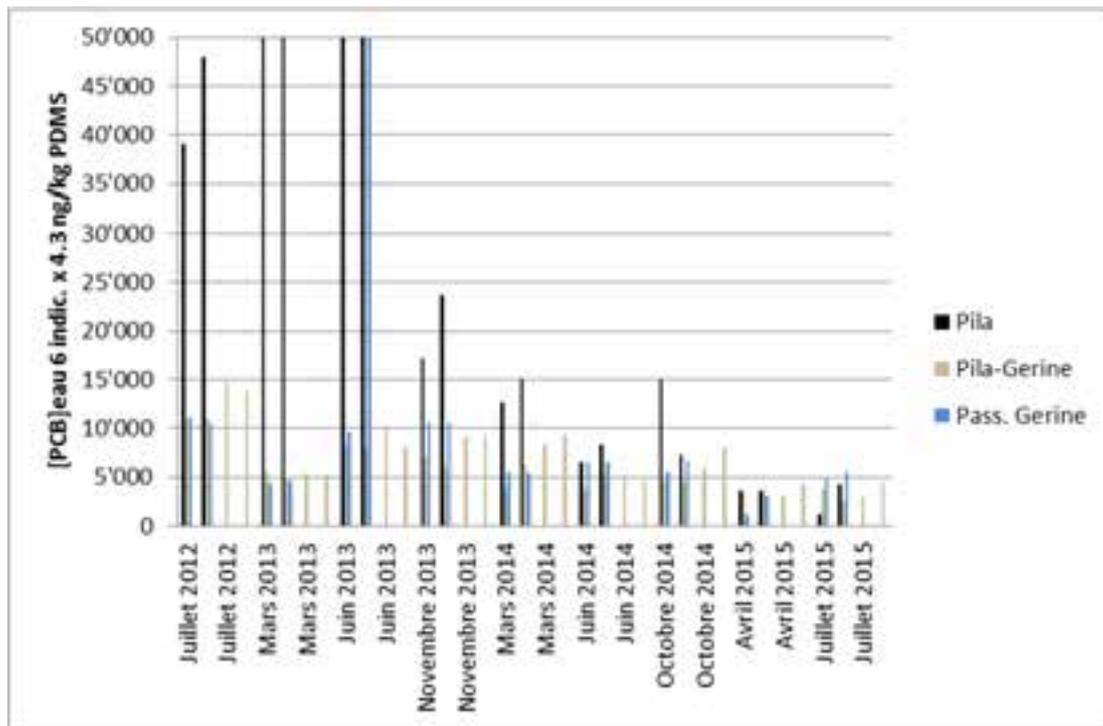


Figure 2.2 : Évolution temporelle des [PCB]<sub>eau</sub> mesurée à l'aide de capteurs passifs à l'aval immédiat de la Pila (Pila), dans le segment Pila-Gérine ainsi qu'à l'aval de la passerelle située à l'embouchure de la Gérine (Pass. Gérine). À noter que les valeurs [PCB]<sub>eau</sub> dépassent 50'000 6 indic. x 4.3 ng/ kg PDMS en Mars et en Juin 2013.

Bien qu'elles ne soient pas représentées sur le Tableau 2.4, les valeurs de [PCB]<sub>eau</sub> sont également disponibles en unités dioxines-like (dl). Pour chaque campagne de capteurs passifs, des duplicata (mesures doubles) ont été effectuées. La valeur moyenne, l'écart type, les valeurs minimales (moyenne - écart type ; MIN) et maximales (moyenne + écart type, MAX) ainsi que les écarts types relatifs (écart type / moyenne) des mesures associées aux campagnes de 2013 à 2015 sont contenus dans le Tableau 2.5.

Tableau 2.5 : Aperçu des précisions associées aux mesures de capteurs passifs entre 2013 et 2015

Année	Mois	Site	Moyenne	Écart type		MIN	MAX	Écart type
				absolu	relatif (%)			
2012	Juillet	Pila	10'131	1'467		8'664	11'598	14
2013	Mars	Pila	25'486	4'955		20'530	30'441	19
2013	Juin	Pila	53307	21'366		31'942	74'673	40
2013	Novembre	Pila	4762	1'064		3'698	5'826	22
2014	Mars	Pila	3216	386		2'830	3'602	12
2014	Juin	Pila	1730	302		1'427	2'032	17
2014	Octobre	Pila	2599	1'278		1'320	3'877	49
2015	Avril	Pila	827	25		802	851	3
2015	Juillet	Pila	742	178		563	920	24
2012	Juillet	Aval 1	2'548	2		2'545	2'550	0
2013	Mars	Aval 1	1'220	96		1'124	1'316	8
2013	Juin	Aval 1	1871	21		1'850	1'892	1
2013	Novembre	Aval 1	1526	155		1'371	1'681	10
2014	Mars	Aval 1	1181	380		801	1'561	32
2014	Juin	Aval 1	1065	275		790	1'340	26
2014	Octobre	Aval 1	1063	23		1'039	1'086	2
2015	Avril	Aval 1	903	103		800	1'006	11
2015	Juillet	Aval 1	852	228		624	1'080	27
2012	Juillet	Aval 2	3'311	144		0	6'622	4
2013	Mars	Aval 2	1247	31		1'216	1'278	2
2013	Juin	Aval 2	2107	315		1'792	2'422	15
2013	Novembre	Aval 2	2128	21		2'107	2'149	1
2014	Mars	Aval 2	2057	155		1'902	2'211	8
2014	Juin	Aval 2	1161	98		1'062	1'259	8
2014	Octobre	Aval 2	1628	367		1'262	1'995	23
2015	Avril	Aval 2	860	164		696	1'024	19
2015	Juillet	Aval 2	1090	109		981	1'199	10
2012	Juillet	Pass.	2'512	102		2'410	2'614	4
2013	Mars	Pass.	1040	40		1'000	1'080	4
2013	Juin	Pass.	23945	30'695		-6'750	54'640	128
2013	Novembre	Pass.	2461	4		2'457	2'465	0
2014	Mars	Pass.	1271	19		1'251	1'290	2
2014	Juin	Pass.	1507	1		1'506	1'509	0
2014	Octobre	Pass.	1417	177		1'239	1'594	13
2015	Avril	Pass.	718	9		709	727	1
2015	Juillet	Pass.	1266	18		1'248	1'285	1

Pour la campagne de Juin 2013 à proximité de la passerelle de Marly (site *Pass.*), la valeur moyenne n'est pas représentative de la réalité puisque l'écart type relative est supérieur à 100% (valeur surlignée en rouge dans le Tableau 2.5). La présence d'un condensateur à proximité de l'un des capteurs semble avoir mené à cet écart important. L'écart type relative est cependant inférieure à 50 % sur l'ensemble des données et diminue du site *Pila* jusqu'au site *Pass.* Cela peut s'expliquer par l'influence de déchets entiers, plus probable à proximité de la Pila. Une diminution significative des teneurs PCB mesurées par les capteurs passifs au fil du temps est confirmée, par exemple au site Pila entre Juillet 2012 ( $10'131 \pm 1'467$  ng/kg PDMS) et Juillet 2015 ( $742 \pm 178$  ng/kg PDMS).

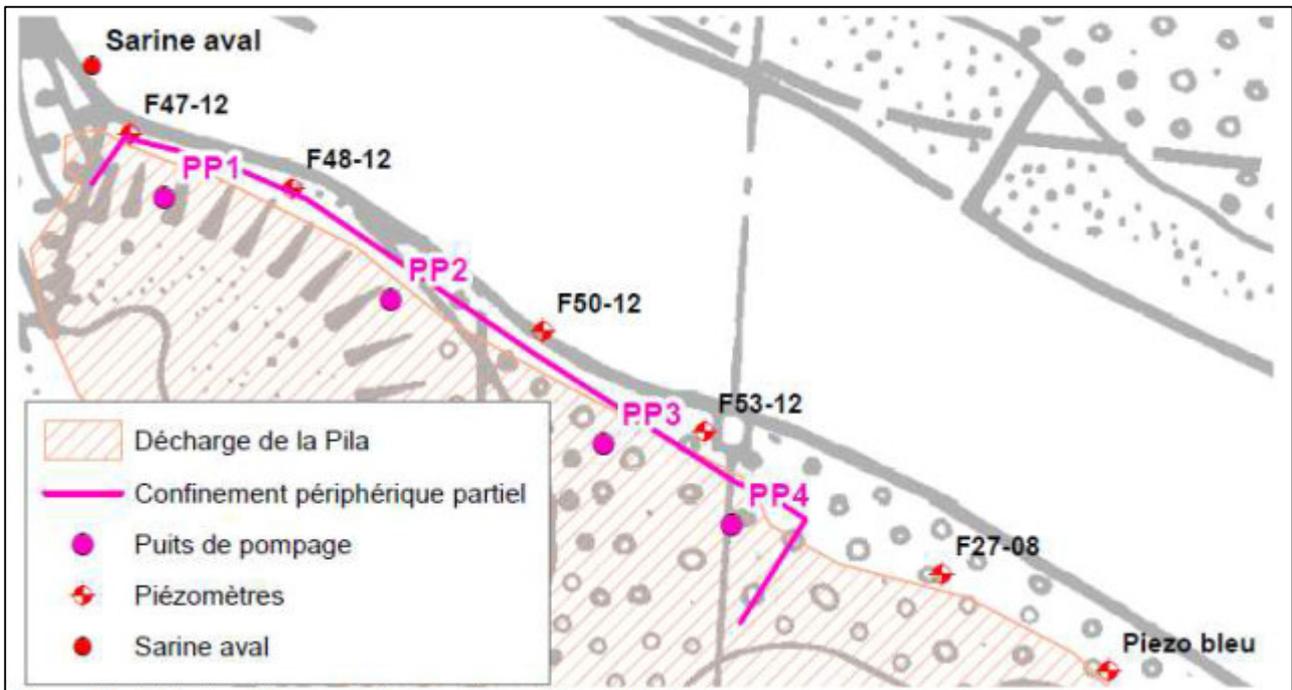
## 2.2.3 Eaux souterraines

Le rapport technique de 2015 concernant la surveillance des eaux souterraines (18) résume les résultats d'analyse de 2014/15 et les compare avec ceux des années 2010, 2011 et 2015.

Les points de prélèvement sont représentatifs de :

- l'aval de la zone haute (à l'extérieur de la zone confinée) : F48-12, F50-12, F53-12 ;
- ped de la zone haute, à l'intérieur du confinement : puits PP1, PP2, PP3, PP4 ;
- aval de la zone basse : Piezo bleu, F27-08.

Les points de prélèvement selon a) et c) sont représentatifs pour l'évaluation du site selon art. 9 OSites.



Le programme d'analyses englobe les substances ayant dépassé régulièrement les valeurs de concentrations selon annexe 1 OSites : l'ammonium, le chlorure de vinyle et les PCB.

Ces dépassements peuvent être observés principalement au niveau des puits PP1, PP2, PP3 et PP4 (situés à l'aval de la zone haute à l'intérieur du confinement) ; les teneurs analysées au piézomètre F48-12 ne sont pas considérées comme représentatives.

La méthode analytique des PCB est conforme aux exigences de la directive de l'OFEV (2013) : décantation de l'échantillon durant 24 h (au frigo) puis prélèvement du surnageant et analyse par GC-MS avec une LQ de 0.002 µg/l par congénère.

Afin d'évaluer l'importance de la phase particulaire sur les teneurs en PCB dans les eaux souterraines non-filtrées, un premier test a été effectué en novembre 2015 en collaboration avec l'EMPA (cf. rapport (18)). En parallèle à la campagne de surveillance prévue pour la période des basses eaux 2015, des échantillons supplémentaires ont été prélevés par les spécialistes de l'EMPA, ce qui permet la comparaison entre 2 méthodes de conditionnement et d'analyse (méthode recommandée par l'OFEV et méthode EMPA). Les étapes principales de la méthode EMPA sont les suivantes :

- a) Fraction particulaire : séparation de la fraction particulaire par filtration de l'échantillon sur filtre en fibres de verre à 1 µm. Séchage pendant plusieurs heures à 40 - 50°C avant extraction au dichlorométhane.
- b) Phase dissoute : concentration sur une cartouche (*SPE, Phenomenex 500 mg Strata-XL 100u Polymeric Reversed Phase*) retenant les PCB dissous. Récupération des PCB dissous concentrés par élution d'hexane.

La comparaison des résultats d'analyse des 2 méthodes permet de tirer plusieurs conclusions qui doivent être vérifiées par les investigations complémentaires prévues:

- c) L'échantillon décanté n'est pas entièrement libre de la fraction particulaire / colloïdes.
- d) La méthode EMPA prévoit la filtration à 1 µm. En comparant avec un échantillon décanté, la fraction particulaire < 1 µm se trouve dans la partie « phase dissoute » de l'échantillon.
- e) Pour les échantillons contenant de faibles à très faibles concentrations en particules fines, la limite de quantification augmente suite à l'utilisation plus importante de solvants et d'appareils de laboratoire (sources de contamination en PCB) (information orale, EMPA). Ceci a comme conséquence que les teneurs PCB<sub>part</sub> pour les échantillons ne contenant que de faibles concentrations en particules fines ne peuvent pas être déterminées.
- f) Le prélèvement au puits PP1 a montré que les concentrations en MES peuvent fortement varier au cours de la purge (au PP1 ceci est principalement lié à la présence d'oxyde de fer produit lors du pompage dans les puits). Il n'est pas exclu que cet effet se produise sur tous les points de prélèvement. Par conséquent, les concentrations en PCB liées à la fraction particulaire dépendent non seulement de la méthodologie d'échantillonnage mais aussi du timing de l'échantillonnage. Les analyses MES des campagnes de 2014 et 2015 montrent que les teneurs MES dans les piézomètres peuvent varier d'un facteur compris entre 50 et 100 entre les campagnes ; pour les puits, les valeurs varient jusqu'à un facteur de 200 (à noter que les MES analysées par Wessling englobent les fines ≥0.45 µm). Ceci indique une variabilité essentiellement liée aux caractéristiques d'échantillonnage (un critère « naturel » induisant une variation de la turbidité liée au marnage de la Sarine est estimée comme étant faible, mais nécessite d'être vérifié).
- g) Les teneurs en PCB analysées par Wessling sont d'un facteur 3-4 supérieures à celles de l'EMPA. Une comparaison entre les résultats d'analyse Wessling et EMPA pour la campagne de novembre 2015 n'est que partiellement valable : selon information orale de l'EMPA, une différence d'un facteur 3-4 entre les teneurs analysées est explicable par le fait qu'il ne s'agit pas d'échantillons identiques.
- h) On n'observe pas de relation linéaire et constante entre les teneurs PCB<sub>part</sub> et PCB<sub>diss.</sub> (avec PCB<sub>part</sub> ↑ les PCB<sub>diss.</sub> ↑). De plus le test virtuel montre que le PCB<sub>part</sub> et le PCB<sub>diss.</sub> ne se

trouvent pas dans un équilibre thermodynamique, ce qui démontre encore que les particules fines sont libérées lors du pompage.

- i) Malgré les incertitudes au niveau de l'échantillonnage, les résultats d'analyse des points les plus pollués (puits PP1 et PP4) permettent de conclure que les teneurs PCB<sub>part</sub> des échantillons chargés en particules fines sont assez similaires.
- j) Les teneurs PCB<sub>part</sub> ne contribuent, indépendamment du nombre de particules, que très peu à la teneur totale en PCB dans les eaux souterraines. Pour des concentrations négligeables en PCB<sub>diss</sub>, les teneurs des PCB<sub>part</sub> sont dans le même ordre de grandeur ; pour les concentrations élevées en PCB<sub>diss</sub>, les teneurs PCB<sub>part</sub> sont insignifiantes.

Ces résultats mettent en évidence des interrogations qui devront être levées dans la suite des études :

- Vérification par analyse complémentaire de l'importance des teneurs PCB<sub>part</sub> par rapport aux teneurs PCB<sub>diss</sub>.
- Influence de la méthode de purge / prélèvement sur la variabilité des particules fines. Autres sources influençant la turbidité.
- Provenance des particules fines.
- Validation / adaptation de la méthode EMPA et analyses comparatives avec méthode recommandée par l'OFEV.
- Limite de quantification pour PCB<sub>part</sub> et PCB<sub>diss</sub>

## 2.3 Faune benthique

Les concentrations en PCB mesurées dans les gammares ([PCB]<sub>gam</sub>) se trouvent en Annexe D du rapport Pronat 2015 et sont résumées dans le Tableau 2.6

	Date	Description	[PCB] <sub>gam</sub> 6 indic. x 4.3 (pg/g)	[PCB] <sub>gam</sub> 12 dl (pg/g)
AMONT	Août 2010	Amont STEP, M3	69'285.90	11'037
	Août 2010	Amont PILA, M2	63'661.50	7'329
	Octobre 2010	Amont STEP, M3	11'877	985
	Octobre 2010	Amont PILA, M2	16'740	1'434
	Juin 2014	Amont STEP, M3	14'310	1'270
PILA-PEROLLES	Juin 2009	Aval Pila, LAC 12	-	276'969
	Août 2010	Aval Pila, M1	7'938'703.00	1'096'103
	Octobre 2010	Aval Pila, M1	899'762	121'318
	Juin 2014	Aval Pila M1	658'386	90'555
	Novembre 2010	Pont Pérolles	93'757	10'262

Tableau 2.6 : Concentration en PCB dans les gammares

Sur la base des 3 valeurs de concentrations mesurées au point Pila M1, il semble y avoir une diminution entre août 2010 et juin 2014. Cette diminution a été confirmée par les mesures de novembre 2015 (selon CSD 2016 – Décharge La Pila. Surveillance des eaux souterraines selon OSites 2014-2018).

Des mesures de PCB ont été faites sur des biofilms échantillonnés en Juillet 2013 sur des galets de la Sarine, entre la Pila et l'embouchure de la Gérine. Ces résultats, exprimés en  $\mu\text{g}$  somme des 6 indicateurs /  $\text{m}^2$  surface de galets, sont résumés à la Figure 15 du rapport BRGM (2014). Les valeurs à l'aval immédiat de la Pila (environ 90 à 140  $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ) sont plus élevées que celles des prélèvements effectués aux deux autres sites situés plus en aval (entre environ 1 et 11  $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ).

## 2.4 Analyses de poissons

Des poissons ont été pêchés et analysés entre 2007 et 2014 dans le segment de la Sarine compris entre "La Cua" et "Lac de Pérolles" ; au total 92 valeurs de concentrations en PCB sont disponibles. Ces valeurs peuvent être comparées aux valeurs critiques citées dans le document intitulé « PCB et dioxines dans les denrées alimentaires » publié par l'Office fédéral de la santé publique (OFSP) le 8 octobre 2013 et disponible en ligne. À la page 4/5 de ce document, on peut lire : « La Suisse applique les mêmes valeurs maximales que l'UE pour la somme des dioxines et des PCB de type dioxine (somme PCDD/F + cPCB) [c ]. Pour le poisson, elle se situe entre 6.5 à 20 pg TEQ/g (à l'état frais). » Ces valeurs cibles poisson - entre 6,5 et 20 pg TEQ/g (à l'état frais) - sont considérées dans le présent rapport. Des 92 valeurs disponibles pour la Sarine, 71 % dépassent la valeur 6.5 pg TEQ/g, alors que 33% dépassent la valeur 20 pg TEQ/g.

	Description	OMS(05)-TEQ (pg/g)		Description	OMS(05)-TEQ (pg/g)		Description	OMS(05)-TEQ (pg/g)	
AMONT	La Cua 2007	3	PILA-GERINE	Gérine-Invua 2010	49.3	GERINE-PEROLLES	Lac Péroilles 2014	8.8	
	Pré d'en-Bas 2008	4.6		Gérine-Invua 2010	58.9		Lac Péroilles 2014	20.3	
	Pré d'en-Bas 2008	5.4		Gérine-Invua 2010	11.3		Lac Péroilles 2014	8.9	
	Pré d'en-Bas 2008	5.8		Gérine-Invua 2010	53.9		Lac Péroilles 2014	7.1	
	Pré d'en-Bas 2008	3.2		Gérine-Invua 2010	134.8		Lac Péroilles 2014	15.1	
	Hauterive 2012	0.2		Gérine-Invua 2010	5.3		Lac Péroilles 2014	45.2	
	Hauterive 2012	0.1		Gérine-Invua 2010	47.1		Lac Péroilles 2014	8.6	
	Hauterive 2007	2.5	Gérine-Invua 2010	17	Lac Péroilles 2014		25		
	Hauterive 2007	0.5	Invua 2007	6.2	Lac Péroilles 2014		29.7		
	Hauterive 2007	2.7	Invua 2009	12.8	Lac Péroilles 2014		9.5		
	Hauterive 2007	3.8	Invua 2010	105.9	Lac Péroilles 2014		12.3		
	Hauterive 2007	7	Riedelet 2014	10.4	Lac Péroilles 2010		42		
	PILA-GERINE	La Pila 2007	18.2	GERINE-PEROLLES	Riedelet 2014		6.8	Lac Péroilles 2010	31.2
		La Pila 2007	12.7		Planafaye 2007		7.6	Lac Péroilles 2010	42.5
La Pila 2007		23.7	Planafaye 2009		5	Lac Péroilles 2010	5.8		
Passerelle 2014		22.3	Planafaye 2009		9	Lac Péroilles 2010	19.3		
La Pila 2007		7.9	Planafaye 2010		41.8	Lac Péroilles 2010	10.2		
La Pila 2007		24.5	Planafaye 2010		23.4	Lac Péroilles 2010	13.9		
La Pila 2007		41.1	Planafaye 2010		42.5	Lac Péroilles 2010	24.9		
Marly 2013		3.2	Planafaye 2013		1.9	Lac Péroilles 2010	4.6		
Marly 2013		3.5	Planafaye 2013		4	Lac Péroilles 2010	7.2		
Marly 2014		7.8	Planafaye 2013		3.5	Lac Péroilles 2010	7.3		
Marly 2014		4.3	Planafaye 2013		3.3	Lac Péroilles 2010	8.2		
Marly 2014		42.6	Planafaye 2014		9.1	Lac Péroilles 2010	25.8		
Marly 2014		3.2	Planafaye 2014		1.2	Lac Péroilles 2010	11.7		
Marly 2014		2.2	Creux du Loup 2014		12.2	Lac Péroilles 2010	28		
Marly 2014		2.2	Creux du Loup 2014		30.7	Lac Péroilles 2010	26.6		
Marly 2014		7.9	Bois de la Pila 2007		14.1	Lac Péroilles 2010	32.5		
Gérine-Invua 2010		103.9	Lac Péroilles 2014		12.6	Lac Péroilles 2010	23.8		
Gérine-Invua 2010		15.5	Lac Péroilles 2014		9.7	Lac Péroilles 2010	9.2		
			Lac Péroilles 2014		12.6	Lac Péroilles 2010	35.3		
		> 6.5 OMS(05)-TEQ pg/g			OMS(05)-TEQ (pg/g)			% >	
		> 20 OMS(05)-TEQ pg/g			6.5			71	
					20			33	

Tableau 2.7 : Concentrations de PCB dans les poissons

Dans la mesure où les poissons sont mobiles, il est difficile de les associer à des segments (Pila-Gérine et Gérine-Maigrage) comme pour l'eau ou les sédiments. Dans une certaine mesure, les [PCB]<sub>poissons</sub> sont supposés refléter les [PCB] des sédiments, des gammares et de l'eau. Puisque les [PCB]<sub>poissons</sub> ne semblent pas clairement diminuer avec le temps (2010-2014) contrairement aux [PCB]<sub>eau</sub> mesurées dans les capteurs passifs, les sédiments pourraient jouer un rôle plus déterminant que l'eau. Les unités [PCB]<sub>poissons</sub> sont en OMS(05)TEQ pg/g, alors que les unités [PCB]<sub>sed</sub> sont le plus souvent en 6 indic x 4.3 ou 7 indic. Pour permettre une comparaison entre les poissons et les sédiments, une conversion d'unités sera nécessaire. Celle-ci peut se baser sur le Tableau 2.8 (OFEV 2010) ou encore être déterminée sur quelques échantillons de sédiments pour lesquels tous les PCB (7 indic. et dl) ont été analysés.

Tab. 5 > Facteurs de conversion pour le calcul des valeurs estimatives de la somme des concentrations de dl-PCB et de 6 i-PCB

Conversion de ...	Conversion en ... dl-PCB (TEQ-OMS) [en pg/g]	Conversion en ... somme de 6 i-PCB [en ng/g]
dl-PCB (TEQ-OMS) [en pg/g]	1	8,79
somme de 3 i-PCB [en ng/g]	0,136	1,20
somme de 6 i-PCB [en ng/g]	0,114	1
somme de 7 i-PCB [en ng/g]	0,0965	0,874

Tableau 2.8: Facteurs de conversion dl-PCB et 6i PCB

## 2.5 Flux de polluants dans la Sarine

Les flux de PCB sortant de la décharge sont illustrés à la Figure 2.3 (CSD 2008) ci-dessous. Les flux entrants en contact avec la Sarine incluent notamment le transport solide, l'érosion des berges, les glissements de terrain et l'exfiltration de tous les flux entrants (ex. infiltration/percolation, apports depuis l'amont) par les eaux souterraines. Parmi ces flux, l'exfiltration par les eaux souterraines est celui qui a fait l'objet du plus grand nombre d'essais de quantification.

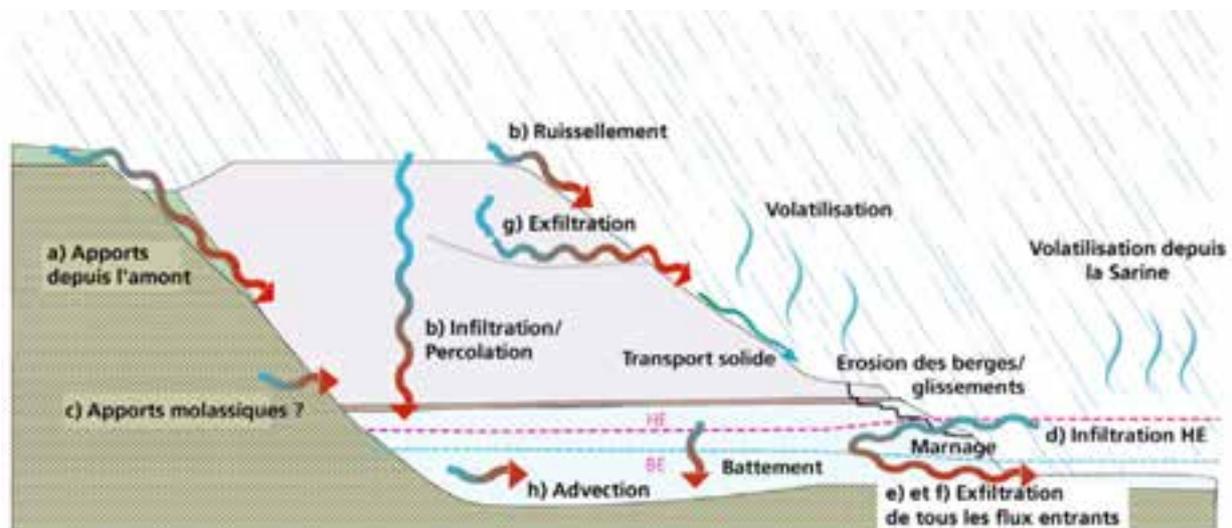


Figure 2.3 : Schéma des flux de polluants de la décharge vers la Sarine.

L'exfiltration des PCB vers la Sarine par les eaux souterraines de la décharge a d'abord été estimée entre 0.04 et 0.235 kg /an par CSD (2007), puis entre 0.4 et 0.5 kg/an par CSD (2008), ensuite à environ 0.116 kg/an par modélisation hydrogéologique par CSD (2009) et finalement à environ 0.148 kg/an par BRGM (2012). Selon le modèle hydrogéologique de 2009, plus de 90% des masses de PCB s'exfiltrent de la zone haute, schématisée par les secteurs 1, 2, 3 et 4 à la Figure 2.4.

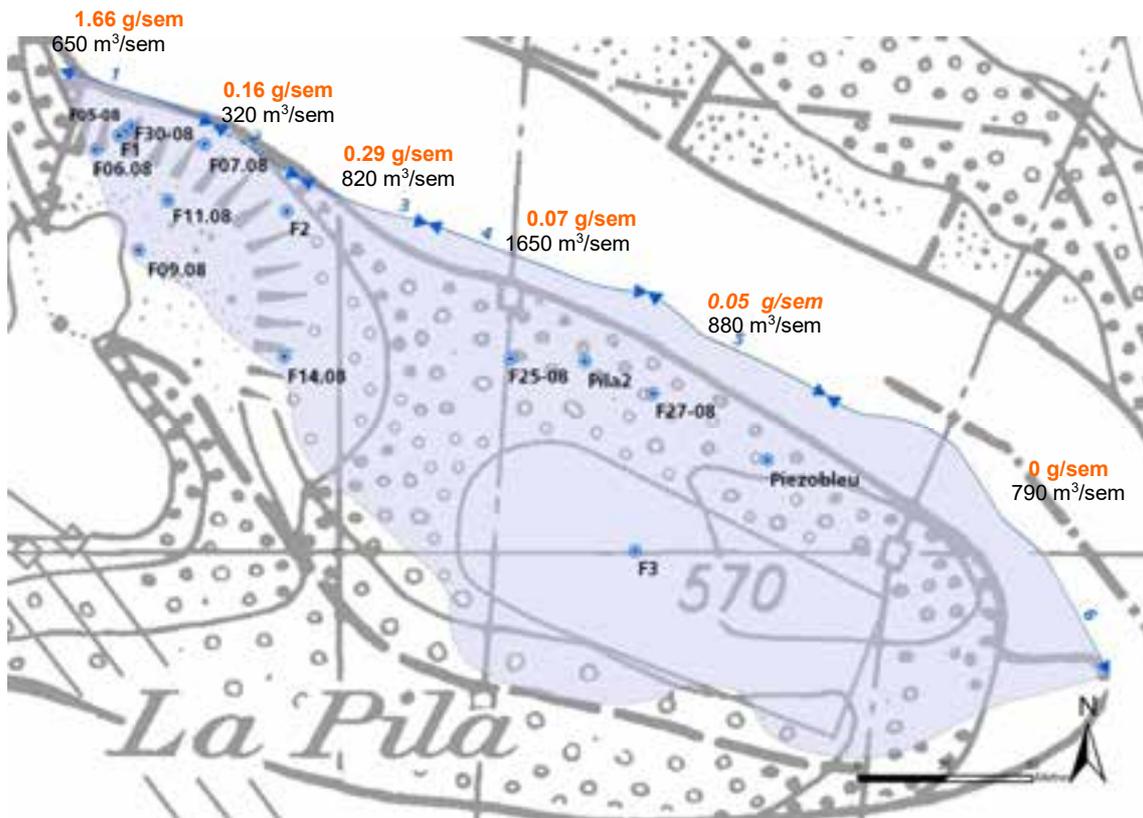


Figure 2.4 : Flux sortants d'eau (noir) et de PCB (orange) s'exfiltrant de la décharge vers la Sarine, séparés par secteurs.

Pour mémoire, les hypothèses suivantes ont été considérées pour estimer les flux de PCB exportés par les eaux souterraines :

#### Hypothèses sur les flux d'eau et leur répartition

- Utilisation des volumes simulés à partir des données d'une semaine de juin 2008 et extrapolation sur une année.
- Répartition des volumes sortants selon les différents tronçons issus de la modélisation.

#### Hypothèses sur les teneurs en PCB

- Application des teneurs en PCB mesurées dans 6 piézomètres du bord aval sur les différents tronçons.
- Pour chaque piézomètre, utilisation des teneurs moyennes de tous les résultats d'analyses effectuées sur des échantillons non centrifugés. Teneurs inférieures à la limite de quantification égales à zéro. Pour les piézomètres F05-08, F07-08 et F2, l'application des teneurs sur les échantillons non centrifugés est justifiée par leur similitude avec les teneurs mesurées sur une exfiltration s'écoulant directement dans la Sarine. Pour les autres piézomètres l'application des teneurs sur les échantillons non centrifugés a été décidée afin de disposer de teneurs moyennes basées sur un plus grand nombre de mesures ; la sensibilité de l'estimation en fonction d'autres hypothèses a été évaluée.
- Pour les piézomètres F05-08, F07-08 et F2, application de la teneur moyenne en PCB sur la totalité du flux sortant. Ce choix est justifié par le faible échange avec la Sarine et par l'influence prépondérante et constante du flux amont.

- Pour les piézomètres Pila 2, F27-08 et Piézo-bleu, application de la teneur moyenne en PCB sur 40% du volume, correspondant au volume sortant le week-end "chargé" en lixiviats. Pour le 60% du volume sortant la semaine, la teneur est considérée égale à zéro.
- Pour le segment n°6, à l'amont de Piézo-bleu, la teneur est considérée égale à zéro pour le 100% du volume sortant.

Les résultats de l'estimation, détaillés dans Figure 2.4 et le

Tableau 2.9 donnent une quantité de PCB exporté de 2.23 grammes par semaine, soit **116 grammes par an**. La teneur moyenne, rapportée au volume sortant total, hors segment n°6, est de 0.52 microg/L.

		Teneur moyenne <sup>1</sup> PCB totaux microg/L	g/sem. exportés	% flux total
Segment n°1	F05-08	2.56	1.66	74%
Segment n°2	F07-08	0.50	0.16	7%
Segment n°3	F2	0.36	0.29	13%
Segment n°4	Pila 2	0.11	0.07	3%
Segment n°5	F27-08	0.02	0.05	2%
	Piézo bleu	0.26		
Segment n°6	-	0	0	0%
Total :			2.23	

Tableau 2.9 Détails de l'estimation des flux de PCB exportés par les eaux souterraines CSD 2009

En considérant les estimations successives de 2007 à 2012, nous pouvons considérer que les flux de PCB exportés par les eaux souterraines dans la Sarine sont situés dans une fourchette de 40 à 500 grammes par année.

Le suivi de l'installation de pompage et traitement donne également quelques indications sur une partie des flux de polluants qui circulent dans les eaux souterraines. Les charges de matière en suspension, ammonium et PCB éliminés par l'installation de traitement sont calculées sur la base des analyses mensuelles de suivi. Ces flux traités représentent, dans une certaine mesure, des quantités de polluants qui auraient été exportés dans la Sarine sans la réalisation des mesures préliminaires à l'assainissement. Au total, entre les mois d'octobre 2012 et de décembre 2014, la station a traité environ 480 kg d'ammonium, 67 g de PCB et 300 kg de matière en suspension (CSD 25.03.2015).

Le rapport CSD (2015) - suivi des mesures préliminaires, relève qu'« *En comparant l'estimation de l'exportation par les eaux souterraines et les quantités traités, on remarque que les PCB traités représentent en moyenne 23% du flux annuel estimé pour le secteur* ». Cette différence a suscité des questions de l'OFEV dans la prise de position du 5.02.2016 concernant le cahier des charges des études complémentaires du 30.10.2015.

Selon le modèle, le volume d'eau exporté annuellement dans la Sarine avant la réalisation des mesures préliminaires est estimé à 180'000 m<sup>3</sup> sur les segments 1 à 4 dans lesquels se situe la paroi de palplanches.

<sup>1</sup> Echantillons non centrifugés, toutes analyses de 2004 à 2009

Le système de pompage et traitement a pour fonction de maintenir un gradient de la Sarine en direction de la décharge. Le volume moyen pompé annuellement pour atteindre cet objectif est d'environ 27'000 m<sup>3</sup>, soit 15% du volume exporté auparavant.

Cette différence s'explique d'une part par le captage du flux amont et, d'autre part, par la réalisation de la paroi de palplanches et le pompage, ce qui a quasiment stoppé les flux d'eau vers la Sarine d'échange avec la Sarine. Pour mémoire, le flux d'eau exporté au travers de la paroi de palplanches a été estimé à environ 60 m<sup>3</sup> par année (CSD 2015 - Suivi du flux amont et des puits de pompage automne 2012 – automne 2014).

La réduction du flux amont a également permis de diminuer les écoulements pouvant traverser les déchets. La diminution du niveau de pollution n'est cependant pas clairement identifiable en PP1. Nous constatons également que ce point reste déterminant et que les masses de PCB issues des puits PP2 à PP3 sont faibles à nulles.

En conclusion, les modifications des conditions hydrogéologiques consécutives à la réalisation des mesures préliminaires ont conduit à une diminution des apports d'eau et des flux d'échange. La masse de PCB traitée dans l'installation en 2014 et 2015 est cohérente avec cette diminution des volumes d'eau. »

Pour ce qui est des flux de type « solide », ils ont uniquement été estimés pour la zone haute par CSD en 2008. Un glissement de terrain remarqué en 2008 à l'aval immédiat de la décharge (secteur 1 de la figure ci-dessus) a occasionné une exportation de PCB vers la Sarine, qui est estimé à environ 4.7 kg. En considérant l'érosion des sols sur la zone haute, les flux de PCB liés au « transport solide » ont été estimés entre environ 0.35 et 1.05 kg/an.

Les autres polluants présents dans la décharge sont également exportés dans la Sarine, soit par les eaux souterraines, soit par des transferts directs de déchets en cas de glissements de terrain.

Compte tenu du caractère déterminant des PCB, les flux des autres polluants selon OSites n'ont pas été estimés. Pour la plupart des paramètres, les concentrations mesurées dans les eaux souterraines sont en effet presque toujours en dessous des limites de quantification du laboratoire.

Dans le cadre du suivi de l'installation de traitement (CSD 2015) une analyse large spectre des composés organiques a été également effectuée. En plus des PCB, cette analyse a aussi permis de détecter la présence de différentes substances utilisées comme additifs dans la fabrication des plastiques (Bisphénol A, phtalate, dérivés de Benzenesulfonamide, tributylphosphate) et de détecter la présence de propylphenazone, substance active d'un médicament anti inflammatoire/analgésique/antipyrétique.

## 2.6 Comportement des PCB dans la Sarine

Les PCB sont très faiblement solubles dans l'eau ; par exemple dans des conditions contrôlées à 25°C, la solubilité du congénère 52 est d'environ 30 µg/L alors que la solubilité du congénère 185 est d'environ 0.46 µg/L (Shiu et Mackay, 1986). Il est alors raisonnable de suspecter une association des PCB à la matière solide dans la Sarine. Le transport de matière solide a été modélisé dans la rivière Sarine en 2008 (Michon, 2008, Figure 2.5). Cette modélisation ciblait les sédiments fins et avait pour but d'identifier les zones susceptibles d'être polluées par les PCB, entre la Pila et le Lac de Pérolles. Plusieurs zones de dépôts de sédiments fins ont été identifiées, incluant la confluence Glâne, une zone située devant l'Impasse d'Invua, la confluence Glâne, l'entrée du Lac de Pérolles en amont du Pont de Pérolles ainsi que le Lac de Pérolles lui-même. Des observations visuelles de particules fines et de vitesses de courants relativement basses à ces endroits ont confirmé le modèle.

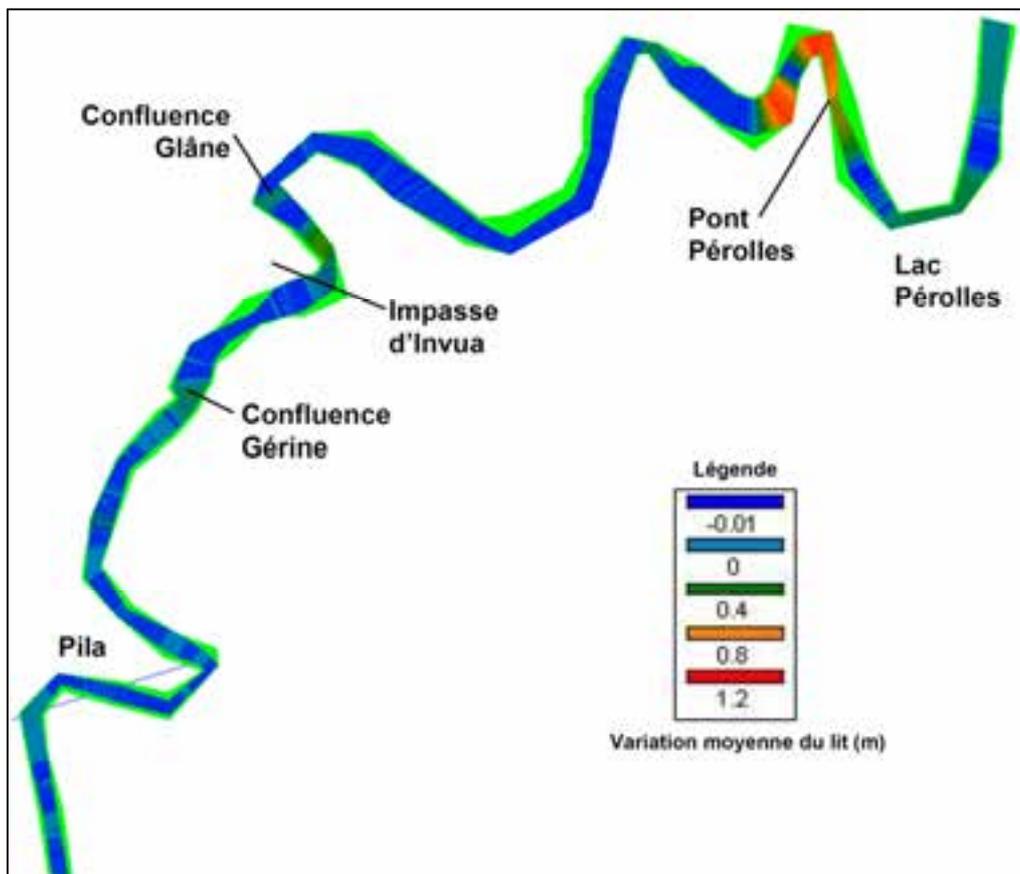


Figure 2.5 : Simulation d'accumulation de sédiments fins pour un débit de 120 m³/s sur 1 an. Les zones de dépôt sont désignées par des couleurs vert foncé, orange et rouge. Des simulations avec des débits 30 m³/s et 60 m³/s sont aussi disponibles. Avec ces débits, les variations du lit sont moins prononcées mais les zones d'accumulation restent les mêmes.

Dans l'ensemble du Lac de Pérolles et sur une échelle temporelle de quelques dizaines d'années, l'accumulation de sédiment apparaît relativement faible et particulièrement hétérogène, tant spatialement que temporellement. Les cartes bathymétriques du Lac de Pérolles effectuées par le Groupe E montrent globalement une augmentation du volume d'eau (et donc d'une diminution du volume de sédiment) entre 1999 et 2007. Cette diminution globale du volume de sédiment (-34'320 m³) va à l'encontre de l'idée d'accumulation constante dans le Lac de Pérolles et est potentiellement attribuable à la crue d'août 2005.

Sur la photo ci-dessous, prise le 22 août 2005, les eaux sortant de l'évacuateur de crues semblent colorées (chargées de particules en suspension).



Figure 2.6 : Aperçu de la remise en suspension de matières solides lors de la crue d'août 2005

Les relevés bathymétriques du Groupe E mettent aussi en évidence la grande hétérogénéité spatiale de la dynamique sédimentaire du Lac de Pérolles. Une accumulation de sédiment est observée à certains endroits (couleurs rose, rouge et violet sur la Figure 2.7 ci-dessous) alors qu'une perte de sédiment est observée à d'autres endroits (couleurs jaune, orange et brun sur la carte ci-dessous) entre 1999 et 2007.

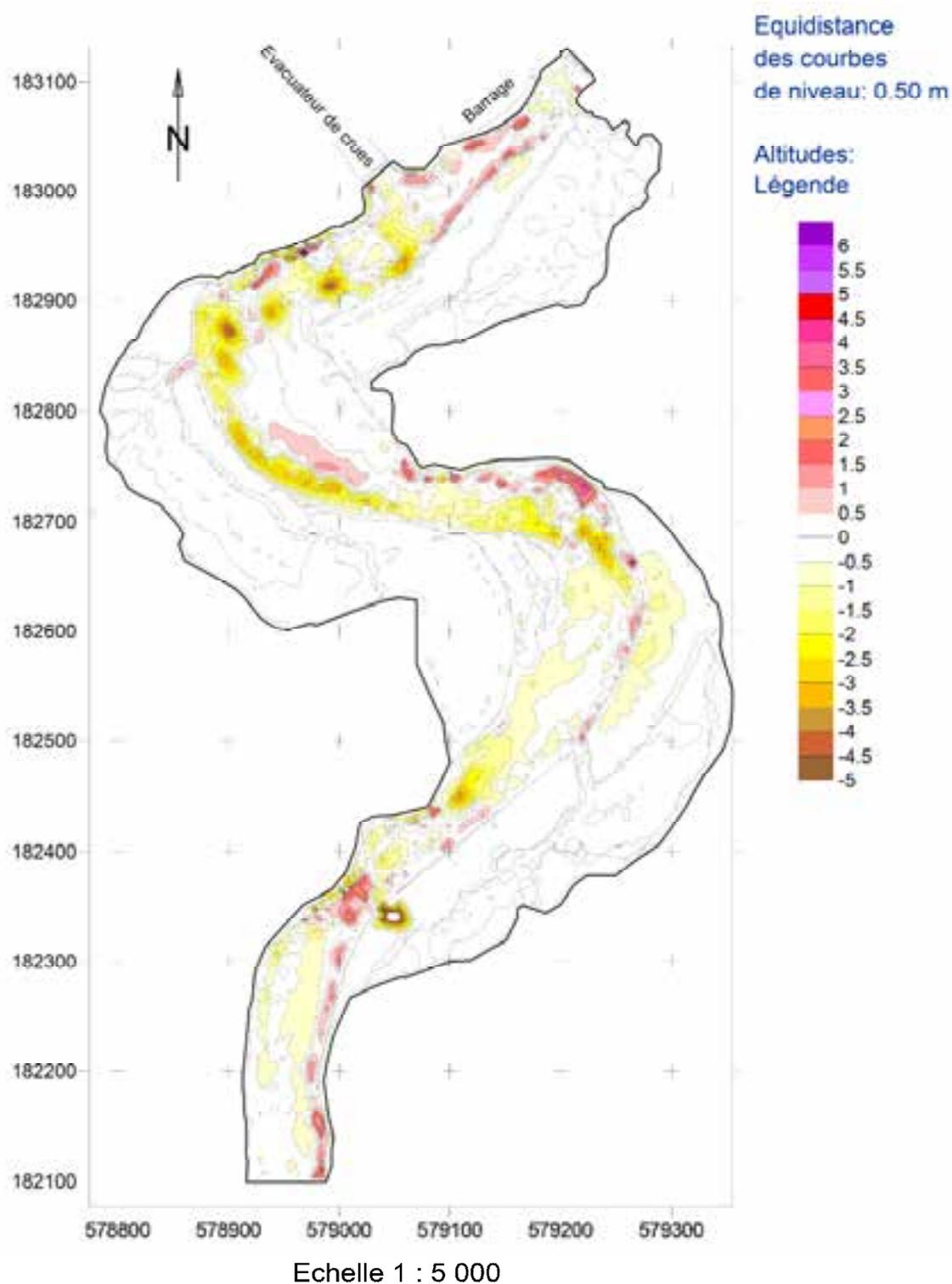


Figure 2.7 Répartition des sédiments accumulés de 1999 à 2007, figure tirée du Rapport des levés bathymétriques des 2 et 3 juillet 2007, Lac de Pérolles, Barrage de la Maigrauge, Groupe E (05.11.2007)

Deux carottes de sédiment avaient été prélevées dans le Lac de Pérolles en 2009 par Pronat (voir rapport « Étude du lac de Schiffenen et du lac de Pérolles – Pollution de la Sarine par les PCB, Mandats ES 2 étape

2 »). Les teneurs en PCB (6 indicateurs x 4.3, Somme PCB\*) observées dans ces carottes étaient toutes en-dessous de la limite OLEO pour les matériaux d'excavation non-pollués (0.1 mg/kg), mis à part la couche « 55 cm » de la carotte LAC 10.

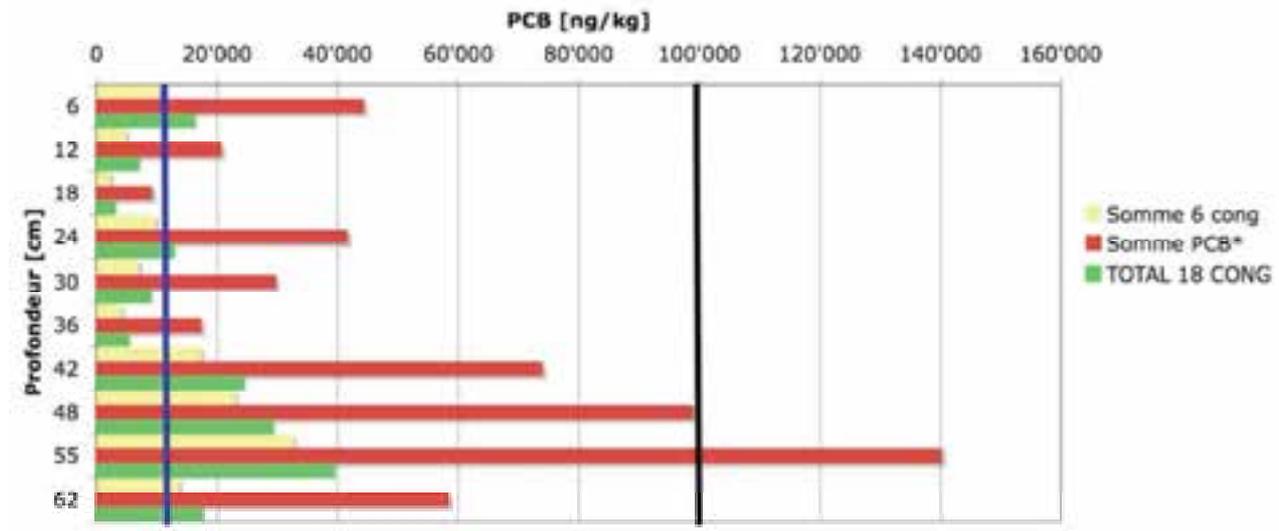


Figure 2.8 : Distribution verticale de PCB dans une carotte de sédiment prélevée près du Pont de Pérolles. La ligne bleue symbolise la valeur correspondant au bruit de fond suisse (0.01 mg/kg) et la ligne noire la valeur indicatrice de la directive sur les matériaux d'excavation (0.1 mg/kg).

Cette couche à 55 cm de profondeur ne peut être associée avec certitude à une année en particulier, puisque les essais de datation sur la carotte LAC 10 n'avait pas montrés de pic de césium 137 distinct. Les teneurs élevées de PCB dans la couche 55 cm pourrait toutefois :

- Refléter la période 1960-1970 pendant laquelle la production et l'utilisation de PCB étaient intenses en Suisse et ailleurs. La période 1960-1970 se caractérise par un pic (>100'000 ng/kg somme des i-PCB) notamment dans les sédiments du Lac Greifensee. La diminution drastique de concentration en PCB entre 1960 et 1970 dans les sédiments du lac Greifensee coïncident avec l'introduction de nouvelles installations (de même qu'à la rénovation) de traitement d'eaux usées dans le bassin versant. Pour plus de détails, voir M. Zennegg et al. *Chemosphere* 67 (2007) 1754-1761
- Refléter les influences de la Pila suite à la crue du 22 août 2005. Cette crue coïncide avec l'installation d'un convoyeur à bande entre Invua et Marly, qui a nécessité le déplacement de grands volumes de sédiments de la Sarine (Techni.ch, 2006). Ces travaux pourraient avoir permis la re-suspension de sédiments influencés par la Pila. Tel qu'illustré dans la figure ci-dessous, la distribution des 7 PCB indicateurs dans la couche 10I (55 cm) est particulièrement comparable avec la distribution retrouvée dans 198 échantillons solides et 24 échantillons d'eaux souterraines de la décharge (Pronat 2010, CSD 2008, Figure 2.9), avec une dominance claire du congénère PCB 52.

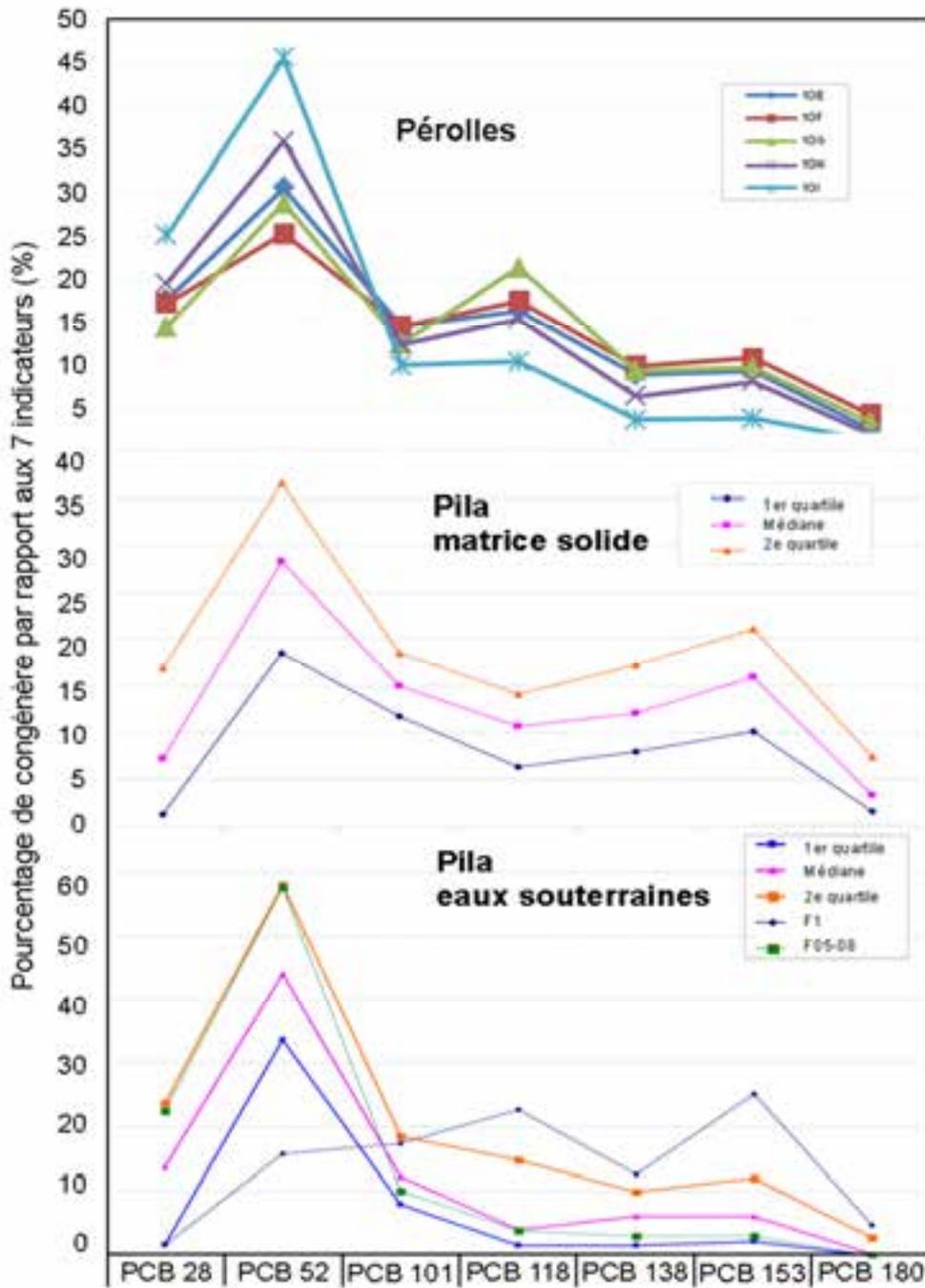


Figure 2.9 : Distribution des 7 indicateurs des échantillons de sédiments du Lac de Péroles (Péroles) et de la Pila (matrice solide, eaux souterraines). Les axes de % n'ont pas tous la même échelle.

Tel qu'illustré dans le schéma du rapport de BRGM (2014) et confirmé par d'autres sources (ex. [http://www.itrcweb.org/contseds-bioavailability/consed\\_2.htm](http://www.itrcweb.org/contseds-bioavailability/consed_2.htm)), le PCB peut se retrouver dans une rivière sous forme dissoute ou particulaire et subir des transformations liées par ex. à la sédimentation, la re-suspension, la diffusion des sédiments, à l'absorption par le biote, etc.

Dans la Sarine, les PCB peuvent aussi se retrouver sous la forme très concentrée de déchets de type « petits condensateurs ». Plusieurs de ces condensateurs ont été retrouvés et retirés du lit de la Sarine en 2013 et en 2014, entre la Pila et la confluence de la rivière Gérine (Figure 2.10).



Figure 2.10 : Photos de condensateurs récoltés sur le lit de la Sarine en 2013 et en 2014, entre la Pila et la confluence Gérine

Deux analyses de petits condensateurs semblables à ceux retrouvés dans la Sarine ont été effectuées. Les concentrations étaient de 20'873 et 92'583 mg 6 indic. x 4.3 / kg de condensateur (ppm) (CSD 2008). C'est entre  $9 \times 10^6$  et  $7 \times 10^9$  fois les masses de PCB mesurées par kg d'eau de la Sarine (Tableau 2.3) entre 7 et  $44 \times 10^6$  fois les masses de PCB mesurées par kg de sédiments de la Sarine (Tableau 2.1)

Deux analyses de petits condensateurs semblables à ceux retrouvés dans la Sarine ont été effectuées. Les concentrations étaient de 20'873 et 92'583 mg 6 indic. x 4.3 / kg de condensateur (ppm) (CSD 2008). C'est entre  $9 \times 10^6$  et  $7 \times 10^9$  fois les masses de PCB mesurées par kg d'eau de la Sarine (

Tableau 2.3) et entre 7 et  $44 \times 10^6$  fois les masses de PCB mesurées par kg de sédiments de la Sarine (

Tableau 2.1 : Concentrations en PCB dans les sédiments de la Sarine

).

Il est donc raisonnable d'assumer que de tels déchets, entiers ou en morceaux, ont une contribution significative sur le bilan de PCB de la Sarine à long terme, notamment par le biais de la diffusion. Deux

capteurs passifs placés à quelques mètres l'un de l'autre en Juin 2013 ont mesuré des valeurs  $[PCB]_{eau}$  très différentes i.e. 9'634 versus 196'294 ng/kg PDMS pour les 6 indic. x 4.3 (Tableau 2.6). La valeur haute (196'294) est suspectée être causée par un condensateur se trouvant à proximité.

## 2.7 Évolution du site de la décharge aux abords de la Sarine entre 2009 et aujourd'hui

La décharge de la Pila a fait l'objet de deux interventions importantes aux abords de la Sarine lors des mesures urgentes (en 2009) et des mesures préliminaires à l'assainissement (entre 2011 et 2013).

À la suite des travaux liés aux mesures urgentes effectués en été 2009, un volume de 324 m<sup>3</sup> de matériaux a été extrait d'une zone en glissement du secteur aval de la décharge. Ces matériaux, fortement contaminés, représentaient une masse totale de PCB estimée à 1.2 tonnes. Dans la figure ci-dessous, la comparaison de la zone « Hotspot » en 2009 et 2010 met en évidence l'extraction de la zone de glissement.



Figure 2-11: Situation de la décharge aux abords de la Sarine en 2009 et 2010.

Entre 2011 et 2013, les travaux réalisés dans le cadre des mesures préliminaires à l'assainissement ont occasionné l'excavation le long de la berge de la Sarine d'environ 3'500 m<sup>3</sup> de matériaux, contenant 352 kg de PCB.

Ainsi globalement, les mesures préliminaires à l'assainissement ont permis d'extraire une masse totale estimée à environ 1.5 tonnes de PCB en contact permanent (pied du glissement) ou régulier (berges) avec les eaux de la Sarine. Pour mémoire, la quantité totale de PCB contenue dans l'ancienne décharge de la Pila a été estimée, dans le cadre des études antérieures, à 20 tonnes. La situation actuelle de la décharge suite aux mesures préliminaires à l'assainissement est schématisée ci-dessous (Figure 212).

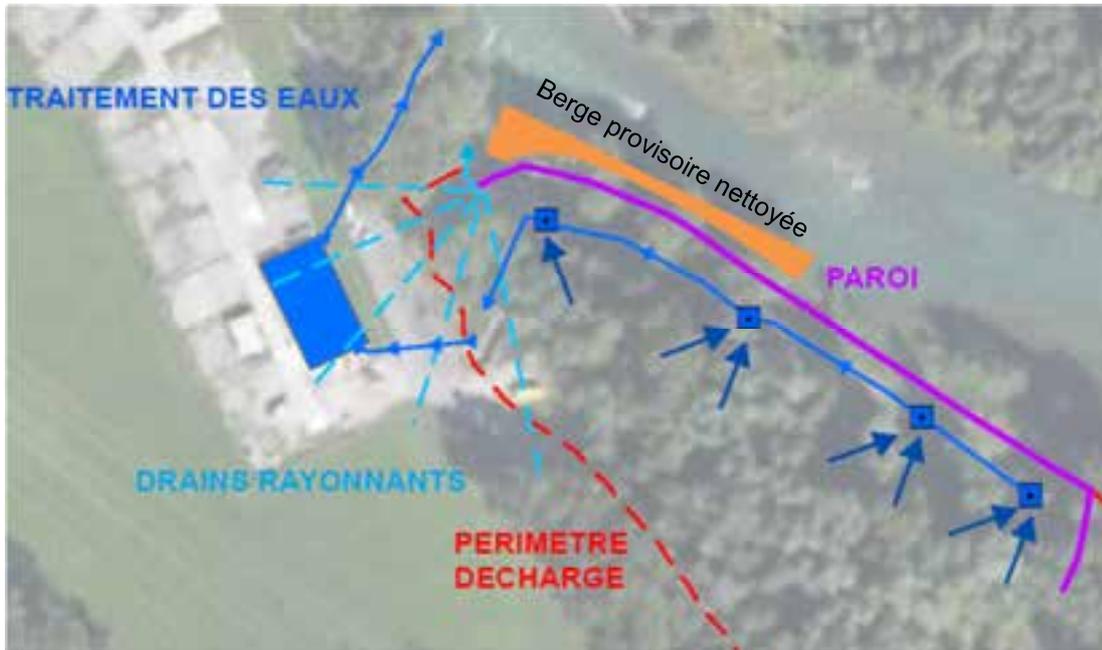


Figure 212 Situation schématique des mesures préliminaires à l'assainissement après travaux

Pour mémoire, les études réalisées sur le site de la Pila ont permis de distinguer deux secteurs principaux de la décharge :

1. Zone haute de la décharge, actuellement confinée par la réalisation des mesures préliminaires à l'assainissement : Directement en contact avec la Sarine, la zone haute contribuait de façon prépondérante à l'exportation de PCB vers la rivière, que ce soit de manière diffuse via les eaux souterraines, de manière concentrée via les exfiltrations ou par l'érosion des berges ou des talus de la décharge. Les flux de polluants exportés avant le confinement depuis cette zone présentaient des teneurs moyennes dépassant dix fois la valeur OSites avec une fréquence quotidienne. Les flux de PCB issus de ce secteur représentaient plus de 95% du flux total de polluants exportés dans la rivière depuis le site de la Pila. Outre l'exportation des polluants par les eaux souterraines, la topographie de la zone haute permettait l'exportation particulière liée à l'érosion de la décharge. De plus, des événements épisodiques comme des glissements de terrain ont entraîné des PCB directement dans la Sarine.
2. Zone basse de la décharge : ce secteur renferme des déchets qui se trouvent à une plus grande distance du cours d'eau, ce qui induit une diffusion beaucoup plus faible et plus lente des polluants. Toutefois, les profils géophysiques réalisés en 2010 ainsi que le modèle hydrogéologique numérique montrent que la crête molassique, qui limite la nappe vers le Sud, n'est pas forcément continue. Un flux provenant de la petite Sarine peut ainsi traverser la zone basse en cas de crues et entraîner des polluants en direction de la Sarine. Les flux de polluants exportés à partir de la zone basse peuvent

présenter des teneurs moyennes dépassant la valeur OSites avec une fréquence hebdomadaire. Les flux de polluants issus de ce secteur représentent moins de 5% du flux total.

### 3. Programme d'investigations complémentaires

#### 3.1 Préambule – procédure par étapes

L'une des adaptations demandées par les autorités est la réalisation des mesures par étapes. En effet, en raison de la complexité liée à l'hétérogénéité intrinsèque du milieu multi-compartimenté, le programme a été revu de façon à pouvoir procéder par étapes. Celles-ci doivent permettre de tester dans un premier temps la faisabilité technique des outils et méthodes proposés ainsi que la pertinence des résultats obtenus pour répondre aux questions posées.

Des étapes de validations méthodologiques et d'évaluations intermédiaires de résultats sont prévues afin de permettre une réorientation des outils et méthodes proposés ou un éventuel complément d'étude permettant d'obtenir une meilleure précision, pour autant qu'elle se justifie en termes de coût efficacité. Ces étapes sont décrites ci-dessous :

Période	Points de validation ou décision- Description	Décision à prendre
<b>FIN MAI</b>	<u>Méthodes de prélèvement et d'échantillonnage des sédiments</u> : sur la base des résultats des tests des prélèvements en nov. 2015 et avril-mai 2016 : détermination de la méthode de prélèvement adéquate selon le type de sédiment et de la fraction pertinente pour l'estimation du stock de PCB.	Méthode d'échantillonnage à appliquer pour la campagne de prélèvement prévue en juin (env. 100 échantillons) entre la Pila et la Maigrauge.
	<u>Boîtes à MES</u> : mise en œuvre et test pour déterminer si la quantité de MES que l'on peut récolter par cette méthode est suffisante et pour évaluer la contribution du transport de MES à la dynamique du transport de PCB dans la rivière.	Définition de la pertinence et du mode d'échantillonnage mensuel prévu jusqu'en mars 2017.
	<u>Réceptacles pour mesurer l'érosion à parti des talus de la décharge</u> : mise en œuvre et test de la méthode pour évaluer la contribution des flux solides provenant de la décharge à la contamination de la Sarine.	Définition de la pertinence et du mode d'échantillonnage mensuel prévu jusqu'en février 2017.
	<u>Échantillonnage des eaux souterraines et analyse des PCB sous forme particulaire et dissous</u> : tests et comparaison des résultats obtenus avec les méthodes de prélèvements et d'analyses préconisées par l'OFEV et de l'EMPA (essais en nov. 2015 et avril-mai 2016).	Méthode d'échantillonnage et d'analyse à appliquer pour la suite des études. Pertinence de ces analyses par rapport à la contribution relative des fractions particulaires et dissous au flux de PCB qui s'écoulent par les eaux souterraines.
	<u>Modèle empirique du système décharge-Sarine</u> : Description du système et de la démarche méthodologique, avec les compartiments et les processus. Mise en évidence de la sensibilité des	Validation du modèle retenu pour répondre aux objectifs des études complémentaires. Le cas échéant réorientation.

	paramètres et de leur pertinence / sensibilité relative pour la comparaison des variantes d'assainissement.	
<b>FIN JUILLET</b>	<u>Tests de diffusion en laboratoire sur sédiments et déchets (condensateurs) :</u> Évaluation de la pertinence de réaliser ces analyses sur la base des résultats de la campagne de prélèvement d'échantillons (présence significative ou non de condensateurs et de déchets imprégnés de PCB) et de l'évaluation de la contribution de ce flux de polluants sur la chaîne trophique.	Réalisation de tests de diffusion en laboratoire (sédiments et déchets).
<b>FIN SEPTEMBRE</b>	<u>Échantillonnage et analyse des gammars :</u> Évaluation des résultats d'analyse, comparaison avec analyses des poissons et des contenus stomacaux, évaluation de la pertinence de ce facteur pour expliquer la contamination des poissons.	Nécessité de compléter les études par l'analyse d'autres éléments de la chaîne trophique.
	<u>Flux de polluants déterminants pour le modèle empirique :</u> Évaluation des flux suite aux résultats des analyses et suite à la crue ; mise en évidence de leur contribution relative.	Décision sur les flux déterminants à utiliser pour le modèle empirique.
	<u>Évaluation des flux par compartiment de la décharge :</u> Évaluation, à partir des résultats d'analyses de la campagne de prélèvement dans les piézomètres et de l'estimation des types de flux par compartiment de la décharge, de la pertinence (évaluation coût/bénéfices) de réaliser des lixiviats complémentaires sur les matériaux de la décharge (réalisation de forages et tests complémentaires).	Décision de réaliser une campagne de forages et de lixiviats sur des matériaux de la décharge.
	<u>Définition de la possibilité de procéder à du tri fin des matériaux sur site :</u> à partir de l'étude réalisée avec des entreprises spécialisées sur les possibilités faire du tri fin sur place (selon les variantes retenues), mise en évidence des possibilités de traitement des matériaux et de la marche à suivre.	Validation des possibilités de traitement et de la procédure à suivre jusqu'à la mise en appel d'offres du traitement des matériaux.
<b>FIN DECEMBRE</b>	<u>Facteurs de bioaccumulation :</u> sur la base des calculs de BSAF, des résultats et de l'évaluation de l'incertitude, évaluation de la pertinence de procéder à des analyses isotopiques, définition d'un programme et évaluation du besoin de travailler avec d'autres modèles prédictifs (proposition).	Décision de procéder à des analyses isotopiques, validation du programme. Décision de travailler avec d'autres modèles prédictifs.
	<u>Définition complète des variantes d'assainissement :</u> sur la base des résultats des analyses obtenus sur la zone basse pendant la crue et des flux de polluants estimés par compartiment de la décharge.	Validation des variantes définitives à retenir pour le projet d'assainissement.

Ces étapes sont indiquées sur le programme d'études figurant au chapitre 7.3.

## 3.2 Etat 0 (2016)

### 3.2.1 Définition

L'État 0 est l'état de référence du système décharge-Sarine, à partir duquel seront évaluées les différentes variantes d'assainissement. Étant donné le nombre de données restreint et parcellaire disponible sur les sédiments de la Sarine, l'état 0 de pollution du cours d'eau est fixé d'entente avec les autorités à l'état de pollution qui sera relevé durant l'année 2016. Ce dernier devra être exhaustif et représentatif en termes de répartition spatiale des données afin qu'il puisse constituer la référence pour un suivi temporel rigoureux des effets de l'assainissement de la décharge.

L'état 0 de la décharge sans assainissement, base de comparaison des variantes d'assainissement de la décharge, a été défini comme étant l'état actuel du site, sans pompage ni palplanches.

La reconstitution d'un état antérieur à la réalisation des mesures préliminaires à l'assainissement ne sera abordée que dans le but de comprendre le contexte actuel et son évolution, c'est-à-dire ce qui a conduit à la contamination de la rivière mesurée dans le passé et plus récemment dans les poissons.

### 3.2.2 Questions ouvertes

Pour définir l'état 0 (2016), les questions suivantes doivent être résolues :

- Quels sont les ordres de grandeurs des concentrations en PCB dans divers compartiments (sédiment, eau, gammares et poissons) de la Sarine en 2016 ? Les données actuellement disponibles sont concentrées dans le secteur Pila-Gérine. Des données doivent aussi être acquises dans le secteur Gérine-Maigrauge.
- Quels sont les méthodes et références appropriés pour juger des risques associés aux concentrations en PCB mesurés dans les sédiments ? Étant donné l'absence de valeur critique et de technique d'échantillonnage dans la législation suisse / selon l'OFEV concernant les sédiments contaminés en PCB, des tests devront être effectués. Des solutions pratiques et adaptées au monitoring éventuel de la Sarine seront adoptées.

### 3.2.3 Programme d'études complémentaires

#### 3.2.3.1 Méthode

En avril 2016, une campagne de prélèvement de sédiments permettra d'appliquer et de tester les trois techniques d'échantillonnage suivantes :

- la plongée et la mise en tube
- le prélèvement avec une pelle à farine

- le carottage cryogénique

Au contraire de la plongée et de la pelle à farine qui ont déjà été utilisées pour échantillonner des sédiments dans la Sarine, le carottage cryogénique n'a jamais été testé auparavant. Le carottage cryogénique consiste à fixer l'échantillon de sédiment à l'aide d'azote liquide à basse température (environ  $-50^{\circ}\text{C}$ ). Cette méthode a l'avantage d'éviter le lavage des matériaux fins à la sortie de l'eau et ainsi éviter la perte de matières fines sur lesquelles les PCB sont susceptibles d'être concentrés.



Figure 3.1 : Exemple d'un carottage cryogénique avec l'échantillon obtenu (images tirées de <http://casperjournal.com/news>)

Figure 3.2 : Séparation de couches sédimentaires suite à un carottage cryogénique. Tiré de [http://scholarsmine.mst.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=6374&context=masters\\_theses](http://scholarsmine.mst.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=6374&context=masters_theses)

Le carottage cryogénique offre aussi l'avantage de préserver la structure verticale des sédiments, même dans des matériaux graveleux difficile (ou impossible) à carotter par la simple mise en tube. Les échantillons obtenus avec le carottage cryogénique permettront idéalement d'évaluer l'extension verticale de la pollution aux PCB dans les sédiments de la Sarine. Un découpage comme celui illustré à la figure suivante pourra être effectué.



Figure 3-3 : Séparation de couches sédimentaires suite à un carottage cryogénique. Tiré de [http://scholarsmine.mst.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=6374&context=masters\\_theses](http://scholarsmine.mst.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=6374&context=masters_theses)

Les quatre sites d'échantillonnage où le carottage cryogénique sera testé en Avril 2016 sont représentés sur le plan de l'Annexe B et notés avec la mention « CC » dans le tableau suivant. Les quatre sites choisis pour le carottage cryogénique sont des zones d'accumulation, selon les observations faites sur le terrain (sédiments fins) et selon les résultats du modèle de charriage (Voir Introduction Figure 2.5).

Tableau 3.1 : Aperçu de la campagne test sédiments Avril 2016

Site	Méthode prélèvement*	Profondeur cm	Fraction mm	Nombre d'analyse PCB
Amont Pila	PE	0-20	Brut, < 0.063 ; < et >2	4
Aval Pila	PE	0-20	Brut, < 0.063 ; < et >2	4
Amont passerelle	CC	0-20 ; 20-40 ; 40-60	< 2	7
	CC	0-20	Brut, < 0.063 ; < et >2	
Invua	CC	0-20 ; 20-40 ; 40-60	< 2	7
	CC/PE**	0-20	Brut, < 0.063 ; < et >2	
Creux du Loup	CC	0-20 ; 20-40 ; 40-60	> 2	7
	CC/PE**	0-20	Brut, < 0.063 ; < et >2	
Lac de Pérolles	CC	0-20 ; 20-40 ; 40-60	< 2	7
	CC/PE**	0-20	Brut, < 0.063 ; < et >2	
Lac de Pérolles	PL	0-20	Brut, < 0.063 ; < et >2	4

\* PE = pelle à farine, CC = carottage cryogénique, PL = plongeur. \*\*CC/PE carottage cryogénique sous le niveau des basses eaux ou pelle au-dessus du niveau des basses eaux, selon le temps à disposition

La totalité des sites qui seront échantillonnés en Avril 2016 sont indiqués dans le tableau ci-dessus, avec la méthode de prélèvement (Carottage cryogénique CC, plongée PL, pelle PE) prévue; la profondeur d'échantillonnage (0-20 cm ; 20-40 ; 40-60 cm) souhaitée et la fraction (< 0.063 mm ; < 2 mm ; > 2 mm) visée.

Outre la recherche d'outils d'échantillonnage de sédiments adaptés à la Sarine, le but de la campagne d'avril 2016 est de déterminer la fraction sédimentaire pertinente à analyser. Aucune norme officielle n'existe en Suisse concernant la fraction de sédiment à isoler pour analyser les PCB. Le document *Surveillance de la qualité des sédiments en Suisse – État actuel des méthodes disponibles et mise en place de recommandations* par Flück et al. (2012) mentionne à la page 19 que la majorité des autorités cantonales qui ont effectué des analyses de PCB dans les sédiments ont isolé la fraction < 0.063 mm. D'autres autorités cantonales ont pour leur part opté pour la fraction < 2 mm. La fraction < 2 mm peut être isolée à l'aide d'un tamis automatisé après séchage de l'échantillon brut en laboratoire. Des analyses de PCB en avril 2016 seront effectuées sur les fractions < 0.063 mm et < 2 mm. Puisque des déchets (condensateurs en morceaux) sont susceptibles de se retrouver dans le refus (> 2 mm) dans la Sarine, des analyses de PCB seront également faites sur certains refus jugés susceptible de contenir des PCB.

Dès la fin Mai 2016 et sur la base des tests effectués en avril 2016 : la méthode de prélèvement adéquate et la fraction pertinente pour les analyses de PCB seront choisis (voir Tableau X). Le choix dépendra de l'application des analyses PCB. Par exemple pour estimer le stock total de PCB dans le lit de la Sarine sur le secteur à l'étude (Chapitre X), il se peut qu'un tamisage < 2 mm combiné avec les trois techniques d'échantillonnage (pelle, cryo et plongée) soit choisis. Pour estimer l'influence des PCB-sédiments sur les poissons (Chapitre Y), il se peut que la fraction < 0.063 mm soit jugée plus adéquate.

En Mai et en Août 2016, deux campagnes d'échantillonnage (eau/capteurs passifs ; gammares ; poissons) sont prévues et ont pour but principal d'augmenter le nombre d'analyses de PCB dans le segment Gérine-Maigrauge. Ces campagnes permettront de bien caractériser toute l'étendue géographique du site à l'étude à l'état 0 (en 2016). Le type d'échantillon (eau/capteur passif, gammares, poissons), le site d'échantillonnage (Pila-Gérine, Gérine-Maigrauge) et le nombre d'analyses de PCB prévus sont résumés dans le Tableau suivant :

Tableau 3.2 : Aperçu des campagnes d'échantillonnage par capteurs passifs et de prélèvement de gammares et poissons en Mai et en Août 2016

Type échantillon	Site d'échantillonnage (nombre d'analyses PCB)	
	Pila-Gérine	Gérine-Maigrauge
Eau / capteur passif	Amont Pila (2) ; Pila-Gérine (8)	Gérine (2), Glâne (2), Invua (2), Creux du Loup (2) ; Lac de Pérolle (8)
Gammares	Amont Pila (2) ; Pila-Gérine (4)	Invua (2) ; Pont Pérolles (2)
Poissons	Pila-Gérine (10)	Gérine-Pont (10) ; Lac Pérolles (10)

Les sites d'échantillonnage sont représentés sur le plan de l'Annexe B. Dans le lac de Pérolles, il est prévu d'installer 4 capteurs passifs à chaque campagne (4 x 2 = 8). Un capteur passif sera accroché à la grille de sortie d'eau vers la centrale Oelberg et trois capteurs passifs seront accrochés à un câble retenu au fond du lac par un ancre/parpaing et tenu à la verticale par une bouée flottant à la surface de l'eau.

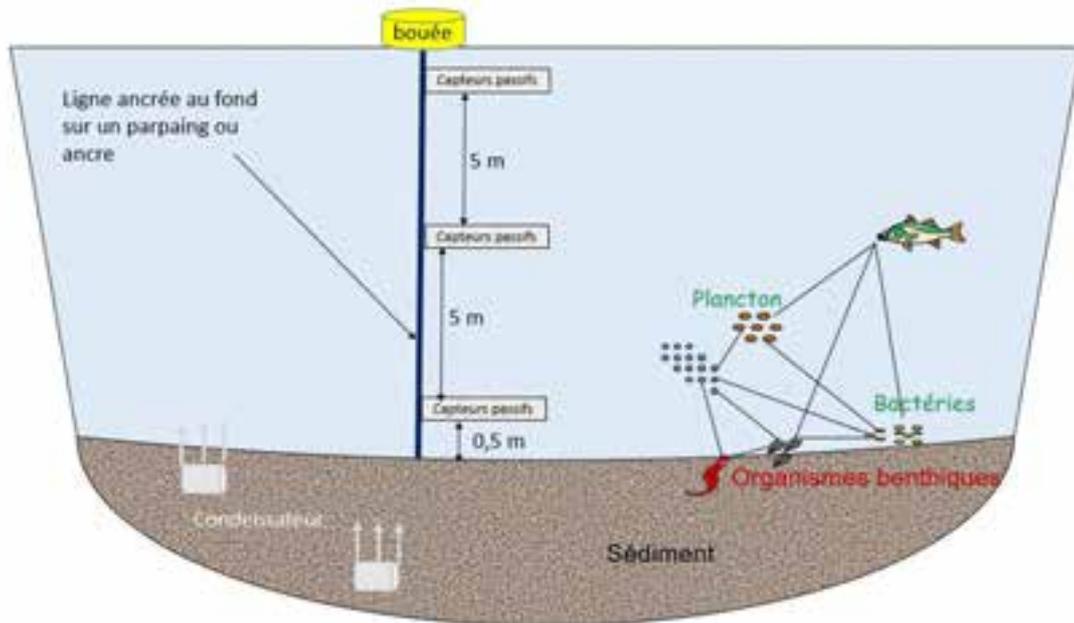


Figure 3.4 Schéma d'un montage comprenant trois capteurs passifs et un câble tenu par une ancre et une bouée dans le lac de Pérolles.

Des paramètres autres que les PCB seront mesurés dans le cadre des campagnes Mai et Août 2016 (eau, gammare, poissons). Ces paramètres sont décrits dans les chapitres «Processus de contamination des poissons, des gammare».

### 3.2.3.2 Résultats attendus et incertitudes

La campagne test-sédiment d'Avril 2016 devrait permettre d'identifier les avantages et inconvénients des différentes techniques (pelle, plongée, cryogénique) à utiliser et des différentes fractions (< 0.063 mm ; < 2 mm) à isoler pour caractériser les sédiments à l'état 0 et ainsi faciliter le futur monitoring de la Sarine. Il apparaît déjà évident, d'après les résultats obtenus sur 5 stations entre la Pila et la Gérine en novembre 2015, que la fraction < 0.063 mm constitue une fraction mineure (< 5%) du poids total de l'échantillon brut. La fraction < 2 mm (sables) pourrait être plus représentative en poids de l'échantillon brut, mais sa teneur en PCB par rapport à la fraction < 0.063 mm (argiles) demeure incertaine. Pour rappel, la fraction < 2 mm peut être isolée par tamisage automatisé après séchage de l'échantillon en laboratoire, alors que la fraction < 0.063 mm doit être tamisée manuellement sur le terrain avec utilisation d'eau. L'isolation de la fraction 0.063 mm sur des échantillons dégelés apparaît déjà difficilement compatible avec le carottage cryogénique, puisque ce dernier implique plusieurs heures de dégel des échantillons. Le carottage cryogénique demeure cependant la technique de choix pour échantillonner en profondeur les sédiments graveleux de la Sarine et ainsi obtenir un profil vertical de la distribution des PCB. Les couches 0-20 ; 20-40 et 40-60 cm permettront de recueillir une quantité inconnue de matière fine (< 2 mm). Certaines couches pourraient être donc combinées et/ou abandonnées si la quantité de matière à analyser (pour les PCB) est insuffisante. L'étendue verticale de la pollution aux PCB ainsi que la technique d'échantillonnage de sédiment la plus appropriée pourraient varier spatialement sur le site d'étude. Par exemple, il se pourrait que le carottage cryogénique soit uniquement nécessaire sur le segment Pila-Gérine (sédiment graveleux) et que l'étude de l'étendue verticale de la pollution aux PCB soit uniquement adéquate dans le Lac de Pérolles (zone d'accumulation).

Les campagnes de Mai et d'Août 2016 (eau/capteurs, gammares, poissons) permettront d'obtenir un meilleur portrait de la situation *état 0* (2016) sur l'ensemble du site d'étude. Les résultats de novembre 2015 ont déjà montré que les teneurs en PCB dans les eaux de la Glâne étaient supérieures aux teneurs en PCB dans les eaux à l'aval immédiat de la Pila. Ces résultats, si confirmés en Mai et en Août 2016, montrent que les eaux de la Sarine subissent d'autres influences que celles de la Pila à l'aval de la rivière Gérine. En l'absence de teneurs en PCB inquiétantes sur le secteur Gérine-Maigrauge (gammares, eau/capteurs), la zone future de monitoring pourrait être limitée au segment Pila-Gérine. Il est déjà connu que la rivière Gérine transporte une quantité importante de sédiments relativement propres c'est-à-dire sans ou avec très peu de PCB.

Les truites de la Sarine sont mobiles sur plusieurs mètres voir kilomètres. Des mesures PCB sur le segment entier Gérine-Maigrauge permettront donc de mieux caractériser l'ensemble de leur milieu de vie (eau, sédiment) et leur nourriture (gammares). Les capteurs passifs installés dans le Lac de Pérolles permettront aussi d'évaluer la présence d'une source secondaire de PCB (condensateurs enfouis, sédiments accumulés) à cet endroit.

### 3.3 Stocks de PCB bio-disponibles dans la Sarine

#### 3.3.1 Données disponibles

Un stock potentiellement considérable de PCB issu de la décharge se trouve actuellement dans le lit de la Sarine et peut affecter la teneur en [PCB] des poissons, de l'eau et des gammares à court, moyen et long terme. Tel que mentionné précédemment, les [PCB]<sub>poissons</sub> ne semblent pas clairement diminuer avec le temps (2010-2014), malgré le fait que les [PCB]<sub>eau</sub> (2010-2014) diminuent. Cela pourrait indiquer qu'un réservoir secondaire de PCB (autre que l'eau) existe. Ce réservoir pourrait être constitué de condensateurs entiers semblables à ceux retrouvés dans la Sarine en 2013 et 2014 (Figure 2.10), de morceaux de condensateurs ou encore de sédiments riches en matière organique auxquels les PCB sont adsorbés.

Pour ce qui est des condensateurs entiers ou en morceaux, leur transport dans la Sarine est difficile à prévoir mais leur influence sur [PCB]<sub>eau</sub> par le biais de la diffusion pourrait être grande. Le stock de PCB dans les sédiments a été estimé dans le segment Pila-Gérine où des condensateurs entiers ont été repérés. La quantité totale de PCB contenue dans des condensateurs entiers visibles a été estimée en première approche entre 0.1 et 0.8 kg; si l'on considère un nombre de condensateurs par 100 m variant entre 5 et 30 (observations faites sur le terrain en 2013 et 2014) et en assumant que les condensateurs ont un poids de 50 g ainsi qu'une concentration en PCB de 50'000 ppm. En comparaison, la quantité relative de PCB piégée dans des « sédiments » est plus grande i.e. entre 1 et 10 kg. Cette estimation est basée sur des concentrations en PCB pour des sédiments échantillonnés entre 2000 et 2010, en considérant la fraction fine d'une couche de sédiment entre 25 et 35 cm d'épaisseur. Les estimés de stock-PCB-sédiment, ainsi que l'influence potentielle de la diffusion sont schématisés dans la figure suivante.

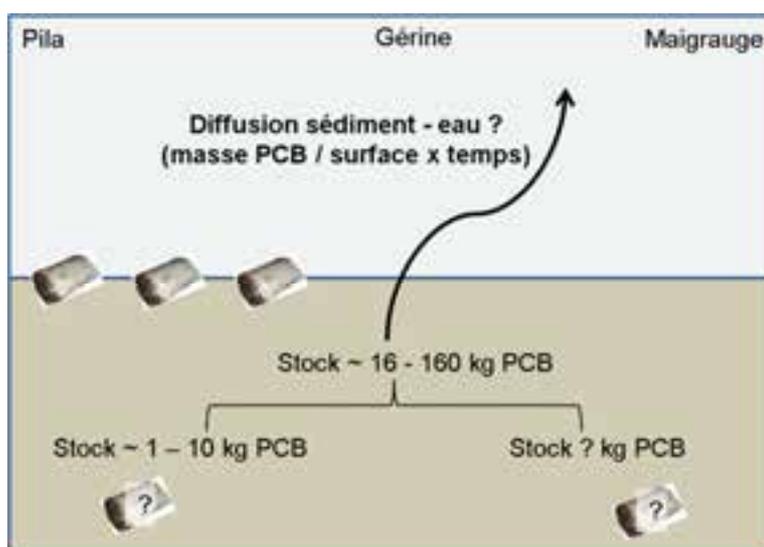


Figure 3.5 : Schéma illustrant les estimés grossiers de stock bio-disponibles.

L'estimé du stock pour le segment Pila-Gérine tend à démontrer que le PCB adsorbé sur les sédiments ou sous forme de morceaux de condensateurs (non entiers) contribuent de façon significative au stock « solide, déposé et accumulé » de PCB, comparativement aux condensateurs entiers. Il faut cependant noter que seuls les condensateurs entiers visibles i.e. se trouvant à la surface des sédiments et observés en 2013/2014 ont été considérés dans l'estimation. Des condensateurs peuvent également être enfouis sous la surface des sédiments, et contribuer au stock dans une proportion inconnue. La diffusion des PCB des sédiments ou des condensateurs vers l'eau (unités de masse de PCB / unités d'aire x unités de temps) n'est pas connue. Elle dépend notamment des  $[PCB]_{sed}$  et de la présence de condensateurs, formant un « stock PCB ». Ce stock est inconnu pour tout le secteur d'étude (Pila-Maigrauge). Il peut être estimé très grossièrement, en multipliant le stock Pila-Gérine par un facteur 16, reflétant le rapport de l'aire du secteur Gérine-Maigrauge ( $\sim 0.8 \text{ km}^2$ ) versus l'aire du secteur Pila-Gérine ( $\sim 0.05 \text{ km}^2$ ).

Les PCB sont non-seulement très peu solubles, mais aussi lipophiles i.e. qu'ils se lient bien aux lipides constituant une fraction de la matière organique. Or, peu d'informations existent concernant le contenu en matière organique des sédiments du secteur d'étude. Des mesures de carbone organique dissous (COD) dans les eaux juste au-dessus des sédiments ont été effectuées par Pronat en 2009 à l'entrée du Lac de Pérolles (Pont de Pérolles) et derrière le barrage de la Maigrauge. À ces mêmes endroits, le carbone organique total (COT) et la composition granulométrique ont été déterminés (Tableau 3.3).

Description	COD (mg/L)	COT %	Composition granulométrique (%)	$^7\text{Be}$ (Bq/kg)
LAC 10 Pont de Pérolles	5.9	-	Argile (1.3%), Limon (13.4%), Sable (85.3 %), Gravier (0%)	25.36 (segment 0-3 cm)
LAC 11 Barrage Maigrauge	3.3	1.5	-	-

Tableau 3.3 : Paramètres caractéristiques des sédiments du secteur d'étude

Puisque les sites LAC 10 et 11 sont considérés comme des zones de déposition par le modèle, les teneurs COD et COT peuvent être supposées relativement élevées, par rapport aux autres endroits du secteur d'étude. La fraction « Sable » est plus importante que les fractions « Limon » et « Argile » au site LAC 10. La fraction « Sable » peut être considérée avoir un diamètre d'environ  $> 0.01$  mm et se déposer entre 0.1 et 10 m/s, alors que les fractions « Limon/Silt » et « Argile » ont typiquement des diamètres de l'ordre de 0.001 – 0.01 mm et se déposent lorsque les vitesses de courant sont  $< 0.1$  m/s (Figure ci-dessous, Gauche). Les vitesses de courant mesurées à la hauteur du Pont de Pérolles sont comprises entre 0.07 et 0.55 m/s (Figure ci-dessous, Droite).

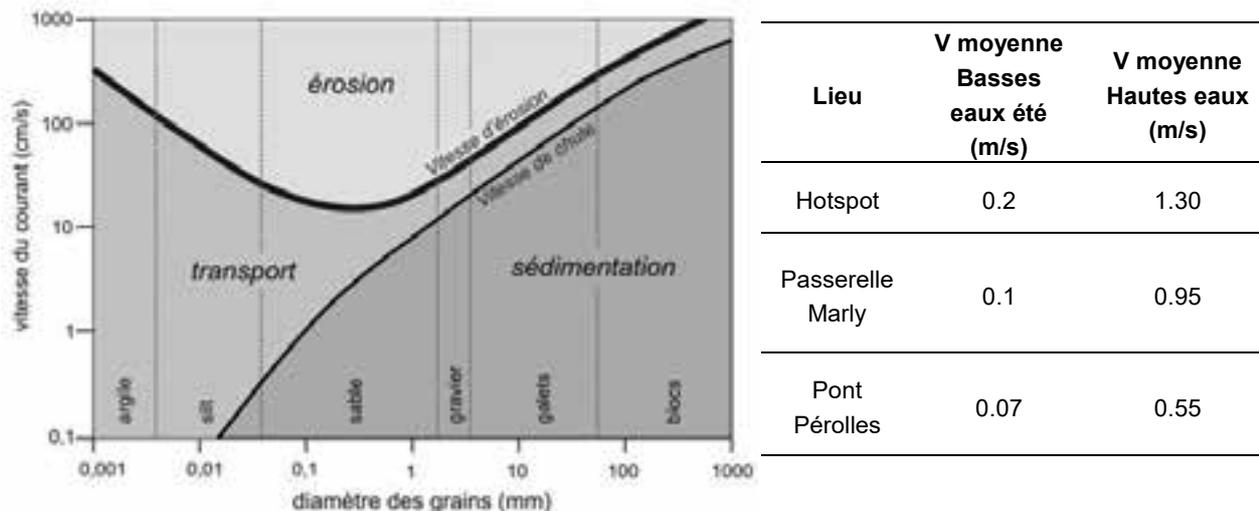


Figure 3.6 : Dynamiques des particules selon la taille des grains Référence : [http://theses.univ-lyon2.fr/documents/getpart.php?id=lyon2.2008.pintomartins\\_d&part=154405](http://theses.univ-lyon2.fr/documents/getpart.php?id=lyon2.2008.pintomartins_d&part=154405) (Gauche). Vitesses moyennes mesurées à 3 endroits différents du secteur d'étude (Droite).

D'après la figure ci-dessus, la déposition de limon et d'argile, généralement chargés en matières organiques, n'est favorable qu'au Pont de Pérolles et peut-être à la Passerelle de Marly en périodes de Basses Eaux. Dans le secteur Hotspot, seule la fraction « Sable » semble pouvoir être déposée sur le lit de la Sarine. Le dépôt de matières fines chargées en carbone organique et susceptibles d'adsorber le PCB apparaît donc plus probable dans le secteur Gérine-Maigrauge que dans le secteur Pila-Gérine, pour lequel seules 3 mesures  $[PCB]_{sed}$  sont disponibles.

Malgré la présence de matière fine organique susceptible d'adsorber le PCB dans le Lac de Pérolles, il est important de rappeler qu'une perte globale de volume ( $34'320 \text{ m}^3$ ) de sédiments a été estimée à cet endroit entre 1999 et 2007 (Voir Introduction). Cela indique que le Lac de Pérolles est une zone d'accumulation en conditions « normales » mais qu'une perte importante de matériel solide peut se produire lors d'événements tels que la crue du 22 août 2005 ( $\sim 600 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Cela vaut probablement pour les autres zones d'accumulation identifiées par le modèle à  $120 \text{ m}^3/\text{s}$ . Il convient donc de considérer le « stock bio-disponible » dans la zone d'étude comme étant dynamique. En cas de crue ou d'événements de pluie, les matériaux fins auxquels les PCB s'adsorbent de même que les matériaux grossiers auxquels les PCB sont associés (condensateurs entiers, bouts de condensateurs) peuvent être remis en suspension.

### 3.3.2 Questions ouvertes

Pour affiner l'estimé du stock de PCB présent dans le lit de la Sarine et pour mieux comprendre son évolution future, les questions suivantes sont posées :

- Comment évolue le stock de PCB dans la zone d'étude? Y a-t-il une association du PCB avec la matière en suspension ? Les flux de PCB transitant dans la Sarine en association avec la matière en suspension sont-ils plus importants lors d'événements de crue / de pluie intense?
- Quel est le stock total de PCB dans le lit de la Sarine et sous quelle forme (condensateurs, particules fines < 2 mm ou < 0.063 mm) ? Ce PCB sous forme solide influence-t-il les  $[\text{PCB}]_{\text{eau}}$  ?

### 3.3.3 Programme d'études complémentaires

#### 3.3.3.1 Méthode

##### A) Monitoring de la matière en suspension – boîte à MES

Dès avril 2016, il est prévu de procéder à l'installation de boîtes à sédiments permettant d'échantillonner assez de matière en suspension mensuellement dans la Sarine pour analyser les PCB. Suspendues à des ponts/passerelles, les boîtes métalliques sont de dimensions 300 x 200 x 100 mm et ont des ouvertures circulaires d'environ 2 cm de diamètre sur deux de leurs faces. Elles sont réalisées sur mesure par un ferblantier et utilisées depuis 2005 par le personnel de Frei Universität Berlin pour quantifier les flux de contaminants transitant dans une rivière. Environ 2 kg de matériel (mouillé) est récolté chaque mois dans la rivière étudiée par le personnel de Frei Universität Berlin. Dans le cas de la Sarine, une quantité moindre est attendue étant donnée la rétention de particules fines en amont du barrage de Rossens. Le matériel accumulé sera récolté à intervalles réguliers pendant un an i.e. une fois par mois ou moins, en fonction de la quantité récoltée de matériel.

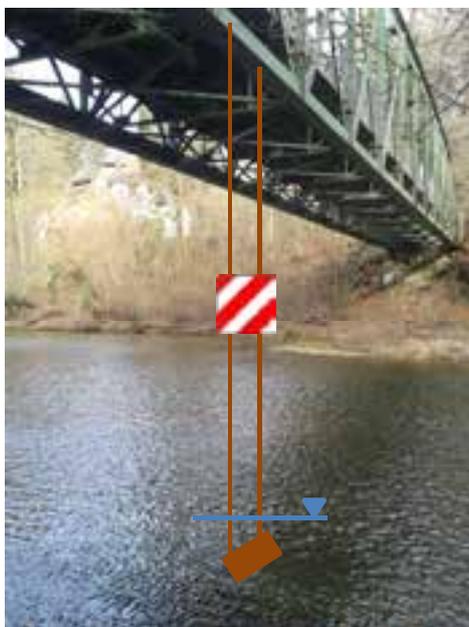


Figure 3.7 : Photos d'exemples de boîtes à sédiments. Le petit format (300 x 200 x 100 mm) sera utilisé pour échantillonner la Sarine.

Les boîtes utilisées en Avril seront fournies par Monitron AG. Les demandes d'autorisation pour l'installation sont en cours. Un test de mise en œuvre est prévu dès le mois d'avril par Monitron AG et CSD. Cela

permettra en premier lieu de tester le dispositif (fixation, signalisation, comportement en hautes eaux<sup>2</sup>, accessibilité pour l'échantillonnage, etc.). Les trois lieux d'échantillonnage prévus sont; le Pont Abbaye (Hauterive) en amont de la Pila, la passerelle Gérine et le pont de Pérolles. Les installations envisagées sont représentées sur les figures suivantes.

Abbaye Hauterive : boîte à MES, à suspendre sous le niveau des basses eaux ; signalisation de sécurité. Un panneau d'avertissement est également prévu sur la passerelle amont.



Passerelle Gérine



---

<sup>2</sup> Hors crues. Les boîtes à MES ne sont pas prévues pour résister à une crue et elles seront a priori retirées durant la crue artificielle.

## Pont Pérolles



Les analyses prévues sur le matériel récolté incluent les i-PCB, le COT et le  $^7\text{Be}$ . L'idée serait d'estimer des flux de PCB (masse / volume d'eau x unité temps) mensuels sur l'espace d'un an. Les analyses de  $^7\text{Be}$  permettraient idéalement de distinguer le matériel issu de l'érosion (détection du  $^7\text{Be}$ ) du matériel provenant du lit de la Sarine (non-détection du  $^7\text{Be}$ ). Le  $^7\text{Be}$  est généralement détectable dans un échantillon solide déconnecté de l'atmosphère depuis moins d'un an. Pour un exemple d'utilisation du  $^7\text{Be}$  dans un contexte de mobilisation des PCB dans une rivière, voir *Beryllium-7 as a Tracer of Short-Term Sediment Deposition and Resuspension in the Fox River, Wisconsin* de Fitzgerald et al. (2001).

Dès que les boîtes seront installées, il sera nécessaire de tester leur exploitation, en particulier les points suivants :

- Quantité de matière échantillonnée pour réaliser les analyses mensuelles prévues (i-PCB, COT,  $^7\text{Be}$ ). Les boîtes seront inspectées dans les 2 semaines suivant la pose et un premier échantillonnage sera réalisé dans les 4 semaines suivant la pose.
- Comportement en cas de crues, influence en cas de crue de la Gérine : des inspections ponctuelles seront effectuées en cas de crue.

Afin d'obtenir des flux mensuels de PCB et de les lier aux événements de pluie, des stations hydrométriques seront installés à proximité des boîtes à MES.

### **B) Stations hydrométriques – complément aux boîtes MES**

Des stations hydrométriques équipées de sondes turbidité-température-pression seront installées au « Pont de Pérolles », à la « Passerelle Gérine » et au pont « Abbaye Hauterive » sous le niveau des basses eaux de la Sarine pour obtenir des mesures en continu.

Les stations « Abbaye Hauterive » et « Pont Pérolles » seront de plus équipées d'un capteur à impulsions radar (mesure automatique du niveau). Des débits et des vitesses moyennes pourront être calculés à l'aide de mesures ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler). La distribution des vitesses sera donc connue sur le profil de travers des trois stations. Des flux de PCB (unités de masse PCB/ unités de temps) pourront être estimés si le PCB est détecté dans le matériel accumulé dans les boîtes à sédiments. Un abonnement à une station pluviométrique existante (SwissMetNet) à proximité de la Pila permettra de récupérer les données

pluviométriques toutes les 10 minutes. Des événements de forte pluie pourraient ainsi potentiellement être corrélés à des flux importants de PCB dans la Sarine.

Les stations hydrométriques seront fournies et mises en œuvre par Monitron AG. Les demandes d'autorisation sont en cours. Les repérages en basses eaux et les mesures initiales hauteur – vitesse – débit sont prévus dès le mois d'avril.

Le montage et la mise en service des trois stations doit intervenir dès le début du mois de mai, afin qu'elles soient opérationnelles durant la campagne de mesures avec les capteurs passifs. Elles permettront d'obtenir des mesures de turbidité, de température et de niveau d'eau en continu à l'aide de sondes turbidité-température-pression installées sous le niveau des basses eaux de la Sarine.

Afin de garantir l'acquisition de données de niveau en continu, les stations « Abbaye Hauterive » et « Pont Pérolles » seront équipées d'un capteur à impulsions radar (mesure automatique du niveau) installé sur les passerelles. Les sondes situées dans le cours d'eau pourraient en effet subir des déplacements, voir des dégradations en cas de crue.

Pour la station « Passerelle Gérine », aucune sonde de niveau supplémentaire n'est prévue. Compte tenu de l'influence de la Gérine, le débit sera calculé à l'aide des données de la station « Abbaye Hauterive » additionnées des données de turbinage de Groupe e à Hauterive.

Les débits et les vitesses moyennes pourront être calculés sur la base de relations hauteur-débit établies à l'aide de mesures hauteurs-vitesse-débit effectuées avec un bateau ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) sur des profils en travers. Pour chaque station, trois mesures sont prévues dans trois situations de débit distinctes : basses eaux, hautes eaux moyennes, hautes eaux (turbinage maximal). La distribution des vitesses sur le profil sera connue pour ces trois situations. Les mesures à la station « Passerelle Gérine » seront utilisées pour évaluer l'influence de la Gérine. Une éventuelle répétition ultérieure de ces mesures, par exemple après la crue artificielle, permettra d'évaluer les modifications du lit de la Sarine (de telles mesures sont prévues sur la Petite Sarine dans le cadre du projet HyApp).

Les mesures avec le bateau ADCP remplacent la mesure en continu de la vitesse en surface indiquée dans la version du cahier des charges du 30.10.2015

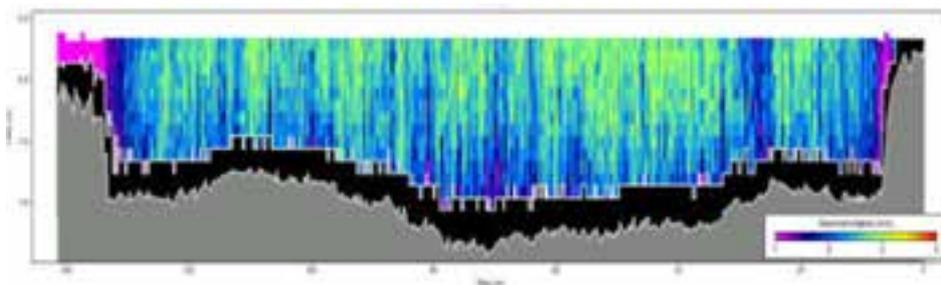


Figure 3.8 : Exemple de profil de vitesses mesuré à l'aide d'un bateau ADCP (Monitron AG)

La station pluviométrique également indiquée dans la version initiale du cahier des charges est remplacée par la station existante (SwissMetNet) située à proximité. Un abonnement permet de récupérer les données pluviométriques à 10 minutes qui seront intégrées dans la base de données des stations hydrométriques.

Les emplacements prévus ainsi que des installations envisageables sont représentés sur les figures suivantes.

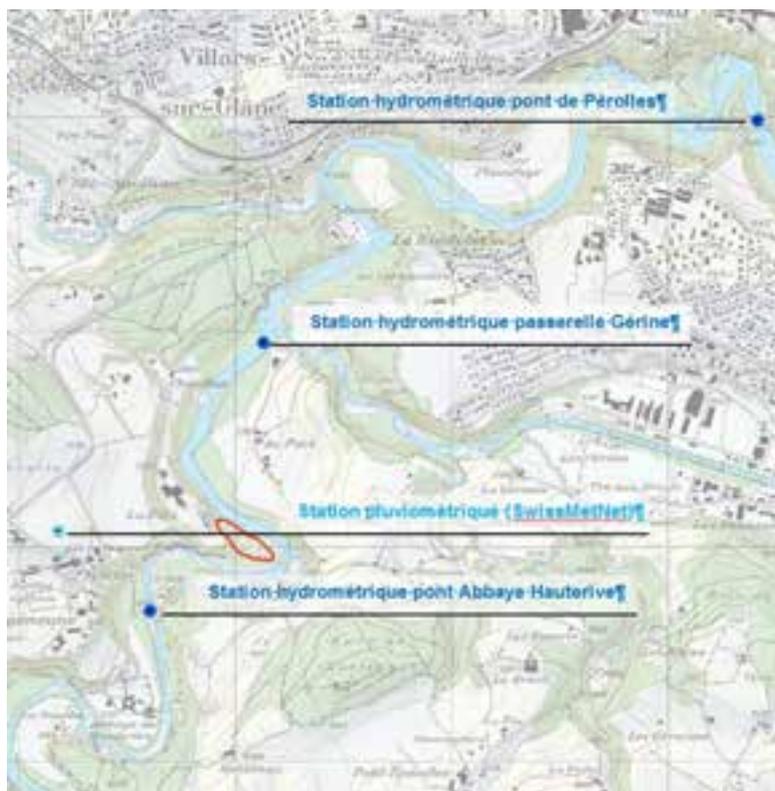


Figure 3.9 : Emplacement des stations hydrométriques

### Sonde multi-paramètres Abbaye Hauterive



Sonde multi-paramètres Passerelle Gérine



Capteur à impulsions radar (mesure automatique du niveau) Pont Pérolles



Les emplacements et équipements définitifs seront décidés durant la phase de repérage du mois d'avril. Concernant la station « Pont Pérolles », la sonde multi-paramètres devra probablement être dissociée du capteur à impulsions radar pour des raisons techniques. Elle pourra être positionnée dans le méandre amont (à l'emplacement du point de mesure capteurs passifs).

### C) Stock de PCB dans les sédiments ; campagne juin-juillet 2016

En juin-juillet 2016 et sur la base des essais d'avril 2016, il est prévu de prélever plusieurs échantillons de sédiments sur toute la zone d'étude afin d'estimer un stock PCB-sédiment. Le but est d'obtenir au total 100 analyses de PCB-sédiment représentant la même fraction ( $< 2$  mm ou  $< 0.063$  mm) sur toute la zone d'étude en 2016. Par exemple, si la campagne test-sédiment d'avril et les profils de travers d'avant et d'après la crue permettent d'obtenir 50 analyses-PCB sur la fraction  $< 2$  mm, 50 analyses supplémentaires de PCB sur la fraction  $< 2$  mm seront effectués en juin-juillet pour compléter le jeu de données. Ces 100 analyses serviront non seulement à estimer le stock PCB-sédiment, mais aussi à potentiellement établir un lien entre le PCB dans les poissons et le PCB dans les sédiments (voir chapitre 4.2). En ce qui concerne la profondeur d'échantillonnage de ces 100 échantillons, il est pour l'instant suggéré d'effectuer 60 carottes longues ( $> 20$  cm) réparties aléatoirement sur la zone d'étude et 40 échantillons de surface (0-20 cm) repartis de la façon

suivante : 10 dans le segment Pila-Gérine, 20 dans le segment Gérine-Pont Pérolles et 10 dans le Lac de Pérolles.

Si les teneurs en PCB dans l'eau du lac de Pérolles sont inquiétantes ou si la présence de condensateurs est jugée importante sur le stock de PCB-sédiment de la Sarine, des mesures pourraient être lancées afin d'estimer les flux de diffusion (unités masse de PCB / aire x temps) des sédiments/condensateurs vers l'eau. La pertinence ces mesures devra cependant d'abord être jugée, sur la base des résultats obtenus en juin et en juillet 2016. Des mesures de diffusion pourraient par exemple prendre la forme d'essais contrôlés en laboratoire. Un schéma hypothétique d'essais en laboratoire est représenté à la figure suivante.



Figure 3.10 : Exemple d'essais en laboratoire visant à estimer le flux de diffusion du PCB des sédiments et/ou des condensateurs vers l'eau de la Sarine. Les intervalles de temps et le nombre d'échantillon sont à titre indicatif seulement.

Des [PCB]sed caractéristiques du milieu et des condensateurs pourraient être utilisés. Les échantillons (sédiments + eau + condensateurs) seraient analysées à intervalles réguliers (ex. 2 semaines). L'accumulation de PCB dans l'eau permettrait d'estimer un flux de diffusion. Une alternative aux essais en laboratoire serait l'utilisation de chambres benthiques permettant des mesures *in-situ* de flux de PCB sédiment-eau. Pour plus de renseignements concernant ces chambre benthiques, voir <http://wag-solutions.no/benthic-flux-chambers/>. Les chambres benthiques pourrait par exemple être adaptées à des mesures dans le Lac de Perolles.

## D) Suivi d'une crue artificielle au niveau du lit de la Sarine

En septembre 2016, une crue artificielle d'une durée de 36 heures avec un débit maximal de 250 m<sup>3</sup>/s est prévue dans la Sarine (voir hydrogramme Figure 3.25).

L'influence de cette crue artificielle pourrait être investiguée au niveau du lit de la Sarine. Avant et après la crue, des échantillons seraient prélevés sur deux profils en travers. L'un de ces profils pourrait par exemple être localisé entre la Pila et la Gérine (profil no. 37'218, Figure 3.11).

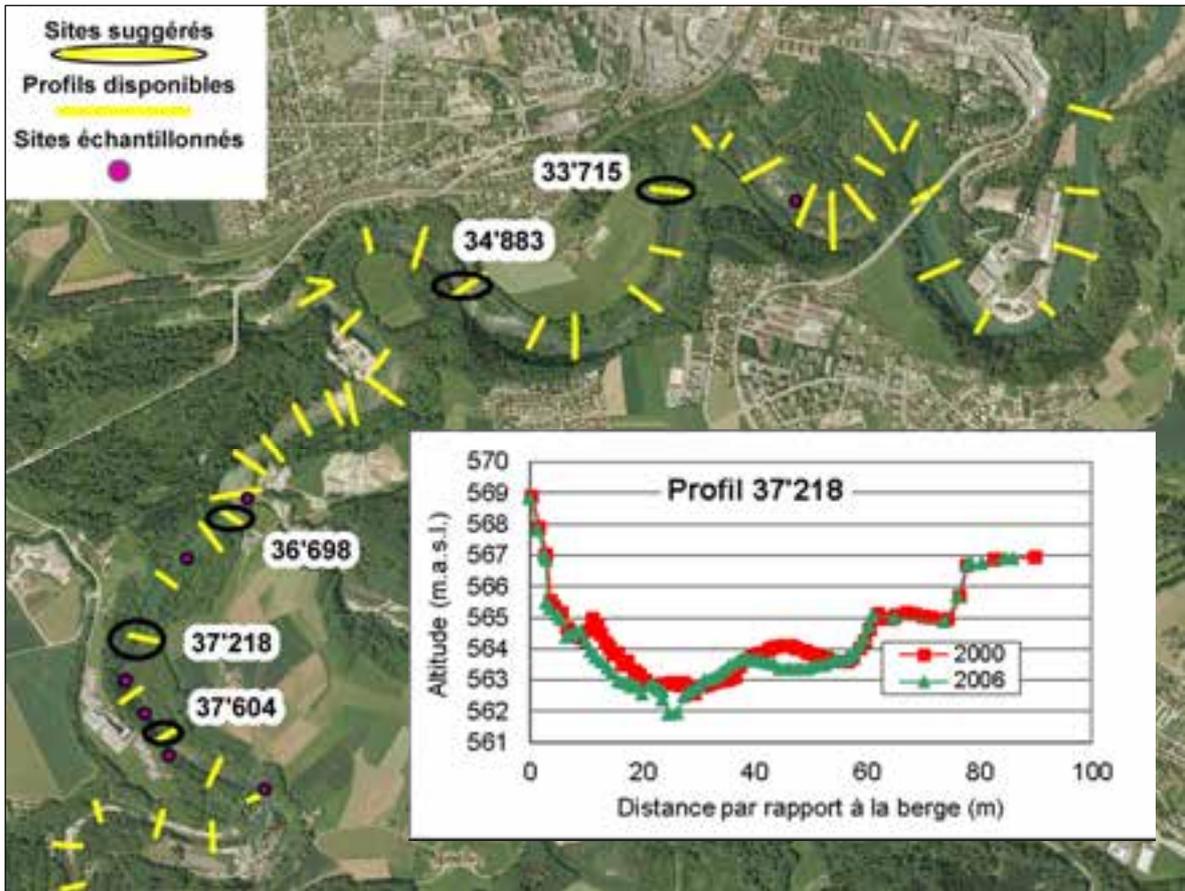


Figure 3.12 : Carte montrant les sites de profils suggérés (cercles noirs), les sites où des profils sont disponibles (lignes jaunes) et les sites déjà échantillonnés dans le passé (points roses)

Chaque profil en travers comprendra 5 échantillons (Figure 3.13). Les PCB et le TOC seront analysés.

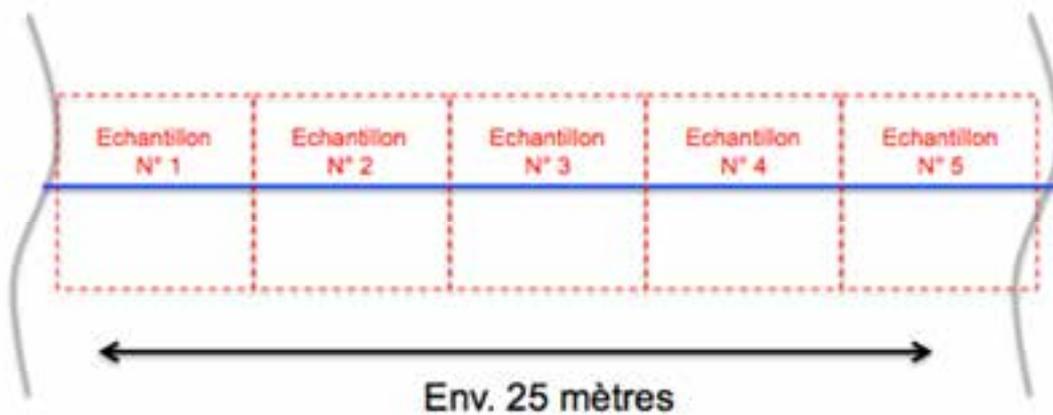


Figure 3.13 : Schéma illustrant la répartition des 5 échantillons de sédiments sur un profil en travers

Une alternative aux profils serait de sélectionner 10 zones échantillonnées durant la campagne principale de prélèvements et de répéter l'échantillonnage après la crue. L'acquisition de données complémentaires (relevés Lidar ou bathymétrie) permettant de visualiser les changements au niveau du lit de la Sarine sera également envisagée.

Pendant la crue de septembre 2016, les boîtes de MES décrites précédemment seront probablement enlevées des ponts/passerelles et d'autres moyens seront mis en œuvre pour échantillonner la matière en suspension dans la Sarine. Une option alternative aux boîtes est l'échantillonnage de volumes d'eau à intervalles réguliers l'aide d'un seau depuis une passerelle, suivi d'une décantation ou d'une filtration permettant d'isoler la matière en suspension. Une autre option alternative aux boîtes est l'utilisation d'une centrifugeuse à flux continu permettant l'isolation efficace de la matière en suspension. L'Institut Forel dispose d'une telle centrifugeuse, mais cette dernière ne peut pas être louée et devra être opérée par une équipe de scientifiques si elle est utilisée (selon communications écrites avec monsieur Jean-Luc Loizeau).

En raison de la constitution de l'hydrogramme de crue à l'aide de la vanne de fond du barrage de Rossens, le suivi d'une crue artificielle au niveau du lit de la Sarine devra être adaptés aux quantités de MES attendues en provenance de l'amont. Un apport significatif de matières en suspension, dont la teneur en PCB est inconnue, est attendu. Des vérifications seront donc nécessaires avant de lancer les mesures de suivi de crue dans la Sarine.

### **3.3.3.2 Résultats attendus et incertitudes**

La part de PCB transitant dans la Sarine par association avec la matière en suspension (MES) pourra être évaluée à l'aide des boîtes. Les vitesses de courant mesurées aux stations hydrométriques, combinées avec le diamètre des ouvertures de la boîte (environ 2 cm) permettront d'estimer un volume d'eau transitant dans celle-ci. Un flux de PCB dans la matière en suspension (unités masse / volume ou unités masse / temps) pourra idéalement être estimé. Ce flux sera cependant représentatif de l'état actuel de la décharge i.e. avec des berges assainies et une zone haute sécurisée. Puisqu'une boîte sera installée à l'amont de la décharge, les flux amont / aval pourront être comparés. L'influence de la décharge pourrait être perçue dans les boîtes lors d'événements de fortes pluies, qui seront enregistrés en continu par les stations hydrométriques et intégrés dans l'échantillon mensuel.

En effectuant 100 échantillons de sédiments dans toutes la zone d'études (40 échantillons entre 15 et 20 cm, 60 échantillons max. 1 mètre), les analyses de PCB pourront être utilisées pour estimer un stock de PCB total accumulé dans la Sarine au fil du temps. Cela permettra notamment d'estimer (très grossièrement) quelle est la part de PCB présents dans la rivière par rapport à la totalité émise par la décharge depuis son ouverture en fixant certains flux décharge-Sarine. Les analyses effectuées avant et après la crue artificielle (profils ou sites sélectionnés) permettront aussi d'évaluer l'influence de cet événement sur le stock. Par exemple, il se peut que la matière fine accumulée sur quelques mois soit soudainement dé-colmatée et transportée plus à l'aval lors d'une crue.

Si des mesures de diffusion sont lancées, l'estimation du flux de diffusion (unités masse PCB / surface x temps) permettra de mieux comprendre l'influence des sédiments et/ou des condensateurs sur les eaux de la Sarine à long terme. Des essais en laboratoire ne permettraient pas de reproduire exactement les conditions de la Sarine. Notamment, la structure originale (porosité) des sédiments de la Sarine sera perdue lors de la mise en bouteille. De plus, l'eau de la bouteille sera stagnante au lieu d'être en constant mouvement comme dans la Sarine. Les chambres benthiques pourraient s'avérer plus adéquates, du moins pour des mesures in-situ dans le Lac de Pérolles.

Les valeurs absolues liées aux stocks et aux flux de PCB (MES, flux mensuels PCB, diffusion sédiment-eau) seront associés à d'importantes incertitudes. Ces incertitudes sont liées à l'hétérogénéité du système en termes de dynamique de sédimentation et des sources variables de PCB (condensateurs, sédiments). Les résultats permettront néanmoins d'avoir un bon aperçu des ordres de grandeur associés aux stocks et aux flux dans des conditions contrastées (i.e. conditions normales, crues et pluies fortes).

## 3.4 PCB fraction dissoute / fraction particulaire dans les eaux souterraines

### 3.4.1 Questions ouvertes / hypothèses

Le flux de PCB lié aux eaux souterraines est déterminé par le PCB dissous ( $PCB_{diss}$ ) et par le PCB lié à la fraction particulaire ( $PCB_{part}$ ). Une première analyse des 2 fractions, effectuée par l'EMPA (cf. chap. 2.2.3), a montré que les teneurs  $PCB_{part}$  sont probablement fortement dépendantes des concentrations en particules fines dans les eaux, qui elles dépendent des caractéristiques de l'échantillonnage.

Les échantillons prélevés en novembre 2015 (analyse par EMPA) ne sont que partiellement représentatifs : dans les puits on note la présence d'oxyde de fer produit lors du pompage et pour ce qui concerne les piézomètres en raison de la très faible concentration en matière en suspension (proche de la limite de quantification). Afin de pouvoir caractériser les flux liés aux eaux souterraines, il est nécessaire d'obtenir plus d'informations non seulement en ce qui concerne la matière en suspension lors de l'échantillonnage mais également sur son importance dans les eaux souterraines sous le corps de la décharge.

Les variations de la concentration en particules en suspension peuvent avoir différentes raisons. La pompe provoque une vitesse d'écoulement nettement supérieure à la vitesse d'écoulement naturelle de l'eau souterraine. Ceci engendre un décrochement de matière fine et de colloïdes à proximité immédiate de la pompe. Ce décrochement dépend du débit de la pompe, de la granulométrie du terrain dans lequel se situe la pompe, de la position de la pompe relativement aux couches de granulométrie plus fine, de l'état du gravier filtrant etc. L'apport forcé de particules fines peut être réduit par un débit très faible lors de la purge et du prélèvement ( « low-flow purging and sampling » ), avec un positionnement de la pompe au niveau d'une couche de granulométrie plus grossière et avec le choix de la pompe (pompe submersible, pas de pompe à bille).

Les mesures proposées doivent permettre de clarifier les points suivants :

- Evolution de la turbidité en situation normale (durant 1 semaine) et durant le pompage. Affinement de la méthode de purge et de prélèvement.
- Validation des méthodes de conditionnement des échantillons et des analyses.
- Evaluation de l'importance relative du  $PCB_{part}$  de la teneur totale en PCB dans les eaux souterraines, détermination d'un protocole d'échantillonnage et d'analyse avec validation par les autorités.

### 3.4.2 Programme d'études complémentaires

Pour le point 1 :

- a) Installation de sondes de turbidité dans 3 piézomètres à l'aval du site (F50-12, F53-12, F27-08) et 3 piézomètres à l'intérieur de la décharge (F15-8, F16-8, F11-8). Mesures en continu durant une quelques jours (sans pompage).
- b) En fonction des résultats, choix de 3 piézomètres pour le suivi de la turbidité lors d'une purge. Pompe 12V inox avec débit faible à très faible. Sonde de turbidité avec mesure en continu. Prélèvement de 3 échantillons lors de la purge et analyse MES + PCB. Total :  $3 \times 3 = 9$  échantillons.

Pour le point 2 :

- c) Envoi des 9 échantillons à EMPA

- d) Conditionnement a) décantation, b) selon méthode EMPA
- e) Analyses : a) selon méthode OFEV, b) selon méthode EMPA

Pour le point 3 :

- f) Variation des MES en fonction des critères d'échantillonnage
- g) Importance PCB<sub>part.</sub>
- h) Recommandations concernant l'analyse de la fraction particulaire et son importance relative dans le flux de PCB présent dans les eaux souterraines, protocole d'échantillonnage, de conditionnement et d'analyse.
- i) Validation par les autorités

## 3.5 Flux de PCB à partir de la décharge dans la Sarine

Les flux de PCB vers la Sarine incluent notamment le transport solide, l'érosion des berges, les glissements de terrain et l'exfiltration de tous les flux entrants (ex. infiltration/percolation, apports depuis l'amont) par les eaux souterraines.

Dans le cadre de l'étude des effets des différentes variantes d'assainissement, il convient de préciser les flux solides ainsi que les flux liés aux eaux souterraines en période normale et de crue.

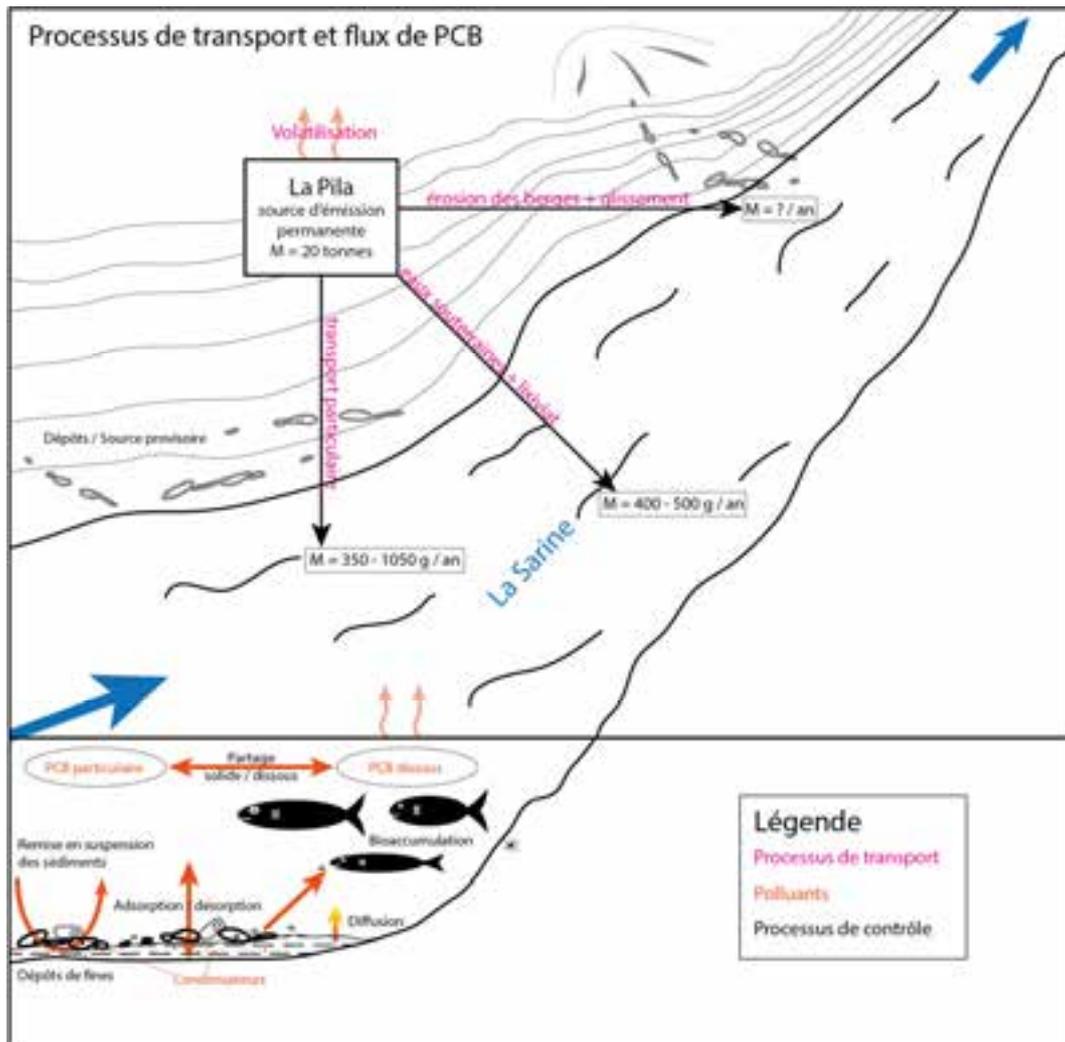


Figure 3.14 : Schéma simplifié de processus de transport et flux de PCB.

### 3.5.1 Flux solides

#### 3.5.1.1 Données disponibles

Les apports solides de PCB de la décharge vers la Sarine, que ce soit sous forme de glissements de terrain ou d'érosion, apparaissent comme considérables par rapport aux apports liquides. Les estimations existantes fixent la masse de PCB entraînée dans la Sarine par un glissement de terrain en 2008 à 4.7 kg de PCB et les flux de PCB liés à l'érosion de sols à entre 0.35 et 1.05 kg/an dans l'Etat 0. En comparaison, les flux de PCB sous forme liquide par le biais des eaux souterraines sont relativement bas, i.e. entre 0.04 et 0.5 kg/an.

La quantification du transport solide de PCB vers la Sarine souffre cependant d'énormes incertitudes. L'estimation de 0.35 et 1.05 kg/an est basée sur une formule empirique exprimant la perte de sol, et n'a été appliquée qu'à la zone haute i.e. une partie de la décharge ayant une forte pente (devant le Hotspot). Les

glissements de terrain et l'érosion ne sont pas des événements réguliers et pourraient n'être déclenchés qu'en présence de conditions météorologiques particulières (ex. fortes pluies).

L'érosion des sols se trouvant sur la falaise devant le Hotspot (Talus hot-spot) derrière le soutènement pourraient causer à long terme des apports non négligeables de PCB vers la Sarine. Une analyse effectuée en 2014 a révélé une teneur supérieure à 1'000 ppm de PCB dans ce secteur.

Pour ce qui est des glissements de terrain, leur probabilité d'occurrence a été nettement réduite depuis la mise en œuvre des mesures préliminaires en 2013 et il n'est plus possible d'acquérir des données sur l'état antérieur. Les seules données qui peuvent être exploitées pour estimer un flux solide décharge-Sarine pour l'état 0 (situation actuelle sans palplanches ni pompage) sont les suivantes :

- analyses des matériaux susceptibles de se retrouver dans la Sarine en cas de glissements de terrains (talus raides)
- hypothèses sur la fréquence et les volumes des glissements de terrain en fonction des pentes, de la stabilité de la décharge, des précipitations et des crues.

En plus de l'incertitude relative aux flux liés à l'érosion (sols, berges) et aux glissements de terrain, le flux liquide de 116 g / an de PCB par les eaux souterraines obtenu par le modèle hydrogéologique est basé sur l'analyse d'échantillons non-filtrés. Il se pourrait qu'une partie de cette masse de PCB soit en réalité associée à des particules en suspension. Cette question sera abordée dans le cadre des essais prévus au chapitre 3.4.

### **3.5.1.2 Questions ouvertes**

Les principales questions ouvertes portent sur une quantification plus précise des transports de PCB sous forme solide de la décharge dans la rivière. En particulier

- Quelle est l'importance du transport solide (érosion, glissement de terrain) de PCB provenant de la décharge ?
- Quelle est en proportion au transport solide la part de transport liquide (fraction dissoute de PCB des eaux souterraines) ?
- Est-ce que des événements de fortes pluies sont capables de déclencher des apports considérables de PCB solides vers la Sarine et si oui, quelle est l'origine de ces apports (zone haute, zone basse)?

### **3.5.1.3 Programme d'études complémentaires**

#### **3.5.1.3.1 Méthode**

Pour répondre à ces questions, il est proposé d'installer 6 réceptacles capables de récolter les matériaux solides issus de l'érosion sur le site de la décharge. Les dispositifs seront installés sur les pentes de la décharge, au-dessus du niveau d'eau de la Sarine et au-dessus des berges (Figure 3.15).

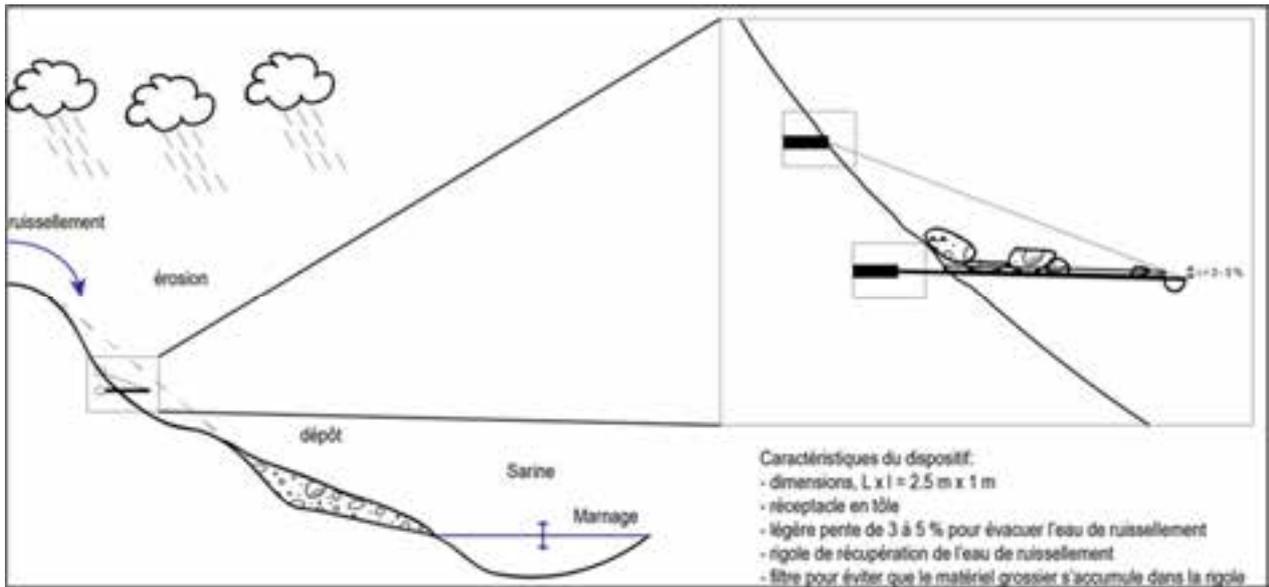


Figure 3.15 Schéma d'un réceptacle permettant d'estimer l'érosion des sols

Tel qu'illustré sur la carte ci-dessous (Figure 3.16), quatre des réceptacles seront installés dans la zone haute de la décharge et deux seront installés sur la zone basse.



Figure 3.16 : Plan schématique avec l'emplacement des réceptacles (boîtes roses)

Des analyses de PCB seront effectuées sur les échantillons récoltés. L'aire de la décharge drainée par chaque réceptacle sera estimée. L'érosion sera estimée pour l'ensemble du site de la décharge en interpolant les points de mesure disponibles. Les mesures seront comparées à un calcul théorique, dérivé

de l'équation universelle des pertes en terre qui sera appliquée à toute la décharge (MAAAro, 2000). Les paramètres de l'équation universelle seront adaptés aux réalités de la décharge.

Des échantillons et analyses de surface seront effectués sur les talus de la décharge déterminants pour l'érosion. 7 placettes seront définies et les PCB seront analysés sur des échantillons composites prélevés jusqu'à une profondeur maximale de 5 centimètres. Les résultats seront confrontés aux analyses effectuées sur les matériaux récoltés dans les réceptacles. Ces analyses permettront également compartimenter les estimations d'érosion en fonction des variantes d'assainissement.

Les données pluviométriques de la station météorologique, distante d'environ 1 km de la décharge, seront utilisées. Cela permettra l'acquisition de paramètres affectant l'érosion et les glissements de terrain, comme notamment la quantité de pluie tombée par unité de temps.

Des analyses supplémentaires sur des matériaux susceptibles de glisser dans la Sarine sont également proposées pour estimer la répartition entre les déchets de condensateurs, les PCB particulaires et les PCB dissous. Ces matériaux seront pris en compte pour estimer le flux de PCB provenant des glissements de terrain à moyen/ long terme.

La répartition entre les déchets de condensateurs, les PCB particulaires et les PCB dissous sera déterminée sur les matériaux suivants :

- Échantillon composite à prélever dans le talus du secteur aval (zone tuf ex hot-spot)
- Échantillon composite à prélever dans le talus de la zone haute de la décharge (côté Sarine)

Les essais et analyses suivants sont prévus :

- Tamisage à 8 mm et séparation et pesage des déchets de condensateurs et de la fraction grossière.
- Éventuelle analyse des PCB.
- Tests de diffusion des PCB dans l'eau à partir des condensateurs ; objectif : estimer la cinétique de contribution au stock bio-disponible, méthode en discussion avec l'EMPA.
- Analyse des PCB et du COT sur le solde de l'échantillon.
- Si possible, différenciation entre particules de condensateurs et les autres fractions.
- Éventuel tamisage complémentaire et analyse des autres fractions.
- Test de lixiviation en colonne sur l'échantillon complet : rapport liquide/solide élevé ou constitution d'un échantillon composite des fractions L/S 0.25, 3 et 6 dans le but de permettre l'analyse des PCB sur la fraction dissoute et particulaire (méthode EMPA)

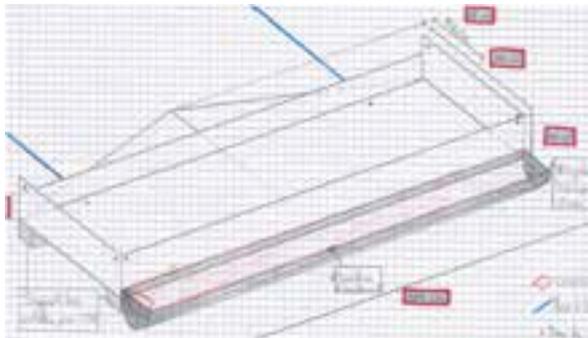
Finalement, en fonction des résultats des tests présentés au chapitre 3.4, des analyses de PCB seront effectuées sur les fractions dissoutes et particulaires des eaux souterraines de la décharge. Les échantillons seront prélevés à l'aide d'une pompe, transférés directement dans des bouteilles en verre propre et filtrés subséquentement en laboratoire. Les fractions dissoutes et particulaires seront analysées séparément, avec des limites de quantification basses.

### 3.5.1.3.2 Procédure par étapes

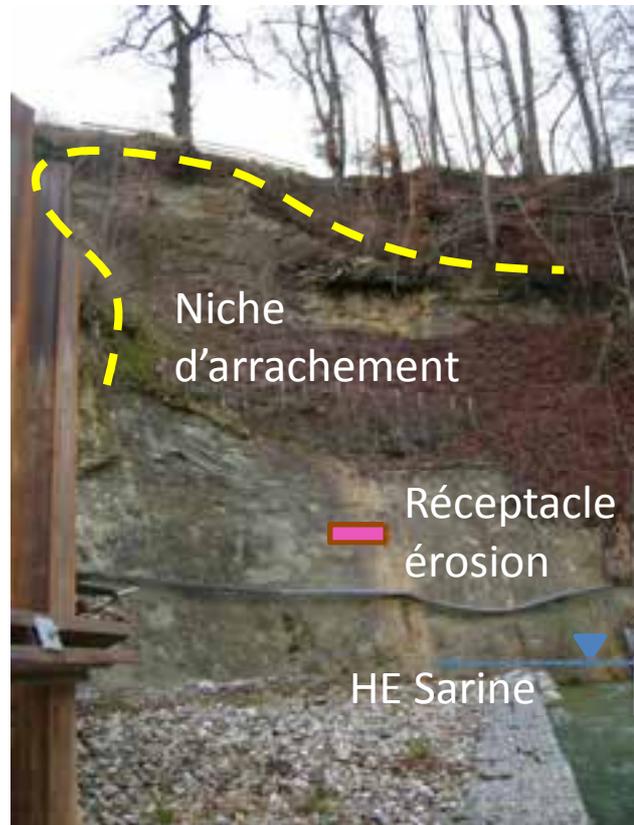
Les réceptacles destinés à mesurer l'érosion de la décharge seront fournis par une entreprise de ferblanterie. Un test de mise en œuvre est prévu dès le mois d'avril pour 3 réceptacles sur un total de 6 par Monitron AG et CSD. Cela permettra en premier lieu de tester le dispositif (fixation, comportement en cas de pluie, accessibilité pour l'échantillonnage, etc.).

Les installations envisagées sont représentées sur les figures suivantes.

Réceptacle de format 100 x 30 x 10 cm



Falaise 1



Talus 1



Talus 2



Dès que les réceptacles seront installés, il sera nécessaire de tester leur exploitation, en particulier les points suivants seront étudiés :

- Méthode d'échantillonnage
- Quantité de matière échantillonnée pour réaliser les analyses mensuelles prévues (i-PCB et TOC). Les réceptacles seront inspectés dans les 2 semaines suivant la pose et un premier échantillonnage sera réalisé dans les 4 semaines suivant la pose.

- Comportement en cas de pluie
- Définition des emplacements pour les 3 réceptacles complémentaires

### 3.5.1.3.3 Résultats attendus et incertitudes

Les réceptacles permettront d'estimer l'érosion et les petits glissements de terrain provenant de la zone haute. La comparaison des mesures avec les calculs empiriques permettra de réduire l'incertitude sur les chiffres (unité de masse de PCB / unité de temps).

Les analyses sur les matériaux excavés serviront à estimer les flux de PCB par le biais des glissements de terrain. Un chiffre absolu (unités masse PCB / temps) pourra difficilement être obtenu, mais la répartition des PCB solides (condensateurs, sols pollués) sera clarifiée. La mise en parallèle des données de pluie avec les données d'érosion permettra de voir sur une année si les flux solides sont influencés par les fortes pluies.

Pour chaque zone de la décharge, des estimations de flux seront établies sur la base des nouvelles données acquises. Les ordres de grandeurs des différents flux seront confrontés aux estimations existantes. Pour chaque processus, les flux annuels seront représentés comme sur la figure ci-dessous (bien que les ordres de grandeur soient plausibles, les flux et les répartitions ont été imaginés pour l'exemple, Figure 3.17).

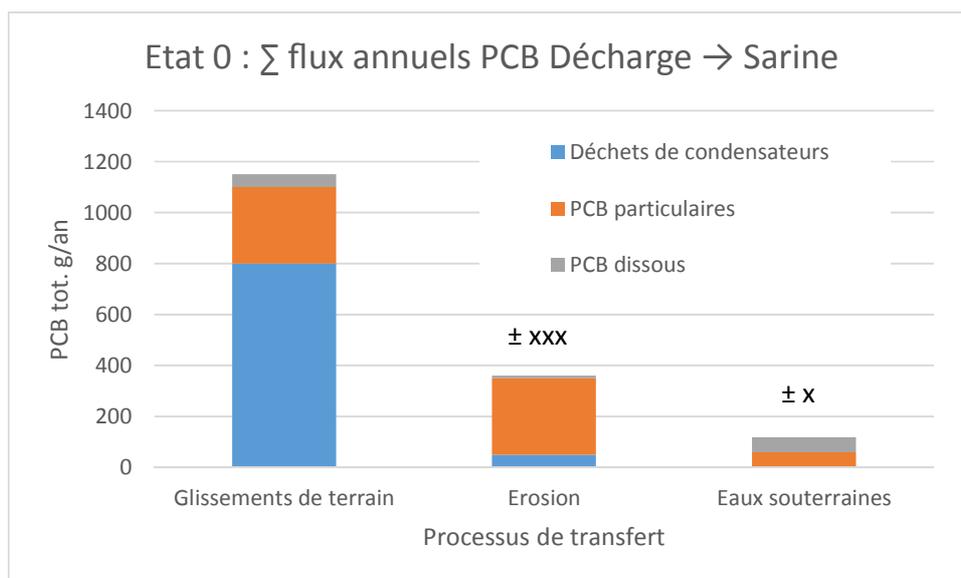


Figure 3.17 : Représentation schématique des flux annuels de PCB de la décharge vers la Sarine, selon le processus de transfert, l'origine et le type de PCB

Des incertitudes seront calculées ou estimées et associées aux différents processus. Pour l'état 0, la hiérarchie des incertitudes, que ce soit pour l'estimation des quantités ou pour la répartition des PCB, est très probablement la suivante : Glissements de terrain > Érosion > Eaux souterraines. Sur la base de l'état actuel de connaissance du site, on peut en effet déjà affirmer que les incertitudes les plus importantes existent sur les flux dominants que sont les glissements de terrain.

La sensibilité du modèle à différentes variations de paramètres sera testée dans le but d'identifier les variables déterminantes : hiérarchie des processus et répartition des types de flux au sein d'un même processus. Les résultats de la modélisation seront également confrontés aux mesures et analyses à disposition dans le but d'affiner certaines hypothèses.

## 3.5.2 Eaux souterraines en situation « normale »

### 3.5.2.1 Données disponibles

L'exfiltration des PCB vers la Sarine par les eaux souterraines de la décharge a d'abord été estimée entre 0.04 et 0.235 kg /an par CSD (2007), puis entre 0.4 et 0.5 kg/an par CSD (2008), ensuite à environ 0.116 kg/an par modélisation hydrogéologique par CSD (2009) et finalement à environ 0.148 kg/an par BRGM (2012). Selon le modèle hydrogéologique de 2009, plus de 90% des masses de PCB s'exfiltrent de la zone haute, schématisée par les secteurs 1, 2, 3 et 4 à la Figure 2.4.

Depuis la dernière estimation des flux de polluants par CSD en 2009, des travaux préliminaires à l'assainissement ont été effectués sur le site de la décharge (palplanches, puits de pompage, captage des « flux amont ») et de nombreuses données supplémentaires relatives aux eaux souterraines ont été récoltées. Parmi elles figurent :

- les nouvelles données de géométrie du toit de la molasse issues de la réalisation des puits, piézomètres et rideau de palplanches ;
- les données de pompage et de suivi piézométrique à proximité ;
- le suivi en continu du niveau de la Sarine et des piézomètres situés à l'intérieur et extérieur du rideau de palplanches ;
- le suivi du flux amont ;
- les analyses des puits et piézomètres.

### 3.5.2.2 Questions ouvertes

L'ensemble de ces éléments a été exploité dans différents rapports mais n'a pas fait l'objet d'une synthèse globale ni d'une mise à jour du modèle conceptuel d'exportation des PCB par les eaux souterraines. L'analyse, l'exploitation et la mise à jour du modèle avec ces données permettra d'évaluer l'impact des variantes d'assainissement sur la qualité des eaux souterraines.

### 3.5.2.3 Programme d'études complémentaires

L'ensemble mesures réalisées en conditions normales et en période de crue suit un déroulement en étapes successives, c'est pourquoi, la numérotation des mesures présentées dans les chapitres 3.5.2.3.1 et 3.5.3.3 est continue.

#### 3.5.2.3.1 Méthode

Nous proposons de reprendre et mettre à jour le modèle conceptuel d'exportation des PCB par les eaux souterraines en synthétisant et intégrant les nouvelles données dans le modèle numérique des écoulements pour deux raisons :

1) cela permettra de préciser le fonctionnement hydrogéologique du site de la Pila afin de préparer au mieux le dispositif de monitoring de la crue.

2) le modèle permettra d'évaluer l'impact des variantes d'assainissement sur l'exportation des PCB via les eaux souterraines.

De plus, des mesures complémentaires de terrain seront réalisées afin d'améliorer le modèle conceptuel. Ces mesures seront utilisées par la suite pour évaluer l'influence d'une crue sur l'exportation des PCB, c'est pourquoi certaines mesures seront également mentionnées dans le chapitre 3.5.3 :

- a) Des essais aux pénétromètres seront réalisés afin de délimiter de manière plus précise la crête molassique amont et de préciser ainsi si, et à quelles conditions, un flux provenant de la petite Sarine pourrait traverser la zone basse de la décharge.

L'importance du flux traversant en situation de crue est actuellement très incertaine, notamment car l'emplacement et l'extension de la crête molassique bordant le méandre amont n'est pas connue de manière précise. Dans une première phase, il est par conséquent essentiel de disposer de données plus précises sur le toit de la molasse en réalisant 4 ou 5 profils d'essais par pénétromètre (un essai tous les mètres sur une trentaine de mètres) dans la partie amont du méandre. L'emplacement des profils est présenté à la Figure 3.26.

Des pénétromètres situés à l'extrémité Est à l'intérieur du méandre compléteront ces investigations.

- b) Des mesures complémentaires de vitesse des eaux souterraines sont nécessaires pour une amélioration significative du modèle : deux essais de dilution dans des piézomètres de la zone basse seront réalisés en situation normale, à l'uranine et à la sulforhodamine-B. L'utilisation de ces traceurs permettra en parallèle de tester leur efficacité sur le site ainsi qu'une éventuelle interférence avec les capteurs passifs (cf. chapitre 3.5.3.3.1).
- c) L'évaluation de l'interaction nappe rivière sera déterminée à l'aide de la mesure simultanée du niveau piézométrique et de la Sarine et à l'aide de traceurs naturels (température, conductivité électrique, éventuellement turbidité).
- d) Une fois le modèle mis à jour, il sera nécessaire de le valider à l'aide de données mesurées actuelles. Pour ce faire, nous prévoyons un suivi de la nappe (zone basse et zone haute, puits) durant une semaine à l'aide de 15 sondes piézométriques automatiques réparties sur l'ensemble du site (partie basse et haute).

### 3.5.2.3.2 Résultats attendus et incertitudes

Les données recueillies seront utilisées pour mettre à jour le modèle numérique des écoulements de la nappe développé en 2008 et pour affiner les estimations des flux sortants de PCB de la décharge vers la Sarine du modèle CSD (2008), ainsi que leur évolution entre 2008-2016. Des calculs d'incertitude et de sensibilité seront effectués.

La mise à jour du modèle permettra d'estimer le flux provenant de l'amont du méandre en période de turbinage normal et servira de base à l'estimation des flux lors de crues.

Pour prévoir au mieux l'emplacement des installations supplémentaires et les points de mesures durant la crue, des simulations seront réalisées à l'aide du modèle numérique en intégrant les données des simulations de crue réalisées par e-dric (2015) au droit du site.

Finalement, les résultats des investigations décrites ci-dessus serviront de base à la définition précise des mesures réalisées avant et durant la crue (chapitre 3.5.3.3)

### 3.5.3 Eaux souterraines en temps de crue

#### 3.5.3.1 Données disponibles

##### Historiques des crues

Pour mémoire, les récentes hautes eaux exceptionnelles sont les crues du 23 août 2005, du 9 août 2007 et du 12-13 juillet 2014.

Lors de la crue de 2005, le débit à Rossens est monté à 650 m<sup>3</sup>/s, soit un temps de retour d'environ 100 ans. L'usine hydroélectrique d'Hauterive a été noyée et a dû être arrêtée. Selon les informations transmises par Groupe e (information orale de M. J.-C. Kolly), le niveau de l'eau dans l'usine, soit à l'amont de la Pila, est monté jusqu'à 570.1 m.s.m.

Lors de la crue de 2007, le débit de la Sarine au droit de la Pila est monté à 430 m<sup>3</sup>/s, soit un temps de retour d'environ 40 ans. Ce débit comprend le débit de turbinage maximal de l'usine hydroélectrique d'Hauterive (85 m<sup>3</sup>/s) qui était en fonction. Les niveaux de cette crue ont été relevés par CSD en différents points à proximité de la décharge. Le long du bord aval de la décharge, les niveaux de la crue ont été approximativement de 569 m.s.m., à la confluence de la Petite Sarine et des canaux de fuite, et de 568 m.s.m. entre l'ancien rejet SAIDEF et le piézomètre F1. Ces relevés montrent que, pour cette crue, la ligne d'eau présente une différence d'environ un mètre le long du bord aval de la décharge. Cette différence s'explique par la pente du lit de la Sarine et par la présence de seuils sur la molasse.

Durant la crue de juillet 2014, le débit déversé au barrage de Rossens a atteint 250 m<sup>3</sup>/s. Le débit additionnel lié au turbinage était de 75 m<sup>3</sup>/s. CSD a suivi les niveaux de la nappe par une tournée piézométrique sur le dispositif existant. Aucune analyse n'a été réalisée.

Les dommages constatés sur la berge provisoire constituée de gabions ont conduit à la mise en œuvre d'encrochements.

##### Hydrogéologie et flux de polluants dans la partie basse

Suite à la réalisation des mesures préliminaires (installations des puits de pompage et palplanches, captage du flux amont), de nouvelles données ne pourront être acquises dans le secteur du confinement partiel, au droit de la zone haute de la décharge : les impacts d'une crue pourront être suivis uniquement dans la partie basse de la décharge. Néanmoins, les observations de la partie basse permettront d'avoir une meilleure vision du fonctionnement hydrogéologique global en période de crue du site et pourront être extrapolées à la zone haute. De plus, parmi les variantes d'assainissement à évaluer (voir chapitre 5), l'assainissement partiel du site impliquerait de laisser la partie basse de la décharge en place, il est donc essentiel de connaître ce secteur de manière détaillée.

Un modèle hydrogéologique Feflow 2D a été réalisé et a permis d'estimer les flux de PCB sortant de la décharge vers la Sarine (CSD 2008) en situation normale de turbinage à l'usine hydroélectrique (Figure 3.18).

Le mécanisme d'exportation de polluants par les eaux souterraines, conditionné par le fonctionnement hydrogéologique, est essentiellement lié aux échanges avec la Sarine.

L'absence d'influence dans le secteur de la zone basse d'un flux provenant de l'amont, qui crée un gradient hydraulique provoquant des écoulements continus vers la Sarine, ainsi que l'éloignement par rapport au cours d'eau a pour conséquence une diffusion plus lente des polluants.

Toutefois, les profils géophysiques réalisés en 2010 ainsi que les dernières adaptations du modèle hydrogéologique numérique montrent que la crête molassique, qui limite la nappe vers le Sud, n'est pas forcément continue. Un flux provenant de la petite Sarine peut ainsi traverser la zone basse et entraîner des polluants en direction de la Sarine.

Les flux exportés à partir de la zone basse (segments 4 à 6) peuvent présenter des teneurs moyennes dépassant la valeur OSites avec une fréquence hebdomadaire. Les flux issus de ce secteur représentent 5% du flux total. Quelles que soient les hypothèses utilisées pour le calcul des flux, la contribution de la zone basse reste relativement faible. Toutefois, les analyses réalisées durant le mois d'août 2010 et le suivi des paramètres physico-chimiques en 2008 et 2009 montrent bien l'influence de la décharge dans les piézomètres situés entre celle-ci et la Sarine (Piézo-bleu, Pila 2, F27-08).

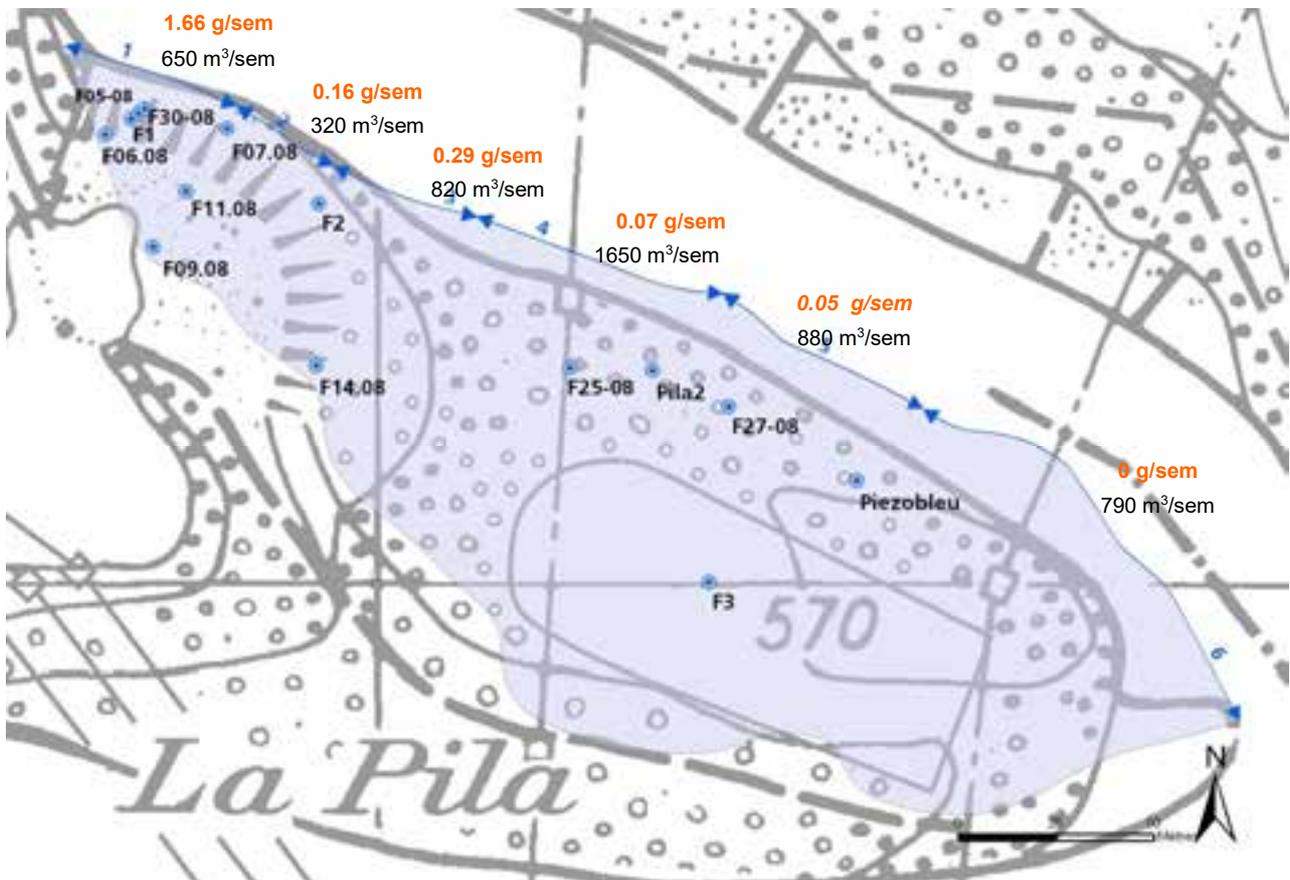


Figure 3.18 : Flux tirés du modèle numérique par secteur pour une semaine standard de turbinage et évaluation des quantités de PCB s'exfiltrant de la nappe

Les conditions imposées dans le modèle sont cependant « normales ». Le modèle a été calé et validé avant la réalisation des mesures préliminaire et il ne tient pas compte d'une situation de crue.

## Influence des crues sur les eaux souterraines

En situation de crue, l'augmentation du niveau de la Sarine induit, par augmentation de la pression, une élévation du niveau de l'eau contenue dans la décharge. Les données recueillies durant la crue du 9 août 2007, rappelées sur la figure ci-dessous (Figure 3.19), ont permis de montrer que le niveau de l'eau pouvait atteindre des horizons de déchets. A la fin de la crue, on constate un phénomène de vidange de la nappe en direction de la Sarine. Ce phénomène de vidange, démontré par une augmentation de la conductivité électrique, est similaire à ce qui se produisait principalement durant le week-end en basses eaux de la Sarine (sans turbinage).

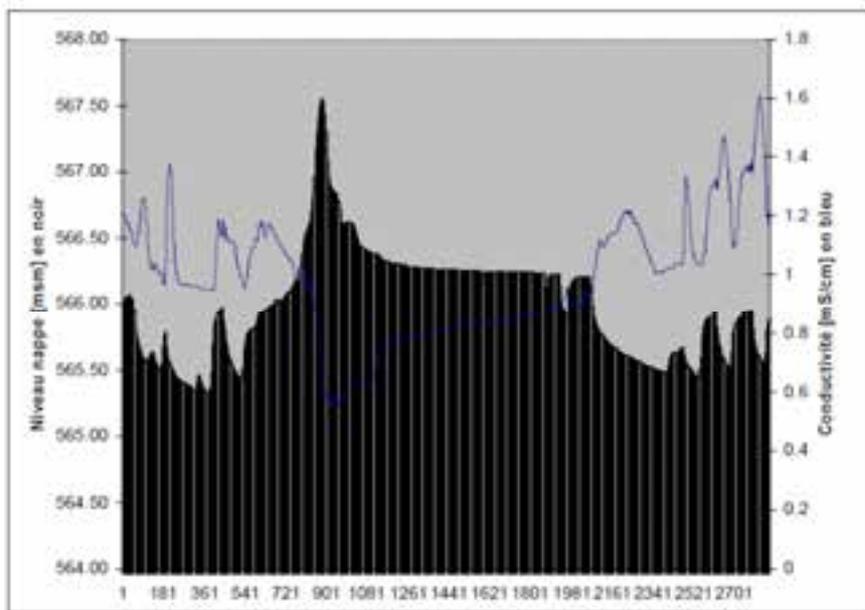


Figure 3.19 : Variations du niveau d'eau et conductivité dans le piézomètre F2 du 3 août 23 août 2007

En cas de crue, les eaux de la Petite Sarine peuvent s'infiltrer de l'amont vers la zone basse de la décharge entre les profils 6 et 7 (Figure 3.20), entrant ainsi en contact direct avec des déchets contaminés en PCB (> 1ppm). Ces eaux souterraines peuvent ensuite s'écouler directement dans la Sarine, ou encore s'écouler vers le nord-ouest, en direction des Profils 6 et 5 où d'importantes concentrations en PCB (>10 ppm) ont été mises en évidence en profondeur, avant de se diriger dans la Sarine (Figure 3.21, Figure 3.22, Figure 3.23).

Les flux d'eau et de PCB sortants, en temps de crue, par les segments 4 à 6 de la Figure 3.18 n'ont jamais été estimés.

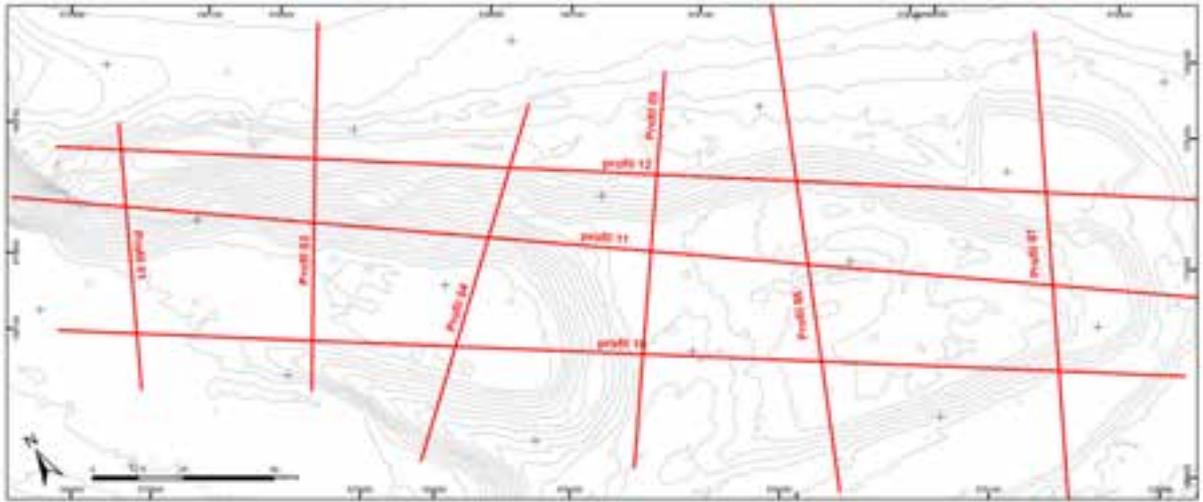


Figure 3.20 : Position des profils incluant les profils 7, 6 et 5

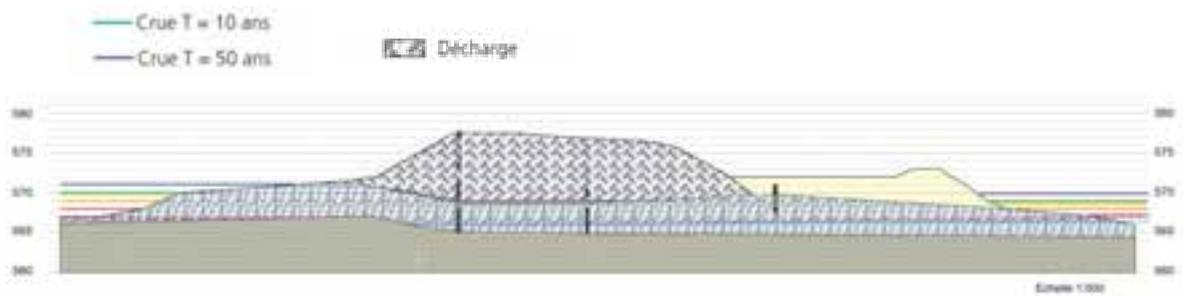


Figure 3.21 : Profil 7 : Niveau d'eau de la Sarine en temps de crue (ligne bleu foncée) et décharge

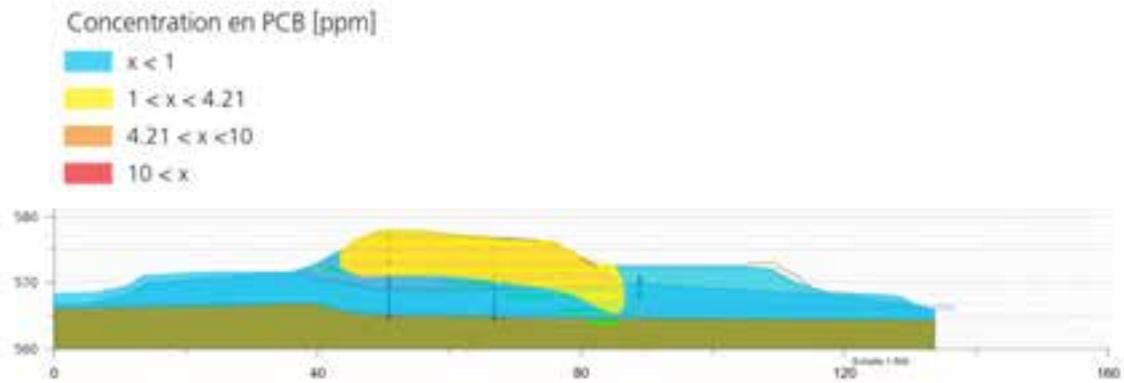


Figure 3.22 : Profil 7 : Concentrations en PCB dans la décharge<sup>[5]</sup>

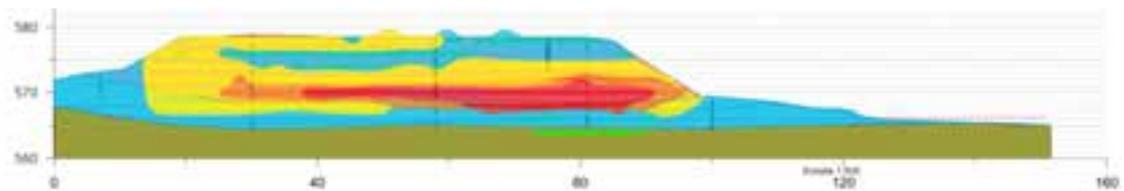


Figure 3.23 : Profil 6 : Concentrations en PCB dans la décharge

## Exemple de l'influence d'une crue

Le 08.09.2015, un déversement de 50 m<sup>3</sup>/s a été effectué dans le cadre d'un essai de vannes au barrage de Rossens. Des sondes de mesure avaient été disposées dans les piézomètres F3, F22-08, F23-08 et F24-08 entre le 07.09.2015 et le 14.09.2015.

Le piézomètre F3 était à sec durant toute la durée des mesures. Lors de son installation et jusqu'en 2008-2009, celui-ci présentait une fine tranche d'eau. Il est possible qu'il se situe dans le rayon d'actions des puits, qui auraient comme impact d'abaisser le niveau de la nappe.

Les trois autres piézomètres montrent clairement que la crue a une influence sur le niveau des eaux souterraines et sur la conductivité électrique (Figure 3.24). Le niveau piézométrique varie de façon similaire, avec une même amplitude (environ 20 cm). Le niveau piézométrique F22-08 se situe environ 40 cm sous le niveau des piézomètres F23-08 et F24-08. Le piézomètre F24-08 montre une réaction légèrement plus rapide (d'un plus d'une heure) que les deux autres, et un niveau maximum légèrement plus élevé que F23-08. Les différences d'altitudes doivent cependant être considérées avec une grande réserve car les observations de terrains montrent que les piézomètres et leur tube de protection ont pu bouger depuis leur dernier nivellement en 2008-2009.

La conductivité mesurée au F23-08 est un bon exemple du type de signal que peut provoquer une crue. Au début de celle-ci, la conductivité électrique diminue avec l'arrivée de l'eau de la Sarine dans les eaux souterraines. Après le passage de la crue, la conductivité augmente à un niveau supérieure à l'état initial (d'avant crue) en raison de la mobilisation de la pollution durant la crue.

La conductivité des piézomètres F22-08 et F24-08 présente une baisse continue, vraisemblablement liée à l'arrivée progressive de l'eau de la Sarine dans la nappe.

Cela a permis de vérifier l'influence d'une crue de moindre importance. Néanmoins, une crue plus importante amenant un niveau d'eau à l'amont plus élevé que l'arête molassique engendra probablement des réponses différentes.

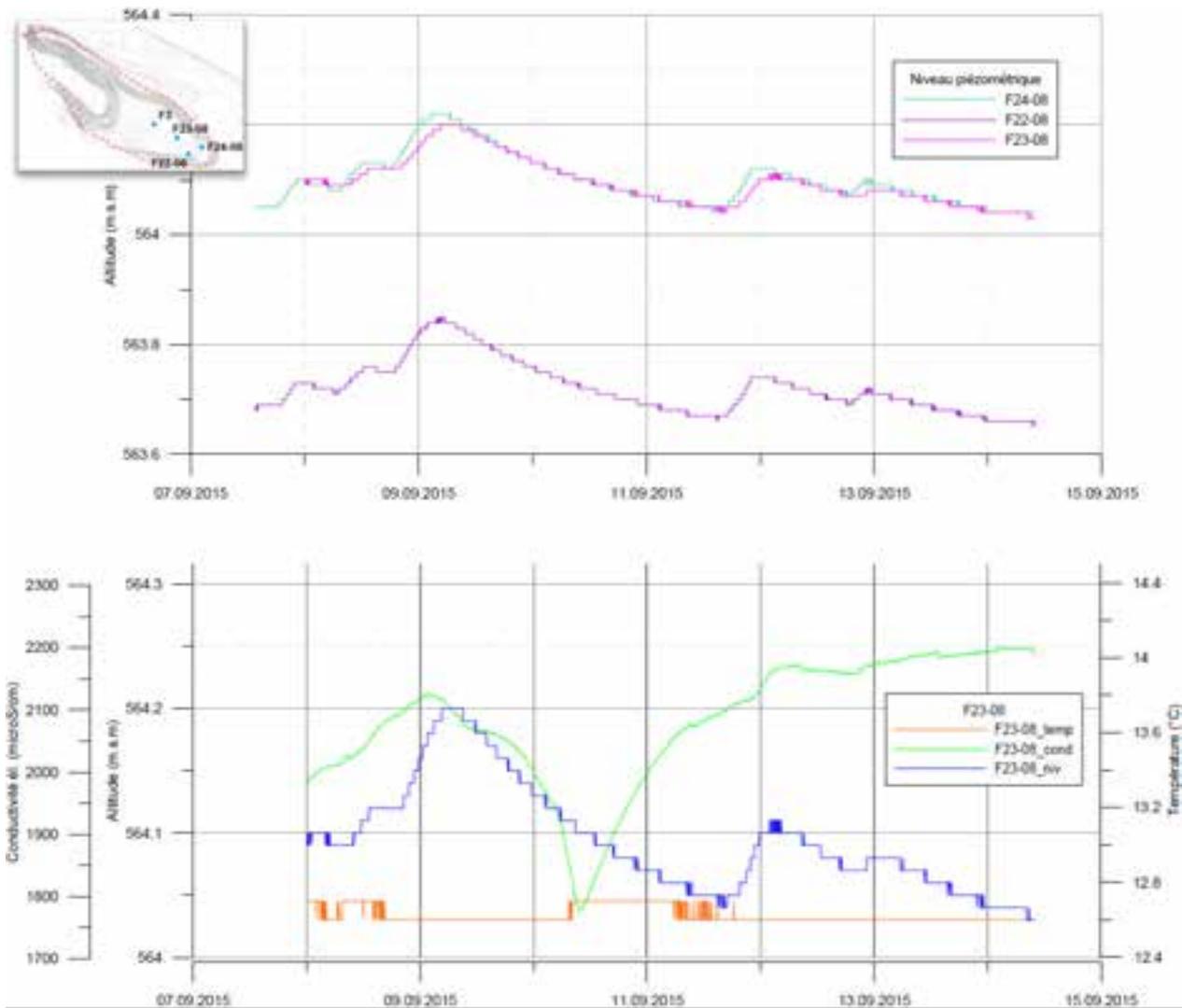


Figure 3.24 : Suivi de la crue de septembre 2015

### 3.5.3.2 Questions ouvertes

L'objectif premier de l'étude des flux de la décharge vers la Sarine est de quantifier les variations potentielles des flux de contaminants lors de crues et de déterminer sous quelle forme (dissous ou particulaire) le flux de contaminants se propage vers la Sarine.

Le suivi de la crue artificielle prévue en 2016 permettra ainsi d'évaluer l'exportation additionnelle de PCB au droit de la zone basse de la décharge et de préciser le flux en période de crue naturelle.

Concrètement, l'étude de l'impact d'une crue sur les flux de polluants sortants revient à étudier de manière détaillée les points suivants :

- Détermination du flux d'eau souterraine traversant la zone basse de la décharge depuis l'amont du méandre (nommé « flux traversant »)
- Sur la base du point précédent, détermination du flux d'échange (eaux et polluants) entre la partie basse de la décharge et l'aval du méandre (segments 5-6).

### 3.5.3.3 Programme d'études complémentaires

#### 3.5.3.3.1 Méthode

Afin de déterminer les flux de PCB sortant des différents secteurs de la décharge, il est nécessaire de connaître la quantité de PCB qui sont libérés sous forme dissoutes et particulaires et la vitesse d'écoulement des eaux souterraines en suivant la crue artificielle prévue en 2016. L'hydrogramme prévisionnel de cette dernière sur lequel se base les propositions d'investigations complémentaires est présenté ci-dessous (Figure 3.25) :

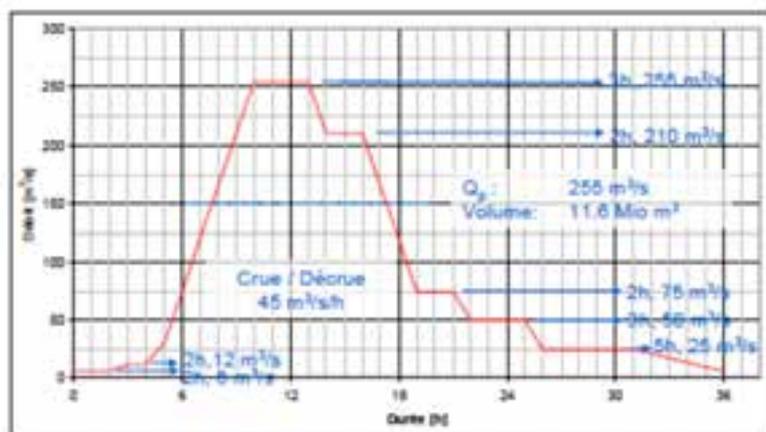


Figure 3.25 : Hydrogramme de crue Pronat e-dric 2015

Il sera nécessaire de préciser préalablement les dimensions et extension précise de la crête molassique qui borde la nappe sous la décharge et la protège du flux traversant.

Les investigations complémentaires s'organisent donc selon trois phases successives :

1. Avant la crue, les investigations préliminaires décrites dans le chapitre 3.5.2.3 seront réalisées afin de préparer au mieux le suivi de la crue.
2. Précision du fonctionnement hydrogéologique et des flux d'eaux souterraines dans la zone basse de la décharge grâce au suivi détaillé de la crue artificielle.
3. Quantification des flux de PCB vers la Sarine durant la crue artificielle.

Les différentes étapes des mesures prévues avant et durant la crue sont décrites dans le chapitre ci-dessous. Le plan de situation et les mesures proposées aux différents piézomètres sont présentés dans les Figure 3.26 et Figure 3.27

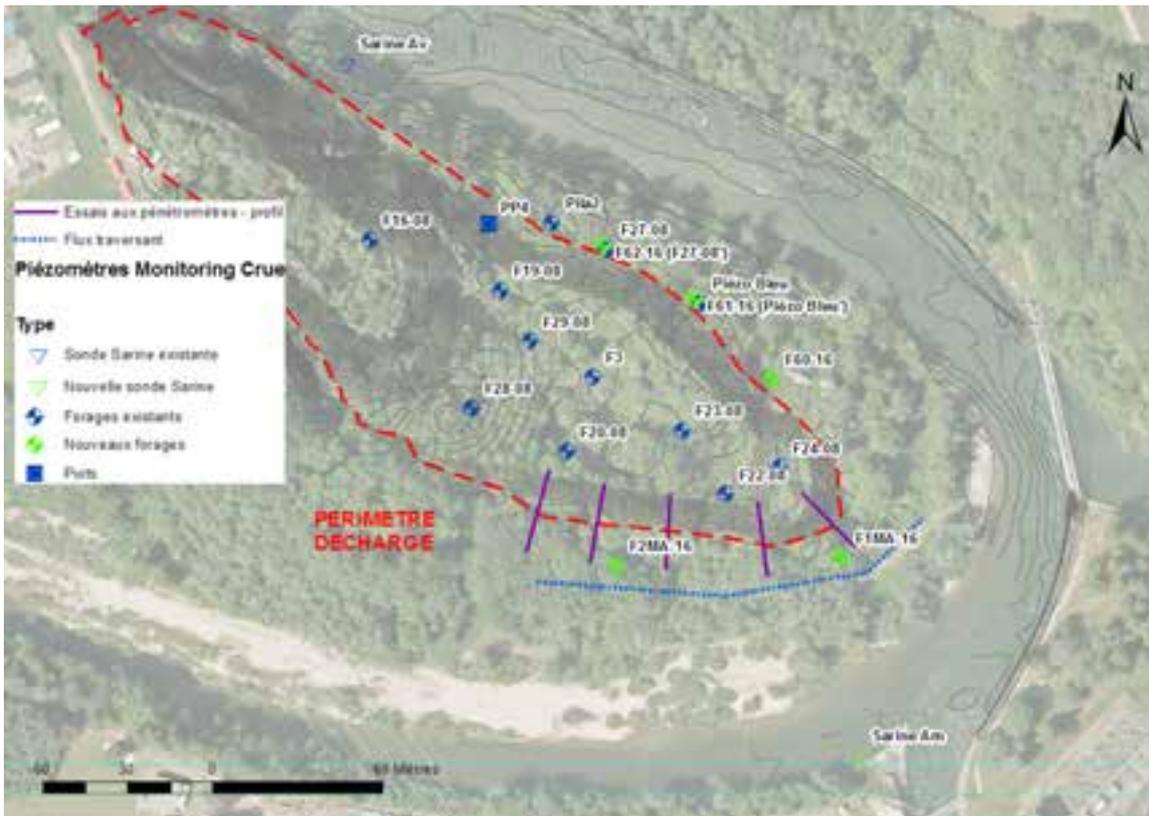


Figure 3.26 : Situation des piézomètres (existants et nouveaux).

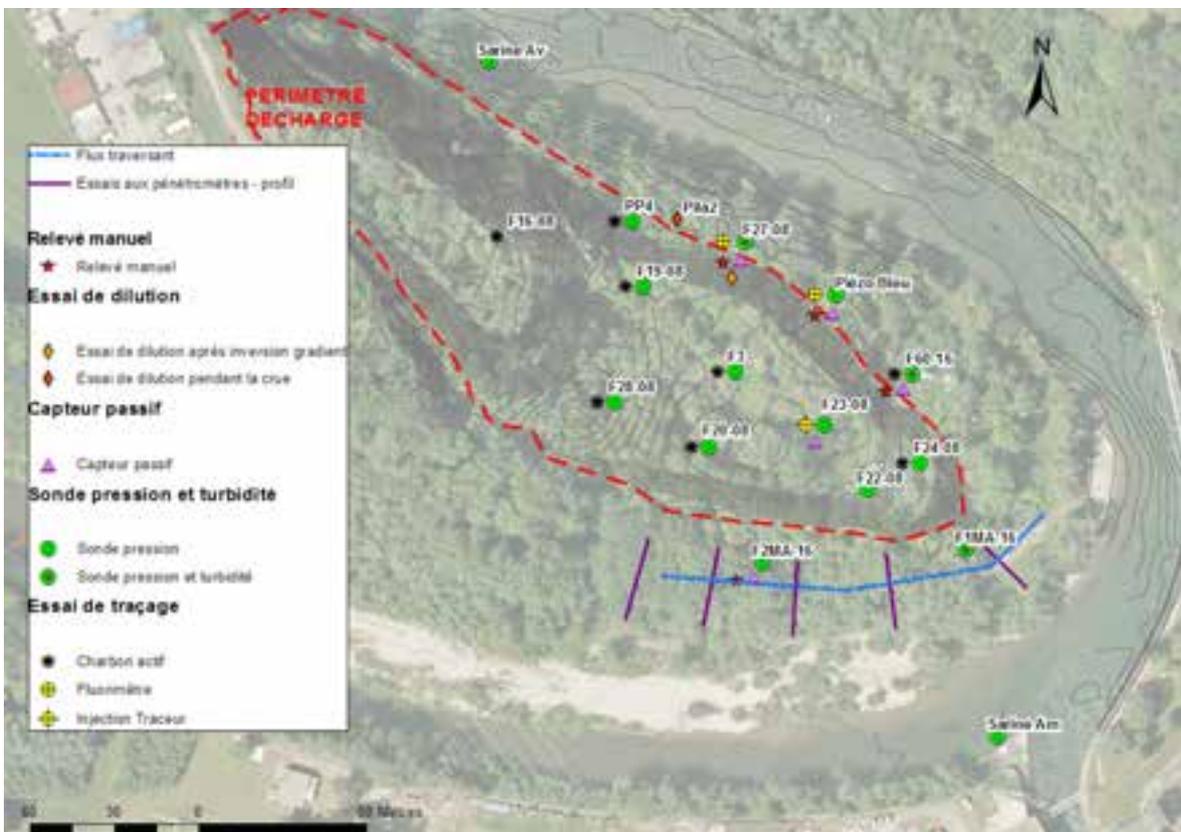


Figure 3.27 : Situation des investigations complémentaires et autres éléments.

## Précision du fonctionnement hydrogéologique et des flux d'eaux souterraines dans la zone basse de la décharge

Les mesures e) à g) permettront de préciser les directions d'écoulement et l'impact du flux traversant alors que les mesures f) et g) permettront de calculer la vitesse d'écoulement et ainsi quantifier les flux.

- e) Suite aux résultats des essais par pénétromètre et des simulations numériques obtenues à l'aide de ces nouvelles données, deux nouveaux piézomètres seront réalisés le long de la crête et équipés de sondes de pression.
- f) Un nouveau piézomètre (F60-16) sera installé au Nord-Est de la décharge pour connaître les réponses de la nappe dans cette zone, qui n'a actuellement pas été étudiée.
- g) Afin d'avoir une meilleure compréhension de l'ensemble du système en temps de crue - c'est-à-dire de déterminer le sens de l'écoulement des eaux et la quantité transitant par la décharge - des sondes de pression qui mesurent en continu le niveau piézométrique, la conductivité et la température seront installées dans une quinzaine de piézomètres de la zone basse et de la zone haute pour suivre la crue artificielle. Ces observations seront complétées par le suivi du niveau aux puits (qui s'effectue de manière continue depuis leur installation en 2013). Cette mesure est donc similaire à la mesure d) du chapitre 3.5.2.3.1, mais en temps de crue.
- h) La réalisation d'un essai de traçage à l'uranine et des essais de dilution sont envisagés afin de déterminer la vitesse des eaux souterraines et l'extension du panache. Cependant, la réalisation effective de l'essai de traçage dépendra des vitesses calculées à l'aide des simulations numériques : si elles sont trop faibles, il y a de grandes probabilités que l'essai de traçage ne donne aucun résultat en raison d'un temps de transit trop important. Une estimation grossière de la vitesse (avec un gradient équivalent à 0.001, une conductivité hydraulique de  $1.14 \cdot 10^{-3}$  m/s et une porosité efficace de 0.12) donne des vitesses inférieures à 1 m/j.

En cas de réalisation effective, le traceur sera injecté au début de la crue au niveau du piézomètre F23-08. Deux fluorimètres seront placés dans les piézomètres F27-08 et Piézo Bleu ou dans le nouveau piézomètre F60-16. Des charbons actifs, qui permettent de déterminer si le traceur est passé ou non, seront installés dans les autres piézomètres (cf. Figure 3.27). Le dispositif définitif sera basé sur les résultats des simulations numériques.

Contraintes : pour rappel, l'utilisation de traceurs d'une longueur d'onde inférieure à 460 nm n'est pas conseillée, car le bruit de fond dû à la matière organique ou aux polluants est trop important. Seuls deux traceurs sont susceptibles d'être utilisés : l'uranine et la sulforhodamine-B (cf. CSD, 15.12.2008). Un essai de traçage à l'uranine avait été effectué en 2007 (CSD, 15.12.2008) dans la zone haute ; les résultats de cet essai avaient montré un signal proche de celui de la sulforhodamine-B alors que ce dernier traceur n'avait pas été injecté.

En complément à l'essai de traçage, des essais de dilution seront réalisés dans 2 piézomètres situés dans la partie basse, afin de déterminer des vitesses d'écoulement.

Au vu des faibles vitesses attendues (1m/jour), l'utilisation de flowmètre n'est pas possible (débit minimal requis = 2 l/min).

- i) L'évaluation de l'interaction nappe rivière sera déterminée à l'aide de la mesures simultanées du niveau piézométrique et de la Sarine et à l'aide de traceurs naturels (température, conductivité électrique, éventuellement turbidité). Ce point est comparable à ce qui sera fait en période normale dans le point c) du chapitre 3.5.2.3.1 mais en temps de crue cette fois.

De plus, avec l'aide de spécialistes du CHYN, l'impact de la crue sur le colmatage/décolmatage du lit de la Sarine durant la crue au droit de la Pila sera évalué.

## Quantification des PCB libérés en temps de crue

### j) Installation de capteurs passifs dans les piézomètres

Ces mesures doivent de plus permettre de comparer les piézomètres entre eux et de faire une première estimation grossière de la concentration moyenne en PCB dans l'eau des différents piézomètres en intégrant les flux de PCB. Cela permet d'obtenir des résultats exploitables dans les cas où les concentrations dans l'eau sont régulièrement inférieures aux limites de quantification du laboratoire. Pour rappel, les capteurs passifs captent majoritairement les PCB dissous dans l'eau mais aussi une petite partie de ceux présents sur des particules fines.

Des capteurs passifs avaient déjà été installés dans des piézomètres en novembre 2013 (F27-08, F50-12, F53-12, PP1') et en mars 2014 (Piézo-bleu, F07-08, F46-12, F48-12, F49-12). Une mesure avec des capteurs passifs a également été effectuée en entrée et sortie de la station de traitement. Une proposition d'utiliser des capteurs passifs dans les piézomètres a été établie par CSD sur la base des essais de novembre 2013 (voir Annexe, document « Proposition d'utilisation des capteurs passifs »).

Lors de la crue artificielle, les capteurs passifs seront placés dans les piézomètres existants F27-08, Piézo Bleu, F23-08 et dans les nouveaux piézomètres F60-16 et F2MA16. Il est prévu d'y installer les capteurs passifs durant 2 semaines<sup>3</sup> test avant la période de crue, durant 2 semaines dès le début de la crue et une troisième fois après la crue. Après les deux premières semaines (avant la période de crue), les capteurs seront récoltés-analysés afin de valider le programme de suivi de la crue. Ces trois campagnes de mesures permettront de comparer une situation « normale » et une situation de crue.

En parallèle, il est envisagé d'effectuer des échantillonnages dans les piézomètres munis de capteurs passifs. 1 campagne de prélèvement aura lieu juste avant la crue, 6 campagnes durant la crue (1 campagne toutes les 6 heures) et 1 voire 2 campagnes après la crue, selon la vitesse de propagation de la crue (qui pourra être estimée à l'aide du modèle et par les niveaux d'eau mesurés en temps réel). Les échantillons prélevés durant la crue seront analysés uniquement si c'est nécessaire, c'est-à-dire si d'après les mesures piézométriques et de conductivité électrique une analyse est justifiée pour atteindre les objectifs fixés. Une fraction du solde des échantillons sera stockée à basse température (congélateurs) pour d'éventuelles analyses ultérieures.

Les capteurs passifs seront marqués avec du PRCs (Performance Reference Compounds, soit marqué par le 13C12 PCB) afin de corriger l'influence des facteurs abiotiques entre piézomètres tels que, les variations de vitesse, les variations de température, les biofilms, c (cf. PRONAT 2015) dans le but de pouvoir comparer les piézomètres entre eux.

En fonction des résultats concernant la variabilité de la turbidité dans les eaux souterraines et sa corrélation avec les teneurs en PCB<sub>part</sub> (cf. chap. 3.4), il est suggéré d'installer 3 sondes de turbidité. L'une à l'amont du méandre, l'une dans le F27-08 et la dernière dans le Piézo bleu. Les mesures des sondes de turbidité permettent d'évaluer les variations relatives de la matière en suspension. Afin d'obtenir des valeurs absolues, il est conseillé d'analyser la matière en suspension par des prélèvements manuels, 2x dans chaque piézomètre, 1x avant la crue et 1x pendant la crue. Les échantillonnages ainsi que la méthode d'analyse suivent le protocole validé selon chapitre 3.4.

---

<sup>3</sup> La durée de 2 semaines est choisie a priori, par analogie avec les durées d'exposition des capteurs installés dans la Sarine. Des durées alternatives sont envisageables, pour autant qu'elles soient appliquées à tous les capteurs installés dans les piézomètres.

## **Modélisation**

L'ensemble des résultats recueillis avant et durant la crue seront intégrés au modèle numérique des écoulements.

### *3.5.3.3.2 Interférences et piézomètres supplémentaires*

Au vu du programme ci-dessus, on remarque que certains piézomètres seront fortement équipés avec des sondes de pression, turbidité, conductivité électrique, des fluorimètres et comprendront également des capteurs passifs. Dans certains cas, l'injection de traceur et l'échantillonnage des eaux est envisagée.

En raison du diamètre des piézomètres, il est envisageable de placer plusieurs appareils dans un seul piézomètre ou de mesurer la turbidité à l'aide des fluorimètres.

Cependant, il faudra tester sur des blancs, l'influence de l'injection de traceur (uranine et naphthionate) sur les capteurs passifs.

En cas d'interférence entre les traceurs et les capteurs passifs, et selon les résultats des investigations du chapitre 3.4, il sera nécessaire de « doubler » les piézomètres F27-08 et Piézo-Bleu.

La nécessité de réalisation de ces piézomètres dépendra de ces tests et de l'opportunité de réalisation des essais de traçage définie grâce au modèle numérique.

### *3.5.3.3.3 Synthèses des mesures*

Le tableau ci-dessous présente la planification de l'ensemble des investigations proposées en situation normale et en temps de crue.

	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre												Fin des mesures
						Avant la crue		Crue (h)						Après la crue				
						semaine 1	semaine 2	0	6	12	18	24	30	36	semaine 3	semaine 4		
Mise à jour et développement du modèle CSD 2008																		
Pénétromètre + Forages complémentaire + équipement en piézomètres + relevé géomètre																		
Suivi de la nappe (zone basse et zone haute, puits) durant une semaine à l'aide de 15 sondes piézométriques automatiques																		
Campagne d'échantillonnage de l'ensemble du piézomètre (chap. 5.2.4)																		
Mesure de turbidité + prélèvement MES + EMPA (chap. 3.4)																		
Essai de dilution																		
Équipement de la station Sarine amont																		
Mesures capteurs passifs																		
Purge des piézomètres																		
Mesures ponctuelles de PCB																		
Mesures ponctuelles de MES																		
Mesures automatiques du niveau piézométrique, conductivité él., température																		
Mesures automatiques de turbidité																		
Essai de dilution - flux entrant dans la décharge - injection																		
Essai de dilution - flux sortant de la décharge - injection																		
Essai de traçage - injection																		

\* à définir selon mesures des niveaux d'eau

■ Rélevé des plaquettes

■ Mesures nécessaires pour définir le flux de PCB en situation normale

■ Mesures nécessaires pour définir le flux de PCB en situation de crue

■ Mesures nécessaires pour définir le flux de PCB en situation normale et en situation de crue

Tableau 3.4 : Planification des investigations en situation normale et en situation de crue

### 3.5.3.3.4 Résultats attendus et incertitudes

Les investigations proposées ci-dessus permettront une meilleure compréhension de la dynamique de la nappe. En particulier, l'exportation additionnelle de PCB au droit de la zone basse de la décharge en lien avec une crue de la petite Sarine pourra être évaluée.

Cette information sera primordiale pour évaluer les effets d'une variante d'assainissement partiel. En effet, une telle variante impliquera qu'une partie de la décharge pourrait être, dans le futur, soumise aux effets d'une crue de grande ampleur. Il est donc nécessaire de pouvoir évaluer l'impact d'un tel événement sur l'exportation de PCB.

Le pas suivant ces investigations complémentaires consistera à intégrer les données récoltées lors du suivi de la crue artificielle dans le modèle numérique pour simuler les effets d'une crue extraordinaire et pouvoir évaluer le risque inhérent aux différentes variantes d'assainissement.

Finalement, la compréhension de l'impact d'une crue permettra d'évaluer la contribution relative à long terme de l'exportation par les eaux souterraines des PCB vers la Sarine.

Les incertitudes suivantes subsisteront :

- Nous ne disposerons pas de données durant une crue extrême ; cependant, l'intégration des résultats du suivi dans un modèle numérique permettra de combler partiellement ce déficit.

- Nous ne disposerons pas de données au droit du confinement partiel existant et ne pourrions suivre l'effet de la crue dans un contexte où le confinement aura disparu. Dès lors, la calibration du modèle sera limitée ainsi que la précision de simulations des effets d'une crue extrême.
- Dans le cas où un flux additionnel des PCB devait être identifié en période de crue, il sera intégré au modèle général d'exportation des PCB vers la Sarine sous la forme d'un événement ponctuel. La fréquence des crues sera déterminante et pourrait être choisie, par exemple sur la base des données historiques.

## 4. Mesures complémentaires - Comprendre le fonctionnement du système

### 4.1 Discrimination de l'effet de la décharge par rapport à l'effet de la Sarine

#### 4.1.1 Données disponibles

L'influence de la décharge sur la Sarine peut être appréciée quantitativement et qualitativement. Quantitativement, les valeurs moyennes de concentrations en PCB dans l'eau, les sédiments, les gammares et les poissons sont plus basses et plus homogènes en amont qu'en aval de la décharge de la Pila (Tableau 4.1). En aval, les écarts types sont plus élevés que la moyenne dans tous les compartiments : sédiment, eau, gammares et poissons. La décharge induit donc une hétérogénéité des teneurs en PCB.

Description	Amont			Aval		
	Moyenne	Ecart type	Nbre valeurs	Moyenne	Ecart type	Nbre valeurs
Eau capteurs passifs 6 ind. x 4.3 (ng/kg PDMS)	1'175	882	21	265'384	1'484'875	78
Sédiment 6 indic. x 4.3 (mg/kg)	0.2	0.1	5	14	62	23
Gammares (µg dl/g)	0.04	0.03	5	2	4	4
Poissons OMS(05)-TEQ (pg/g)	3	2	19	21	24	80

Tableau 4.1 : Concentrations en PCB dans divers compartiments, Amont versus Aval de la décharge

Cette hétérogénéité s'explique probablement par plusieurs facteurs tels que la mobilité des poissons et la dynamique sédimentaire complexe. Ces biais seront éliminés en analysant les teneurs en PCB dans les gammares moins mobiles que les poissons, ainsi que dans la matière en suspension dont la dynamique est plus prévisible que celle des sédiments déposés.

Les teneurs en PCB dans l'eau déterminées avec les capteurs passifs sont plus élevées à proximité de la décharge qu'à l'aval (secteur Pila-Gérine). Cela pourrait indiquer une source secondaire (ex. sédiments, condensateurs) à proximité de la décharge qui diminue avec l'éloignement. Il n'est pas clair si le PCB est émis sous forme solide de la décharge, ou encore s'il est émis sous forme dissoute des eaux souterraines

pour être ensuite précipité / adsorbé sur des particules dans la Sarine où les conditions physico-chimiques sont complètement différentes (température, oxygène, matières en suspension).

Qualitativement, la distribution des PCB n'est pas la même à l'amont qu'à l'aval de la décharge. Cela avait déjà été remarqué dans les capteurs passifs (Pronat 2014). Dans la Figure 4.1 ci-dessous, des échantillons de sédiments sont comparés à l'amont et à l'aval de la décharge. Les congénères 28 et 52 semblent plus dominants à l'aval qu'à l'amont. L'inverse est vrai pour le congénère 180.

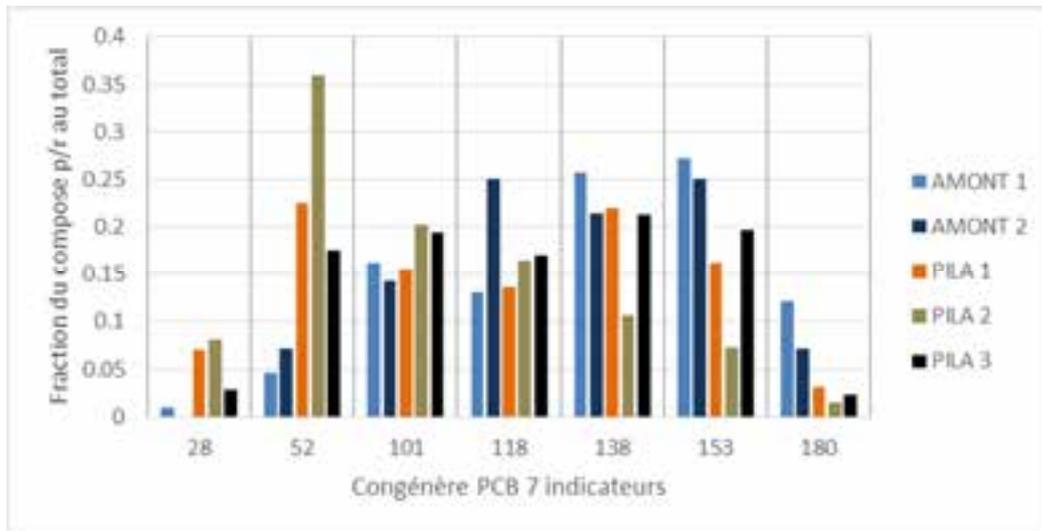


Figure 4.1 : Distribution des PCB dans des échantillons de sédiments ; 2 à l'amont et 3 à l'aval

Pour rappel, les congénères les moins chlorés (ex.28, 52) sont plus solubles que les congénères fortement chlorés (ex.180). Il se peut donc que la décharge représente une source de PCB dissous ayant une influence qualitative (ex. dominance du congénère 52) distincte. Rappelons que les couches sédimentaires 10-55 cm de la carotte LAC 10 exhibaient un profil similaire i.e. une dominance du congénère 52, en plus d'être associées à des teneurs élevées en PCB total. Il importe donc de clarifier l'origine et le mode de transfert du congénère 52 dans la Sarine. En ce sens, il importe de clarifier l'influence de la déchloration, un processus favorisant la production de congénères faiblement chlorés et plus solubles.

## 4.1.2 Questions ouvertes

On ne sait pas dans quelle mesure les teneurs en PCB mesurées dans la Sarine, à l'aval, sont causées par un flux provenant de la décharge ou par une diffusion à partir des sédiments. La contribution possible des sédiments, contenant notamment des déchets, sera évaluée notamment au moyen de tests de diffusion (voir chapitre 3.2) et de l'interprétation des mesures à l'aide des capteurs passifs (voir chapitre 3.1).

-Est-ce que les apports en PCB en amont de la décharge contribuent significativement à la contamination des poissons dans le secteur d'étude?

-Est-ce la déchloration peut contribuer significativement à l'exportation de PCB des eaux souterraines de la décharge vers la Sarine?

-Quel est le comportement du flux par les eaux souterraines dans la Sarine ; est-ce que les PCB dissous/particulaire peuvent être adsorbés sur les sédiments proches et, ainsi, rester piégés dans la zone d'étude ?

## 4.1.3 Programme d'études complémentaires

### 4.1.3.1 Méthode

Le prélèvement de la matière en suspension avec des boîtes métalliques tel que décrit précédemment permettra d'évaluer (semi-quantitativement et qualitativement) l'influence de l'amont sur le secteur à l'étude. L'une des boîtes métalliques sera installée à la hauteur de l'Abbaye (Hôtel Hauterive). Combinées avec les volumes d'eau traversant les boîtes, les masses de PCB récoltées en amont permettront d'évaluer un flux de PCB (unités masse PCB/ temps) entrant dans la zone d'étude. Les prélèvements d'échantillons de gammars et de sédiments à l'amont de la décharge permettront de compléter cette évaluation.

L'ampleur de la déchloration au cœur de la décharge pourrait être évaluée sur la base des données à disposition ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{O}_2$  sonde terrain, PCB). Les paramètres favorables à la déchloration ( $\text{NH}_4^+$  élevé,  $\text{O}_2$  faible) pourraient potentiellement être corrélés avec des concentrations en PCB élevées dans les eaux souterraines. En présence d'une telle corrélation, la dominance du congénère 52 serait vérifiée. L'absence d'une telle corrélation tendra à l'inverse à démontrer l'importance d'autres processus d'exportation de PCB de la Pila vers la Sarine (ex. érosion ou autre flux solide).

Dans le but d'évaluer le comportement des eaux polluées exportées dans la Sarine, un test d'adsorption sur les sédiments sera réalisé. La méthode prévue est basée sur le test de lixiviation en colonne de l'OSites. De l'eau polluée sera utilisée comme agent de « lixiviation » traversant des sédiments non impactés par les PCB. Après avoir traversé la colonne, l'eau sera échantillonnée et analysée selon la méthodologie EMPA (fractions particulaire / dissoute).

### 4.1.3.2 Résultats attendus et incertitudes

Les concentrations en PCB obtenues dans les divers compartiments (particules en suspension, sédiments, gammars, eau) pourront être comparées dans 3 secteurs : en amont, en aval Pila-Gérine et en aval Gérine-Maigrauge. Les résultats attendus pour les secteurs Pila-Gérine et Gérine-Maigrauge ont déjà été décrits. Des teneurs plus basses sont attendues en amont qu'à l'aval. La contribution des sédiments de l'amont pourrait cependant être non-négligeable à long terme.

La capacité d'adsorption des PCB par les sédiments mesurée par le test d'adsorption permettra d'estimer dans quelle mesure les PCB exportés par les eaux souterraines peuvent être « déposés » sur les sédiments proches de la décharge.

## 4.2 Processus de contamination des poissons, des gammars

### 4.2.1 Données disponibles

Dans certains milieux comme dans le Rhin, il est considéré que les sédiments jouent un rôle majeur dans le processus de contamination des poissons aux PCB (ex. Mathieu, Babut et al. 2012). Cette hypothèse est a priori réaliste, considérant notamment la faible solubilité des PCB dans l'eau. Dans la Sarine, les masses de PCB retrouvées par gramme sédiments sont supérieures de quelques ordres de grandeur (1-3) aux masses de PCB retrouvées par gramme d'eau. Il est donc raisonnable de suspecter que les sédiments de la Sarine

agissent comme vecteurs de contamination des poissons. Les sédiments peuvent être mis directement en relation avec les poissons par le rapport BSAF (*biota-sediment accumulation factor*) :

$$BSAF = C_p / C_s \text{ (Eq.1)}$$

Où  $C_p$  correspond à la concentration de PCB dans le poisson et  $C_s$  correspond à la concentration en PCB dans les sédiments (ex. Bhavsar et al.). Le BSAF est une relation simple et empirique i.e. qu'elle n'a pas nécessairement d'explication conceptuelle. Conceptuellement, l'assimilation du PCB chez le poisson est possible par les voies « alimentaire » et « branchiale » (Figure 4.2).

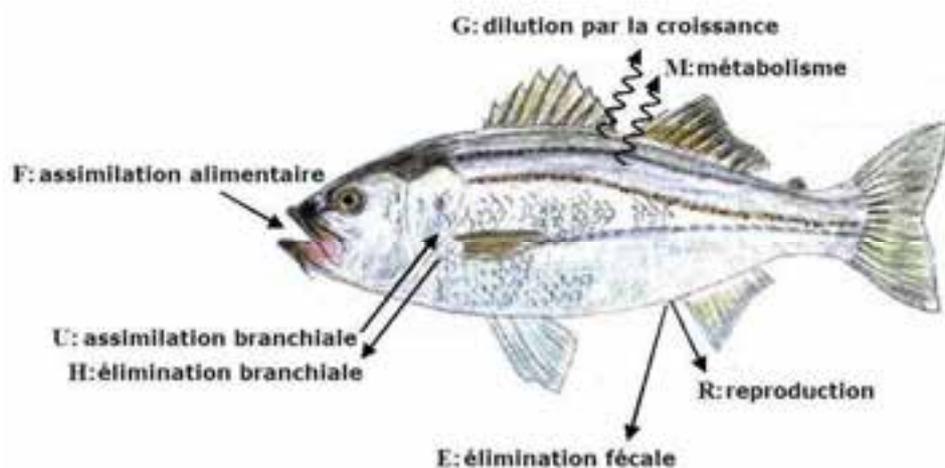


Figure 4.2 : Voies de contamination des poissons par les PCB. Tiré de Babut et al. (2010)

L'assimilation branchiale implique que l'eau et les particules en suspension demeurent des vecteurs possibles de contamination directe pour le poisson. Dans la Birse i.e. un cours d'eau contaminé aux PCB dans le canton du Jura, la baisse des concentrations en PCB dans l'eau s'est accompagnée d'une baisse des concentrations de PCB dans les poissons (communications avec les experts de l'EMPA). Les dernières analyses de PCB dans les poissons du secteur Pila-Maigrauge datent de 2014 et n'indiquent aucune tendance à la baisse, malgré la diminution des concentrations de PCB dans l'eau de 2013 à 2015. Cependant, aucune mesure sur les poissons du secteur à l'étude n'a été effectuée en 2015. Il importe d'acquérir des données à chaque année pour observer la progression temporelle. Il importe aussi de connaître l'âge des poissons, puisqu'une contamination du passé est probable.

L'assimilation alimentaire peut varier énormément selon l'espèce de poisson et sa source de nourriture. Dans le cas de la Sarine, l'espèce pour laquelle les données PCB sont disponibles est très majoritairement la truite. Parmi ses sources probables de nourriture, on compte les gammares i.e. des organismes benthiques. Pour confirmer cette hypothèse, des analyses de contenus stomacaux (analyses visuelles) devront être effectuées. Les gammares vivent dans les interstices sédiment-eau : ils sont donc en étroite relation avec le lit de la Sarine où les PCB sont probablement concentrés.

## 4.2.2 Questions ouvertes

Quelle est la voie principale (branchiale versus alimentaire) de contamination des poissons par les PCB dans la Sarine ?

-Peut-on lier la/les voie(s) principale(s) de contamination des poissons à une source principale (liquide, solide) de PCB de la décharge ?

## 4.2.3 Programme d'études complémentaires

### 4.2.3.1 Méthode

Il est proposé d'effectuer deux pêches de 30 spécimens de truites d'âge connu en mai 2016, dans le secteur d'étude. Le programme d'échantillonnage souhaité pour le mois de Mai 2016 est résumé dans le tableau suivant. Trois secteurs distincts ont été identifiés et deux gammes d'âge des poissons ont été définies. Cette répartition permettra de disposer d'individus représentatifs de la situation après la réalisation des mesures préliminaires à l'assainissement sur le site de la Pila.

Des échantillons et analyses complémentaires pourraient être demandés par le SFF en fonction des besoins liés au contrôle du respect des normes pour la consommation alimentaire.

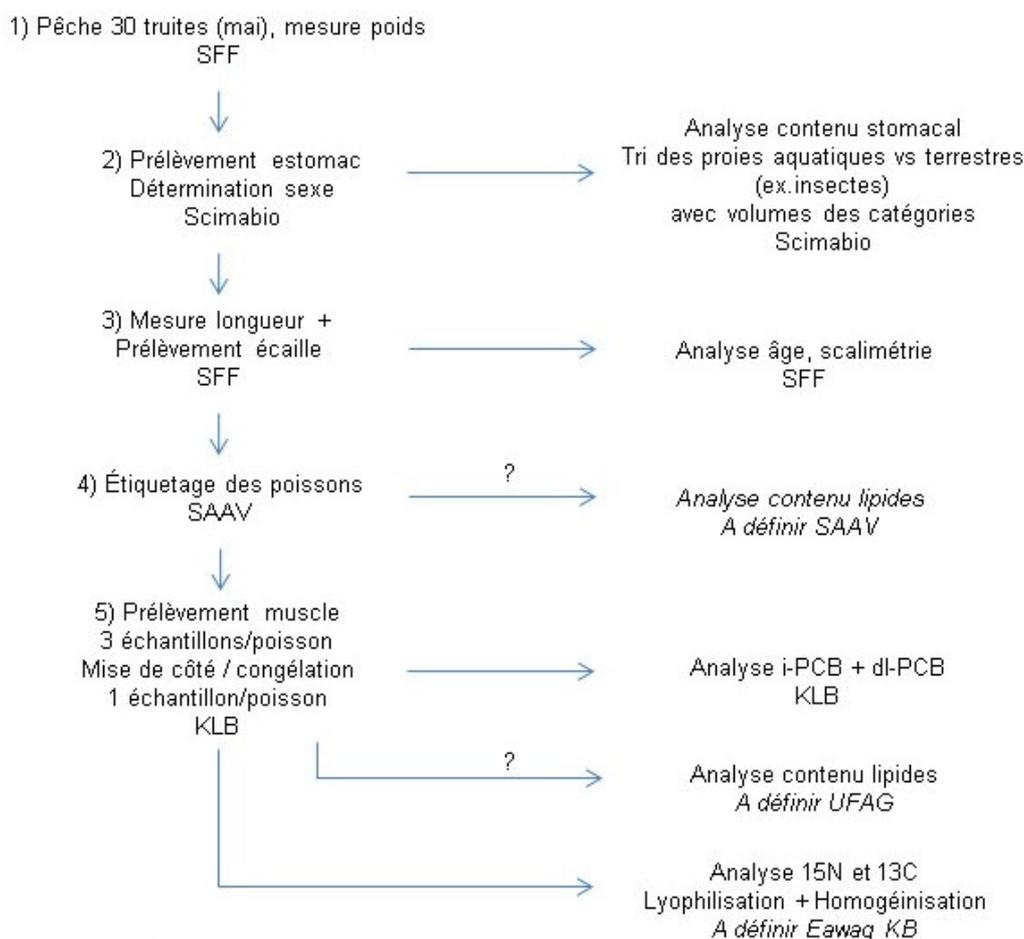
<b>Campagne de prélèvement de poissons - Sarine mai 2016</b>			
<i>Classe de grandeur</i>	<i>Âge</i>	<i>Tronçon</i>	<i>Nombre</i>
<i>Longueur cm</i>	<i>approximatif</i>		
≤ 24	2 ans ou moins	Pila-Gérine	5
> 24	plus de 2 ans	Pila-Gérine	5
≤ 24	2 ans ou moins	Gérine-Pont de Pérolles	5
> 24	plus de 2 ans	Gérine-Pont de Pérolles	5
≤ 24	2 ans ou moins	Lac Pérolles	5
> 24	plus de 2 ans	Lac Pérolles	5
<b>Total</b>			<b>30</b>

Tableau 4.2 Programme d'échantillonnage poisson en Mai 2016

Les analyses sur chaque individu comprendront : l'âge (scalimétrie), l'examen du contenu stomacal, la teneur totale en lipides et les PCB (7 indicateurs et dl). Un programme similaire est prévu en août 2016 ; le nombre de poissons pêchés pour la deuxième campagne sera ajusté en fonction des résultats du mois de mai. La réalisation d'une deuxième campagne en août est justifiée par les variations possibles du régime alimentaire des truites et par l'éventuel besoin de compléter les données en fonction des âges.

Les étapes et les analyse prévues sont résumées dans le schéma suivant :

## Étapes analyses de poissons, mai + août 2016



### Responsables / contacts

SFF: Service Faune Forêt Canton Fribourg  
Sébastien Lauper, [Sebastien.Lauper@fr.ch](mailto:Sebastien.Lauper@fr.ch), 026 305 2333

Scimabio  
Alexandre Richard, Email [alexandre.richard@scimabio.ch](mailto:alexandre.richard@scimabio.ch), 022 546 6864

SAAV: Service de la Sécurité alimentaire et des affaires vétérinaires  
Thomas Sieber, [Thomas.Sieber@fr.ch](mailto:Thomas.Sieber@fr.ch), 026 305 8000

KLB: Kantonales Laboratorium Bern  
Daniel Kull, [daniel.kull@gef.be.ch](mailto:daniel.kull@gef.be.ch), 031 633 1181

À définir UFAG  
Jörg Freudenberger, [joerg.freudenberger@ufag-laboratorien.ch](mailto:joerg.freudenberger@ufag-laboratorien.ch), 058 434 4300

A définir Eawag KB  
Carsten Schubert, [carsten.schubert@eawag.ch](mailto:carsten.schubert@eawag.ch), 058 765 2195

Figure 4.3 Schéma illustrant les étapes suivant l'échantillonnage de poissons

Pour mettre en relation la bioaccumulation du PCB et le niveau trophique dans la Sarine, des mesures 15N et 13C seront effectuées sur environ 10 spécimens de poissons, de même que sur une trentaine d'échantillons-proies telles que les gammares et le biofilm.

#### 4.2.3.2 Résultats attendus et incertitudes

Les analyses de PCB et les estimations d'âge sur les truites en 2016 permettront de voir si une diminution de la contamination par les eaux se traduit ou non par une diminution (même lente) de la contamination chez les poissons. Par exemple les teneurs en PCB des truites pêchées en 2016 pourront être comparés aux teneurs en PCB des truites pêchées antérieurement, pour autant que tous les spécimens aient des âges semblables. Une diminution des teneurs en PCB dans les truites pourra (ou ne pourra pas) être mise en parallèle avec une diminution des teneurs en PCB mesurées dans l'eau de la Sarine à l'aide de capteurs passifs.

Les analyses de contenus stomacaux des truites pêchées pendant deux saisons différentes (printemps et été) permettront d'identifier les proies, les sources de nourriture et donc les vecteurs potentiels de PCB vers la truite. Les gammares sont pour l'instant considérés comme une proie probable de la truite dans le secteur d'étude. Dans le cas où les gammares seraient bel et bien dominants dans le bol alimentaire des truites pêchées, le vecteur de PCB vers les gammares serait investigué. Ce vecteur pourrait être l'alimentation du gammare (biofilm, détritus) et/ou l'eau (directement ou par le biais de la diffusion des sédiments).

Le modèle BSAF met directement en relation la teneur PCB-poisson à la teneur PCB-sédiment. Ce lien simple pourrait être réel, par exemple si le PCB diffusant des sédiments est transmis aux gammares ou à d'autres organismes benthiques, puis aux truites. Le modèle BSAF pourrait aussi être adapté à la réalité si la matière en suspension est chargée en PCB et est ingérée d'une façon quelconque (passivement, activement) par la truite. Les données acquises en 2016 et antérieurement seront utilisées afin de calculer des valeurs BSAF.

En complément au modèle BSAF, la bioaccumulation du PCB sera décrit par le TMF (trophic magnification factor). Le TMF sous-entend que le niveau trophique, défini avec des mesures de 15N et de 13C, est linéairement dépendant du log de la teneur en PCB. Autrement dit, plus le niveau trophique est élevé, plus la concentration en PCB est élevée. Les niveaux trophiques dans la Sarine pourraient inclure le biofilm, les gammares et les poissons. Ce modèle pourrait être plus adapté à la Sarine si le vecteur principal de contamination de PCB vers le poisson et/ou le gammare est l'eau sans influence des sédiments. Pour une explication complète du modèle TMF, voir la publication *Trophic Magnification Factors: Considerations of Ecology, Ecosystems, and Study Design* par Borga et al. 2011 dans le journal *Integrated Environmental Assessment and Management*.

## 4.3 Détermination de valeurs cibles sans effet sur les poissons

### 4.3.1 Données disponibles

Certaines teneurs en PCB ont été suggérées en Suisse pour classer les sédiments selon leur potentiel écotoxique (Tableau 4.3). Ces teneurs incluent la concentration seuil d'effet (*threshold effect concentration* TEC) et la concentration d'effet probable (*probable effect concentration* PEC), toutes deux associées à l'écotoxicologie des organismes benthiques. Les teneurs suggérées incluent aussi la valeur indicative de l'Ordonnance sur les atteintes portées aux sols (OSol) liée au risque d'ingestion par voie orale, par voie

dermale ou par inhalation, de même que l'objectif de gestion de la Commission Internationale de la Protection du Rhin (CIPR).

	TEC	PEC	OSoI	CIPR
PCB	59.8	676	100	28
(µg/kg poids sec)	Total (6 indic. x 4.3)	Total (6 indic. x 4.3)	7 indicateurs	7 indicateurs

Tableau 4.3 : Concentrations limites en PCB dans les sédiments permettant une évaluation de la qualité éco-toxicologique. Tiré de Flück et al. (2012) *Surveillance de la qualité des sédiments en Suisse – État actuel des méthodes disponibles et mise en place de recommandations*.

La valeur cible la plus pertinente dans le cadre de ce projet est probablement celle de la CIPR, puisqu'elle a été élaborée dans un contexte d'évaluation de risques posés à la santé humaine en lien avec la consommation de poissons issus d'une rivière contaminée aux PCBs. Le Rhin est certes différent de la Sarine, notamment en termes de dynamique de sédimentation, mais la comparaison demeure pertinente. La valeur cible « sédiment CIPR » est basée sur une valeur cible « poissons » n'impliquant pas de risque considérable pour la santé humaine, i.e. 8 pg de PCB équivalent de toxicité (TEQ) par gramme de poisson frais (8 pg TEQ / g) selon le Journal officiel de l'Union européenne (Commission et al. 2006). En Suisse, les valeurs cibles « poissons » se retrouvent dans un document intitulé « PCB et dioxines dans les denrées alimentaires » publié par l'Office fédéral de la santé publique OFSP le 8 octobre 2013 et disponible en ligne. À la page 4/5 de ce document, on peut lire : « La Suisse applique les mêmes valeurs maximales que l'UE pour la somme des dioxines et des PCB de type dioxine (somme PCDD/F + cPCB) [c]. Pour le poisson, elle se situe entre 6.5 à 20 pg TEQ/g (à l'état frais). » Ces valeurs cibles poisson - entre 6,5 et 20 pg TEQ/g (à l'état frais) - sont considérées ici.

En première approche et à partir des données existantes, des valeurs cibles « sédiment » adaptés à la Sarine peuvent être estimés en utilisant le rapport BSAF et en fixant les valeurs admissibles pour le poisson à entre 6.5 à 20 pg TEQ/. Pour ce faire, les BSAF de la Sarine ont été calculés en utilisant les 29 teneurs en PCB dans les sédiments (unités 7 indicateurs) et les 92 teneurs en PCB dans les poissons (

Tableau 2.7). Une fois la valeur BSAF et la valeur cible « poisson » (i.e. entre 6.5 et 20 pg TEQ/g poisson frais) fixés, l'Équation 1 peut être résolue pour trouver Cs (cible sédiment). Il est cependant difficile d'attribuer une valeur BSAF unique à tout le système. En tout, 2'668 combinaisons de valeurs poisson-sédiments sont possibles. La valeur moyenne (1'629) ne peut pas être utilisée, puisque l'écart type est trop grand (8'079). La distribution des 2'668 valeurs BSAF est illustrée à la Figure 4.4. La catégorie de valeurs comprises entre 0 et 100 est celle contenant le plus grande nombre de valeurs BSAF. Cette catégorie reflète plus ou moins le BSAF médian i.e.108.

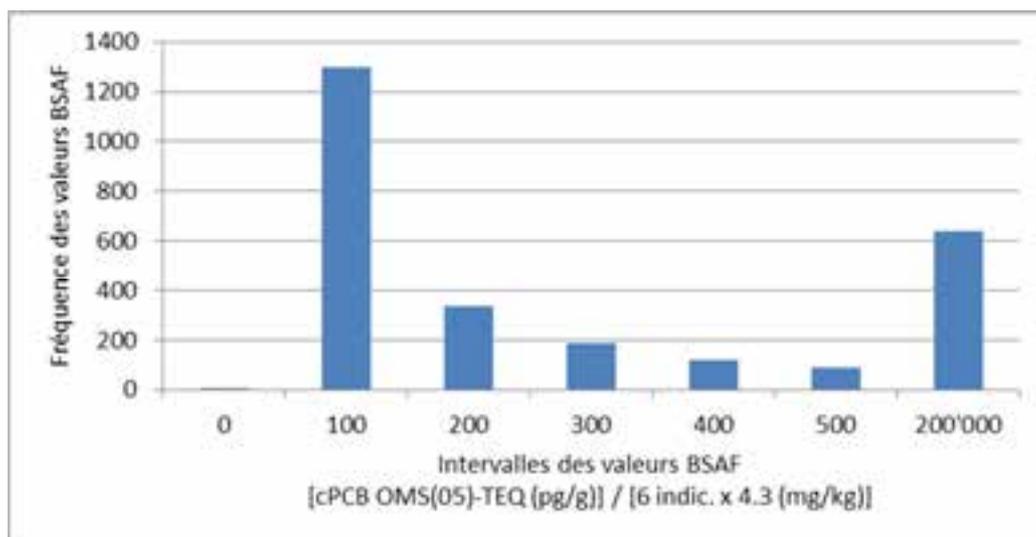


Figure 4.4 : Distribution des valeurs BSAF déterminées avec les données de la Sarine

BSAF médian = 108		
Cible poisson [pg TEQ/g]	Cible sédiment 7 indic. µg/kg	Dépassement de la cible sédiment %
6.5	60	66
8	74	62
10	93	59
15	139	41
20	185	34

Tableau 4.4 : Cibles sédiments et dépassements (%) pour la Sarine, selon diverses cibles poissons comprises entre 6.5 et 20 pg TEQ/g.

En fixant le BSAF à une seule valeur médiane (108), les cibles sédiment obtenues en unités 7 indicateurs pour la Sarine se trouvent entre 60 et 185 µg/kg. Ces valeurs ont un ordre de grandeur comparable à la cible sédiment CIPR (i.e. 28 µg/kg). Des dépassements importants (jusqu'à 66% des valeurs) des cibles sédiment sont observés à partir des analyses disponibles (Tableau 4.4).

La méthode de calcul « cible sédiment » décrite ici est entachée d'une grande incertitude liée notamment à l'asymétrie du nombre de valeurs sédiment (29) versus poissons (92), à l'absence de données sédiments dans le secteur Gérine-Maigrauge, à l'hétérogénéité des sédiments de la Sarine causée entre autres par l'absence de tamisage, et enfin à l'absence de normalisation des teneurs en PCB par le carbone organique total (COT, sédiments) et la teneur en lipides (poissons).

Il faut aussi noter que l'association directe poisson-sédiment n'est qu'empirique, basée sur des observations faites ailleurs que dans la Sarine. Il se peut que d'autres vecteurs de contamination (eau, gammare) soient en réalité plus importants et/ou plus facile à monitorer dans le cas de la Sarine. Il est déjà possible d'anticiper une grande hétérogénéité spatiale et temporelle de la dynamique sédimentaire dans la Sarine. Il apparaît donc prudent d'établir des valeurs cibles de PCB sur des compartiments autres que les sédiments (ex. gammare, eau).

4.3.2 Programme d'études complémentaires

4.3.2.1 Méthode

Les échantillons et analyses prévues dans les chapitres précédents suffiront à diminuer l'incertitude liée aux valeurs BSAF et donc des valeurs cibles sédiments. Les nouvelles données sédiments (environ 100) avec tamisage systématique à 0.063 mm ou 2 mm pourront être intégrées. Les teneurs en lipides dans les poissons et les COT dans les sédiments permettront de normaliser les teneurs en PCB. L'avantage du BSAF est qu'il met directement en relation le PCB solides déposés en fond de la Sarine et les PCB-poissons (Figure 4.5 A, ci-dessous). Ce modèle est d'autant plus pertinent que les flux décharge-Sarine sous forme solides sont soupçonnés être prépondérants par rapport aux flux décharge-Sarine sous forme liquide (voir chapitres précédents).

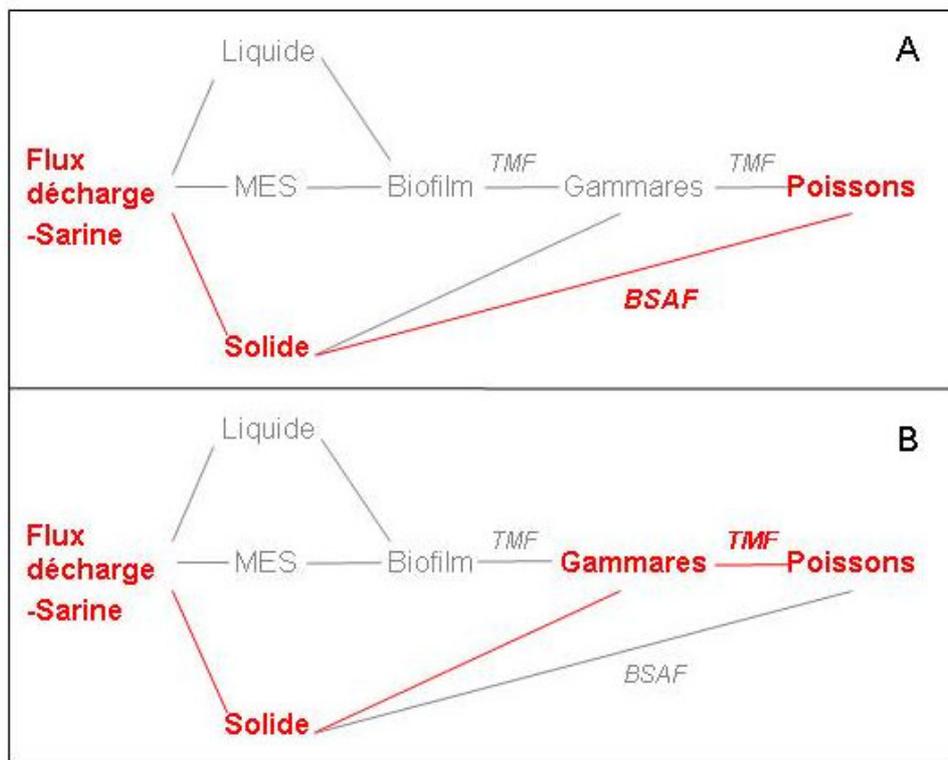


Figure 4.5 : Schéma mettant en lien les flux décharge-Sarine et les compartiments où une valeur cible sera éventuellement fixée.

Les mesures 15N, 13C et PCB sur divers compartiments (poissons, gammarets, biofilm) permettront d'établir un lien Biofilm – Gammarets – Poissons avec le modèle TMF (Figure 4.5 B ci-dessus). Le modèle TMF bénéficiera d'environ 10 jeux de données poissons (PCB, 15N, 13C), 10 jeux de données gammarets (PCB, 15N, 13C) et 10 jeux de données biofilm (PCB, 15N, 13C). Le modèle TMF pourrait par exemple permettre de fixer la valeur cible sur les PCB-gammarets, tout en tenant compte de la diffusion du PCB des sédiments vers les gammarets (Figure B ci-dessus, lien Solide-Gammarets).

Comme mentionné précédemment, il apparaît prudent d'établir plusieurs valeurs cibles-PCB. Les sédiments, à l'aide du modèle BSAF, seront très probablement utilisés comme cible. Une ou plusieurs autres cibles (gammarets, biofilm, eau, MES) pourraient être établies ultérieurement, sur la base des résultats à disposition et à l'aide du modèle TMF / des essais de diffusion sédiment-eaux.

## **4.3.2.2 Résultats attendus et incertitudes**

Les principaux résultats suivants sont attendus :

- Réduction de l'incertitude sur les valeurs BSAF et les valeurs cibles pour les sédiments
- Établissement d'une ou plusieurs autres cibles que les sédiments (gammare, biofilm, eau, MES)

Les fractions analysées pour déterminer les teneurs en PCB dans les sédiments pourraient varier selon les secteurs. Les adaptations nécessaires seront définies sur la base des résultats d'une phase de reconnaissance (voir Chapitre 3.1).

## **5. Mesures complémentaires - Simulation de l'évolution du système selon les variantes d'assainissement**

### **5.1 Élaboration d'un modèle empirique du système Décharge - Sarine**

#### **5.1.1 Données disponibles**

Les études menées à ce jour n'avaient pas pour objectif de simuler l'évolution du système sur une longue durée dans le but de comparer l'effet de différentes variantes d'assainissement sur l'environnement.

De nombreuses données ont cependant été récoltées dans le cadre des différents suivis engagés :

- surveillance des eaux souterraines de la décharge (dès 2004)
- monitoring de la Sarine à l'aide de capteurs passifs, analyses de sédiments et gammars (dès 2010)
- exploitation du système de pompage traitement (dès 2012)
- analyses de poissons (dès 2007)
- suivi des travaux (mesures urgentes 2009, mesures préliminaires 2011-2014)

Ces éléments fournissent une base de connaissance solide qui sera complétée par les études spécifiques décrites dans les chapitres précédents.

L'évolution du système Décharge - Sarine, sans assainissement ne peut toutefois plus être mesurée en conditions réelles du fait de la réalisation des mesures préliminaires.

La situation actuelle correspond par contre à une simulation en vraie grandeur d'une variante d'assainissement, non durable en l'état, qui aurait drastiquement diminué les flux de polluants exportés vers la Sarine. Sur la base du suivi de la Sarine à l'aide de capteurs passifs, il est par exemple possible de dégager les premières tendances à la baisse des teneurs en PCB dans l'eau. Les suivis des sédiments et des gammars ne permettent pas encore de montrer une évolution en raison de la relative faible durée (moins de 2 ans) après les travaux, de la contamination présente dans la Sarine et de la durée de vie des organismes (1 à 2 ans pour les gammars). C'est également le cas pour suivi des poissons, qui a toujours été orienté pour définir les zones de pêche dans lesquelles le poisson ne peut pas être consommé. Suite à l'interdiction initiale de 2007, aucun suivi régulier n'a été effectué à proximité de la décharge et des paramètres comme l'âge des poissons n'ont pas été relevés.

#### **5.1.2 Questions ouvertes**

Les données et outils à disposition ne permettent pas de comparer différentes variantes d'assainissement en termes de répartition des flux de PCB issus de la décharge et d'évaluer de leur effet sur la faune piscicole après transfert dans la Sarine

Les études complémentaires ont pour objectif d'améliorer les estimations de flux, de mieux comprendre le fonctionnement des systèmes et d'établir des liens entre les différents compartiments.

Il manque un outil permettant d'intégrer les nouvelles mesures et analyses, de simuler l'évolution du système et de représenter graphiquement les résultats.

Cet outil doit également permettre de tester des hypothèses et d'évaluer des incertitudes.

## 5.1.3 Programme d'études complémentaires

### 5.1.3.1 Méthode

Nous proposons de construire un modèle empirique permettant une évaluation qualitative des flux de PCB exportés par décharge de la Pila dans la Sarine, une analyse de sensibilité et une valorisation des résultats dans une plate-forme Web-SIG de partage d'informations. Le modèle sera réalisé en collaboration avec la société IPOGEE Consult (Dr. Marc Soutter) et comprendra les éléments suivants :

1. Modélisation des flux sortants des eaux souterraines de la décharge de la Pila en situation normale et en temps de crue à l'aide du programme Feflow. Les résultats de ce modèle seront incorporés au modèle empirique global.
2. Une **modélisation empirique** du système constitué par la décharge de la Pila et la Sarine, comprenant une décomposition de ses réservoirs en plusieurs compartiments caractérisés par des stocks et des flux variables de polluants sous forme solide, en suspension et en solution.

Cette modélisation portera sur les diverses variantes d'assainissement envisagées et sur une durée de cinquante ans.

Les règles mathématiques décrivant ces processus ainsi que les valeurs de leurs paramètres seront déterminées de manière empirique sur la base de l'expérience acquise dans le suivi et l'analyse du site.

Il est à noter que cette approche ne permet pas de calibration du modèle et par conséquent pas non plus de validation. Les résultats obtenus n'auront donc qu'une valeur indicative, néanmoins susceptible de fournir les éléments suffisants à la comparaison des variantes d'assainissement envisagées.

La figure ci-dessous (Figure 5.1) présente un exemple partiel du modèle conceptuel pour le transfert et la distribution des flux de PCB exportés par les eaux souterraines.

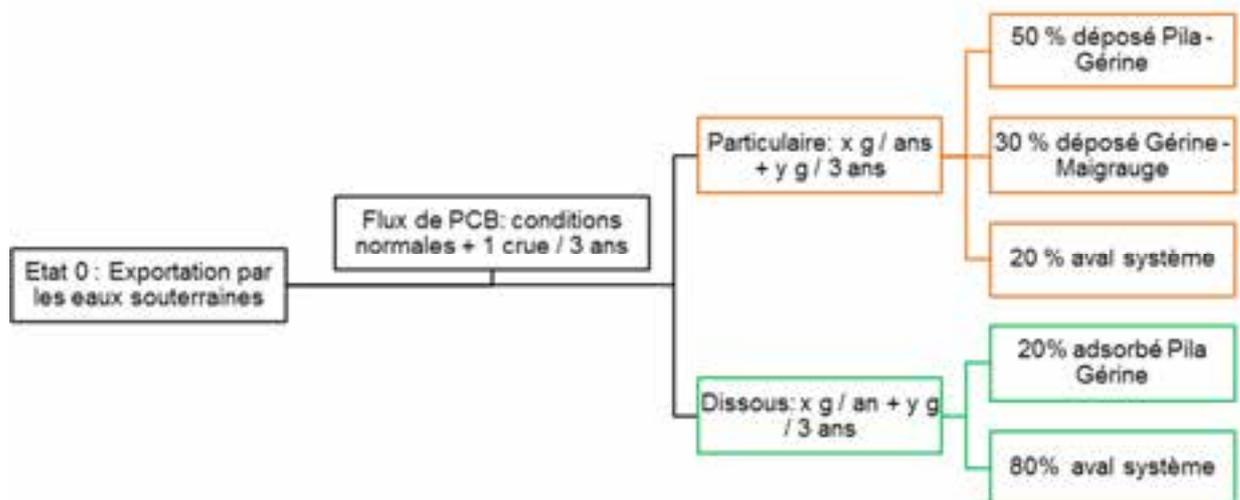


Figure 5.1 Modèle de transfert et distribution des flux de PCB par les eaux souterraines (exemple avec données fictives)

2. Un calcul de propagation des **incertitudes** destiné à évaluer la qualité et la crédibilité des résultats obtenus et une **analyse de sensibilité** destinée à identifier les processus et paramètres essentiels et éventuellement à caractériser leur importance relative.

Le modèle empirique proposé sera utilisé dans une procédure de Monte-Carlo (basée sur une forme d'échantillonnage sélectif – hypercubes latins) qui permet d'une part de calculer des intervalles de confiance sur les résultats et d'autre part d'effectuer un analyse de sensibilité par régression linéaire multiple.

La mise en place d'une plate-forme Web cartographique pourrait être envisagée ultérieurement. Il serait possible d'intégrer la synthèse des données existantes et la consultation en ligne des principes et paramètres retenus pour la modélisation ainsi que ses résultats.

## 5.1.4 Procédure par étapes

Afin de concrétiser le modèle empirique et dans le but d'expliquer la démarche méthodologique aux autorités, nous proposons de réaliser un prototype avec la société IPOGEE qui pourra être présenté à fin mai.

Il est prévu de décrire le système en représentant les différents compartiments de la décharge et de la Sarine. Pour la décharge, les compartiments seront distingués spatialement afin d'être compatibles avec les principales variantes d'assainissement.

Les processus seront schématisés en décrivant les lois de vidange des compartiments et les paramètres qui interviennent.

La sensibilité aux différents paramètres sera étudiée en utilisant les données existantes et des hypothèses sur les données qui seront acquise durant les études complémentaires.

Cela permettra d'identifier les processus importants et de mettre en évidence les paramètres clés utiles à la comparaison des variantes d'assainissement.

En parallèle, un contact sera pris avec le Dr Christian Bogdal (ETHZ) spécialisé dans la modélisation des flux de polluants persistants organiques dans l'environnement. Un appui basé sur son expérience dans l'établissement de bilans de masses de PCB à large échelle est envisagé.

### 5.1.4.1 Résultats attendus et incertitudes

Le type de modélisation envisagée pour évaluer l'importance relative des divers processus en cause dans la contamination de la Sarine aux PCB dans la zone de la décharge de la Pila constitue une approche très empirique, si bien que les résultats obtenus ne pourront avoir qu'une portée qualitative suffisante pour comprendre la dynamique du système et les mécanismes de diffusion prépondérants et fournir une base de décision robuste pour orienter le choix d'une variante d'assainissement.

Cette approche comporte toutefois le risque d'un usage inapproprié des résultats obtenus, tant il est vrai que qu'un chiffre peut vite être présenté pour la réalité, avec de surcroît une caution scientifique qu'il n'a pas forcément.

C'est pour ces raisons qu'il est jugé très important de manipuler les résultats de cette étude avec grande prudence et dans la plus complète transparence, ce qui amène à inclure la proposition d'études complémentaires la mise en place d'une plate-forme internet cartographique qui, en donnant accès à une information complète et détaillée portant non seulement sur les résultats obtenus mais également sur la démarche et les hypothèses qui la sous-tendent, devrait en empêcher une utilisation mal avisée.

Les figures suivantes (Figure 5.2) présentent des exemples de présentation des résultats de la comparaison de l'état 0, sans assainissement, avec une variante d'assainissement fictive pour laquelle les flux annuels de PCB exportés par la décharge dans la Sarine ont été réduits.

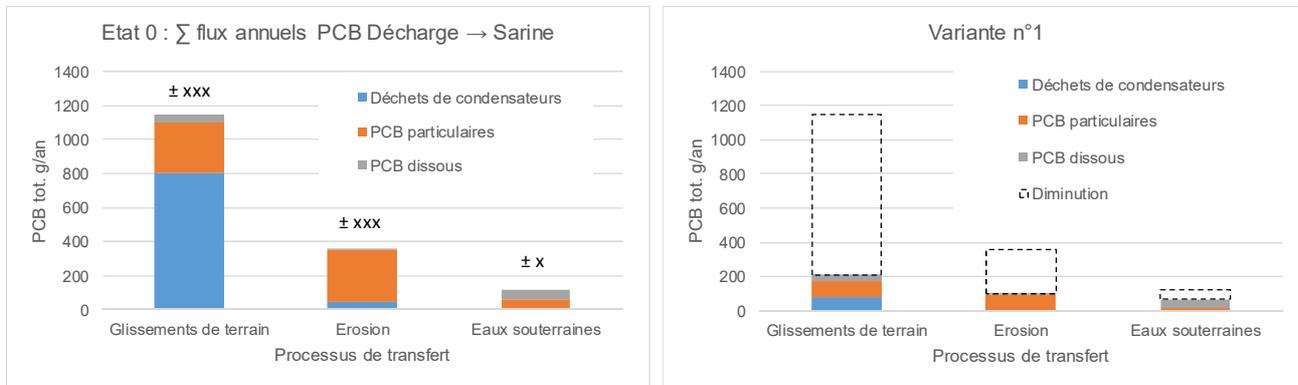


Figure 5.2 : Comparaison des flux annuels de PCB Décharge → Sarine pour deux variantes (exemple avec données fictives)

La figure suivante (Figure 5.3) représente un exemple de simulation de l'évolution des teneurs en PCB dans les sédiments en fonction de deux variantes fictives. L'objectif à atteindre dans les sédiments est déterminé en fonction de l'effet accepté sur les poissons, préalablement déterminé avec le BSAF. Des incertitudes arbitraires sont représentées sous forme de barres d'erreur qui pourraient par exemple correspondre à un intervalle de confiance. Les étapes intermédiaires et les nombreuses hypothèses nécessaires au fractionnement et à la répartition spatiale et temporelle des flux ne sont pas représentées.

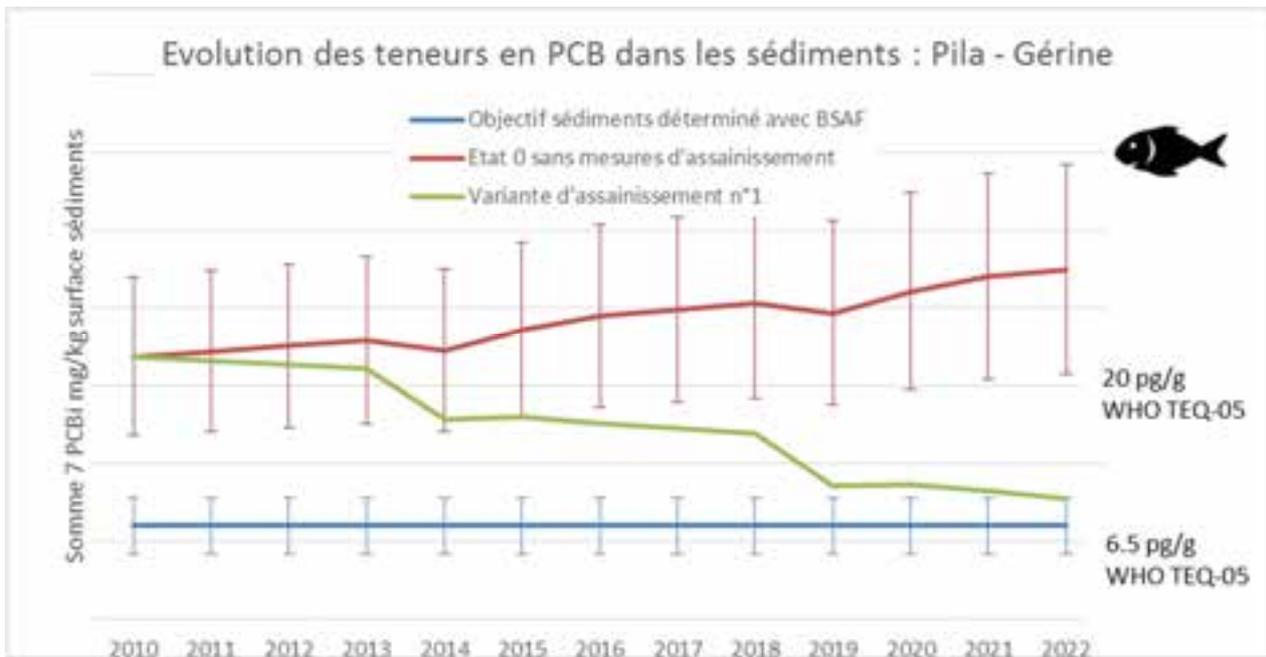


Figure 5.3 : Comparaison de l'effet de deux variantes sur les teneurs en PCB dans les sédiments (exemple avec données fictives)

## 5.2 Evolution des stocks, des flux et des effets en fonction des variantes d'assainissement

### 5.2.1 Données disponibles

L'évolution des stocks, des flux et des effets des différentes variantes d'assainissement n'a pas été évaluée à ce jour. Pour mémoire, le projet d'assainissement (CSD 2010) a été développé comme suit :

#### Objectifs de l'assainissement

L'assainissement a pour but d'éliminer les atteintes, ou les dangers concrets d'apparition de telles atteintes, qui ont été à l'origine de l'assainissement (Art. 15 OSites).

Pour le site de la Pila, les objectifs d'assainissement concrets permettant d'atteindre ces buts sont une limitation des émissions dans les eaux de surface à 10 fois la valeur de concentration de l'annexe 1 OSites et une élimination durable des sources actives de PCB.

A long terme, l'objectif de l'assainissement est de permettre la réduction des émissions de PCB et d'autres polluants à partir du site de la Pila dans les différents compartiments de l'environnement de telle façon à ce qu'elles tendent vers zéro. Ces objectifs figurent également dans le préavis du SEn du 3 mars 2010.

#### Critères

Sur la base des critères exposés ci-dessus, une décontamination du site de l'ancienne décharge de la Pila par excavation des matériaux susceptibles de produire un lixiviat dépassant plus de 10 fois la valeur fixée par l'OSites pour les PCB a été retenue.

En fonction des objectifs d'assainissement, la décontamination implique :

- Excavation des déchets contenant plus de 4.2 ppm de PCB ;
- Excavation des alluvions contenant plus de 0.62 ppm de PCB.

A partir de ces teneurs en PCB, deux options peuvent théoriquement être retenues pour la suite de l'analyse de variantes, il s'agit de :

- Excavation totale du site ;
- Excavation partielle du site.

Toutefois, la répartition des déchets les plus pollués par les PCB en profondeur et la présence en quantités dépassant les limites inertes, voire bioactives d'autres polluants dans le corps de la décharge, permettent d'exclure l'excavation partielle du volume de déchets présents sur le site de la Pila.

#### Variante d'assainissement retenue en 2010

A partir de la mesure retenue pour l'assainissement du site de la Pila et des méthodes et procédés envisageables, trois variantes d'assainissement envisageables ont été retenues.

**Variante 1** - La variante 1 est une combinaison des méthodes et procédés off-site : Traitement thermique (UIDS, cimenterie, traitement thermique des sols) ; Stockage en décharge contrôlée et lavage physico-chimique

**Variante 2** - La variante 2 est une combinaison de méthodes et procédés off-site (traitement thermique et stockage en décharge) et on-site (traitement thermique et/ou lavage physico-chimique)

**Variante 3** - La variante 3 est une combinaison de méthodes et procédés off-site (traitement thermique et stockage en décharge) et in-situ (barrière réactive et/ou immobilisation des polluants).

Les variantes ont été analysées selon des critères de faisabilité et efficacité, d'impacts sur l'environnement et de coûts. Au terme de l'analyse de variantes, la variante 1 a été retenue et le concept d'assainissement suivant a été défini :

- Excavation totale des déchets et alluvions susceptibles de générer un lixiviat supérieur à 10 fois la valeur de concentration OSites,
- Traitement thermique off site d'une partie des déchets (UIDS, désorption thermique, cimenterie) et éventuellement d'une partie des alluvions,
- Stockage en décharge contrôlée d'une partie des déchets les moins contaminés, conformément à l'OTD,
- Lavage physico-chimique off site des alluvions en vue de leur valorisation.

Les trois variantes étudiées en 2010 peuvent être considérées comme équivalentes du point de vue de l'effet sur la Sarine, puisqu'elles poursuivaient le même objectif.

Les questions posées par l'autorité donnent une nouvelle perspective qui permet la définition de nouvelles variantes s'éloignant de l'objectif d'assainissement initial. Ces variantes devront ensuite être comparées du point de vue de leur effet sur l'environnement.

## 5.2.2 Variantes à considérer

La définition des variantes sera un processus itératif lié aux résultats des études complémentaires et à un certain nombre de décisions des autorités.

Les variantes à considérer pourront être un assainissement partiel, c'est-à-dire avec un volume de matériaux pollués non remaniés laissés en place, et devront être durables, c'est-à-dire sans mesures actives au-delà de cinquante ans. De plus, des méthodes et procédés écartés en 2010, comme une barrière réactive par exemple, pourront être reconsidérés.

De nombreuses combinaisons sont envisageables. Nous proposons cependant d'étudier un nombre restreint de 4 variantes afin de permettre une première comparaison. Les variantes sont définies en partant du principe que les secteurs assainis remplissent les objectifs établis en 2010 ; ils sont décontaminés par excavation et traitement des déchets. À ce stade de la description des variantes, les méthodes et procédés de traitement ainsi que les mesures d'accompagnement (en cours de chantier et à long terme) ne sont pas définis.

### **Variante 1 : Assainissement total**

Il s'agit de la variante retenue et proposée en 2010 selon lesquelles l'entier de site est assaini.

### **Variante 2 a : Assainissement partiel**

La variante 2 a considère l'assainissement de la zone haute de la décharge par excavation et traitement (Figure 5.4). La zone basse de la décharge reste en place. La répartition est figurée sur la figure ci-dessous,

de part et d'autre du profil 5. Ce scénario avait été étudié en 2010 et des données concernant la répartition des volumes de déchets par catégories de teneurs en PCB existent déjà.

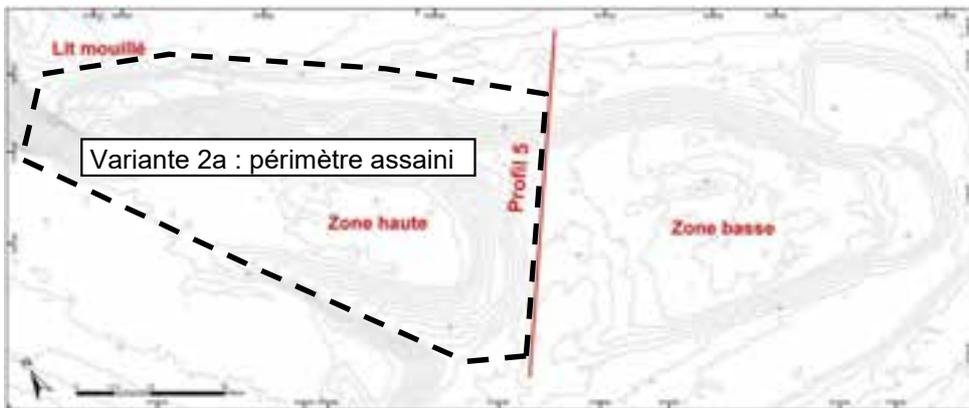


Figure 5.4 : Variante 2a assainissement partiel

**Variante 2 b : Assainissement partiel**

La variante 2 b considère l'assainissement d'une partie de la zone haute de la décharge. Le périmètre assaini est représenté schématiquement sur la figure ci-dessous (Figure 5.5) ; il comprend les secteurs qui sont à l'origine des flux de polluants (solides + eaux souterraines) principaux identifiés à ce jour. Le développement de cette variante a pour objectif de montrer la flexibilité éventuelle de la variante d'assainissement partiel.

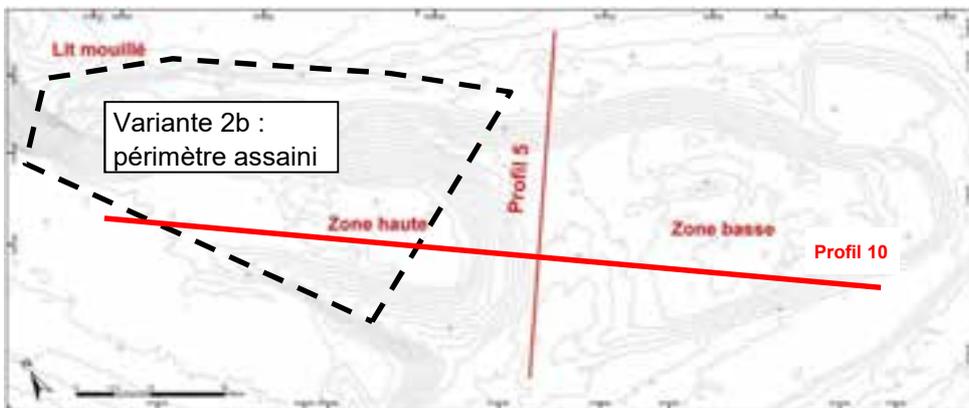


Figure 5.5 : Variante 2b assainissement partiel

Le profil à l'interface du périmètre assaini et des matériaux restants en place reste à définir. L'option présentée schématiquement sur la figure suivante est envisageable (Figure 5.6).

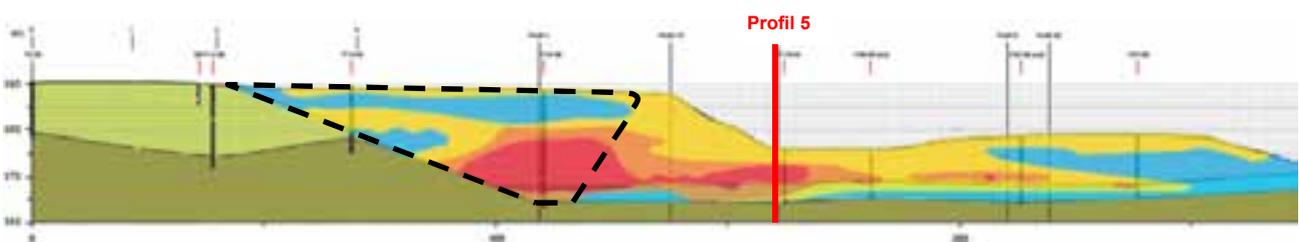


Figure 5.6 : Variante 2b assainissement partiel – profil assaini (base profil 10)

### **Variante 3 : Assainissement partiel ciblé**

La variante 3 considère un assainissement partiel ciblé par excavation et traitement. Les périmètres assainis et l'ampleur de l'assainissement à l'intérieur de ces périmètres ne sont pas définis à ce stade.

Cette variante pourra être construite sur la base des résultats des études complémentaires et comprendra les secteurs qui sont à l'origine des flux de polluants déterminants du point de vue de l'OSites et de l'effet sur la Sarine. Le développement de cette variante a pour objectif d'évaluer une solution ciblée et durable au sens de l'OSites.

### **5.2.3 Questions ouvertes**

Les variantes que nous proposons d'étudier sont des variantes réalistes, décrites sur la base de la connaissance actuelle du système. Les flux de PCB propres à chaque variante, permettant d'évaluer leur effet sur l'environnement, ne sont cependant pas connus à ce stade.

Pour aboutir à la définition de variantes réalisables, une approche itérative est nécessaire en prenant en compte les premiers résultats des études complémentaires (estimations théoriques et estimations basées sur de nouvelles mesures et analyses). Ces résultats serviront à préciser les différentes variantes, en y intégrant notamment différentes mesures d'accompagnement.

Les flux de PCB déterminants pour comparer les variantes en évaluant leur effet sur l'environnement seront finalement estimés sur la base du descriptif complet de chaque variante. Afin de permettre une définition des variantes au terme de l'année prévue pour les études complémentaires, une prise de position préalable des autorités sera requise durant la première phase de l'étude, par exemple dès que la première version du modèle empirique aura été construite.

Une première simulation pourrait être effectuée sur la base d'estimations théoriques et de premiers résultats d'analyses (à préciser lesquels, mais potentiellement avant le suivi de la crue artificielle).

Dans le but de préciser les flux de PCB issus des matériaux restants pour chaque variante, nous proposons d'évaluer le flux par les eaux souterraines sur la base d'une réévaluation de données déjà à disposition et avec des mesures complémentaires. Les études complémentaires se basent sur l'approbation définitive de la méthodologie de prélèvement et d'analyse des échantillons. L'intégration des analyses de la fraction particulaire sera définie une fois que leur importance en terme de flux de PCB est prouvée.

Comme mentionné plus haut, la définition des variantes sera une approche itérative, basée d'une part sur les résultats (préliminaires, finaux) des études complémentaires et, d'autre part, sur les prises de position des autorités.

La description des variantes sera progressivement complétée :

- Mesures d'accompagnement, durant le chantier et à long terme. Par exemple : parois étanches, fermeture de surface.
- Pollution résiduelle admise.
- Remise en état du site.
- Méthodes et procédés de traitement envisageables.

## 5.2.4 Programme d'études complémentaires

### 5.2.4.1 Méthode

#### A) Définition topographique des variantes

L'état 0, sans mesures d'assainissement, sera utilisé comme référence. Les variantes seront ensuite définies de manière à pouvoir être simulées et comparées à l'aide du modèle empirique.

Les différentes variantes se distingueront par des variations des flux de PCB estimés pour l'état 0. Les flux de PCB pourront être soit coupés, soit réduits. Les étapes suivantes sont nécessaires :

- Définition physique de la variante en précisant les volumes excavés
  - Construction de compartiments cohérents avec les variantes pour les différents processus
  - Estimations de flux propres à chaque compartiment restant en place
    - Glissements de terrain & érosion des berges  
Répartition des estimations le long de la berge de la zone haute. A priori, toutes les variantes permettront de réduire ou couper ces flux.
    - Érosion de la décharge  
Répartition des estimations selon les surfaces restantes et soumises à l'érosion : talus de la décharge.
    - Exportation par les eaux souterraines
    - Évaluation du flux par plusieurs approches :
      - B.1 À l'aide du modèle numérique adapté (selon chap. 3.5.2).
      - B.2 Par évaluation des flux à partir de la courbe de régression obtenue entre lixiviats OTD / OSites et teneurs totales, analyses effectuées dans le cadre de l'investigation de détail et ceci pour chaque congénère. Application des polygones de Thyssen déterminés dans l'investigation de détail et/ou adaptés en fonction des variantes d'assainissement.
      - B.3 Analyses de lixiviats selon l'OSites de matériaux solides prélevés dans des forages supplémentaires. Validation de la courbe de régression et intégration des données dans le modèle numérique et/ou polygones de Thyssen.
      - B.4 Prélèvements de lixiviats dans des forages équipés de crépines (sur l'ensemble du corps de la décharge) et de dépotoirs au fond de la décharge. Intégration des données dans le modèle numérique.
      - B.5 Analyse des PCB dans tous les piézomètres représentatifs dans le corps de la décharge et à l'aval immédiat.
- Il est à noter que les approches B.2 à B.5 concernent uniquement les flux de PCB liés au lessivage de la décharge par les eaux pluviales.
- Estimation de flux résiduels pour les secteurs assainis

## B) Estimation des flux par les eaux souterraines

### B.1 A l'aide du modèle numérique adapté (flux total lié aux eaux souterraines)

Cf. chapitre 3.5

### B.2 Flux lié à l'infiltration des eaux pluviales : Evaluation à partir des lixiviats OTD / OSites (2008)

En évaluant la corrélation des teneurs totales et des teneurs issues des lixiviats OSites pour chaque congénère (3 lixiviats OSites représentatifs), on observe une corrélation étroite pour le lixiviat EM=0.25 (pour le lixiviat E/M=3 la corrélation n'est statistiquement plus significative).

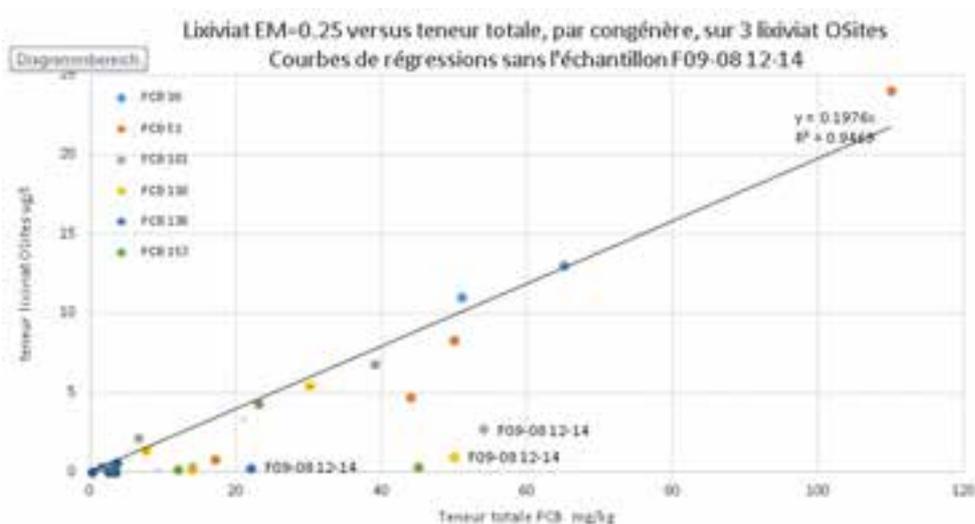


Figure 5.7 Corrélation entre teneur totale et lixiviat OSites (E/M=0.25) par congénère PCB (résultats d'analyse décrits dans le rapport d'investigation de détail).

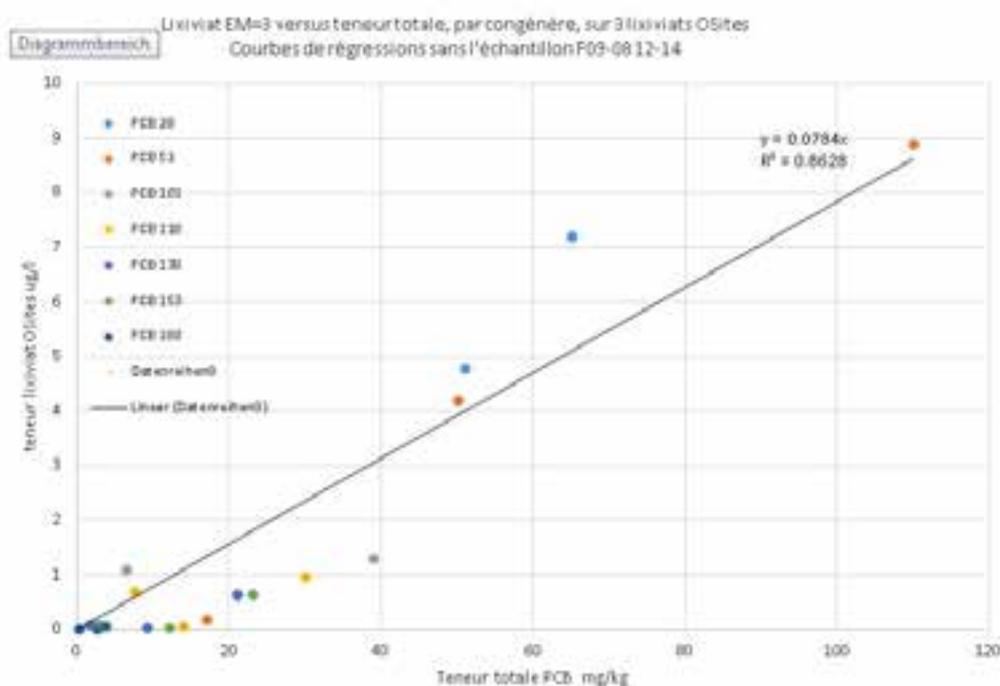


Figure 5.8 Corrélation entre teneur total et lixiviat OSites (E/M=3) par congénère PCB (résultats d'analyse décrits dans le rapport d'investigation de détail).

Le graphique suivant souligne la relation linéaire entre les teneurs totales et les lixiviats OTD par congénère (au total 18 échantillons représentatifs sur 20 prélevés).

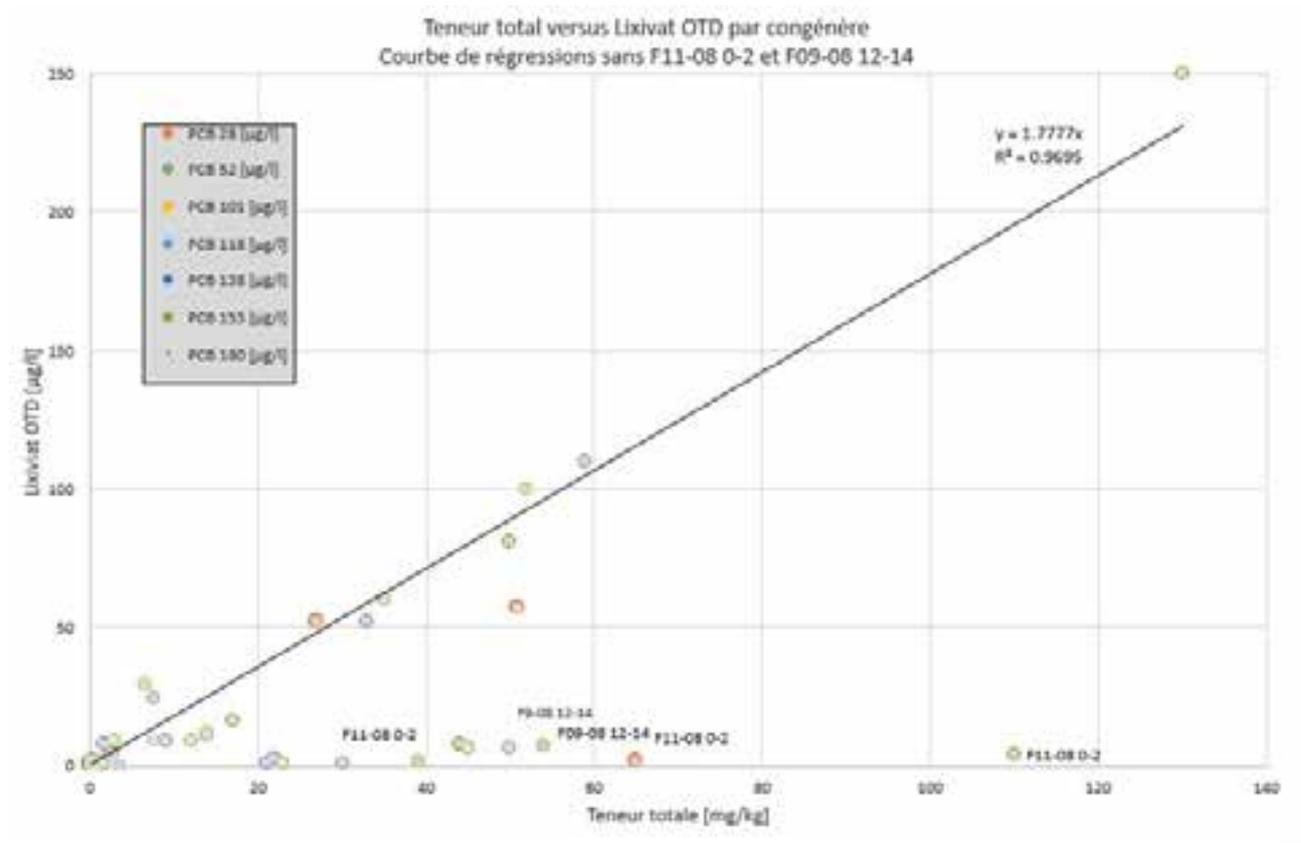


Figure 5.9 Corrélation entre teneur totale et lixiviat OTD par congénère PCB (résultats d’analyse décrits dans le rapport d’investigation de détail).

En appliquant la courbe de régression (Figure 5.7)

$$teneur\ totale[mg/kg] = 0.198 * lixiviat\ OSites\ (E/M=0.25)\ [\mu g/l]$$

aux teneurs totales obtenues par le calcul de test virtuel (détermination de la teneur totale en PCB à partir du but d’assainissement de 1 µg/l correspondant à 10 x valeur de concentration de 0.1 µg/l PCB ; cf. chap. 5.2.1), la teneur calculée de 0.83 µg/l PCB est proche de 1 µg/l .

	Teneur calculée à partir de la courbe de régression	Teneur calculée dans projet d’assainissement
PCB	cw [µg/l]	ct [mg/kg]
28	0.016	0.08
52	0.040	0.2
101	0.049	0.25
138	0.049	0.25
153	0.030	0.15
180	0.010	0.05

$\Sigma 6$ congénères	0.194	0.98
4.3* $\Sigma 6$ congénères	0.833	4.214

Tableau 5.1 Calcul de la teneur en PCB dans l'eau

En appliquant la méthodologie des polygones de Thysen, adaptée aux critères d'extension spatiale et au type d'assainissement, les concentrations moyennes dans les lixiviats, évaluées à partir des teneurs totales dans les matériaux solides, peuvent être déterminées et ainsi le flux de PCB atteignant la nappe :

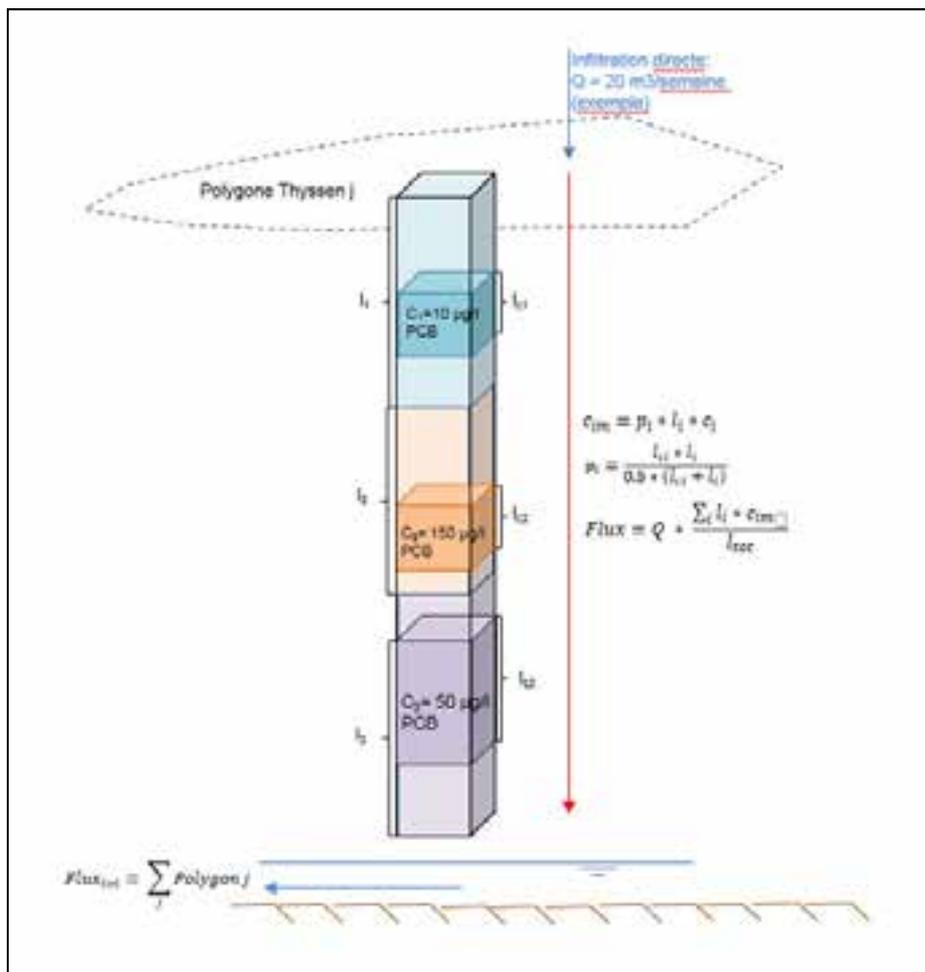


Figure 5.10 Schéma de calcul de la concentration moyenne du lixiviat et extrapolation sur l'ensemble d'un polygone Thysen.

À noter que l'estimation des flux dépend du nombre d'analyses effectué dans un forage et de la représentativité de la couche échantillonnée par rapport au volume concerné par le polygone.

La corrélation linéaire doit être validée par une série de lixiviats OSites supplémentaires couvrant toute la gamme des teneurs en PCB rencontrées sur le site (cf. point suivant).

### **B.3 Flux lié à l'infiltration des eaux pluviales : Lixiviats OSites dans les matériaux prélevés dans des nouveaux forages**

En fonction des variantes d'assainissement et en fonction des données déjà à disposition, 5 à 7 forages pourraient être effectués si besoin dans des zones caractéristiques de la décharge, en fonction des variantes d'assainissement ; ceux-ci permettraient de prélever des matériaux solides à des profondeurs déterminantes en fonction du niveau de pollution par les PCB. Les niveaux échantillonnés peuvent être sélectionnés sur la base du modèle géostatistique des teneurs en PCB du site établi à dans le cadre de l'investigation de détail. Les lixiviats permettent, comme décrit dans le point précédent, d'affiner la courbe de corrélation entre teneurs de lixiviat / teneurs totales ainsi que de préciser les flux en PCB qui peuvent atteindre la nappe.

Des tests de lixiviation en colonne selon OSites pourraient être effectués sur les échantillons solides prélevés dans les forages (estimation : 2 échantillons par forage) avec analyse des fractions L/S 0.25, 3 et 6 dans le but de permettre l'analyse des PCB sur la fraction dissoute et particulaire (méthode EMPA).

Les flux sont à évaluer, comme décrit dans les points précédents :

- En introduisant les concentrations dans le modèle numérique
- À l'aide des polygones de Thyssen adaptés aux variantes d'assainissement. L'estimation des volumes d'eau de lixiviation sont à réévaluer par calcul des eaux infiltrées en fonction de la pluviométrie.

### **B.4 Flux lié à l'infiltration des eaux pluviales : Lixiviats de décharge**

Les lixiviats en colonne selon OSites ne représentent que l'épaisseur de la couche de déchets échantillonnés (pour des épaisseurs plus importantes que 3-5 m, il n'est pas possible de prélever un échantillon composite représentatif sur l'ensemble de l'épaisseur de la décharge).

Afin de pouvoir évaluer un lixiviat représentatif de l'ensemble des déchets traversés, 2 piézomètres seront installés dans le forage :

1. Le premier piézomètre sera crépiné sur toute la longueur de la décharge avec un dépotoir d'env. 1 m de longueur à la base de la décharge. Ceci permettra de prélever (éventuellement) le lixiviat de décharge.
2. Le 2<sup>ème</sup> piézomètre sera crépiné dans les alluvions.

Les résultats d'analyse permettront de mettre en relation les teneurs du lixiviat sur l'ensemble de la décharge, les teneurs obtenues à partir des lixiviats OSites sur les matériaux solides et finalement les teneurs en PCB analysées dans les eaux souterraines directement sous les déchets analysés.

Les résultats des premières investigations relatives aux PCB particulaires et aux PCB dissous détermineront l'importance de l'analyse des 2 fractions.

L'interprétation des données comprendra :

- a) L'évaluation d'une éventuelle relation entre les teneurs en PCB, tout en distinguant PCB particulaire et PCB dissous.
- b) La variabilité spatiale des teneurs en PCB dans les lixiviats.

- c) La discussion des incertitudes et leurs conséquences pour l'estimation des flux par variante d'assainissement.

## ***B.5 Analyse des PCB dans tous les piézomètres représentatifs dans le corps de la décharge et à l'aval immédiat.***

Les évaluations des flux établies selon B.1 à B.4 sont confrontées à des analyses des eaux souterraines échantillonnées dans tous les piézomètres en service du site. À ce jour, une seule campagne de ce type a été effectuée en 2008. La réalisation de cette campagne d'échantillonnage est prévue au mois de juin (selon programme du chapitre 7.3), ce qui permettra de disposer d'un état de la nappe avant la crue artificielle.

Les résultats de toutes les approches sont intégrés dans le modèle numérique. Ceci permettra d'évaluer l'importance des flux distincts (infiltration, échange quotidien / week-end Sarine – nappe, apport amont) selon les variantes d'assainissement.

## **C) Définition complète des variantes**

Comme mentionné plus haut, la définition des variantes sera une approche itérative, basée d'une part sur les résultats (préliminaires, finaux) des études complémentaires et, d'autre part, sur les prises de position des autorités.

La description des variantes sera progressivement complétée :

- Mesures d'accompagnement, durant le chantier et à long terme. Par exemple : parois étanches, fermeture de surface.
- Pollution résiduelle admise.
- Remise en état du site.
- Méthodes et procédés de traitement envisageables.

### ***5.2.4.2 Procédure par étapes***

La réalisation des approches B3 et B4 sera décidée à fin septembre sur la base des données de flux disponibles et d'une évaluation coût/bénéfice.

A ce stade, dans l'estimation des coûts du chapitre 7.4, 14 forages 2" dont 7 carottés et équipés de piézomètres 2" et 7 destructifs équipés de piézomètres 2" ont été considérés, de même que 15 tests de lixiviation OSites sur des matériaux solides et 7 échantillonnages de lixiviats prélevés dans les dépotoirs au fond des piézomètres.

### **5.2.4.3 Résultats attendus et incertitudes**

Les variantes d'assainissement pourront être comparées entre elles et hiérarchisées.

Cependant, il sera vraisemblablement difficile de discriminer les variantes avec des flux résiduels faibles, en admettant par exemple que les flux de PCB solides par les glissements de terrain ou l'érosion ont été coupés.

Une incertitude importante persistera également dans l'estimation des durées au-delà desquelles l'assainissement aura permis à la faune piscicole d'atteindre un certain niveau de contamination. Il est toutefois difficile d'appréhender cette incertitude avant l'acquisition de nouvelles données concernant la Sarine.

Dans le but de pallier à ces incertitudes, des simulations alternatives faisant abstraction de la contamination de la Sarine seront effectuées. Des hypothèses conservatrices seront utilisées pour appréhender l'effet des différentes variantes. Un exemple sera d'admettre que l'entier des PCB exportés par les eaux souterraines (particulaire + dissous) contribue durablement à l'augmentation du stock biodisponible sur le tronçon Pila – Gérine. Cette approche contribuera à définir des flux de PCB de la décharge dans la Sarine sans effet additionnel sur l'environnement et les poissons.

Le descriptif des variantes permettra certes une première évaluation et comparaison, mais il faut garder à l'esprit que la faisabilité de certains dispositifs (barrière réactive le cas échéant) et que certains risques (par exemple risque résiduel lié à une crue extrême) n'auront pas été évalués à ce stade.

## **6. Mesures complémentaires – Traitement des matériaux**

### **6.1 Données disponibles**

Un modèle 3D du site, composé de la décharge, des alluvions, des graviers et du paléosol a été élaboré (Figure 6.1). Les volumes, présentés dans le tableau 6.1 ci-dessous ont été évalués sur la base des données topographiques et géologiques collectées dans le cadre de l'investigation de détail. Les volumes des alluvions et graviers pris en compte dans le calcul sont uniquement ceux situés dans l'emprise de la décharge. Le paléosol ne constitue pas un fond continu, il est représenté là où il a été reconnu par forage. L'emprise maximale des déchets est de 22'000 m<sup>2</sup>.

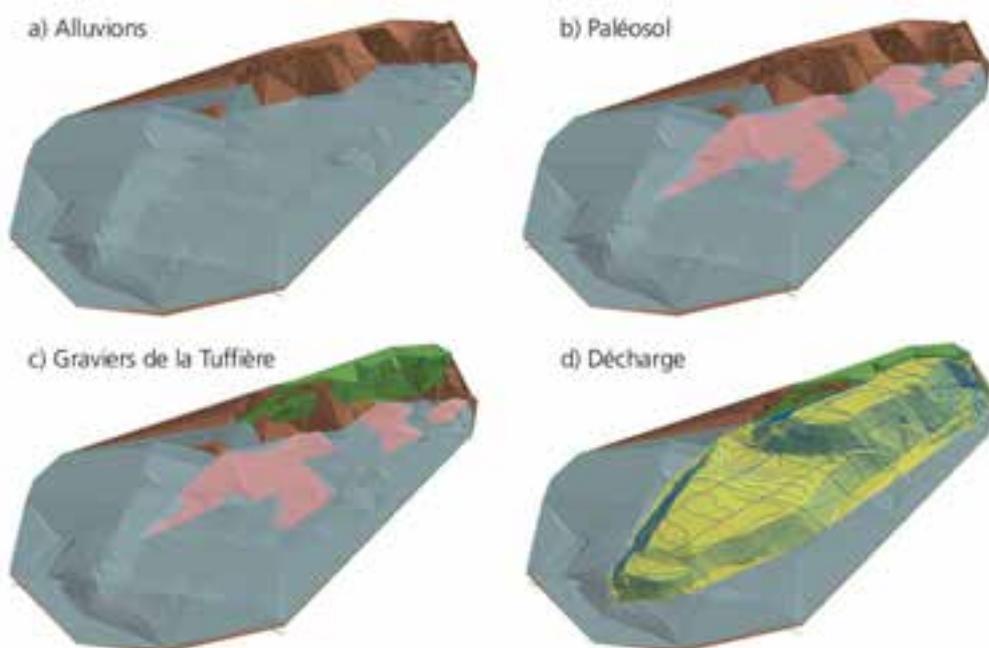


Figure 6.1 : Modèle 3D

Type	Volume en place [m <sup>3</sup> ]
a) Alluvions	67'000
b) Paléosol	3'000
c) Gravier	7'000
d) Volume décharge	195'000
<b>Volume total</b>	<b>272'000</b>

Tableau 6.1 : Volume de la décharge et des couches inférieures – matériaux en place

L'étude géostatistique (Modélisation géostatistique de la contamination de la décharge de la Pila, KIDOVA, 16 février 2009) a permis de spatialiser les concentrations en PCB dans un modèle tridimensionnel composé de mailles de 8 m<sup>3</sup> en se basant sur l'étude des variogrammes de leur distribution. La modélisation de 500 distributions équiprobables des PCB introduit la notion d'incertitude sur les résultats obtenus.

Le tableau et la figure ci-dessous (Tableau 6.2, Figure 6.2) résume le résultat statistique de la classification des concentrations en PCB réparties en 6 catégories, à partir des seuils fixés par les valeurs limites de l'OTD et de l'ADR.

Catégorie	PCB [mg/kg ms]	Q0.025 [m <sup>3</sup> ]	Moyenne [m <sup>3</sup> ]	Q0.975 [m <sup>3</sup> ]	Ratio moyen	Erreur rel. sur la moy. <sup>4</sup>
1	x < 0.1	42'210	50'284	58'888	18%	17%
2	0.1 < x < 1	55'515	60'869	66'299	22%	9%
3	1 < x < 10	87'118	93'493	99'951	34%	7%
4	10 < x < 50	42'865	48'462	53'894	17%	11%
5	50 < x < 1000	16'124	20'578	25'562	7%	23%
6	1000 < x	2'447	4'373	7'148	2%	54%

Tableau 6.2 : Synthèse statistique des volumes de matériaux estimés pour chacune des 6 classes de teneurs en PCB pour une maille de 8 m<sup>3</sup>.

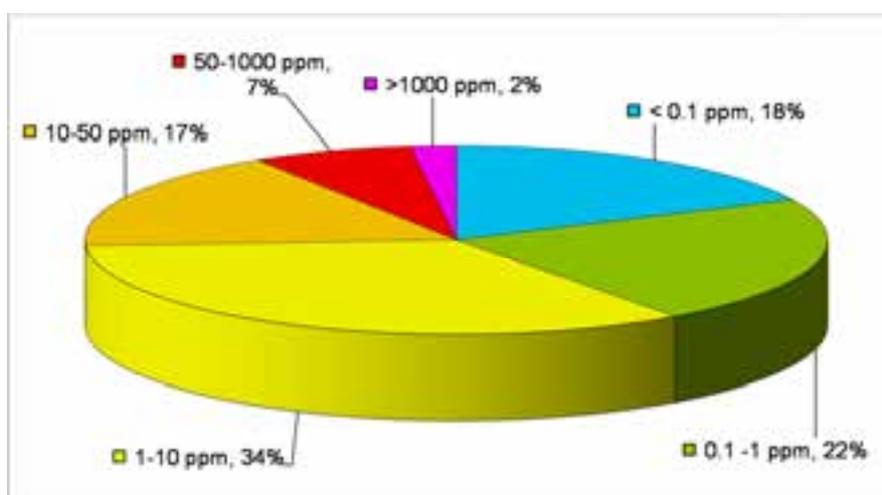


Figure 6.2 : Répartition moyenne des catégories de matériaux par classe de teneurs en PCB

Au total, environ 7'500 tonnes de matériaux (env. 4'400 m<sup>3</sup>) ont été extraites et évacuées dans le cadre des mesures urgentes et préliminaires. Ces matériaux, majoritairement classés dans les catégories > 50 ppm (70%) dont environ 10% dans la catégorie >1000 ppm, ont été prétraités dans l'installation BAZO à Oberglatt avant évacuation dans les filières de traitement (traitements thermiques, stockage en décharges contrôlées, installation de lavage). Le solde des matériaux extraits (30% dans la catégorie 1 – 10 ppm) a été stocké dans la décharge contrôlée bioactive de Châtillon.

Pour la catégorie >1000 ppm, contenant notamment des déchets de condensateurs, le volume des matériaux évacués jusqu'ici représente environ 10% du volume total estimé pour l'ensemble du site. Les travaux effectués à ce jour ont ainsi contribué à tester et valider les méthodes et procédés de traitement des matériaux fortement pollués. Le prétraitement des matériaux issus des mesures urgentes sur le site de BAZO a notamment permis d'atteindre les objectifs suivants :

1. Séparation des condensateurs et des batteries.
2. Séparation des fragments de condensateurs contenant des PCB (bobines de papier imprégnées de PCB et détachées des condensateurs).

<sup>4</sup> (Q0.975 – Q0.025)/Moyenne/2.

3. Tri et classification des matériaux en fractions adaptées au traitement des PCB de manière ciblée (selon la composition et la concentration en PCB).
4. Garantie, par une homogénéité suffisante des fractions triées, des analyses représentatives permettant une déclaration conforme des déchets.
5. Garantie de la sécurité de l'élimination.

Les différents points particuliers suivants ont également pu être testés :

- Procédures d'hygiène et de sécurité.
- Contraintes de conditionnement et de transport.
- Lavage physico-chimique de fractions minérales triées.

## 6.2 Questions ouvertes

Les études et traitements antérieurs réalisés sur les matériaux des mesures urgentes (fortement pollués) et les mesures préliminaires à l'assainissement (plus hétérogènes et plus représentatifs de l'ensemble du site) ont démontré qu'un tri préalable des matériaux est indispensable, indépendamment du traitement ultérieur ou de la filière d'élimination à suivre. C'est cette première étape incontournable qui représente une part significative du coût de l'élimination des déchets et conditionne les filières d'élimination.

L'une des questions essentielles est donc de définir si un tri fin des matériaux est possible sur le site. Cette première étape (prétraitement) détermine si des processus de traitement peuvent ensuite se justifier du point de vue économique on-site.

Les déchets évacués et traités à ce jour sont principalement issus du secteur en glissement, de la berge et de la Sarine proche ainsi que des accès. Ces déchets ne sont pas complètement représentatifs du contenu de la décharge. La diversité des matériaux présents dans la décharge est probablement sous représentée et les teneurs en PCB sont nettement supérieures à la moyenne des déchets.

Quelle que soit la variante d'assainissement choisie, un volume significatif de matériaux moyennement à peu pollués devra être excavé. Pour ces matériaux, il est nécessaire de clarifier les procédures d'identification, de tri et d'évacuation.

Dans le cadre des travaux récents, il a été possible d'identifier avec certitude un volume de qualité bioactive (<10 ppm) malgré les incertitudes importantes liées à l'hétérogénéité des déchets et à la proximité de matériaux fortement pollués. La classification de ces matériaux a cependant été basée sur un nombre plus important d'analyses successives (sondages d'orientation, stockages intermédiaires) que prévu dans le projet d'assainissement (CSD 2010). Les nombreuses analyses effectuées ont également montré qu'il était extrêmement difficile de différencier les catégories inférieures (décharge contrôlée pour matériaux inertes, matériaux tolérés/propres).

Les questions qui se posent relativement aux matériaux moins impactés par les PCB sont les suivantes :

- Les procédures d'identification et de tri proposées en 2010 sont-elles applicables pour une évacuation directe en décharge contrôlée ?
- Quelles sont les alternatives à un stockage en décharge contrôlée dans les cas suivants ?
  - Incertitude sur la catégorie de teneur en PCB.

- Dépassements réguliers des valeurs limites pour certains paramètres (ammonium, carbone organique) sans possibilité de dérogation.
- Absence de capacité dans les décharges contrôlées bioactives au moment de l'assainissement.
- Obligation de retirer tous les déchets fortement pollués (condensateurs/piles/batteries) ou taux de destruction des PCB imposé.
- Obligation de valoriser (fractions minérales, métaux, incinérables, etc.).
- Quelles sont les conséquences sur les coûts estimés en 2010 pour l'assainissement du site ?

Un autre élément important, directement lié au traitement des matériaux, concerne le développement du projet d'exécution et les procédures d'attribution des travaux d'assainissement. Jusqu'à présent les démarches engagées pour tester le traitement des matériaux ont été réalisées avec une seule entreprise. Les aspects techniques ont ainsi pu être développés en étroite collaboration avec l'entreprise et les autorités. L'expérience acquise doit être valorisée indépendamment des entreprises qui réaliseront l'assainissement. Le respect des conditions particulières liées au projet et des conditions fixées par les autorités devra être garanti dans le cadre d'appels d'offres publics. Les questions suivantes se posent :

- Quelles sont les possibilités pour attribuer les travaux d'assainissement ?
- Peut-on utiliser une phase test de traitement des matériaux comme procédure de pré-qualification ?

## 6.3 Programme d'études complémentaires

### 6.3.1 Méthode

#### Proposition de marche à suivre

Des entreprises spécialisées seront contactées dans le but d'évaluer les possibilités d'effectuer un tri fin sur site. Le cadre des évaluations technique et économique sera fixé sur la base de l'état actuel de connaissance des matériaux du site.

La question englobe tous les types de matériaux potentiellement excavés en cas d'assainissement. Pour les matériaux fortement pollués, les objectifs du tri seront établis sur la base des objectifs atteints dans le cadre des essais déjà effectués (séparation des condensateurs et des fragments de condensateurs, création de fractions homogènes adaptées aux différents traitements, etc.).

Pour tous les matériaux moins impactés par les PCB (teneur totale < 10 ppm), les questions spécifiques évoquées au chapitre 6.2 seront également reprises.

Une première estimation des volumes et catégories de matériaux sera effectuée sur la base des types de variantes d'assainissement qui seront validées par les autorités. Les réponses apportées sur les possibilités d'effectuer un tri fin sur site seront en effet probablement dépendantes du volume de matériaux en jeu et de leur répartition.

Les hypothèses et contraintes suivantes, indépendantes des variantes d'assainissement, seront notamment intégrées :

- Application principes de limitation et de valorisation de l'OLED

- Valorisation des matériaux sur site, selon art. 19 al. 3 OLED
- Utilisation du périmètre du PAL de la commune d'Hauterive affecté en ZAP (Zone d'assainissement de l'ancienne décharge de la Pila)
- Application des procédures d'hygiène et sécurité adaptées aux matériaux fortement pollués par les PCB

A l'issue de cette première phase, un diagramme de flux décisionnel sera établi selon les possibilités d'effectuer un prétraitement sur place. Les processus seront décrits avec des scénarios indiquant les traitements à écarter ou non.

Pour les traitements retenus, le niveau de connaissances requis sur la qualité des matériaux pour évaluer la faisabilité technique et les coûts d'un prétraitement sur place et d'éventuels traitements on site sera défini.

### **Prélèvements, tests en laboratoire, propositions d'entreprises**

Sur la base des résultats de la phase précédente, les lacunes de connaissances sur les matériaux du site seront identifiées

Des prélèvements et des tests en laboratoire seront définis dans le but d'obtenir des propositions indicatives d'entreprises utiles pour estimer des coûts de traitement des matériaux.

L'ampleur des prélèvements et tests nécessaires n'est pas connue à ce jour. En cas de réalisation des forages complémentaires évoqués au chapitre 5.2.4 (approches B3 et B4 pour l'évaluation des flux de PCB), des matériaux extraits des couches profondes seront disponibles.

### **Marche à suivre pour l'attribution des travaux d'assainissement**

Les coûts pourront être estimés plus précisément selon la variante définitive qui aura été sélectionnée. Selon le programme du chapitre 7.4, les indications plus précises sur les coûts seront disponibles à fin mars 2017, à l'issue des éventuels tests complémentaires sur les matériaux. En parallèle, nous proposons d'étudier et présenter différentes options possibles pour l'attribution des travaux d'assainissement.

Une option serait, comme dans le cas des mesures préliminaires à l'assainissement, de développer un projet d'assainissement complet qui ferait l'objet d'un appel d'offres public. Les travaux seraient ensuite attribués à un groupement d'entreprises sur la base de l'évaluation des dossiers.

Concernant les aspects de confidentialité des essais réalisés à ce jour pour le traitement des matériaux fortement pollués, nous sommes d'avis qu'il est possible d'utiliser l'expérience acquise sans dévoiler les éléments confidentiels contenus dans les documents remis par Ebiox. Les essais effectués ont en effet démontré la nécessité et la faisabilité du tri fin. Sur cette base, il est possible de définir un certain nombre d'objectifs à atteindre (par exemple extraction obligatoire des condensateurs pour certaines catégories de matériaux) et de conditions (valorisation de certaines fractions). Il sera par contre difficile de vérifier, sans référence sur des matériaux similaires, si les propositions des entreprises permettent de garantir l'atteinte des objectifs.

Dans le but d'anticiper ce type de problématique et de pouvoir donner les meilleures garanties sur les aspects techniques, environnementaux et sur la gestion des incertitudes, nous proposons d'évaluer les options suivantes.

- Procédure de pré-qualification par concours ou par essais pilotes.
- Développement d'un projet d'exécution en entreprise totale.

- Répartition possible du marché en différents lots (travaux spéciaux, excavation et conditionnement, prétraitement, traitements, etc.).

Dans tous les cas, le développement de solutions concrètes avec des entreprises spécialisées semble nécessaire compte tenu de l'interdépendance entre le projet et les méthodes de travail envisagées ou exigées. C'est particulièrement le cas pour les éventuels prétraitements / traitements on site, qui consomment de l'espace, nécessitent des réglages et dépendent de la logistique de l'assainissement.

Les options envisageables pour la Pila seront décrites et mises en relation avec différents grands projets d'assainissement sur lesquels elles ont été appliquées. Les aspects légaux seront également abordés, pour vérifier par exemple dans quelle mesure un marché à plusieurs centaines de millions pourrait être adjugé sur la base d'essais pilotes.

### 6.3.2 Résultats attendus et incertitudes

Les possibilités d'effectuer un tri fin (prétraitement) sur place seront étudiées et clarifiées. Sur cette base, la possibilité de réaliser ou non des traitements on site sera évaluée.

Les lacunes de connaissance sur la qualité des matériaux pour évaluer la faisabilité technique et les coûts d'un prétraitement sur place et d'éventuels traitements on site seront complétées. L'ampleur des prélèvements et tests nécessaires n'est pas connue et n'est donc pas estimée à ce stade.

Une estimation des coûts de traitement des matériaux basée sur des propositions indicatives d'entreprises pourra être établie dans le but de simuler les coûts de différentes variantes d'assainissement.

Une estimation plus précise pourra ensuite être établie pour la variante définitive. Les prix du marché ne pourront toutefois être précisés qu'à l'issue de la procédure de mise à l'enquête du projet d'assainissement et à la mise en appel d'offres du traitement des matériaux. Le coût total estimé conservera également une incertitude importante liée au volume effectivement excavé et à la répartition des matériaux dans les différentes catégories.

Les résultats constitueront aussi une aide à la décision pour fixer certaines limites d'un futur projet d'assainissement, par exemple : prétraitement hors site ou sur site obligatoire pour telle catégorie, traitement in site envisageable pour certaines fractions issues du prétraitement, etc.

Les différentes options présentées pour l'attribution des travaux d'assainissement serviront d'aide à la décision pour la suite de la procédure. Les avantages/désavantages du point de vue technique et économique seront mis en évidence.

Il faut rappeler l'attribution des travaux interviendra normalement en dernière étape du processus suivant. Une fois que le projet d'assainissement selon l'art. 17 de l'OSites sera déposé, différentes étapes, pour lesquelles une durée de quatre ans a été estimée (CSD 2010), sont nécessaires :

- Evaluation du projet d'assainissement par les autorités (selon art. 18 al. 2 de l'OSites).
- Décision des autorités concernant le projet d'assainissement (selon art. 18 al. 2 OSites).
- Elaboration du projet de construction pour l'assainissement et demande de permis de construire.
- Evaluation de la demande de permis de construire et du projet de construction par les autorités.
- Octroi du permis de construire.

- Soumission et projet de réalisation.

Les différentes options présentées ne permettront probablement pas de raccourcir ce processus. Il est en effet difficilement envisageable d'attribuer des travaux avant l'obtention du permis de construire.

## 7. Mesures complémentaires – Synthèse

### 7.1 Résumé des études complémentaires

Le Tableau 7.1 ci-dessous résume les études prévues et les résultats attendus. Le planning général, intégrant la coordination des mesures, est présenté au chapitre 7.3. La synthèse des coûts estimés figure au chapitre 7.4.

Tableau 7.1 : synthèse des études prévues et les résultats attendus

Chapitres	Méthodes	Résultats
<b>3.1 État 0</b> Sédiment, eau, gammare, poisson	Carottage cryogénique, plongée, essais granulométrie, capteurs passifs et gammars secteur Gérine-Maigrauge	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distribution spatiale des [PCB] sédiment, eau et gammare</li> <li>• Facteurs bio-concentration et bio-accumulation</li> </ul>
<b>3.2 Stock bio-disponible</b> Sédiment et matière en suspension	Carottage cryogénique, essais diffusion, boîtes sédiment, profils avant/après crue, <sup>7</sup> Be, station pluviométrique, stations hydrométriques	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estimé stock total PCB Sarine</li> <li>• Importance matière en suspension et diffusion</li> <li>• Influence d'une crue et de fortes pluies sur stock et flux</li> </ul>
<b>3.3 Flux décharge-Sarine</b> Érosion, eaux souterraines	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réceptacles érosion, station pluviométrique, analyse matériaux solides</li> <li>• Suivi de crue (niveau, par. physico-chimiques), traçage, modélisation, analyse (eau, capteurs passifs)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estimé érosion zones haute et basse selon pluies</li> <li>• Précision emplacement et extension crête molassique, vitesse et direction d'écoulement, flux décharge-Sarine lors d'une crue, amélioration connaissances hydrogéologiques</li> </ul>
<b>4.2 Discrimination</b> Décharge vs Sarine	Boîtes sédiment, <sup>7</sup> Be, comparaison amont vs aval, corrélation NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> et O <sub>2</sub> vs [PCB] eaux souterraines, capteurs passifs	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distinction amont vs aval, influence décharge</li> <li>• Importance de la dé-chloration sur la présence du congénère 52</li> </ul>
<b>4.3 Processus contamination</b> Poissons	Pêche 40-50 truites, âge, contenu stomacaux, teneurs lipides, distribution dl et 7 indicateurs, corrélation <sup>15</sup> N <sup>13</sup> C vs [PCB]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tendance temporelle [PCB] poissons selon l'âge des spécimens</li> <li>• Importance de la contamination alimentaire vs branchiale</li> </ul>
<b>4.4 Valeurs cibles</b> Poissons, sédiment	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carottage cryogénique, pêche 40 truites</li> <li>• Analyses <sup>15</sup>N<sup>13</sup>C, boîtes sédiment</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amélioration des estimations BSAF et des cibles sédiment</li> <li>• Définition d'autres cibles: gammars, matière en suspension et eau</li> </ul>

<p><b>5.1 Modèle empirique</b> Décharge-Sarine</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construction d'un modèle avec intégration des hypothèses/résultats</li> <li>• Intervalles de confiance et analyse de sensibilité, procédure Monte-Carlo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Importance relative des stocks et flux, divisés en 3 compartiments : PCB solide, PCB dissout et déchets</li> <li>• Outil de comparaison des variantes, d'évaluation des incertitudes et d'aide à la décision</li> </ul>
<p><b>5.2 Évolution selon variantes d'assainissement</b> Décharge-Sarine</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variantes possibles: total, partiel-zone haute et partiel-berges</li> <li>• Définitions itératives des variantes ; topographies et volumes excavés</li> <li>• Eaux souterraines : échantillonnage de tous les piézomètres</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ajustement des flux décharge-Sarine liés à l'érosion, aux glissements de terrain et aux eaux souterraines selon les variantes définies</li> <li>• Comparaison des variantes et simulation de leur effet sur la Sarine</li> </ul>
<p><b>6. Traitement matériaux</b> Décharge</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluation des possibilités de tri fin sur site et des traitements à retenir/écarter</li> <li>• Prélèvements et tests en laboratoire par/pour des entreprises spécialisées</li> <li>• Etude d'options pour l'attribution des travaux d'assainissement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possibilité d'effectuer un tri fin (prétraitement) et des traitements sur place</li> <li>• Meilleures connaissance des matériaux et estimation des coûts de traitement</li> <li>• Avantages techniques et économiques liés aux options d'attribution</li> </ul>
<p><b>7. Comparaison des variantes d'assainissement</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coûts/efficacité/risques : évaluation des variantes selon méthodologie OFEV</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simulation des coûts de l'assainissement</li> <li>• Choix de la variante optimale</li> </ul>

## 7.2 Comparaison des variantes d'assainissement – Coût/ efficacité/ Risques

### 7.2.1 Méthode

Les variantes suivantes, présentées au chapitre 5, seront progressivement définies et validées durant la réalisation des études complémentaires.

- 1 Assainissement total
- 2a Assainissement partiel (répartition selon profil 5)
- 2b Assainissement partiel (répartition alternative)
- 3 Assainissement partiel ciblé

Les variantes d'assainissement retenues seront évaluées selon les trois familles de critères suivantes proposées par l'aide à l'exécution «Assainissement des sites contaminés» (OFEV 2014) :

## 1) Faisabilité et efficacité

Critères faisabilité / efficacité	Explications / Remarques
Etat de la technique, perspectives de réussite	Références, nombre d'assainissements pour lesquels la variante a été réalisée avec succès Atteinte des objectifs d'assainissement, délais, efficacité à long terme
Niveau de contrôle possible	Possibilité de contrôle en continu, suivi des résultats de l'assainissement risque d'accident majeur
Infrastructure requise	Mesures constructives nécessaires sur le site place nécessaire
Sécurité au travail / protection de la santé	Risques pour la santé (effets aigus et chroniques), risque d'explosion et d'incendie, risque d'hypoxie
Flexibilité	Possibilité d'adaptation de la variante à des conditions nouvelles ou inattendues
Niveau d'acceptation	Avant, pendant et après l'assainissement : risques d'oppositions de riverains, d'associations Difficultés pour l'obtention du permis (art. 18 OSites) Problèmes en cas de report des délais

Tableau 7.2 : Critères d'évaluation pour la faisabilité et l'efficacité

## 2) Respect de l'environnement / apport écologique

Respect de l'environnement / apport écologique	Explications / Remarques
Préservation des ressources et de l'espace disponible en décharge	Volume de matériaux traités pour valorisation/ volume de matériaux stockés en décharge Quantité de substances dangereuses détruites / quantité de substances dangereuses stockées en décharge
Potentiel de pollution	Masse de substances dangereuses et / ou potentiel de danger avant / après l'assainissement Evaluation par rapport aux objectifs d'assainissement (effets sur la source de polluants, efficacité à long terme)
Nécessité et d'un suivi et d'une surveillance et durée des opérations	Suivi nécessaire et extension Durée du contrôle nécessaire Evaluation par rapport aux objectifs d'assainissement (efficacité temporelle)
Consommation d'énergie	Energie primaire consommée par l'assainissement Energie consommée par les mesures constructives, les transports et le traitement des matériaux
Emissions (polluants atmosphériques, bruit et odeurs)	Augmentation sensible des émissions pour les riverains et durée (odeurs, bruit des machines, engins, transports)

---

## Respect possible de la réglementation sur le bruit des chantiers

---

Tableau 7.3 : Critères d'évaluation pour l'impact sur l'environnement.

### 3) Coûts

Coûts de l'assainissement	Explications / Remarques
Coûts de réalisation (coûts uniques)	Planification, élaboration du projet, mise en place des infrastructures, réalisation des mesures de décontamination ou de confinement, surveillance pendant la réalisation des mesures
Coûts d'entretien et d'exploitation (si requis, coûts récurrents)	Surveillance, entretien, exploitation des installations et des infrastructures
Coûts de clôture des travaux (coûts uniques)	Contrôle des résultats, suivant le cas, mesures de déconstruction et suivi

Tableau 7.4 : Critères d'évaluation pour les coûts.

## 7.2.2 Résultats attendus et incertitudes

Les variantes seront évaluées selon un système de notation simple, sur une échelle de 1 à 5 (1 = très mauvais; 5 = excellent).

La pondération des critères devra être définie en collaboration avec les autorités. En particulier concernant les résultats des études complémentaires, qui seront pris en compte dans le critère « Potentiel de pollution » :

- Masse de substances dangereuses et / ou potentiel de danger avant / après l'assainissement
- Evaluation par rapport aux objectifs d'assainissement (effets sur la source de polluants, efficacité à long terme)

Une simulation préliminaire des coûts de chaque variante d'assainissement sera construite dans le but de les comparer entre elles. Les bases des estimations existantes seront mise à jour avec les nouvelles données et contraintes. Un exemple est donné à la figure suivante.

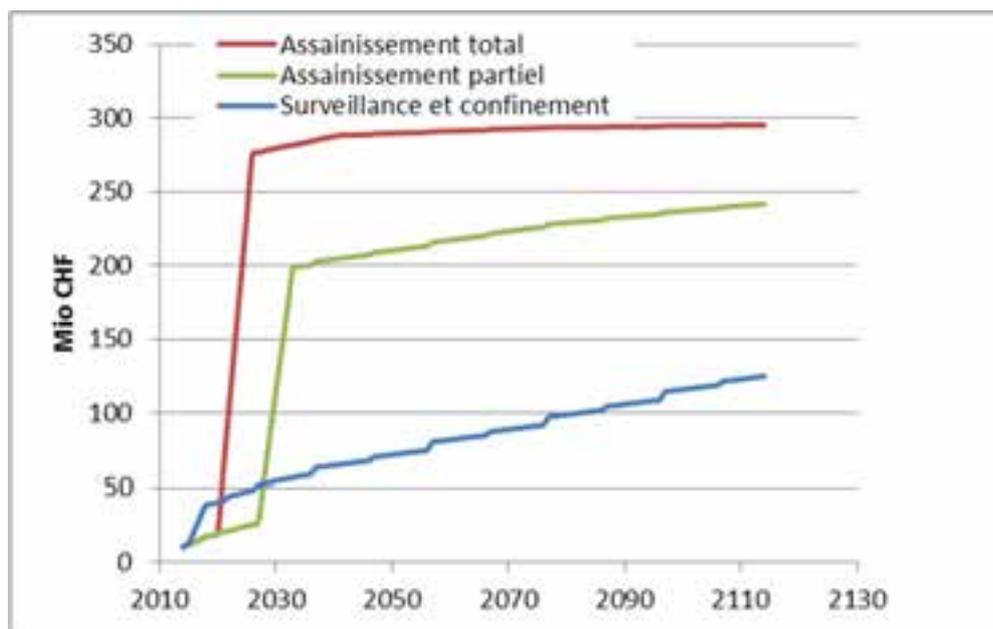


Figure 7.1: Exemple de simulation des coûts à long terme pour 3 scénarios (CSD 2014)

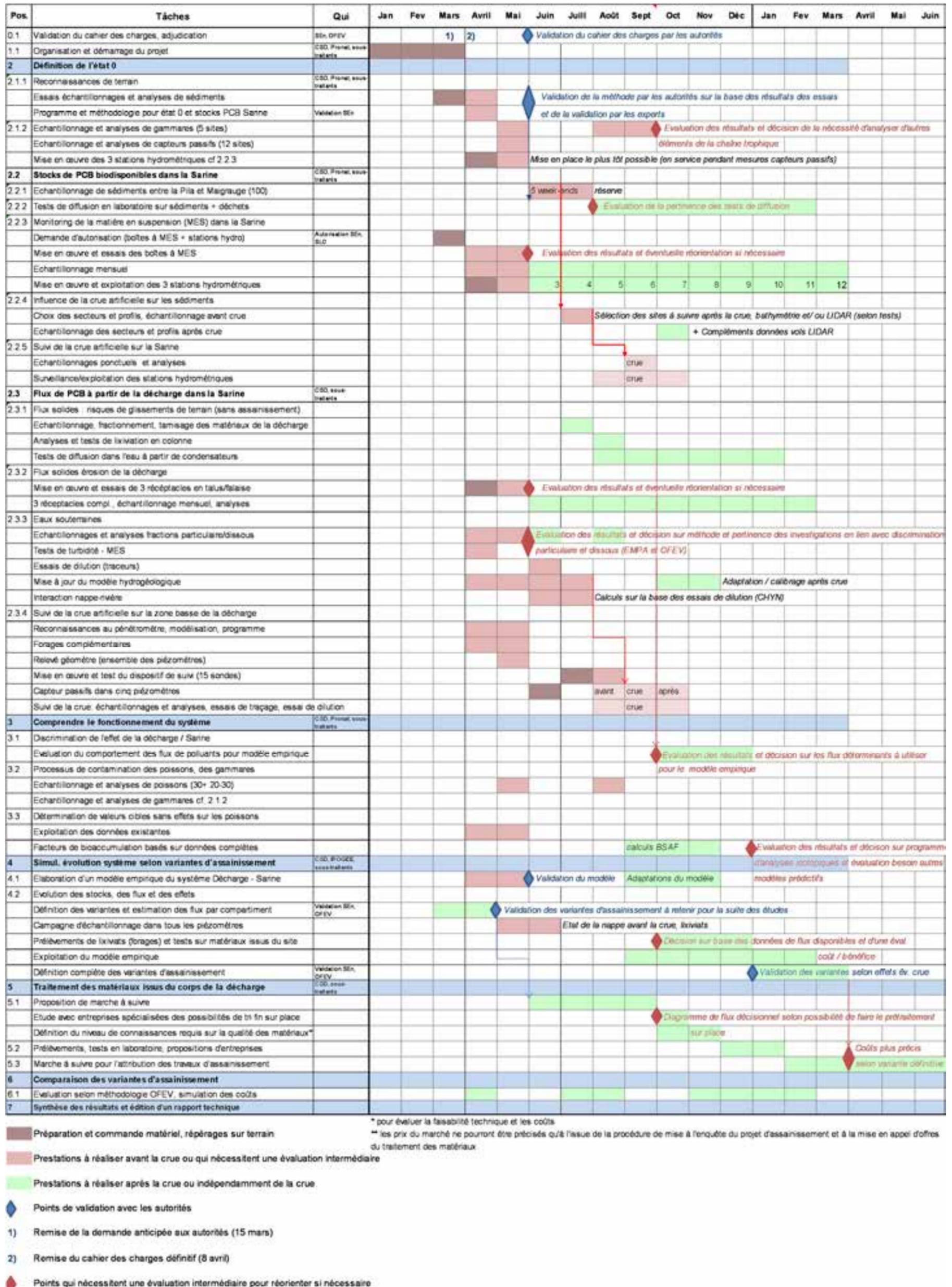
Des éléments potentiellement déterminants seront identifiés mais ne feront pas l'objet d'évaluation détaillée dans le cadre des présentes études complémentaires.

L'évaluation des risques résiduels par rapport à une crue exceptionnelle n'est pas prévue. Ce point devra être traité en parallèle compte tenu de la réalisation des mesures préliminaires à l'assainissement. Une partie des données collectées notamment durant le suivi de la crue artificielle pourra servir à cet effet. Finalement, une évaluation sera nécessaire pour la variante d'assainissement retenue.

### 7.3 Planning général et coordination des mesures

Le tableau ci-dessous (Tableau 7.5) présente une vision d'ensemble du programme des études complémentaires, réparties sur une durée total d'environ 12 mois. Cette concentration des études oblige à avancer en parallèle sur les différents sujets, avec l'avantage de permettre des validations et des ajustements en cours d'études.

Des validations intermédiaires par le Service de l'environnement ont été prévues, en particulier concernant le programme général des études, les échantillonnages des sédiments de la Sarine et la définition des variantes d'assainissement.



Le programme des études est basé sur le principe que la crue artificielle planifiée par Groupe e se déroulera en septembre 2016. Cela implique un démarrage du projet au début de l'année 2016 afin que le niveau de préparation (programme définitif de suivi, dispositifs techniques opérationnels, organisation : personnel, autorisations) soit suffisant.

En cas d'annulation de la crue artificielle, la compréhension de l'influence des crues sur la Sarine et sur la décharge ne pourra pas être améliorée par des mesures et analyses en situation. Les objectifs poursuivis par les études complémentaires ne seront pas atteints et devront être revus.

La mise en œuvre durable de certains dispositifs (stations hydrométriques dans la Sarine, sondes dans la décharge) permettrait de garantir l'acquisition minimale de données en cas de crue naturelle. Les échantillonnages et analyses ne pourraient par contre pas être effectués et très peu de nouvelles données concernant les PCB seraient collectées.

## 7.4 Synthèse des coûts

Sur la base des informations à notre disposition à ce jour, nous estimons les coûts des mesures complémentaires à près de CHF 2'400'000.- TTC selon le tableau ci-dessous :

	La Pila - Mesures complémentaires - Estimation de coûts	CSD	Pronat	lab. EMPA	lab. Wessling	Stuwatec	SFF	lab. Berne	Scimabio	Monitron AG	Geosud	Entreprise de forage	Ipogee	Centre Ecotox	EMPA	Autres frais	CHYN	e-dric	Réserve	Total général CHF HT
Pos.	Description																			
<b>1</b>	<b>Organisation et démarrage du projet</b>																			
1.1	Organisation et suivi du projet, coordination, séances	769 100																		
1.2	Appui par les spécialistes pour la durée du projet	*												40 000	20 000					
1.3	Acquisition de données, exploitation de données de tiers (modélisation de la Sarine, Groupe e, etc.)	*																	20 000	
1.4	Stockage d'échantillons de réserve pour la durée des études, admis 1 an (congélateur, laboratoire)	*														5 000				
1.5	Les prestations pour le traitement des données, l'interprétation et présentation des résultats et l'édition de rapports sont estimées dans les positions suivantes.	*																		
<b>2</b>	<b>Définition de l'état 0</b>																			
2.1.1	Reconnaitances de terrain et essais sédiments (avril-mai)	150 000	43 100		22 700	6 200								10 000	10 000	5 000			10 000	
2.1.2	<i>Echantillonnage et analyses (avril-mai)</i>																			
2.1.2.1	Capteurs passifs (28 capteurs sur 12 sites)	*	*	23 500										*	*					
2.1.2.2	Echantillonnages gammars (5 sites)	*	*		9 300	6 200		5 500						*	*				*	
2.1.2.3	Echantillonnage poissons (30 truites Pila - Maigrauge)	*					16 300	32 800	4 300					*	*					
<b>2.2</b>	<b>Stocks de PCB biodisponibles dans la Sarine</b>																			
2.2.1	Echantillonnage de sédiments entre la Pila et Maigrauge (100)	*	45 000		53 000	31 200				10 000									10 000	
2.2.2	Tests de diffusion en laboratoire sur sédiments + déchets	*		45 000																
2.2.3	<i>Monitoring de la matière en suspension dans la Sarine</i>																			
2.2.3.1	Test des boîtes à MES, mise en œuvre de 3 stations hydrométriques (yc location 6 mois + abonnement pluviomètre Posieux)	*			700					45 000									*	
2.2.3.2	Exploitation des 3 stations hydrométriques et des 3 boîtes à MES (yc loc. 6 mois)	*								54 000										
2.2.3.3	Echantillonnage mensuel des boîtes à MES, analyses (12 mois)	*			13 300															
2.2.4	<i>Influence de la crue sur les sédiments</i>																			
2.2.4.1	Choix des secteurs et profils, échantillonnage avant et après crue	*	*		12 400	*					3 000								10 000	
2.2.5	<i>Suivi de la crue artificielle</i>																			
2.2.5.1	Echantillonnages ponctuels et analyses	*		30 000	6 000											2 000				
2.2.5.2	Surveillance/exploitation des stations hydrométriques (compris dans montant 2.2.3.2)	*								*										
<b>2.3</b>	<b>Flux de PCB à partir de la décharge dans la Sarine</b>																			
2.3.1	<i>Flux solides : risques de glissements de terrain (sans assainissement)</i>																			
2.3.1.1	Echantillonnage, fractionnement, tamisage des matériaux de la décharge	*																		
2.3.1.2	Analyses et tests de lixiviation en colonne; analyses selon méthode EMPA	*		3 000	11 200															
2.3.1.3	Tests de diffusion dans l'eau à partir de condensateurs	*		*	*															
2.3.2	<i>Flux solides érosion de la décharge</i>																			
2.3.2.1	Test des réceptacles en talus/falaise	*			700					1 000						*			*	
2.3.2.2	Mise en œuvre des 6 réceptacles en talus/falaise (yc location 12 mois)	*								2 000						12 600				
2.3.2.3	Echantillonnage mensuel des réceptacles, analyses (12 mois); abonnement pluviomètre compté sous 2.2.3.	*			9 900															
2.3.2.4	Echantillonnage de surface sur 7 placettes représentatives	*			3 500															
2.3.3	<i>Eaux souterraines</i>																			
2.3.3.1	Nettoyage 6 piézo à l'air-lift et 3 forages (admis 5m)	*										14 000								
2.3.3.2	Echantillonnage et analyses fractions/particulaire dissous	*		6 000	2 500															
2.3.3.3	Suivi de la nappe durant 1 semaine (15 sondes)	*								4 500										
2.3.3.4	Essais de dilution	*														100	200			
2.3.3.5	Mise à jour du modèle hydrogéologique (cf 2.3.4 Modélisation)	*																	5 000	
2.3.3.6	Interaction nappe rivière	*															3 000			

\* coûts compris dans ligne au-dessus  
la trame bleu indique les différentes études concernées par l'estimation des coûts de avril-mai 2016  
la trame saumon indique les différentes études concernées par l'estimation des coûts de juin 2016 à mars 2017

	La Pila - Mesures complémentaires - Estimation de coûts	CSD	Pronat	lab. EMPA	lab. Wessling	Stuwatec	SFF	lab. Berne	Scimabio	Monitron AG	Geosud	Entreprise de forage	Ipogee	Centre Ecotox	EMPA	Autres frais	CHYN	e-dric	Réserve	Total général CHF HT
Pos.	Description																			
2.3.4	Suivi de la crue artificielle sur la zone basse de la décharge																			
2.3.4.1	Reconnaitances au pénétromètre, programme	*								7 000										
2.3.4.2	Modélisation	*																5 000		
2.3.4.3	Dédoublement 2 forages (admis 6 m)	*										5 000								
2.3.4.4	Relevé géomètre (ensemble des piézomètres)	*									2 000									
2.3.4.5	Mise en œuvre, test et exploitation du dispositif suivi sonde (15 sondes 3 mois)	*								14 800										
2.3.4.6	Capteurs passifs dans 5 piézomètres (3 campagnes)	*		15 000	4 500															
2.3.4.7	Suivi de la crue: échantillonnages et analyses, essais de traçages, essais de dilution	*		28 000	12 000											11 500	3 900			
2.3.4.8	Divers et imprévus 20% (2.3.3 et 2.3.4)	*																	53 300	
3	<b>Comprendre le fonctionnement du système</b>																			
3.1	<b>Discrimination de l'effet de la décharge / Sarine</b>																			
3.1.1	Evaluation du comportement des flux de polluants pour modèle empirique	*		8 000	12 000															14 400
3.2	<b>Processus de contamination des poissons, des gammarès (camp. août)</b>																			
3.2.1	Capteurs passifs Sarine (28 capteurs sur 12 sites) cf 2.1.2	*	*	23 500																
3.2.2	Echantillonnage et analyses de gammarès (5 sites) cf 2.1.2	*	*		9 300	6 200		5 500								2 000				
3.2.3	Echantillonnage et analyses de poissons (20 - 30 truites) cf 2.1.2	*					16 300	32 800	4 300							7 000				
3.3	<b>Détermination de valeurs cibles sans effets sur les poissons</b>																			
3.3.1	Exploitation des données existantes	*																		
3.3.2	Facteurs de bio-accumulation basé sur données complètes	*																		
4	<b>Simulation évolution système selon variantes d'assainissement</b>																			
4.1 a	Elaboration d'un modèle empirique du système décharge-Sarine	*											11 200							
4.1 b	Elaboration d'un modèle empirique du système décharge-Sarine	*											59 600			5 000				
4.2	<b>Evolution des stocks, des flux et des effets</b>																			
4.2.1	Définition des variantes et estimation des flux par compartiment	*											*							
4.2.2	Campagne d'échantillonnage dans tous les piézomètres représentatifs	*		10 000	20 000											2 000				
4.2.3	Prélèvements lixiviats (forages) et test sur matériaux issus du site	*			63 000							80 000								
4.2.4	Exploitation modèle empirique	*											*							
4.2.5	Définition complète des variantes d'assainissement	*											*							
5	<b>Traitement des matériaux issus du corps de la décharge</b>																			
5.1	Proposition marche à suivre	*																		
5.2	Prélèvements, tests en laboratoire, propositions d'entreprises	*			10 000															réserve non chiffrée
5.3	Marche à suivre pour l'attribution des travaux d'assainissement	*																		
6	<b>Traitement des matériaux issus du corps de la décharge</b>																			
6.1	Evaluation selon méthodologie OFEV, simulation des coûts	*																		
	<b>Totaux</b>	919 100	88 100	192 000	276 000	49 800	32 600	76 600	8 600	138 300	5 000	99 000	70 800	50 000	30 000	62 200	7 100	10 000	117 700	<b>2 232 900</b>

\* coûts compris dans ligne au-dessus  
 la trame bleu indique les différentes études concernées par l'estimation des coûts de avril-mai 2016  
 la trame saumon indique les différentes études concernées par l'estimation des coûts de juin 2016 à mars 2017

Tableau 7.6 : Synthèse des coûts

CSD INGENIEURS SA



Olga Darazs



pp. Sébastien Paratte

Fribourg, le 08.04.2016

M:\Inter-Filiale\FR\_Fribourg\Datas\Csdf\MANDATS\2700-749\FR2706.17 Pila\Rapport études complémentaires\Annexes\document word\R\_SynthèseMesurescompl08042016b.docx

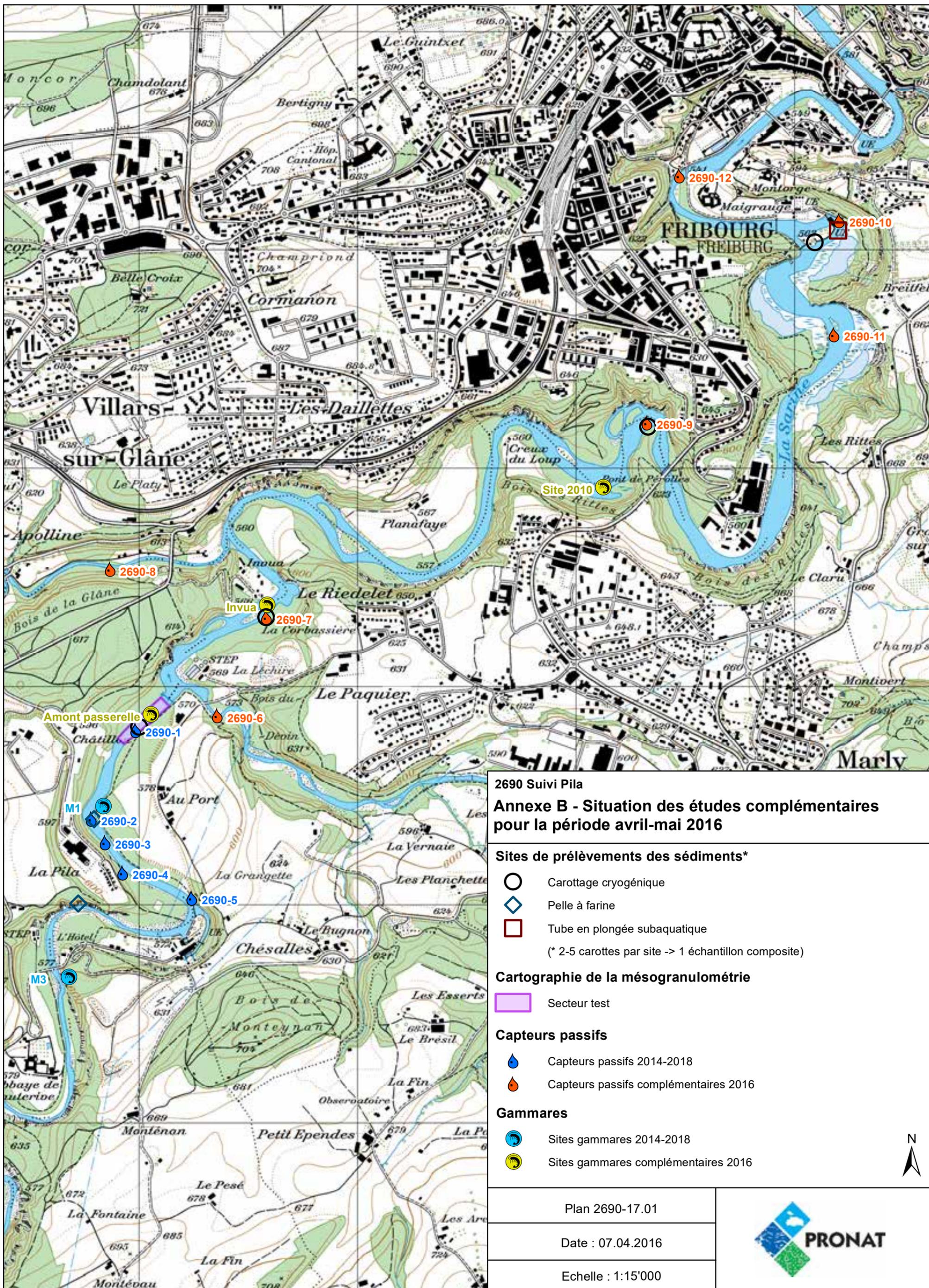
Pour préserver l'environnement, CSD imprime ses documents sur du papier 100 % recyclé (ISO 14001).

**ANNEXE A BIBLIOGRAPHIE**

- [1] Babut M, Lopes C, Miegé C (Cemagref). Transfert de contaminants hydrophobes du sédiment au poisson : construction de modèles dans une perspective de gestion. Juin. 2011.
- [2] Bhavsar SP et al. Estimating sediment quality thresholds to prevent restrictions on fish consumption: Application to polychlorinated biphenyls and dioxins-furans in the Canadian Great Lakes, Integrated Environmental Assessment and Management. 2010.
- [3] BRGM. Décharge de la Pila , Commune de Hauterive. Programme proposé pour caractériser la décharge, réaliser des essais de tri et de procédé d'assainissement du site et évaluer la qualité des eaux de la Sarine (hors biote), BRGM/RC-62858-FR, Mars. 2014.
- [4] BRGM. Décharge de la Pila, Commune de Hauterive, Expertise des investigations et du projet d'assainissement de la décharge de la Pila et de ses environs, BRGM/RP-61497-FR, Novembre. 2012.
- [5] Commission des communautés européennes. Règlement (CE) no.1881/2006, Fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires, Journal officiel de l'Union européenne, 19 Décembre. 2006.
- [6] Confédération Suisse - Office fédéral de la santé publique (OFSP). PCB et dioxines dans les denrées alimentaires, 8 Octobre. 2013.
- [7] Confédération Suisse - Office fédérale de l'environnement (OFEV). Polychlorobiphényles (PCB) dans les eaux en Suisse. Données concernant la contamination des poissons et des eaux par les PCB et les dioxines: évaluation de la situation. 2010.
- [8] Conseil fédéral Suisse. Ordonnance sur l'assainissement des sites pollués / Ordonnance sur les sites contaminés (OSites, Etat 1er mars 2015). 1998.
- [9] CSD Ingénieurs SA. Décharge La Pila. Surveillance des eaux souterraines selon OSites 2014-2018. Rapport technique 2015, 29.03.2016
- [10] CSD Ingénieurs SA, Suivi des mesures préliminaires 2015, 29.03.2016
- [11] CSD Décharge de la Pila. Projet d'assainissement selon l'OSites. N° 2706.90. 2010
- [12] CSD-Ingénieurs. Consortium la Pila, Décharge de la Pila, Modélisation hydrogéologique numérique (FR2706.600.80), 6 Novembre. 2009.
- [13] CSD Ingénieurs. Décharge de la Pila - Investigation détaillée de l'ensemble du site (FR02706.300/D62), 15 Décembre. 2008.
- [14] CSD Ingénieurs. Décharge de la Pila - Investigation selon l'OSites (FR02706.200/D61), 9 mars 2007.
- [15] CSD Ingénieurs SA – Pronat Conseils SA, Surveillance des eaux souterraines selon OSites & Monitoring de la Sarine 2015, 29.03.2016
- [16] CSD Ingénieurs SA – Pronat Conseils SA, Décharge de la Pila – Suite des démarches en relation avec le projet d'assainissement - Mesures complémentaires : demande d'autorisation anticipée pour les prestations à effectuer en avril-mai 2016, 15.03.2016
- [17] R. Flück. Surveillance de la qualité des sédiments, Aqua & Gas No.4, pp.18-22. 2012.
- [18] Groupe E. Rapport des levés bathymétriques des 2 et 3 juillet 2007 (R.31.55.601), 5 Novembre. 2007.
- [19] A. Mathieu, M. Babut (IRSTEA). Contamination des poissons d'eau douce par des contaminants persistants: polychlorobiphényles (PCB), dioxines, furanes, mercure. Étude des relations biote-sédiment pour les PCB. Juin. 2012.
- [20] Michon N. Modélisation hydraulique 1D et 2D de la Sarine en aval d'un site pollué aux PCBs - Projet de fin d'études INP Grenoble. 2008.
- [21] Pronat Conseils SA. Décharge de la Pila, Suivi 2014, Contamination par les PCB dans la Sarine, Capteurs passifs, sédiments et gammames (no. 2690), 16 Février. 2015.

- [22] Pronat Conseils SA. Étude du lac de Schiffenen et du lac de Pérolles, Pollution de la Sarine par les PCB, Mandat ES 2 étape 2 (Etat Novembre 2010), Décembre. 2009.
- [23] Schiu W. et al. A critical review of aqueous solubilities, vapor pressures, Henry's law constants, and octanol-water partition coefficients of the polychlorinated biphenyls, J. Phys. Chem. Ref. Data. 1986.
- [24] TECHNI.CH. Rapport technique / domaine des travaux spéciaux, Installation d'un convoyeur à bande entre Invua et Marly, 17 Décembre. 2006.

**ANNEXE B      SITES DE PRÉLÈVEMENT DES SÉDIMENTS (CAMPAGNE  
TEST AVRIL 2016), DES CAPTEURS PASSIFS ET DES  
GAMMARES (MAI 2016)**



**2690 Suivi Pila**  
**Annexe B - Situation des études complémentaires pour la période avril-mai 2016**

- Sites de prélèvements des sédiments\***
- Carottage cryogénique
  - ◇ Pelle à farine
  - Tube en plongée subaquatique
- (\* 2-5 carottes par site -> 1 échantillon composite)

- Cartographie de la mésogranulométrie**
- Secteur test

- Capteurs passifs**
- Capteurs passifs 2014-2018
  - Capteurs passifs complémentaires 2016

- Gammars**
- Sites gammars 2014-2018
  - Sites gammars complémentaires 2016

Plan 2690-17.01  
 Date : 07.04.2016  
 Echelle : 1:15'000



**ANNEXE C      LETTRES DE VALIDATION DU CENTRE ECOTOX ET DE  
L'EMPA**



CSD INGENIEURS SA  
Chantemerle 37 - Granges-Paccot  
Case postale 384  
1701 Fribourg

Lausanne, 7. Avril 2016

### **Avis sur la proposition de mesures complémentaires en relation avec le projet d'assainissement de la décharge de la Pila établie par le bureau d'étude CSD Ingenieurs SA**

Le document qui a été envoyé au Centre Ecotox par le bureau d'étude CSD Ingenieurs SA s'inscrit dans la suite des démarches en lien avec l'établissement du projet d'assainissement de la décharge de la Pila. Ces démarches ont pour objectif principal d'obtenir des données complémentaires à partir desquelles une analyse sera réalisée pour appuyer la sélection d'options d'assainissement la plus pertinente en terme de coût-efficacité. En particulier, les données complémentaires devront permettre d'acquérir des connaissances sur les flux de polluants à partir de la décharge et des informations additionnelles sur l'état de la Sarine permettant de répondre aux questions suivantes : Un assainissement partiel de la décharge permet-il d'atteindre à terme dans la Sarine un effet suffisant en termes de qualité des sédiments et de contamination consécutive des poissons ? Si oui, pour quelles variantes d'assainissement ? et à quels coûts ?

Plus précisément, les objectifs des mesures complémentaires sont les suivantes :

1. Affiner la connaissance du flux de polluants au niveau de la décharge (relargages, PCB sous forme particulaire ou dissoute...) afin de pouvoir évaluer les émissions résiduelles en fonction des variantes d'assainissement envisageables (évacuation totale ou partielle de matériaux).
2. Analyser les possibilités d'optimisation des opérations de tri des matériaux et tester des procédés de traitement alternatifs éprouvés afin de permettre de réaliser des économies sur l'élimination des matériaux.
3. Evaluer l'effet sur la Sarine, notamment sur les poissons, des mesures qui pourraient être prises sur la décharge.

Pour achever ces objectifs, des mesures sont proposées sur les différents compartiments pertinents à suivre, à savoir le sédiment, la matière en suspension, l'eau et le biote. Dans ce cadre, le Centre Ecotox a été sollicité pour évaluer spécifiquement les parties de la proposition en relation avec son domaine d'expertise, c'est-à-dire l'évaluation de la qualité des sédiments et le transfert trophique des contaminants. Cette proposition fait déjà suite à une première consultation du Centre Ecotox par CSD Ingenieurs SA, sous la forme d'une discussion et de conseils à prendre en compte pour l'élaboration de celle-ci. Les points ci-après relatent donc l'avis général du Centre Ecotox, entre autre sur l'intégration des différents éléments issus de cette première discussion dans cette proposition :



- Dans l'ensemble, les mesures complémentaires proposées sont adéquates pour atteindre les objectifs fixés et devraient fournir une bonne image de la situation actuelle du site en ce qui concerne la contamination des PCB. Le choix de l'approche expérimentale semble convenir à l'objectif du projet de caractériser les différents compartiments de l'environnement et devrait fournir un jeu de données suffisant pour caractériser et décrire un état 0 qui servira de référence pour statuer sur l'évolution du site lors de futures campagnes de monitoring ou lors de simulations à partir du modèle empirique envisagé. Par ailleurs, cette étape de caractérisation complète de l'état 0 s'avère nécessaire pour tester également la faisabilité technique des nouveaux outils à mettre en place et leur capacité à apporter des réponses quant aux niveaux de contamination en PCB dans les différents compartiments et les liens entre ces compartiments. De même, le suivi de la crue artificielle sera primordial pour tester la pertinence de ces outils pour le suivi des tendances de l'évolution du site. Les résultats obtenus pour décrire l'état 0 et lors du suivi de la crue artificielle (pendant et après) devraient également fournir des éléments précieux pour enrichir le modèle empirique intégratif choisi pour simuler l'évolution du système à plus long terme. D'autre part, bien que la proposition comprenne une analyse des incertitudes et la meilleure façon d'y faire face (par ex. : calcul des BSAF), il convient de noter que cette incertitude peut être importante. Dans un tel scénario, une approche par étapes telle qu'elle est prévue est plus pertinente en termes de coût-efficacité des méthodes proposées
- La proposition comprend des approches issues de l'état de l'art des techniques existantes et validées dans une perspective appliquée. Le BASF est un modèle prédictif simple et largement utilisé pour les évaluations de la bioaccumulation dans le contexte d'assainissement, même si le degré d'incertitude peut être parfois limitant dans l'interprétation. Au moment de la phase d'évaluation de ces résultats prévue en décembre 2016, il sera possible le cas échéant d'analyser la pertinence d'utiliser d'autres modèles prédictifs disponibles dans la littérature scientifique pour estimer la relation entre les concentrations de PCB dans les sédiments et les poissons. Bien que ces modèles soient encore peu ou pas utilisés par les gestionnaires dans les prises de décision, l'investissement dans des mesures adaptées pour pouvoir utiliser ces modèles en complément des outils déjà proposés pourrait s'avérer judicieux le cas échéant pour améliorer le diagnostic et les prédictions. L'étude des chaînes trophiques pour établir des TMF (Facteurs de transfert trophique) peut être par exemple une approche pertinente. Les mesures proposées pourraient permettre d'utiliser cette approche à condition de compléter les données uniquement par la mesure du  $\delta^{13}\text{C}$  (en plus du  $\delta^{15}\text{N}$ ) à différents maillons de la chaîne trophique.

Benoit J.D. Ferrari  
Responsable de groupe

Inge Werner  
Directrice

Empa  
Überlandstrasse 129  
CH-8600 Dübendorf  
T: +41 58 765 11 11  
F: +41 58 765 11 22  
www.empa.ch

Dr Marie-Eve Randlett  
CSD INGENIEURS SA  
Chantemerle 37 - Granges-Paccot  
Case postale 384  
1701 Fribourg

Referenz: Ze 502  
Téléphone: +41 58 765 46 15  
Ort, Datum: CH-8600 Dübendorf, 7. April 2015

### Anmerkungen zu erweiterten Messungen im Zusammenhang mit der Sanierung der Deponie La Pila

Sehr geehrte Damen und Herren

Die folgenden Anmerkungen beziehen sich auf den Bericht der Firma CSD vom 30. Oktober 2015:

Ziel der erweiternden Messungen im Bereich der Deponie La Pila ist eine fundierte Datengrundlage zu schaffen, um basierend darauf die Frage zu beantworten, welche weiteren Sanierungsmassnahmen nötig sind, um die Umwelt vor einem erhöhten Schadstoffeintrag zu schützen. Im Vordergrund stehen hier v.a. die polychlorierten Biphenyle (PCB), welchen wegen ihren physikochemischen und toxikologischen Eigenschaften eine prioritäre Rolle zukommt.

Einige Untersuchungen wurden im Bereich der Deponie La Pila und der Saane oberhalb und unterhalb der Deponie bereits ausgeführt. Eine Vielzahl von unterschiedlichen Matrices und Bioindikatoren wurden dabei analysiert (Sedimente, Wasser, Fische, Gammariden). Mehrere Messkampagnen mit Passivsammlern in der Saane zeigten einen deutlichen Rückgang der PCB Konzentration im Gewässer, seit der Stabilisation der Deponie durch die Errichtung der Spundwand. Trotz dieses sehr positiven Trends, was die im Wasser gelösten PCB betrifft, ist ein ähnlicher Trend in Fischen aus der Saane unterhalb der Deponie noch nicht erkennbar.

Die Ziele der erweiterten Messungen sind im Bericht der Firma CSD klar definiert und werden folgend Auszugsweise aufgeführt und kommentiert.

1. Affiner la connaissance du flux de polluants au niveau de la décharge (refargages, PCB sous forme particulaire ou dissoute...) afin de pouvoir évaluer les émissions résiduelles en fonction des variantes d'assainissement envisageables (évacuation totale ou partielle de matériaux)
2. Analyser les possibilités d'optimisation des opérations de tri des matériaux et tester des procédés de traitement alternatifs éprouvés afin de permettre de réaliser des économies sur l'élimination des matériaux.
3. Evaluer l'effet sur la Sarine, notamment sur les poissons, des mesures qui pourraient être prises sur la décharge.

Um die Ziele der Punkte 1 bis 3 erreichen zu können sind die von der Firma CSD vorgeschlagenen Messungen nötig. Der Istzustand (État 0) ist neu zu definieren um basierend darauf die richtigen Entscheidungen, bezüglich weiterer Sanierungsmassnahmen im Bereich der Deponie, treffen zu können. Zusätzlich dient die Bestimmung des État 0 dazu den Erfolg weiterer Sanierungsmassnahmen aufzeigen zu können. Hierzu sind Untersuchungen der verschiedenen Kompartimente Boden, Wasser, Sediment, etc. nötig. Der Einbezug weiterer Bioindikatoren (Gammariden, Fische) sollte ebenfalls in Betracht gezogen werden, da v.a. im Bereich der Nahrungsgrundlage (z.B. Gammariden) der Fische relativ wenige Daten vorliegen. Die Bioakkumulation der PCB entlang der Nahrungskette stellt einen entscheidenden Aufnahmepfad der Schadstoffe in die Fische dar. Um dies besser verstehen und abschätzen zu können ist eine robustere Datengrundlage unverzichtbar.

#### Zu Punkt 1:

Der PCB Eintrag in die Saane durch die Deponie Pila ist zu überprüfen. Dabei sollen die Untersuchungsergebnisse aufzeigen welche Mengen an PCB und in welcher Form, gelöst oder partikular, zum jetzigen Zeitpunkt noch in den Fluss eingetragen werden. Dem Einfluss starker Regen- und Hochwasserereignisse ist hierbei ebenfalls nachzugehen. Welchen Einfluss hat die Erosion auf den Eintrag von PCB in das Gewässer? Diese Frage sollte durch Messungen und Versuche vor Ort beantwortet werden können. Gesamthaft ist das Ziel die PCB Stoffflüsse, ausgehend von der Deponie Pila, besser kennen und verstehen zu können. Basierend auf den Stoffflussdaten kann entschieden werden ob die Deponie, in ihrem heutigen Zustand, noch eine relevante PCB Kontaminationsquelle für die Saane darstellt oder nicht. Zusätzlich kann die grosser der weiteren Sanierungsschritte besser berechnet werden.

**Zu Punkt 2:**

Zu diesem Punkt nehmen wir keine Stellung, da dies nicht unser Arbeitsgebiet ist und in den Händen der Sanierungsspezialisten liegt.

**Zu Punkt 3:**

Sedimente stellen Senken für die stark hydrophoben PCB. Einige Daten zu Sedimentanalysen liegen vor und sind im Bericht von CSD schon zusammengestellt. Die Untersuchungsergebnisse stammen jedoch aus einem relativ grossen Zeitraum (Jahre 2000 bis 2012) und widerspiegeln eine recht heterogene Verteilung.

Generell kann jedoch klar gesagt werden, dass eine PCB Belastung der Sedimente deutlich oberhalb von 10 µg/kg anzutreffen ist (Summe der 6 i-PCB). Eine Sedimentbelastung von 10 µg/kg kann als PCB Hintergrundbelastung für Schweizerische Fließgewässer angesehen werden. Die Konzentrationen liegen im Bereich unterhalb von Pila zwischen rund 20 und 2'600 µg/kg, wenn die Proben aus den Jahren 2010 bis 2012 betrachtet werden. Mehrere Messwerte liegen klar oberhalb von 100 µg/kg. PCB Sedimentkonzentrationen in diesem Bereich sind als kritisch anzusehen. Die Anzahl der untersuchten Proben ist jedoch zu gering um eine klare Aussage machen zu können. Auch wurden im Jahre 2012/13 Sanierungsarbeiten ausgeführt, welche zu einer erhöhten Freisetzung von PCB geführt haben konnten. Nach der erfolgten ersten Sanierung und Stabilisierung der Deponie sind zumindest, was die in der wasserphase gelösten PCB betrifft, klare Erfolge erkennbar, wie die Messkampagnen mit Passivsammlern gezeigt haben. Die partikulär gebundenen PCB, welche im Gewässer ebenfalls transportiert und sedimentiert werden, sind ungenügend untersucht. Durch die Erhebung einer signifikanten Anzahl von Sedimentproben aus dem Flussbett, als auch der partikulär transportierten PCB (Sedimentfallen), kann eine statistisch signifikantere Datengrundlage geschaffen werden, als sie bisher vorliegt. Dies ist entscheidend um weitere Sanierungsarbeiten und Schritte planen zu können. Neben Oberflächensedimenten sollte an geeigneten Stellen auch Sedimenttiefenprofile beprobt werden um die PCB Belastung in weiter unten liegenden Sedimentschichten erfassen zu können.

Während mehreren Messkampagnen mit Passivsammlern wurde beim Positionieren dieser in der Saane Kleinkondensatoren im Flussbett unterhalb von Pila gefunden, und zwar bis runter zur Passerelle. Dies zeigt, dass kleine, sekundäre PCB-Punktquellen in der Saane vorhanden sind. Wie gross die Anzahl solcher Kleinkondensatoren in der Saane zwischen Pila und der Passerelle ist kann nur dann abgeschätzt werden, wenn auch hierzu detaillierte Untersuchungen vorliegen. Ein Kleinkondensator mit einem ungefähren Gewicht von 10 g kann gut 10 bis 30% PCB enthalten. Ob solche Kleinkondensatoren eine relevante PCB Punktquelle darstellen konnte durch Diffusionsexperimente im Labor bestimmt werden. Die Freisetzung von PCB durch belastete Saanesedimente sollte zusätzlich durch Laborversuche untersucht werden. Hierzu

gibt es zwar Literaturwerte und Studien, doch ist die Freisetzung von Sediment zu Sediment unterschiedlich und hängt von der individuellen Zusammensetzung wie z.B. dem TOC-Gehalt ab.

Untersuchungen zur PCB Belastung von Fischen aus der Saane haben auch eine deutliche PCB Belastung im Bereich des Lac de Perollés gezeigt. Zukünftige Untersuchungen von Sedimenten, Wasser und Gammariden sollten deshalb auch bis unterhalb dieses Bereichs der Saane erweitert werden. Die PCB Konzentration in der Wasserphase kann sehr gut über den Einsatz von Passivsammlern abgeschätzt werden, da die Sammelraten (L/Tag) des eingesetzten Passivsammlertyps gut bekannt sind.

Da Hochwasserereignisse, künstlichen oder natürlichen Ursprungs, zur Remobilisation von partikelgebunden PCB beitragen, sollten auch hier erweiterte Untersuchungen veranlasst werden.

Das vorgeschlagene erweiterte Messprogramm ist wichtig um den jetzigen Grundzustand von Pila und der Saane zu kennen, bevor weitere Sanierungsmassnahmen eingeleitet werden. Ebenfalls ist es angemessen um die drei oben genannten Ziele zu erreichen. Zusätzlich hilft es die Prozesse der PCB-Freisetzung, -verteilung und Bioakkumulation zwischen den verschiedenen Kompartimenten besser verstehen zu können.

Freundliche Grüsse  
Empa, Abteilung Advanced Analytical Technologies



Markus Zemp

Hoherer Wissenschaftlicher Mitarbeiter

## **Annexe 2.1.2**

# **Reconnaissance et essais de sédiments Proposition de méthodes – Rapport CSD**

DÉCHARGE DE LA PILA – MESURES  
COMPLÉMENTAIRES  
RECONNAISSANCES ET ESSAIS SÉDIMENTS  
PROPOSITION DE MÉTHODE

Fribourg, le 13 juin 2016  
FR2706.916

**CSD INGENIEURS SA**

Chantemerle 37 - Granges-Paccot

Case postale 384

CH-1701 Fribourg

t +41 26 460 74 74

f +41 26 460 74 79

e [fribourg@csd.ch](mailto:fribourg@csd.ch)

[www.csd.ch](http://www.csd.ch)



## TABLE DES MATIÈRES

<b>CONTEXTE</b>	<b>1</b>
<b>1. DESCRIPTION DE L'ÉCHANTILLONNAGE</b>	<b>2</b>
<b>2. RÉSULTATS ET DISCUSSION</b>	<b>6</b>
2.1 Prélèvements à la pelle et en plongée, sédiments de surface	6
2.2 Prélèvement par carottage cryogénique, couches en profondeur	10
2.3 Observations et remarques sur l'ensemble des mesures	12
<b>3. SYNTHÈSE, PROCHAINES ÉTAPES ET MARCHE À SUIVRE</b>	<b>15</b>
3.1 Carottage cryogénique, couches profondes	15
3.2 Fraction, prélèvement sédiment surface	16
3.3 Paramètres analytiques, limite de quantification	17
3.4 Nombre d'échantillons, secteurs à échantillonner	17
<b>4. RÉFÉRENCES</b>	<b>20</b>

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Détails des essais de prélèvements et d'analyses de sédiment dans la Sarine avec différentes méthodes (pelle=PE ; cryogénique=CC et plongée=PL) et différentes fraction.	2
Tableau 2	Comparaison des méthodes utilisées pour l'échantillonnage de la Sarine en Novembre 2015 et en Avril 2016	4
Tableau 3	Aperçu du tamisage et des différentes fractions analysées	5
Tableau 4	Concentrations en PCB 6 ind.x 4.3 (mg/kg), toutes les fractions mesurées	7
Tableau 5	Masses sèches de sédiments échantillonnées (kg), toutes les fractions mesurées	8
Tableau 6	Masses de PCB 6 ind. x 4.3 (mg) dans les différentes fractions	9
Tableau 7	Concentrations en PCB dans les carottes, fraction < 2 mm	11
Tableau 8	Comparaison des échantillons de surface prélevés à la pelle et en plongée avec les valeurs de l'OFEV et de l'OSol	14
Tableau 9	Concentration en PCB, unités somme 7 ind. (mg/kg)	17

## LISTE DES FIGURES

Figure 1	Carte avec sites d'échantillonnage et méthodes utilisée	3
----------	---	---

Figure 2	Concentration en PCB 6 ind. x 4.3 (mg/kg), toutes les fractions mesurées	7
Figure 3	Masses sèches de sédiments échantillonnés (kg), toutes les fractions mesurées	8
Figure 4	Masses de PCB 6 ind. x 4.3 (mg) dans les différentes fractions	9
Figure 5	Concentrations en PCB dans les carottes somme des 7 ind. (mg/kg) fraction < 2 mm	11
Figure 6	Exemple de matériaux se retrouvant au fond du Lac de Pérolles (gauche, site Lac Pérolles PL). Bateau qui servira à prélever des carottes cryogéniques dans le Lac de Pérolles en Juin 2016 (droite).	16
Figure 7	Schéma du programme-cible d'échantillonnage de sédiments dans la Sarine en 2016	19

## ANNEXES

ANNEXE A	Test de cartographie de la mésogranulométrie	22
----------	--	----

## PRÉAMBULE

CSD confirme par la présente avoir exécuté son mandat avec la diligence requise. Les résultats et conclusions sont basés sur l'état actuel des connaissances tel qu'exposé dans le rapport et ont été obtenus conformément aux règles reconnues de la branche.

CSD se fonde sur les prémisses que :

- le mandant ou les tiers désignés par lui ont fourni des informations et des documents exacts et complets en vue de l'exécution du mandat,
- les résultats de son travail ne seront pas utilisés de manière partielle,
- sans avoir été réexaminés, les résultats de son travail ne seront pas utilisés pour un but autre que celui convenu ou pour un autre objet ni transposés à des circonstances modifiées.

Dans la mesure où ces conditions ne sont pas remplies, CSD décline toute responsabilité envers le mandant pour les dommages qui pourraient en résulter.

Si un tiers utilise les résultats du travail ou s'il fonde des décisions sur ceux-ci, CSD décline toute responsabilité pour les dommages directs et indirects qui pourraient en résulter.

## CONTEXTE

Ce document se réfère à la « Validation de la méthode par les autorités sur la base des résultats des essais et de la validation par les experts » marquée en bleu foncé au Tableau 7.5 du rapport d'avril 2016 [1]. Il fait état des résultats obtenus lors d'essais d'échantillonnage et d'analyses de sédiments effectués en novembre 2015 et en avril 2016, en plus de proposer une méthodologie adaptée aux objectifs des chapitres « État 0 » et « Stocks PCB Sarine ». Pour rappel, les objectifs liés à ces chapitres sont les suivants :

- État 0 : Identifier les avantages et les inconvénients des différentes techniques (pelle, plongée, cryogénique) à utiliser et des différentes fractions (< 0.063 mm ; < 2 mm) à isoler pour caractériser les sédiments à l'état 0.
- État 0 : Évaluer la pertinence du carottage cryogénique pour estimer l'extension verticale de la pollution aux PCB dans les sédiments de la Sarine.
- État 0 : Choisir la (les) méthode(s) de prélèvement (pelle, cryogénique, plongée) adéquate(s) et la (les) fraction(s) (brut, < 0.063 mm, < 2 mm, > 2 mm) pertinente(s) pour juger des risques associés aux concentrations en PCB mesurés dans les sédiments. Des solutions pratiques et adaptées au monitoring éventuel de la Sarine seront prioritaires.
- Stock : Quel est le stock total de PCB dans le lit de la Sarine et sous quelle forme (particules fines < 2 mm, < 0.063 mm).

## 1. Description de l'échantillonnage

Les points de prélèvements, les méthodes utilisées et les fractions analysées sont décrits dans les Tableaux 1 à 3 et par la Figure 1.

Tous les échantillons ont été prélevés dans des conditions de « basses eaux » c'est-à-dire avec un débit d'environ 4 m<sup>3</sup>/s, au-dessus du niveau des basses eaux mais sous le niveau des hautes eaux (inspection visuelle, présence de biofilm, surface récemment mouillée). Les seules exceptions sont : l'échantillon du site Sed 1 prélevés sur la couche 0-40 cm qui a été prélevé à une profondeur d'eau de quelques centimètres, de même que les échantillons du Lac de Pérolles prélevés à des profondeurs d'eau de quelques centimètres (mur) et de 6 mètres (plongée).

Site	Date	Méthode	Points de prélèvement	Fractions analysées
Amont Pila	Avril 2016	PE	1 ou 2 points	brut, < 0.063 mm, 0.062- 2 mm
Sed.5 Amont	Nov. 2015	PE	1 ou 2 points	brut, < 0.063 mm, > 0.063 mm
Sed 4	Nov.2015	PE	1 ou 2 points	brut, < 0.063 mm, > 0.063 mm, 0.063 - 2 mm, > 2 mm
Sed 3	Nov.2015	PE	1 ou 2 points	brut, < 0.063 mm, > 0.063 mm, 0.063 - 2 mm, > 2 mm
Sed 2	Nov.2015	PE	1 ou 2 points	brut, < 0.063 mm, > 0.063 mm, 0.063 - 2 mm, > 2 mm
Sed 2	Avril 2016	PE	1 ou 2 points	brut, < 0.063 mm, 0.063 – 2 mm, > 2 mm
Sed 1	Nov. 2015	PE	1 ou 2 points	brut, < 0.063 mm, > 0.063 mm
Sed 1	Avril 2016	PE	10 points (< 15 cm prof.) sur ~ 10 m <sup>2</sup>	brut, < 0.063 mm, 0.063 - 2 mm
	Avril 2016	CC	1 point, couche 0-40 cm	< 2 mm
	Avril 2016	CC	1 point, couches 0-12; 13-27 et 38-61 cm	< 2 mm
Invua	Avril 2016	PE	10 points (< 15 cm prof.) sur ~ 10 m <sup>2</sup>	brut, < 0.063 mm, 0.063 - 2 mm
	Avril 2016	CC	1 point, couches 0-17; 18-44 et 45-73 cm	< 2 mm
Pont Pérolles	Avril 2016	PE	10 points (< 15 cm prof.) sur ~ 10 m <sup>2</sup>	brut, < 0.063 mm, 0.063 - 2 mm, > 2 mm
	Avril 2016	CC	1 point, couches 0-17; 18-44, 45-71 et 71-98 cm	< 2 mm
Lac plongée	Avril 2016	PL	5 points (15 -20 cm prof.)	brut, < 0.063 mm, 0.063 - 2 mm, > 2 mm
Lac mur	Avril 2016	PE	10 points (< 15 cm prof.) sur ~ 10 m <sup>2</sup>	brut, < 0.063 mm, 0.063 - 2 mm, > 2 mm
	Avril 2016	CC	2 points, couches 0-17; 18-34, 35-52, 53-79 et 80-108 cm	< 2 mm

Tableau 1 Détails des essais de prélèvements et d'analyses de sédiment dans la Sarine avec différentes méthodes (pelle=PE ; cryogénique=CC et plongée=PL) et différentes fraction.

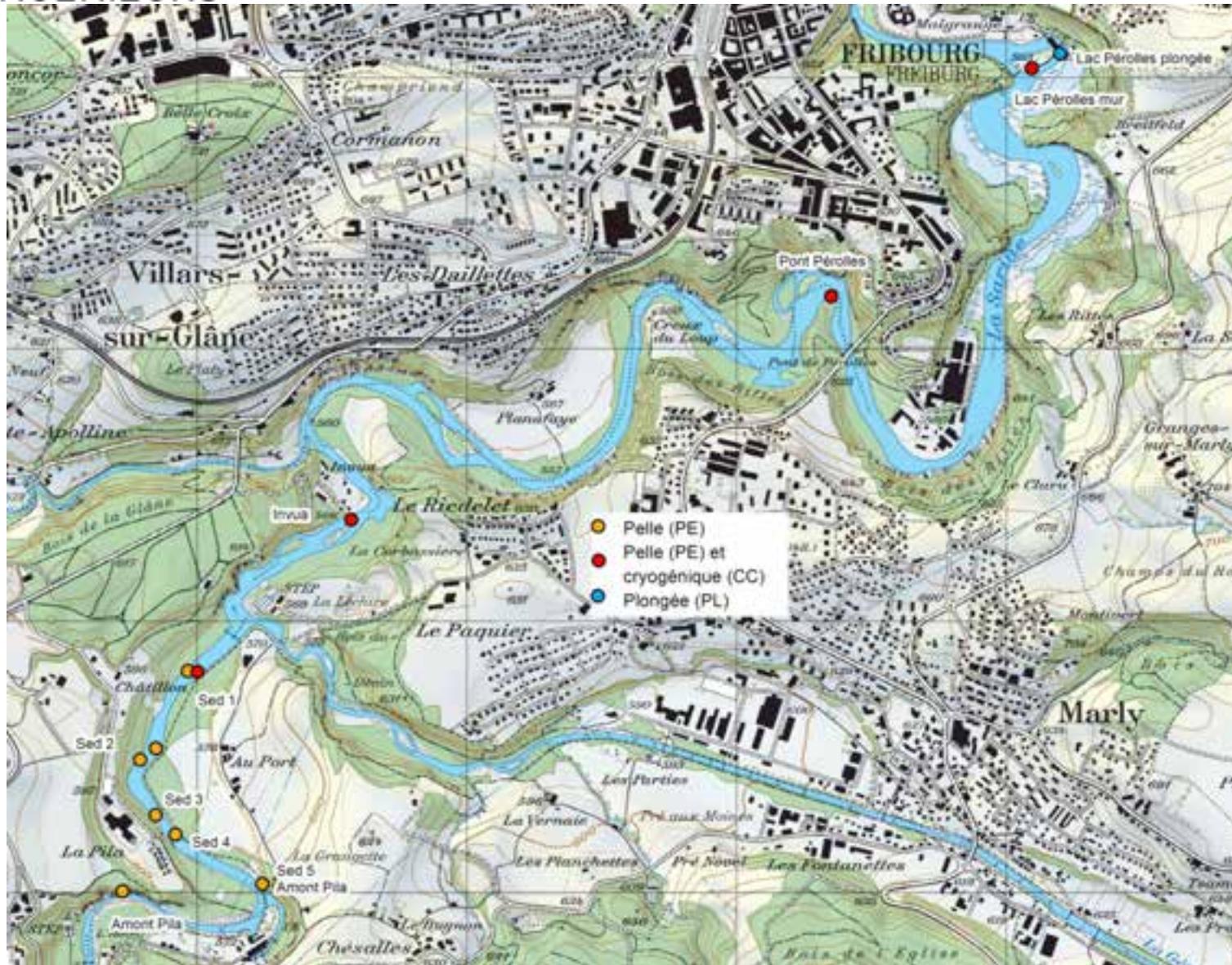


Figure 1 Carte avec sites d'échantillonnage et méthodes utilisée

	Pelle	Carottage cryogénique	Plongée
Méthode			
Échantillon			
Matériel	Bottes, gants, pelle à farine	Bottes, gants, azote liquide, tige métallique, masse, trépied avec système poulie, marteau piqueur à batterie, parpaings (2), boîtes rectangulaires pour découpage des couches	Équipement complet de plongée avec lumières, tubes plexiglas pré-découpés et objet flottant pour transport d'échantillons
Personnel, temps	2 personnes (CSD ou Pronat) Environ 3 ± 2 heures pour mise en place + échantillonnage de 10 points sur 10 m <sup>2</sup> + transport selon l'accès aux berges	3 personnes (CSD) dont une Stuwatec Environ 4 ± 2 heures pour mise en place + échantillonnage d'une carotte + découpage + transport selon l'accès aux berges	2 personnes dont plongeur (Biol'eau) Environ 3 ± 2 heures pour mise en place + échantillonnage de 5 carottes + transport selon l'accès aux berges

Tableau 2 Comparaison des méthodes utilisées pour l'échantillonnage de la Sarine en Novembre 2015 et en Avril 2016

< 0.063 mm	< 2 mm	> 2 mm
		
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Tamisage mouillé (terrain, bureau)</li> <li>-Repos 1 nuit, enlèvement de l'eau surnageante (seringue, tuyau)</li> <li>-Comprend argiles et limons</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Tamisage à sec au laboratoire</li> <li>-Comprend argiles, limons et sables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Tamisage à sec au laboratoire</li> <li>-Comprend graviers et potentiellement : matières organiques (feuilles, algues, bois), agrégats de matières fines créés lors du séchage, déchets autres</li> </ul>

Tableau 3 Aperçu du tamisage et des différentes fractions analysées

## 2. Résultats et discussion

### 2.1 Prélèvements à la pelle et en plongée, sédiments de surface

Les résultats présentés dans les Tableaux 4 à 6 et aux Figures 2 à 4 mettent en évidence les points suivants :

- Spatialement, les concentrations les plus élevées se retrouvent entre la Pila et la Gérine. Dans la fraction brute, ces concentrations sont entre 0.01 et 0.92 ppm, comparativement à < 0.08 ppm ou < LQ à l'amont et dans le segment Gérine-Maigrauge (Tab.4 et Fig.2). 5 concentrations sur 6 mesurées dans les sédiments bruts du segment Pila-Gérine dépassent la valeur de référence de 0.1 ppm de l'OLED pour les matériaux d'excavation et déblais non-pollués, comparativement à 0 concentration sur 4 dans le segment Gérine-Maigrauge.
- La fraction < 0.063 mm est la plus concentrée en PCB de toutes les fractions analysées, du moins pour 9 site sur 12 (Tab.4 et Fig.2). Au site Sed 3, la fraction brute (0.769 ppm) semble être légèrement plus concentrée en PCB que la fraction < 0.063 mm (0.753 ppm), ce qui peut être attribuable à l'hétérogénéité spatiale puisque l'échantillon brut a été prélevé séparément à proximité de l'échantillon tamisé. Aux sites du Lac de Pérolles, les concentrations en PCB des fractions 0.063 – 2 mm sont du même ordre de grandeur que les fractions < 0.063 mm (0.011 versus 0.010 ppm et 0.006 versus 0.004 ppm) bien que ces deux fractions proviennent exactement des mêmes points de prélèvement.
- La fraction < 0.063 mm constitue entre 1 et 39 % seulement de la masse totale de l'échantillon brut (Tab.5 et Fig.3). Ce pourcentage est encore plus petit (entre 2 et 6%) dans le segment Pila-Gérine relativement contaminé. En contrepartie, la fraction < 2 mm constitue entre 14 et 100 % de la masse totale de l'échantillon. Ce pourcentage est compris entre 22 et 89% dans le segment Pila-Gérine relativement contaminé. Les sédiments bruts auxquels sont exposés les poissons sont donc mieux représentés par la fraction < 2 mm (14-100% de la masse brute) que par la fraction < 0.063 mm (1-39% de la masse brute).
- Des masse absolues de PCB ont pu être calculées dans toutes les fractions sur les sites suivants : Sed4, Sed3, Sed2, Sed1 Avr 16 (Tab.6 et Fig.4). Sur ces sites, c'est la fraction 0.063 – 2 mm qui contient le plus de PCB (entre 2 et 16 mg, unités 6 ind. x 4.3). La fraction 0.063 – 2 mm est donc importante dans une perspective d'estimation de stock PCB dans le lit de la Sarine. Pratiquement 100 % (arrondi à l'unité près) de la masse totale absolue de PCB des échantillons se trouve dans la fraction estimée < 2 mm.

Fraction	Amont		Pila-Gérine						Gérine-Maigrauge			
	Avr 16	Nov15	Sed 4	Sed 3	Sed 2 Nov15	Sed 2 Avr16	Sed1 Nov15	Sed 1 Avr 16	Inuva	Pont Per	Lac Per PE	Lac Per PL
Bruts	< 0.002	< 0.004	0.447	0.760	0.237	0.134	0.010	0.918	< 0.002	0.006	0.073	0.003
< 0.063 mm	0.006	0.176	3.470	0.753	1.638	0.550	0.139	8.127	0.065	0.013	0.010	0.004
> 0.063 mm	-	< 0.009	0.409	0.208	0.171	-	< 0.009	-	-	-	-	-
0.063 - 2 mm	< 0.002	-	2.907	0.329	0.358	0.520	-	3.879	0.008	0.005	0.011	0.006
> 2 mm	-	-	0.056	0.0404	0.764	0.470	-	-	-	< 0.03	-	< 0.009

Tableau 4 Concentrations en PCB 6 ind.x 4.3 (mg/kg), toutes les fractions mesurées  
valeurs > 0.1 ppm selon l'OTD

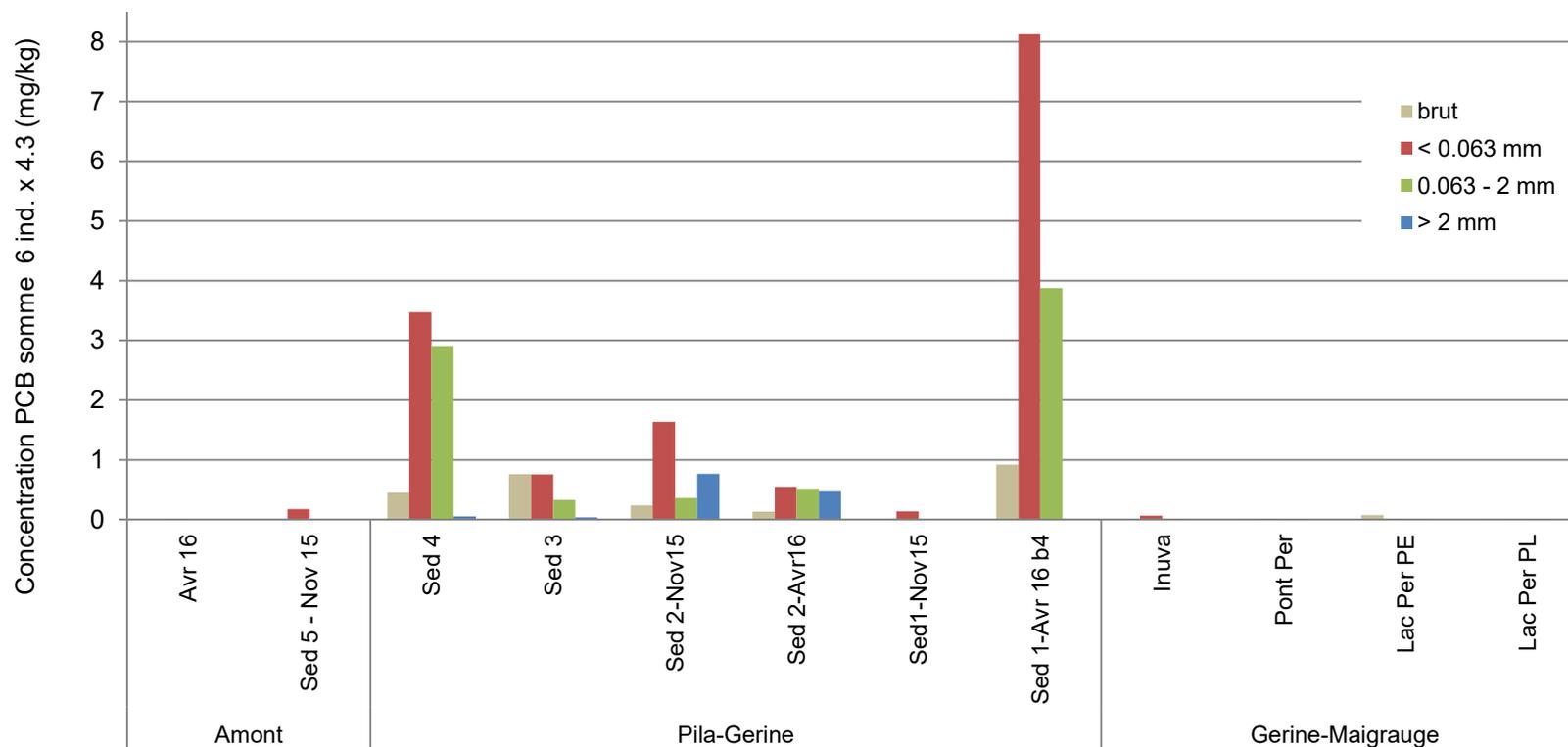


Figure 2 Concentration en PCB 6 ind. x 4.3 (mg/kg), toutes les fractions mesurées

Fraction	Amont		Pila-Gérine						Gérine-Maigrauge			
	Avr16	Nov15	Sed 4	Sed 3	Sed 2	Sed 2	Sed1	Sed 1	Inuva	Pont Per	Lac Per	Lac Per
					Nov15	Avr16	Nov15	Avr 16			PE	PL
< 0.063 mm	0.13	0.41	0.30	0.72	0.27	0.18	0.29	0.64	0.07	0.26	0.12	1.25
0.063-2 mm	5.49	-	5.40	6.70	11.90	5.45	-	1.74	0.65	0.55	0.47	1.88
> 2 mm	3.62	-	5.90	7.70	0.40	3.60	-	8.45	4.30	3.00	0.00	0.10
masse totale	9.24	-	12.93	14.73	13.74	9.23	-	10.83	5.03	3.81	0.59	3.24
% < 0.063/ tot	2	-	2	5	2	2	-	6	1	7	21	39
% < 2 mm/tot	61	-	44	50	89	61	-	22	14	21	100	97

Tableau 5 Masses sèches de sédiments échantillonnées (kg), toutes les fractions mesurées

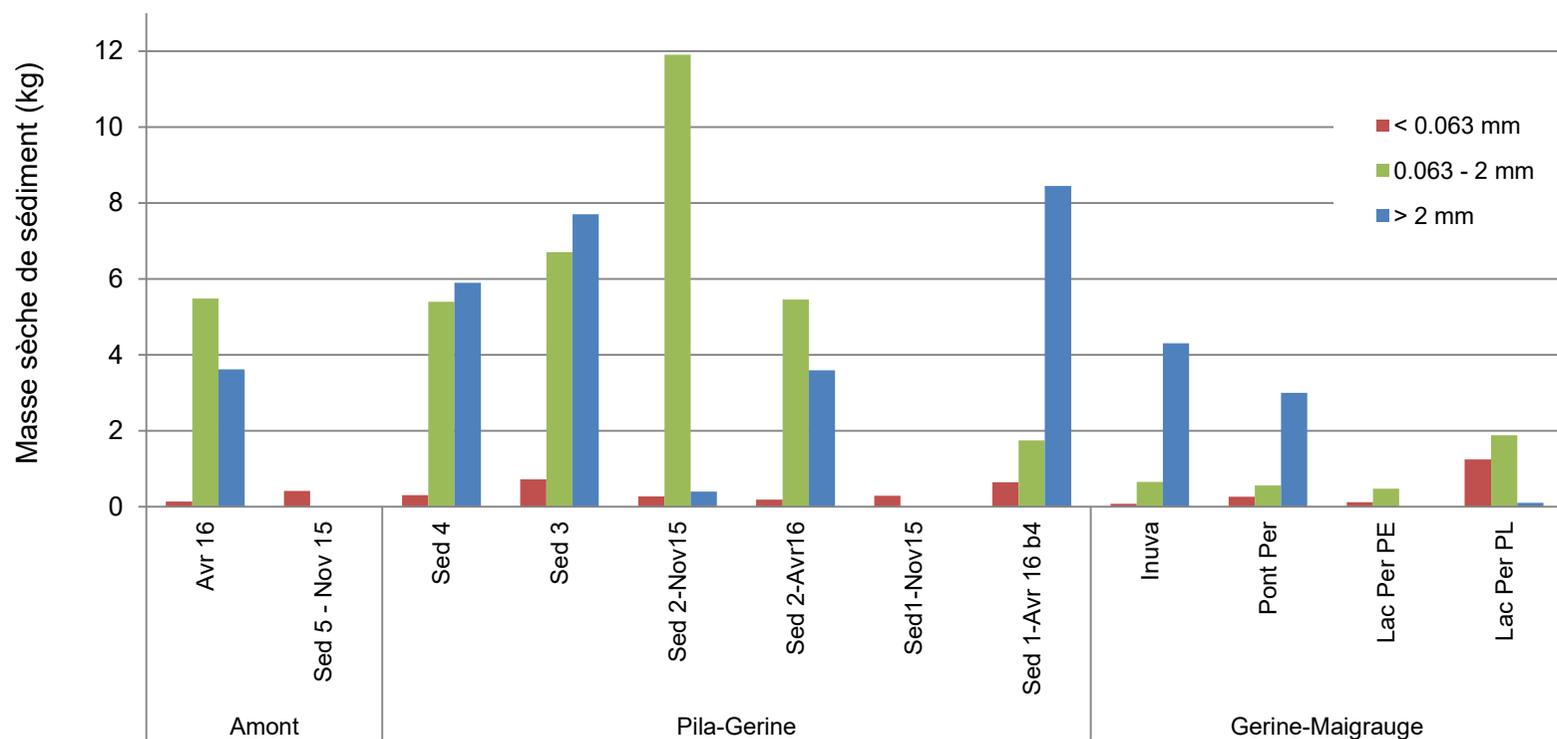


Figure 3 Masses sèches de sédiments échantillonnés (kg), toutes les fractions mesurées

Fractions	Amont		Pila-Gérine						Gérine-Maigrauge			
	Avr 16	Nov 15	Sed 4	Sed 3	Sed 2- Nov15	Sed 2- Avr16	Sed1- Nov15	Sed 1- Avr 16	Inuva	Pont Per	Lac Per PE	Lac Per PL
< 0.063 mm	0.001	0.072	1.041	0.542	0.442	0.100	0.040	5.201	0.005	0.003	0.001	0.005
> 0.063 mm	-	< LQ	5.165	2.916	2.305	-	< LQ	-	-	-	-	-
0.063 - 2 mm	< LQ	-	15.697	2.204	4.262	2.837	-	6.768	0.005	0.003	0.005	0.011
> 2 mm	-	-	0.330	0.311	0.305	1.696	-	-	-	< LQ	0.000	< LQ
masse totale	< LQ	< LQ	17.07	3.06	5.01	4.63	-	-	-	-	0.01	-
masse < 2	< LQ	< LQ	17.07	3.06	5.01	4.63	-	-	-	< LQ	0.01	< LQ
% < 0.063 / tot	-	-	6	18	9	2	-	-	-	-	19	-
% < 2 / tot	-	-	100	100	100	100	-	-	-	-	100	-

Tableau 6 Masses de PCB 6 ind. x 4.3 (mg) dans les différentes fractions

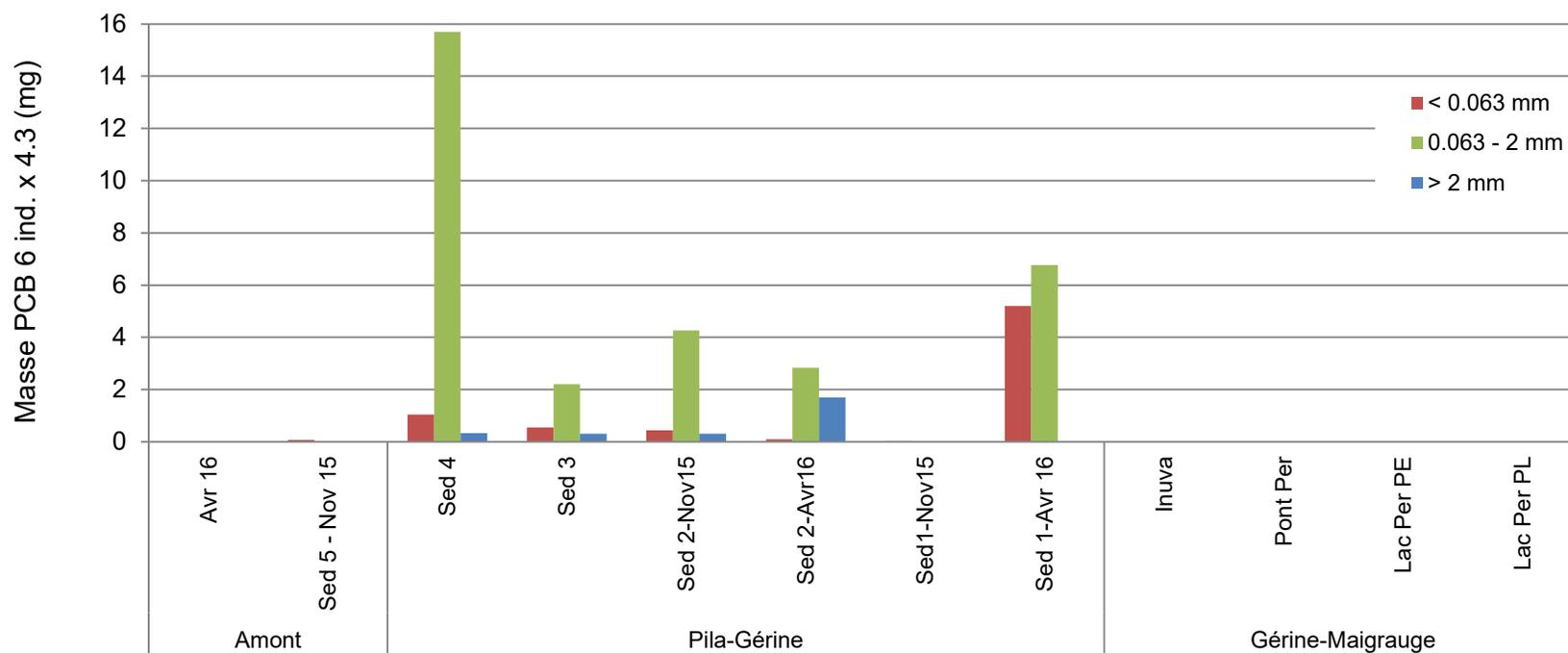


Figure 4 Masses de PCB 6 ind. x 4.3 (mg) dans les différentes fractions

## 2.2 Prélèvement par carottage cryogénique, couches en profondeur

Les résultats présentés dans les Tableaux 7 et 8 et à la Figure 5 mettent en évidence les points suivants :

- Des PCBs sont détectés aux sites Amont Pass (=Sed 1, Fig.1) pour les couches 0-12 cm, 13-27 et 0-40 cm ; de même qu'aux sites Invua et Pont Pérolles pour les couches 45-73 cm et 45-71 cm (Tab.7 et Fig.5).
- Tous les résultats issus des carottes cryogéniques (fraction < 2 mm) en unités somme des 7 indicateurs peuvent être comparées à la valeur de l'OSol (seuil d'investigation, exposition par inhalation ou ingestion). La méthode OSol prévoit une analyse sur la fraction < 2 mm <sup>[2]</sup> et se compare donc en ce sens aux échantillons des carottes. De plus, en l'absence de législation suisse se référant aux sédiments, le parallèle entre un sol (OSol) et un sédiment apparaît plus pertinent que le parallèle entre un déchet et un sédiment (OLED). Seule la valeur 0.113 ppm mesurée dans la couche 0-12 cm du site Amont Pass est supérieure à 0.1 ppm.
- Une tentative de comparaison peut être faite entre les résultats issus des carottes cryogéniques en unités somme des 6 indicateurs et la valeur de l'OFEV (2010) pour les sédiments considérés non-pollués dans les cours d'eau en Suisse (< 0.01 ppm)<sup>[3]</sup>. Il n'est pas explicitement mentionné dans le document de l'OFEV à quelle fraction se réfère cette valeur, mais il est mentionné dans un autre document que les cantons suisses analysent les contaminants sur les fractions < 0.063 mm et < 2 mm <sup>[4]</sup>. Toutes les valeurs > LQ mesurées dans le segment Pila-Gérine dépassent 0.01 ppm (Tab.7).
- Dans plusieurs échantillons CC du segment Gérine-Maigrauge, le PCB est non-détecté (< 0.002 ppm, Tab.7). Si de tels résultats sont fréquents dans le futur, il sera difficile d'estimer un stock PCB ou des valeurs de BSAF de façon fiable. Les analyses du Tableau 7 avaient été effectuées avec la méthode « OFEV S-12 » et une limite de quantification (LQ) normale. Si les analyses avaient été faites avec une LQ basse, la quantité minimale détectée aurait été entre 0.0004 et 0.002 ppm (selon les échantillons)<sup>1</sup> au lieu de 0.002 ppm avec la LQ normale (unités somme des 6 ou 7 indicateurs).

---

<sup>1</sup> Sur la base des analyses effectuées en novembre 2015 et avril 2016

Site	Couche (cm)	Somme 6 ind. (mg/kg)	Somme 7 ind. (mg/kg)
Amon pass b2, Sed 1	0-12	0.080	0.113
	13-27	0.021	0.032
	38-61	< 0.002	< 0.002
Amont pass b3, Sed 1	0-40	0.017	0.022
	Inuva		
Inuva	0-17	< 0.002	< 0.002
	18-44	< 0.002	< 0.002
	45-73	0.006	< 0.002
Pont Pérolles	0-17	< 0.002	< 0.002
	18-44	< 0.002	< 0.002
	45-71	0.004	0.008
	71-98	< 0.002	< 0.002
Lac Pérolles	0-17	< 0.002	< 0.002
	18-34	< 0.002	< 0.002
	35-52	< 0.002	< 0.002
	53-79	< 0.002	< 0.002
	80-108	< 0.002	< 0.002

Tableau 7 Concentrations en PCB dans les carottes, fraction < 2 mm

> 0.01 ppm de l'OFEV (2010) en unités 6 indicateurs  
 > 0.1 ppm valeur QSol en unités somme 7 indicateurs  
 > 28 ppb (ou 0.028 ppm) en unités somme 7 ind. Flück 2012

Concentration en PCB, unités somme des 7 ind. (mg/kg)

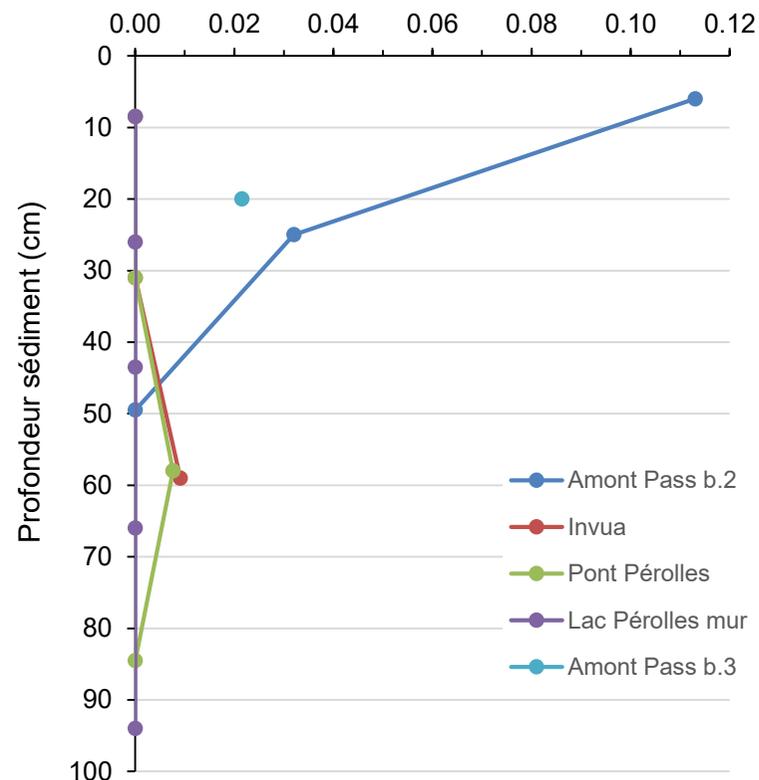


Figure 5 Concentrations en PCB dans les carottes somme des 7 ind. (mg/kg) fraction < 2 mm

## 2.3 Observations et remarques sur l'ensemble des mesures

- Bien qu'elle n'ait pas été isolée mécaniquement et analysée en laboratoire, la fraction < 2 mm des échantillons prélevés à la pelle et en plongée peut être « reconstruite » en termes de concentrations de PCB. Il s'agit de pondérer les concentrations avec les masses obtenues

$$C_{<2} = C_{0-63} (M_{0-63}/M_{<2}) + C_{63-2} (M_{63-2}/M_{<2})$$

où C est la concentration et M est la masse de sédiment

Les concentrations ainsi estimées sur la fraction < 2 mm se trouvent au Tableau 8. Toutes les concentrations < 2 mm estimées dans le segment Pila-Gérine sont supérieures à la valeur 0.01 ppm de l'OFEV (unités somme 6 ind). Toujours dans le segment Pila-Gérine, deux concentrations (sur deux) sont supérieures à la valeur 0.1 ppm de l'OSol (en unités somme 7 ind.).

- En considérant la fraction < 0.063 mm et la valeur 0.01 ppm de l'OFEV 2010, les dépassements se retrouvent aux mêmes endroits que si la fraction < 2 mm avait été considérée, c'est-à-dire dans le segment Pila-Gérine (Tab.8). Le site Invua fait exception, avec un léger dépassement de la valeur 0.1 ppm (0.015 ppm) mesuré dans la fraction 0.063 mm, alors que la fraction < 2 mm aurait plutôt affiché une concentration de 0.003 ppm. Cette exception montre qu'en considérant la fraction < 2 mm au lieu de la fraction < 0.063 mm, des dépassements moins fréquents des valeurs limites/cibles sont possibles. Toutefois dans l'ensemble, les concentrations mesurées dans les deux fractions (< 2 mm et 0.063 mm) sont cohérentes et représentent des sédiments non-pollués (ou < LQ) à l'amont et dans le segment Gérine-Maigrauge, comparativement à des sédiments pollués dans le segment Pila-Gérine. Il faut noter que la concentration élevée mesurée dans l'échantillon « Amont Nov.15 » peut s'expliquer par la localisation du site de prélèvement, c'est-à-dire près de la sortie d'eau de la centrale Hauterive / à proximité de la zone basse de la Pila. Ce site correspond donc pas à proprement parler au segment « Amont de la Pila ». Une concentration élevée sur ce site met en évidence une ou des sources possibles de PCB à cet endroit.
- Certains sites ont été prélevés deux fois (Avril 2016 et Novembre 2015). C'est le cas notamment de Sed 2 et de Sed 1 (Fig.1). Les analyses ne donnent toutefois pas des résultats identiques. Au site Sed 2 et sur la fraction < 0.063 mm, on obtient 1.6 (Nov 15) et 0.55 ppm (Avr 16) en unités 6 ind. x 4.3 (Tab.4). Au site Sed 1, la différence est encore plus grande (voir Tab.4) c'est-à-dire 0.14 ppm en Nov15 versus 8.13 ppm en Avr16. Ces différences entre Nov15 et Avr 16 pourraient s'expliquer par l'évolution temporelle et/ou par des points d'échantillonnage différents. Il faut noter qu'en Novembre 2015, l'échantillonnage était effectué sur 1 ou 2 points seulement alors qu'en Avril 2016, environ 10 points répartis sur 10 m<sup>2</sup> avaient été prélevés (Tab.1). Cette dernière technique de prélèvement (10 point sur 10 m<sup>2</sup>) s'apparente à la celle recommandée par l'OFEFP en 2003 pour obtenir des échantillons représentatifs d'une surface <sup>[5]</sup>.
- Le site à l'étude semble être composé de deux zones ; l'une fortement contaminée à proximité de la Pila (Pila-Gérine) et une autre où les concentrations en PCB s'approchent de celles caractérisant des sédiments non-pollués en Suisse (Gérine-Maigrauge ; Fig.2). Un nombre plus grand d'échantillons doit évidemment être obtenu dans le segment Gérine-Maigrauge pour statistiquement confirmer cette tendance. Cette tendance n'est cependant pas surprenante et respecte les suppositions suivantes : 1) la Pila est une source de PCB pour les sédiments de la Sarine et 2) la Gérine est une source de sédiments non-chargés en PCB qui diluent potentiellement les concentrations à l'aval.
- En anticipant la concentration moyenne en PCB à laquelle les poissons sont exposés dans la Sarine, on peut facilement assumer un ordre de grandeur compris entre ceux du segment Pila-Gérine (0.1 – 1 ppm) et ceux du segment Gérine-Maigrauge (0.001 ppm), donc environ 0.01 ppm ou 10 ppb en

unités sommes des 7 ind. dans la fraction < 2 mm (Tab.8). Pour juger de cette concentration moyenne à laquelle les poissons sont exposés, il faudrait idéalement une valeur critique du même ordre de grandeur. Cette valeur critique pourrait être celle citée dans Flück et al. (2012), c'est-à-dire 28 ppb en unités somme des 7 ind <sup>[6]</sup>. Cette valeur découle d'études entamées par la Commission International pour la Protection du Rhin (CIPR)<sup>[7]</sup> et poursuivies par d'autres pour fixer une concentration-PCB-sédiment au-dessous de la laquelle les poissons sont conformes au seuil réglementaire de consommation <sup>[8][9][10]</sup>. Dans ces études toutefois, la fraction (< 0.063 mm, < 2 mm) sur laquelle les analyses PCB ont été effectuées n'est pas explicitement mentionnée. Une étude séparée, portant sur la directive cadre sur l'eau en France, suggère l'isolation de la fraction < 2 mm pour l'analyse de contaminants organiques<sup>[11]</sup>. Cette dernière référence suggère aussi une normalisation (ou plutôt une mesure en parallèle) du carbone organique total (COT) dans le cadre d'analyses de contaminants organiques <sup>[11]</sup>.

- Selon nos informations, toutes les valeurs critiques citées précédemment (OSol, OFEV, Flück et al.) s'appliquent potentiellement à la fraction < 2 mm et se comparent donc raisonnablement aux valeurs des carottes cryogéniques (Tab.8). Il est intéressant de noter que la concentration en PCB de la couche 13-27 cm du site Amont Pass / Sed 2 (0.032 ppm) est bien en-dessous de 0.1 ppm (OSol) mais dépassent légèrement 0.028 ppm (Flück et al.).

	Amont		Pila-Gérine						Gérine-Maigrauge			
	Avr 16	Nov 15	Sed 4	Sed 3	Sed 2- Nov15	Sed 2- Avr16	Sed1- Nov15	Sed 1-Avr 16	Inuva	Pont Per	Lac Per PE	Lac Per PL
Fraction < 0.063 mm Somme des 6 ind. (mg/kg)	0.001	0.041	0.807	0.175	0.381	0.128	0.032	1.890	0.015	0.003	0.002	0.001
< 2 mm Somme des 6 ind. (mg/kg)	< 0.002	-	0.683	0.086	0.090	0.121	-	1.167	0.003	0.002	0.003	0.001
< 2 mm Somme des 7 ind. (mg/kg)	0.00004	-	-	-	-	0.149	-	1.567	0.005	0.002	0.003	0.002

Tableau 8 Comparaison des échantillons de surface prélevés à la pelle et en pongée avec les valeurs de l'OFEV et de l'OSol

> 0.01 ppm valeur OFEV (2010) en unités 6 indicateurs

> 0.1 ppm valeur OSol en unités somme 7 indicateurs

### 3. Synthèse, prochaines étapes et marche à suivre

#### 3.1 Carottage cryogénique, couches profondes

La faisabilité du carottage cryogénique sur les berges à sec / sous une profondeur d'eau < 1 mètres en période de basses eaux a été démontrée sur 4 sites en Avril 2016. Les résultats montrent notamment une diminution des concentrations en PCB au site Amont Pass / Sed 2, avec une concentration dépassant le seuil d'investigation de l'OSol et une concentration dépassant la recommandation de Flück et al. dans la couche 13-27 cm potentiellement re-mobilisable en temps de crue (Fig.5). Sur le même site (Amont Pass / Sed 2), une concentration indétectable de PCB se retrouve dans la couche profonde 38-61 cm. Ce profil du site Amont Pass / Sed 2 illustre à lui seul le potentiel du carottage cryogénique. Les résultats permettent d'obtenir un aperçu de la dispersion verticale des PCB dans les sédiments. Puisque les concentrations retrouvées en profondeur aux sites Invua et Pont de Pérolles sont relativement faibles (Tab.7), elles sont probablement liées aux contaminations « de fond » issus de sources variables en Suisse dans les années 1950-1970<sup>[12]</sup>, ou encore aux émissions de la Pila diluées avec les apports de sédiments « propres » de la Gérine. Il est suggéré de concentrer les prélèvements CC futurs dans la zone la plus polluée (segment Pila-Gérine) ainsi que dans le Lac de Pérolles puisque ce dernier représente une zone d'accumulation potentielle.

Des tests de carottage cryogénique seront effectués en Juin / Juillet 2016 dans le Lac de Pérolles. Les zones ciblées seront celles difficiles ou impossibles à échantillonner autrement i.e. celles caractérisées par la présence de matériaux mixtes grossiers/fins (sables/cailloux). Pour rappel, Pronat avait effectué des essais de carottage avec un bateau de groupe E et un système de carottage par gravité muni d'un poids 10 kg en 2009 dans le Lac de Pérolles<sup>[13]</sup>, mais l'obtention de carottes s'était avérée difficile (communication personnelle, Pascal Mulatiéri). La carotte la plus longue (60 cm) avait été prélevée près du mur (barrage) et plusieurs autres essais de carottage n'avaient pas été fructueux. Cela n'est pas surprenant, étant donné la présence de graviers et de cailloux occasionnellement observée en plongée en Avril 2016 (Figure 6, gauche). La difficulté de carottage avec un tube plexiglas et un poids de 10 kg peut aussi être dû à l'omniprésence de sable, qui composent entre 68 et 90% de la fraction < 2 mm dans le Lac de Pérolles (résultats Avril 2016, non-montrés). Le sable compacté peut être relativement difficile à carotter. Avec la technique CC, une tige de métal est d'abord enfoncée à coups de masse permettant une pénétration aisée en présence de sables. Potentiellement combinée avec la présence d'un plongeur, la méthode CC en Juin/Juillet 2016 permettra d'analyser l'étendue verticale de la pollution aux PCB au fond du lac. Avant la campagne du 2 avril 2016, le permis spécial de navigation sur le Lac de Pérolles avait (difficilement) été obtenu un jour à l'avance par l'Office fédéral de la navigation. Ce court délai n'avait pas permis à la firme Stuwatec d'organiser le transport (Thurgovie – Fribourg) d'un bateau muni d'un carotteur. La firme Stuwatec a elle-même entrepris des démarches en Mai 2016 pour obtenir un permis spécial de navigation sur le lac avec le bateau illustré à la droite de la Figure 6. La période de validité du permis de navigation devra être coordonnée avec les périodes de basses eaux.

L'avantage majeur du carottage cryogénique est sa capacité à refléter un profil vertical de pollution aux PCB, dans un matériel (mélange sable + cailloux) et sur des profondeurs-sédiment (> 15 cm) difficiles/impossibles à obtenir avec les méthodes autres (PE et PL). Son principal désavantage est l'usage d'équipements lourds et donc de délais importants liés au transport du matériel sur les berges. Les sites où l'accès était le plus problématique (Invua, Pont Pérolles) en Avril 2016 seront cependant écartés dans le futur. Les sites suggérés (segments Pila-Gérine et lac) sont relativement faciles d'accès. Dans le segment Pila-Gérine, un Zodiac sans moteur sera utilisé pour le transport du matériel / échantillons (accès voiture Passerelle Marly) alors que sur le lac, le bateau (Fig.6) sera glissé à l'eau par la rampe (accessible en voiture) appartenant à Groupe E. Il est suggéré de prélever plusieurs carottes sur une surface donnée (ex. minimum 3 points de prélèvement sur 10 m<sup>2</sup>) pour augmenter la représentativité des analyses. Les couches (0-15 cm; 15-30 cm ;

> 30 cm) de ces carottes seraient ensuite combinées pour représenter la surface choisie. Cela suppose des conditions de déposition similaires sur les 3 points de prélèvement. Pour respecter cette condition, il est suggéré d'aligner les 3 points de prélèvements parallèlement à la ligne d'eau de la Sarine (vitesses de courant et taux d'érosion comparables) dans le segment Pila-Gérine. Dans le lac, des zones « avec des granulométries comparables » (processus de déposition similaires) seront choisies. Il est proposé de définir 3 zones (avec chacune 3 carottes minimum) dans le segment Pila-Gérine et 3 zones dans le lac (Fig.7).



Figure 6 Exemple de matériaux se retrouvant au fond du Lac de Pérolles (gauche, site Lac Pérolles PL). Bateau qui servira à prélever des carottes cryogéniques dans le Lac de Pérolles en Juin 2016 (droite).

### 3.2 Fraction, prélèvement sédiment surface

L'argument principal en faveur d'analyses sur la fraction 2 mm est la possibilité de comparaison avec des valeurs critiques (OSol, OFEV, Flück et al.). L'OSol prescrit explicitement le tamisage à < 2 mm et demeure plus pertinent comme référence que l'OLED (fraction brute) liée aux déchets.

Dans le passé (< 2016), les analyses PCB étaient effectuées sur les sédiments bruts. Cette fraction brute était (visuellement) constituée de sables et de limons. Les cailloux étaient (visuellement) enlevés de l'échantillon avant son envoi au laboratoire. Les concentrations estimées sur la fraction < 2 mm sont plus ou moins comparables aux concentrations analysées en parallèle dans les sédiments bruts. Les différences entre les concentrations des fractions < 2 mm et brutes varient entre 1 ppm et 0.0003 ppm (Tab.9). Il sera donc difficile voire impossible de comparer quantitativement les valeurs du passé (fraction brute) aux valeurs futures (< 2 mm). Qualitativement, la fraction brute est sensée d'autant plus que des déchets risquent de se retrouver dans la fraction > 2 mm. C'est du moins ce que suggèrent les concentrations mesurées dans la fraction > 2 mm au site Sed2 (0.5 et 0.8 ppm en unités 6 ind. x 4.3, Tab.4). En terme de masses absolues de PCB cependant, c'est clairement la fraction 0.063 – 2 mm qui est déterminante et qui contient le plus de PCB (Tab.6, Fig.4). L'utilisation de la fraction < 2 mm (au lieu de la fraction brute) est en ce sens justifiée.

Site	Fraction brute	Fraction 0-2 estimé	Différence entre concentrations fractions (0-2) et brute
Sed 4	0.104	0.683	0.6
Sed 3	0.177	0.086	0.1
Sed 2-Nov15	0.055	0.090	0.03
Sed 2-Avr16	0.031	0.121	0.09
Sed 1-Avr 16	0.214	1.167	1.0
Pont Per	0.001	0.002	0.0003
Lac Per PE	0.017	0.003	0.01
Lac Per PL	0.001	0.001	0.001

Tableau 9 Concentration en PCB, unités somme 7 ind. (mg/kg)

Dans le passé (< 2016), l'échantillonnage de sédiment brut s'effectuait sur une surface restreinte (1 ou deux points de prélèvement). Pour prélever des échantillons de sédiments représentatifs d'une surface, il est suggéré à l'image de l'OSol d'effectuer plusieurs prélèvements (entre 5 et 15) sur une surface donnée (environ 10 m<sup>2</sup>) et sur une profondeur d'environ 15 cm.

### 3.3 Paramètres analytiques, limite de quantification

Les unités des valeurs OSol, OFEV et Flück et al. sont la somme des 6 ou 7 indicateurs. Pour tous les échantillons de sédiments à l'avenir (indépendamment du mode de prélèvements PE, PL ou CC), les analyses demandées seront les 7 indicateurs sur la fraction < 2 mm, avec des mesures COT % en parallèle ainsi que le pesage des 2 fractions. Pour éviter un trop grand nombre de résultats « < LQ » dans le segment Gérine-Maigrauge et à l'amont-Pila, des LQ basses seront demandées sur certains<sup>2</sup> échantillons. Cela permettra de détecter minimalement entre 0.0004 et 0.002 ppm (LQ basse) au lieu de 0.002 ppm (LQ standard) en unités somme 6 ou 7 ind. Dans tous les cas, ces deux valeurs (0.001 et 0.002 ppm) sont 10 x plus petites que celles de l'OFEV (0.01 ppm) et de Flück (0.028 ppm). Si un grand nombre de résultats « < LQ » sont tout de même obtenus, des calculs de stock PCB / BSAF / TFM devront être effectués avec des valeurs= LQ ou ½ LQ.

En résumé, il est suggéré d'effectuer des échantillons de surface PE/PL (5-15 points sur 10 m<sup>2</sup>) et des échantillons en profondeur CC (minimum 3 carottes sur 10 m<sup>2</sup>, couches 0-15 ; 15-30 cm et > 30 cm) pour analyser les PCB 7 indicateurs et le COT dans la fraction < 2 mm. La LQ des analyses PCB 7 ind. serait standard dans la plupart des cas, avec des LQ basses dans 30 à 50 % des échantillons compris dans les secteurs Gérine-Maigrauge et amont-Pila.

### 3.4 Nombre d'échantillons, secteurs à échantillonner

Avec les paramètres mentionnés plus haut, le nombre d'échantillons initialement prévu sera légèrement modifié. La proposition initiale était la suivante : 100 analyses PCB de la même fraction, 60 carottes longues > 20 cm réparties aléatoirement sur la zone d'étude, 40 échantillons de surface (0-20 cm) répartis de la façon suivante : 10 Pila-Gérine, 20 Gérine-Pérolles, 10 Lac Pérolles. Considérant les observations faites en Novembre 2015 et Avril 2016 (temps d'échantillonnage d'une carotte cryogénique d'environ 4 ± 2 heures, sédiments contaminés dans le secteur Pila-Gérine), il est préférable et plus réaliste de fixer le programme-cible suivant (Fig.7) :

<sup>2</sup> Entre 30 et 50% des échantillons compris dans les secteurs Gérine-Maigrauge et amont Pila.

- Secteur Pila-Gérine :
  - 20 échantillons sédiments de surface : méthode PE, au-dessus ou légèrement en-dessous (< 1 mètre) du niveau des basses eaux, 5-10 points sur 10 m<sup>2</sup>, profondeur des prélèvements d'environ 15 cm
  - 3 zones de carottage ; méthode CC, minimum 3 carottes pour chaque zone d'environ 10 m<sup>2</sup>, couches 0-15 cm, 15-30 cm et > 30 cm, couches combinées (1 couche, 1 analyse)
- Secteur Gérine-Maigrauge :
  - 20 échantillons sédiments de surface : méthode PE, au-dessus ou légèrement en-dessous (< 1 mètre) du niveau des basses eaux, 5-10 points sur 10 m<sup>2</sup>, profondeur des prélèvements d'environ 15 cm
- Secteur Lac Pérolles:
  - 20 échantillons sédiments de surface : méthode PE/PL, 5-10 points sur 10 m<sup>2</sup>, profondeur des prélèvements d'environ 15 cm
  - 3 zones de carottage ; méthode CC, minimum 3 carottes pour chaque zone d'environ 10 m<sup>2</sup>, couches 0-15 cm, 15-30 cm et > 30 cm, couches combinées (1 couche, 1 analyse)
  - Méthode CC : test de carottage dans un secteur plus difficile, avec présence de matériaux plus grossiers (voir chapitre 3.1)

En somme, cela fait 60 échantillons de surface (5-15 points / 10 m<sup>2</sup>) auxquels peuvent être combinés les couches 0-15 cm des carottes (6 analyses futures, 4 analyses déjà effectuées). Environ 70 échantillons de surface (0-15 cm) répartis sur tout le secteur d'étude seront donc disponibles pour effectuer des calculs BSAF / TMF / stock PCB bio-disponible tel que discuté dans le rapport de CSD Avril 2016 <sup>[1]</sup>. Les échantillons des couches 15-30 cm (6 analyses) et > 30 cm (6 analyses) serviront à estimer les risques de re-mobilisation de PCB enfouis suite à une crue / autre événement de perturbation des sédiments.

Un test de cartographie de la mésogranulométrie du lit de la Sarine a été effectué en Avril 2016 (Voir Annexe A). Nous sommes d'avis qu'une telle cartographie doit être poursuivie dans le but d'attribuer des surfaces types à nos résultats d'analyses pour calculer les stocks et d'exclure d'autres surfaces molasse, matériaux grossiers. Cette mésogranulométrie s'accompagnera d'analyses granulométriques qui aideront à interpréter les concentrations en PCB.

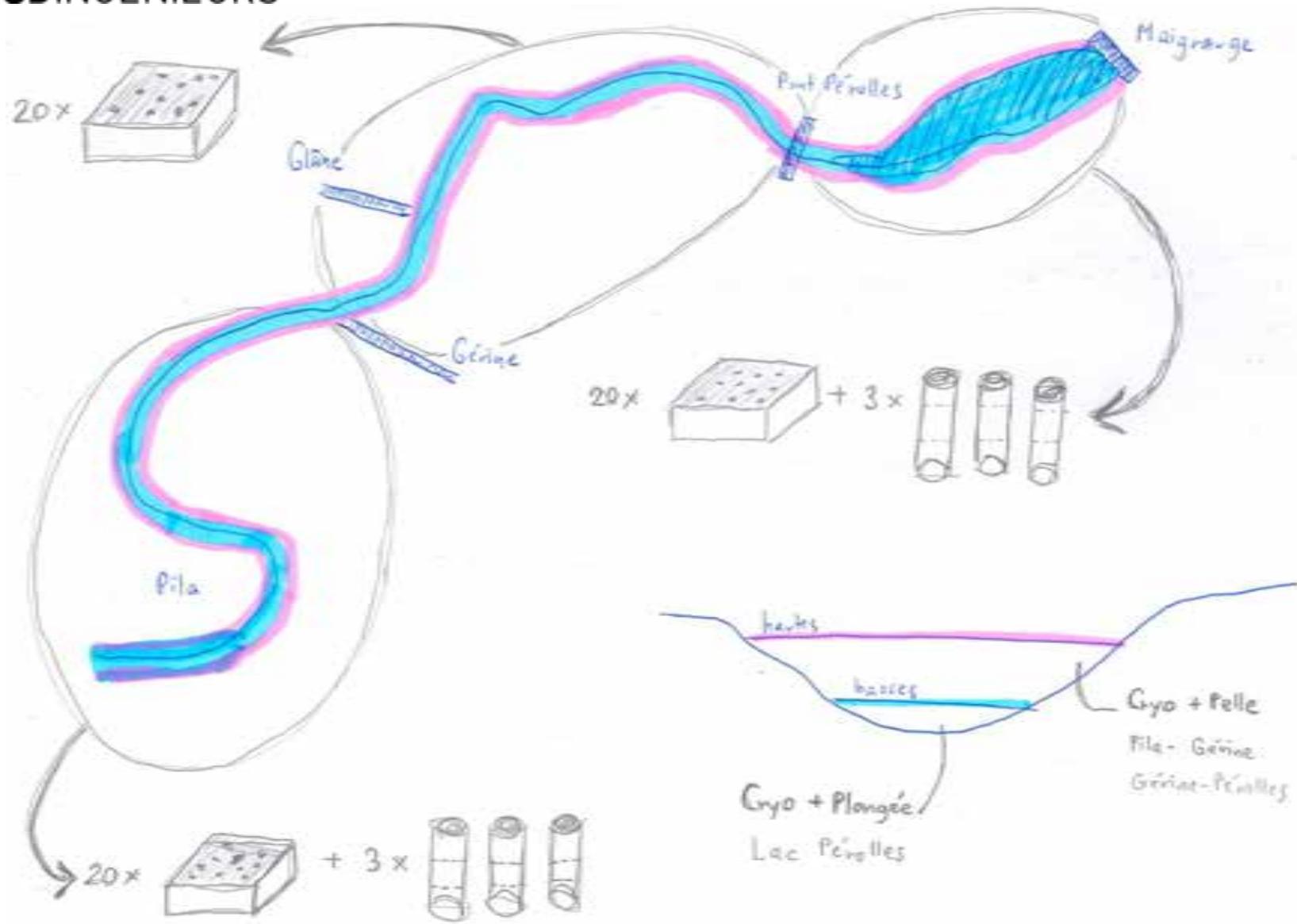


Figure 7 Schéma du programme-cible d'échantillonnage de sédiments dans la Sarine en 2016

## 4. Références

1. CSD-ingénieurs. Décharge de la Pila, Suites des démarches en relation avec le projet d'assainissement, Rapport de synthèse et proposition de mesures complémentaires, Avril. 2016.
2. Conseil fédéral Suisse. Ordonnance sur les atteintes portées aux sols (OSol, Etat le 1er juin 2012). 1998.
3. Confédération Suisse - Office fédérale de l'environnement (OFEV). Polychlorobiphényles (PCB) dans les eaux en Suisse. Données concernant la contamination des poissons et des eaux par les PCB et les dioxines: évaluation de la situation. 2010.
4. Flück R, Chèvre N, Campiche S. Surveillance de la qualité des sédiments en Suisse - État actuel des méthodes disponibles. 2012.
5. Office fédéral de l'environnement des forêts et du paysage (OFEFP). Prélèvement et préparation d'échantillons de sols pour l'analyse de substances polluantes. 2003.
6. Rébecca Flück. Surveillance de la qualité des sédiments, Aqua & Gas No.4, pp.18-22. 2012.
7. Commission Internationale pour la Protection du Rhin (CIPR). Comparaison de l'état du Rhin de 1990 à 2004. 2007.
8. Babut M, Lopes C, Miegé C (Cemagref). Transfert de contaminants hydrophobes du sédiment au poisson : construction de modèles dans une perspective de gestion. Juin. 2011.
9. A. Mathieu, M. Babut (IRSTEA). Contamination des poissons d'eau douce par des contaminants persistants: polychlorobiphényles (PCB), dioxines, furanes, mercure. Étude des relations biote-sédiment pour les PCB. Juin. 2012.
10. Babut M, Roy A, Lopes C, Pradelle S. Contamination des poissons d'eau douce par les PCB et d'autres contaminants persistants dans le bassin Rhône-Méditerranée. 2011.
11. Schiavone S, Coquery M. Guide d'échantillonnage et de pre-traitement des sédiments en milieu continental pour les analyses physico-chimiques de la dce. 2011;24 p.
12. Zennegg M, Kohler M, Hartmann PC, Sturm M, Gujer E, Schmid P, et al. The historical record of PCB and PCDD/F deposition at Greifensee, a lake of the Swiss plateau, between 1848 and 1999. Chemosphere [Internet] 2007 [cited 2015 Jun 22];67(9):1754–61. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653506015724>
13. Pronat Conseils SA. Étude du lac de Schiffenen et du lac de Pérolles, Pollution de la Sarine par les PCB, Mandat ES 2 étape 2 (Etat Novembre 2010), Décembre. 2009.

## CSD INGENIEURS SA

<Prénom Nom>  
(Fonction))

<Prénom Nom>  
(chef de projet)

Fribourg, le 13 juin 2016

### COREFERENT

<Prénom Nom> (titre)

### AUTRE(S) COLLABORATEUR(S) CHARGÉ(S) DE L'ÉTUDE

<Prénom Nom> (titre)

<Prénom Nom> (titre)

W:\Csdfr\MANDATS\2700-749\FR2706.16 Pila\Programme études compl\La Pila Reconnaissances et essais sédiments.docx

Pour préserver l'environnement, CSD imprime ses documents sur du papier 100 % recyclé (ISO 14001).

**ANNEXE A TEST DE CARTOGRAPHIE DE LA MÉSOGRANULOMÉTRIE**



Kreuzmattstrasse 56  
CH-3185 SCHMITTEN  
Tel. 026 497 91 30  
FAX 026 497 91 33  
info@pronat.ch

## Décharge de la pila

### Tests de cartographie de la mésogranulométrie prélèvement de sédiments dans le Lac de Pérolles

#### 1 Préambule

En vue des études complémentaires prévues pour la Pila dans le courant de l'année 2016, une phase de reconnaissance a été organisée en avril 2016 pour tester l'efficacité de différentes méthodes de prélèvement des sédiments. Il s'agissait en outre de tester la cartographie des sédiments du fond de la Sarine et d'estimer le temps nécessaire pour les prélèvements subaquatiques. Ces tests ont également permis de contrôler la précision du GPS de l'iPhone.

Le présent document synthétise les résultats de ces tests, qui permettront de planifier au mieux les prélèvements de sédiments de la campagne avant la crue de septembre 2016.

#### 2 Cartographie de la mésogranulométrie

##### *Objectifs de la mésogranulométrie*

Le programme d'études 2016 prévoit une centaine de prélèvements de sédiments répartis entre la Pila et la Maigrauge, sans toutefois préciser l'emplacement des différentes stations d'échantillonnage. Afin d'estimer au mieux la quantité actuelle de PCB dans les sédiments présents sur l'ensemble du périmètre d'étude (Pila-Maigrauge), il est nécessaire que les échantillons soient représentatifs de tous les types de sédiments du fond du lit de la Sarine sur le linéaire complet. Il sera ainsi possible d'extrapoler la quantité de PCB présente dans un type de sédiments selon les analyses à l'ensemble des sédiments de ce type présents et relevés dans la Sarine. On pourra ainsi exclure les zones de molasse.

Pour l'évaluation de la méthode, nous avons délimité le périmètre en 2 secteurs : Sarine entre Pila et amont Pont de Pérolles et Lac de Pérolles (aval Pont de Pérolles).

## 2.1 Secteur Sarine

### 2.1.1 Méthodologie

Un tronçon de 200 m en amont de la passerelle de la Gérine a été cartographié (voir situation à l'annexe A).

Deux méthodes de relevés ont été utilisées pour déterminer les surfaces :

1. Relevé du contour d'une surface avec le même type de sédiment en suivant ce contour et en relevant le parcours cheminé avec GPS-Tracks sur iPhone 6s.
2. Relevés ponctuels des types de sédiment avec Collector for ArcGIS (sur iPhone 6s également) : permet de relever l'emplacement sur lequel on se trouve dans un shape point et de modifier les attributs. Dans le cadre de ce test, on a indiqué pour chaque point le type de sédiments.

Au niveau GPS, l'iPhone 6s permet de capter les satellites américains du système GPS et les satellites russes du système GLONASS.

Les types de sédiments relevés lors du test sont les suivants (selon demande d'autorisation anticipée du 15.03.2016) :

1. Sédiments fins < 2 mm
2. Gravier fins 2 mm – 2 cm
3. Galets I 2 cm – 10 cm
4. Galets II > 10 cm
5. Molasse

### 2.1.2 Résultats

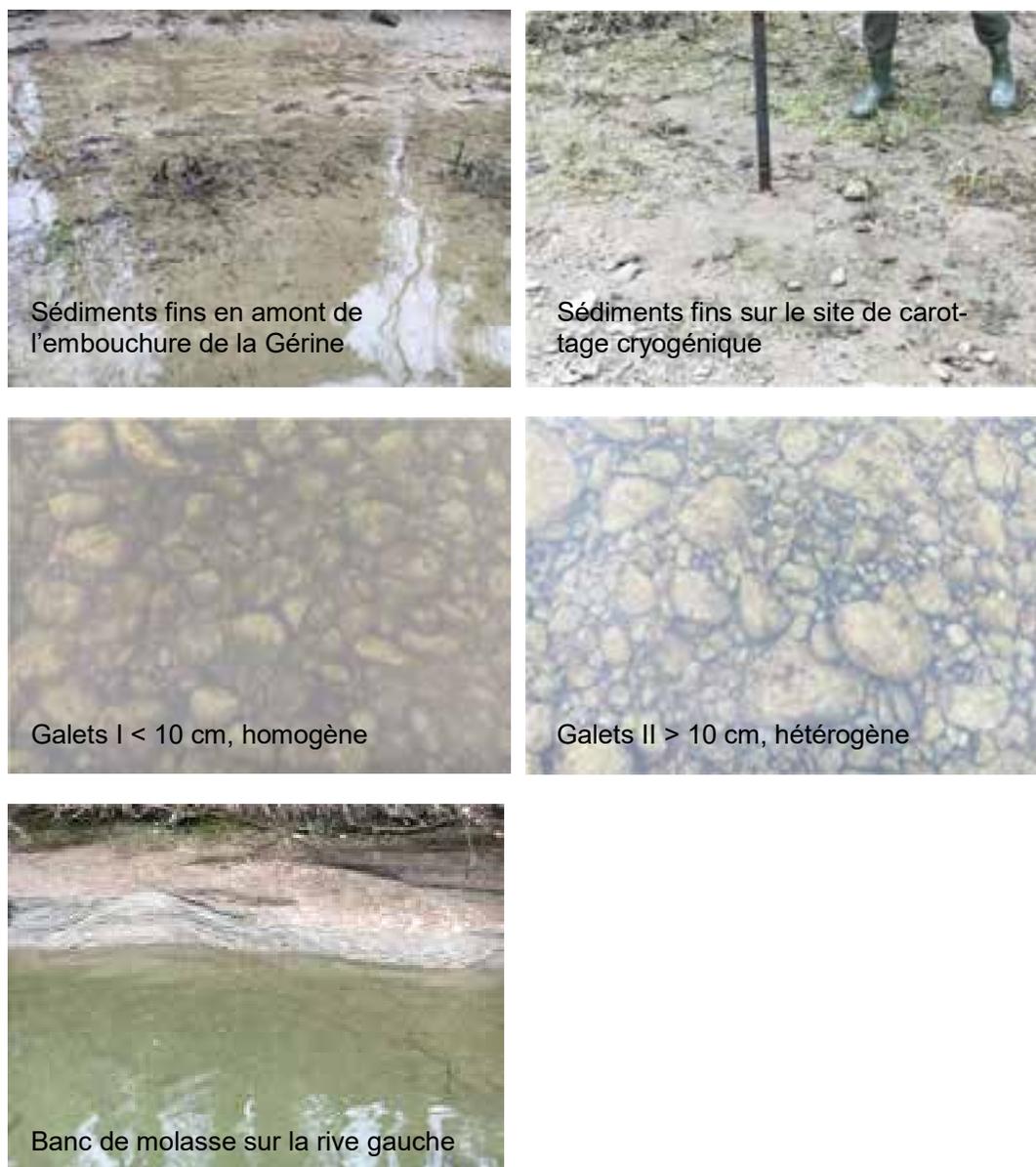
Les résultats de la cartographie sont présentés sur la carte à l'annexe A. Un échantillon des sédiments relevés figure ci-dessous.

La précision du GPS a été de  $\pm 5$  m sur l'ensemble du parcours.

GPS-Tracks n'a malheureusement pas enregistré l'ensemble des parcours suivis.

La différenciation entre Galets I et II a été difficile. La frontière entre les différents types de sédiments est souvent diffuse.

La batterie de l'iPhone diminuant rapidement, il faut penser à prendre des batteries de recharge pour le terrain.



**Fig. 1 : Documentation photographique des sédiments relevés en amont de la passerelle (photos : PRONAT)**

### **2.1.3 Bilan**

Pour la cartographie, la méthodologie suivante sera appliquée :

- Les types de sédiments à relever seront simplifiés :
  1. Sédiments fins < 2 mm
  2. Gravier fins 2 mm – 2 cm
  3. Galets I 2 cm – 100 cm
  4. Molasse et blocs avec  $\varnothing > 100$  cm
- Seront relevées sur le terrain uniquement les surfaces de types 1, 2 et 4. Le reste de la surface sera attribuée au type 3.

- Utiliser un GPS avec une plus haute précision (cependant présence d'un géomètre pas nécessaire).

Etant donné que le débit résiduel est fixé à 2.5 m<sup>3</sup>/s et qu'il augmente à 3.5 m<sup>3</sup>/s à partir du 20 mai jusqu'en octobre, nous proposons de réaliser cette partie de la cartographie le samedi 14 mai 2016.

#### **2.1.4 Estimation des coûts**

L'amont Pont de Pérolles sera cartographié à pied, en période de basses eaux. Pour des raisons de sécurité, la cartographie sera effectuée par 2 personnes. On estime qu'une journée est suffisante pour parcourir l'ensemble du linéaire.

L'annexe B donne une estimation des coûts de cette cartographie. Pour le secteur Sarine, ils sont estimés à 5'600.- inclus préparation et analyse du résultat.

## **2.2 Secteur Lac de Pérolles**

### **2.2.1 Méthodologie**

L'accès à pied n'est pas possible dans le Lac de Pérolles.

Parallèlement au test de prélèvement subaquatique (voir ci-dessous), le plongeur a effectué une rapide reconnaissance des sédiments au fond du lac, au niveau du mur du barrage.

### **2.2.2 Résultat**

Le fond du lac a été estimé à une profondeur de 6 m environ derrière le mur du barrage. Il n'est pas plat et semble traversé par un chenal formé par le courant dans des matériaux très fins. Le fond du chenal est également irrégulier. Il est composé d'une alternance de buttes de matériaux grossiers et de zones de fines (voir photo ci-dessous). On y trouve également des déchets de toute sortes, mais aucun condensateur n'a été observé durant la courte reconnaissance.

Selon Pascal Mulattieri (plongeur), la cartographie du fonds du lac prendra au moins deux à trois jours, si on veut atteindre la précision définie pour le secteur Sarine. De plus, une telle cartographie nécessite la présence d'un bateau et de personnel d'assistance.

De plus, il n'est pas nécessaire que cette cartographie soit effectuée uniquement avec le débit le plus bas.



**Fig. 3 : Documentation photographique du fond du lac (photos : Biol'Eau).**

### 2.2.3 Coûts

Nous avons estimé à l'annexe B la cartographie effectuée par un plongeur en scaphandre autonome, avec les contraintes suivantes :

- 3 jours de relevés suivant la précision choisie ;
- la présence d'un bateau avec un pilote au bénéfice d'un permis ;
- 1 assistant pour le plongeur.

Cette méthode engendre des coûts relativement élevés (env. 12'500.-).

Comme il n'est pas nécessaire qu'elle soit effectuée avant le 20 mai, des alternatives ou des simplifications peuvent être discutées, comme par exemple le contrôle ponctuel du fond du lac sur 4-5 transects et extrapolation des résultats sur l'ensemble du fond.

## 3 Prélèvement des sédiments dans le Lac de Pérolles par un plongeur

### 3.1 Objectifs du test

L'objectif de ce test était d'estimer le temps de prélèvement des sédiments en plongée subaquatique par plongeur en scaphandre autonome et le temps de tamisage sur le terrain pour un échantillon. Les données obtenues permettront d'estimer plus précisément les besoins en temps et les coûts pour les prélèvements dans le Lac de Pérolles.

### 3.2 Site du prélèvement

Le point de prélèvement des sédiments était situé à 20 m environ du bord est, à env. 6 m de profondeur (579'200 / 183'089, voir figure ci-dessous).



*Fig. 2 : Site du prélèvement de sédiments en plongée subaquatique. La zone parcourue lors de la reconnaissance est délimitée par la forme ovale noire.*

### 3.3 Paramètres pour évaluer le temps de plongée

Mise en place	1 h
5 carottes de 15 cm environ à 20 m environ du bord	30 minutes
Tamissage sur le terrain, à 63 $\mu$ , d'un échantillon composite, à 2 personnes	1 h 30
Rangement du matériel sur le terrain	45 minutes

## 4 Annexes

Annexe A : Carte Test de la cartographie de la mésogranulométrie

Annexe B : Estimation des coûts pour la cartographie de la mésogranulométrie

PRONAT, le 28.04.2016

A. Zurwerra & F. Vial, PRONAT

# 2690 Pila - Annexe A

## Test cartographie granulométrie

Plan n° 2690-18

Date : 26.04.2016

Echelle : 1:1'500



### Catégorie avril 2016

-  1 Sédiments fins < 2mm
-  2 Gravier 2 mm - 2 cm
-  3 Galets I < 10 cm
-  4 Galets II > 10 cm
-  5 Molasse

### Nouvelle catégorie

- 1 Sédiments fins < 2 mm
- 2 Gravier 2 mm - 2 cm
- } 3 Galets 2 cm - 100 cm
- 4 Molasse / gros blocs

0 50 100 Mètres



2690 Décharge de la Pila - Etudes complémentaires 2016 - Cartographie de la mésogranulométrie  
Annexe B : Estimations des coûts des honoraires du bureau PRONAT (incl. plongeur Biol'Eau)

PRESTATIONS		
Estimation des coûts* avec un tarif moyen de:	CHF 160 CHF 240	jours ouvrables Dimanche
PRONAT	h	Total [Fr.]
<b>1. Organisation, coordination, préparation</b>		<b>1 440.00</b>
Organisation PRONAT et coordination avec CSD et Groupe E pour basses eaux	1	160.00
Préparation de cartes-papier pour le terrain + système GPS pour récolte des données digitales sur le terrain	4	640.00
Préparation matériel plongée	4	640.00
<b>2. Terrain</b>		<b>10 560.00</b>
Cartographie Sarine - amont Pont Pérolles (1 jour à 9 h à 2 pers.)	18	2 880.00
Cartographie Lac de Pérolles (3 jours à 8 h à 2 pers. PRONAT)	48	7 680.00
<b>3. Synthèse et rapport</b>		<b>1 920.00</b>
Récupération et sauvegarde des données digitales	4	640.00
Représentation graphique sur ArcGIS des surfaces relevées	8	1 280.00
<b>Montant des honoraires bruts HT</b>		<b>13 920.00</b>
Rabais	10%	1 392.00
Honoraires nets		12 528.00
Frais PRONAT	4%	501.10
Location matériel plongée		1 000.00
Location bateau + pilote Groupe E (110.-/h, 3 jours à 8h)		2 640.00
Location GPS de précision ± 0.1 m (estimation : 3 jours, 100.- / jour)		300.00
Sous-total incl. Frais		14 329.10
TVA	8.0%	1 146.30
<b>Montant des honoraires TTC</b>		<b>15 475.40</b>

## **Annexe 2.1.3**

### **Synthèse des mesures sédiments**

Nom d'échantillon	Segment	Date d'échantillonnage	Y (CH1903/MN03)	X (CH1903/MN03)	Fraction < 2 mm			Granulométrie		Fraction > 2 mm
					PCB TEQ-OMS05 pg/g	Avant crue PCB 6i x 4.3 mg/kg	COT %	Après crue PCB 6i x 4.3 mg/kg	COT %	
S#1	Pila-Gérine	29.06.2016	575794	180440	-	0.109	1.0	-	-	-
S#2	Pila-Gérine	29.06.2016	575790	180435	-	0.264	1.2	-	-	0.036
S#3	Pila-Gérine	29.06.2016	575955	180756	-	0.546	0.6	-	-	-
S#4 (G#1)	Pila-Gérine	19.07.2016	576080	180076	-	0.024	0.1	-	28	-
S#5 (G#2)	Pila-Gérine	19.07.2016	576019	180140	-	0.017	0.8	-	19	-
S#6	Pila-Gérine	19.07.2016	575790	180356	-	0.106	0.8	-	-	-
S#7	Pila-Gérine	19.07.2016	575799	180444	-	0.132	0.3	-	-	0.034
S#8	Pila-Gérine	19.07.2016	575803	180449	-	0.138	0.5	-	-	-
S#9	Pila-Gérine	19.07.2016	575808	180453	-	0.110	0.6	-	-	-
S#10	Pila-Gérine	19.07.2016	575800	180449	-	0.739	0.6	0.065	0.5	0.103
S#11 (G#3)	Pila-Gérine	19.07.2016	575967	180766	-	0.324	0.6	-	29	-
S#12	Pila-Gérine	19.07.2016	575978	180776	-	0.703	0.9	-	-	-
S#13	Pila-Gérine	19.07.2016	575991	180788	-	0.480	1.2	-	-	0.895
S#14	Pila-Gérine	19.07.2016	576005	180803	-	0.277	0.4	-	-	0.256
S#15	Pila-Gérine	19.07.2016	575980	180790	-	0.570	0.2	-	-	-
S#16	Pila-Gérine	19.07.2016	576042	180841	-	1.498	0.4	0.479	0.9	12.896
S#17 (G#4)	Pila-Gérine	19.07.2016	576057	180852	-	0.293	0.5	-	2	-
S#18 / M3	Pila-Gérine	19.07.2016	575627	179669	0.016	0.007	0.8	-	-	-
Amont Pila										
S#19 / M4	Pila-Gérine	19.07.2016	576002	180814	2.84921	0.237	0.6	-	-	-
Passerelle										
S#20 / M1	Pila-Gérine	19.07.2016	575797	180389	0.19197	0.058	0.4	-	-	-
Aval Pila										
S#64	Pila-Gérine centre	31.08.2016	575921	180742	-	0.260	0.5	-	-	0.030
S#65	Pila-Gérine centre	31.08.2016	575983	180805	-	0.094	1.0	-	-	-
S#66	Pila-Gérine centre	31.08.2016	576104	180918	-	0.202	1.0	-	-	0.008
S#67	Pila-Gérine centre	31.08.2016	575797	180335	-	0.060	1.3	-	-	0.007

Nom d'échantillon	Segment	Date d'échantillonnage	Y (CH1903/MN03)	X (CH1903/MN03)	Fraction < 2 mm			Granulométrie		Fraction > 2 mm	
					PCB TEQ-OMS05 pg/g	Avant crue PCB 6i x 4.3 mg/kg	COT %	Après crue PCB 6i x 4.3 mg/kg	COT %		Catégorie mésogra nulo
Cryo#1.1 (0-15 cm)	Pila-Gérine	02-03.08.2016	575800	180445	-	0.353	1.7	0.6	-	-	0.730
Cryo#1.2 (15-30 cm)	Pila-Gérine	02-03.08.2016	575800	180445	-	2.133	1.5	-	-	-	11.537
Cryo#1.3 (30-80 cm)	Pila-Gérine	02-03.08.2016	575800	180445	-	4.627	0.9	-	-	-	0.484
Cryo#2.1 (0-15 cm)	Pila-Gérine	02-03.08.2016	575785	180430	-	0.178	0.5	0.067	0.6	-	-
Cryo#2.2 (15-30 cm)	Pila-Gérine	02-03.08.2016	575785	180430	-	0.123	0.8	-	-	-	0.079
Cryo#2.3 (30-70 cm)	Pila-Gérine	02-03.08.2016	575785	180430	-	0.090	0.7	-	-	-	-
Cryo#3.1 (0-15 cm)	Pila-Gérine	02-03.08.2016	576007	180817	-	3.419	0.2	5.452	0.6	-	-
Cryo#3.2 (15-30 cm)	Pila-Gérine	02-03.08.2016	576007	180817	-	5.981	0.5	-	-	-	-
Cryo#3.3 (30-70 cm)	Pila-Gérine	02-03.08.2016	576007	180817	-	0.479	0.9	-	-	-	0.044
Cryo#4.1 (0-15 cm)	Pila-Gérine	02-03.08.2016	576012	180809	-	0.001	0.6	0.901	1.0	-	-

Nom d'échantillon	Segment	Date d'échantillonnage	Y (CH1903/MN03)	X (CH1903/MN03)	Fraction < 2 mm			Granulométrie		Fraction > 2 mm
					PCB TEQ-OMS05 pg/g	Avant crue PCB 6i x 4.3 mg/kg	COT %	Après crue PCB 6i x 4.3 mg/kg	COT %	
S#21	Gérine-Périlles	20.07.2016	576338	181266	-	0.033	0.3	0.067	0.9	0.030
S#22	Gérine-Périlles	20.07.2016	576619	181331	-	0.005	0.6	-	-	-
S#23	Gérine-Périlles	20.07.2016	576615	181343	-	0.000	0.3	-	-	-
S#24 (G#5)	Gérine-Périlles	20.07.2016	576617	181341	-	0.000	0.5	-	-	-
S#25	Gérine-Périlles	20.07.2016	576489	181868	-	0.012	0.4	0.012	0.6	0.005
S#26	Gérine-Périlles	20.07.2016	576689	181848	-	0.004	< 0.1	-	-	-
S#27 (G#6)	Gérine-Périlles	20.07.2016	576703	181844	-	0.003	0.3	-	-	-
S#28	Gérine-Périlles	20.07.2016	577108	181540	-	0.001	0.4	-	-	-
S#29	Gérine-Périlles	20.07.2016	577123	181537	-	0.000	0.3	-	-	-
S#30	Gérine-Périlles	20.07.2016	577144	181530	-	0.000	0.2	-	-	-
S#31	Gérine-Périlles	20.07.2016	577586	181940	-	0.004	< 0.1	-	-	-
S#32 (G#7)	Gérine-Périlles	20.07.2016	577588	181955	-	0.005	0.2	-	-	-
S#33	Gérine-Périlles	20.07.2016	577592	181973	-	0.005	0.2	-	-	-
S#34	Gérine-Périlles	20.07.2016	577717	182218	-	0.006	0.4	-	-	-

Nom d'échantillon	Segment	Date d'échantillonnage	Y (CH1903/MN03)	X (CH1903/MN03)	Fraction < 2 mm				Granulométrie		Fraction > 2 mm
					PCB TEQ-OMS05 pg/g	Avant crue PCB 6i x 4.3 mg/kg	COT %	Après crue PCB 6i x 4.3 mg/kg	COT %	Catégorie mésogra- nulo	
S#35	Gérine-Périlles	20.07.2016	577860	182147	-	0.015	0.5	-	-	-	0.013
S#36 (G#8)	Gérine-Périlles	20.07.2016	578209	182046	-	0.000	0.5	-	-	1	-
S#37	Gérine-Périlles	20.07.2016	578228	182105	-	0.013	0.6	0.004	0.4	-	-
S#38	Gérine-Périlles	20.07.2016	578228	182105	-	0.020	0.5	-	-	-	-
S#39 / M6 Pont Périlles	Gérine-Périlles	20.07.2016	578049	182015	0.02945	0.009	0.4	-	-	-	-
S#40 / M5 Invua	Gérine-Périlles	20.07.2016	576307	181252	0.06388	0.014	0.4	-	-	-	-
S#62	Invua centre	31.08.2016	576671	181470	-	0.000	0.4	-	-	-	-
S#63	Invua centre	31.08.2016	576655	181446	-	0.004	0.6	-	-	-	0.000

Nom d'échantillon	Segment	Date d'échantillonnage	Y (CH1903/MN03)	X (CH1903/MN03)	Fraction < 2 mm			Granulométrie		Fraction > 2 mm		
					PCB TEQ-OMS05 pg/g	Avant crue PCB 6i x 4.3 mg/kg	COT %	Après crue PCB 6i x 4.3 mg/kg	COT %		Catégorie mésogra- nulo	% masse < 2 mm
S#41	Lac Péroilles	16-17.08.2016	578368	182201	-	0.004	0.4	-	-	-	-	PCB 6i x 4.3 mg/kg
S#42	Lac Péroilles	16-17.08.2016	578491	181861	-	0.012	0.7	-	-	-	-	-
S#43	Lac Péroilles	16-17.08.2016	578930	182141	-	0.016	0.7	-	-	-	-	-
S#44	Lac Péroilles	16-17.08.2016	578930	182159	-	0.016	0.7	-	-	-	-	-
S#45 (G#9)	Lac Péroilles	16-17.08.2016	578952	182184	-	0.016	0.2	-	-	-	1	100
S#46	Lac Péroilles	16-17.08.2016	579052	182372	-	0.046	1.1	-	-	-	-	-
S#47	Lac Péroilles	16-17.08.2016	579071	182311	-	0.076	7.0	-	-	-	-	0.561
S#48	Lac Péroilles	16-17.08.2016	579227	182510	-	0.025	0.9	-	-	-	-	-
S#49 (G#10)	Lac Péroilles	16-17.08.2016	579186	182512	-	0.006	0.5	-	-	-	1	100
S#50 (G#11)	Lac Péroilles	16-17.08.2016	579181	182583	-	0.006	0.3	-	-	-	1	100
S#51	Lac Péroilles	16-17.08.2016	579206	182668	-	0.006	0.3	-	-	-	-	-
S#52	Lac Péroilles	16-17.08.2016	579051	182762	-	0.232	0.8	-	-	-	-	0.048
S#53 (G#12)	Lac Péroilles	16-17.08.2016	578962	182732	-	0.020	1.0	-	-	-	1	100
S#54 (G#13)	Lac Péroilles	16-17.08.2016	579002	182813	-	0.028	0.9	-	-	-	1	100

Nom d'échantillon	Segment	Date d'échantillonnage	Y (CH1903/MN03)	X (CH1903/MN03)	Fraction < 2 mm			Granulométrie		Fraction > 2 mm	
					PCB TEQ-OMS05 pg/g	Avant crue PCB 6i x 4.3 mg/kg	COT %	Après crue PCB 6i x 4.3 mg/kg	COT %		Catégorie mésogra nulo
S#55	Lac Pérolles	16-17.08.2016	578940	182819	-	0.008	< 0.1 %	-	-	-	PCB 6i x 4.3 mg/kg
S#56	Lac Pérolles	16-17.08.2016	579084	182704	-	0.028	0.7	-	-	-	-
S#57	Lac Pérolles	16-17.08.2016	578837	182764	-	0.116	0.6	-	-	-	0.179
S#58	Lac Pérolles	16-17.08.2016	579043	182927	-	0.016	0.5	-	-	-	-
S#59	Lac Pérolles	16-17.08.2016	579108	182974	-	0.033	1.0	-	-	-	0.044
S#60	Lac Pérolles	16-17.08.2016	579195	182957	-	0.044	1.7	0.036	2.3	-	0.042
S#61	Lac Pérolles	16-17.08.2016	578968	182879	-	-	-	-	-	-	-
G#14	Lac Pérolles	16-17.08.2016	-	-	-	-	-	-	-	2	76

Nom d'échantillon	Segment	Date d'échantillonnage	Y (CH1903/MN03)	X (CH1903/MN03)	Fraction < 2 mm			Après crue PCB 6i x 4.3 mg/kg	Granulométrie	Fraction > 2 mm
					PCB TEQ-OMS05 pg/g	Avant crue PCB 6i x 4.3 mg/kg	COT %			
Cryo#5.1 (0-15 cm)	Lac Péroilles	17-19.08.2016	579163	182645	0.144	0.055	0.9	-	-	-
Cryo#5.2 (15-30 cm)	Lac Péroilles	17-19.08.2016	579163	182645	0.072	0.034	1.2	-	-	-
Cryo#5.3 (30-125 cm)	Lac Péroilles	17-19.08.2016	579163	182645	0.186	0.093	1.5	-	-	-
Cryo#7.1 (0-15 cm)	Lac Péroilles	17-19.08.2016	578968	182834	0.45636	0.033	0.8	-	-	0.113
Cryo#7.2 (15-30 cm)	Lac Péroilles	17-19.08.2016	578968	182834	0.88548	0.084	1.2	-	-	0.118
Cryo#7.3 (30-60 cm)	Lac Péroilles	17-19.08.2016	578968	182834	0.97587	0.044	1.1	-	-	0.583
Cryo#7.4 (60-115 cm)	Lac Péroilles	17-19.08.2016	578968	182834	0.81561	0.047	0.6	-	-	0.638
Cryo#8.1 (0-15 cm)	Lac Péroilles	17-19.08.2016	578242	182145	0.0279	0.010	0.3	-	-	0.002
Cryo#8.2 (15-30 cm)	Lac Péroilles	17-19.08.2016	578242	182145	0.012	0.004	0.2	-	-	0.008
Cryo#8.3 (30-60 cm)	Lac Péroilles	17-19.08.2016	578242	182145	0.0141	0.010	0.4	-	-	0.108
Cryo#8.4 (60-120 cm)	Lac Péroilles	17-19.08.2016	578242	182145	0.042	0.032	0.7	-	-	0.146
Cryo#6	Lac Péroilles	17-19.08.2016	578959	182740	-	-	-	-	-	-

- Pas de mesure

Catégorie de mésogranulométrie

- 1) sédiments fins < 2 mm
- 2) graviers fins 2 mm - 2 cm
- 3) galets 2 - 100 cm

S# sédiment de surface 0-15 cm  
Cryo# sédiment carottage cryogénique  
G# site associé à une analyse de la granulométrie

**Annexe 2.1.3.1 – 1**

**Résultats d'analyses Wessling  
Sédiments de surface**

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Monsieur Sébastien Paratte  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-02798-16  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 31.08.2016**

## Rapport no. ULS16-004470-4

**Boîtes MES Juin 2016, FR2706.16, Fribourg**



S SCHWEIZERISCHER PRÜFSTELLENDIENST  
T SERVICE SUISSE D'ESSAI  
S SERVIZIO DI PROVA IN SVIZZERA  
SWISS TESTING SERVICE

ISO/IEC 17025:2005 - STS Nr. 092

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS16-004470-4  
Lyss, le 31.08.2016

Désignation d'échantillon			S#1	S#2	S#3	S#4
N° d'échantillon	Unité	LQ	16-118129-01	16-118129-02	16-118129-03	16-118129-04

#### Propriétés générales

Matière sèche	% MB	0.1	95	96	85	94
---------------	------	-----	----	----	----	----

#### Préparation

Quantité totale avant séchage	g		9160	7400	4020	6300
Quantité totale après séchage	g		8663.5	7065.9	3406.2	5904.2
Partie fine < 2mm	g		5391	3658.2	2089.7	2517.2
Partie > 2 mm	g		3268	3406.3	1313.9	3384.7

#### Paramètres organiques globaux

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	9600	12000	5700	1000
-------------------------------	----------	------	------	-------	------	------

#### Mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen

##### *PCB nach BAFU F-12*

PCB Nr. 28	mg/kg TS	0.002	<0,002	<0,002	0.0024
PCB Nr. 52	mg/kg TS	0.002	0.0074	0.0052	0.019
PCB Nr. 101	mg/kg TS	0.002	0.0095	0.014	0.031
PCB Nr. 118	mg/kg TS	0.002	0.0053	0.017	0.039
PCB Nr. 138	mg/kg TS	0.002	0.0053	0.023	0.043
PCB Nr. 153	mg/kg TS	0.002	0.0032	0.015	0.028
PCB Nr. 180	mg/kg TS	0.002	<0,002	0.0042	0.0035
<b>Summe der 6 PCB</b>	<b>mg/kg TS</b>	<b>0.01</b>	<b>0.025</b>	<b>0.061</b>	<b>0.13</b>
<b>Summe der 7 PCB</b>	<b>mg/kg TS</b>	<b>0.01</b>	<b>0.031</b>	<b>0.077</b>	<b>0.17</b>
<b>PCB gesamt (Summe 6 PCB x 4,3)</b>	<b>mg/kg TS</b>	<b>0.01</b>	<b>0.11</b>	<b>0.26</b>	<b>0.54</b>

##### *Dioxinähnliche PCB*

PCB Nr. 118	ng/kg TS	200			2200
PCB Nr. 28	ng/kg TS	200			<200
PCB Nr. 52	ng/kg TS	400			800
PCB Nr. 101	ng/kg TS	400			1400
PCB Nr. 138	ng/kg TS	400			1800
PCB Nr. 153	ng/kg TS	400			1500
PCB Nr. 180	ng/kg TS	400			<400

Rapport no. ULS16-004470-4  
Lyss, le 31.08.2016

Désignation d'échantillon			S#5	S#6	S#7	S#8
N° d'échantillon	Unité	LQ	16-118129-05	16-118129-06	16-118129-07	16-118129-08

#### Propriétés générales

Matière sèche	% MB	0.1	90	95	97	95
---------------	------	-----	----	----	----	----

#### Préparation

Quantité totale avant séchage	g		5400	6160	5960	4800
Quantité totale après séchage	g		4869.8	5838.7	5777.1	4562
Partie fine < 2mm	g		1165.1	1113.6	1678.2	1453
Partie > 2 mm	g		3698.3	4721.2	4096.6	3105.7

#### Paramètres organiques globaux

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	8200	8100	3000	5200
-------------------------------	----------	------	------	------	------	------

#### Mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen

##### *PCB nach BAFU F-12*

PCB Nr. 28	mg/kg TS	0.002			<0,002	<0,002
PCB Nr. 52	mg/kg TS	0.002			0.01	0.011
PCB Nr. 101	mg/kg TS	0.002			0.0093	0.0084
PCB Nr. 118	mg/kg TS	0.002			0.0072	0.0095
PCB Nr. 138	mg/kg TS	0.002			0.0062	0.0074
PCB Nr. 153	mg/kg TS	0.002			0.0052	0.0053
PCB Nr. 180	mg/kg TS	0.002			<0,002	<0,002
<b>Summe der 6 PCB</b>	<b>mg/kg TS</b>	<b>0.01</b>			<b>0.031</b>	<b>0.032</b>
<b>Summe der 7 PCB</b>	<b>mg/kg TS</b>	<b>0.01</b>			<b>0.038</b>	<b>0.041</b>
<b>PCB gesamt (Summe 6 PCB x 4,3)</b>	<b>mg/kg TS</b>	<b>0.01</b>			<b>0.13</b>	<b>0.14</b>

##### *Dioxinähnliche PCB*

PCB Nr. 118	ng/kg TS	200	640	7700		
PCB Nr. 28	ng/kg TS	200	<200	2900		
PCB Nr. 52	ng/kg TS	400	510	8200		
PCB Nr. 101	ng/kg TS	400	900	5900		
PCB Nr. 138	ng/kg TS	400	1000	3900		
PCB Nr. 153	ng/kg TS	400	1100	3200		
PCB Nr. 180	ng/kg TS	400	430	590		

Rapport no. ULS16-004470-4  
Lyss, le 31.08.2016

Désignation d'échantillon			S#9	S#10	S#11	S#12
N° d'échantillon	Unité	LQ	16-118129-09	16-118129-10	16-118129-11	16-118129-12

#### Propriétés générales

Matière sèche	% MB	0.1	95	94	92	94
---------------	------	-----	----	----	----	----

#### Préparation

Quantité totale avant séchage	g		6040	5080	5780	4840
Quantité totale après séchage	g		5759	4790.8	5330.3	4539.4
Partie fine < 2mm	g		1842.4	965.2	1975.9	2073.5
Partie > 2 mm	g		3914.4	3824.9	3353.5	2465.2

#### Paramètres organiques globaux

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	5900	5900	6300	9200
-------------------------------	----------	------	------	------	------	------

#### Mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen

##### *PCB nach BAFU F-12*

PCB Nr. 28	mg/kg TS	0.002				0.0032
PCB Nr. 52	mg/kg TS	0.002				0.035
PCB Nr. 101	mg/kg TS	0.002				0.036
PCB Nr. 118	mg/kg TS	0.002				0.043
PCB Nr. 138	mg/kg TS	0.002				0.052
PCB Nr. 153	mg/kg TS	0.002				0.033
PCB Nr. 180	mg/kg TS	0.002				0.0043
<b>Summe der 6 PCB</b>	<b>mg/kg TS</b>	<b>0.01</b>				<b>0.16</b>
<b>Summe der 7 PCB</b>	<b>mg/kg TS</b>	<b>0.01</b>				<b>0.21</b>
<b>PCB gesamt (Summe 6 PCB x 4,3)</b>	<b>mg/kg TS</b>	<b>0.01</b>				<b>0.71</b>

##### *Dioxinähnliche PCB*

PCB Nr. 118	ng/kg TS	200	10000	72000	43000	
PCB Nr. 28	ng/kg TS	200	1400	3300	2800	
PCB Nr. 52	ng/kg TS	400	5300	27000	11000	
PCB Nr. 101	ng/kg TS	400	7400	52000	22000	
PCB Nr. 138	ng/kg TS	400	5900	48000	21000	
PCB Nr. 153	ng/kg TS	400	4900	36000	16000	
PCB Nr. 180	ng/kg TS	400	770	5500	2500	

Rapport no. ULS16-004470-4  
Lyss, le 31.08.2016

Désignation d'échantillon			S#13	S#14	S#15	S#16
N° d'échantillon	Unité	LQ	16-118129-13	16-118129-14	16-118129-15	16-118129-16

#### Propriétés générales

Matière sèche	% MB	0.1	93	95	94	83
---------------	------	-----	----	----	----	----

#### Préparation

Quantité totale avant séchage	g		5100	6000	5200	4440
Quantité totale après séchage	g		4721	5687.6	4876.3	3674.7
Partie fine < 2mm	g		2125.1	2073.8	1593.1	2394
Partie > 2 mm	g		2595.8	3607.6	3280.9	1278.1

#### Paramètres organiques globaux

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	12000	4000	2000	4000
-------------------------------	----------	------	-------	------	------	------

#### Mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen

##### *PCB nach BAFU F-12*

PCB Nr. 28	mg/kg TS	0.002	0.0054	<0,002		0.0024
PCB Nr. 52	mg/kg TS	0.002	0.024	0.0095		0.025
PCB Nr. 101	mg/kg TS	0.002	0.025	0.016		0.054
PCB Nr. 118	mg/kg TS	0.002	0.03	0.023		0.066
PCB Nr. 138	mg/kg TS	0.002	0.032	0.023		0.13
PCB Nr. 153	mg/kg TS	0.002	0.023	0.016		0.1
PCB Nr. 180	mg/kg TS	0.002	0.0022	<0,002		0.037
<b>Summe der 6 PCB</b>	<b>mg/kg TS</b>	<b>0.01</b>	<b>0.11</b>	<b>0.064</b>		<b>0.36</b>
<b>Summe der 7 PCB</b>	<b>mg/kg TS</b>	<b>0.01</b>	<b>0.14</b>	<b>0.088</b>		<b>0.42</b>
<b>PCB gesamt (Summe 6 PCB x 4,3)</b>	<b>mg/kg TS</b>	<b>0.01</b>	<b>0.48</b>	<b>0.28</b>		<b>1.5</b>

##### *Dioxinähnliche PCB*

PCB Nr. 118	ng/kg TS	200			66000	
PCB Nr. 28	ng/kg TS	200			2800	
PCB Nr. 52	ng/kg TS	400			15000	
PCB Nr. 101	ng/kg TS	400			37000	
PCB Nr. 138	ng/kg TS	400			41000	
PCB Nr. 153	ng/kg TS	400			32000	
PCB Nr. 180	ng/kg TS	400			4800	

Rapport no. ULS16-004470-4  
Lyss, le 31.08.2016

Désignation d'échantillon			S#17	S#18 Amont Pila	S#19 Amont Passerelle	S#20 Aval Pila
N° d'échantillon	Unité	LQ	16-118129-17	16-118129-18	16-118129-19	16-118129-20

#### Propriétés générales

Matière sèche	% MB	0.1	90	87	88	93
---------------	------	-----	----	----	----	----

#### Préparation

Quantité totale avant séchage	g		5700	6860	7200	7680
Quantité totale après séchage	g		5131.6	5942.5	6305	7142.2
Partie fine < 2mm	g		4225.9	2029.7	2669.1	1107.5
Partie > 2 mm	g		900.5	3911.2	3635.6	6031.7

#### Paramètres organiques globaux

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	5400	7900	5700	4000
-------------------------------	----------	------	------	------	------	------

#### Mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen

##### *PCB nach BAFU F-12*

PCB Nr. 28	mg/kg TS	0.002	0.0022			
PCB Nr. 52	mg/kg TS	0.002	0.017			
PCB Nr. 101	mg/kg TS	0.002	0.017			
PCB Nr. 118	mg/kg TS	0.002	0.018			
PCB Nr. 138	mg/kg TS	0.002	0.019			
PCB Nr. 153	mg/kg TS	0.002	0.013			
PCB Nr. 180	mg/kg TS	0.002	<0,002			
<b>Summe der 6 PCB</b>	<b>mg/kg TS</b>	<b>0.01</b>	<b>0.068</b>			
<b>Summe der 7 PCB</b>	<b>mg/kg TS</b>	<b>0.01</b>	<b>0.086</b>			
<b>PCB gesamt (Summe 6 PCB x 4,3)</b>	<b>mg/kg TS</b>	<b>0.01</b>	<b>0.29</b>			

##### *Dioxinähnliche PCB*

PCB Nr. 118	ng/kg TS	200		340	23000	4000
PCB Nr. 28	ng/kg TS	200		<200	2700	1100
PCB Nr. 52	ng/kg TS	400		1000	13000	4700
PCB Nr. 101	ng/kg TS	400		670	16000	4300
PCB Nr. 138	ng/kg TS	400		<400	12000	1800
PCB Nr. 153	ng/kg TS	400		<400	9700	1600
PCB Nr. 180	ng/kg TS	400		<400	1700	<400

Rapport no. ULS16-004470-4  
Lyss, le 31.08.2016

Désignation d'échantillon			S#21	S#22	S#23	S#24
N° d'échantillon	Unité	LQ	16-118129-21	16-118129-22	16-118129-23	16-118129-24

**Propriétés générales**

Matière sèche	% MB	0.1	89	96	86	95
---------------	------	-----	----	----	----	----

**Préparation**

Quantité totale avant séchage	g		4760	5340	5160	5040
Quantité totale après séchage	g		4241.5	5099	4442.2	4800.3
Partie fine < 2mm	g		1916.9	1604.5	3821.5	2570.3
Partie > 2 mm	g		2327.9	3492.3	611.8	2228.1

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	3000	6200	3100	5200
-------------------------------	----------	------	------	------	------	------

**Mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen**

**PCB nach BAFU F-12**

PCB Nr. 28	mg/kg TS	0.002				
PCB Nr. 52	mg/kg TS	0.002				
PCB Nr. 101	mg/kg TS	0.002				
PCB Nr. 118	mg/kg TS	0.002				
PCB Nr. 138	mg/kg TS	0.002				
PCB Nr. 153	mg/kg TS	0.002				
PCB Nr. 180	mg/kg TS	0.002				
<b>Summe der 6 PCB</b>	<b>mg/kg TS</b>	<b>0.01</b>				
<b>Summe der 7 PCB</b>	<b>mg/kg TS</b>	<b>0.01</b>				
<b>PCB gesamt (Summe 6 PCB x 4,3)</b>	<b>mg/kg TS</b>	<b>0.01</b>				

**Dioxinähnliche PCB**

PCB Nr. 118	ng/kg TS	200	2600	430	<200	<200
PCB Nr. 28	ng/kg TS	200	330	<200	<200	<200
PCB Nr. 52	ng/kg TS	400	1600	620	<200	<200
PCB Nr. 101	ng/kg TS	400	2500	530	<200	<200
PCB Nr. 138	ng/kg TS	400	1700	<400	<400	<400
PCB Nr. 153	ng/kg TS	400	1500	<400	<400	<400
PCB Nr. 180	ng/kg TS	400	<400	<400	<400	<400

Rapport no. ULS16-004470-4  
Lyss, le 31.08.2016

Désignation d'échantillon			S#25	S#26	S#27	S#28
N° d'échantillon	Unité	LQ	16-118129-25	16-118129-26	16-118129-27	16-118129-28

**Propriétés générales**

Matière sèche	% MB	0.1	94	79	79	92
---------------	------	-----	----	----	----	----

**Préparation**

Quantité totale avant séchage	g		5940	5180	5940	4720
Quantité totale après séchage	g		5575.5	4090.8	4668.1	4359.6
Partie fine < 2mm	g		1357	3381.9	3970.4	2046
Partie > 2 mm	g		4216.8	699.9	697.6	2311.2

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	4000	<1000	3100	4100
-------------------------------	----------	------	------	-------	------	------

**Mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen**

*PCB nach BAFU F-12*

PCB Nr. 28	mg/kg TS	0.002				
PCB Nr. 52	mg/kg TS	0.002				
PCB Nr. 101	mg/kg TS	0.002				
PCB Nr. 118	mg/kg TS	0.002				
PCB Nr. 138	mg/kg TS	0.002				
PCB Nr. 153	mg/kg TS	0.002				
PCB Nr. 180	mg/kg TS	0.002				
<b>Summe der 6 PCB</b>	<b>mg/kg TS</b>	<b>0.01</b>				
<b>Summe der 7 PCB</b>	<b>mg/kg TS</b>	<b>0.01</b>				
<b>PCB gesamt (Summe 6 PCB x 4,3)</b>	<b>mg/kg TS</b>	<b>0.01</b>				

*Dioxinähnliche PCB*

PCB Nr. 118	ng/kg TS	200	830	510	380	<200
PCB Nr. 28	ng/kg TS	200	570	<200	<200	<200
PCB Nr. 52	ng/kg TS	400	1300	410	340	220
PCB Nr. 101	ng/kg TS	400	1000	500	400	<200
PCB Nr. 138	ng/kg TS	400	<400	<400	<400	<400
PCB Nr. 153	ng/kg TS	400	<400	<400	<400	<400
PCB Nr. 180	ng/kg TS	400	<400	<400	<400	<400

Rapport no. ULS16-004470-4  
Lyss, le 31.08.2016

Désignation d'échantillon			S#29	S#30	S#31	S#32
N° d'échantillon	Unité	LQ	16-118129-29	16-118129-30	16-118129-31	16-118129-32

#### Propriétés générales

Matière sèche	% MB	0.1	95	91	89	85
---------------	------	-----	----	----	----	----

#### Préparation

Quantité totale avant séchage	g		5100	5880	5940	5260
Quantité totale après séchage	g		4846.1	5356.2	5279	4491.4
Partie fine < 2mm	g		1030.5	2423.5	1962.3	1923.6
Partie > 2 mm	g		3811	2931.1	3315.4	2567.2

#### Paramètres organiques globaux

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	2700	2400	<1000	1800
-------------------------------	----------	------	------	------	-------	------

#### Mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen

##### *PCB nach BAFU F-12*

PCB Nr. 28	mg/kg TS	0.002				
PCB Nr. 52	mg/kg TS	0.002				
PCB Nr. 101	mg/kg TS	0.002				
PCB Nr. 118	mg/kg TS	0.002				
PCB Nr. 138	mg/kg TS	0.002				
PCB Nr. 153	mg/kg TS	0.002				
PCB Nr. 180	mg/kg TS	0.002				
<b>Summe der 6 PCB</b>	<b>mg/kg TS</b>	<b>0.01</b>				
<b>Summe der 7 PCB</b>	<b>mg/kg TS</b>	<b>0.01</b>				
<b>PCB gesamt (Summe 6 PCB x 4,3)</b>	<b>mg/kg TS</b>	<b>0.01</b>				

##### *Dioxinähnliche PCB*

PCB Nr. 118	ng/kg TS	200	<200	<200	360	380
PCB Nr. 28	ng/kg TS	200	<200	<200	210	310
PCB Nr. 52	ng/kg TS	400	<200	<200	400	400
PCB Nr. 101	ng/kg TS	400	<200	<200	380	370
PCB Nr. 138	ng/kg TS	400	<400	<400	<400	<400
PCB Nr. 153	ng/kg TS	400	<400	<400	<400	<400
PCB Nr. 180	ng/kg TS	400	<400	<400	<400	<400

Rapport no. ULS16-004470-4  
Lyss, le 31.08.2016

Désignation d'échantillon			S#33	S#34	S#35	S#36
N° d'échantillon	Unité	LQ	16-118129-33	16-118129-34	16-118129-35	16-118129-36

**Propriétés générales**

Matière sèche	% MB	0.1	86	82	93	96
---------------	------	-----	----	----	----	----

**Préparation**

Quantité totale avant séchage	g		5620	5660	4560	5260
Quantité totale après séchage	g		4833.2	4665.9	4225.1	5038.1
Partie fine < 2mm	g		2161.5	3039.1	1198.8	5030.1
Partie > 2 mm	g		2670	1624.8	3026	6.9

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	2200	4300	4900	4700
-------------------------------	----------	------	------	------	------	------

**Mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen**

**PCB nach BAFU F-12**

PCB Nr. 28	mg/kg TS	0.002				
PCB Nr. 52	mg/kg TS	0.002				
PCB Nr. 101	mg/kg TS	0.002				
PCB Nr. 118	mg/kg TS	0.002				
PCB Nr. 138	mg/kg TS	0.002				
PCB Nr. 153	mg/kg TS	0.002				
PCB Nr. 180	mg/kg TS	0.002				
<b>Summe der 6 PCB</b>	<b>mg/kg TS</b>	<b>0.01</b>				
<b>Summe der 7 PCB</b>	<b>mg/kg TS</b>	<b>0.01</b>				
<b>PCB gesamt (Summe 6 PCB x 4,3)</b>	<b>mg/kg TS</b>	<b>0.01</b>				

**Dioxinähnliche PCB**

PCB Nr. 118	ng/kg TS	200	280	490	1100	350
PCB Nr. 28	ng/kg TS	200	250	380	400	<200
PCB Nr. 52	ng/kg TS	400	510	520	660	420
PCB Nr. 101	ng/kg TS	400	430	500	980	400
PCB Nr. 138	ng/kg TS	400	<400	<400	730	<400
PCB Nr. 153	ng/kg TS	400	<400	<400	640	<400
PCB Nr. 180	ng/kg TS	400	<400	<400	<400	<400

Rapport no. ULS16-004470-4  
Lyss, le 31.08.2016

Désignation d'échantillon			S#37	S#38	S#39 M6 Pont Péroles	S#40 M5 Invua
N° d'échantillon	Unité	LQ	16-118129-37	16-118129-38	16-118129-39	16-118129-40

#### Propriétés générales

Matière sèche	% MB	0.1	74	69	78	88
---------------	------	-----	----	----	----	----

#### Préparation

Quantité totale avant séchage	g		5780	6140	5880	9360
Quantité totale après séchage	g		4264.8	4210.6	4578.4	8274.7
Partie fine < 2mm	g		4258.8	4052.2	2399.1	1976.7
Partie > 2 mm	g		1.6	153.4	2175	6290.9

#### Paramètres organiques globaux

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	6000	5000	4000	4100
-------------------------------	----------	------	------	------	------	------

#### Mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen

##### *PCB nach BAFU F-12*

PCB Nr. 28	mg/kg TS	0.002				
PCB Nr. 52	mg/kg TS	0.002				
PCB Nr. 101	mg/kg TS	0.002				
PCB Nr. 118	mg/kg TS	0.002				
PCB Nr. 138	mg/kg TS	0.002				
PCB Nr. 153	mg/kg TS	0.002				
PCB Nr. 180	mg/kg TS	0.002				
<b>Summe der 6 PCB</b>	<b>mg/kg TS</b>	<b>0.01</b>				
<b>Summe der 7 PCB</b>	<b>mg/kg TS</b>	<b>0.01</b>				
<b>PCB gesamt (Summe 6 PCB x 4,3)</b>	<b>mg/kg TS</b>	<b>0.01</b>				

##### *Dioxinähnliche PCB*

PCB Nr. 118	ng/kg TS	200	780	1400	570	1300
PCB Nr. 28	ng/kg TS	200	270	360	<200	<200
PCB Nr. 52	ng/kg TS	400	820	990	490	780
PCB Nr. 101	ng/kg TS	400	810	1200	530	1000
PCB Nr. 138	ng/kg TS	400	530	1100	520	760
PCB Nr. 153	ng/kg TS	400	480	1000	480	630
PCB Nr. 180	ng/kg TS	400	<400	<400	<400	<400

Rapport no. ULS16-004470-4  
Lyss, le 31.08.2016

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-118129-01	16-118129-02	16-118129-03	16-118129-04	16-118129-01-1
Date de réception:	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016
<b>Désignation</b>	<b>S#1</b>	<b>S#2</b>	<b>S#3</b>	<b>S#4</b>	<b>S#1</b>
Type d'échantillons:	Matières solides	Matières solides	Matières solides	Matières solides	Matières solides
Prélèvement:	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016
Prélèvement par:	SD INGENIEURS SSD INGENIEURS SSD INGENIEURS SSD INGENIEURS SSD INGENIEURS S				
Récipient:	0kg Plastikeimer w€				
Nombre de récipients:	1	1	1	1	1
Début des analyses:	27.07.2016	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016
Echantillon-n°	16-118129-02-1	16-118129-03-1	16-118129-04-1	16-118129-05	16-118129-06
Date de réception:	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016
<b>Désignation</b>	<b>S#2</b>	<b>S#3</b>	<b>S#4</b>	<b>S#5</b>	<b>S#6</b>
Type d'échantillons:	Matières solides	Matières solides	Matières solides	Matières solides	Matières solides
Prélèvement:	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016
Prélèvement par:	SD INGENIEURS SSD INGENIEURS SSD INGENIEURS SSD INGENIEURS SSD INGENIEURS S				
Récipient:	0kg Plastikeimer w€				
Nombre de récipients:	1	1	1	1	1
Début des analyses:	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016
Echantillon-n°	16-118129-07	16-118129-08	16-118129-09	16-118129-10	16-118129-11
Date de réception:	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016
<b>Désignation</b>	<b>S#7</b>	<b>S#8</b>	<b>S#9</b>	<b>S#10</b>	<b>S#11</b>
Type d'échantillons:	Matières solides	Matières solides	Matières solides	Matières solides	Matières solides
Prélèvement:	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016
Prélèvement par:	SD INGENIEURS SSD INGENIEURS SSD INGENIEURS SSD INGENIEURS SSD INGENIEURS S				
Récipient:	0kg Plastikeimer w€				
Nombre de récipients:	1	1	1	1	1
Début des analyses:	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016
Echantillon-n°	16-118129-12	16-118129-13	16-118129-14	16-118129-15	16-118129-16
Date de réception:	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016
<b>Désignation</b>	<b>S#12</b>	<b>S#13</b>	<b>S#14</b>	<b>S#15</b>	<b>S#16</b>
Type d'échantillons:	Matières solides	Matières solides	Matières solides	Matières solides	Matières solides
Prélèvement:	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016
Prélèvement par:	SD INGENIEURS SSD INGENIEURS SSD INGENIEURS SSD INGENIEURS SSD INGENIEURS S				
Récipient:	0kg Plastikeimer w€				
Nombre de récipients:	1	1	1	1	1
Début des analyses:	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016
Echantillon-n°	16-118129-17	16-118129-18	16-118129-19	16-118129-20	16-118129-21
Date de réception:	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016
<b>Désignation</b>	<b>S#17</b>	<b>S#18 Amont Pila</b>	<b>S#19 Amont Passerelle</b>	<b>S#20 Aval Pila</b>	<b>S#21</b>
Type d'échantillons:	Matières solides	Matières solides	Matières solides	Matières solides	Matières solides
Prélèvement:	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016
Prélèvement par:	SD INGENIEURS SSD INGENIEURS SSD INGENIEURS SSD INGENIEURS SSD INGENIEURS S				
Récipient:	0kg Plastikeimer w€				
Nombre de récipients:	1	1	1	1	1
Début des analyses:	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016
Echantillon-n°	16-118129-22	16-118129-23	16-118129-24	16-118129-25	16-118129-26
Date de réception:	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016
<b>Désignation</b>	<b>S#22</b>	<b>S#23</b>	<b>S#24</b>	<b>S#25</b>	<b>S#26</b>
Type d'échantillons:	Matières solides	Matières solides	Matières solides	Matières solides	Matières solides
Prélèvement:	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016
Prélèvement par:	SD INGENIEURS SSD INGENIEURS SSD INGENIEURS SSD INGENIEURS SSD INGENIEURS S				
Récipient:	0kg Plastikeimer w€				
Nombre de récipients:	1	1	1	1	1
Début des analyses:	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016
Echantillon-n°	16-118129-27	16-118129-28	16-118129-29	16-118129-30	16-118129-31
Date de réception:	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016
<b>Désignation</b>	<b>S#27</b>	<b>S#28</b>	<b>S#29</b>	<b>S#30</b>	<b>S#31</b>

**Rapport no. ULS16-004470-4**  
**Lyss, le 31.08.2016**

Type d'échantillons:	Matières solides	Matières solides	Matières solides	Matières solides	Matières solides
Prélèvement:	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016
Prélèvement par:	SD INGENIEURS	SSD INGENIEURS	SSD INGENIEURS	SSD INGENIEURS	SSD INGENIEURS
Récipient:	0kg Plastikeimer w€	0kg Plastikeimer w€	0kg Plastikeimer w€	0kg Plastikeimer w€	0kg Plastikeimer w€
Nombre de récipients:	1	1	1	1	1
Début des analyses:	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016
Echantillon-n°	16-118129-32	16-118129-33	16-118129-34	16-118129-35	16-118129-36
Date de réception:	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016
Désignation	<b>S#32</b>	<b>S#33</b>	<b>S#34</b>	<b>S#35</b>	<b>S#36</b>
Type d'échantillons:	Matières solides	Matières solides	Matières solides	Matières solides	Matières solides
Prélèvement:	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016
Prélèvement par:	SD INGENIEURS	SSD INGENIEURS	SSD INGENIEURS	SSD INGENIEURS	SSD INGENIEURS
Récipient:	0kg Plastikeimer w€	0kg Plastikeimer w€	0kg Plastikeimer w€	0kg Plastikeimer w€	0kg Plastikeimer w€
Nombre de récipients:	1	1	1	1	1
Début des analyses:	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016
Echantillon-n°	16-118129-37	16-118129-38	16-118129-39	16-118129-40	16-118129-05-1
Date de réception:	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016
Désignation	<b>S#37</b>	<b>S#38</b>	<b>S#39 M6 Pont</b>	<b>S#40 M5 Invua</b>	<b>S#5</b>
			<b>Pérolles</b>		
Type d'échantillons:	Matières solides	Matières solides	Matières solides	Matières solides	Matières solides
Prélèvement:	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016
Prélèvement par:	SD INGENIEURS	SSD INGENIEURS	SSD INGENIEURS	SSD INGENIEURS	SSD INGENIEURS
Récipient:	0kg Plastikeimer w€	0kg Plastikeimer w€	0kg Plastikeimer w€	0kg Plastikeimer w€	0kg Plastikeimer w€
Nombre de récipients:	1	1	1	1	1
Début des analyses:	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016
Echantillon-n°	16-118129-06-1	16-118129-07-1	16-118129-08-1	16-118129-09-1	16-118129-10-1
Date de réception:	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016
Désignation	<b>S#6</b>	<b>S#7</b>	<b>S#8</b>	<b>S#9</b>	<b>S#10</b>
Type d'échantillons:	Matières solides	Matières solides	Matières solides	Matières solides	Matières solides
Prélèvement:	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016
Prélèvement par:	SD INGENIEURS	SSD INGENIEURS	SSD INGENIEURS	SSD INGENIEURS	SSD INGENIEURS
Récipient:	0kg Plastikeimer w€	0kg Plastikeimer w€	0kg Plastikeimer w€	0kg Plastikeimer w€	0kg Plastikeimer w€
Nombre de récipients:	1	1	1	1	1
Début des analyses:	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016
Echantillon-n°	16-118129-11-1	16-118129-12-1	16-118129-13-1	16-118129-14-1	16-118129-15-1
Date de réception:	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016
Désignation	<b>S#11</b>	<b>S#12</b>	<b>S#13</b>	<b>S#14</b>	<b>S#15</b>
Type d'échantillons:	Matières solides	Matières solides	Matières solides	Matières solides	Matières solides
Prélèvement:	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016
Prélèvement par:	SD INGENIEURS	SSD INGENIEURS	SSD INGENIEURS	SSD INGENIEURS	SSD INGENIEURS
Récipient:	0kg Plastikeimer w€	0kg Plastikeimer w€	0kg Plastikeimer w€	0kg Plastikeimer w€	0kg Plastikeimer w€
Nombre de récipients:	1	1	1	1	1
Début des analyses:	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016
Echantillon-n°	16-118129-16-1	16-118129-17-1	16-118129-18-1	16-118129-19-1	16-118129-20-1
Date de réception:	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016
Désignation	<b>S#16</b>	<b>S#17</b>	<b>S#18 Amont Pila</b>	<b>S#19 Amont</b>	<b>S#20 Aval Pila</b>
				<b>Passerelle</b>	
Type d'échantillons:	Matières solides	Matières solides	Matières solides	Matières solides	Matières solides
Prélèvement:	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016
Prélèvement par:	SD INGENIEURS	SSD INGENIEURS	SSD INGENIEURS	SSD INGENIEURS	SSD INGENIEURS
Récipient:	0kg Plastikeimer w€	0kg Plastikeimer w€	0kg Plastikeimer w€	0kg Plastikeimer w€	0kg Plastikeimer w€
Nombre de récipients:	1	1	1	1	1
Début des analyses:	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016
Echantillon-n°	16-118129-21-1	16-118129-22-1	16-118129-23-1	16-118129-24-1	16-118129-25-1
Date de réception:	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016
Désignation	<b>S#21</b>	<b>S#22</b>	<b>S#23</b>	<b>S#24</b>	<b>S#25</b>
Type d'échantillons:	Matières solides	Matières solides	Matières solides	Matières solides	Matières solides
Prélèvement:	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016
Prélèvement par:	SD INGENIEURS	SSD INGENIEURS	SSD INGENIEURS	SSD INGENIEURS	SSD INGENIEURS
Récipient:	0kg Plastikeimer w€	0kg Plastikeimer w€	0kg Plastikeimer w€	0kg Plastikeimer w€	0kg Plastikeimer w€
Nombre de récipients:	1	1	1	1	1

**Rapport no. ULS16-004470-4**  
**Lyss, le 31.08.2016**

Début des analyses:	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016
Echantillon-n°	16-118129-26-1	16-118129-27-1	16-118129-28-1	16-118129-29-1	16-118129-30-1
Date de réception:	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016
<b>Désignation</b>	<b>S#26</b>	<b>S#27</b>	<b>S#28</b>	<b>S#29</b>	<b>S#30</b>
Type d'échantillons:	Matières solides	Matières solides	Matières solides	Matières solides	Matières solides
Prélèvement:	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016
Prélèvement par:	SD INGENIEURS	SSD INGENIEURS	SSD INGENIEURS	SSD INGENIEURS	SSD INGENIEURS
Début des analyses:	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016
Echantillon-n°	16-118129-31-1	16-118129-32-1	16-118129-33-1	16-118129-34-1	16-118129-35-1
Date de réception:	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016
<b>Désignation</b>	<b>S#31</b>	<b>S#32</b>	<b>S#33</b>	<b>S#34</b>	<b>S#35</b>
Type d'échantillons:	Matières solides	Matières solides	Matières solides	Matières solides	Matières solides
Prélèvement:	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016
	CSD	CSD	CSD	CSD	CSD
Prélèvement par:	INGENIEURS SA	INGENIEURS SA	INGENIEURS SA	INGENIEURS SA	INGENIEURS SA
Début des analyses:	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016
Echantillon-n°	16-118129-36-1	16-118129-37-1	16-118129-38-1	16-118129-39-1	16-118129-40-1
Date de réception:	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016
<b>Désignation</b>	<b>S#36</b>	<b>S#37</b>	<b>S#38</b>	<b>S#39 M6 Pont</b> <b>Pérolles</b>	<b>S#40 M5 Invua</b>
Type d'échantillons:	Matières solides	Matières solides	Matières solides	Matières solides	Matières solides
Prélèvement:	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016	29.06.2016
	CSD	CSD	CSD	CSD	CSD
Prélèvement par:	INGENIEURS SA	INGENIEURS SA	INGENIEURS SA	INGENIEURS SA	INGENIEURS SA
Début des analyses:	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016

## Méthodes

### Paramètres

Matières sèches  
 Carbone organique total sur mat. solide (combustion sèche)  
 Tamisage de solides  
 PCB - Méth. interne HAP-PCB adaptée de

### Norme

DIN ISO 11465<sup>A</sup>  
 DIN ISO 10694 mod.<sup>A</sup>  
 DIN ISO 11464<sup>A</sup>  
 DIN ISO 10382<sup>A</sup>

### Laboratoire

Laboratoire Lyss CH (CH)  
 Laboratoire Lyss CH (CH)  
 Laboratoire Lyss CH (CH)  
 Laboratoire Lyss CH (CH)

MB = matière brute  
 MS = matière sèche  
 LQ = limite de quantification  
 E/L = eau / lixiviat

---

Heinrich Kalt  
 Directeur, Dr. rer. nat

Rapport no. ULS16-004470-4  
Lyss, le 31.08.2016

## Informations sur les

Echantillon-n°  
Date de réception:  
**Désignation**  
Type d'échantillons:  
Prélèvement:  
Prélèvement par: A  
Récipient: iiss  
Nombre de récipients:  
Début des analyses:

Echantillon-n°  
Date de réception:  
**Désignation**  
Type d'échantillons:  
Prélèvement:  
Prélèvement par: A  
Récipient: iiss  
Nombre de récipients:  
Début des analyses:

Echantillon-n°  
Date de réception:  
**Désignation**  
Type d'échantillons:  
Prélèvement:  
Prélèvement par: A  
Récipient: iiss  
Nombre de récipients:  
Début des analyses:

Echantillon-n°  
Date de réception:  
**Désignation**  
Type d'échantillons:  
Prélèvement:  
Prélèvement par: A  
Récipient: iiss  
Nombre de récipients:  
Début des analyses:

Echantillon-n°  
Date de réception:  
**Désignation**  
Type d'échantillons:  
Prélèvement:  
Prélèvement par: A  
Récipient: iiss  
Nombre de récipients:  
Début des analyses:

Echantillon-n°  
Date de réception:  
**Désignation**  
Type d'échantillons:  
Prélèvement:  
Prélèvement par: A  
Récipient: iiss  
Nombre de récipients:  
Début des analyses:

Echantillon-n°  
Date de réception:  
**Désignation**

Rapport no. ULS16-004470-4  
Lyss, le 31.08.2016

Type d'échantillons:  
Prélèvement:  
Prélèvement par: A  
Récipient: iiss  
Nombre de récipients:  
Début des analyses:

Echantillon-n°  
Date de réception:  
**Désignation**  
Type d'échantillons:  
Prélèvement:  
Prélèvement par: A  
Récipient: iiss  
Nombre de récipients:  
Début des analyses:

Echantillon-n°  
Date de réception:  
**Désignation**

Type d'échantillons:  
Prélèvement:  
Prélèvement par: A  
Récipient: iiss  
Nombre de récipients:  
Début des analyses:

Echantillon-n°  
Date de réception:  
**Désignation**  
Type d'échantillons:  
Prélèvement:  
Prélèvement par: A  
Récipient: iiss  
Nombre de récipients:  
Début des analyses:

Echantillon-n°  
Date de réception:  
**Désignation**  
Type d'échantillons:  
Prélèvement:  
Prélèvement par: A  
Récipient: iiss  
Nombre de récipients:  
Début des analyses:

Echantillon-n°  
Date de réception:  
**Désignation**

Type d'échantillons:  
Prélèvement:  
Prélèvement par: A  
Récipient: iiss  
Nombre de récipients:  
Début des analyses:

Echantillon-n°  
Date de réception:  
**Désignation**  
Type d'échantillons:  
Prélèvement:  
Prélèvement par: A  
Récipient: iiss  
Nombre de récipients:

**Rapport no. ULS16-004470-4**  
**Lyss, le 31.08.2016**

Début des analyses:

Echantillon-n°

Date de réception:

**Désignation**

Type d'échantillons:

Prélèvement:

Prélèvement par:

A

Début des analyses:

Echantillon-n°

Date de réception:

**Désignation**

Type d'échantillons:

Prélèvement:

Prélèvement par:

Début des analyses:

Echantillon-n°

Date de réception:

**Désignation**

Type d'échantillons:

Prélèvement:

Prélèvement par:

Début des analyses:

## Méthodes

### Paramètres

Matières sèches

Carbone organique total sur mat. solide (c)

Tamissage de solides

PCB - Méth. interne HAP-PCB adaptée de

MB = matière brute

MS = matière sèche

LQ = limite de quantification

E/L = eau / lixiviat

---

Heinrich Kalt

Directeur, Dr. rer. nat

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Madame Randlett  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-03883-16  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 29.09.2016**

## Rapport no. ULS16-005274-1

**Sarine Avril 2016, FR2706.916, Fribourg**



**S** SCHWEIZERISCHER PRÜFSTELLENDEINST  
**T** SERVICE SUISSE D'ESSAI  
**S** SERVIZIO DI PROVA IN SVIZZERA  
SWISS TESTING SERVICE

ISO/IEC 17025:2005 - STS Nr. 092

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS16-005274-1  
Lyss, le 29.09.2016

Désignation d'échantillon N° d'échantillon	Unité	LQ	S#41 16-135119-01	S#42 16-135119-02	S#43 16-135119-03	S#44 16-135119-04	S#45 16-135119-05
---	-------	----	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	75	65	62	62	74
---------------	---------	-----	----	----	----	----	----

**Préparation**

Quantité avant séchage	g		5124.6	5957.9	5519.2	5655.7	6895.9
Quantité après séchage	g		3936.7	3996.3	3496.8	3637.2	5222.5
Partie fine < 2mm	g		3860.8	3551.9	3066.7	3215.9	5094.7
Partie > 2 mm	g		2.2	293.3	349.4	304.6	16.6

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	3600	7100	7200	6500	2200
-------------------------------	----------	------	------	------	------	------	------

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

*PCB type dioxine*

PCB n° 118	ng/kg MS		320	770	1000	1100	1000
PCB-TEQ (OMS 2005) excl. LQ	ng/kg MS		-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. 1/2LQ	ng/kg MS		-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. LQ	ng/kg MS		-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
PCB n° 28	ng/kg MS		250	310	380	390	380
PCB n° 52	ng/kg MS		390	660	840	980	940
PCB n° 101	ng/kg MS		310	780	980	990	960
PCB n° 138	ng/kg MS		<400	540	740	770	710
PCB n° 153	ng/kg MS		<400	500	680	700	650
PCB n° 180	ng/kg MS		<400	<400	<400	<400	<400

Rapport no. ULS16-005274-1  
Lyss, le 29.09.2016

Désignation d'échantillon N° d'échantillon	Unité	LQ	S#46 16-135119-06	S#47 16-135119-07	S#48 16-135119-08	S#49 16-135119-09	S#50 16-135119-10
---	-------	----	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	59	22	61	70	71
---------------	---------	-----	----	----	----	----	----

**Préparation**

Quantité avant séchage	g		9168.7	5454.9	4949.3	8095.4	5681.4
Quantité après séchage	g		5560.1	1319.6	3077.4	5814.5	4165.9
Partie fine < 2mm	g		4772.8	557.1	2833.2	5698.3	4046.8
Partie > 2 mm	g		633.7	640.6	164	4.7	5.6

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	11000	70000	9200	4500	2900
-------------------------------	----------	------	-------	-------	------	------	------

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

*PCB type dioxine*

PCB n° 118	ng/kg MS		3000	4100	1500	370	460
PCB-TEQ (OMS 2005) excl. LQ	ng/kg MS		-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. 1/2LQ	ng/kg MS		-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. LQ	ng/kg MS		-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
PCB n° 28	ng/kg MS		710	3400	740	390	400
PCB n° 52	ng/kg MS		2500	3600	1500	580	600
PCB n° 101	ng/kg MS		3000	3400	1500	400	470
PCB n° 138	ng/kg MS		2100	3000	1100	<400	<400
PCB n° 153	ng/kg MS		2000	3100	980	<400	<400
PCB n° 180	ng/kg MS		500	1100	<400	<400	<400

Rapport no. ULS16-005274-1  
Lyss, le 29.09.2016

Désignation d'échantillon N° d'échantillon	Unité	LQ	S#51 16-135119-11	S#52 16-135119-12	S#53 16-135119-13	S#54 16-135119-14	S#55 16-135119-15
---	-------	----	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	68	59	52	60	73
---------------	---------	-----	----	----	----	----	----

**Préparation**

Quantité avant séchage	g		5842	7984.9	7284.6	8315.6	9479.7
Quantité après séchage	g		4112.5	4880.4	3882.2	5150.3	7047
Partie fine < 2mm	g		3911.9	4516.7	3661.9	4710.1	6854.3
Partie > 2 mm	g		89.2	204	104.5	291	45.4

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	3000	8200	10000	8800	<1000
-------------------------------	----------	------	------	------	-------	------	-------

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

**PCB type dioxine**

PCB n° 118	ng/kg MS		520	19000	1400	2000	500
PCB-TEQ (OMS 2005) excl. LQ	ng/kg MS		-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. 1/2LQ	ng/kg MS		-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. LQ	ng/kg MS		-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
PCB n° 28	ng/kg MS		360	1300	400	510	600
PCB n° 52	ng/kg MS		610	10000	1100	1600	740
PCB n° 101	ng/kg MS		520	17000	1300	2000	480
PCB n° 138	ng/kg MS		<400	13000	950	1300	<400
PCB n° 153	ng/kg MS		<400	11000	920	1200	<400
PCB n° 180	ng/kg MS		<400	1600	<400	<400	<400

Rapport no. ULS16-005274-1  
Lyss, le 29.09.2016

Désignation d'échantillon N° d'échantillon	Unité	LQ	S#56 16-135119-16	S#57 16-135119-17	S#58 16-135119-18	S#59 16-135119-19	S#60 16-135119-20
---	-------	----	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	65	64	60	51	37
---------------	---------	-----	----	----	----	----	----

**Préparation**

Quantité avant séchage	g		5797.4	6036.2	7925.1	5073.9	4947
Quantité après séchage	g		3855.5	3937.9	4883.7	2706.9	1937.4
Partie fine < 2mm	g		3379.7	2890.3	4257.3	2108.5	1157.3
Partie > 2 mm	g		364.6	961.5	514.7	485.7	668.4

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	6900	6300	5200	10000	17000
-------------------------------	----------	------	------	------	------	-------	-------

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

**PCB type dioxine**

PCB n° 118	ng/kg MS		830	5300	1000	2100	3100
PCB-TEQ (OMS 2005) excl. LQ	ng/kg MS		-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. 1/2LQ	ng/kg MS		-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. LQ	ng/kg MS		-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
PCB n° 28	ng/kg MS		270	6700	400	560	930
PCB n° 52	ng/kg MS		680	7700	1000	1600	2100
PCB n° 101	ng/kg MS		1100	5300	1000	1900	2700
PCB n° 138	ng/kg MS		1500	3200	650	1600	2100
PCB n° 153	ng/kg MS		1700	3100	660	1500	1900
PCB n° 180	ng/kg MS		1200	1000	<400	560	490

Rapport no. ULS16-005274-1  
Lyss, le 29.09.2016

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-135119-01	16-135119-02	16-135119-03	16-135119-04	16-135119-05
Date de réception:	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016
<b>Désignation</b>	<b>S#41</b>	<b>S#42</b>	<b>S#43</b>	<b>S#44</b>	<b>S#45</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement par:	CSD Fribourg				
Début des analyses:	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016
Fin des analyses:	29.09.2016	29.09.2016	29.09.2016	29.09.2016	29.09.2016
Echantillon-n°	16-135119-06	16-135119-07	16-135119-08	16-135119-09	16-135119-10
Date de réception:	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016
<b>Désignation</b>	<b>S#46</b>	<b>S#47</b>	<b>S#48</b>	<b>S#49</b>	<b>S#50</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement par:	CSD Fribourg				
Début des analyses:	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016
Fin des analyses:	29.09.2016	29.09.2016	29.09.2016	29.09.2016	29.09.2016
Echantillon-n°	16-135119-11	16-135119-12	16-135119-13	16-135119-14	16-135119-15
Date de réception:	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016
<b>Désignation</b>	<b>S#51</b>	<b>S#52</b>	<b>S#53</b>	<b>S#54</b>	<b>S#55</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement par:	CSD Fribourg				
Début des analyses:	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016
Fin des analyses:	29.09.2016	29.09.2016	29.09.2016	29.09.2016	29.09.2016
Echantillon-n°	16-135119-16	16-135119-17	16-135119-18	16-135119-19	16-135119-20
Date de réception:	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016
<b>Désignation</b>	<b>S#56</b>	<b>S#57</b>	<b>S#58</b>	<b>S#59</b>	<b>S#60</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement par:	CSD Fribourg				
Début des analyses:	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016
Fin des analyses:	29.09.2016	29.09.2016	29.09.2016	29.09.2016	29.09.2016
Echantillon-n°	16-135119-01-1	16-135119-02-1	16-135119-03-1	16-135119-04-1	16-135119-05-1
Date de réception:	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016
<b>Désignation</b>	<b>S#41</b>	<b>S#42</b>	<b>S#43</b>	<b>S#44</b>	<b>S#45</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement par:	CSD Fribourg				
Début des analyses:	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016
Fin des analyses:	29.09.2016	29.09.2016	29.09.2016	29.09.2016	29.09.2016
Echantillon-n°	16-135119-06-1	16-135119-07-1	16-135119-08-1	16-135119-09-1	16-135119-10-1
Date de réception:	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016
<b>Désignation</b>	<b>S#46</b>	<b>S#47</b>	<b>S#48</b>	<b>S#49</b>	<b>S#50</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement par:	CSD Fribourg				
Début des analyses:	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016
Fin des analyses:	29.09.2016	29.09.2016	29.09.2016	29.09.2016	29.09.2016
Echantillon-n°	16-135119-11-1	16-135119-12-1	16-135119-13-1	16-135119-14-1	16-135119-15-1
Date de réception:	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016
<b>Désignation</b>	<b>S#51</b>	<b>S#52</b>	<b>S#53</b>	<b>S#54</b>	<b>S#55</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement par:	CSD Fribourg				
Début des analyses:	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016
Fin des analyses:	29.09.2016	29.09.2016	29.09.2016	29.09.2016	29.09.2016
Echantillon-n°	16-135119-16-1	16-135119-17-1	16-135119-18-1	16-135119-19-1	16-135119-20-1
Date de réception:	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016
<b>Désignation</b>	<b>S#56</b>	<b>S#57</b>	<b>S#58</b>	<b>S#59</b>	<b>S#60</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement par:	CSD Fribourg				
Début des analyses:	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016
Fin des analyses:	29.09.2016	29.09.2016	29.09.2016	29.09.2016	29.09.2016

Rapport no. ULS16-005274-1  
Lyss, le 29.09.2016

## Méthodes

### Paramètres

Matières sèches  
Carbone organique total sur mat. solide (combustion sèche)  
Tamisage de gravier de voie  
Tamisage de solides  
PCB "dioxine-like" /OMS sur matière solide  
Polychlorobiphényles (PCB) sur sol

### Norme

DIN ISO 11465<sup>A</sup>  
DIN ISO 10694 mod.<sup>A</sup>  
DB 880.4010<sup>A</sup>  
DIN ISO 11464<sup>A</sup>  
EPA 1613 mod.<sup>A</sup>  
DIN 38407-3 Teil 3 mod.

### Laboratoire

Laboratorien Lyss CH (CH)  
Laboratorien Lyss CH (CH)  
Laboratorien Lyss CH (CH)  
Laboratorien Lyss CH (CH)  
Umweltanalytik Altenberge (D)  
Umweltanalytik Altenberge (D)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Madame Randlett  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-03883-16  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 14.10.2016**

## Rapport no. ULS16-005603-1

**Sarine Avril / Août 2016, FR2706.916, Fribourg**



**S** SCHWEIZERISCHER PRÜFSTELLENDIENST  
**T** SERVICE SUISSE D'ESSAI  
**S** SERVIZIO DI PROVA IN SVIZZERA  
SWISS TESTING SERVICE

ISO/IEC 17025:2005 - STS Nr. 092

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS16-005603-1  
Lyss, le 14.10.2016

Désignation d'échantillon N° d'échantillon	Unité	LQ	S#62 16-143025-01	S#63 16-143025-02	S#64 16-143025-03	S#65 16-143025-04	S#66 16-143025-05
---	-------	----	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	78	93	86	90	88
---------------	---------	-----	----	----	----	----	----

**Préparation**

Quantité avant séchage	g		5633.3	5776.8	7303.8	3976.2	5625.6
Quantité après séchage	g		4390.8	5368.8	6242.3	3581.4	4922.7
Partie fine < 2mm	g		4381.4	550.8	860.2	372.2	741.2
Partie > 2 mm	g		7.6	4816.4	5379.2	3208	4178.5

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	4200	6400	4900	10000	10000
-------------------------------	----------	------	------	------	------	-------	-------

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

**PCB type dioxine**

PCB n° 118	ng/kg MS	200	<200	510	20000	8600	18000
PCB-TEQ (OMS 2005) excl. LQ	ng/kg MS		-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. 1/2LQ	ng/kg MS		-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. LQ	ng/kg MS		-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
PCB n° 28	ng/kg MS	200	<200	<200	1800	740	880
PCB n° 52	ng/kg MS	200	<200	540	13000	3300	6800
PCB n° 101	ng/kg MS	200	<200	480	18000	6800	17000
PCB n° 138	ng/kg MS	400	<400	<400	14000	5400	11000
PCB n° 153	ng/kg MS	400	<400	<400	12000	4900	9800
PCB n° 180	ng/kg MS	400	<400	<400	1700	680	1500

Rapport no. ULS16-005603-1  
Lyss, le 14.10.2016

Désignation d'échantillon	Unité	LQ	S#67
N° d'échantillon			16-143025-06

#### Propriétés générales

Matière sèche	Gew% MB	0.1	88
---------------	---------	-----	----

#### Préparation

Quantité avant séchage	g		10783.8
Quantité après séchage	g		9450.2
Partie fine < 2mm	g		3889.4
Partie > 2 mm	g		5557.7

#### Paramètres organiques globaux

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	13000
-------------------------------	----------	------	-------

#### Substances organiques moyennement et peu volatiles

##### *PCB type dioxine*

PCB n° 118	ng/kg MS	200	4200
PCB-TEQ (OMS 2005) excl. LQ	ng/kg MS		-/-
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. 1/2LQ	ng/kg MS		-/-
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. LQ	ng/kg MS		-/-
PCB n° 28	ng/kg MS	200	1400
PCB n° 52	ng/kg MS	200	3600
PCB n° 101	ng/kg MS	200	3600
PCB n° 138	ng/kg MS	400	2600
PCB n° 153	ng/kg MS	400	2300
PCB n° 180	ng/kg MS	400	490

Rapport no. ULS16-005603-1  
Lyss, le 14.10.2016

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-143025-01	16-143025-02	16-143025-03	16-143025-04	16-143025-05
Date de réception:	12.09.2016	12.09.2016	12.09.2016	12.09.2016	12.09.2016
<b>Désignation</b>	<b>S#62</b>	<b>S#63</b>	<b>S#64</b>	<b>S#65</b>	<b>S#66</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	31.08.2016	31.08.2016	31.08.2016	31.08.2016	31.08.2016
Prélèvement par:	CSD, Fribourg				
Préleveur:	Marie-Eve Randlett				
Début des analyses:	12.09.2016	12.09.2016	12.09.2016	12.09.2016	12.09.2016
Fin des analyses:	14.10.2016	14.10.2016	14.10.2016	14.10.2016	14.10.2016
Echantillon-n°	16-143025-06				
Date de réception:	12.09.2016				
<b>Désignation</b>	<b>S#67</b>				
Type d'échantillons:	Sol				
Prélèvement:	31.08.2016				
Prélèvement par:	CSD, Fribourg				
Préleveur:	Marie-Eve Randlett				
Début des analyses:	12.09.2016				
Fin des analyses:	14.10.2016				

## Méthodes

### Paramètres

Matières sèches  
Carbone organique total sur mat. solide (combustion sèche)  
Tamisage de gravier de voie  
Tamisage de solides  
PCB "dioxine-like" /OMS sur matière solide  
Polychlorobiphényles (PCB) sur sol

### Norme

DIN ISO 11465<sup>A</sup>  
DIN ISO 10694 mod.<sup>A</sup>  
DB 880.4010<sup>A</sup>  
DIN ISO 11464<sup>A</sup>  
EPA 1613 mod.<sup>A</sup>  
DIN 38407-3 Teil 3 mod.

### Laboratoire

Laboratorien Lyss CH (CH)  
Laboratorien Lyss CH (CH)  
Laboratorien Lyss CH (CH)  
Laboratorien Lyss CH (CH)  
Umweltanalytik Altenberge (D)  
Umweltanalytik Altenberge (D)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

**Annexe 2.1.3.1 – 2**

**Résultats d'analyses de Wessling  
Échantillons cryogéniques**

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Madame Randlett  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-03597-16  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 05.09.2016**

## Rapport no. ULS16-004728-1

**Sarine Août 2016 FR2706.916, Fribourg**



**S** SCHWEIZERISCHER PRÜFSTELLENDEINST  
**T** SERVICE SUISSE D'ESSAI  
**S** SERVIZIO DI PROVA IN SVIZZERA  
SWISS TESTING SERVICE

ISO/IEC 17025:2005 - STS Nr. 092

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS16-004728-1  
Lyss, le 05.09.2016

Désignation d'échantillon N° d'échantillon	Unité	LQ	Cryo#1.1 16-127371-01	Cryo#1.2 16-127371-02	Cryo#1.3 16-127371-03	Cryo#2.1 16-127371-04	Cryo#2.2 16-127371-05
---	-------	----	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	71	71	80	93	91
---------------	---------	-----	----	----	----	----	----

**Préparation**

Quantité totale avant séchage	g		5923	6064	13865	13026	12086
Quantité totale après séchage	g		4179.4	4327.5	11084.2	12152.7	10997.7
Partie fine < 2mm	g		3508.2	3592.1	5970.5	5167.5	6444.7
Partie > 2 mm	g		667.8	732.2	5102.6	6981.2	4547.7

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	17000	15000	8700	5100	8200
-------------------------------	----------	------	-------	-------	------	------	------

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

*PCB type dioxine*

PCB n° 118	ng/kg MS		23000	43000	100000	13000	7400
PCB n° 28	ng/kg MS		5700	12000	23000	2300	2600
PCB n° 52	ng/kg MS		30000	110000	210000	11000	8300
PCB n° 101	ng/kg MS		23000	150000	340000	13000	7300
PCB n° 138	ng/kg MS		12000	110000	230000	7600	4900
PCB n° 153	ng/kg MS		9900	100000	240000	6500	4300
PCB n° 180	ng/kg MS		1500	14000	33000	940	1100

Rapport no. ULS16-004728-1  
Lyss, le 05.09.2016

Désignation d'échantillon N° d'échantillon	Unité	LQ	Cryo#2.3 16-127371-06	Cryo#3.1 16-127371-07	Cryo#3.2 16-127371-08	Cryo#3.3 16-127371-09
---	-------	----	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	88	84	88	89
---------------	---------	-----	----	----	----	----

**Préparation**

Quantité totale avant séchage	g		10544	15585	13107	12905
Quantité totale après séchage	g		9289.1	13146.4	11526.1	11501.5
Partie fine < 2mm	g		3297.4	7525.4	3761.6	3193.9
Partie > 2 mm	g		5987.3	5608.5	7757.7	8303.1

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	6600	2100	4600	8900
-------------------------------	----------	------	------	------	------	------

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

*PCB type dioxine*

PCB n° 118	ng/kg MS		4700	71000	110000	41000
PCB n° 28	ng/kg MS		1400	16000	31000	3200
PCB n° 52	ng/kg MS		8200	170000	250000	23000
PCB n° 101	ng/kg MS		6200	250000	440000	34000
PCB n° 138	ng/kg MS		2700	180000	310000	25000
PCB n° 153	ng/kg MS		2500	160000	320000	22000
PCB n° 180	ng/kg MS		<400	19000	40000	4100

Rapport no. ULS16-004728-1  
Lyss, le 05.09.2016

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-127371-01	16-127371-01-1	16-127371-02	16-127371-03	16-127371-04
Date de réception:	15.08.2016	15.08.2016	15.08.2016	15.08.2016	15.08.2016
<b>Désignation</b>	<b>Cryo#1.1</b>	<b>Cryo#1.1</b>	<b>Cryo#1.2</b>	<b>Cryo#1.3</b>	<b>Cryo#2.1</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	02.08.2016	02.08.2016	02.08.2016	02.08.2016	02.08.2016
Prélèvement par:	CSD	CSD	CSD	CSD	CSD
Début des analyses:	15.08.2016	15.08.2016	15.08.2016	15.08.2016	15.08.2016
Fin des analyses:	05.09.2016	05.09.2016	05.09.2016	05.09.2016	05.09.2016
Echantillon-n°	16-127371-05	16-127371-06	16-127371-07	16-127371-08	16-127371-09
Date de réception:	15.08.2016	15.08.2016	15.08.2016	15.08.2016	15.08.2016
<b>Désignation</b>	<b>Cryo#2.2</b>	<b>Cryo#2.3</b>	<b>Cryo#3.1</b>	<b>Cryo#3.2</b>	<b>Cryo#3.3</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	02.08.2016	02.08.2016	02.08.2016	02.08.2016	02.08.2016
Prélèvement par:	CSD	CSD	CSD	CSD	CSD
Début des analyses:	15.08.2016	15.08.2016	15.08.2016	15.08.2016	15.08.2016
Fin des analyses:	05.09.2016	05.09.2016	05.09.2016	05.09.2016	05.09.2016
Echantillon-n°	16-127371-02-1	16-127371-03-1	16-127371-04-1	16-127371-05-1	16-127371-06-1
Date de réception:	15.08.2016	15.08.2016	15.08.2016	15.08.2016	15.08.2016
<b>Désignation</b>	<b>Cryo#1.2</b>	<b>Cryo#1.3</b>	<b>Cryo#2.1</b>	<b>Cryo#2.2</b>	<b>Cryo#2.3</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	02.08.2016	02.08.2016	02.08.2016	02.08.2016	02.08.2016
Prélèvement par:	CSD	CSD	CSD	CSD	CSD
Début des analyses:	15.08.2016	15.08.2016	15.08.2016	15.08.2016	15.08.2016
Fin des analyses:	05.09.2016	05.09.2016	05.09.2016	05.09.2016	05.09.2016
Echantillon-n°	16-127371-07-1	16-127371-08-1	16-127371-09-1		
Date de réception:	15.08.2016	15.08.2016	15.08.2016		
<b>Désignation</b>	<b>Cryo#3.1</b>	<b>Cryo#3.2</b>	<b>Cryo#3.3</b>		
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol		
Prélèvement:	02.08.2016	02.08.2016	02.08.2016		
Prélèvement par:	CSD	CSD	CSD		
Début des analyses:	15.08.2016	15.08.2016	15.08.2016		
Fin des analyses:	05.09.2016	05.09.2016	05.09.2016		

## Méthodes

### Paramètres

Matières sèches  
Tamisage de gravier de voie  
Tamisage de solides  
Carbone organique total sur mat. solide (combustion sèche)  
PCB "dioxine-like" /OMS sur matière solide  
Polychlorobiphényles (PCB) sur sol

### Norme

DIN ISO 11465<sup>A</sup>  
DB 880.4010<sup>A</sup>  
DIN ISO 11464<sup>A</sup>  
DIN ISO 10694 mod.<sup>A</sup>  
EPA 1613 mod.<sup>A</sup>  
DIN 38407-3 Teil 3 mod.

### Laboratoire

Laboratoriën Lyss CH (CH)  
Laboratoriën Lyss CH (CH)  
Laboratoriën Lyss CH (CH)  
Laboratoriën Lyss CH (CH)  
Umweltanalytik Altenberge (D)  
Umweltanalytik Altenberge (D)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Madame Randlett  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-03880-16  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 13.10.2016**

## **Rapport no. ULS16-005558-1**

**Sarine Août 2016 FR2706.916 Fribourg**



**S** SCHWEIZERISCHER PRÜFSTELLENDIENST  
**T** SERVICE SUISSE D'ESSAI  
**S** SERVIZIO DI PROVA IN SVIZZERA  
SWISS TESTING SERVICE

ISO/IEC 17025:2005 - STS Nr. 092

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS16-005558-1  
Lyss, le 13.10.2016

Désignation d'échantillon N° d'échantillon	Unité	LQ	Cryo#5.1 16-135009-01	Cryo#5.2 16-135009-02	Cryo#5.3 16-135009-03	Cryo#7.1 16-135009-04	Cryo#7.2 16-135009-05
---	-------	----	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

#### Propriétés générales

Matière sèche	Gew% MB	0.1	67	64	64	72	72
---------------	---------	-----	----	----	----	----	----

#### Préparation

Quantité totale	g		4565.7	4340.1	9023.8	3781.8	3747.8
Quantité après séchage	g		3070.5	2784	5746.1	2729	2708.3
Partie fine < 2mm	g		3036.2	2690.1	4048.7	2638.8	2650.1
Partie > 2 mm	g		13.4	48	1646.8	70.3	56.3

#### Paramètres organiques globaux

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	9100	12000	15000	7600	12000
-------------------------------	----------	------	------	-------	-------	------	-------

#### Substances organiques moyennement et peu volatiles

##### PCB type dioxine

PCB n° 77	ng/kg MS					83	150
PCB n° 81	ng/kg MS					<5	5.4
PCB n° 126	ng/kg MS					3.4	6
PCB n° 169	ng/kg MS					<5	<5
PCB n° 105	ng/kg MS					950	2200
PCB n° 114	ng/kg MS					<100	120
PCB n° 118	ng/kg MS		4800	2400	6200	2300	5600
PCB n° 123	ng/kg MS					42	96
PCB n° 156	ng/kg MS					190	560
PCB n° 157	ng/kg MS					46	140
PCB n° 167	ng/kg MS					74	220
PCB n° 189	ng/kg MS					<20	26
PCB-TEQ (OMS 2005) excl. LQ	ng/kg MS		-/-	-/-	-/-	0.46	0.884
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. ½LQ	ng/kg MS		-/-	-/-	-/-	0.538	0.959
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. LQ	ng/kg MS		-/-	-/-	-/-	0.615	1.03
PCB n° 28	ng/kg MS		480	810	1900	940	1700
PCB n° 52	ng/kg MS		1500	2000	5700	1900	4600
PCB n° 101	ng/kg MS		3200	2200	5900	1900	4900
PCB n° 138	ng/kg MS		3700	1600	3700	1500	3800
PCB n° 153	ng/kg MS		3200	1400	3600	1400	3500
PCB n° 180	ng/kg MS		710	<400	770	<400	1000

Rapport no. ULS16-005558-1  
Lyss, le 13.10.2016

Désignation d'échantillon N° d'échantillon	Unité	LQ	Cryo#7.3 16-135009-06	Cryo#7.4 16-135009-07	Cryo#8.1 16-135009-08	Cryo#8.2 16-135009-09	Cryo#8.3 16-135009-10
---	-------	----	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

#### Propriétés générales

Matière sèche	Gew% MB	0.1	71	78	79	76	83
---------------	---------	-----	----	----	----	----	----

#### Préparation

Quantité totale	g		5264.9	17265.1	898	1973.8	2852.2
Quantité après séchage	g		3715.7	13487.6	705.5	1489.8	2361.3
Partie fine < 2mm	g		2749.3	11479.4	691.9	1298.6	1761.8
Partie > 2 mm	g		927.9	2000.4	13.2	190.2	595.5

#### Paramètres organiques globaux

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	11000	6000	3200	1500	3500
-------------------------------	----------	------	-------	------	------	------	------

#### Substances organiques moyennement et peu volatili

##### PCB type dioxine

PCB n° 77	ng/kg MS		260	290			
PCB n° 81	ng/kg MS		7.8	8.2			
PCB n° 126	ng/kg MS		8.5	7			
PCB n° 169	ng/kg MS		<5	<5			
PCB n° 105	ng/kg MS		900	770			
PCB n° 114	ng/kg MS		54	<100			
PCB n° 118	ng/kg MS		2000	1800	930	400	470
PCB n° 123	ng/kg MS		44	36			
PCB n° 156	ng/kg MS		150	120			
PCB n° 157	ng/kg MS		32	28			
PCB n° 167	ng/kg MS		59	51			
PCB n° 189	ng/kg MS		12	<20			
PCB-TEQ (OMS 2005) excl. LQ	ng/kg MS		0.979	0.819	-/-	-/-	-/-
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. ½LQ	ng/kg MS		1.05	0.896	-/-	-/-	-/-
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. LQ	ng/kg MS		1.13	0.973	-/-	-/-	-/-
PCB n° 28	ng/kg MS		2100	2900	220	200	300
PCB n° 52	ng/kg MS		3100	4100	410	430	650
PCB n° 101	ng/kg MS		2000	1700	590	370	630
PCB n° 138	ng/kg MS		1300	1100	640	<400	410
PCB n° 153	ng/kg MS		1300	1100	570	<400	440
PCB n° 180	ng/kg MS		520	<400	<400	<400	<400

Rapport no. ULS16-005558-1  
Lyss, le 13.10.2016

Désignation d'échantillon N° d'échantillon	Unité	LQ	Cryo#8.4 16-135009-11
---	-------	----	--------------------------

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	84
---------------	---------	-----	----

**Préparation**

Quantité totale	g	14866.8
Quantité après séchage	g	12482.2
Partie fine < 2mm	g	6953.2
Partie > 2 mm	g	5513

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	7000
-------------------------------	----------	------	------

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

**PCB type dioxine**

PCB n° 77	ng/kg MS	
PCB n° 81	ng/kg MS	
PCB n° 126	ng/kg MS	
PCB n° 169	ng/kg MS	
PCB n° 105	ng/kg MS	
PCB n° 114	ng/kg MS	
PCB n° 118	ng/kg MS	1400
PCB n° 123	ng/kg MS	
PCB n° 156	ng/kg MS	
PCB n° 157	ng/kg MS	
PCB n° 167	ng/kg MS	
PCB n° 189	ng/kg MS	
PCB-TEQ (OMS 2005) excl. LQ	ng/kg MS	-/-
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. ½LQ	ng/kg MS	-/-
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. LQ	ng/kg MS	-/-
PCB n° 28	ng/kg MS	1800
PCB n° 52	ng/kg MS	2900
PCB n° 101	ng/kg MS	1200
PCB n° 138	ng/kg MS	850
PCB n° 153	ng/kg MS	780
PCB n° 180	ng/kg MS	<400

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-135009-01	16-135009-02	16-135009-03	16-135009-04	16-135009-05
Date de réception:	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016
<b>Désignation</b>	<b>Cryo#5.1</b>	<b>Cryo#5.2</b>	<b>Cryo#5.3</b>	<b>Cryo#7.1</b>	<b>Cryo#7.2</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	17.08.2016	17.08.2016	17.08.2016	17.08.2016	17.08.2016
Prélèvement par:	CSD Fribourg				
Début des analyses:	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016
Fin des analyses:	13.10.2016	13.10.2016	13.10.2016	13.10.2016	13.10.2016
Echantillon-n°	16-135009-06	16-135009-07	16-135009-08	16-135009-09	16-135009-10
Date de réception:	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016
<b>Désignation</b>	<b>Cryo#7.3</b>	<b>Cryo#7.4</b>	<b>Cryo#8.1</b>	<b>Cryo#8.2</b>	<b>Cryo#8.3</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	17.08.2016	17.08.2016	17.08.2016	17.08.2016	17.08.2016
Prélèvement par:	CSD Fribourg				
Début des analyses:	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016
Fin des analyses:	13.10.2016	13.10.2016	13.10.2016	13.10.2016	13.10.2016
Echantillon-n°	16-135009-11	16-135009-01-1	16-135009-02-1	16-135009-03-1	16-135009-04-1
Date de réception:	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016
<b>Désignation</b>	<b>Cryo#8.4</b>	<b>Cryo#5.1</b>	<b>Cryo#5.2</b>	<b>Cryo#5.3</b>	<b>Cryo#7.1</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	17.08.2016	17.08.2016	17.08.2016	17.08.2016	17.08.2016
Prélèvement par:	CSD Fribourg				
Début des analyses:	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016
Fin des analyses:	13.10.2016	13.10.2016	13.10.2016	13.10.2016	13.10.2016
Echantillon-n°	16-135009-05-1	16-135009-06-1	16-135009-07-1	16-135009-08-1	16-135009-09-1
Date de réception:	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016
<b>Désignation</b>	<b>Cryo#7.2</b>	<b>Cryo#7.3</b>	<b>Cryo#7.4</b>	<b>Cryo#8.1</b>	<b>Cryo#8.2</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	17.08.2016	17.08.2016	17.08.2016	17.08.2016	17.08.2016
Prélèvement par:	CSD Fribourg				
Début des analyses:	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016
Fin des analyses:	13.10.2016	13.10.2016	13.10.2016	13.10.2016	13.10.2016
Echantillon-n°	16-135009-10-1	16-135009-11-1			
Date de réception:	24.08.2016	24.08.2016			
<b>Désignation</b>	<b>Cryo#8.3</b>	<b>Cryo#8.4</b>			
Type d'échantillons:	Sol	Sol			
Prélèvement:	17.08.2016	17.08.2016			
Prélèvement par:	CSD Fribourg	CSD Fribourg			
Début des analyses:	29.08.2016	29.08.2016			
Fin des analyses:	13.10.2016	13.10.2016			

## Méthodes

### Paramètres

Matières sèches  
 Tamisage de solides  
 Carbone organique total sur mat. solide (combustion sèche)  
 Tamisage de gravier de voie  
 PCB "dioxine-like" /OMS sur matière solide  
 Polychlorobiphényles (PCB) sur sol

### Norme

DIN ISO 11465<sup>A</sup>  
 DIN ISO 11464<sup>A</sup>  
 DIN ISO 10694 mod.<sup>A</sup>  
 DB 880.4010<sup>A</sup>  
 EPA 1613 mod.<sup>A</sup>  
 DIN 38407-3 Teil 3 mod.

### Laboratoire

Laboratoire Lyss CH (CH)  
 Laboratoire Lyss CH (CH)  
 Laboratoire Lyss CH (CH)  
 Laboratoire Lyss CH (CH)  
 Umweltanalytik Altenberge (D)  
 Umweltanalytik Altenberge (D)

MB = matière brute  
 MS = matière sèche  
 LQ = limite de quantification  
 E/L = eau / lixiviat

Heinrich Kalt  
 Directeur, Dr. rer. nat

## **Annexe 2.1.3.2**

### **Résultats d'analyses de Wessling Sédiments du refus**

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Madame Randlett  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-03883-16  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 03.01.2017**

## **Rapport no. ULS17-000013-1**

**Sarine Avril / Août 2016, FR2706.916, Fribourg**



ISO/IEC 17025

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS17-000013-1  
Lyss, le 03.01.2017

Désignation d'échantillon		S#47	S#52	S#57	S#59	S#60
N° d'échantillon	Unité LQ	16-135119-07-1	16-135119-12-1	16-135119-17-1	16-135119-19-1	16-135119-20-1

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

*PCB*

PCB n° 118	ng/kg MS	2700	3200	8600	2800	2700
PCB n° 28	ng/kg MS	2600	850	9300	810	1000
PCB n° 52	ng/kg MS	2400	2500	11000	2100	2000
PCB n° 101	ng/kg MS	2300	3000	8000	2700	2300
PCB n° 138	ng/kg MS	1900	1700	4500	1900	1700
PCB n° 153	ng/kg MS	3000	2600	7400	2300	2300
PCB n° 180	ng/kg MS	840	470	1400	490	430
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>ng/kg MS</b>	<b>13040</b>	<b>11120</b>	<b>41600</b>	<b>10300</b>	<b>9730</b>
<b>Somme des 6 PCB (x 4.3)</b>	<b>ng/kg MS</b>	<b>56072</b>	<b>47816</b>	<b>178880</b>	<b>44290</b>	<b>41839</b>

Rapport no. ULS17-000013-1  
Lyss, le 03.01.2017

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-135119-07-1	16-135119-12-1	16-135119-17-1	16-135119-19-1	16-135119-20-1
Date de réception:	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016
<b>Désignation</b>	<b>S#47</b>	<b>S#52</b>	<b>S#57</b>	<b>S#59</b>	<b>S#60</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	16.08.2016	16.08.2016	16.08.2016	16.08.2016	16.08.2016
Prélèvement par:	CSD Fribourg				
Début des analyses:	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016
Fin des analyses:	29.09.2016	29.09.2016	29.09.2016	29.09.2016	29.09.2016

## Méthodes

### Paramètres

Tamissage de solides  
PCB "dioxine-like" /OMS sur matière solide  
Polychlorobiphényles (PCB) sur sol

### Norme

DIN ISO 11464<sup>A</sup>  
EPA 1613 mod.<sup>A</sup>  
DIN 38407-3 Teil 3 mod.

### Laboratoire

Laboratorien Lyss CH (CH)  
Umweltanalytik Altenberge (D)  
Umweltanalytik Altenberge (D)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat  
G = gaz

Des compléments d'information sur les principes d'analyses, par exemple les incertitudes de mesure, sont disponibles sur demande.

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Monsieur Sébastien Paratte  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-02798-16  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 03.01.2017**

## **Rapport no. ULS17-000014-1**

**Boîtes MES Juin 2016, FR2706.16, Fribourg**



ISO/IEC 17025

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS17-000014-1  
Lyss, le 03.01.2017

Désignation d'échantillon		S#2	S#7	S#10	S#12	S#13
N° d'échantillon	Unité LQ	16-118129-02-1	16-118129-07-1	16-118129-10-1	16-118129-12-1	16-118129-13-1

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

***PCB***

PCB n° 118	ng/kg MS	1900	1900	4800	44000	22000
PCB n° 28	ng/kg MS	740	600	840	5000	1900
PCB n° 52	ng/kg MS	3200	2800	8200	70000	11000
PCB n° 101	ng/kg MS	2200	2400	8100	82000	17000
PCB n° 138	ng/kg MS	900	850	2300	19000	11000
PCB n° 153	ng/kg MS	1300	1200	4600	31000	17000
PCB n° 180	ng/kg MS	<400	<400	<400	1100	1700
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>ng/kg MS</b>	<b>8340</b>	<b>7850</b>	<b>24040</b>	<b>208100</b>	<b>59600</b>
<b>Somme des 6 PCB (x 4.3)</b>	<b>ng/kg MS</b>	<b>35862</b>	<b>33755</b>	<b>103372</b>	<b>894830</b>	<b>256280</b>

Rapport no. ULS17-000014-1  
Lyss, le 03.01.2017

Désignation d'échantillon		S#16	S#21	S#25	S#35
N° d'échantillon	Unité LQ	16-118129-16-1	16-118129-21-1	16-118129-25-1	16-118129-35-1

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

***PCB***

PCB n° 118	ng/kg MS	1200000	1800	430	1000
PCB n° 28	ng/kg MS	59000	380	280	270
PCB n° 52	ng/kg MS	380000	1700	440	510
PCB n° 101	ng/kg MS	840000	2500	470	770
PCB n° 138	ng/kg MS	750000	910	<400	620
PCB n° 153	ng/kg MS	860000	1400	<400	750
PCB n° 180	ng/kg MS	110000	<400	<400	<400
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>ng/kg MS</b>	<b>2999000</b>	<b>6890</b>	<b>1190</b>	<b>2920</b>
<b>Somme des 6 PCB (x 4.3)</b>	<b>ng/kg MS</b>	<b>12895700</b>	<b>29627</b>	<b>5117</b>	<b>12556</b>

Rapport no. ULS17-000014-1  
Lyss, le 03.01.2017

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-118129-02-1	16-118129-07-1	16-118129-10-1	16-118129-12-1	16-118129-13-1
Date de réception:	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016
<b>Désignation</b>	<b>S#2</b>	<b>S#7</b>	<b>S#10</b>	<b>S#12</b>	<b>S#13</b>
Type d'échantillons:	Matières solides				
Prélèvement:	29.06.2016	19.07.2016	19.07.2016	19.07.2016	19.07.2016
Prélèvement par:	CSD SA				
Début des analyses:	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016
Fin des analyses:	31.08.2016	31.08.2016	31.08.2016	31.08.2016	31.08.2016
Echantillon-n°	16-118129-16-1	16-118129-21-1	16-118129-25-1	16-118129-35-1	
Date de réception:	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016	
<b>Désignation</b>	<b>S#16</b>	<b>S#21</b>	<b>S#25</b>	<b>S#35</b>	
Type d'échantillons:	Matières solides	Matières solides	Matières solides	Matières solides	
Prélèvement:	19.07.2016	20.07.2016	20.07.2016	20.07.2016	
Prélèvement par:	CSD SA	CSD SA	CSD SA	CSD SA	
Début des analyses:	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016	
Fin des analyses:	31.08.2016	31.08.2016	31.08.2016	31.08.2016	

## Méthodes

### Paramètres

Tamissage de solides  
PCB "dioxine-like" /OMS sur matière solide  
Polychlorobiphényles (PCB) sur sol

### Norme

DIN ISO 11464<sup>A</sup>  
EPA 1613 mod.<sup>A</sup>  
DIN 38407-3 Teil 3 mod.

### Laboratoire

Laboratorien Lyss CH (CH)  
Umweltanalytik Altenberge (D)  
Umweltanalytik Altenberge (D)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat  
G = gaz

Des compléments d'information sur les principes d'analyses, par exemple les incertitudes de mesure, sont disponibles sur demande.

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Madame Randlett  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-03597-16  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 03.01.2017**

## Rapport no. ULS17-000016-1

**Sarine Août 2016 FR2706.916, Fribourg**



ISO/IEC 17025

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS17-000016-1  
Lyss, le 03.01.2017

Désignation d'échantillon	Unité	LQ	Cryo#1.1
N° d'échantillon			16-127371-01-1

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

***PCB***

PCB n° 118	ng/kg MS	41000
PCB n° 28	ng/kg MS	4800
PCB n° 52	ng/kg MS	36000
PCB n° 101	ng/kg MS	43000
PCB n° 138	ng/kg MS	20000
PCB n° 153	ng/kg MS	25000
PCB n° 180	ng/kg MS	2500

<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>ng/kg MS</b>	<b>131300</b>
<b>Somme des 6 PCB (x 4.3)</b>	<b>ng/kg MS</b>	<b>564590</b>

Rapport no. ULS17-000016-1  
Lyss, le 03.01.2017

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-127371-01-1
Date de réception:	15.08.2016
<b>Désignation</b>	<b>Cryo#1.1</b>
Type d'échantillons:	Sol
Prélèvement:	02.08.2016
Prélèvement par:	CSD
Début des analyses:	15.08.2016
Fin des analyses:	05.09.2016

## Méthodes

### Paramètres

Tamissage de solides  
PCB "dioxine-like" /OMS sur matière solide  
Polychlorobiphényles (PCB) sur sol

### Norme

DIN ISO 11464<sup>A</sup>  
EPA 1613 mod.<sup>A</sup>  
DIN 38407-3 Teil 3 mod.

### Laboratoire

Laboratorien Lyss CH (CH)  
Umweltanalytik Altenberge (D)  
Umweltanalytik Altenberge (D)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat  
G = gaz

Des compléments d'information sur les principes d'analyses, par exemple les incertitudes de mesure, sont disponibles sur demande.

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Madame Randlett  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-03880-16  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 03.01.2017**

## **Rapport no. ULS17-000017-1**

**Sarine Août 2016 FR2706.916 Fribourg**



ISO/IEC 17025

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS17-000017-1  
Lyss, le 03.01.2017

Désignation d'échantillon		Cryo#7.3	Cryo#7.4	Cryo#8.3	Cryo#8.4
N° d'échantillon	Unité LQ	16-135009-06-1	16-135009-07-1	16-135009-10-1	16-135009-11-1

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

***PCB***

PCB n° 118	ng/kg MS	25000	21000	4700	3900
PCB n° 28	ng/kg MB	26000	35000	4000	9700
PCB n° 52	ng/kg MB	39000	51000	7700	12000
PCB n° 101	ng/kg MB	25000	24000	5400	5100
PCB n° 138	ng/kg MB	16000	14000	3100	2400
PCB n° 153	ng/kg MB	23000	19000	4100	3600
PCB n° 180	ng/kg MB	6500	5400	850	1100
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>ng/kg MS</b>	<b>135500</b>	<b>148400</b>	<b>25150</b>	<b>33900</b>
<b>Somme des 6 PCB (x 4.3)</b>	<b>ng/kg MS</b>	<b>582650</b>	<b>638120</b>	<b>108145</b>	<b>145770</b>

Rapport no. ULS17-000017-1  
Lyss, le 03.01.2017

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-135009-06-1	16-135009-07-1	16-135009-10-1	16-135009-11-1
Date de réception:	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016
<b>Désignation</b>	<b>Cryo#7.3</b>	<b>Cryo#7.4</b>	<b>Cryo#8.3</b>	<b>Cryo#8.4</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	17.08.2016	17.08.2016	17.08.2016	17.08.2016
Prélèvement par:	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg
Début des analyses:	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016
Fin des analyses:	13.10.2016	13.10.2016	13.10.2016	13.10.2016

## Méthodes

### Paramètres

Tamisage de solides  
PCB "dioxine-like" /OMS sur matière solide  
Polychlorobiphényles (PCB) sur sol

### Norme

DIN ISO 11464<sup>A</sup>  
EPA 1613 mod.<sup>A</sup>  
DIN 38407-3 Teil 3 mod.

### Laboratoire

Laboratorien Lyss CH (CH)  
Umweltanalytik Altenberge (D)  
Umweltanalytik Altenberge (D)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat  
G = gaz

Des compléments d'information sur les principes d'analyses, par exemple les incertitudes de mesure, sont disponibles sur demande.

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Madame Randlett  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-03883-16  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 03.01.2017**

## **Rapport no. ULS17-000020-1**

**Sarine Avril / Août 2016, FR2706.916, Fribourg**



ISO/IEC 17025

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS17-000020-1  
Lyss, le 03.01.2017

Désignation d'échantillon		S#64	S#66
N° d'échantillon	Unité LQ	16-143025-03-1	16-143025-05-1

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

***PCB***

PCB n° 118	ng/kg MS	1700	700
PCB n° 28	ng/kg MS	370	<200
PCB n° 52	ng/kg MS	2700	710
PCB n° 101	ng/kg MS	2100	770
PCB n° 138	ng/kg MS	820	<400
PCB n° 153	ng/kg MS	1000	470
PCB n° 180	ng/kg MS	<400	<400
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>ng/kg MS</b>	<b>6990</b>	<b>1950</b>
<b>Somme des 6 PCB (x 4.3)</b>	<b>ng/kg MS</b>	<b>30057</b>	<b>8385</b>

Rapport no. ULS17-000020-1  
Lyss, le 03.01.2017

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-143025-03-1	16-143025-05-1
Date de réception:	12.09.2016	12.09.2016
<b>Désignation</b>	<b>S#64</b>	<b>S#66</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol
Prélèvement:	31.08.2016	31.08.2016
Prélèvement par:	CSD, Fribourg	CSD, Fribourg
Préleveur:	Marie-Eve Randlett	Marie-Eve Randlett
Début des analyses:	12.09.2016	12.09.2016
Fin des analyses:	14.10.2016	14.10.2016

## Méthodes

### Paramètres

Tamisage de solides  
PCB "dioxine-like" /OMS sur matière solide  
Polychlorobiphényles (PCB) sur sol

### Norme

DIN ISO 11464<sup>A</sup>  
EPA 1613 mod.<sup>A</sup>  
DIN 38407-3 Teil 3 mod.

### Laboratoire

Laboratorien Lyss CH (CH)  
Umweltanalytik Altenberge (D)  
Umweltanalytik Altenberge (D)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat  
G = gaz

Des compléments d'information sur les principes d'analyses, par exemple les incertitudes de mesure, sont disponibles sur demande.

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Madame Randlett  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-03880-16  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 24.04.2017**

## **Rapport no. ULS17-001980-1**

**Sarine Août 2016 FR2706.916 Fribourg**

Rapport no. ULS17-001980-1  
Lyss, le 24.04.2017

Désignation d'échantillon			Cryo#7.1	Cryo#7.2	Cryo#8.1	Cryo#8.2
N° d'échantillon	Unité	LQ	16-135009-04-1	16-135009-05-1	16-135009-08-1	16-135009-09-1

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	72	72	79	76
---------------	---------	-----	----	----	----	----

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

**PCB**

PCB n° 118	ng/kg MS	200	7900	8500	<200	620
PCB n° 28	ng/kg MS	200	1600	2100	210	330
PCB n° 52	ng/kg MS	200	5700	6500	360	950
PCB n° 101	ng/kg MS	200	7000	7700	<200	650
PCB n° 138	ng/kg MS	400	5000	4700	<400	<400
PCB n° 153	ng/kg MS	400	5900	5400	<400	<400
PCB n° 180	ng/kg MS	400	980	1000	<400	<400
PCB-TEQ (OMS 2005) excl. LQ	ng/kg MS		-/-	-/-	-/-	-/-
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. ½LQ	ng/kg MS		-/-	-/-	-/-	-/-
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. LQ	ng/kg MS		-/-	-/-	-/-	-/-
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>ng/kg MS</b>		<b>26180</b>	<b>27400</b>	<b>570</b>	<b>1930</b>
<b>Somme des 6 PCB (x4.3)</b>	<b>ng/kg MS</b>		<b>112574</b>	<b>117820</b>	<b>2451</b>	<b>8299</b>

Rapport no. ULS17-001980-1  
Lyss, le 24.04.2017

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-135009-04-1	16-135009-05-1	16-135009-08-1	16-135009-09-1
Date de réception:	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016
<b>Désignation</b>	<b>Cryo#7.1</b>	<b>Cryo#7.2</b>	<b>Cryo#8.1</b>	<b>Cryo#8.2</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	17.08.2016	17.08.2016	17.08.2016	17.08.2016
Prélèvement par:	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg
Début des analyses:	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016	29.08.2016
Fin des analyses:	13.10.2016	13.10.2016	13.10.2016	13.10.2016

## Méthodes

### Paramètres

PCB "dioxine-like" /OMS sur matière solide  
Polychlorobiphényles (PCB) sur sol  
Matières sèches

### Norme

EPA 1613 mod.<sup>A</sup>  
DIN 38407-3 Teil 3 mod.  
DIN ISO 11465<sup>A</sup>

### Laboratoire

Umweltanalytik Altenberge (D)  
Umweltanalytik Altenberge (D)  
Laboratorien Lyss CH (CH)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat  
G = gaz

Des compléments d'information sur les principes d'analyses, par exemple les incertitudes de mesure, sont disponibles sur demande.

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Madame Randlett  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-03597-16  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 27.04.2017**

## **Rapport no. ULS17-002093-1**

**Sarine Août 2016 FR2706.916, Fribourg**

Rapport no. ULS17-002093-1  
Lyss, le 27.04.2017

Désignation d'échantillon N° d'échantillon	Unité	LQ	Cryo#1.2 16-127371-02-1	Cryo#1.3 16-127371-03-1	Cryo#2.2 16-127371-05-1	Cryo#3.3 16-127371-09-1
---	-------	----	----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	71	80	91	89
---------------	---------	-----	----	----	----	----

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

**PCB type dioxine**

PCB n° 118	ng/kg MS		840000	35000	3800	2900
PCB n° 28	ng/kg MS		67000	6900	1000	<600
PCB n° 52	ng/kg MS		540000	37000	7800	3400
PCB n° 101	ng/kg MS		790000	35000	5000	3200
PCB n° 138	ng/kg MS		550000	15000	2100	1600
PCB n° 153	ng/kg MS		650000	17000	2500	2100
PCB n° 180	ng/kg MS		86000	1700	<400	<400
PCB-TEQ (OMS 2005) excl. LQ	ng/kg MS		-/-	-/-	-/-	-/-
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. ½LQ	ng/kg MS		-/-	-/-	-/-	-/-
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. LQ	ng/kg MS		-/-	-/-	-/-	-/-
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>ng/kg MS</b>		2683000	112600	18400	10300
<b>Somme des 6 PCB (x4.3)</b>	<b>ng/kg MS</b>		11536900	484180	79120	44290

Rapport no. ULS17-002093-1  
Lyss, le 27.04.2017

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-127371-02-1	16-127371-03-1	16-127371-05-1	16-127371-09-1
Date de réception:	15.08.2016	15.08.2016	15.08.2016	15.08.2016
<b>Désignation</b>	<b>Cryo#1.2</b>	<b>Cryo#1.3</b>	<b>Cryo#2.2</b>	<b>Cryo#3.3</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	02.08.2016	02.08.2016	02.08.2016	02.08.2016
Prélèvement par:	CSD	CSD	CSD	CSD
Début des analyses:	15.08.2016	15.08.2016	15.08.2016	15.08.2016
Fin des analyses:	05.09.2016	05.09.2016	05.09.2016	05.09.2016

## Méthodes

### Paramètres

PCB "dioxine-like" /OMS sur matière solide  
Polychlorobiphényles (PCB) sur sol  
Matières sèches

### Norme

EPA 1613 mod.<sup>A</sup>  
DIN 38407-3 Teil 3 mod.  
DIN ISO 11465<sup>A</sup>

### Laboratoire

Umweltanalytik Altenberge (D)  
Umweltanalytik Altenberge (D)  
Laboratorien Lyss CH (CH)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat  
G = gaz

Des compléments d'information sur les principes d'analyses, par exemple les incertitudes de mesure, sont disponibles sur demande.

## Remarque

16-127371-09-1: Suite à des interférence dans la matrice, la limite de quantification pour le PCB 28 a été augmentée.

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Madame Randlett  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-03883-16  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 01.05.2017**

## Rapport no. ULS17-002165-1

**Sarine Avril / Août 2016, FR2706.916, Fribourg**



ISO/IEC 17025

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS17-002165-1  
Lyss, le 01.05.2017

Désignation d'échantillon			S#63	S#67
N° d'échantillon	Unité	LQ	16-143025-02-1	16-143025-06-1

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	93	88
---------------	---------	-----	----	----

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

*PCB type dioxine*

PCB n° 118	ng/kg MS	200	<200	500
PCB n° 28	ng/kg MS	200	<200	250
PCB n° 52	ng/kg MS	200	<200	770
PCB n° 101	ng/kg MS	200	<200	570
PCB n° 138	ng/kg MS	400	<400	<400
PCB n° 153	ng/kg MS	400	<400	<400
PCB n° 180	ng/kg MS	400	<400	<400
PCB-TEQ (OMS 2005) excl. LQ	ng/kg MS		-/-	-/-
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. 1/2LQ	ng/kg MS		-/-	-/-
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. LQ	ng/kg MS		-/-	-/-
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>ng/kg MS</b>		<b>-/-</b>	<b>1590</b>
<b>Somme des 6 PCB (6*4.3)</b>	<b>ng/kg MS</b>		<b>-/-</b>	<b>6837</b>

Rapport no. ULS17-002165-1  
Lyss, le 01.05.2017

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-143025-02-1	16-143025-06-1
Date de réception:	12.09.2016	12.09.2016
<b>Désignation</b>	<b>S#63</b>	<b>S#67</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol
Prélèvement:	31.08.2016	31.08.2016
Prélèvement par:	CSD, Fribourg	CSD, Fribourg
Préleveur:	Marie-Eve Randlett	Marie-Eve Randlett
Début des analyses:	12.09.2016	12.09.2016
Fin des analyses:	14.10.2016	14.10.2016

## Méthodes

### Paramètres

PCB "dioxine-like" /OMS sur matière solide  
Polychlorobiphényles (PCB) sur sol  
Matières sèches

### Norme

EPA 1613 mod.<sup>A</sup>  
DIN 38407-3 Teil 3 mod.  
DIN ISO 11465<sup>A</sup>

### Laboratoire

Umweltanalytik Altenberge (D)  
Umweltanalytik Altenberge (D)  
Laboratorien Lyss CH (CH)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat  
G = gaz

Des compléments d'information sur les principes d'analyses, par exemple les incertitudes de mesure, sont disponibles sur demande.

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

**Annexe 2.1.3.4 - 1**

**Résultats d'analyses de Wessling  
Sédiments après la crue**

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Monsieur Sébastien Paratte  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-04428-16  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 24.10.2016**

## Rapport no. ULS16-005736-1

### Sédiments de surface après crue FR2706.916 Fribourg



S SCHWEIZERISCHER PRÜFSTELLENDIENST  
T SERVICE SUISSE D'ESSAI  
S SERVIZIO DI PROVA IN SVIZZERA  
SWISS TESTING SERVICE

ISO/IEC 17025:2005 - STS Nr. 092

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS16-005736-1  
Lyss, le 24.10.2016

Désignation d'échantillon N° d'échantillon	Unité	LQ	C#1 16-152919-01	C#2 16-152919-02	C#3 16-152919-03	C#4 16-152919-04	S#10 16-152919-05
---	-------	----	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	73	91	84	89	97
---------------	---------	-----	----	----	----	----	----

**Préparation**

Masse total avant séchage	g		5149	9515.6	7886.3	9091.4	7230
Masse total après séchage	g		3751.1	8690.9	6648.4	8119.3	7027.5
Partie < 2 mm	g		3322.8	3922.1	4206	3728.9	973.8
Partie > 2 mm	g		419.6	4762.8	2432	4375.1	6048.9

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	5800	6000	6100	9900	4800
-------------------------------	----------	------	------	------	------	------	------

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

**PCB type dioxine**

PCB n° 118	ng/kg MS		27000	4600	430000	77000	3700
PCB-TEQ (OMS 2005) excl. LQ	ng/kg MS		-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. ½LQ	ng/kg MS		-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. LQ	ng/kg MS		-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
PCB n° 28	ng/kg MS		2200	930	35000	6500	1500
PCB n° 52	ng/kg MS		18000	4000	280000	44000	5400
PCB n° 101	ng/kg MS		26000	4300	410000	65000	4100
PCB n° 138	ng/kg MS		15000	2800	270000	48000	1800
PCB n° 153	ng/kg MS		17000	3200	230000	40000	2300
PCB n° 180	ng/kg MS		1800	430	43000	6000	<400
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>ng/kg MS</b>		<b>80000</b>	<b>15660</b>	<b>1268000</b>	<b>209500</b>	<b>15100</b>
<b>PCB total (Somme 6 PCB x 4,3 )</b>	<b>ng/kg MS</b>		<b>344000</b>	<b>67338</b>	<b>5452400</b>	<b>900850</b>	<b>64930</b>

Rapport no. ULS16-005736-1  
Lyss, le 24.10.2016

Désignation d'échantillon N° d'échantillon	Unité	LQ	S#16 16-152919-06	S#21 16-152919-07	S#25 16-152919-08	S#37 16-152919-09	S#60 16-152919-10
---	-------	----	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------

#### Propriétés générales

Matière sèche	Gew% MB	0.1	86	89	92	74	38
---------------	---------	-----	----	----	----	----	----

#### Préparation

Masse total avant séchage	g		7868.1	9520.6	9166.8	9265.8	5631.2
Masse total après séchage	g		6789.9	8489.8	8451.5	6871.4	2148.1
Partie < 2 mm	g		3175.9	3061.8	3965.3	6802.7	1298.3
Partie > 2 mm	g		3606.8	5408.2	4445	59.7	818.3

#### Paramètres organiques globaux

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	8700	9100	6400	4100	23000
-------------------------------	----------	------	------	------	------	------	-------

#### Substances organiques moyennement et peu volatiles

##### PCB type dioxine

PCB n° 118	ng/kg MS		45000	5400	820	460	2500
PCB-TEQ (OMS 2005) excl. LQ	ng/kg MS		-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. 1/2LQ	ng/kg MS		-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. LQ	ng/kg MS		-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
PCB n° 28	ng/kg MS		2400	460	230	<200	580
PCB n° 52	ng/kg MS		15000	2600	610	410	1500
PCB n° 101	ng/kg MS		30000	4600	770	440	2200
PCB n° 138	ng/kg MS		29000	3500	500	<400	1700
PCB n° 153	ng/kg MS		31000	3900	600	<400	2000
PCB n° 180	ng/kg MS		3900	510	<400	<400	410
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>ng/kg MS</b>		<b>111300</b>	<b>15570</b>	<b>2710</b>	<b>850</b>	<b>8390</b>
<b>PCB total (Somme 6 PCB x 4,3)</b>	<b>ng/kg MS</b>		<b>478590</b>	<b>66951</b>	<b>11653</b>	<b>3655</b>	<b>36077</b>

Rapport no. ULS16-005736-1  
Lyss, le 24.10.2016

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-152919-01	16-152919-02	16-152919-03	16-152919-04	16-152919-05
Date de réception:	21.09.2016	21.09.2016	21.09.2016	21.09.2016	21.09.2016
<b>Désignation</b>	<b>C#1</b>	<b>C#2</b>	<b>C#3</b>	<b>C#4</b>	<b>S#10</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	16.09.2016	16.09.2016	16.09.2016	16.09.2016	16.09.2016
Prélèvement par:	CSD Fribourg				
Début des analyses:	27.09.2016	27.09.2016	27.09.2016	27.09.2016	27.09.2016
Echantillon-n°	16-152919-06	16-152919-07	16-152919-08	16-152919-09	16-152919-10
Date de réception:	21.09.2016	21.09.2016	21.09.2016	21.09.2016	21.09.2016
<b>Désignation</b>	<b>S#16</b>	<b>S#21</b>	<b>S#25</b>	<b>S#37</b>	<b>S#60</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	16.09.2016	16.09.2016	16.09.2016	16.09.2016	16.09.2016
Prélèvement par:	CSD Fribourg				
Début des analyses:	27.09.2016	27.09.2016	27.09.2016	27.09.2016	27.09.2016
Echantillon-n°	16-152919-01-1	16-152919-02-1	16-152919-03-1	16-152919-04-1	16-152919-05-1
Date de réception:	21.09.2016	21.09.2016	21.09.2016	21.09.2016	21.09.2016
<b>Désignation</b>	<b>C#1</b>	<b>C#2</b>	<b>C#3</b>	<b>C#4</b>	<b>S#10</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	16.09.2016	16.09.2016	16.09.2016	16.09.2016	16.09.2016
Prélèvement par:	CSD Fribourg				
Début des analyses:	27.09.2016	27.09.2016	27.09.2016	27.09.2016	27.09.2016
Echantillon-n°	16-152919-06-1	16-152919-07-1	16-152919-08-1	16-152919-09-1	16-152919-10-1
Date de réception:	21.09.2016	21.09.2016	21.09.2016	21.09.2016	21.09.2016
<b>Désignation</b>	<b>S#16</b>	<b>S#21</b>	<b>S#25</b>	<b>S#37</b>	<b>S#60</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	16.09.2016	16.09.2016	16.09.2016	16.09.2016	16.09.2016
Prélèvement par:	CSD Fribourg				
Début des analyses:	27.09.2016	27.09.2016	27.09.2016	27.09.2016	27.09.2016

## Méthodes

### Paramètres

Matières sèches  
Carbone organique total sur mat. solide (combustion sèche)  
PCB "dioxine-like" /OMS sur matière solide  
Polychlorobiphényles (PCB) sur sol  
Tamisage de solides

### Norme

DIN ISO 11465<sup>A</sup>  
DIN ISO 10694 mod.<sup>A</sup>  
EPA 1613 mod.<sup>A</sup>  
DIN 38407-3 Teil 3 mod.  
DIN ISO 11464<sup>A</sup>

### Laboratoire

Laboratorien Lyss CH (CH)  
Laboratorien Lyss CH (CH)  
Umweltanalytik Altenberge (D)  
Umweltanalytik Altenberge (D)  
Laboratorien Lyss CH (CH)

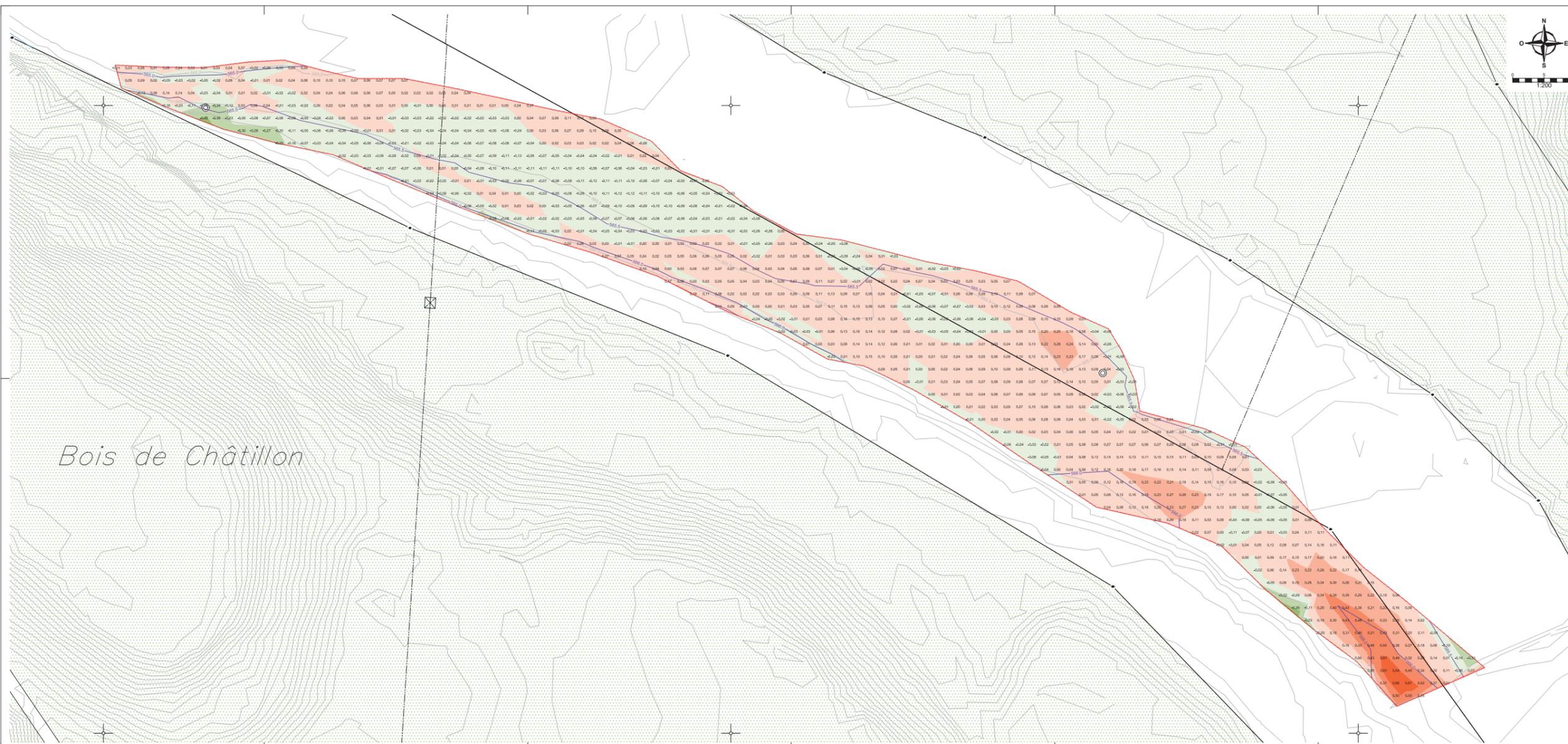
MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat

---

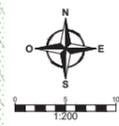
Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

**Annexe 2.1.3.4 – 2**

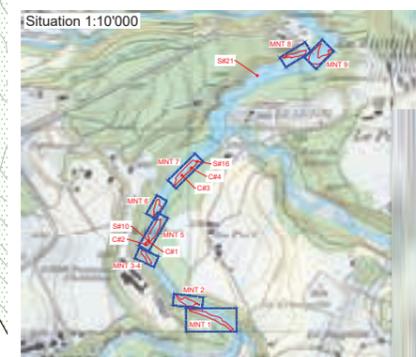
**Relevés géométriques des bancs de sédiments  
avant et après crue**



Bois de Châtillon



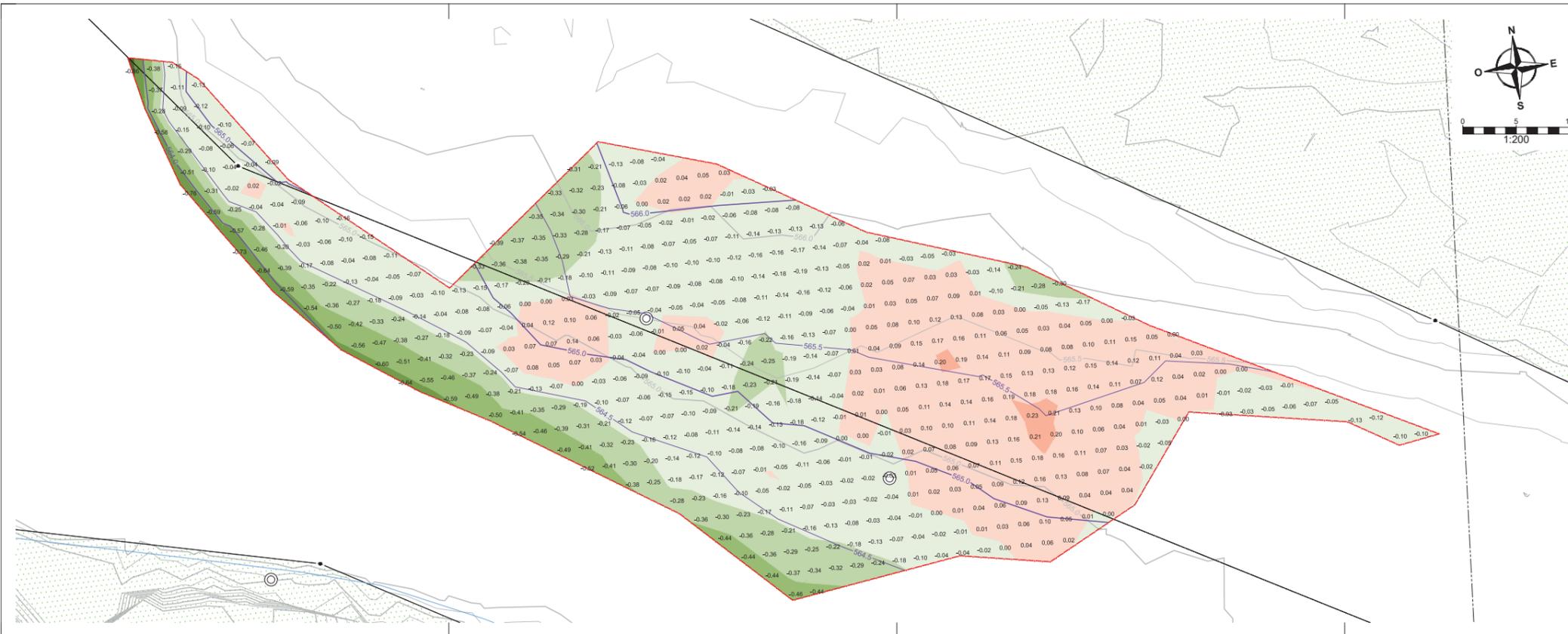
Minimum Elevation	Maximum Elevation	Color
-1.800	-1.600	Black
-1.600	-1.400	Dark Green
-1.400	-1.200	Green
-1.200	-1.000	Light Green
-1.000	-0.800	Yellow-Green
-0.800	-0.600	Yellow
-0.600	-0.400	Light Yellow
-0.400	-0.200	Orange
-0.200	0.000	Light Orange
0.000	0.200	Red-Orange
0.200	0.400	Red
0.400	0.600	Dark Red
0.600	0.800	Brown
0.800	1.000	Dark Brown
1.000	1.200	Black
1.200	1.400	Black



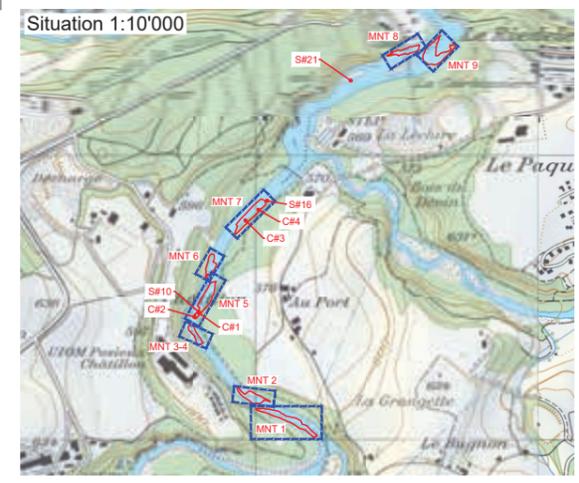
La Sarine  
MNT 1

Situation

	Projet	Date	24.01.2017
	Échelle	1:200	24.01.2017
CODINGENIEURS SA Chemin 39 CH-1150 Fillingen www.cod.ch	+41 26 482 74 74 +41 26 482 74 75 +41 26 482 74 76	17 av. des Pâtes 1400 Yverdon	01 FR2706.917



Minimum Elevation	Maximum Elevation	Color
-1.800	-1.600	Black
-1.600	-1.400	Dark Green
-1.400	-1.200	Green
-1.200	-1.000	Light Green
-1.000	-0.800	Yellow-Green
-0.800	-0.600	Yellow
-0.600	-0.400	Light Yellow
-0.400	-0.200	White
-0.200	0.000	Light Orange
0.000	0.200	Orange
0.200	0.400	Dark Orange
0.400	0.600	Red-Orange
0.600	0.800	Red
0.800	1.000	Dark Red
1.000	1.200	Brown
1.200	1.400	Dark Brown



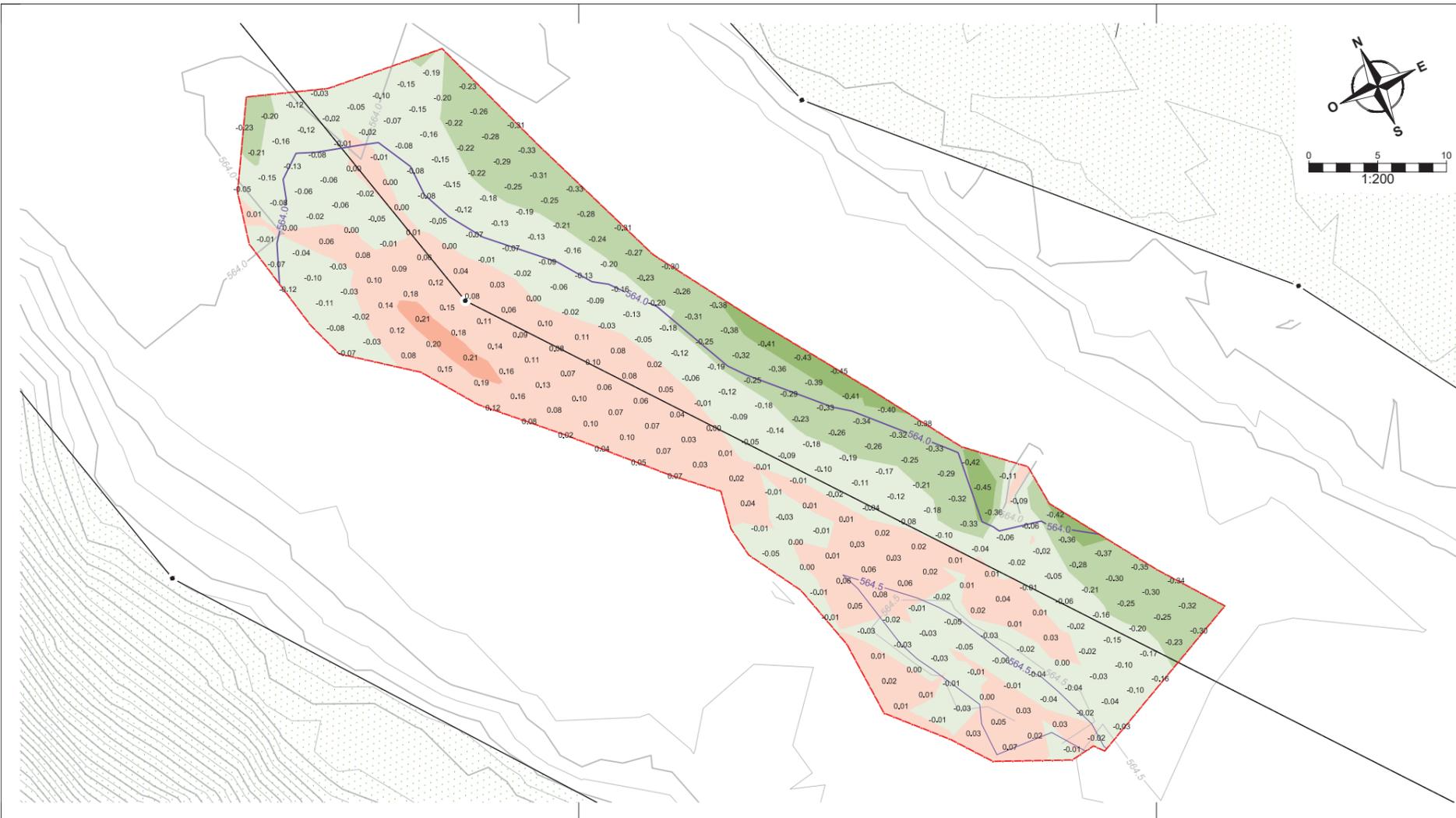
La Sarine

## MNT 2

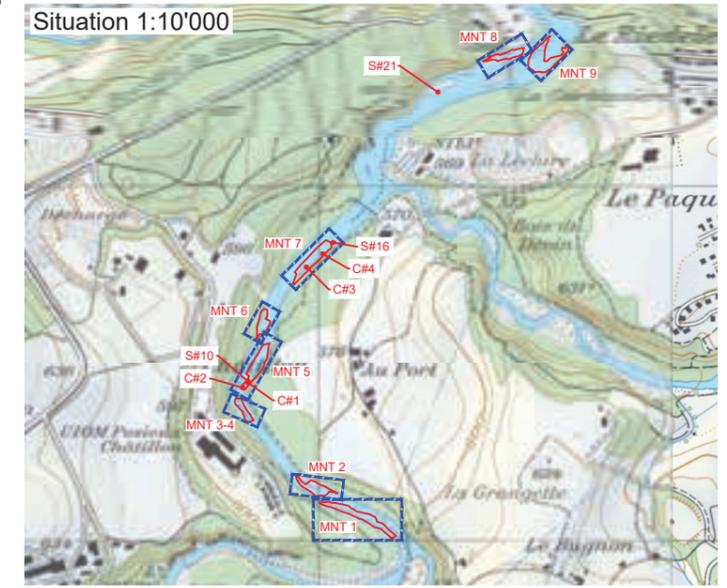
Situation

**CSD INGENIEURS**  
INGÉNIEURS POUR NATURE  
 CSD INGENIEURS SA  
 Charlemagne 37  
 CH-1701 Fribourg  
 www.csd.ch

**Projet**  
 Dessiné 24.01.2017 / SBL  
 Corrigé 24.01.2017 / PAS  
 Approuvé  
 Format 1470 x 594  
 Index  
 N° du mandat FR2706.917  
 Phase Plan N° 02



Minimum Elevation	Maximum Elevation	Color
-1.800	-1.600	Black
-1.600	-1.400	Dark Green
-1.400	-1.200	Green
-1.200	-1.000	Light Green
-1.000	-0.800	Yellow-Green
-0.800	-0.600	Yellow
-0.600	-0.400	Light Orange
-0.400	-0.200	Orange
-0.200	0.000	Light Red
0.000	0.200	Red
0.200	0.400	Dark Red
0.400	0.600	Brown
0.600	0.800	Dark Brown
0.800	1.000	Very Dark Brown
1.000	1.200	Black
1.200	1.400	Black



La Sarine  
**MNT 3-4**

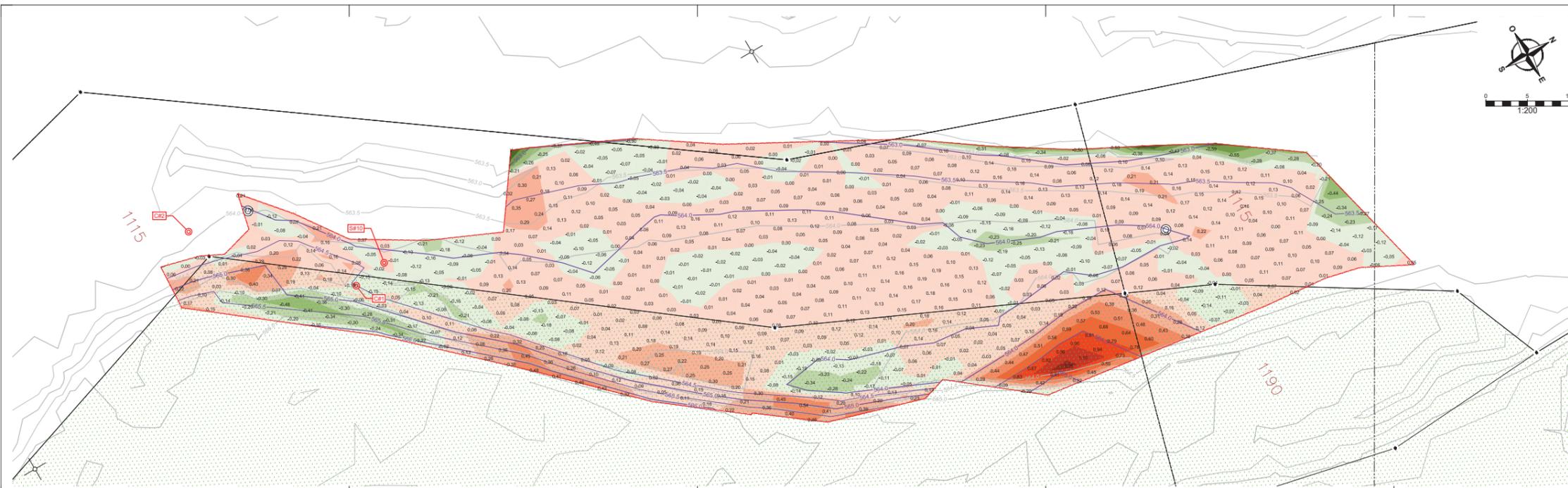
Situation

**CSD INGENIEURS+**  
 INGENIEURS PAR NATURE

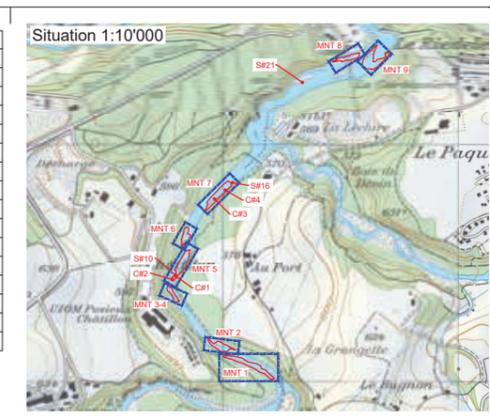
CSD INGENIEURS SA | t +41 26 460 74 74  
 Chantemerle 37 | f +41 26 460 74 79  
 CH-1701 Fribourg | e fribourg@csd.ch  
 www.csd.ch

Projet  
 Echelle: 1:200  
 N° du mandat: FR2706.917

Dessiné: 24.01.2017 / SIR  
 Contrôlé: 24.01.2017 / PAS  
 Approuvé:  
 Format: 840 x 297  
 Phase: Plan N°  
 Index: **03**



Minimum Elevation	Maximum Elevation	Color
-1.800	-1.600	Black
-1.600	-1.400	Dark Green
-1.400	-1.200	Green
-1.200	-1.000	Light Green
-1.000	-800	Yellow-Green
-800	-600	Yellow
-600	-400	Orange
-400	-200	Light Orange
-200	0.000	Light Yellow
0.000	0.200	Yellow
0.200	0.400	Light Orange
0.400	0.600	Orange
0.600	0.800	Dark Orange
0.800	1.000	Red-Orange
1.000	1.200	Red
1.200	1.400	Dark Red



La Sarine  
MNT 5

Situation

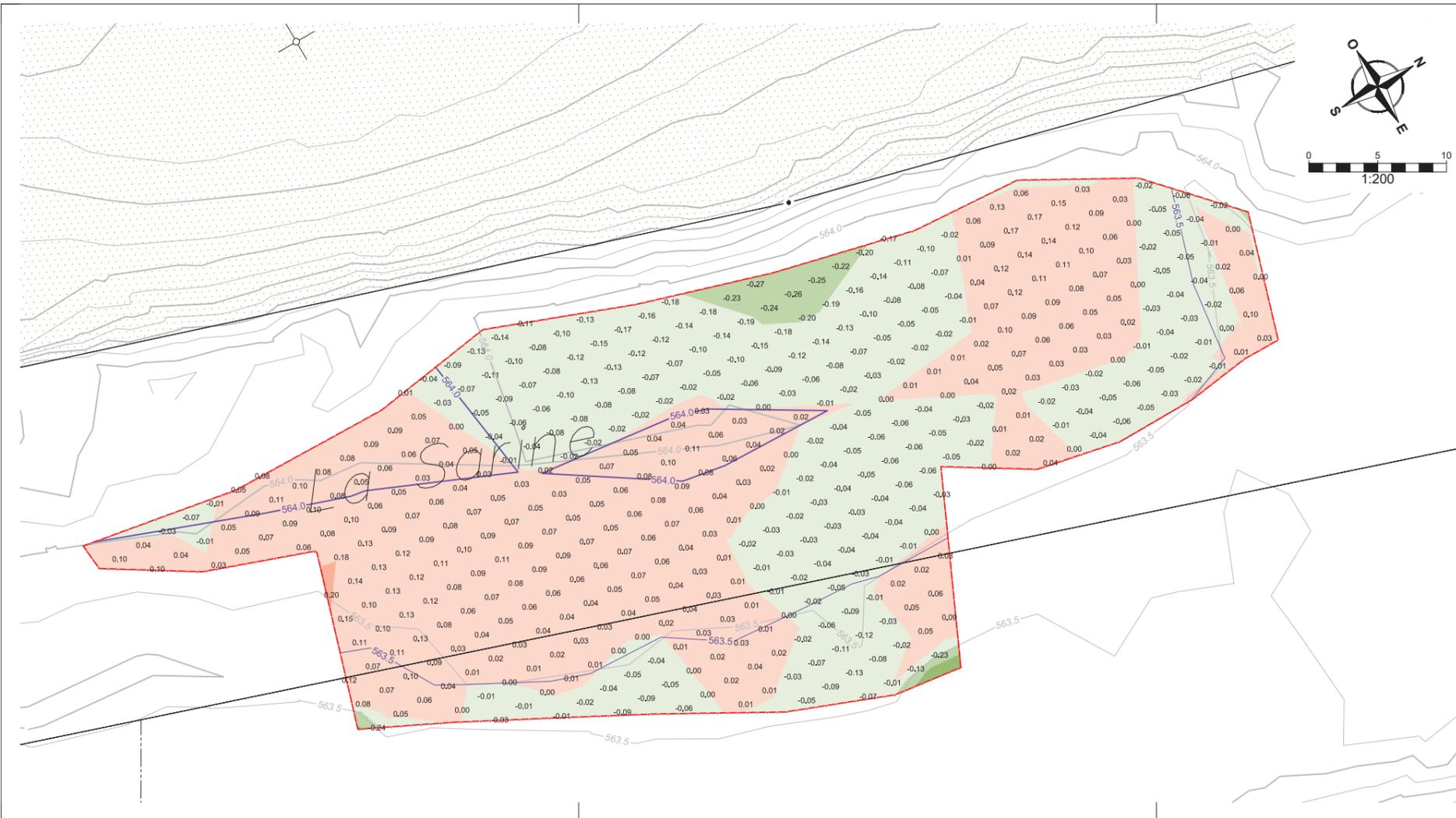
**CSD INGENIEURS**

Projet

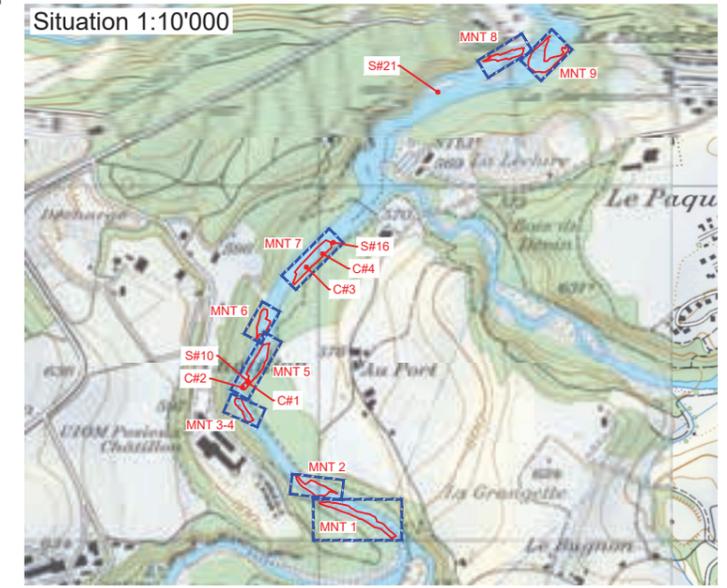
Desine 24.01.2017 / BIR  
Correle 24.01.2017 / PAS  
Echelle 1:200  
Format 1280 x 2047  
N° de mandat FR2706.917  
Phase Plan N° 04

CSD INGENIEURS SA  
Chaux-de-Fort 37  
CH-1705 Fribourg  
www.csd.ch

+41 26 460 74 74  
+41 26 460 74 70  
e fribourg@csd.ch



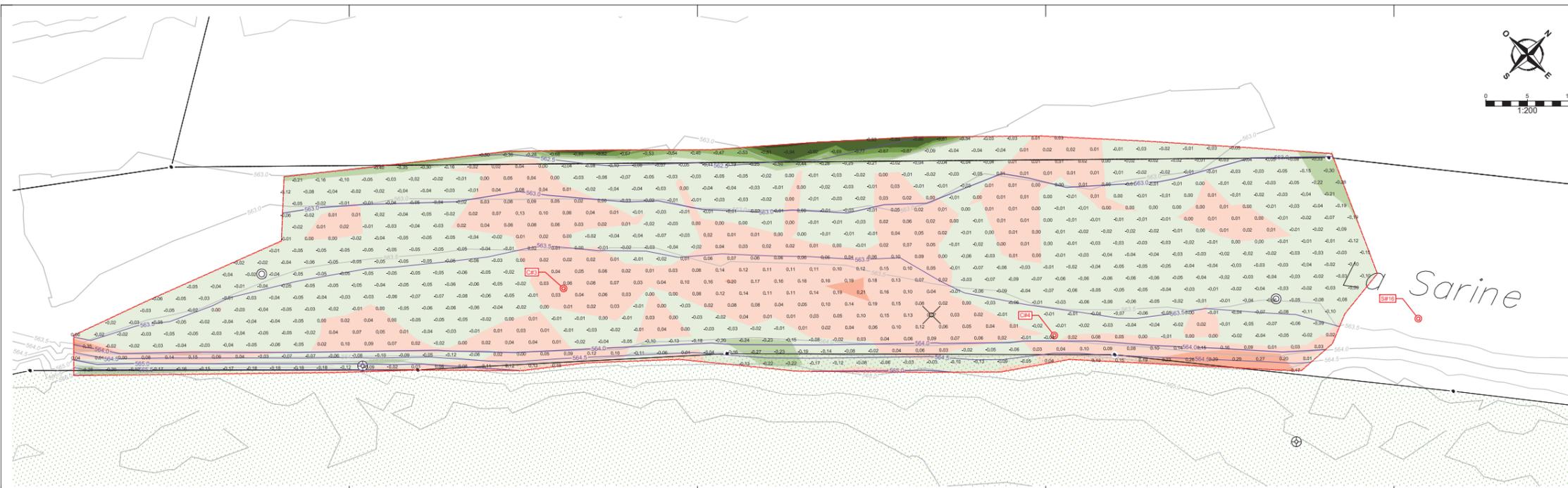
Minimum Elevation	Maximum Elevation	Color
-1.800	-1.600	Black
-1.600	-1.400	Dark Green
-1.400	-1.200	Medium Green
-1.200	-1.000	Light Green
-1.000	-0.800	Yellow-Green
-0.800	-0.600	Yellow
-0.600	-0.400	Light Orange
-0.400	-0.200	Orange
-0.200	0.000	Light Red
0.000	0.200	Red
0.200	0.400	Dark Red
0.400	0.600	Brown
0.600	0.800	Dark Brown
0.800	1.000	Very Dark Brown
1.000	1.200	Black
1.200	1.400	Black



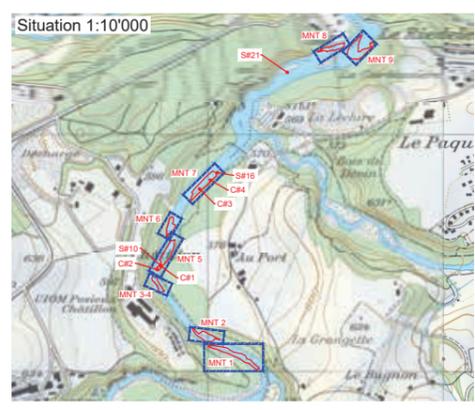
La Sarine  
MNT 6

Situation

<b>CSD INGENIEURS+</b> <small>INGÉNIEURS PAR NATURE</small> CSD INGENIEURS SA    t +41 26 460 74 74 Chantemerle 37        f +41 26 460 74 79 CH-1701 Fribourg      e fribourg@csd.ch www.csd.ch	<b>Projet</b> Echelle 1:200 N° du mandat FR2706.917	Dessiné    24.01.2017 / SIR Contrôlé    24.01.2017 / PAS Approuvé Format        840 x 297 Phase    Plan N° <b>05</b> Index
--	---	---



Minimum Elevation	Maximum Elevation	Color
-1.800	-1.600	Black
-1.600	-1.400	Dark Green
-1.400	-1.200	Green
-1.200	-1.000	Light Green
-1.000	-800	Yellow-Green
-800	-600	Yellow
-600	-400	Light Orange
-400	-200	Orange
-200	0.000	Light Red
0.000	0.200	Red
0.200	0.400	Dark Red
0.400	0.600	Brown
0.600	0.800	Dark Brown
0.800	1.000	Very Dark Brown
1.000	1.200	Black
1.200	1.400	Black



La Sarine  
MNT 7

Situation

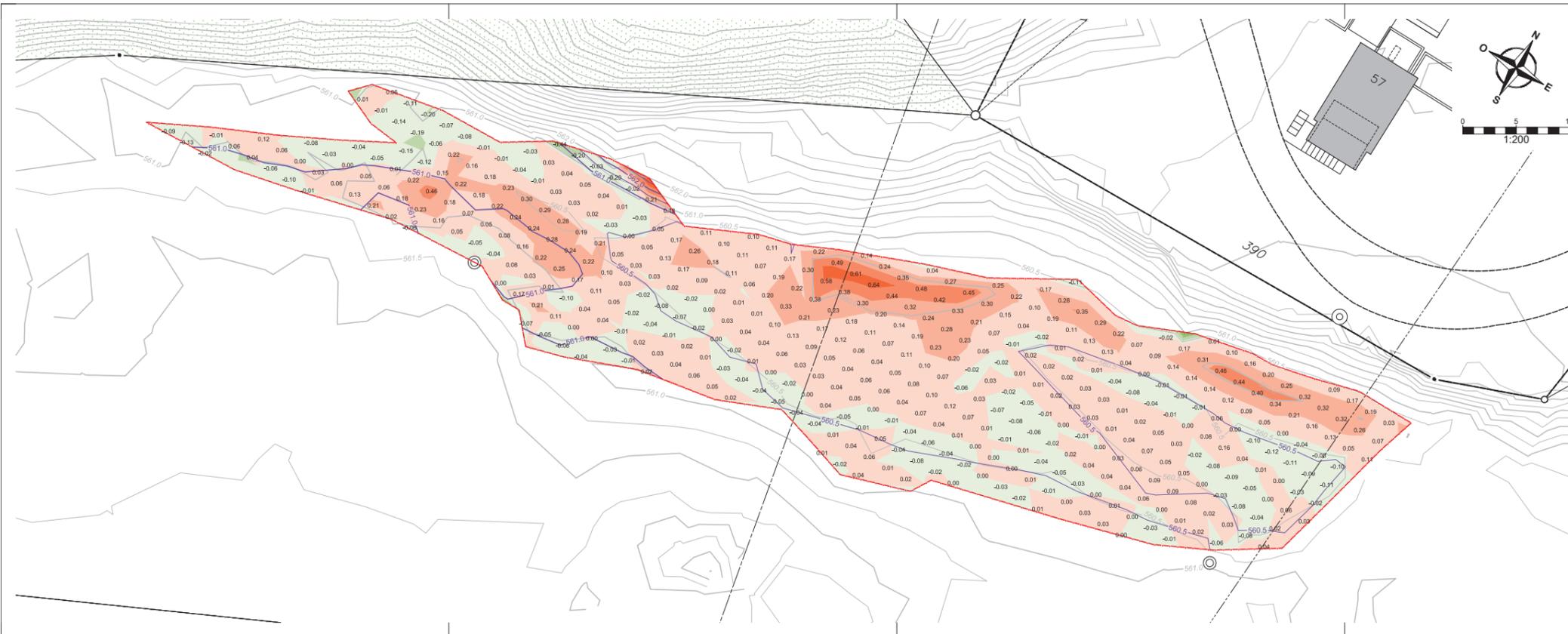
**CSD INGENIEURS**  
CHARENTAIS

Projet

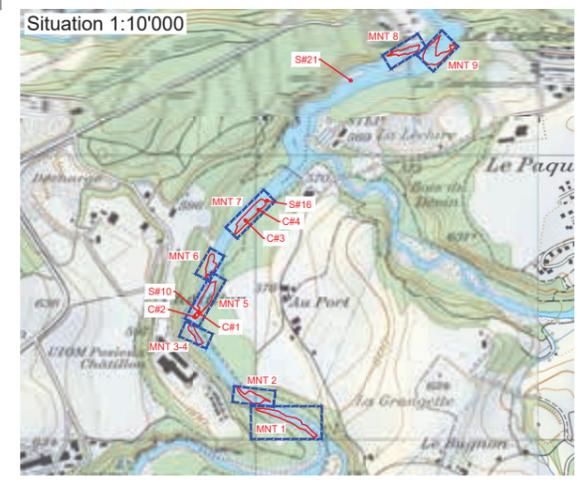
Desine 24.01.2017 / BIR  
Correle 24.01.2017 / PAS  
Echelle 1:200  
N° de mandat FR2706.917  
Phase Plan N° 06

CSD INGENIEURS SA  
Charentais 37  
CH-17151 Fibourg  
www.csd.ch

T +41 26 460 74 74  
F +41 26 460 74 70  
e fibourg@csd.ch



Minimum Elevation	Maximum Elevation	Color
-1.800	-1.600	Black
-1.600	-1.400	Dark Green
-1.400	-1.200	Green
-1.200	-1.000	Light Green
-1.000	-0.800	Yellow-Green
-0.800	-0.600	Yellow
-0.600	-0.400	Light Orange
-0.400	-0.200	Orange
-0.200	0.000	Light Red
0.000	0.200	Red
0.200	0.400	Dark Red
0.400	0.600	Brown
0.600	0.800	Dark Brown
0.800	1.000	Black
1.000	1.200	Black
1.200	1.400	Black



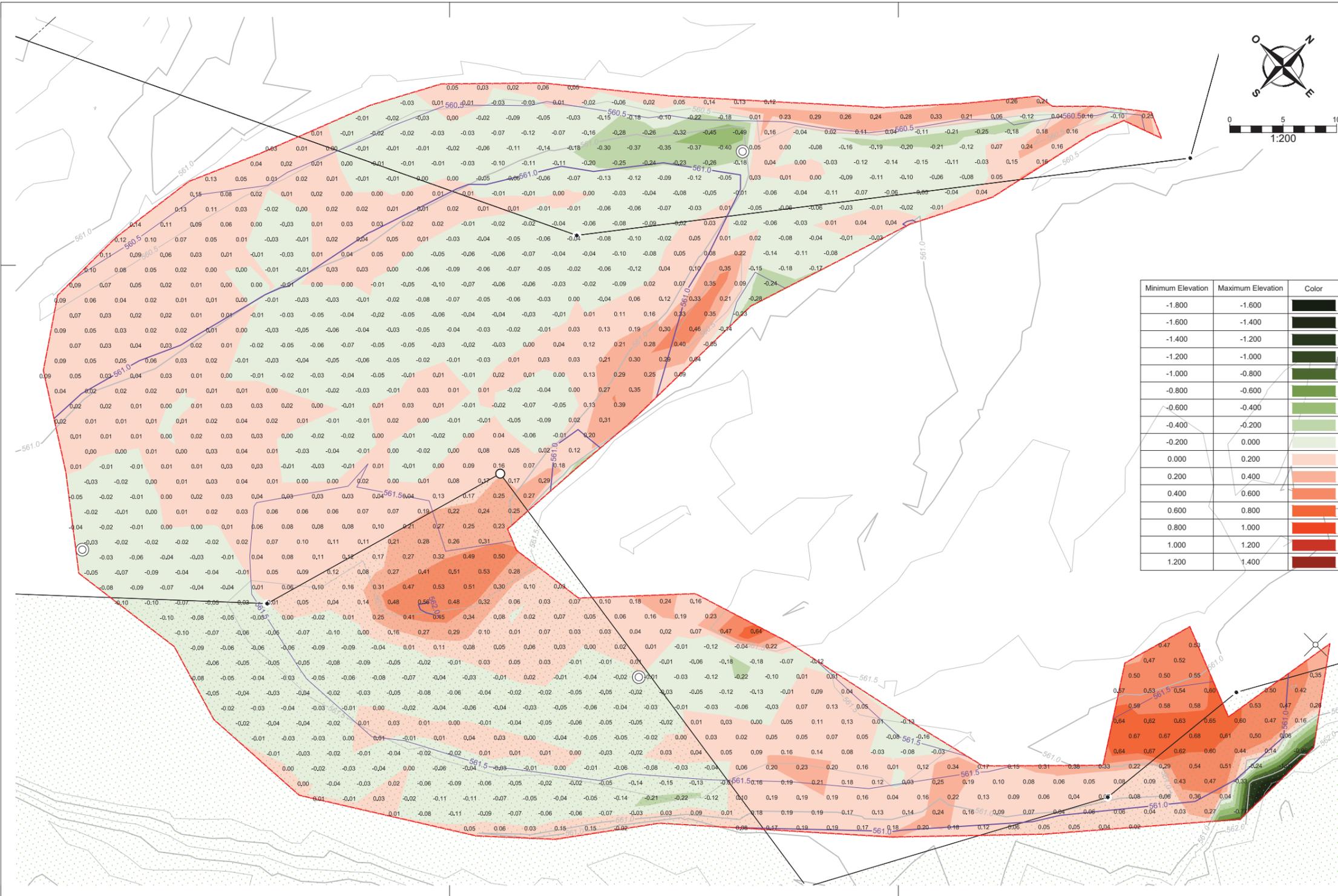
La Sarine

## MNT 8

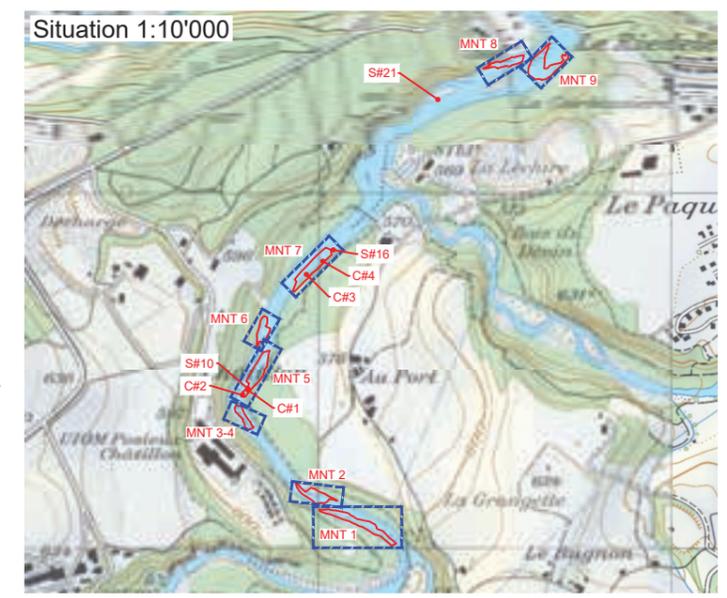
Situation

**CSD INGENIEURS**  
INGÉNIEURS POUR NATURE  
 CSD INGENIEURS SA  
 Chartrénerie 37  
 CH-1701 Fribourg  
 www.csd.ch

**Projet**  
 Dessiné 24.01.2017 / SFL  
 Corrigé 24.01.2017 / PAS  
 Approuvé  
 Format 1050 x 297  
 N° du mandat Phase Plan N°  
 FR2706.917 07



Minimum Elevation	Maximum Elevation	Color
-1.800	-1.600	Black
-1.600	-1.400	Dark Green
-1.400	-1.200	Green
-1.200	-1.000	Light Green
-1.000	-0.800	Yellow-Green
-0.800	-0.600	Yellow
-0.600	-0.400	Light Yellow
-0.400	-0.200	White
-0.200	0.000	Light Orange
0.000	0.200	Orange
0.200	0.400	Dark Orange
0.400	0.600	Red-Orange
0.600	0.800	Red
0.800	1.000	Dark Red
1.000	1.200	Brown
1.200	1.400	Dark Brown



**La Sarine**  
**MNT 9**

Situation

**CSD INGENIEURS+**  
INGÉNIEURS PAR NATURE

Projet: Dessiné 24.01.2017 / SIR  
Contrôle 24.01.2017 / PAS

Echelle: 1:200  
N° du mandat: FR2706.917  
Format: 840 x 420  
Phase: Plan N° 08

CSD INGENIEURS SA t +41 26 460 74 74  
Châtemellerie 37 f +41 26 460 74 79  
CH-1701 Fribourg e fribourg@csd.ch  
www.csd.ch

**Annexe 2.2.3.1**

**Résultats d'analyses de Wessling  
Boîtes MES  
Résultats de mai 2016 à avril 2017**

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Madame Randlett  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-02025-16  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 26.05.2016**

## Rapport no. ULS16-002726-1

**Boîtes MES Mai 2016, FR2706.16, Fribourg**



**S** SCHWEIZERISCHER PRÜFSTELLENDIENST  
**T** SERVICE SUISSE D'ESSAI  
**S** SERVIZIO DI PROVA IN SVIZZERA  
SWISS TESTING SERVICE

ISO/IEC 17025:2005 - STS Nr. 092

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS16-002726-1  
Lyss, le 26.05.2016

Désignation d'échantillon			Boîte MES Armont Pila (Boîte)	Boîte MES Passerelle Marly /Gérine (Boîte)	Boîte MES Pont Pérolles (Boîte)
N° d'échantillon	Unité	LQ	16-073992-01	16-073992-02	16-073992-03

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	9	6	50
---------------	---------	-----	---	---	----

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	53000	34000	9800
-------------------------------	----------	------	-------	-------	------

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

***PCB selon OFEV S-12***

PCB n° 28	mg/kg MS	0.002	<0,002	<0,002	<0,002
PCB n° 52	mg/kg MS	0.002	<0,002	<0,002	<0,002
PCB n° 101	mg/kg MS	0.002	<0,002	<0,002	<0,002
PCB n° 118	mg/kg MS	0.002	<0,002	<0,002	<0,002
PCB n° 138	mg/kg MS	0.002	<0,002	<0,002	<0,002
PCB n° 153	mg/kg MS	0.002	<0,002	<0,002	<0,002
PCB n° 180	mg/kg MS	0.002	<0,002	<0,002	<0,002
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>mg/kg MS</b>		-/-	-/-	-/-
<b>Somme des 7 PCB</b>	<b>mg/kg MS</b>		-/-	-/-	-/-
<b>Somme des 6 PCB (x4,3)</b>	<b>mg/kg MS</b>		-/-	-/-	-/-

Rapport no. ULS16-002726-1  
Lyss, le 26.05.2016

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-073992-01	16-073992-02	16-073992-03
Date de réception:	13.05.2016	13.05.2016	13.05.2016
<b>Désignation</b>	<b>Boîte MES Amont Pila (Boîte)</b>	<b>Boîte MES Passerelle Marly /Gérine (Boîte)</b>	<b>Boîte MES Pont Pérolles (Boîte)</b>
Type d'échantillons:	Matières solides	Matières solides	Matières solides
Prélèvement:	10.05.2016	10.05.2016	10.05.2016
Prélèvement par:	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg
Début des analyses:	13.05.2016	13.05.2016	13.05.2016
Fin des analyses:	26.05.2016	26.05.2016	26.05.2016

## Méthodes

### Paramètres

Matières sèches  
PCB - Méth. interne HAP-PCB adaptée de  
Carbone organique total sur mat. solide (combustion sèche)  
Tamisage de gravier de voie

### Norme

DIN ISO 11465<sup>A</sup>  
DIN ISO 10382<sup>A</sup>  
DIN ISO 10694 mod.<sup>A</sup>  
DB 880.4010<sup>A</sup>

### Laboratoire

Laboratoire Lyss CH (CH)  
Laboratoire Lyss CH (CH)  
Laboratoire Lyss CH (CH)  
Laboratoire Lyss CH (CH)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Monsieur Sébastien Paratte  
Chantemerle 37 Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-02798-16  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 11.07.2016**

## Rapport no. ULS16-003647-1

**Boîtes MES Juin 2016, FR2706.16, Fribourg**



S SCHWEIZERISCHER PRÜFSTELLENDIENST  
T SERVICE SUISSE D'ESSAI  
S SERVIZIO DI PROVA IN SVIZZERA  
S SWISS TESTING SERVICE

ISO/IEC 17025:2005 - STS Nr. 092

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS16-003647-1  
Lyss, le 11.07.2016

<b>Désignation d'échantillon</b>			<b>MES Pass Marly Juin 2016</b>
<b>N° d'échantillon</b>	<b>Unité</b>	<b>LQ</b>	16-097343-01

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	7
Matière sèche total	g	16,3

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	6800
-------------------------------	----------	------	------

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

***PCB type dioxine***

PCB n° 118	ng/kg MB	1000	1200
PCB n° 28	ng/kg MB	1000	<1000
PCB n° 52	ng/kg MB	1000	<1000
PCB n° 101	ng/kg MB	1000	1100
PCB n° 138	ng/kg MB	2000	<2000
PCB n° 153	ng/kg MB	2000	<2000
PCB n° 180	ng/kg MB	2000	<2000

Rapport no. ULS16-003647-1  
Lyss, le 11.07.2016

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n° 16-097343-01  
Date de réception: 23.06.2016  
**Désignation** **MES Pass Marly**  
**Juin 2016**

Type d'échantillons: Matières solides  
Prélèvement: 22.06.2016  
Prélèvement par: CSD SA  
Début des analyses: 23.06.2016  
Fin des analyses: 11.07.2016

## Méthodes

### Paramètres

Matières sèches  
Homogenisierung  
Carbone organique total sur mat. solide (combustion sèche)  
PCB "dioxine-like" /OMS sur matière solide  
Polychlorobiphényles (PCB) sur sol

### Norme

DIN ISO 11465<sup>A</sup>  
WES 092<sup>A</sup>  
DIN ISO 10694 mod.<sup>A</sup>  
EPA 1613 mod.<sup>A</sup>  
DIN 38407-3 Teil 3 mod.

### Laboratoire

Laboratorien Lyss CH (CH)  
Laboratorien Lyss CH (CH)  
Laboratorien Lyss CH (CH)  
Umweltanalytik Altenberge (D)  
Umweltanalytik Altenberge (D)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Monsieur Sébastien Paratte  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-03324-16  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 17.08.2016**

## Rapport no. ULS16-004395-1

**Boîtes MES Juin 2016, FR2706.916**



**S** SCHWEIZERISCHER PRÜFSTELLENDEINST  
**T** SERVICE SUISSE D'ESSAI  
**S** SERVIZIO DI PROVA IN SVIZZERA  
SWISS TESTING SERVICE

ISO/IEC 17025:2005 - STS Nr. 092

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS16-004395-1  
Lyss, le 17.08.2016

Désignation d'échantillon			MES Amont Abbaye	MES Pérolles Boîte	Boîte MES Amont	Boîte MES Passerelle	Boîte MES Pont Pérolles
N° d'échantillon	Unité	LQ	16-118083-01	16-118083-02	16-118083-03	16-118083-04	16-118083-05

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	6	61	13	10	60
---------------	---------	-----	---	----	----	----	----

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	12000	4700	62000	21000	7300
-------------------------------	----------	------	-------	------	-------	-------	------

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

***PCB type dioxine***

PCB n° 118	ng/kg MS	400	1300	570	440	4200	750
PCB n° 28	ng/kg MS	200	310	300	<200	200	300
PCB n° 52	ng/kg MS	400	1400	650	500	1900	600
PCB n° 101	ng/kg MS	400	1500	560	560	4000	670
PCB n° 138	ng/kg MS	400	600	<400	670	3200	600
PCB n° 153	ng/kg MS	400	800	<400	780	3200	580
PCB n° 180	ng/kg MS	400	<400	<400	<400	980	<400

**Préparation d'échantillon**

Homogénéisation			28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016	28.07.2016
-----------------	--	--	------------	------------	------------	------------	------------

Quantité totale original			525.8 g	1544.7g	284 g	110.0 g	2445.7g
Quantité totale après séchage			31.5 g	943 g	36.9 g	11 g	1467.4 g

Rapport no. ULS16-004395-1  
Lyss, le 17.08.2016

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-118083-01	16-118083-02	16-118083-03	16-118083-04	16-118083-05
Date de réception:	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016	26.07.2016
Désignation	<b>MES Amont Abbaye</b>	<b>MES Pérolles Boîte</b>	<b>Boîte MES Amont</b>	<b>Boîte MES Passerelle</b>	<b>Boîte MES Pont Pérolles</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	22.06.2016	22.06.2016	22.06.2016	22.06.2016	22.06.2016
Prélèvement par:	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg
Début des analyses:	27.07.2016	27.07.2016	27.07.2016	27.07.2016	27.07.2016
Fin des analyses:	17.08.2016	17.08.2016	17.08.2016	17.08.2016	17.08.2016

## Méthodes

### Paramètres

Matières sèches  
Homogenisierung  
Carbone organique total sur mat. solide (combustion sèche)  
Tamisage de gravier de voie  
PCB "dioxine-like" /OMS sur matière solide  
Polychlorobiphényles (PCB) sur sol

### Norme

DIN ISO 11465<sup>A</sup>  
WES 092<sup>A</sup>  
DIN ISO 10694 mod.<sup>A</sup>  
DB 880.4010<sup>A</sup>  
EPA 1613 mod.<sup>A</sup>  
DIN 38407-3 Teil 3 mod.

### Laboratoire

Laboratorien Lyss CH (CH)  
Laboratorien Lyss CH (CH)  
Laboratorien Lyss CH (CH)  
Laboratorien Lyss CH (CH)  
Umweltanalytik Altenberge (D)  
Umweltanalytik Altenberge (D)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Monsieur Sébastien Paratte  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-03324-16  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 08.09.2016**

## Rapport no. ULS16-004831-1

**Boîtes MES Juin 2016, FR2706.916 Fribourg**



**S** SCHWEIZERISCHER PRÜFSTELLENDIENST  
**T** SERVICE SUISSE D'ESSAI  
**S** SERVIZIO DI PROVA IN SVIZZERA  
SWISS TESTING SERVICE

ISO/IEC 17025:2005 - STS Nr. 092

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS16-004831-1  
Lyss, le 08.09.2016

Désignation d'échantillon			Pont Hauterive Boîte MES	Pont Pérolles Boîte MES	Gérine Boîte MES	Passerelle rive gauche Boîte MES	Passerelle rive droite Boîte MES
N° d'échantillon	Unité	LQ	16-133475-01	16-133475-02	16-133475-03	16-133475-04	16-133475-05

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	18	54	68	42	53
Quantité totale avant séchage	g		261	660.5	1563.8	39.5	184.7
Quantité totale après séchage	g		47	357.8	1057.4	16.3	97.5

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	42000	7900
-------------------------------	----------	------	-------	------

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

**PCB type dioxine**

PCB n° 118	ng/kg MS		1000	1200
PCB-TEQ (OMS 2005) excl. LQ	ng/kg MS		-/-	-/-
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. 1/2 LQ	ng/kg MS		-/-	-/-
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. LQ	ng/kg MS		-/-	-/-
PCB n° 28	ng/kg MS		<200	280
PCB n° 52	ng/kg MS		1100	880
PCB n° 101	ng/kg MS		2200	1300
PCB n° 138	ng/kg MS		820	800
PCB n° 153	ng/kg MS		950	740
PCB n° 180	ng/kg MS		<400	<400
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>ng/kg MS</b>		<b>5070</b>	<b>4000</b>
<b>Somme des 6 PCB (x4,3)</b>	<b>ng/kg MS</b>		<b>21801</b>	<b>17200</b>

Rapport no. ULS16-004831-1  
Lyss, le 08.09.2016

Désignation d'échantillon			Passerelle rocher Boîte MES	Cpmsite Passerelle gauche,droite,ro che
N° d'échantillon	Unité	LQ	16-133475-06	16-133475-07

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	34	
Quantité totale avant séchage	g		132.8	
Quantité totale après séchage	g		45.2	159

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000		9700
-------------------------------	----------	------	--	------

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

**PCB type dioxine**

PCB n° 118	ng/kg MS		3000	
PCB-TEQ (OMS 2005) excl. LQ	ng/kg MS		-/-	
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. ½LQ	ng/kg MS		-/-	
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. LQ	ng/kg MS		-/-	
PCB n° 28	ng/kg MS		320	
PCB n° 52	ng/kg MS		2200	
PCB n° 101	ng/kg MS		3500	
PCB n° 138	ng/kg MS		2200	
PCB n° 153	ng/kg MS		2000	
PCB n° 180	ng/kg MS		490	
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>ng/kg MS</b>		<b>10710</b>	
<b>Somme des 6 PCB (x4,3)</b>	<b>ng/kg MS</b>		<b>46053</b>	

Rapport no. ULS16-004831-1  
Lyss, le 08.09.2016

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-133475-01	16-133475-02	16-133475-03	16-133475-04	16-133475-05
Date de réception:	25.08.2016	25.08.2016	25.08.2016	25.08.2016	25.08.2016
Désignation	<b>Pont Hauterive Boîte MES</b>	<b>Pont Pérolles Boîte MES</b>	<b>Gérine Boîte MES</b>	<b>Passerelle rive gauche Boîte MES</b>	<b>Passerelle rive droite Boîte MES</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	19.08.2016	19.08.2016	19.08.2016	19.08.2016	19.08.2016
Prélèvement par:	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg
Début des analyses:	25.08.2016	25.08.2016	25.08.2016	25.08.2016	25.08.2016
Fin des analyses:	08.09.2016	08.09.2016			
Echantillon-n°	16-133475-06	16-133475-07			
Date de réception:	25.08.2016	25.08.2016			
Désignation	<b>Passerelle rocher Boîte MES</b>	<b>Cpmposite Passerelle gauche,droite,roch e</b>			
Type d'échantillons:	Sol	Sol			
Prélèvement:	19.08.2016	19.08.2016			
Prélèvement par:	CSD Fribourg	CSD Fribourg			
Début des analyses:	25.08.2016	25.08.2016			
Fin des analyses:		08.09.2016			

## Méthodes

### Paramètres

Matières sèches  
Carbone organique total sur mat. solide (combustion sèche)  
PCB "dioxine-like" /OMS sur matière solide  
Polychlorobiphényles (PCB) sur sol

### Norme

DIN ISO 11465<sup>A</sup>  
DIN ISO 10694 mod.<sup>A</sup>  
EPA 1613 mod.<sup>A</sup>  
DIN 38407-3 Teil 3 mod.

### Laboratoire

Laboratorien Lyss CH (CH)  
Laboratorien Lyss CH (CH)  
Umweltanalytik Altenberge (D)  
Umweltanalytik Altenberge (D)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Monsieur Sébastien Paratte  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-04430-16  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 18.10.2016**

## Rapport no. ULS16-005653-1

**Boîtes MES Septembre 2016 FR2706.916 Fribourg**



S SCHWEIZERISCHER PRÜFSTELLENDIENST  
T SERVICE SUISSE D'ESSAI  
S SERVIZIO DI PROVA IN SVIZZERA  
SWISS TESTING SERVICE

ISO/IEC 17025:2005 - STS Nr. 092

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS16-005653-1  
Lyss, le 18.10.2016

Désignation d'échantillon			Pont Hauterive Boîte MES	Pont Pérolles Boîte MES	Gérine Boîte MES	Composite Passerelle gauche, droite, rocher.
N° d'échantillon	Unité	LQ	16-152958-01	16-152958-02	16-152958-03	16-152958-04

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	6.3	41	19	19
---------------	---------	-----	-----	----	----	----

**Préparation**

Masse total avant séchage	g		659	464	377.2	1018
Masse après séchage	g		41.3	191.5	71.3	69.4

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	55000	14000		14000
-------------------------------	----------	------	-------	-------	--	-------

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

*PCB type dioxine*

PCB n° 118	ng/kg MS		<1000	1800		5700
PCB-TEQ (OMS 2005) excl. LQ	ng/kg MS		-/-	-/-		-/-
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. 1/2LQ	ng/kg MS		-/-	-/-		-/-
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. LQ	ng/kg MS		-/-	-/-		-/-
PCB n° 28	ng/kg MB		<1000	<1000		600
PCB n° 52	ng/kg MB		2100	2400		4700
PCB n° 101	ng/kg MB		1800	1900		6200
PCB n° 138	ng/kg MB		<2000	<2000		4000
PCB n° 153	ng/kg MB		<2000	<2000		5000
PCB n° 180	ng/kg MB		<2000	<2000		900

Rapport no. ULS16-005653-1  
Lyss, le 18.10.2016

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-152958-01	16-152958-02	16-152958-03	16-152958-04
Date de réception:	21.09.2016	21.09.2016	21.09.2016	21.09.2016
Désignation	<b>Pont Hauterive Boîte MES</b>	<b>Pont Pérolles Boîte MES</b>	<b>Gérine Boîte MES</b>	<b>Composite Passerelle gauche, droite, rocher.</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	13.09.2016	13.09.2016	13.09.2016	13.09.2016
Prélèvement par:	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg
Début des analyses:	27.09.2016	27.09.2016	27.09.2016	27.09.2016
Fin des analyses:	18.10.2016	18.10.2016	18.10.2016	18.10.2016

## Méthodes

### Paramètres

Matières sèches  
Carbone organique total sur mat. solide (combustion sèche)  
Tamisage de solides  
PCB "dioxine-like" /OMS sur matière solide  
Polychlorobiphényles (PCB) sur sol  
Tamisage de gravier de voie

### Norme

DIN ISO 11465<sup>A</sup>  
DIN ISO 10694 mod.<sup>A</sup>  
DIN ISO 11464<sup>A</sup>  
EPA 1613 mod.<sup>A</sup>  
DIN 38407-3 Teil 3 mod.  
DB 880.4010<sup>A</sup>

### Laboratoire

Laboratorien Lyss CH (CH)  
Laboratorien Lyss CH (CH)  
Laboratorien Lyss CH (CH)  
Umweltanalytik Altenberge (D)  
Umweltanalytik Altenberge (D)  
Laboratorien Lyss CH (CH)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Madame Randlett  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-04886-16  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 15.11.2016**

## Rapport no. ULS16-006253-1

**Boites MES October 201 FR2706.16 Fribourg**



**S** SCHWEIZERISCHER PRÜFSTELLENDIENST  
**T** SERVICE SUISSE D'ESSAI  
**S** SERVIZIO DI PROVA IN SVIZZERA  
SWISS TESTING SERVICE

ISO/IEC 17025:2005 - STS Nr. 092

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS16-006253-1  
Lyss, le 15.11.2016

Désignation d'échantillon			Boîte MES Hauterive	Boîte MES Pérolles	Boîte MES Gérine	Pass. Rive gauche	Pass. Rive droite
N° d'échantillon	Unité	LQ	16-169703-01	16-169703-02	16-169703-03	16-169703-04	16-169703-05

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	8	31	8	20	10
---------------	---------	-----	---	----	---	----	----

**Préparation**

Quantité avant séchage	g		160.6	348.5	79.6	128	92.4
Quantité après séchage	g		13.5	106.9	6.5	25.4	9.7

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	71000	19000			
-------------------------------	----------	------	-------	-------	--	--	--

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

***PCB type dioxine***

PCB n° 118	ng/kg MS		530	2100			
PCB-TEQ (OMS 2005) excl. LQ	ng/kg MS		-/-	-/-			
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. 1/2LQ	ng/kg MS		-/-	-/-			
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. LQ	ng/kg MS		-/-	-/-			
PCB n° 28	ng/kg MB		<200	570			
PCB n° 52	ng/kg MB		410	1400			
PCB n° 101	ng/kg MB		650	1900			
PCB n° 138	ng/kg MB		860	1400			
PCB n° 153	ng/kg MB		950	1400			
PCB n° 180	ng/kg MB		450	430			
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>ng/kg MB</b>		<b>3320</b>	<b>7100</b>			
<b>Somme des 6 PCB (x4.3)</b>	<b>ng/kg MB</b>		<b>14276</b>	<b>30530</b>			

Rapport no. ULS16-006253-1  
Lyss, le 15.11.2016

Désignation d'échantillon			Pass. centre	Composite Pass. gauche, droite, centre
N° d'échantillon	Unité	LQ	16-169703-06	16-169703-07

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	4	100
---------------	---------	-----	---	-----

**Préparation**

Quantité avant séchage	g		58.6	
Quantité après séchage	g		2.6	37.3

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000		19000
-------------------------------	----------	------	--	-------

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

***PCB type dioxine***

PCB n° 118	ng/kg MS			13000
PCB-TEQ (OMS 2005) excl. LQ	ng/kg MS			-/-
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. 1/2LQ	ng/kg MS			-/-
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. LQ	ng/kg MS			-/-
PCB n° 28	ng/kg MB			520
PCB n° 52	ng/kg MB			3600
PCB n° 101	ng/kg MB			10000
PCB n° 138	ng/kg MB			7900
PCB n° 153	ng/kg MB			7600
PCB n° 180	ng/kg MB			1800
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>ng/kg MB</b>			<b>31420</b>
<b>Somme des 6 PCB (x4.3)</b>	<b>ng/kg MB</b>			<b>135106</b>

Rapport no. ULS16-006253-1  
Lyss, le 15.11.2016

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-169703-01	16-169703-02	16-169703-03	16-169703-04	16-169703-05
Date de réception:	21.10.2016	21.10.2016	24.10.2016	24.10.2016	24.10.2016
<b>Désignation</b>	<b>Boîte MES Hauterive</b>	<b>Boîte MES Pérolles</b>	<b>Boîte MES Gérine</b>	<b>Pass. Rive gauche</b>	<b>Pass. Rive droite</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	18.10.2016	18.10.2016	18.10.2016	18.10.2016	18.10.2016
Prélèvement par:	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg
Début des analyses:	24.10.2016	24.10.2016	24.10.2016	24.10.2016	24.10.2016
Fin des analyses:	15.11.2016	15.11.2016	15.11.2016	15.11.2016	15.11.2016
Echantillon-n°	16-169703-06	16-169703-07			
Date de réception:	24.10.2016	21.10.2016			
<b>Désignation</b>	<b>Pass. centre</b>	<b>Composite Pass. gauche, droite, centre</b>			
Type d'échantillons:	Sol	Sol			
Prélèvement:	18.10.2016	18.10.2016			
Prélèvement par:	CSD Fribourg	CSD Fribourg			
Début des analyses:	24.10.2016	24.10.2016			
Fin des analyses:	15.11.2016	15.11.2016			

## Méthodes

### Paramètres

Matières sèches  
Carbone organique total sur mat. solide (combustion sèche)  
Tamisage de gravier de voie  
PCB "dioxine-like" /OMS sur matière solide  
Polychlorobiphényles (PCB) sur sol

### Norme

DIN ISO 11465<sup>A</sup>  
DIN ISO 10694 mod.<sup>A</sup>  
DB 880.4010<sup>A</sup>  
EPA 1613 mod.<sup>A</sup>  
DIN 38407-3 Teil 3 mod.

### Laboratoire

Laboratorien Lyss CH (CH)  
Laboratorien Lyss CH (CH)  
Laboratorien Lyss CH (CH)  
Umweltanalytik Altenberge (D)  
Umweltanalytik Altenberge (D)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Madame Randlett  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-05370-16  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 09.12.2016**

## Rapport no. ULS16-006795-1

**Boîtes MES Novembre 2016 FR2706.916 Fribourg**



ISO/IEC 17025

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS16-006795-1  
Lyss, le 09.12.2016

Désignation d'échantillon			Boîtes MES Hauterive	Boîtes MES Pérolles	Boîtes MES Gérine	Boîtes MES Pont Glâne (2 seaux)	Pass. Rive gauche
N° d'échantillon	Unité	LQ	16-185273-01	16-185273-02	16-185273-03	16-185273-04	16-185273-05

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	14	46	74	67	73
---------------	---------	-----	----	----	----	----	----

**Préparation**

Quantité avant séchage	g		114.2	1554.1	1957.2	3547.2	609.8
Quantité après séchage	g		16.2	715.3	1447.2	2372.7	441.5

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	59000	22000	8900	12000
-------------------------------	----------	------	-------	-------	------	-------

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

***PCB***

PCB n° 118	ng/kg MS		610	910	<200	300
PCB n° 28	ng/kg MS		260	480	<200	<300
PCB n° 52	ng/kg MS		2800	1000	<200	370
PCB n° 101	ng/kg MS		1200	1000	<200	290
PCB n° 138	ng/kg MS		850	1100	<400	<400
PCB n° 153	ng/kg MS		910	1200	<400	410
PCB n° 180	ng/kg MS		460	670	<400	430
<b>Somme des 6 PCB</b>			<b>6480</b>	<b>5450</b>		<b>1500</b>
<b>Somme des 6 PCB x4.3</b>			<b>27864</b>	<b>23435</b>		<b>6450</b>

Rapport no. ULS16-006795-1  
Lyss, le 09.12.2016

Désignation d'échantillon			Pass. Rive droite	Pass. rocher	Composite Pass. gauche, droite, rocher
N° d'échantillon	Unité	LQ	16-185273-06	16-185273-07	16-185273-08

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	60	73	
---------------	---------	-----	----	----	--

**Préparation**

Quantité avant séchage	g		438.4	1760	
Quantité après séchage	g		262.9	1288.5	1992.9

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000			8400
-------------------------------	----------	------	--	--	------

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

***PCB***

PCB n° 118	ng/kg MS				<200
PCB n° 28	ng/kg MS				<200
PCB n° 52	ng/kg MS				<200
PCB n° 101	ng/kg MS				<200
PCB n° 138	ng/kg MS				<400
PCB n° 153	ng/kg MS				<400
PCB n° 180	ng/kg MS				<400

**Somme des 6 PCB**

**Somme des 6 PCB x4.3**

Rapport no. ULS16-006795-1  
Lyss, le 09.12.2016

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-185273-01	16-185273-02	16-185273-03	16-185273-04	16-185273-05
Date de réception:	17.11.2016	17.11.2016	17.11.2016	17.11.2016	17.11.2016
<b>Désignation</b>	<b>Boîtes MES Hauterive</b>	<b>Boîtes MES Pérolles</b>	<b>Boîtes MES Gérine</b>	<b>Boîtes MES Pont Glâne (2 seaux)</b>	<b>Pass. Rive gauche</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	12.11.2016	12.11.2016	12.11.2016	12.11.2016	12.11.2016
Prélèvement par:	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg
Début des analyses:	17.11.2016	17.11.2016	17.11.2016	17.11.2016	17.11.2016
Fin des analyses:	08.12.2016	08.12.2016	08.12.2016	08.12.2016	08.12.2016
Echantillon-n°	16-185273-06	16-185273-07	16-185273-08		
Date de réception:	17.11.2016	17.11.2016	17.11.2016		
<b>Désignation</b>	<b>Pass. Rive droite</b>	<b>Pass. rocher</b>	<b>Composite Pass. gauche, droite, rocher</b>		
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol		
Prélèvement:	12.11.2016	12.11.2016	12.11.2016		
Prélèvement par:	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg		
Début des analyses:	17.11.2016	17.11.2016	17.11.2016		
Fin des analyses:	08.12.2016	08.12.2016	08.12.2016		

## Méthodes

### Paramètres

Matières sèches  
Tamisage de gravier de voie  
Carbone organique total sur mat. solide (combustion sèche)  
PCB "dioxine-like" /OMS sur matière solide  
Polychlorobiphényles (PCB) sur sol

### Norme

DIN ISO 11465<sup>A</sup>  
DB 880.4010<sup>A</sup>  
DIN ISO 10694 mod.<sup>A</sup>  
EPA 1613 mod.<sup>A</sup>  
DIN 38407-3 Teil 3 mod.

### Laboratoire

Laboratoire Lyss CH (CH)  
Laboratoire Lyss CH (CH)  
Laboratoire Lyss CH (CH)  
Umweltanalytik Altenberge (D)  
Umweltanalytik Altenberge (D)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat  
G = gaz

## Commentaires

16-185273-04

Commentaires des résultats:

PCB HSL sol, PCB n° 28: Suite à des interférences dans la matrice, la limite de quantification a été augmentée.

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Monsieur Sébastien Paratte  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-05917-16  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 04.01.2017**

## Rapport no. ULS17-000030-1

**Boîtes MES Décembre 2016 FR2706.916 Fribourg**



ISO/IEC 17025

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS17-000030-1  
Lyss, le 04.01.2017

Désignation d'échantillon			Boîte MES Hauterive	Boîtes MES Pérolles	Boîte MES Gérine	Boîte MES Pont Glâne	Pass. Rive gauche
N° d'échantillon	Unité	LQ	16-203729-01	16-203729-02	16-203729-03	16-203729-04	16-203729-05

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	14	63	67	57	57
---------------	---------	-----	----	----	----	----	----

**Propriétés générales**

Quantité avant séchage	g		119.5	919.3	628.8	916	69
Quantité après séchage	g		16.2	577.3	423.7	525.9	39

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	60000	8000	12000	8000	
-------------------------------	----------	------	-------	------	-------	------	--

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

***PCB***

PCB n° 118	ng/kg MS	200	870	680	<200	410	
PCB n° 28	ng/kg MS	200	1100	390	<200	440	
PCB n° 52	ng/kg MS	200	7600	1200	520	1200	
PCB n° 101	ng/kg MS	200	2000	740	<200	530	
PCB n° 138	ng/kg MS	400	1100	550	<400	410	
PCB n° 153	ng/kg MS	400	1700	760	<400	590	
PCB n° 180	ng/kg MS	400	490	<400	<400	<400	
Somme des 6 PCB	ng/kg MS		13990	3640	520	3170	
Somme des 6 PCB (x4.3)	ng/kg MS		60157	15652	2236	13631	

Rapport no. ULS17-000030-1  
Lyss, le 04.01.2017

Désignation d'échantillon			Pass. Rive droite	Pass. centre	Composite Pass. gauche, droite, centre
N° d'échantillon	Unité	LQ	16-203729-06	16-203729-07	16-203729-08

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	29	63	
---------------	---------	-----	----	----	--

**Propriétés générales**

Quantité avant séchage	g		34.7	122.8	
Quantité après séchage	g		9.9	77.6	126.5

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000			10000
-------------------------------	----------	------	--	--	-------

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

***PCB***

PCB n° 118	ng/kg MS	200			1600
PCB n° 28	ng/kg MS	200			710
PCB n° 52	ng/kg MS	200			3900
PCB n° 101	ng/kg MS	200			1800
PCB n° 138	ng/kg MS	400			1100
PCB n° 153	ng/kg MS	400			1700
PCB n° 180	ng/kg MS	400			<400
Somme des 6 PCB	ng/kg MS				9210
Somme des 6 PCB (x4.3)	ng/kg MS				39603

Rapport no. ULS17-000030-1  
Lyss, le 04.01.2017

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-203729-01	16-203729-02	16-203729-03	16-203729-04	16-203729-05
Date de réception:	15.12.2016	15.12.2016	15.12.2016	15.12.2016	15.12.2016
<b>Désignation</b>	<b>Boîte MES Hauterive</b>	<b>Boîtes MES Pérolles</b>	<b>Boîte MES Gérine</b>	<b>Boîte MES Pont Glâne</b>	<b>Pass. Rive gauche</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	13.12.2016	13.12.2016	13.12.2016	13.12.2016	13.12.2016
Prélèvement par:	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg
Début des analyses:	15.12.2016	15.12.2016	15.12.2016	15.12.2016	15.12.2016
Fin des analyses:	04.01.2017	04.01.2017	04.01.2017	04.01.2017	04.01.2017
Echantillon-n°	16-203729-06	16-203729-07	16-203729-08		
Date de réception:	15.12.2016	15.12.2016	15.12.2016		
<b>Désignation</b>	<b>Pass. Rive droite</b>	<b>Pass. centre</b>	<b>Composite Pass. gauche, droite, centre</b>		
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol		
Prélèvement:	13.12.2016	13.12.2016	13.12.2016		
Prélèvement par:	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg		
Début des analyses:	15.12.2016	15.12.2016	15.12.2016		
Fin des analyses:	04.01.2017	04.01.2017	04.01.2017		

## Méthodes

### Paramètres

Matières sèches  
PCB "dioxine-like" /OMS sur matière solide  
Polychlorobiphényles (PCB) sur sol  
Carbone organique total sur mat. solide (combustion sèche)

### Norme

DIN ISO 11465<sup>A</sup>  
EPA 1613 mod.<sup>A</sup>  
DIN 38407-3 Teil 3 mod.  
DIN ISO 10694 mod.<sup>A</sup>

### Laboratoire

Laboratoriën Lyss CH (CH)  
Umweltanalytik Altenberge (D)  
Umweltanalytik Altenberge (D)  
Laboratoriën Lyss CH (CH)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat  
G = gaz

Des compléments d'information sur les principes d'analyses, par exemple les incertitudes de mesure, sont disponibles sur demande.

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Madame Marie-Ève Randlett  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-00144-17  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 20.02.2017**

## **Rapport no. ULS17-000747-1**

**Boîtes MES Janvier 2017 FR2706.917 Fribourg**



ISO/IEC 17025

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS17-000747-1  
Lyss, le 20.02.2017

Désignation d'échantillon			Boîte MES Hauterive	Boîte MES Pérolles	Boîte MES Gérine	Boîte MES Pont Glâne
N° d'échantillon	Unité	LQ	17-007343-01	17-007343-02	17-007343-03	17-007343-04

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	10	17	34	4
---------------	---------	-----	----	----	----	---

**Préparation**

Quantité avant séchage	g		77	98.4	22.9	61.1
Quantité après séchage	g		8	17.2	7.7	2.6

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	51000	14000	11000	11000
-------------------------------	----------	------	-------	-------	-------	-------

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

***PCB***

PCB n° 118	ng/kg MS	200	530	1700	260	6400
PCB n° 28	ng/kg MS	200	370	660	410	2600
PCB n° 52	ng/kg MS	200	1700	2200	980	6100
PCB n° 101	ng/kg MS	200	1100	2000	550	6600
PCB n° 138	ng/kg MS	400	710	1300	<400	5100
PCB n° 153	ng/kg MS	400	1200	2000	520	7000
PCB n° 180	ng/kg MS	400	420	470	<400	2100
<b>Somme des 6 PCB</b>			<b>5500</b>	<b>8630</b>	<b>2460</b>	<b>29500</b>
<b>Somme des 6 PCB x4.3</b>			<b>23650</b>	<b>37109</b>	<b>10578</b>	<b>126850</b>

Rapport no. ULS17-000747-1  
Lyss, le 20.02.2017

Désignation d'échantillon			Pass. Rive gauche	Pass. Rive droite	Pass. Rocher	Composite Pass. gauche, droite, rocher
N° d'échantillon	Unité	LQ	17-007343-05	17-007343-06	17-007343-07	17-007343-08

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	2	3	40	
---------------	---------	-----	---	---	----	--

**Préparation**

Quantité avant séchage	g		12.8	21.3	54.1	
Quantité après séchage	g		0.3	0.6	21.6	22.5

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000				8000
-------------------------------	----------	------	--	--	--	------

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

***PCB***

PCB n° 118	ng/kg MS	200				3000
PCB n° 28	ng/kg MS	200				5400
PCB n° 52	ng/kg MS	200				2900
PCB n° 101	ng/kg MS	200				3100
PCB n° 138	ng/kg MS	400				2000
PCB n° 153	ng/kg MS	400				2500
PCB n° 180	ng/kg MS	400				<400

**Somme des 6 PCB**

**15900**

**Somme des 6 PCB x4.3**

**68370**

Rapport no. ULS17-000747-1  
Lyss, le 20.02.2017

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	17-007343-01	17-007343-02	17-007343-03	17-007343-04	17-007343-05
Date de réception:	17.01.2017	17.01.2017	17.01.2017	17.01.2017	17.01.2017
<b>Désignation</b>	<b>Boîte MES Hauterive</b>	<b>Boîte MES Pérolles</b>	<b>Boîte MES Gérine</b>	<b>Boîte MES Pont Glâne</b>	<b>Pass. Rive gauche</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	10.01.2017	10.01.2017	10.01.2017	10.01.2017	10.01.2017
Prélèvement par:	CSD	CSD	CSD	CSD	CSD
Préleveur:	Karin Bourqui	Karin Bourqui	Karin Bourqui	Karin Bourqui	Karin Bourqui
Début des analyses:	17.01.2017	17.01.2017	17.01.2017	17.01.2017	17.01.2017
Fin des analyses:	20.02.2017	20.02.2017	20.02.2017	20.02.2017	20.02.2017
Echantillon-n°	17-007343-06	17-007343-07	17-007343-08		
Date de réception:	17.01.2017	17.01.2017	17.01.2017		
<b>Désignation</b>	<b>Pass. Rive droite</b>	<b>Pass. Rocher</b>	<b>Composite Pass. gauche, droite, rocher</b>		
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol		
Prélèvement:	10.01.2017	10.01.2017	10.01.2017		
Prélèvement par:	CSD	CSD	CSD		
Préleveur:	Karin Bourqui	Karin Bourqui	Karin Bourqui		
Début des analyses:	17.01.2017	17.01.2017	17.01.2017		
Fin des analyses:	20.02.2017	20.02.2017	20.02.2017		

## Méthodes

### Paramètres

Matières sèches  
PCB "dioxine-like" /OMS sur matière solide  
Polychlorobiphényles (PCB) sur sol  
Carbone organique total sur mat. solide (combustion sèche)

### Norme

DIN ISO 11465<sup>A</sup>  
EPA 1613 mod.<sup>A</sup>  
DIN 38407-3 Teil 3 mod.  
DIN ISO 10694 mod.<sup>A</sup>

### Laboratoire

Laboratorien Lyss CH (CH)  
Umweltanalytik Altenberge (D)  
Umweltanalytik Altenberge (D)  
Laboratorien Lyss CH (CH)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat  
G = gaz

Des compléments d'information sur les principes d'analyses, par exemple les incertitudes de mesure, sont disponibles sur demande.

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Monsieur Sébastien Paratte  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-05917-16  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 13.03.2017**

## **Rapport no. ULS17-001198-1**

**Boîtes MES Février 2017 FR2706.917 Fribourg**



ISO/IEC 17025

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS17-001198-1  
Lyss, le 13.03.2017

Désignation d'échantillon			Boîte MES Hauterive	Boîte MES Pont Pérolles	Boîte MES Gérine	Boîte MES Pont Glâne	Pass. centre
N° d'échantillon	Unité	LQ	17-020387-01	17-020387-02	17-020387-03	17-020387-04	17-020387-05

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	3	27	22	20	1
Quantité totale avant séchage	g MB		177	459.3	391.6	487.3	125.5
Quantité après séchage	g MS		5.6	123.8	85.3	98	1

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	50000	18000	17000	40000	
-------------------------------	----------	------	-------	-------	-------	-------	--

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

**PCB**

PCB n° 118	ng/kg MS		1400	1500	<200	1500	
PCB n° 28	ng/kg MB		1600	730	200	1000	
PCB n° 52	ng/kg MB		4200	1400	320	2100	
PCB n° 101	ng/kg MB		3100	1400	270	1700	
PCB n° 138	ng/kg MB		1600	1100	<400	1500	
PCB n° 153	ng/kg MB		2300	1400	<400	2100	
PCB n° 180	ng/kg MB		750	440	<400	760	
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>ng/kg MB</b>		<b>13550</b>	<b>6470</b>	<b>790</b>	<b>9160</b>	
<b>Somme des 6 PCB (x4.3)</b>	<b>ng/kg MB</b>		<b>58265</b>	<b>27821</b>	<b>3397</b>	<b>39388</b>	

Rapport no. ULS17-001198-1  
Lyss, le 13.03.2017

Désignation d'échantillon			Pass. Rive droite	Pass. rocher	Composite Pass. centre, droite, rocher
N° d'échantillon	Unité	LQ	17-020387-06	17-020387-07	17-020387-08

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	5	22	
Quantité totale avant séchage	g MB		123.4	305.5	554.4
Quantité après séchage	g MS		5.8	67	73.8

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000			9000
-------------------------------	----------	------	--	--	------

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

**PCB**

PCB n° 118	ng/kg MS				2100
PCB n° 28	ng/kg MB				480
PCB n° 52	ng/kg MB				1700
PCB n° 101	ng/kg MB				2000
PCB n° 138	ng/kg MB				1400
PCB n° 153	ng/kg MB				1500
PCB n° 180	ng/kg MB				<400
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>ng/kg MB</b>				<b>7080</b>
<b>Somme des 6 PCB (x4.3)</b>	<b>ng/kg MB</b>				<b>30444</b>

Rapport no. ULS17-001198-1  
Lyss, le 13.03.2017

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	17-020387-01	17-020387-02	17-020387-03	17-020387-04	17-020387-05
Date de réception:	09.02.2017	09.02.2017	09.02.2017	09.02.2017	09.02.2017
Désignation	<b>Boîte MES Hauterive</b>	<b>Boîte MES Pont Pérolles</b>	<b>Boîte MES Gérine</b>	<b>Boîte MES Pont Glâne</b>	<b>Pass. centre</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	07.02.2017	07.02.2017	07.02.2017	07.02.2017	07.02.2017
Prélèvement par:	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg
Début des analyses:	09.02.2017	09.02.2017	09.02.2017	09.02.2017	09.02.2017
Fin des analyses:	13.03.2017	13.03.2017	13.03.2017	13.03.2017	13.03.2017
Echantillon-n°	17-020387-06	17-020387-07	17-020387-08		
Date de réception:	09.02.2017	09.02.2017	09.02.2017		
Désignation	<b>Pass. Rive droite</b>	<b>Pass. rocher</b>	<b>Composite Pass. centre, droite, rocher</b>		
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol		
Prélèvement:	07.02.2017	07.02.2017	07.02.2017		
Prélèvement par:	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg		
Début des analyses:	09.02.2017	09.02.2017	09.02.2017		
Fin des analyses:	13.03.2017	13.03.2017	13.03.2017		

## Méthodes

### Paramètres

Matières sèches  
Tamisage de gravier de voie  
PCB "dioxine-like" /OMS sur matière solide  
Polychlorobiphényles (PCB) sur sol  
Carbone organique total sur mat. solide (combustion sèche)

### Norme

DIN ISO 11465<sup>A</sup>  
DB 880.4010<sup>A</sup>  
EPA 1613 mod.<sup>A</sup>  
DIN 38407-3 Teil 3 mod.  
DIN ISO 10694 mod.<sup>A</sup>

### Laboratoire

Laboratorien Lyss CH (CH)  
Laboratorien Lyss CH (CH)  
Umweltanalytik Altenberge (D)  
Umweltanalytik Altenberge (D)  
Laboratorien Lyss CH (CH)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat  
G = gaz

Des compléments d'information sur les principes d'analyses, par exemple les incertitudes de mesure, sont disponibles sur demande.

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Monsieur Sébastien Paratte  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-01464-17  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 04.05.2017**

## Rapport no. ULS17-002250-1

**Boîtes MES Mars 2017 FR2706.917 Fribourg**



ISO/IEC 17025

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS17-002250-1  
Lyss, le 04.05.2017

Désignation d'échantillon			Boîte MES Hauterive	Boîte MES Pérolles	Boîte MES Gérine	Boîte MES Glâne	Pass. rocher
N° d'échantillon	Unité	LQ	17-058809-01	17-058809-02	17-058809-03	17-058809-04	17-058809-05

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	3.3	27	37	41	8.3
---------------	---------	-----	-----	----	----	----	-----

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	69000	42000	25000	23000	
-------------------------------	----------	------	-------	-------	-------	-------	--

**Préparation**

Quantité totale	kg MB		0.112	0.581	0.557	1.12	0.146
Quantité avant séchage	g		106	563.9	538.1	1095.4	139
Quantité après séchage	g		3.5	150.2	201.5	451.9	11.5

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

***PCB type dioxine***

PCB n° 118	ng/kg MB		840	1000	230	910	
PCB n° 28	ng/kg MB		1900	480	<200	560	
PCB n° 52	ng/kg MB		2900	1000	210	1000	
PCB n° 101	ng/kg MB		1200	1100	280	890	
PCB n° 138	ng/kg MB		910	1000	<400	920	
PCB n° 153	ng/kg MB		1200	1300	410	1200	
PCB n° 180	ng/kg MB		410	450	<400	450	
PCB-TEQ (OMS 2005) excl. LQ	ng/kg MB		-/-	-/-	-/-	-/-	
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. 1/2LQ	ng/kg MB		-/-	-/-	-/-	-/-	
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. LQ	ng/kg MB		-/-	-/-	-/-	-/-	

<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>ng/kg MB</b>		<b>8520</b>	<b>5330</b>	<b>900</b>	<b>5020</b>	
<b>Somme des 6 PCB (x4,3)</b>	<b>ng/kg MB</b>		<b>36636</b>	<b>22919</b>	<b>3870</b>	<b>21586</b>	

Rapport no. ULS17-002250-1  
Lyss, le 04.05.2017

Désignation d'échantillon			Pass. centre	Pass. rive droite	Composite Pass. rocher, centre, rive droite
N° d'échantillon	Unité	LQ	17-058809-06	17-058809-07	17-058809-08

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	4	9.6	100
---------------	---------	-----	---	-----	-----

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000			20000
-------------------------------	----------	------	--	--	-------

**Préparation**

Quantité totale	kg MB		0.065	0.056	0.267
Quantité avant séchage	g		59.6	48	246.6
Quantité après séchage	g		2.4	4.6	18.5

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

***PCB type dioxine***

PCB n° 118	ng/kg MB				6600
PCB n° 28	ng/kg MB				1200
PCB n° 52	ng/kg MB				3000
PCB n° 101	ng/kg MB				4300
PCB n° 138	ng/kg MB				5500
PCB n° 153	ng/kg MB				6800
PCB n° 180	ng/kg MB				1400
PCB-TEQ (OMS 2005) excl. LQ	ng/kg MB				-/-
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. 1/2LQ	ng/kg MB				-/-
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. LQ	ng/kg MB				-/-

<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>ng/kg MB</b>				<b>22200</b>
<b>Somme des 6 PCB (x4,3)</b>	<b>ng/kg MB</b>				<b>95460</b>

Rapport no. ULS17-002250-1  
Lyss, le 04.05.2017

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	17-058809-01	17-058809-02	17-058809-03	17-058809-04	17-058809-05
Date de réception:	11.04.2017	11.04.2017	11.04.2017	11.04.2017	11.04.2017
<b>Désignation</b>	<b>Boîte MES Hauterive</b>	<b>Boîte MES Pérolles</b>	<b>Boîte MES Gérine</b>	<b>Boîte MES Glâne</b>	<b>Pass. rocher</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	04.03.2017	04.03.2017	04.03.2017	04.03.2017	04.03.2017
Prélèvement par:	CSD	CSD	CSD	CSD	CSD
Préleveur:	Karin Bourqui	Karin Bourqui	Karin Bourqui	Karin Bourqui	Karin Bourqui
Début des analyses:	12.04.2017	12.04.2017	12.04.2017	12.04.2017	12.04.2017
Fin des analyses:	04.05.2017	04.05.2017	04.05.2017	04.05.2017	04.05.2017
Echantillon-n°	17-058809-06	17-058809-07	17-058809-08		
Date de réception:	11.04.2017	11.04.2017	11.04.2017		
<b>Désignation</b>	<b>Pass. centre</b>	<b>Pass. rive droite</b>	<b>Composite Pass. rocher, centre, rive droite</b>		
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol		
Prélèvement:	04.03.2017	04.03.2017	04.03.2017		
Prélèvement par:	CSD	CSD	CSD		
Préleveur:	Karin Bourqui	Karin Bourqui	Karin Bourqui		
Début des analyses:	12.04.2017	12.04.2017	12.04.2017		
Fin des analyses:	04.05.2017	04.05.2017	04.05.2017		

## Méthodes

### Paramètres

Matières sèches  
Tamisage de gravier de voie  
PCB "dioxine-like" /OMS sur matière solide  
Polychlorobiphényles (PCB) sur sol  
Carbone organique total sur mat. solide (combustion sèche)

### Norme

DIN ISO 11465<sup>A</sup>  
DB 880.4010<sup>A</sup>  
EPA 1613 mod.<sup>A</sup>  
DIN 38407-3 Teil 3 mod.  
DIN ISO 10694 mod.<sup>A</sup>

### Laboratoire

Laboratorien Lyss CH (CH)  
Laboratorien Lyss CH (CH)  
Umweltanalytik Altenberge (D)  
Umweltanalytik Altenberge (D)  
Laboratorien Lyss CH (CH)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat  
G = gaz

Des compléments d'information sur les principes d'analyses, par exemple les incertitudes de mesure, sont disponibles sur demande.

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Monsieur Sébastien Paratte  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-01459-17  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 04.05.2017**

## Rapport no. ULS17-002248-1

**Boîtes MES Avril 2017 FR2706.917 Fribourg**



ISO/IEC 17025

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS17-002248-1  
Lyss, le 04.05.2017

Désignation d'échantillon			Boîte MES Hauterive	Boîte MES Pérolles	Boîte MES Gérine	Boîte MES Glâne	Pass. rocher
N° d'échantillon	Unité	LQ	17-058742-01	17-058742-02	17-058742-03	17-058742-04	17-058742-05

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	7.5	57	59	54	28
---------------	---------	-----	-----	----	----	----	----

**Préparation**

Quantité totale	kg MB		0.136	1.162	1.42	1.43	0.148
Quantité avant séchage	g		118.3	1149.3	1394.7	1405.1	136.5
Quantité après séchage	g		8.9	657.2	828.2	762.9	38.2

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	90000	12000	12000	16000	
-------------------------------	----------	------	-------	-------	-------	-------	--

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

*PCB type dioxine*

PCB n° 118	ng/kg MB	200	630	1100	<200	320
PCB n° 28	ng/kg MB	200	1700	640	<200	280
PCB n° 52	ng/kg MB	200	2500	1200	<200	450
PCB n° 101	ng/kg MB	200	880	990	<200	310
PCB n° 138	ng/kg MB	400	740	870	<400	<400
PCB n° 153	ng/kg MB	400	1100	1100	<400	450
PCB n° 180	ng/kg MB	400	400	<400	<400	<400
PCB-TEQ (OMS 2005) excl. LQ	ng/kg MB		-/-	-/-	-/-	-/-
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. ½LQ	ng/kg MB		-/-	-/-	-/-	-/-
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. LQ	ng/kg MB		-/-	-/-	-/-	-/-

<b>Somme des 6 PCB</b>	ng/kg MB		7320	4800	-/-	1490
<b>Somme des 6 PCB (x4,3)</b>	ng/kg MB		<b>31476</b>	<b>20640</b>	-/-	<b>6407</b>

Rapport no. ULS17-002248-1  
Lyss, le 04.05.2017

Désignation d'échantillon			Pass. centre	Pass. rive droite	Composite Pass. rocher, centre, droite
N° d'échantillon	Unité	LQ	17-058742-06	17-058742-07	17-058742-08

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	2.1	6.9	100
---------------	---------	-----	-----	-----	-----

**Préparation**

Quantité totale	kg MB		0.104	0.117	0.37
Quantité avant séchage	g		99.4	109.5	345.4
Quantité après séchage	g		2.1	7.6	47.9

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000			20000
-------------------------------	----------	------	--	--	-------

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

*PCB type dioxine*

PCB n° 118	ng/kg MB	200			32000
PCB n° 28	ng/kg MB	200			1700
PCB n° 52	ng/kg MB	200			11000
PCB n° 101	ng/kg MB	200			30000
PCB n° 138	ng/kg MB	400			21000
PCB n° 153	ng/kg MB	400			27000
PCB n° 180	ng/kg MB	400			3200
PCB-TEQ (OMS 2005) excl. LQ	ng/kg MB				-/-
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. ½LQ	ng/kg MB				-/-
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. LQ	ng/kg MB				-/-

<b>Somme des 6 PCB</b>	ng/kg MB				93900
<b>Somme des 6 PCB (x4,3)</b>	ng/kg MB				<b>403770</b>

Rapport no. ULS17-002248-1  
Lyss, le 04.05.2017

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	17-058742-01	17-058742-02	17-058742-03	17-058742-04	17-058742-05
Date de réception:	11.04.2017	11.04.2017	11.04.2017	11.04.2017	11.04.2017
<b>Désignation</b>	<b>Boîte MES Hauterive</b>	<b>Boîte MES Pérolles</b>	<b>Boîte MES Gérine</b>	<b>Boîte MES Glâne</b>	<b>Pass. rocher</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	08.04.2017	08.04.2017	08.04.2017	08.04.2017	08.04.2017
Prélèvement par:	CSD	CSD	CSD	CSD	CSD
Début des analyses:	12.04.2017	12.04.2017	12.04.2017	12.04.2017	12.04.2017
Fin des analyses:	04.05.2017	04.05.2017	04.05.2017	04.05.2017	04.05.2017
Echantillon-n°	17-058742-06	17-058742-07	17-058742-08		
Date de réception:	11.04.2017	11.04.2017	11.04.2017		
<b>Désignation</b>	<b>Pass. centre</b>	<b>Pass. rive droite</b>	<b>Composite Pass. rocher, centre, droite</b>		
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol		
Prélèvement:	08.04.2017	08.04.2017			
Prélèvement par:	CSD	CSD	CSD		
Début des analyses:	12.04.2017	12.04.2017	12.04.2017		
Fin des analyses:	04.05.2017	04.05.2017	04.05.2017		

## Méthodes

### Paramètres

Matières sèches  
Tamisage de gravier de voie  
PCB "dioxine-like" /OMS sur matière solide  
Polychlorobiphényles (PCB) sur sol  
Carbone organique total sur mat. solide (combustion sèche)

### Norme

DIN ISO 11465<sup>A</sup>  
DB 880.4010<sup>A</sup>  
EPA 1613 mod.<sup>A</sup>  
DIN 38407-3 Teil 3 mod.  
DIN ISO 10694 mod.<sup>A</sup>

### Laboratoire

Laboratorien Lyss CH (CH)  
Laboratorien Lyss CH (CH)  
Umweltanalytik Altenberge (D)  
Umweltanalytik Altenberge (D)  
Laboratorien Lyss CH (CH)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat  
G = gaz

Des compléments d'information sur les principes d'analyses, par exemple les incertitudes de mesure, sont disponibles sur demande.

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

**Annexe 2.2.3.2 – 1**

**Rapport EMPA et WESSLING  
MES composites durant la crue**

## Résultats d'analyse EMPA, PCB dans les MES composites

Externe Bez.: Datum Probenahme: Interne Bez:	Pont Hauterive - 1 Composite 1 39616 ng/kg	Passerelle - 1 Composite 1 39716 ng/kg	Pont Pérolles - 1 Composite 1 39516 ng/kg	Passerelle Gerine Composite 2 29716 ng/kg
<b>PCB 28</b>	96	160	346	212
<b>PCB 52</b>	194	345	783	726
<b>PCB 101</b>	474	722	1256	1087
<b>PCB 118</b>	452	795	1346	1169
<b>PCB 138</b>	666	936	1137	1318
<b>PCB 153</b>	618	860	968	1489
<b>PCB 180</b>	289	400	319	507
<b>Summe 6:</b>	2337	3424	4809	5339
<b>Summe 7:</b>	<b>2789</b>	<b>4219</b>	<b>6155</b>	<b>6509</b>
Abstand zu Blindwert:				
Partikelmasse gesamt [g]:	25.32	27.31	39.48	33.7
Volumen gesamt [L]:	<b>200</b>	<b>300</b>	<b>300</b>	<b>300</b>
Partikel/Liter [g]:	0.1266	0.0910	0.1316	0.112

Rot <2.5 x Blindwert

Orange 2.5 bis 5 x Blindwert

Grün >5 x Blindwert

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Madame Alexandra Fröhlich  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-06027-16  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 28.12.2016**

## Rapport no. ULS16-007197-1

### Décharge de la Pila - Simulation Glissement FR2706.916



ISO/IEC 17025

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS16-007197-1  
Lyss, le 28.12.2016

Désignation d'échantillon			Composite 1 Pérolles 14.09.2016	Composite 1 Passerelle 14.09.2016	Composite 1 Hauterive	Passerelles Gérine Composite 27: 20-19.25
N° d'échantillon	Unité	LQ	16-208094-01	16-208094-02	16-208094-03	16-208094-04

Paramètres organiques globaux

Carbone organique total (COT)	mg/kg MB	1000	30000	37000	41000	42000
-------------------------------	----------	------	-------	-------	-------	-------

Rapport no. ULS16-007197-1  
Lyss, le 28.12.2016

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-208094-01	16-208094-02	16-208094-03	16-208094-04
Date de réception:	22.12.2016	22.12.2016	22.12.2016	22.12.2016
Désignation	<b>Composite 1 Pérolles 14.09.2016</b>	<b>Composite 1 Passerelle 14.09.2016</b>	<b>Composite 1 Hauterive</b>	<b>Passerelles Gérine Composite 2 7: 20-19.25</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	14.09.2016	14.09.2016	14.09.2016	14.09.2016
Prélèvement par:	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg
Début des analyses:	22.12.2016	22.12.2016	22.12.2016	22.12.2016
Fin des analyses:	28.12.2016	28.12.2016	28.12.2016	28.12.2016

## Méthodes

### Paramètres

Carbone organique total sur mat. solide (combustion sèche)

### Norme

DIN ISO 10694 mod.<sup>A</sup>

### Laboratoire

Laboratoire Lyss CH (CH)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat  
G = gaz

Des compléments d'information sur les principes d'analyses, par exemple les incertitudes de mesure, sont disponibles sur demande.

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

**Annexe 2.2.3.2. – 2**

**Calibration de la MES pour les données de la crue**

Les figures ci-dessous représentent les relations obtenues entre la quantité de MES se trouvant dans l'eau de la Sarine (mg/L) et la turbidité (NTU) mesurée par une sonde fixe ou portable. Les échantillons ont été obtenus à différents endroits et à différents moments pendant la crue artificielle de septembre 2016.

La figure et les deux tableaux ci-dessous représentent les échantillons obtenus au site Passerelle (1L à chaque heure).

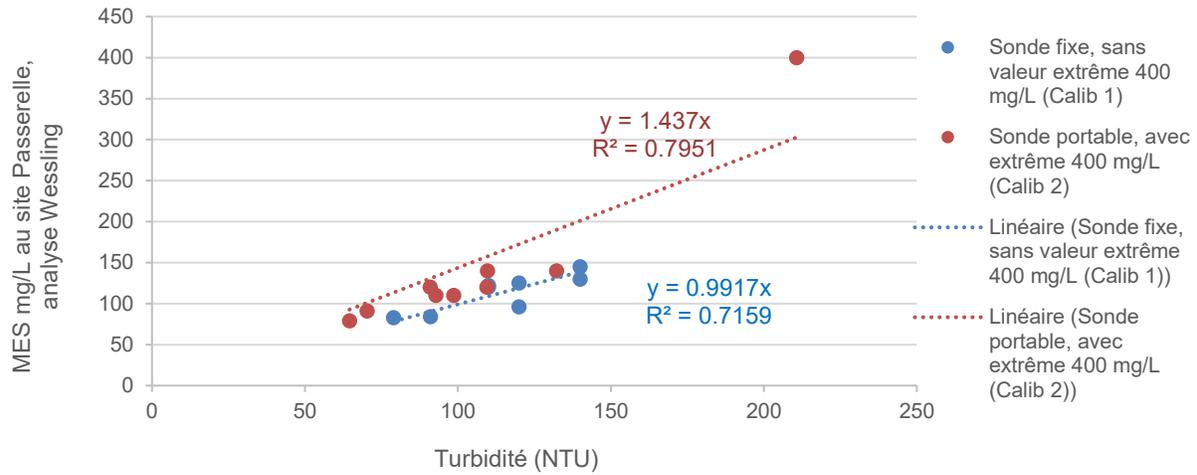


Figure 1 Calibrations NTU- mg/L à partir d'échantillons Passerelle, avec différentes sondes

Table 1 Données liées à la calibration 1 (Calib 1)

Turbidité sonde fixe (insitu Sarine)			MES Wessling
Date	Heure	Valeur NTU	Valeur mg/L
14.09.2016	08:00:00	122	110
14.09.2016	09:10:00	130	140
14.09.2016	10:00:00	84	91
14.09.2016	11:10:00	96	120
14.09.2016	12:00:00	83	79
14.09.2016	13:10:00	120	110
14.09.2016	14:10:00	145	140
14.09.2016	15:00:00	125	120

Table 2 Données liées à la calibration 2 (Calib 2)

Turbidité sonde portable (exsitu)	MES Wessling	
Valeur NTU	Echantillon	Valeur mg/L
211	MES 3	400
99	MES 4	110
110	MES 5	140
70	MES 6	91
91	MES 7	120
65	MES 8	79
93	MES 9	110
132	MES 10	140
109	MES 11	120

La figure et le tableau suivants représentent les échantillons obtenus aux sites Amont, Passerelle et Pérolles (2.5 L à chaque 3 h).

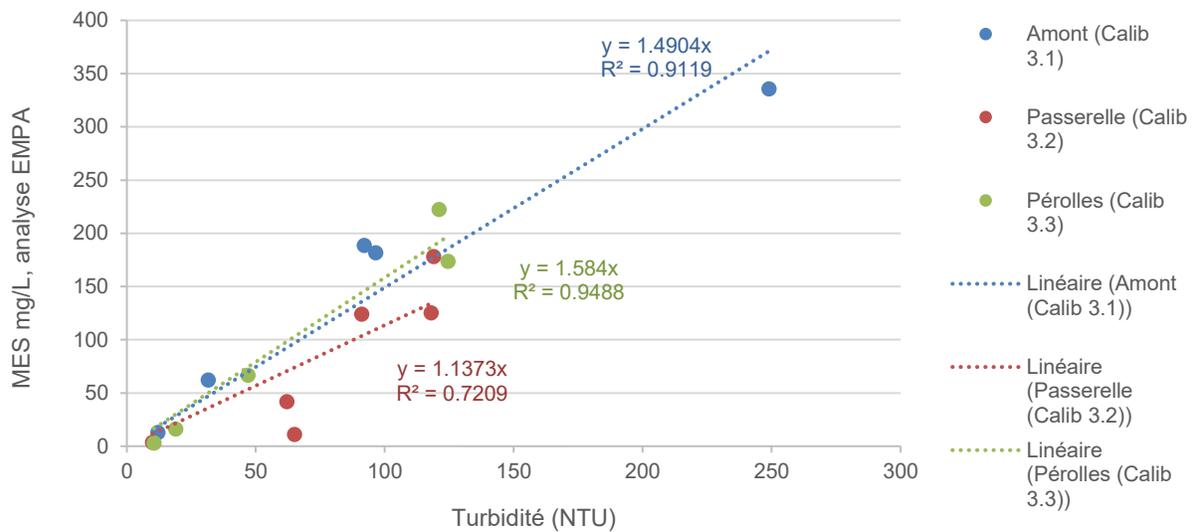


Figure 2 Calibrations NTU- mg/L à partir d'échantillons obtenus sur trois sites

Table 3 Données liées aux calibrations 3.1 (Amont/Hauterive) ; 3.2 (Passerelle Gérine) et 3.3 (Pont Pérolles)

MES EMPA			Turbidité sonde fixe (insitu)
Echantillon	Date, heure d'hiver	Valeur mg/L	Valeur NTU
Pont Hauterive - 1	14.09.16 06:10	336	249
Pont Hauterive - 2	14.09.16 08:10	189	92
Pont Hauterive - 4	14.09.16 14:15	182	97
Pont Hauterive - 6	14.09.16 20:20	62	32
Pont Hauterive - 8	15.09.16 02:00	13	12
Passerelle - 1	14.09.16 05:40	4	10
Passerelle Gérine - 2	14.09.16 08:40	125	118
Passerelle Gérine - 3	14.09.16 11:40	124	91
Passerelle Gérine - 4	14.09.16 15:10	178	119
Passerelle Gérine - 6	14.09.16 20:35	42	62
Passerelle Gérine - 8	15.09.16 02:40	11	65
Pont Pérolles - 1	14.09.16 05:15	3	11
Pont Pérolles - 2	14.09.16 09:15	222	121
Pont Pérolles - 4	14.09.16 16:15	174	125
Pont Pérolles - 6	14.09.16 21:30	67	47
Pont Pérolles - 8	15.09.16 03:10	16	19

Toutes les équations affichées se réfèrent à des régressions linéaires avec définition de l'interception au point (0 ; 0). Les valeurs de turbidité sont toutes inférieures à 250 NTU, alors que les quantités de MES (mg/L) sont toutes en dessous ou sont égales à 400 mg/L. La quantité de MES la plus élevée (400 mg/L) a été mesurée par le laboratoire Wessling, alors que la quantité la plus petite (3 mg/L) a été mesurée dans les laboratoires de l'EMPA. Pour un même échantillon, la turbidité mesurée avec la sonde portable est légèrement plus faible que la turbidité estimée par la sonde in situ fixe (différence entre 5 et 27 NTU, voir Figure 1). La relation linéaire entre les NTU et les mg/L varie d'un site à un autre (voir Figure 2). Par exemple les pentes des sites Pérolles et Amont (1.584 et 1.4904) sont plus élevées que la pente du site Passerelle (1.1373).

La relation NTU-mg/L dépend donc de plusieurs facteurs, dont :

- 1) la méthode de mesure NTU (sonde fixe ou portable);
- 2) le site où les échantillons d'eau de la Sarine ont été prélevés ;
- 3) l'inclusion ou non de valeurs extrêmes telles que celle de 400 mg/L mesurée à la Passerelle.

Malgré toutes les variations possibles, il existe clairement une relation linéaire significative entre les NTU et les mg/L mesurés dans les eaux de la Sarine pendant la crue artificielle de septembre 2016. Cela est confirmé par des coefficients de corrélation ( $R^2$ ) compris entre 0.7159 et 0.9488 pour toutes les relations représentées ci-dessus.

**Annexe 2.3.3.1. – 1**

**Rapport EMPA  
Capteurs passifs dans les eaux de surface**

Pronat Conseils SA  
Kreuzmattstrasse 56  
CH-3185 Schmitten

## Empa-Prüfbericht 5214011385

**Prüfauftrag:** Bestimmung von Indikator-PCB und dioxinähnlichen PCB in  
**PDMS Passivsammler aus der Saane bei der Deponie La Pila**

**Prüfobjekte:** PDMS Passivsammlerproben

**Kundenreferenz:** CSD  
**thr Auftrag vom:** 28. November 2015  
**Eingang der Prüfobjekte:** 18. November und 1. Dezember 2015  
**Ausführung der Prüfung:** 16. November bis 21. Dezember 2015  
**Anzahl Seiten:** -21-  
**Beilagen:** Rechnung

2015-12-23 10:00:00

Dübendorf, 08. Januar 2016

Projektleiter:

M. Zenhegg

Abteilungsleiter  
Advanced Analytical Technologies



Prof. Dr. D. Bleiner

## 1 Prüfobjekte

Am 31. Oktober 2015 wurden in der Saane, im Bereich der Deponie La Pila und der Passerelle, vor der Einmündung der Gerine in die Saane, an fünf Standorten PDMS Passivsammler ausgebracht. Zusätzlich wurden zum ersten Mal in den Nebenflüssen Gérine und Glâne, als auch in der Saane bei Invua und Creux du Loup, PDMS Passivsammler positioniert. Diese Arbeiten wurden durch Herrn Pascal Mulattieri von der Firma Pronat Conseils SA ausgeführt. Pro Standort wurden zwei Passivsammler in paralleler oder seriell aufeinanderfolgender Position ausgebracht. Jeweils einer der Sammler wurde vor der Exposition mit Performance Reference Compounds beladen (PRC). Die Exposition der Sammler dauerte zwei Wochen vom 31. Oktober bis zum 14. November, im Falle der Sammler ohne PRC und vom 31. Oktober bis zum 28. November im Falle der Sammler mit PRC. Nach dem Einsammeln der Proben, durch Pascal Mulattieri, wurden die Proben gut verpackt (250 mL Sovrel Glasflaschen mit Schraubverschluss) zur Analyse an die Empa Abteilung Advanced Analytical Technologies gesandt. Die Proben wurden, wenn nicht sofort extrahiert, bis zur Extraktion bei -20°C aufbewahrt.

Tabelle 1: Prüfobjekte und Standorte

Probenbezeichnung:	Bemerkungen	Fliessgeschw. m/s*	Landeskoordinaten:
PDMS Amont Pila 2690-51	Ohne PRC	<0.1	576242 / 180032
PDMS Amont Pila 2690-52	Mit PRC	<0.1	576242 / 180032
PDMS Pila 1 2690-41	Ohne PRC	<0.1	575926 / 180147
PDMS Pila 1 2690-42	Mit PRC	<0.1	575926 / 180147
PDMS Aval Pila 1 2690-31	Ohne PRC	0.2	575846 / 180286
PDMS Aval Pila 1 2690-32	Mit PRC	0.2	575846 / 180286
PDMS Aval Pila 2 2690-21	Ohne PRC	0.3	575782 / 180394
PDMS Aval Pila 2 2690-22	Mit PRC	0.2	575782 / 180394
PDMS Amont Passerelle 2690-11	Ohne PRC	0.1	575985 / 180800
PDMS Amont Passerelle 2690-12	Mit PRC	0.1	575985 / 180800
PDMS Gérine 2690-61	Ohne PRC	0.6	576359 / 180867
PDMS Gérine 2690-62	Mit PRC	0.5	576359 / 180867
PDMS Invua 2690-71	Ohne PRC	0.1	576584 / 181317
PDMS Invua 2690-72	Mit PRC	0.1	576584 / 181317
PDMS Glâne 2690-81	Ohne PRC	0.4	575868 / 181538
PDMS Glâne 2690-82	Mit PRC	0.4	575868 / 181538
PDMS Creux du Loup 2690-91	Ohne PRC	<0.1	578325 / 182209
PDMS Creux du Loup 2690-92	Mit PRC	<0.1	578325 / 182209

Die Fliessgeschwindigkeiten in der Tabelle 1 wurden bei Niedrigwasser gemessen und entsprechen in der Saane, bis auf Creux du Loup, nicht den während der Expositionszeit vorliegenden Bedingungen. Für die Nebenflüsse Gérine und Glâne, die einen relativ konstanten Abfluss haben, dürften sie anwendbar sein.

## 2 Prüfung

### 2.1 Prüfverfahren für PCB in PDMS Passivsammlern ohne PRC

Die PDMS Passivsammler wurden nach Zugabe einer Mischung von 18  $^{13}\text{C}_{12}$ -isotopenmarkierten PCB (Cambridge Isotope Laboratories) mit Methanol während 16 Stunden heiss extrahiert (Soxhletextraktion).

Anschliessend wurde das Lösemittel am Rotationsverdampfer bei 50°C und 330 mbar bis auf ca. 0.5 mL eingeeengt.

Das praktisch farblosen bis leicht grünen Extrakte wurde quantitativ, durch mehrmaliges Nachspülen mit 1 bis 2 mL n-Hexan, in ein 10 mL Savirel Zentrifugenglas überführt.

Nach vorsichtiger Zugabe von 1 – 2 mL konz. Schwefelsäure wurde der Extrakt auf einem Vortexmixer kräftig geschüttelt und dreimal mit n-Hexan extrahiert. Zur besseren Phasentrennung wurde die Suspension für einige Minuten bei 5'000 rpm zentrifugiert.

Die klare überstehende n-Hexanphase wurde vorsichtig in einen 10 mL Spitzkolben abpipettiert und das Volumen am Rotationsverdampfer bei 50°C und 300 mbar bis auf ca. 0.5 mL reduziert.

Der vorgereinigte n-Hexanextrakt wurde chromatographisch an 0.8 g aktiviertem Kieselgel gereinigt (Mini-Kieselgelsäule). Die Elution erfolgte mit 10 mL n-Hexan.

Das Lösemittel wurde am Rotationsverdampfer bei 50°C und 300 mbar bis auf ca. 0.5 mL eingeeengt.

Nach quantitativem Transfer in 0.5 mL Mini-Vials wurde unter Stickstoffbegasung bei Raumtemperatur das Volumen bis auf ca. 30  $\mu\text{L}$  reduziert.

Die messbereiten Probenextrakte wurden mit dem Recoverystandard ( $^{13}\text{C}_{12}$  PCB 70) zur Bestimmung der Wiederfindungsrate versetzt.

Die quantitative Analyse der polychlorierten Biphenyle wurde mittels Gaschromatographie/Massenspektrometrie durchgeführt (HRGC/HRMS). Die Quantifizierung erfolgte durch Vergleich mit den isotopenmarkierten Standards (Isotopenverdünnungsanalyse).

### 2.2 Prüfverfahren für PCB in PDMS Passivsammlern mit PRC (keine Säure)

**Um einen Abbau von  $^{13}\text{C}_{12}$  Mono- und Dichtorbiphenylen, welche als PRC eingesetzt wurden, durch die konzentrierte Schwefelsäure zu vermeiden, wurde auf deren Einsatz verzichtet.**

Die PDMS Passivsammler wurden nach Zugabe einer Mischung von 18  $^{13}\text{C}_{12}$ -isotopenmarkierten PCB (Cambridge Isotope Laboratories) mit Methanol während 16 Stunden heiss extrahiert (Soxhletextraktion).

Anschliessend wurde das Lösemittel am Rotationsverdampfer bei 50°C und 330 mbar bis auf ca. 0.5 mL eingeeengt.

Die praktisch farblosen bis leicht grünen Extrakte wurde quantitativ, durch mehrmaliges Nachspülen mit 1 bis 2 mL n-Hexan, in ein 10 mL Savirel Zentrifugenglas überführt.

Nach Verdünnung mit Reinstwasser im Verhältniss 1:1 wurde auf einem Vortexmixer kräftig geschüttelt und dreimal mit n-Hexan extrahiert. Zur besseren Phasentrennung wurde die Suspension für einige Minuten bei 5'000 rpm zentrifugiert.

Die klare überstehende n-Hexanphase wurde vorsichtig in einen 10 mL Spitzkolben abpipettiert und das Volumen am Rotationsverdampfer bei 50°C und 300 mbar bis auf ca. 0.5 mL reduziert.

Der vorgereinigte n-Hexanextrakt wurde chromatographisch an 0.8 g aktiviertem Kieselgel gereinigt (Mini-Kieselgelsäule). Die Elution erfolgte mit 10 mL n-Hexan.

Das Lösemittel wurde am Rotationsverdampfer bei 50°C und 300 mbar bis auf ca. 0.5 mL eingeeengt.

Nach quantitativem Transfer in 0.5 mL Mini-Vials wurde unter Stickstoffbegasung bei Raumtemperatur das Volumen bis auf ca. 30  $\mu\text{L}$  reduziert.

Die messbereiten Probenextrakte wurden mit dem Recoverystandard ( $^{13}\text{C}_{12}$  PCB 70) zur Bestimmung der Wiederfindungsrate versetzt.

Die quantitative Analyse der polychlorierten Biphenyle wurde mittels Gaschromatographie/Massenspektrometrie durchgeführt (HRGC/HRMS). Die Quantifizierung erfolgte durch Vergleich mit den isoto-  
penmarkierten Standards (Isotopenverdünnungsanalyse)

### 2.3 Referenzmaterialien

Kalibrationsstandard:	Mischung der PCB 77, 81, 105, 114, 118, 123, 126, 156, 157, 167, 169, 189 (C-WHO-01, Accu Standards Inc.) Mischung der PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180 (AE-00059, Accu Standards Inc.)
Wiederfindungsstandard:	$^{13}\text{C}_{12}$ -PCB 70 (EC-4914, Cambridge Isotope Laboratories)
Interner Standard:	Mischung der $^{13}\text{C}_{12}$ -isotopenmarkierten PCB 77, 81, 105, 114, 118, 123, 126, 156, 157, 167, 169, 189 (EC 4937, Cambridge Isotope Laboratories) Mischung der $^{13}\text{C}_{12}$ -isotopenmarkierten PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180 (EC 4058, Cambridge Isotope Laboratories)
Verwendete PRC:	Mischung der $^{13}\text{C}_{12}$ -isotopenmarkierten PCB 9, 37, 79, 111, 162, 194, 206 (PCB-ISS-H, Wellington Laboratories) $^{13}\text{C}_{12}$ -isotopenmarkiertes PCB 2 (MBP-1, Wellington Laboratories) $^{13}\text{C}_{12}$ -isotopenmarkiertes PCB 4 (MBP-3, Wellington Laboratories)

### 2.3 Prüfmittel

Gaschromatograph:	Thermo Finnigan Trace GC Ultra mit Thermo Scientific TriPlus Autosampler
Kapillarsäule:	30m x 0.25 mm, RTX 5 Sil-MS, Filmdicke 0.10 $\mu\text{m}$
Massenspektrometer:	doppelfokussierendes Massenspektrometer Finnigan MAT 95, ausgerüstet mit Systemsteuerungs- und Applikationssoftware Xcalibur 1.4.

### 2.4 Prüfbedingungen

Trärgas:	Helium, 100 kPa
Injektion:	3 $\mu\text{L}$ splitlos
Temperaturprogramm:	100 °C (1 min), 20 °C $\text{min}^{-1}$ bis 180 °C, 4 °C $\text{min}^{-1}$ bis 300 °C
Quellentemperatur:	220 °C
Ionisierung:	Elektronenloss (EI), Detektion der positiven Ionen
Elektronenenergie:	70 eV
Massenauflösung:	$m/\Delta m = 8'000$ (10 % Ta)
Einzelionendetektion:	Es wurden jeweils die m/z-Werte der beiden häufigsten Isotopenkombinationen der nativen und $^{13}\text{C}_{12}$ -markierten PCB im Molekulationencluster registriert (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2:

PCB	native		<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -labeled	
	m/z	m/z	m/z	m/z
MoCB	188.0387	190.0358	200.0790	202.0760
DiCB	221.9998	223.9968	234.0400	236.0371
TriCB	255.9613	257.9583	268.0021	269.9991
TetraCB	289.9223	291.9148	301.9626	303.9597
PentaCB	325.8805	327.8776	337.9207	339.9178
HexaCB	359.8415	361.8386	371.8817	373.8789
HeptaCB	393.8025	395.7996	405.8428	407.8398

### 3 Resultate

#### 3.1 Resultate zu den Passivsammlern exponiert in der Saane (November 2015)

Tabella 3: Konzentrationen der dl-PCB und Indikator PCB in den PDMS Passivsammlern, exponiert in der Saane zwischen dem 31. Oktober und dem 14. November 2015. Die Konzentrationen sind in ng/kg PDMS angegeben

ng/kg PDMS	Blindwert		Pila 2/Wo		Aval Pila 1/Wo		Aval Pila 2/Wo		Aval Passerelle Z/Wo		Géline Z/Wo		Invas Z/Wo		Caine Z/Wo		Creuxdu Couv Z/Wo	
	2630-5	26415	2690-41	2690-32	2630-21	26715	2890-11	2890-81	2690-71	2690-81	28915	2690-71	2690-81	2690-81	2690-81	2690-81	2690-81	
Dioxin-Like PCB																		
77	0.077	0.60	3.8	2.0	3.0	4.0	1.2	4.0	20	4.0	1.2	4.0	20	4.0	1.2	4.0	20	1.8
81	0.027	0.30	1.2	1.1	1.7	1.9	0.32	1.9	3.7	0.32	1.9	3.7	3.7	0.32	1.9	3.7	3.7	0.65
105	0.41	4.8	3.1	1.7	2.9	3.8	5.6	3.8	4.9	5.6	3.8	4.9	4.9	5.6	3.8	4.9	4.9	1.7
114	0.061	0.38	2.6	1.7	2.8	3.6	0.52	3.6	2.9	0.52	3.6	2.9	2.9	0.52	3.6	2.9	2.9	1.6
118	1.4	16	8.6	3.3	9.0	11.9	17	11.9	15.3	17	11.9	15.3	15.3	17	11.9	15.3	15.3	5.0
123	0.039	0.66	3.8	2.8	3.5	5.5	1.1	5.5	8.2	1.1	5.5	8.2	8.2	1.1	5.5	8.2	8.2	2.6
126	0.0014	0.090	0.16	0.15	0.27	0.20	0.08	0.25	0.49	0.08	0.25	0.49	0.49	0.08	0.25	0.49	0.49	0.052
156	0.20	1.4	4.3	3.3	4.8	5.2	1.4	5.2	9.3	1.4	5.2	9.3	9.3	1.4	5.2	9.3	9.3	2.4
157	0.030	0.12	1.2	0.81	1.3	1.4	0.4	1.4	1.4	0.4	1.4	1.4	1.4	0.4	1.4	1.4	1.4	0.60
167	0.13	1.0	2.4	1.8	2.8	3.2	0.8	3.2	5.1	0.8	3.2	5.1	5.1	0.8	3.2	5.1	5.1	1.3
169	0.0013	0.025	0.049	0.022	0.062	0.10	0.04	0.121	0.088	0.04	0.121	0.088	0.088	0.04	0.121	0.088	0.088	0.044
189	0.10	0.17	0.78	0.23	0.21	0.27	0.1	1.00	0.33	0.1	1.00	0.33	0.33	0.1	1.00	0.33	0.33	0.30
Indikator PCB																		
28	1.1	17	98	71	102	113	31	113	649	31	113	649	649	31	113	649	649	44
52	1.7	29	273	173	259	304	46	304	921	46	304	921	921	46	304	921	921	119
101	2.3	32	344	109	156	208	31	208	372	31	208	372	372	31	208	372	372	75
136	2.6	26	69	60	85	97	20	97	158	20	97	158	158	20	97	158	158	41
153	2.1	24	56	53	73	80	17	80	134	17	80	134	134	17	80	134	134	34
180	1.2	5.9	10	10	13	12	4.5	12	17.7	4.5	12	17.7	17.7	4.5	12	17.7	17.7	6.2
Summe I-PCB	11	134	640	475	637	873	148	873	2252	148	873	2252	2252	148	873	2252	2252	320
Gesamt PCB (Summe x5) 74	56	671	3199	2374	3437	4367	740	4367	11260	740	4367	11260	11260	740	4367	11260	11260	1598

Tabella 4: WHO-TEQ<sub>1998</sub> der dl-PCB in den PDMS Passivsammlern, exponiert in der Saane zwischen dem 31. Oktober und dem 14. November 2015. Die Konzentrationen sind in ng/kg PDMS angegeben.

WHO TEQ 1998 ng/kg PDMS	Blindwert	Mont Pila 2Wo	Pila 2Wo	Aval Pila 1 2Wo	Aval Pila 2 2Wo	Mont Passerelle 2Wo	Gärma 2Wo	Inna 2Wo	Gläne 2Wo	Creux du Loup 2Wo
		2690-51 28415	2690-41 28515	2590-32 28615	2690-21 28715	2690-11 28815	2690-61 28915	2690-71 29015	2690-81 29115	2690-91 29215
77	0.0000377	0.000060	0.00038	0.00020	0.00036	0.00040	0.00012	0.00040	0.0020	0.00019
81	0.0000027	0.000030	0.00012	0.00011	0.00017	0.00019	0.00032	0.00019	0.00037	0.000065
105	0.000041	0.00048	0.0031	0.0017	0.0029	0.0038	0.00036	0.0038	0.0049	0.0017
114	0.000031	0.00019	0.0013	0.00083	0.0013	0.0016	0.00026	0.0018	0.0015	0.00078
118	0.000014	0.00019	0.0006	0.0003	0.0000	0.0012	0.0017	0.0012	0.0015	0.00050
123	0.0000039	0.000066	0.00038	0.00028	0.00035	0.00055	0.00011	0.00055	0.00082	0.00028
126	0.000014	0.0000	0.0016	0.0015	0.0027	0.0020	0.0082	0.0025	0.0049	0.00052
156	0.00010	0.00071	0.0021	0.0017	0.0024	0.0028	0.00089	0.0026	0.0047	0.00012
157	0.000015	0.00016	0.00059	0.00041	0.00067	0.00070	0.00021	0.00070	0.00070	0.00030
167	0.0000013	0.0000097	0.000024	0.000018	0.000028	0.000032	0.0000079	0.000032	0.000051	0.000013
189	0.000013	0.00025	0.00049	0.00022	0.00062	0.00096	0.00040	0.0012	0.00089	0.00044
189	0.000010	0.00017	0.00028	0.00023	0.00021	0.00027	0.00013	0.00010	0.00033	0.000130
<b>Summe WHO-TEQ 1998</b>	<b>0.00050</b>	<b>0.013</b>	<b>0.033</b>	<b>0.026</b>	<b>0.045</b>	<b>0.043</b>	<b>0.012</b>	<b>0.049</b>	<b>0.090</b>	<b>0.015</b>

Tabelle 5. WHO-TEQ<sub>xxx</sub> der dl-PCB in den PDMS Passivsammlern, exponiert in der Saane zwischen dem 31. Oktober und dem 14. November 2015. Die Konzentrationen sind in ng/kg PDMS angegeben.

WHO TEQ 2005 ng/kg PDMS	Blindwert	Aval Flin 1 2Wo		Aval P. 2 2Wo		Aval Passivsammler 2Wo		Génève 2Wo		Luzern 2Wo		Clône 2Wo		Cieus du Loup 2Wo	
		2690-51	26415	2690-41	28515	2690-21	28715	2690-11	28815	2690-61	29015	2690-71	2690-81	2690-91	2690-91
77	0.000077	0.000060	0.00020	0.00038	0.00070	0.00036	0.00040	0.00012	0.00040	0.00040	0.00020	0.00020	0.00018		
81	0.000081	0.000091	0.00032	0.00035	0.00032	0.00052	0.00058	0.00096	0.00058	0.00058	0.0011	0.0011	0.00019		
105	0.000105	0.00014	0.00052	0.00053	0.00052	0.00086	0.0012	0.00017	0.00012	0.00012	0.0015	0.0015	0.00051		
114	0.0000114	0.000011	0.000050	0.000048	0.000050	0.000077	0.00011	0.000016	0.00011	0.00011	0.000087	0.000087	0.000047		
138	0.0000138	0.000048	0.00016	0.00026	0.00016	0.00027	0.00038	0.00052	0.00036	0.00036	0.00046	0.00046	0.00015		
123	0.0000123	0.000020	0.000085	0.00011	0.000085	0.00011	0.00017	0.00033	0.00017	0.00017	0.00024	0.00024	0.000077		
126	0.0000126	0.000030	0.00013	0.00016	0.00013	0.00027	0.00040	0.00082	0.00026	0.00026	0.00040	0.00040	0.00012		
156	0.0000156	0.000047	0.00017	0.00013	0.00017	0.00014	0.00016	0.00041	0.00016	0.00016	0.00028	0.00028	0.0000173		
157	0.0000157	0.000010	0.000074	0.000036	0.000074	0.000040	0.000047	0.000013	0.000047	0.000047	0.000047	0.000047	0.0000118		
167	0.0000167	0.000029	0.000055	0.000077	0.000055	0.000084	0.00010	0.000074	0.000074	0.000074	0.000074	0.000074	0.0000134		
189	0.0000189	0.000074	0.000060	0.00015	0.000060	0.00010	0.00029	0.00012	0.00012	0.00012	0.00026	0.00026	0.00013		
189	0.0000189	0.000052	0.000069	0.000083	0.000069	0.000063	0.000081	0.000039	0.000039	0.000039	0.000098	0.000098	0.0000168		
<b>Summe WHO-TEQ 2005</b>	<b>0.00025</b>	<b>0.0011</b>	<b>0.022</b>	<b>0.019</b>	<b>0.034</b>	<b>0.020</b>	<b>0.020</b>	<b>0.010</b>	<b>0.035</b>	<b>0.035</b>	<b>0.061</b>	<b>0.061</b>	<b>0.0082</b>		

Tabelle 6: Konzentrationen der dl-PCB und Indikator PCB in den PDMS Passivsammlern, exponiert in der Saane zwischen dem 31. Oktober und dem 28. November 2015. Die Konzentrationen sind in ng/kg PDMS angegeben.

ng/kg PDMS	Blutwert, Amount/Pis 4Wo													
	Pis 4Wo	Amo1 Pis 1 4Wo	Amo1 Pis 2 4Wo	Amont Passerolle 4Wo	Inwa 4Wo	Gläns 4Wo	Creux de Loup 4Wo	2690-52	2690-47	2690-32	2690-22	2690-12	2690-72	2690-82
Dioxin-Like PCB	29315	32515	32915	32815	32715	32815	33115	33015	33315	32815	32815	33115	33015	33315
77	0.077	1.0	5.8	3.4	5.3	5.2	6.5	2.4	3.6	5.2	5.2	6.5	2.4	3.6
81	0.027	3.0	2.7	1.6	2.6	2.2	3.4	5.3	1.3	2.2	2.2	3.4	5.3	1.3
105	0.41	9.9	53	26	45	55	71	70	27	55	55	71	70	27
114	0.061	0.87	4.1	2.1	3.5	4.3	7.1	5.7	2.2	4.3	4.3	7.1	5.7	2.2
118	1.4	34	150	83	136	164	199	182	77	164	164	199	182	77
123	0.039	0.93	5.8	2.8	4.9	7.4	9.9	11	3.4	7.4	7.4	9.9	11	3.4
126	0.0034	0.55	0.28	0.24	0.41	0.37	0.54	0.68	0.13	0.37	0.37	0.54	0.68	0.13
156	0.20	13	71	5.3	7.6	7.9	9.5	10.8	4.2	7.9	7.9	9.5	10.8	4.2
157	0.030	2.0	1.7	1.2	1.9	1.9	3.6	2.9	1.1	1.9	1.9	3.6	2.9	1.1
167	0.13	7.2	3.6	3.1	4.8	4.3	3.2	5.2	2.1	4.3	4.3	3.2	5.2	2.1
169	0.0033	0.79	0.14	0.046	0.16	0.12	0.41	0.43	0.063	0.12	0.12	0.41	0.43	0.063
189	0.10	3.3	0.25	0.20	0.22	0.25	0.4	0.37	0.20	0.25	0.25	0.4	0.37	0.20
Indikator PCB														
28	1.1	37	138	105	167	169	179	947	81	169	169	179	947	81
52	1.7	65	457	267	471	482	628	1162	203	482	482	628	1162	203
101	2.3	95	263	183	300	281	398	424	121	281	281	398	424	121
138	2.6	163	113	94	138	127	184	245	63	127	127	184	245	63
153	2.1	135	100	93	137	111	147	167	56	111	111	147	167	56
180	1.2	121	16	16	21	18	23	75	10.3	18	18	23	75	10.3
Summe I-PCB	11	616	1087	757	1235	1187	1558	2990	534	1187	1187	1558	2990	534
Gesamt PCB (Summe x,y,z)	56	3082	5434	3787	6173	5937	7791	14949	2672	5937	5937	7791	14949	2672

Tabelle 7: WHO-TEQ<sub>1998</sub> der dl-PCB in den PDMS Passivsammlern, exponiert in der Saane zwischen dem 31. Oktober und dem 28. November 2015. Die Konzentrationen sind in ng/kg PDMS angegeben.

WHO TEQ 1998 ng/kg PDMS	Blindwert	Mont Pila 4Wo 2690-52	Pila 4Wo 2690-42	Aval Pila 1 4Wo 2690-32	Mont Pila 2 4Wo 2690-22	Mont Passerelle 4Wo 2690-12	Inna 4Wo 2690-72	Glâne 4Wo 2690-82	Creux de Loup 4Wo 2690-92
	29315	32515	32915	32615	32715	32815	33115	33015	33315
77	0.000077	0.00010	0.00058	0.00031	0.00053	0.00052	0.00065	0.0024	0.00036
81	0.000027	0.00030	0.00027	0.00016	0.00026	0.00022	0.00034	0.00053	0.00013
106	0.000041	0.00009	0.0003	0.00026	0.00045	0.00055	0.00071	0.00070	0.00027
114	0.000031	0.00043	0.0020	0.0010	0.0018	0.0022	0.0036	0.0034	0.0011
118	0.00034	0.0034	0.015	0.0083	0.014	0.016	0.020	0.018	0.0077
123	0.000039	0.000093	0.00068	0.00049	0.00074	0.00074	0.00099	0.0011	0.00034
126	0.00014	0.00056	0.0028	0.0024	0.0041	0.0037	0.0054	0.0088	0.013
156	0.00010	0.00066	0.0036	0.0026	0.0038	0.0039	0.0047	0.0054	0.0021
157	0.000015	0.00010	0.00066	0.00061	0.00095	0.00093	0.0018	0.0014	0.00056
167	0.0000013	0.000072	0.000036	0.000048	0.000048	0.000043	0.000032	0.000052	0.000024
169	0.000013	0.00079	0.0014	0.00015	0.0016	0.0012	0.0041	0.0043	0.00063
189	0.000010	0.00033	0.000025	0.000020	0.000022	0.000026	0.000040	0.000037	0.000020
<b>Summe WHO-TEQ 1998</b>	<b>0.00060</b>	<b>0.0076</b>	<b>0.027</b>	<b>0.040</b>	<b>0.068</b>	<b>0.068</b>	<b>0.10</b>	<b>0.13</b>	<b>0.029</b>

Tabelle 6 WHO-TEQ<sub>2005</sub> der dl-PCB in den PDMS Passivsammlern, exponiert in der Saane zwischen dem 31. Oktober und dem 28. November 2015. Die Konzentrationen sind in ng/kg PDMS angegeben.

WHO TEQ 2005 ng/kg PDMS	Plindwert	Amont Pila 4Wo	Pila 4Wo	Aval P, 1 4Wo	Aval Pila 2 4Wo	Amont Passerelle 4Wo	Avla 4Wo	Gilne 4Wo	Crenudp 1 oup 4Wo
	293'5	2690-52	2690-42	2690-32	2690-22	2690-12	2690-72	2690-82	2690-92
		326'5	323'5	326'5	327'5	326'5	331'5	330'5	333'5
77	0.000077	0.00010	0.00058	0.00034	0.00053	0.00052	0.00065	0.0024	0.00036
81	0.000082	0.00083	0.00080	0.00047	0.00078	0.00067	0.0010	0.0016	0.00039
105	0.000012	0.00030	0.0016	0.00073	0.0013	0.0017	0.0024	0.0021	0.00081
114	0.000018	0.00026	0.00012	0.00062	0.00011	0.00013	0.00021	0.00020	0.00088
118	0.000041	0.0010	0.0045	0.0025	0.0041	0.0049	0.0080	0.0055	0.0023
123	0.000012	0.00028	0.0021	0.00084	0.0015	0.00022	0.00030	0.00033	0.00010
126	0.00004	0.0055	0.028	0.024	0.041	0.037	0.054	0.088	0.013
156	0.000090	0.00040	0.0021	0.0016	0.0023	0.00024	0.00026	0.00033	0.00013
157	0.0000090	0.00060	0.00052	0.00037	0.00057	0.00056	0.00011	0.000086	0.000033
167	0.000040	0.00022	0.0011	0.00094	0.0014	0.00013	0.00010	0.00015	0.000071
169	0.000040	0.024	0.0041	0.0014	0.0047	0.0036	0.012	0.013	0.0019
180	0.000031	0.000098	0.000076	0.000061	0.000067	0.000077	0.000012	0.000011	0.000059
<b>Summe WHO-TEQ 2005</b>	<b>0.00028</b>	<b>0.082</b>	<b>0.040</b>	<b>0.030</b>	<b>0.053</b>	<b>0.049</b>	<b>0.077</b>	<b>0.11</b>	<b>0.019</b>

## 4 Probenahmestandorte und Grafische Darstellung der Resultate

### 4.1 Probenahmestandorte in der Saane im Bereich La Pila

In der Abbildung 1 sind die Probenahmestandorte der PDMS Passivsammler, welche im November 2015 in der Saane, Gèneve und Glâne exportiert wurden, eingezeichnet.

Abbildung 1: Probenahmestandorte im Bereich der Deponie La Pila.

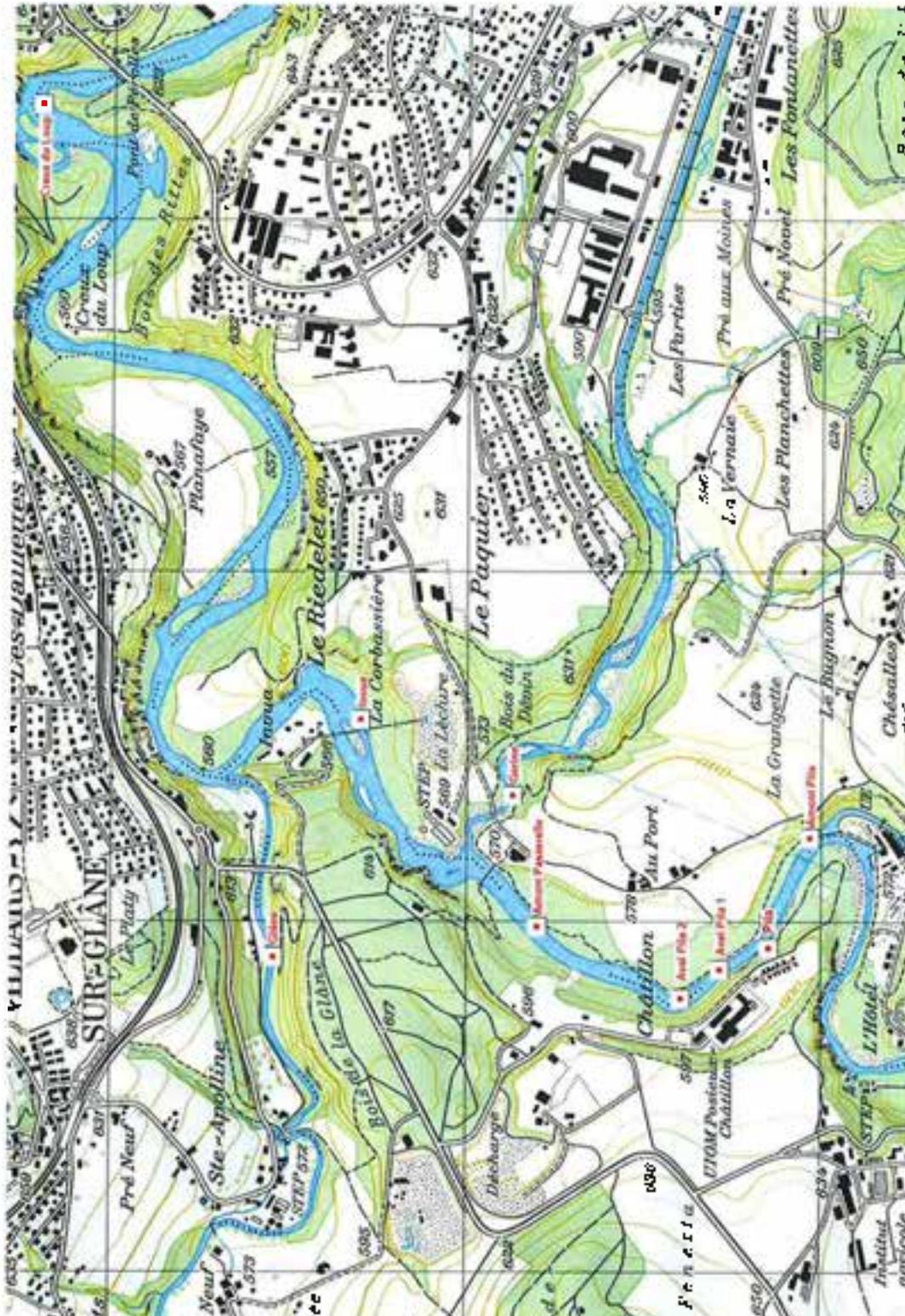
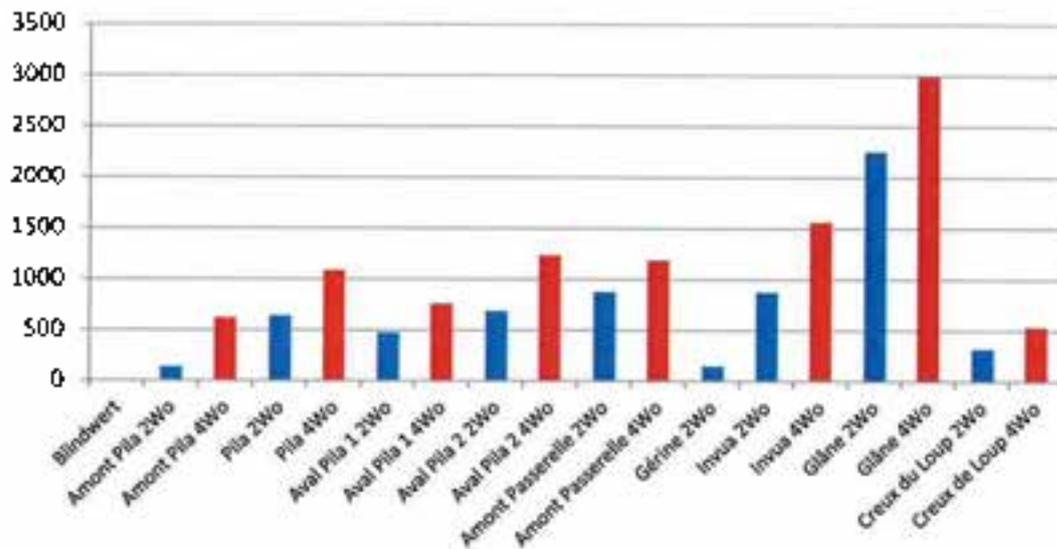


Abbildung 2: Summe der i-PCB in den PDMS Passivsammlern, exponiert in der Saane November 2015 in ng/kg PDMS. Die Grafik zeigt die Resultate der zwei- und vierwöchigen Exposition (2Wo und 4Wo).



#### Kommentar zu Abbildung 2:

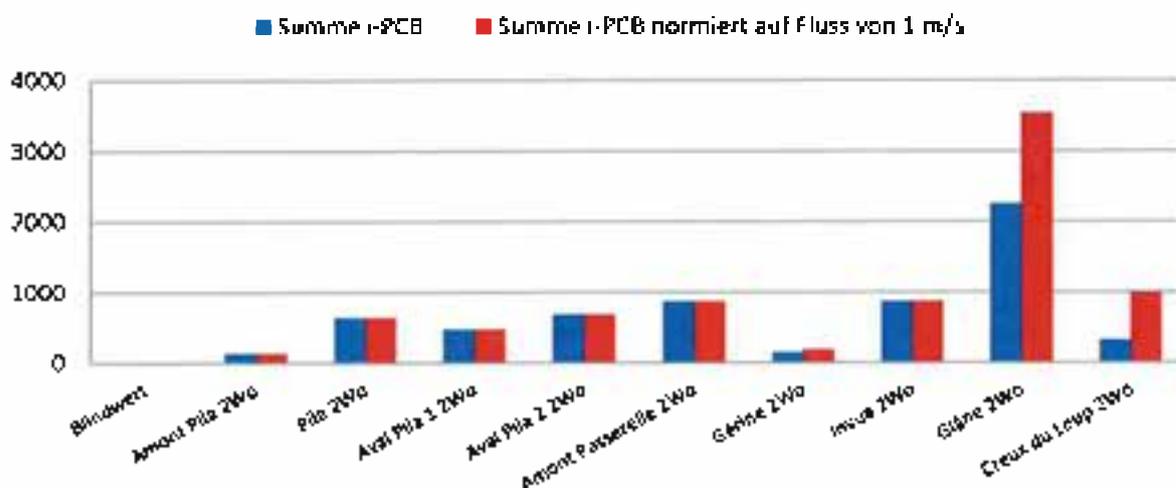
Der Summenwert der Indikator-PCB liegt bei **Amont Pila 2Wo** mit **130 ng/kg PDMS** tief und im Bereich dessen was an diesem Standort normalerweise anzutreffen ist. Erstaunlicherweise ist der Wert nach vier Wochen mit **620 ng/kg** deutlich höher als für zu erwartenden Faktor von zwei. Eine Probenkontamination könnte dafür verantwortlich sein.

Die i-PCB Gehalte der Probenahmestandorte in der Saane ab Pila liegen bei **zweiwöchiger Exposition** im Bereich von **320 ng/kg (Creux du Loup)** bis **870 ng/kg (Amont Passerelle und Invua)**. Bei vierwöchiger Exposition liegen die Gehalte mit **530 (Creux du Loup)** bis **1'600 ng/kg (Invua)** wie zu erwarten höher.

Die **Gérine** weist i-PCB Gehalte auf die mit rund **150 ng/kg Amont Pila** sehr ähnlich sind. Dies war zu erwarten, da in der **Gérine** die PCB Konzentrationen in den Fischen ebenfalls relativ tief liegen. Der vierwöchige Passivsammler konnte leider nicht mehr aufgefunden werden, somit liegen auch keine Daten hierfür vor.

In der **Glâne** wurden mit **2'300 (2Wo)** bzw. **3'000 ng/kg (4Wo)** die höchsten i-PCB Summenwerte detektiert. Die etwas höheren PCB Konzentrationen dürften auf die Gewässerstruktur und das Einzugsgebiet (Landwirtschaft und Industrie) der Glâne zurück zu führen sein. Der Abfluss ist im Vergleich mit der Saane einiges geringer, was zu einer geringeren Verdünnung der PCB im Gewässer führen kann. Zusätzlich ist zu erwarten, dass weniger Geschiebe in der Glâne stattfindet und somit eine geringere Sedimenterneuerung stattfindet. Ebenfalls könnte die Abwasserreinigungsanlage, etwas oberhalb des Probenahmestandes, zu einem höheren PCB Eintrag in das Gewässer geführt haben.

Abbildung 3: Konzentration der i-PCB in den PDMS Passivsammlern zwischen Amont Pila und Crèux du Loup in ng/kg PDMS. Die blauen Balken zeigen an was in den Passivsammlern gemessen wurde. Die roten Balken zeigen die i-PCB Konzentration in den Sammlern nach **Normierung der Fließgeschwindigkeit auf 1 m/s**. Dargestellt sind die Konzentrationen nach **zweiwöchiger Exposition** in der Saane und den Nebenflüssen.



#### Kommentar zu Abbildung 3:

Die Fließgeschwindigkeiten in der Saane wurden für die Probenahmestandorte zwischen Amont Pila und Invua mit 1 m/s angenommen (siehe Tabelle 9). An diesen Standorten ist die Bestimmung der Fließgeschwindigkeit während der Exposition der Passivsammler im Gewässer nicht möglich. Für die Passivsammler in der Gerine, Glâne und der Saane bei Crèux du Loup wurden Korrekturfaktoren für eine Normierung der i-PCB Gehalte auf eine Fließgeschwindigkeit von 1 m/s berechnet. Die Korrekturfaktoren für eine Umrechnung sind in der Tabelle 9 aufgeführt.

Die Gerine weist tiefe PCB Gehalte von ca. **190 ng/kg** auf. Dieser Wert ist gut mit dem Wert von Amont Pila zu vergleichen.

Die Glâne liefert nach Normierung auf 1 m/s mit **3'500 ng/kg** die höchste PCB Konzentration. Bei **Crèux du Loup**, ca. 2.7 km unterhalb der Mündung der Glâne in die Saane, wurden korrigierte **990 ng/kg PDMS** bestimmt.

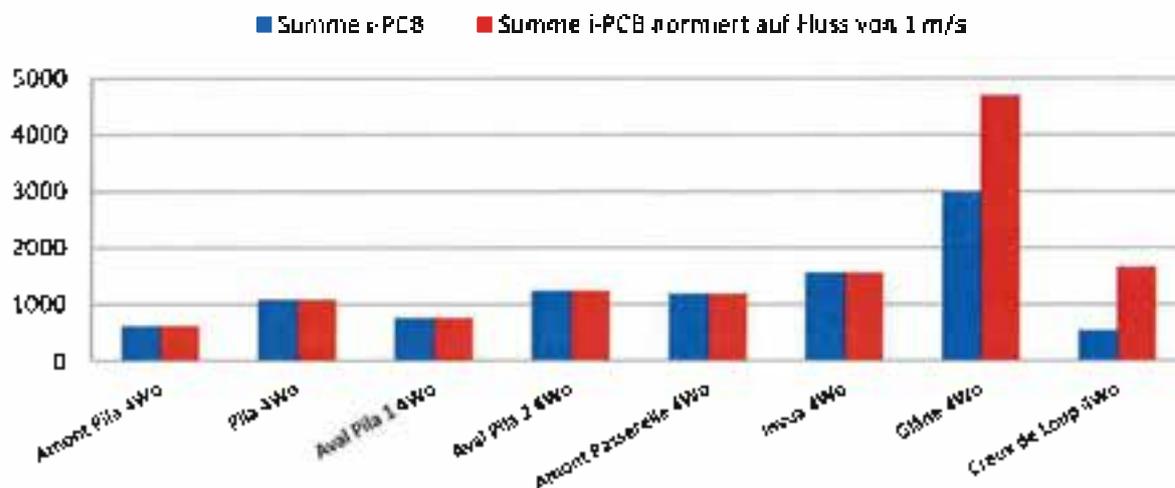
In der Saane werden ab Pila und nach Normierung auf 1 m/s i-PCB Konzentrationen von rund **480 bis knapp 1'000 ng/kg** gefunden (zweiwöchige Exposition). Diese Konzentrationen stimmen sehr gut mit früheren Messkampagnen überein. So wurden im **Juni/Juli 2016** im Flussabschnitt zwischen Pila und der Passerelle i-PCB Summenwerte zwischen **600 und 1'300 ng/kg** gemessen.

Tabelle 9: Folgenden Fließgeschwindigkeiten wurden für die verschiedenen Standorte abgeschätzt oder gemessen. Die Korrekturfaktoren für die Umrechnung der i-PCB auf eine normierte Fließgeschwindigkeit von 1 m/s wurden anhand eines Modells basierend auf Laborversuchen im Fließrinnensystem der Eawag berechnet.

Standort:	m/s:	Korrekturfaktor für Summe der i-PCB normiert auf 1 m/s:
Amont Pila	1*	1.000
Pila	1*	1.000
Aval Pila 1	1*	1.000
Aval Pila 2	1*	1.000
Amont Passerelle	1*	1.000
Gerine	0.6	1.289
Invua	1*	1.000
Glâne	0.4	1.573
Crèux du Loup	0.1	3.109

\*Diese Flussrate wurde abgeschätzt auf einer Abflussrate von ca. 100 m<sup>3</sup>/s und einem Flussquerschnitt von ca. 100 m<sup>2</sup>.

Abbildung 4: Konzentration der  $\Sigma$ -PCB in den PDMS Passivsammlern zwischen Amont Pila und Creux du Loup in ng/kg PDMS. Die blauen Balken zeigen an was in den Passivsammlern gemessen wurde. Die roten Balken zeigen die  $\Sigma$ -PCB Konzentration in den Sammlern nach **Normierung der Fließgeschwindigkeit auf 1 m/s**. Dargestellt sind die Konzentrationen nach vierwöchiger Exposition in der Saane.

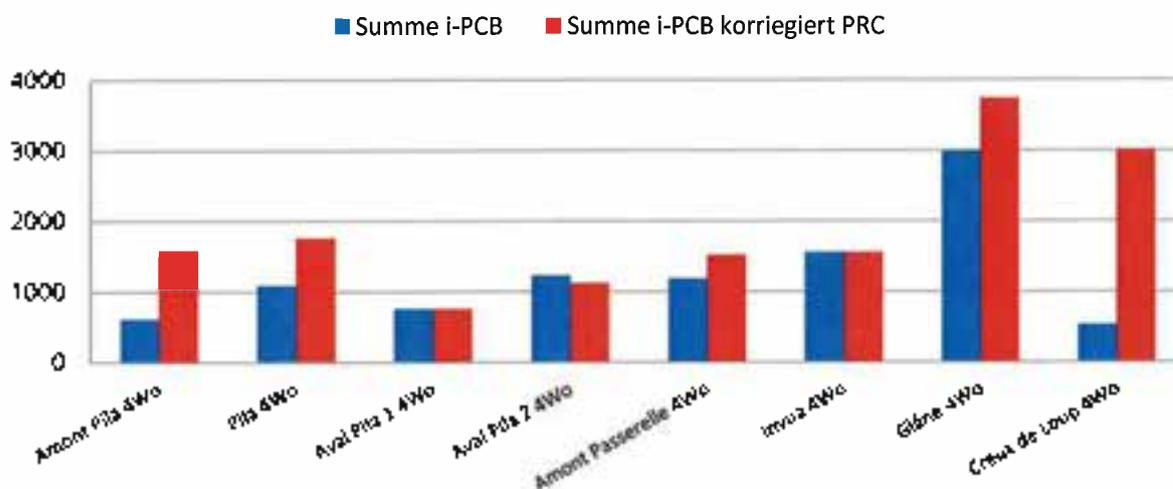


#### Kommentar zu Abbildung 4:

Der Summenwert der sechs  $\Sigma$ -PCB lag oberhalb von La Pila (Amont Pila) bei für diesen Standort relativ hohen 610 ng/kg. Wahrscheinlich wurde der Sammler beim Transport (Handling), oder im Labor mit PCB kontaminiert, da an diesem Standort noch nie so hohe Werte gefunden wurden. Diese Aussage wird durch das Resultat des zweiwöchigen Passivsammlers gestützt, wo tiefe und für den Standort übliche 130 ng/kg bestimmt wurden. Bei einer vierwöchigen Expositionszeit und konstanter PCB Wasserkonzentration, dürften an diesem Standort maximal doppelt so viele PCB, also 260 ng/kg, gefunden werden.

Zwischen Pila und der Passerelle wurden Werte um 760 bis 1'200 ng/kg PDMS bestimmt. In der Glâne wurde der ausgelegte PDMS Passivsammler nicht wieder gefunden (ev. bei Hochwasser weggeschwemmt), deshalb hierzu keine Messwerte. Bei Inva wurden PCB Gehalte von 1'600 ng/kg bestimmt. Die Glâne lieferte mit 4'700 ng/kg die höchste PCB Konzentration. Bei Creux du Loup, 2,7 km unterhalb der Mündung der Glâne in die Saane, wurden korrigierte 1'700 ng/kg PDMS bestimmt.

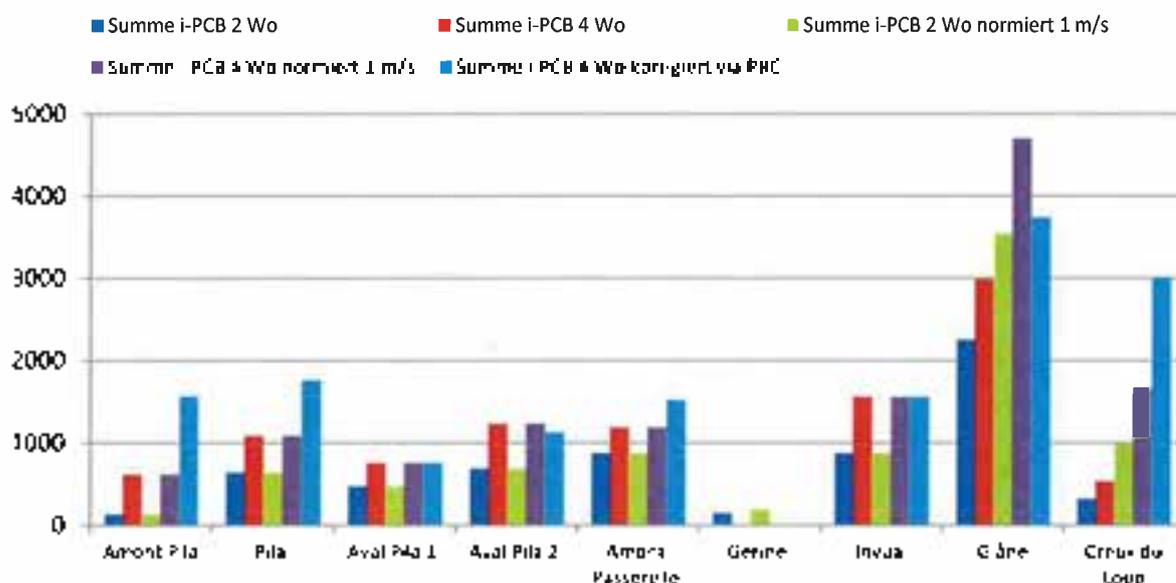
Abbildung 5: Konzentration der i-PCB in den PDMS Passivsammlern zwischen Amont Pila und Creux du Loup in ng/kg PDMS. Die blauen Balken zeigen an was in den Passivsammlern gemessen wurde. Die roten Balken zeigen die i-PCB Konzentration in den Sammlern nach **Korrektur der Standorte** via den Verlust an **Performance Reference Compounds (PRC)** normiert im Vergleich mit Aval Pila 1. Dargestellt sind die Konzentrationen nach **vierwöchiger Exposition** in der Saane.



#### Kommentar zu Abbildung 5:

Der Summenwert der sechs i-PCB liegt **oberhalb von Pila (Amont Pila) bei 1'600 ng/kg**. Da der vierwöchige Passivsammler wahrscheinlich kontaminiert wurde, ist dieser Wert mit Vorsicht zu betrachten. **Zwischen Pila und der Passerelle** wurden Werte um **760 bis 1'800 ng/kg PDMS** angetroffen. In der Glâne wurde der ausgelegte PDMS Passivsammler nicht wieder gefunden, deshalb hierzu keine Werte. Bei **Inyua** wurden PCB Gehalte von **1'600 ng/kg** bestimmt. Die **Glâne** lieferte mit **3'700 ng/kg** die höchste PCB Konzentration. Bei **Creux du Loup**, einiges unterhalb der Mündung der Glâne in die Saane, wurden **3'000 ng/kg PDMS** bestimmt. Dieser via **PRC** korrigierte Wert dürfte eher deutlich zu hoch ausgefallen sein und sollte nicht überbewertet werden.

Abbildung 6: Konzentration der i-PCB in den PDMS Passivsammlern zwischen Amont Pila und Creux du Loup in ng/kg PDMS. Dargestellt als blaue Balken sind die Konzentrationen in den PDMS Passivsammlern welche zwei Wochen in der Saane exponiert waren. Rote Balken stehen für die Sammler welche vier Wochen in der Saane exponiert waren. Grüne Balken stehen für die zweiwöchig exponierten Sammler, normiert auf eine Fließgeschwindigkeit von 1 m/s. Violette Balken stehen für die vierwöchig exponierten Sammler, normiert auf eine Fließgeschwindigkeit von 1 m/s. Türkise Balken zeigen die Werte für eine vierwöchige Exposition, korrigiert via Verluste der PRC.



#### Kommentar zu Abbildung 6:

Wie die Abbildung 6 zeigt, sind nach vier Wochen Expositionszeit, im Vergleich mit der zweiwöchigen Exposition, etwas weniger als die doppelte Menge an PCB gesammelt worden. **Das Verhältnis 4Wo : 2Wo beträgt im Durchschnitt 1.6 (Spannweite 1.3 - 1.8).** Dass das Verhältnis bei doppelter Expositionszeit nicht exakt zwei beträgt, kann darauf zurück geführt werden, dass die Umweltbedingungen (Fließgeschwindigkeit, Wassertemperatur, PCB Wasserkonzentration) nicht konstant waren. Aus früheren Experimenten ist bekannt, dass der PDMS Passivsammler bis zu sechs Wochen integraliv (linearer Verlauf der PCB Aufnahme) PCB sammelt und sich erst danach dem Gleichgewichtszustand nähert.

Die Werte bei Amont Pila (4 Wo) sehen auf den ersten Blick ähnlich aus, wie die folgenden Standorte zwischen Pila und Invua. Es gilt jedoch zu bedenken, dass die vierwöchige Probe wahrscheinlich kontaminiert wurde (bereits weiter oben angesprochen). Deshalb sollte für einen Vergleich von Amont Pila mit den weiteren Standorten nur die zweiwöchigen Werte betrachtet werden.

**Die i-PCB Konzentrationen zwischen Pila und Invua liegen alle in einem relativ engen Bereich von ca. 600 bis 1'800 ng/kg PDMS. Eine Korrektur der Daten via PRC oder über die Fließgeschwindigkeit spielt nicht eine so grosse Rolle, da an den meisten Standorten relativ ähnliche Umweltbedingungen herrschten.**

Die Gérine zeigt wie bereits oben erwähnt eine tiefe PCB Belastung. Die Glâne zeigt mit 2'300 bis 4'700 ng/kg PDMS leicht höhere Werte als die Saane. Das Einzugsgebiet der Glâne, mit relativ grossem Anteil an landwirtschaftlichen Flächen und etwas Industrie konnte zu einem erhöhten PCB Eintrag in dieses Gewässer beigetragen haben. Zusätzlich weist die Glâne einen deutlich geringeren Abfluss auf als die Saane, welche beim Betrieb des Wasserkraftwerkes (Hautrive) ca. 70 m<sup>3</sup>/s liefert (5 m<sup>3</sup>/s ohne Kraftwerk). PCB werden somit nach ihrem Eintrag in die Glâne geringer verdünnt. Ebenfalls werden Sedimente aus demselben Grund weniger stark verfrachtet und durch neues Geschiebe ersetzt. Eine weitere Ursache für die leicht höheren Werte in der Glâne konnte auch auf die Klaranlage, oberhalb der Probenahmestelle, zurück zu führen sein.

Bei **Creux du Loup**, ca. 2.7 km unterhalb der Mündung der Glâne in die Saane wurden Gehalte an i-PCB von 1'000 (2 Wo, normiert auf 1 m/s) bzw. 1'700 ng/kg PDMS (4 Wo, normiert auf 1 m/s) bestimmt. Diese Konzentrationen stimmen sehr gut mit denjenigen der anderen Probenahmestellen der Saane überein. Der via PRC korrigierte Wert bei Creux du Loup von 3'000 ng/kg PDMS ist wahrscheinlich eher überschätzt und entspricht eher nicht der Realität.

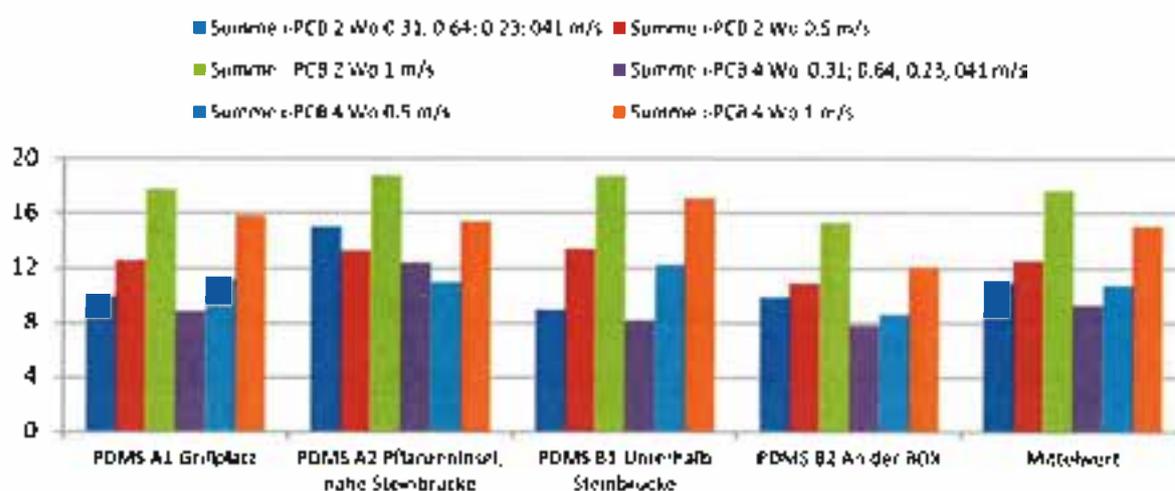
### Berechnete Sammelraten der PDMS Passivsammler aus dem Feldversuch im Kriesbach (Dübendorf)

Um die Wasserkonzentration in der Saane zu berechnen wurde die Sammelrate des PDMS Passivsammler, in einem Feldversuch im Kriesbach, bei Dübendorf, experimentell bestimmt. Hierzu wurden die Passivsammler während zwei bzw. vier Wochen im Kriesbach exponiert. Die Wassertemperatur, als auch die Fließgeschwindigkeit an vier Probenahmestandorten, wurden drei- bis viermal wöchentlich kontrolliert. Zusätzlich wurden während dieser Zeit neun Wasserproben auf PCB analysiert. Gemäss der untenstehenden Formel wurde die Sammelrate in L/Tag berechnet.

$$R_s = \frac{m}{C_w * t}$$

$R_s$  = Sammelrate in L/Tag;  $m$  = PCB Menge auf dem Sammler (z.B. ng).  $C_w$  = Wasserkonzentration (z.B. ng/L);  $t$  = Expositionszeit in Tagen.

Abbildung 7: Berechnete Sammelraten der PDMS Passivsammler aus dem Kriesbach in L/Tag.



Die berechneten Sammelraten liegen bei Fließgeschwindigkeiten zwischen **0.23 m/s und 1 m/s** in einem relativ engen Bereich von **8 bis 19 L/Tag**. Dieser Unterschied in der Sammelrate von einem Faktor von etwas mehr als zwei, gegenüber einem Fließgeschwindigkeitsanstieg von einem Faktor von vier, kann als realistisch betrachtet werden. Noch geringer ist der Unterschied, wenn die zweiwöchigen Daten mit den vierwöchigen Resultaten verglichen werden.

Die **mittlere Sammelrate** bei einer Fließgeschwindigkeit von **0.5 m/s** liegt zwischen **11 und 13 L/Tag**. Diejenige bei **1 m/s** liegt zwischen **16 und 18 L/Tag**. Basierend auf diesen experimentell ermittelten Sammelraten wurde die i-PCB Wasserkonzentration in der Saane und ihren Nebenflüssen berechnet. Diese Sammelraten stimmen sehr gut mit den Erfahrungswerten von verschiedenen Messkampagnen, welche durch die Empa, an anderen Gewässern durchgeführt wurden, überein. Ähnliche Sammelraten für Silikonpassivsammler sind auch in der Fachliteratur beschrieben worden (siehe hierzu die aufgeführte Literatur).

Pavlova et al. (2015) *Environ Sci Pollut Res.* (Published online 7.12.2015)

Jacquet et al. (2014). *Chemosphere* 98: p. 18-27

Moschat et al. (2014). *Water Research* 68. p. 411-422

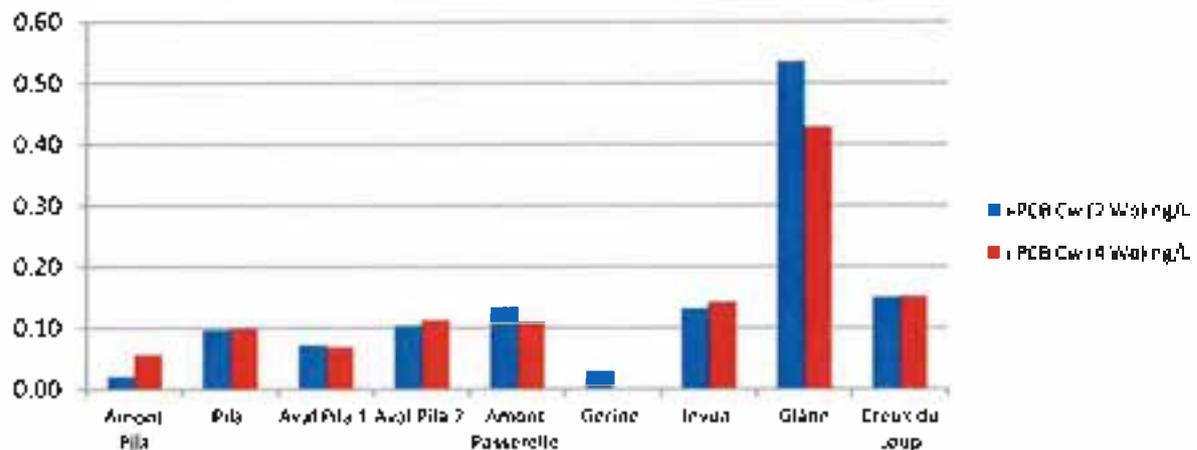
Smedes und Booij (2012). *ICES techniques in marine environmental sciences* 52

Rusina et al. (2010). *ES&T* 44(1): p. 362-367

### Berechnung der i-PCB Wasserkonzentration in der Saane, Gérine und Glâne

In Abbildung 8 ist die Wasserkonzentration als Summenwert der i-PCB für die Gewässer Saane, Gérine und Glâne in ng/L dargestellt.

Abbildung 8: i-PCB Konzentration in der Saane, Gérine und Glâne in ng/L Wasser.



Die Wasserkonzentrationen in der Saane zwischen Pila und Croix du Loup liegen in einem **tiefen und engen Bereich** zwischen **0.072 und 0.15 ng/L**. Die Konzentrationen liegen somit deutlich unterhalb des Zielwertes der **IKSR von 0.5 ng/L**. Bei **Amont Pila** liegt die Konzentration bei nur gerade sehr geringen **0.02 ng/L (2 Wo)**. Ähnlich tiefe Werte von **0.029 ng/L** werden in der **Gérine** gefunden. In der **Glâne** liegen die Werte mit **0.54 ng/L** nahe am Zielwert der **IKSR**.

## 5 Allgemeine Angaben

### 5.1 Verwendete Abkürzungen

PCB	Polychlorierte Biphenyle
dl-PCB	Dioxin-Like PCB (dioxinähnliche PCB)
PDMS	Polydimethylsiloxan (Silikongummi)
MoCB	Monochlorbiphenyl
DiCB	Dichlorbiphenyl
TriCB	Trichlorbiphenyl
TetraCB	Tetrachlorbiphenyl
PentaCB	Pentachlorbiphenyl
HexaCB	Hexachlorbiphenyl
HeptaCB	Heptachlorbiphenyl
WHO-TEF	WHO 2,3,7,8-TCDD-Toxizitätsäquivalenzfaktor
WHO-TEQ	WHO 2,3,7,8-TCDD-Toxizitätsäquivalent
ng	Nanogramm (1 ng = 1 x 10 <sup>-9</sup> g = 0.000'000'001 g)

### 5.2 Toxizitätsäquivalente

Die in den Tabellen 3 und 6 aufgeführten Einzelkongenere sind die toxikologisch bedeutsamen Vertreter der PCB (dl-PCB). Der TEQ-Wert einer Probe errechnet sich, indem die jeweilige dl-PCB Kongenerenkonzentration mit dem dazugehörigen WHO Toxizitätsäquivalenzfaktor (WHO-TEF, Tabelle 10 und 11) multipliziert und die so erhaltenen Produkte addiert werden.

Tabelle 10: WHO Toxizitätsäquivalenzfaktoren für PCB (WHO-TEF, 1998)

Nonortho-PCB	WHO-TEF	Monoortho-PCB	WHO-TEF
77	0.0001	105	0.0001
81	0.0001	114	0.0005
126	0.1	118	0.0001
169	0.01	123	0.0001
		156	0.0005
		157	0.0005
		167	0.00001
		189	0.0001

Tabelle 11: WHO Toxizitätsäquivalenzfaktoren für PCB (WHO-TEF, 2005)

Nonortho-PCB	WHO-TEF	Monoortho-PCB	WHO-TEF
77	0.0001	105	0.00003
81	0.0003	114	0.00003
126	0.1	118	0.00003
169	0.03	123	0.00003
		156	0.00003
		157	0.00003
		167	0.00003
		189	0.00003

### **5.3 Qualitätssicherung und Messunsicherheit**

Alle Untersuchungen wurden nach den Grundsätzen der Qualitätssicherung (ISO/IEC 17025) durchgeführt. Nach unseren Erfahrungen beträgt die Messunsicherheit für die Bestimmung der PCB ca. 20 % (Probenahme nicht einbezogen).

Pronat Conseils SA  
Kreuzmattstrasse 56  
CH-3185 Schmitlen

## Empa-Prüfbericht 5214013019

**Prüfauftrag:** **Bestimmung von Indikator-PCB und dioxinähnlichen PCB in PDMS Passivsammler aus der Saane bei der Deponie La Pliz**

**Prüfobjekte:** PDMS Passivsammlerproben

**Kundenreferenz:** CSD

**Ihr Auftrag vom:** 30. Mai 2016

**Eingang der Prüfobjekte:** 30. Mai 2016

**Ausführung der Prüfung:** 30. Mai bis 10. Juni 2016

**Anzahl Seiten:** -15-

**Beilagen:** Rechnung

W I R T S C H A F T L I C H E U N T E R S U C H U N G S A N S T A L T E M P A

---

Dübendorf, 06. Juli 2016

Projektleiter:



M. Zennegg

Abteilungsleiter

Advanced Analytical Technologies



Dr. D. Bleiner

## 1 Prüfobjekte

Am 14. Mai 2016 wurden in der Saane, im Bereich der Deponie La Pila und der Passerelle, vor der Einmündung der Gerinne in die Saane, an fünf Standorten PDMS Passivsammler ausgebracht. Zusätzlich wurden in den Nebenflüssen Gérinne und Glâne, als auch in der Saane bei Invua, Creux du Loup, im Lac de Pérolles und unterhalb von Maigrange PDMS Passivsammler positioniert. Diese Arbeiten wurden durch das Büro Pronat sowie Pascal Mulattieri von Bio'Eau ausgeführt. Pro Standort wurden zwei Passivsammler in paralleler oder seriell aufeinanderfolgender Position ausgebracht. Im Lac de Pérolles wurden die Sammler auf unterschiedlicher Tiefe im See exponiert (Grund, Mitte, Oberfläche). Jeweils einer der Sammler wurde vor der Exposition mit Performance Reference Compounds beladen (PRC). Die Exposition der Sammler dauerte zwei Wochen vom 14. bis zum 28. Mai. Nach dem Einsammeln der Proben wurden diese gut verpackt (250 mL Sovirel Glasflaschen mit Schraubverschluss) zur Analyse an die Empa Abteilung Advanced Analytical Technologies gesandt. Die Proben wurden, wenn nicht sofort extrahiert, bis zur Extraktion bei -20°C aufbewahrt.

Tabelle 1: Prüfobjekte und Standorte

Probenbezeichnung:	Bemerkungen:	Fließgeschw. m/s*	Landeskoordinaten
PDMS Amont Pila 2690-51	Ohne PRC	0.05 / 0.1	576242 / 180032
PDMS Amont Pila 2690-52	Mit PRC	0.05 / 0.1	576242 / 180032
PDMS Pila 1 2690-41	Ohne PRC	0.1 / 0.1	575926 / 180147
PDMS Pila 1 2690-42	Mit PRC	0.1 / 0.1	575926 / 180147
PDMS Aval Pila 1 2690-31	Ohne PRC	0.25 / 0.3	575846 / 180286
PDMS Aval Pila 1 2690-32	Mit PRC	0.25 / 0.3	575846 / 180286
PDMS Aval Pila 2 2690-21	Ohne PRC	0.4 / 0.4	575782 / 180394
PDMS Aval Pila 2 2690-22	Mit PRC	0.4 / 0.4	575782 / 180394
PDMS Amont Passerelle 2690-11	Ohne PRC	0.1 / 0.1	575985 / 180800
PDMS Amont Passerelle 2690-12	Mit PRC	0.1 / 0.1	575985 / 180800
PDMS Gérinne 2690-61	Ohne PRC	0.6 / nicht gefunden	576355 / 180867
PDMS Gérinne 2690-62	Mit PRC	0.6 / nicht gefunden	576359 / 180867
PDMS Invua 2690-71	Ohne PRC	0.25 / nicht gefunden	576584 / 181317
PDMS Invua 2690-72	Mit PRC	0.25 / nicht gefunden	576584 / 181317
PDMS Glâne 2690-81	Ohne PRC	0.9-1.3 / 1	575868 / 181538
PDMS Glâne 2690-82	Mit PRC	0.9-1.3 / 1	575868 / 181538
PDMS Creux du Loup 2690-91	Ohne PRC	0 / 0	578325 / 182209
PDMS Creux du Loup 2690-92	Mit PRC	0 / 0	578325 / 182209
PDMS Lac de Pérolles fond 2690-101.1	Ohne PRC	0 / 0	579206 / 183100
PDMS Lac de Pérolles fond 2690-102.1	Mit PRC	0 / 0	579206 / 183100
PDMS Lac de Pérolles milieu 2690-101.2	Ohne PRC	0 / 0	579206 / 183100
PDMS Lac de Pérolles milieu 2690-102.2	Mit PRC	0 / 0	579206 / 183100
PDMS Lac de Pérolles surface 2690-101.3	Ohne PRC	0 / 0	579206 / 183100
PDMS Lac de Pérolles surface 2690-102.3	Mit PRC	0 / 0	579206 / 183100
PDMS Aval Maigrange 2690-111	Ohne PRC	0.1	578725 / 183115

PDMS Aval Maigrauge 2690-112

Mit PRC

01

578725 / 183115

\*Die Fließgeschwindigkeiten in der Tabelle 1 wurden bei Niedrigwasser gemessen und entsprechen nicht den während der Expositionszeit vorliegenden Bedingungen. Eine Messung der Fließgeschwindigkeit bei Hochwasser ist nicht möglich. Die Passivsammler in der Gänge sind bei hohem Wasserstand nicht mehr aufgefunden werden.

## 2 Prüfung

### 2.1 Prüfverfahren für PCB in PDMS Passivsammlern ohne PRC

Die PDMS Passivsammler wurden nach Zugabe einer Mischung von 18  $^{13}\text{C}_{12}$ -isotopenmarkierten PCB (Cambridge Isotope Laboratories) mit Methanol während 16 Stunden heiss extrahiert (Soxhletextraktion).

Anschliessend wurde das Lösemittel am Rotationsverdampfer bei 50°C und 330 mbar bis auf ca. 0.5 mL eingedunstet.

Die praktisch farblosen bis leicht grünen Extrakte wurden quantitativ, durch mehrmaliges Nachspülen mit 1 bis 2 mL n-Hexan, in ein 10 mL Savirel Zentrifugenglas überführt.

Nach vorsichtiger Zugabe von 1 – 2 mL konz. Schwefelsäure wurde der Extrakt auf einem Vortexmixer kräftig geschüttelt und dreimal mit n-Hexan extrahiert. Zur besseren Phasentrennung wurde die Suspension für einige Minuten bei 5'000 rpm zentrifugiert.

Die klare überstehende n-Hexanphase wurde vorsichtig in einen 10 mL Spitzkolben abpipettiert und das Volumen am Rotationsverdampfer bei 50°C und 300 mbar bis auf ca. 0.5 mL reduziert.

Der vorgereinigte n-Hexanextrakt wurde chromatographisch an 0.8 g aktiviertem Kieselgel gereinigt (Mini-Kieselgelsäule). Die Elution erfolgte mit 10 mL n-Hexan.

Das Lösemittel wurde am Rotationsverdampfer bei 50°C und 300 mbar bis auf ca. 0.5 mL eingedunstet.

Nach quantitativem Transfer in 0.5 mL Mini-Vials wurde unter Stickstoffbegasung bei Raumtemperatur das Volumen bis auf ca. 30 µL reduziert.

Die messbereiten Probenextrakte wurden mit dem Recoverystandard ( $^{13}\text{C}_{12}$  PCB 70) zur Bestimmung der Wiederfindungsrate versetzt.

Die quantitative Analyse der polychlorierten Biphenyle wurde mittels Gaschromatographie/Massenspektrometrie durchgeführt (HRGC/HRMS). Die Quantifizierung erfolgte durch Vergleich mit den isotopenmarkierten Standards (Isotopenverdünnungsanalyse).

### 2.2 Prüfverfahren für PCB in PDMS Passivsammlern mit PRC (keine Säure)

Um einen Abbau von  $^{13}\text{C}_{12}$  Mono- und Dichlorbiphenylen, welche als PRC eingesetzt wurden, durch die konzentrierte Schwefelsäure zu vermeiden, wurde auf deren Einsatz verzichtet.

Die PDMS Passivsammler wurden nach Zugabe einer Mischung von 18  $^{13}\text{C}_{12}$ -isotopenmarkierten PCB (Cambridge Isotope Laboratories) mit Methanol während 16 Stunden heiss extrahiert (Soxhletextraktion).

Anschliessend wurde das Lösemittel am Rotationsverdampfer bei 50°C und 330 mbar bis auf ca. 0.5 mL eingedunstet.

Die praktisch farblosen bis leicht grünen Extrakte wurden quantitativ, durch mehrmaliges Nachspülen mit 1 bis 2 mL n-Hexan, in ein 10 mL Savirel Zentrifugenglas überführt.

Nach Verdünnung mit Reinstwasser im Verhältniss 1:1 wurde auf einem Vortexmixer kräftig geschüttelt und dreimal mit n-Hexan extrahiert. Zur besseren Phasentrennung wurde die Suspension für einige Minuten bei 5'000 rpm zentrifugiert.

Die klare überstehende n-Hexanphase wurde vorsichtig in einen 10 mL Spitzkolben abpipettiert und das Volumen am Rotationsverdampfer bei 50°C und 300 mbar bis auf ca. 0.5 mL reduziert.

Der vorgereinigte n-Hexanextrakt wurde chromatographisch an 0.8 g aktiviertem Kieselgel gereinigt (Mini-Kieselgelsäule). Die Elution erfolgte mit 10 mL n-Hexan.

Das Lösemittel wurde am Rotationsverdampfer bei 50°C und 300 mbar bis auf ca. 0.5 mL eingedunstet.

Nach quantitativem Transfer in 0.5 mL Mini-Vials wurde unter Stickstoffbegasung bei Raumtemperatur das Volumen bis auf ca. 30 µL reduziert.

Die messbereiten Probenextrakte wurden mit dem Recoverystandard ( $^{13}\text{C}_{12}$  PCB 70) zur Bestimmung der Wiederfindungsrate versetzt.

Die quantitative Analyse der polychlorierten Biphenyle wurde mittels Gaschromatographie/Massenspektrometrie durchgeführt (HRGC/HRMS). Die Quantifizierung erfolgte durch Vergleich mit den isotopenmarkierten Standards (Isotopenverdünnungsanalyse).

### 2.3 Referenzmaterialien

Kalibrationsstandard:	Mischung der PCB 77, 81, 105, 114, 118, 123, 126, 156, 157, 167, 169, 189 (C-WHO-01, Accu Standards Inc.) Mischung der PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180 (AE-00059, Accu Standards Inc.)
Wiederfindungsstandard:	$^{13}\text{C}_{12}$ -PCB 70 (EC-4914, Cambridge Isotope Laboratories)
Interner Standard:	Mischung der $^{13}\text{C}_{12}$ -isotopenmarkierten PCB 77, 81, 105, 114, 118, 123, 126, 156, 157, 167, 169, 189 (EC 4937, Cambridge Isotope Laboratories) Mischung der $^{13}\text{C}_{12}$ -isotopenmarkierten PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180 (EC 4058, Cambridge Isotope Laboratories)
Verwendete PRC:	Mischung der $^{13}\text{C}_{12}$ -isotopenmarkierten PCB 9, 37, 79, 111, 162, 194, 208, (PCB-ISS-H, Wellington Laboratories) $^{13}\text{C}_{17}$ -isotopenmarkiertes PCB 2 (MBP-1, Wellington Laboratories) $^{13}\text{C}_{12}$ -isotopenmarkiertes PCB 4 (MBP-3, Wellington Laboratories)

### 2.4 Prüfmittel

Gaschromatograph:	Thermo Finnigan Trace GC Ultra mit Thermo Scientific TriPlus Autosampler
Kapillarsäule:	30m x 0.25 mm, SGE HT8, Filmdicke 0.25 µm
Massenspektrometer:	doppelfokussierendes Massenspektrometer Finnigan MAT 95, ausgerüstet mit Systemsteuerungs- und Applikationssoftware Xcalibur 1.4.

### 2.5 Prüfbedingungen

Trägergas:	Helium, 100 kPa
Injektion:	3 µL splitlos
Temperaturprogramm:	100 °C (1 min), 20 °C min <sup>-1</sup> bis 180 °C, 4 °C min <sup>-1</sup> bis 300 °C
Quellentemperatur:	220 °C
Ionisierung:	Elektronenstoss (EI), Detektion der positiven Ionen
Elektronenenergie:	70 eV
Massenauflösung:	m/Δm = 8'000 (10 % Ta)
Einzelionendetektion:	Es wurden jeweils die m/z-Werte der beiden häufigsten Isotopenkombinationen der nativen und $^{13}\text{C}_{12}$ -markierten PCB im Molekulationcluster registriert (siehe Tabelle 2)

Tabella 2: Defektierte m/z Werte der nativen und  $^{13}\text{C}_{12}$ -markierten PCB

PCB	native		$^{13}\text{C}_{12}$ -labeled	
	m/z	m/z	m/z	m/z
MoCB	188.0387	190.0358	200.0790	202.0760
DiCB	221.9998	223.9968	234.0400	236.0371
TriCB	255.9613	257.9583	268.0021	269.9991
TetraCB	289.9223	291.9148	301.9626	303.9597
PentaCB	325.8805	327.8776	337.9207	339.9178
HexaCB	359.8415	361.8386	371.8817	373.8789
HeptaCB	393.8025	395.7996	405.8428	407.8398

### 3 Resultate

#### 3.1 Resultate zu den Passivsammlern exponiert in der Saane (Mai 2016)

Tabelle 3. Konzentrationen der dl-PCB und Indikator PCB in den PDMS Passivsammlern, exponiert in der Saane zwischen dem 14. und dem 28. Mai 2016. Die Konzentrationen sind in ng/kg PDMS angegeben.

ng/kg PDMS	Blindwert	Amont Pila	Amont Pila avec PRC	Pila	Pila avec PRC	Aval Pila 1	Aval Pila 1 avec PRC
		2690-51	2690-52	2690-41	2690-42	2690-31	2690-32
Dioxin-like PCB	29315	16516	16615	16315	16416	16116	16216
77	0.077	1.5	1.8	6.0	6.4	4.4	5.0
81	0.027	0.27	0.73	1.7	1.3	0.86	1.2
105	0.41	4.1	7.8	28	29	19	20
114	0.061	0.34	0.62	1.7	1.9	1.1	1.4
118	1.4	13	28	85	95	59	64
123	0.039	0.30	0.56	0.71	0.97	0.61	0.61
126	0.0024	0.18	0.32	0.25	0.31	0.21	0.15
156	0.20	1.5	2.6	4.0	5.0	4.2	5.9
157	0.030	0.37	0.69	1.1	0.91	0.73	1.0
167	0.13	0.74	1.2	1.0	2.3	2.0	1.9
169	0.0018	0.14	0.20	0.18	0.045	0.046	0.051
189	0.10	0.23	0.25	0.30	0.24	0.31	0.51
Indikator PCB							
28	1.1	25	33	61	64	49	48
52	1.7	49	72	267	309	194	181
103	2.3	41	74	176	193	156	164
138	2.6	19	37	57	69	61	80
153	2.1	20	43	60	69	66	84
180	1.2	6.3	1.2	1.2	34	15	23
<b>Summe dl-PCB</b>	<b>11</b>	<b>164</b>	<b>261</b>	<b>628</b>	<b>718</b>	<b>541</b>	<b>582</b>
<b>Gesamt PCB (Summe dl + i)</b>	<b>56</b>	<b>821</b>	<b>1403</b>	<b>1140</b>	<b>1588</b>	<b>7200</b>	<b>7908</b>
<b>Summe Tri- + pCB (bestimmbar)</b>	<b>38</b>	<b>681</b>	<b>1200</b>	<b>2772</b>	<b>3246</b>	<b>3342</b>	<b>2663</b>
<b>Summe Tri</b>	<b>2.8</b>	<b>112</b>	<b>197</b>	<b>265</b>	<b>270</b>	<b>760</b>	<b>215</b>
<b>Summe Te</b>	<b>8.6</b>	<b>187</b>	<b>286</b>	<b>1012</b>	<b>1331</b>	<b>1326</b>	<b>1079</b>
<b>Summe Pe</b>	<b>13</b>	<b>266</b>	<b>474</b>	<b>1209</b>	<b>1285</b>	<b>952</b>	<b>917</b>
<b>Summe Ix</b>	<b>0.5</b>	<b>118</b>	<b>213</b>	<b>254</b>	<b>322</b>	<b>300</b>	<b>390</b>
<b>Summe Hp</b>	<b>4.1</b>	<b>18</b>	<b>35</b>	<b>32</b>	<b>38</b>	<b>25</b>	<b>62</b>
<b>Korrekturfaktor PRC normiert gegenüber Aval Pila 1</b>	<b>1.0</b>	<b>2.93</b>	<b>2.93</b>	<b>1.94</b>	<b>1.94</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>
<b>Summe dl-PCB korrigiert via PRC:</b>	<b>11</b>	<b>480</b>	<b>767</b>	<b>1216</b>	<b>1390</b>	<b>541</b>	<b>582</b>
<b>Summe der Tri- + pCB korrigiert via PRC</b>	<b>38</b>	<b>1993</b>	<b>3512</b>	<b>5389</b>	<b>6286</b>	<b>3342</b>	<b>2663</b>

Tabelle 4: Konzentrationen der di-PCB und Indikator PCB in den PDMS Passivsammlern, exponiert in der Saane zwischen dem 14. und dem 28. Mai 2016. Die Konzentrationen sind in ng/kg PDMS angegeben.

ng/kg PDMS	Avg. Pila 2	Avg. Pila 2 avec PRC	Amont Passerelle	Amont Passerelle avec PRC	Gêne	Gêne avec PRC	Croix du Loup	Croix du Loup avec PRC
2690-21	2690-21	2690-22	2690-11	2690-12	2690-81	2690-82	2690-91	2690-92
Octrin-Like PCB	15916	16016	15716	15816	16716	16816	16916	17016
77	4.7	5.4	4.4	5.1	4.7	3.1	4.5	4.7
81	1.1	0.91	1.1	1.0	2.60	2.25	0.99	0.67
105	19	22	21	24	97	81	15	17
114	1.3	1.3	1.4	1.5	4.6	3.3	0.77	0.95
118	59	66	67	77	237	175	40	45
123	0.70	0.88	0.52	0.70	3.8	3.3	0.77	0.98
126	0.38	0.26	0.32	0.24	1.4	0.92	0.39	0.21
156	3.9	3.9	3.7	4.5	10	5.6	1.8	3.0
157	0.74	0.90	0.79	0.85	1.8	1.1	0.47	0.57
167	1.7	2.0	1.9	2.1	5.7	2.3	1.1	1.3
169	0.078	0.041	0.053	0.047	0.082	0.16	0.093	0.12
189	0.14	0.27	0.26	0.33	0.43	0.28	0.19	0.14
Indikator PCB								
28	52	54	46	55	926	683	52	69
52	223	254	217	249	1646	1198	131	150
101	144	159	147	172	384	267	61	54
118	58	65	57	65	129	76	24	33
153	61	69	58	67	134	79	27	37
180	17	13	12	15	30	15	6.0	5.9
Summe I-PCB	550	614	537	624	3254	2283	300	392
Gesamt PCB/Summe x 51	2752	3118	2687	3127	16716	11417	1501	1538
Summe Tri - HpCB (bestimmte)	2701	2632	2185	2795	17698	10120	1521	1656
Summe Tri	724	227	80	252	1850	456	736	43
Summe Te	1332	1021	825	1152	7931	6918	647	773
Summe Pe	919	1031	996	1064	3198	7331	510	646
Summe Hx	252	317	253	308	677	368	112	173
Summe Hp	34	36	31	47	81	48	16	24
Korrekturfaktor PRC nur mont. gegenüber Avg. Pila 1.	1.05	1.05	2.95	2.95	1.83	1.83	4.51	4.51
Summe I-PCB korrigiert via PRC	579	656	1586	1843	5978	4182	1353	1765
Summe der Tri - HpCB korrigiert via PRC:	2841	2768	6449	8249	23256	13536	6854	7468

Tabelle 5: Konzentrationen der dl-PCB und Indikator PCB in den PDMS Passusammlern, exponiert in der Saane zwischen dem 14. und dem 28. Mai 2016. Die Konzentrationen sind in ng/kg PDMS angegeben.

ng/kg PDMS	Lac de Peralles (fond)	Lac de Peralles (fond) avec PRC	Lac de Peralles (milieu)	Lac de Peralles (milieu) avec PRC	Lac de Peralles (surface)	Lac de Peralles (surface) avec PRC	Aval Mâtrange	Aval Mâtrange avec PRC
	2690-101.1	2690-102.1	2690-101.2	2690-102.2	2690-101.3	2690-102.3	2690-111	2690-112
Dioxin-like PCB	17216	17216	17316	17416	17516	17616	17716	17816
27	7.2	7.5	6.4	7.5	7.5	7.7	7.2	7.8
81	0.85	1.1	0.79	0.97	0.87	1.2	1.0	1.4
105	22	29	19	22	22	26	24	22
114	1.1	1.7	1.2	1.4	1.4	1.4	1.3	1.4
118	58	80	53	61	62	76	64	62
123	1.0	2.5	1.2	0.94	1.1	1.4	1.2	1.2
126	0.19	0.34	0.24	0.21	0.26	0.23	0.29	0.38
156	2.6	4.0	2.6	2.7	2.7	4.5	2.7	2.7
157	0.64	0.95	0.52	0.60	0.71	1.0	0.65	0.72
167	1.3	1.8	1.4	1.3	1.2	2.0	1.4	1.5
169	0.065	0.27	0.046	0.096	0.068	0.055	0.073	0.089
187	0.15	0.43	0.24	0.11	0.15	0.41	0.13	0.19
Indikator PCB								
28	95	124	84	93	98	90	104	108
52	234	294	212	240	234	238	256	263
101	94	125	88	106	102	115	134	109
138	33	45	37	35	32	48	34	36
153	36	47	35	40	36	51	35	39
180	6.3	11	9.2	6.9	6.1	14	5.7	7.3
Summe I-PCB	504	646	481	527	508	558	541	563
Gesamt PCB (Summe KSI)	2518	3232	2305	2637	2543	2294	2704	2817
Summe Tri - HpCB (bestimmt)	2316	2934	2121	2357	2243	2503	2594	2572
Summe Tri	319	429	276	278	316	267	329	359
Summe Te	1120	1125	1055	1230	1057	1187	1255	1252
Summe Pe	694	711	610	708	706	777	830	745
Summe H4	164	228	157	123	156	231	162	166
Summe Hp	19	32	26	21	16	39	15	20
Korrekturfaktor PRC nach mg/L gegenüber Aval Pila 1	4.40	4.40	5.96	5.96	4.29	4.09	3.30	3.30
Summe I-PCB korrigiert via PRC:	2218	2846	2748	3144	2077	2278	1786	1860
Summe der Tri - HpCB korrigiert via PRC:	10198	11157	12643	14054	9175	10221	8564	8393

Tabella 6: di-PCB WHO-TEQ<sub>2015</sub> in den PDMS Passivsammlern, exponiert in der Saane zwischen dem 14. und dem 28. Mai 2016. Die Konzentrationen sind in ng/kg PDMS angegeben

ng/kg PDMS	Brindwert	Mont Pila	Mont Pila avec PRC	Pila	Pila avec PRC	Aval Pila 1	Aval Pila 1 avec PRC
		2690-51	2690-52	2690-41	2690-42	2690-31	2690-32
Dioxin Like PCB	29315	16516	16616	15316	16416	16116	16216
77	0.000077	0.00015	0.00028	0.00060	0.00064	0.00044	0.00050
81	0.000082	0.00080	0.00022	0.00050	0.00039	0.00026	0.00035
105	0.000012	0.00012	0.00023	0.00083	0.00087	0.00058	0.00059
114	0.000018	0.00010	0.00019	0.00051	0.00057	0.00032	0.00047
118	0.000041	0.00019	0.00084	0.0026	0.0028	0.0018	0.0019
123	0.000012	0.000090	0.00017	0.00021	0.00020	0.00010	0.00018
126	0.00014	0.018	0.012	0.025	0.031	0.023	0.025
156	0.000060	0.00046	0.00079	0.00012	0.00015	0.00013	0.00018
157	0.0000090	0.00013	0.00021	0.00034	0.00027	0.00027	0.00031
167	0.000040	0.00022	0.00036	0.00060	0.00060	0.00061	0.00088
169	0.000040	0.0047	0.0061	0.0053	0.0013	0.0014	0.0017
189	0.000031	0.000068	0.000076	0.000090	0.000072	0.000094	0.00015
Summe WHO-TEQ <sub>2015</sub>	0.00026	0.023	0.020	0.035	0.038	0.028	0.041
Summe WHO-TEQ <sub>2015</sub> korrigiert via PRC	0.00026	0.068	0.058	0.069	0.073	0.028	0.041

Tabella 7: di-PCB WHO-TEQ<sub>2016</sub> in den PDMS Passivsammlern, exponiert in der Saane zwischen dem 14. und dem 28. Mai 2016. Die Konzentrationen sind in ng/kg PDMS angegeben

ng/kg PDMS	Aval Pila 2	Aval Pila 2 avec PRC	Mont Passerelle	Mont Passerelle avec PRC	G.3inc	G.3inc avec PRC	Croix du Loup	Croix du Loup avec PRC
	2690-21	2690-22	2690-11	2690-12	2690-81	2690-82	2690-91	2690-92
Dioxin Like PCB	15916	16016	15716	15816	16716	16816	16916	17016
77	0.00047	0.00054	0.00044	0.00051	0.0047	0.0032	0.00045	0.00047
81	0.00033	0.00077	0.00033	0.00029	0.00078	0.00068	0.00018	0.00023
105	0.00057	0.00065	0.00064	0.00072	0.0028	0.0024	0.00046	0.00052
114	0.000037	0.000039	0.000041	0.000046	0.00014	0.000098	0.000072	0.000028
118	0.0015	0.0023	0.0020	0.0013	0.0071	0.0053	0.0012	0.0013
123	0.000021	0.000026	0.000016	0.000021	0.00013	0.000094	0.000023	0.000026
126	0.028	0.026	0.032	0.024	0.14	0.092	0.019	0.021
156	0.00012	0.00012	0.00011	0.00014	0.00030	0.00017	0.000054	0.000090
157	0.000022	0.000028	0.000024	0.000027	0.000055	0.000034	0.000014	0.000017
167	0.000051	0.000060	0.000056	0.000067	0.00017	0.000069	0.000032	0.000038
169	0.00084	0.0012	0.0016	0.0013	0.0025	0.0048	0.0027	0.0037
189	0.000071	0.000067	0.000077	0.000030	0.000013	0.0000085	0.0000058	0.0000042
Summe WHO-TEQ <sub>2016</sub>	0.031	0.031	0.037	0.029	0.16	0.11	0.024	0.027
Summe WHO-TEQ <sub>2016</sub> korrigiert via PRC	0.034	0.033	0.11	0.085	0.30	0.20	0.11	0.12

Tabelle 8: dl-PCB WHO-TEQ<sub>2005</sub> in den PDMS Passivsammlern, exponiert in der Saane zwischen dem 14. und dem 28. Mai 2018. Die Konzentrationen sind in ng/kg PDMS angegeben.

ng/kg PDMS	Lac de Péroles (fond)	Lac de Péroles (fond) avec PRC	Lac de Péroles (milieu)	Lac de Péroles (milieu) avec PRC	Lac de Péroles (surface)	Lac de Péroles (surface) avec PRC	Aval Maigré	Aval Maigré avec PRC
	2690-101.1	2690-102.1	2690-101.2	2690-102.2	2690-101.3	2690-102.3	2690-111	2690-112
Dioxin-like PCB	17316	17216	17316	17416	17516	17616	17716	17816
77	0.00072	0.00075	0.00064	0.00075	0.00075	0.00077	0.00072	0.00078
81	0.00026	0.00039	0.00024	0.00029	0.00026	0.00036	0.00030	0.00041
105	0.00067	0.00086	0.00058	0.00066	0.00066	0.00078	0.00072	0.00067
114	0.000034	0.000051	0.000037	0.000038	0.000042	0.000042	0.000038	0.000047
118	0.0017	0.0024	0.0016	0.0018	0.0018	0.0023	0.0019	0.0019
133	0.000029	0.000076	0.000035	0.000028	0.000034	0.000043	0.000036	0.000036
136	0.019	0.034	0.024	0.023	0.026	0.023	0.029	0.038
156	0.000079	0.00012	0.000078	0.000082	0.000080	0.00013	0.000080	0.000082
157	0.000010	0.000029	0.000016	0.000018	0.000021	0.000031	0.000019	0.000021
167	0.000040	0.000054	0.000042	0.000040	0.000037	0.000063	0.000043	0.000046
169	0.0021	0.0081	0.0014	0.0019	0.0020	0.0016	0.0022	0.0027
189	0.0000044	0.000013	0.0000072	0.0000034	0.0000046	0.000017	0.000015	0.0000058
<b>Summe WHO-TEQ<sub>2005</sub></b>	<b>0.025</b>	<b>0.047</b>	<b>0.029</b>	<b>0.030</b>	<b>0.032</b>	<b>0.029</b>	<b>0.035</b>	<b>0.044</b>
<b>Summe WHO-TEQ<sub>2005</sub> korrigiert via PRC:</b>	<b>0.11</b>	<b>0.21</b>	<b>0.17</b>	<b>0.18</b>	<b>0.13</b>	<b>0.12</b>	<b>0.11</b>	<b>0.15</b>

## 4 Probenahmestandorte und Grafische Darstellung der Resultate

### 4.1 Probenahmestandorte in der Skarno im Bereich La Pila

In dem Abbildungen 1 und 2 sind die Probenahmestandorte der FOMs Passivsammler, welche im Jahr 2006 in der Skarno, Gebirg und Skarno gesammelt wurden, eingezeichnet.

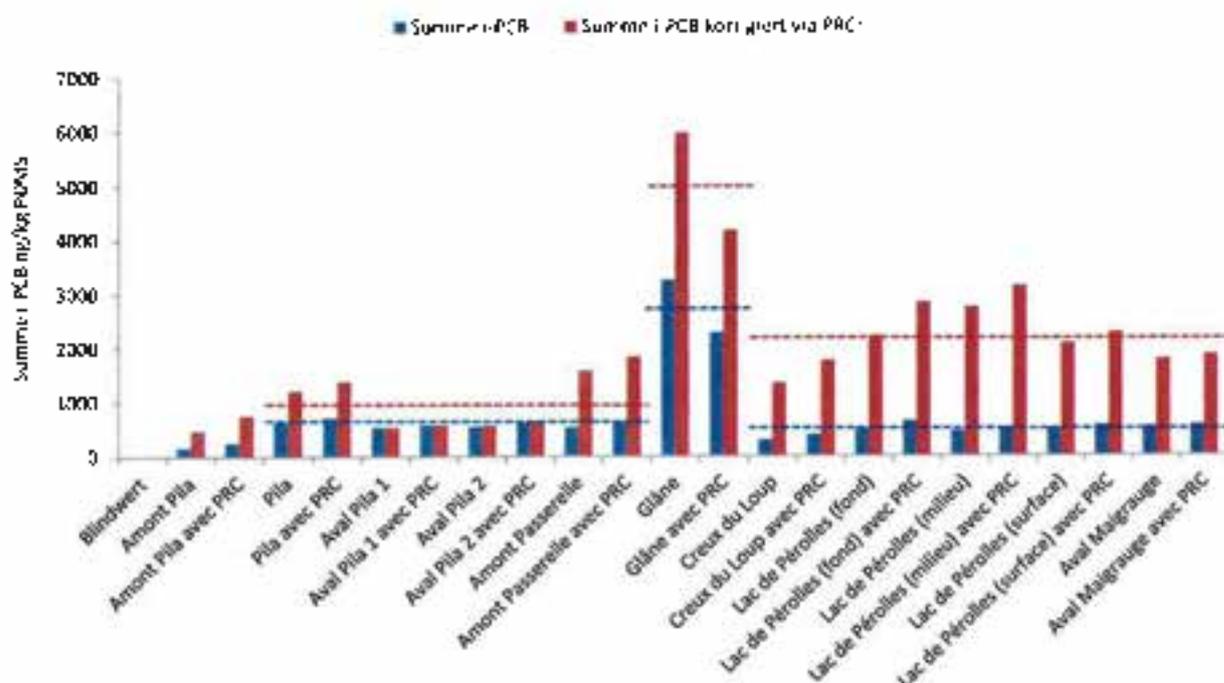
Abbildung 1 Probenahmestandorte im Bereich der Dapuna La Pila.



Abbildung 2 Probenahmestandorte im Lac de Pérolles und bei Mairgaugu



Abbildung 3: Summe der i-PCB in den PDMS Passivsammlern, exponiert in der Saane im Mai 2016 zu ng/kg PDMS. Die gestrichelten Linien geben den Mittelwert des jeweiligen Flussabschnittes an (blau = nicht korrigiert; rot = korrigiert via PRC)



**Kommentar zu Abbildung 3:**

Der Summenwert der Indikator-PCB liegt bei Amont Pila bei 160 bzw. 260 ng/kg PDMS. Nach Korrektur via PRC liegen die Konzentrationen bei 480 bzw. 760 ng/kg PDMS. Zwischen Pila und der Passarelle sind nicht korrigierte Konzentrationen zwischen 540 und 720 ng/kg anzutreffen mit einem Durchschnitt von rund 600 ng/kg PDMS. Werden die PCB Konzentrationen via die PRC korrigiert so sind bei den Probenahmestellen Pila und der Passarelle leicht höhere Gehalte von durchschnittlich 1'300 bzw. 1'700 ng/kg zu beobachten. Der Mittelwert nach Korrektur über die PRC liegt in diesem Abschnitt der Saane bei ca. 1000 ng/kg PDMS

In der Glâne wurden mit 2'300 bzw. 3'300 ng/kg die höchsten i-PCB Summenwerte detektiert (Mittelwert 2'800 ng/kg). Nach Korrektur liegen die Konzentrationen bei 4'200 bzw. 6'000 ng/kg PDMS (Mittelwert 5'100 ng/kg). Wieso die Glâne möglicherweise höhere PCB Gehalte aufweist wurde bereits im Empa Prüfbericht 521401385 erläutert.

Zwischen Creux du Loup, dem Lac de Pérolles und Malgrange sind PCB Gehalte von 300 bis 650 ng/kg PDMS anzutreffen (Mittelwert = 500 ng/kg; nicht korrigierte Werte). Werden die Gehalte via die PRC korrigiert so liegen diese zwischen 1'400 und 3'100 ng/kg PDMS (Mittelwert = 2'200 ng/kg).

Die Befunde stimmen sehr gut mit der Messkampagne von November/Dezember 2015 überein (Empa Prüfbericht 521401385).

## 5 Allgemeine Angaben

### 5.1 Verwendete Abkürzungen

PCB	Polychlorierte Biphenyle
PRC	Performance Reference Compounds
dl-PCB	Dioxin-Like PCB (dioxinähnliche PCB)
PDMS	Polydimethylsiloxan (Silkongummi)
MoCB	Monochlorbiphenyl
DiCB	Dichlorbiphenyl
TriCB	Trichlorbiphenyl
TetraCB	Tetrachlorbiphenyl
PentaCB	Pentachlorbiphenyl
HexaCB	Hexachlorbiphenyl
HeptaCB	Heptachlorbiphenyl
WHO-TEF	WHO 2,3,7,8-TCDD-Toxizitätsäquivalenzfaktor
WHO-TEQ	WHO 2,3,7,8-TCDD-Toxizitätsäquivalent
ng	Nanogramm ( $1 \text{ ng} = 1 \times 10^{-9} \text{ g} = 0.000'000'001 \text{ g}$ )

### 5.2 Toxizitätsäquivalente

Die in den Tabellen 3 bis 5 aufgeführten Einzelkongenere sind die toxikologisch bedeutsamen Vertreter der PCB (dl-PCB). Der TEQ-Wert einer Probe (Tabellen 6 bis 8) errechnet sich, indem die jeweilige dl-PCB Kongenerenkonzentration mit dem dazugehörigen WHO Toxizitätsäquivalenzfaktor (WHO-TEF, Tabelle 9 oder 10) multipliziert und die so erhaltenen Produkte addiert werden.

Tabelle 9: WHO Toxizitätsäquivalenzfaktoren für PCB (WHO-TEF, 1998)

Nonortho-PCB	WHO-TEF	Monoortho-PCB	WHO-TEF
77	0.0001	105	0.0001
81	0.0001	114	0.0005
126	0.1	118	0.0001
169	0.01	123	0.0001
		156	0.0005
		157	0.0005
		167	0.00001
		169	0.0001

Tabella 10: WHO Toxizitätsäquivalenzfaktoren für PCB (WHO-TEF, 2005)

Nonortho-PCB	WHO-TEF	Monoortho-PCB	WHO-TEF
77	0.0001	105	0.00003
81	0.0003	114	0.00003
126	0.1	118	0.00003
189	0.03	123	0.00003
		156	0.00003
		157	0.00003
		167	0.00003
		189	0.00003

### 5.3 Qualitätssicherung und Messunsicherheit

Alle Untersuchungen wurden nach den Grundsätzen der Qualitätssicherung (ISO/IEC 17025 ) durchgeführt. Nach unseren Erfahrungen beträgt die Messunsicherheit für die Bestimmung der PCB ca. 20 % (Probenahme nicht einbezogen).

Pronat Conseils SA  
Kreuzmattstrasse 56  
CH-3185 Schmitten

## Empa-Prüfbericht 5214013658

Wir forschen und prüfen für Sie

**Prüfauftrag:** Bestimmung von Indikator-PCB und dioxinähnlichen PCB in PDMS Passivsammlern aus der Saane, Gérine und Glâne von oberhalb der Deponie La Pila bis zu unterhalb Maigrauge

**Prüfobjekte:** PDMS Passivsammlerproben

**Kundenreferenz:** Pronat

**Ihr Auftrag vom:** 1. September 2016

**Eingang der Prüfobjekte:** 2. September 2016

**Ausführung der Prüfung:** 5. September 17. Oktober 2016

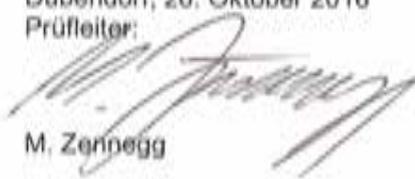
**Anzahl Seiten:** -17-

**Beilagen:** Rechnung

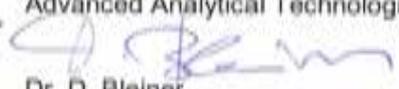
---

Dübendorf, 26. Oktober 2016

Prüfleiter:

  
M. Zennegg

Abteilungsleiter  
Advanced Analytical Technologies

  
Dr. D. Bleiner

## 1 Prüfobjekte

Am 17. Und 18. August 2016 wurden in der Saane, im Bereich der Deponie La Pila und der Passerelle, vor der Einmündung der Gerine in die Saane, an fünf Standorten PDMS Passivsammler ausgebracht. Zusätzlich wurden in den Nebenflüssen Gérine und Glâne, als auch in der Saane bei Invua, Creux du Loup, im Lac de Pérolles und unterhalb von Maigrauge PDMS Passivsammler positioniert. Diese Arbeiten wurden durch das Büro Pronat sowie Pascal Mulattieri von Bio'Eau ausgeführt. Pro Standort wurden zwei Passivsammler in paralleler oder seriell aufeinanderfolgender Position ausgebracht. Im Lac de Pérolles wurden die Sammler auf unterschiedlicher Tiefe im See exponiert (Grund, Mitte, Oberfläche). Jeweils einer der Sammler wurde vor der Exposition mit Performance Reference Compounds beladen (PRC). Die Exposition der Sammler dauerte zwei Wochen bis zum 31. August bzw. 1. September 2016. Nach dem Einsammeln der Proben wurden diese gut verpackt (250 mL Sovirel Glasflaschen mit Schraubverschluss) zur Analyse an die Empa Abteilung Advanced Analytical Technologies gesandt. Die Proben wurden, wenn nicht sofort extrahiert, bis zur Extraktion bei -20°C aufbewahrt.

Tabelle 1: Prüfobjekte und Standorte

Probenbezeichnung:	Bemerkungen:	Fliessgeschw. m/s*	Landeskoordinaten:
PDMS Amont Pila 2690-51	Ohne PRC	0.05 / 0.05	576242 / 180032
PDMS Amont Pila 2690-52	Mit PRC	0.05 / 0.05	576242 / 180032
PDMS Pila 1 2690-41	Ohne PRC	0.05 / 0.05	575926 / 180147
PDMS Pila 1 2690-42	Mit PRC	0.05 / 0.05	575926 / 180147
PDMS Aval Pila 1 2690-31 récupérés sur la rive le 31.08.	Ohne PRC	0.4	575846 / 180286
PDMS Aval Pila 1 2690-32 récupérés sur la rive le 31.08.	Mit PRC	0.4	575846 / 180286
PDMS Aval Pila 2 2690-21 nicht auffindbar	Ohne PRC	0.4	575782 / 180394
PDMS Aval Pila 2 2690-22 nicht auffindbar	Mit PRC	0.4	575782 / 180394
PDMS Amont Passerelle 2690-11	Ohne PRC	0.05 / 0.05	575985 / 180800
PDMS Amont Passerelle 2690-12	Mit PRC	0.05 / 0.05	575985 / 180800
PDMS Gérine 2690-61	Ohne PRC	0.7 / 0.4	576292 / 180915
PDMS Gérine 2690-62	Mit PRC	0.6 / 0.4	576292 / 180915
PDMS Invua 2690-71	Ohne PRC	0.5 / 0.4	576601 / 181325
PDMS Invua 2690-72	Mit PRC	0.5 / 0.4	576601 / 181325
PDMS Glâne 2690-81	Ohne PRC	0.2 / 0.3	575868 / 181538
PDMS Glâne 2690-82	Mit PRC	0.2 / 0.3	575868 / 181538
PDMS Creux du Loup 2690-91	Ohne PRC	0 / 0	578325 / 182209
PDMS Creux du Loup 2690-92	Mit PRC	0 / 0	578325 / 182209
PDMS Lac de Pérolles fond 2690-101.1	Ohne PRC	0 / 0	579197 / 183075
PDMS Lac de Pérolles fond 2690-102.1	Mit PRC	0 / 0	579197 / 183075
PDMS Lac de Pérolles milieu 2690-101.2	Ohne PRC	0 / 0	579197 / 183075
PDMS Lac de Pérolles milieu 2690-102.2	Mit PRC	0 / 0	579197 / 183075
PDMS Lac de Pérolles surface 2690-101.3	Ohne PRC	0 / 0	579197 / 183075
PDMS Lac de Pérolles surface 2690-102.3	Mit PRC	0 / 0	579197 / 183075
PDMS Aval Maigrauge 2690-111 récupérés sur la rive le 31.08. récupérés sur la rive le 31.08.	Ohne PRC	0.2	578837 / 183120

PDMS Aval Maigrauge 2690-112 récupérés sur la rive le 31.08.	Mit PRC	0.2	578837 / 183120
PDMS Invua 2690-71 exponiert vom 14.05. bis zum 17.08. da vorher nicht auffindbar	Ohne PRC	0.25	576584 / 181317
PDMS Invua 2690-72 exponiert vom 14.05. bis zum 17.08. da vorher nicht auffindbar	Mit PRC	0.25	576584 / 181317

\*Die Fliessgeschwindigkeiten in der Tabelle 1 wurden bei Niedrigwasser gemessen und entsprechen nicht den während der Expositionszeit vorliegenden Bedingungen. Eine Messung der Fliessgeschwindigkeiten bei Hochwasser ist nicht möglich.

## 2 Prüfung

### 2.1 Prüfverfahren für PCB in PDMS Passivsammlern ohne PRC

Die PDMS Passivsammler wurden nach Zugabe einer Mischung von 18  $^{13}\text{C}_{12}$ -Isotopenmarkierten PCB (Cambridge Isotope Laboratories) mit Methanol während 16 Stunden heiss extrahiert (Soxhletextraktion).

Anschliessend wurde das Lösemittel am Rotationsverdampfer bei 50°C und 330 mbar bis auf ca. 0.5 mL eingengt.

Die praktisch farblosen bis leicht grünen Extrakte wurde quantitativ, durch mehrmaliges Nachspülen mit 1 bis 2 mL n-Hexan, in ein 10 mL Sovirel Zentrifugenglas überführt.

Nach vorsichtiger Zugabe von 1 – 2 mL konz. Schwefelsäure wurde der Extrakt auf einem Vortexmixer kräftig geschüttelt und dreimal mit n-Hexan extrahiert. Zur besseren Phasentrennung wurde die Suspension für einige Minuten bei 5'000 rpm zentrifugiert.

Die klare überstehende n-Hexanphase wurde vorsichtig in einen 10 mL Spitzkolben abpipettiert und das Volumen am Rotationsverdampfer bei 50°C und 300 mbar bis auf ca. 0.5 mL reduziert.

Der vorgereinigte n-Hexanextrakt wurde chromatographisch an 0.8 g aktiviertem Kieselgel gereinigt (Mini-Kieselgelsäule). Die Elution erfolgte mit 10 mL n-Hexan.

Das Lösemittel wurde am Rotationsverdampfer bei 50°C und 300 mbar bis auf ca. 0.5 mL eingengt.

Nach quantitativem Transfer in 0.5 mL Mini-Vials wurde unter Stickstoffbegasung bei Raumtemperatur das Volumen bis auf ca. 30  $\mu\text{L}$  reduziert.

Die messbereiten Probenextrakte wurden mit dem Recoverystandard ( $^{13}\text{C}_{12}$  PCB 70) zur Bestimmung der Wiederfindungsrate versetzt.

Die quantitative Analyse der polychlorierten Biphenyle wurde mittels Gaschromatographie/Massenspektrometrie durchgeführt (HRGC/HRMS). Die Quantifizierung erfolgte durch Vergleich mit den Isotopenmarkierten Standards (Isotopenverdünnungsanalyse).

### 2.2 Prüfverfahren für PCB in PDMS Passivsammlern mit PRC (keine Säure)

**Um einen Abbau von  $^{13}\text{C}_{12}$  Mono- und Dichlorbiphenylen, welche als PRC eingesetzt wurden, durch die konzentrierte Schwefelsäure zu vermeiden, wurde auf deren Einsatz verzichtet.**

Die PDMS Passivsammler wurden nach Zugabe einer Mischung von 18  $^{13}\text{C}_{12}$ -Isotopenmarkierten PCB (Cambridge Isotope Laboratories) mit Methanol während 16 Stunden heiss extrahiert (Soxhletextraktion).

Anschliessend wurde das Lösemittel am Rotationsverdampfer bei 50°C und 330 mbar bis auf ca. 0.5 mL eingengt.

Die praktisch farblosen bis leicht grünen Extrakte wurde quantitativ, durch mehrmaliges Nachspülen mit 1 bis 2 mL n-Hexan, in ein 10 mL Sovirel Zentrifugenglas überführt.

Nach Verdünnung mit Reinstwasser im Verhältniss 1:1 wurde auf einem Vortexmixer kräftig geschüttelt und dreimal mit n-Hexan extrahiert. Zur besseren Phasentrennung wurde die Suspension für einige Minuten bei 5'000 rpm zentrifugiert.

Die klare überstehende n-Hexanphase wurde vorsichtig in einen 10 mL Spitzkolben abpipettiert und das Volumen am Rotationsverdampfer bei 50°C und 300 mbar bis auf ca. 0.5 mL reduziert.

Der vorgereinigte n-Hexanextrakt wurde chromatographisch am 0.8 µm aktiviertem Kieselsäure gelöst (Mini-Kieselsäurekugel). Die Elution erfolgte mit 10 mL n-Hexan.

Das Eluat wurde am Rotationsverdampfer bei 50°C und 300 mbar bei auf ca. 0.5 ml eingedunstet.

Nach quantitativem Transfer in 0.5 ml, Mini-Vials wurde unter Stickstoffatmosphäre bei Raumtemperatur das Volumen bis auf ca. 30 µl induziert.

Die mesochlorierten Probenextrakte wurden mit dem Referenzstandard (<sup>13</sup>C<sub>12</sub>-PCB 70) zur Bestimmung der Wiederfindungsrate versetzt.

Die quantitative Analyse der polychlorierten Biphenyle wurde mittels Gaschromatographie/Massenspektrometrie durchgeführt (HPLC/HRMS). Die Quantifizierung erfolgte durch Vergleich mit den isotonen markierten Standards (Isotopenverdünnungsanalyse).

### 2.3 Referenzmaterialien

Kalibrierungsstandard:	Mischung der PCB 77, 81, 105, 114, 118, 123, 126, 156, 157, 167, 180, 189 (G-WHO-01, Accu Standards Inc.) Mischung der PCB 20, 52, 101, 138, 153, 180 (AC-00050, Accu Standards Inc.)
Wiederfindungsstandard:	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -PCB 70 (FC-4014, Cambridge Isotope Laboratories)
Interner Standard:	Mischung der <sup>13</sup> C <sub>12</sub> -isotopenmarkierten PCB 77, 81, 105, 114, 118, 123, 126, 156, 157, 167, 169, 180 (FC 4037, Cambridge Isotope Laboratories) Mischung der <sup>13</sup> C <sub>12</sub> -isotopenmarkierten PCB 20, 52, 101, 138, 153, 180 (FC 4058, Cambridge Isotope Laboratories)
Verwendete PRC:	Mischung der <sup>13</sup> C <sub>12</sub> -isotopenmarkierten PCB 9, 37, 79, 111, 162, 194, 206, (PCB ISS-II, Wellington Laboratories) <sup>13</sup> C <sub>12</sub> -isotopenmarkiertes PCB 2 (MOP-1, Wellington Laboratories) <sup>13</sup> C <sub>12</sub> -isotopenmarkiertes PCB 4 (MBP 3, Wellington Laboratories)

### 2.4 Prüfmittel

Gaschromatographie	Thermo Finnigan Trace GC Ultra mit Thermo Scientific TriPlus Autosampler
Kapillarsäule:	30m x 0.25 mm, SGE LIT-5, Filmdicke 0.25 µm
Massenspektrometer:	doppeltfokussierendes Massenspektrometer Finnigan MAT 95, ausgestattet mit Systemsteuerungs- und Applikationssoftware Xenium 1.4.

### 2.5 Prüfbedingungen

Injektorgas:	Helium, 100 kPa
Injektion:	3 µl, splitless
Temperaturprogramm:	100 °C (1 min), 20 °C min <sup>-1</sup> bis 180 °C, 4 °C min <sup>-1</sup> bis 300 °C
Quellentemperatur:	220 °C
Ionisierung:	Elektronenstoß (EI), Detektion der positiven Ionen
Elektronenenergie:	70 eV
Massenauflösung:	m/Δm = 8000 (10 % Tail)
Einzelionendetektion:	Es wurden jeweils die m/z-Werte der beiden häufigsten Isotopenkombinationen der nativen und <sup>13</sup> C <sub>12</sub> -markierten PCB im Molekülmassenspektrum registriert (siehe Tabelle 2)

Tabelle 2: Detektierte m/z Werte der nativen und <sup>13</sup>C<sub>12</sub>-markierten PCB

PCB	native		<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -labeled	
	m/z	m/z	m/z	m/z
MoCB	188.0307	190.0358	200.0700	202.0750
DiCB	221.9998	223.9998	234.0400	236.0371
TriCB	255.9613	257.9580	268.0021	269.9991
TetraCB	289.9223	291.9140	301.9626	303.9597
PentaCB	325.8805	327.8776	337.9207	339.9178
HexaCB	359.8415	361.8386	371.8817	373.8788
HeptaCB	393.8025	395.7996	405.8428	407.8399

### 3 Resultate

#### 3.1 Resultate zu den Passivsammlern exponiert in der Saane (Mai 2016)

Tabelle 3: Konzentrationen der dl-PCB und Indikator PCB in den PDMS Passivsammlern, exponiert im Gewässer zwischen dem 17. bzw. 18. August und dem 31. August bzw. 1. September 2016. Die Konzentrationen sind in ng/kg PDMS angegeben.

ng/kg PDMS	Blindwert	Amont Pila	Amont Pila avec PRC	Pila	Pila avec PRC	Aval Pila 1 récupérés sur la rive 31.08.	Aval Pila 1 avec PRC récupérés sur la rive 31.08.
		2690-51	2690-52	2690-41	2690-42	2690-31	2690-32
Dioxin-Like PCB	22216	24716	24816	24516	24616	26716	26816
77	1.3	8.3	4.6	13	11	11633	21
81	0.21	1.1	1.0	2.7	2.5	1294	4.0
105	3.2	19	8.1	79	52	78383	64
114	0.25	0.90	0.88	3.4	2.4	2941	3.3
118	9.7	51	28	200	135	272669	191
123	0.18	0.52	0.56	1.4	2.2	3113	3.2
126	0.030	0.19	0.19	0.40	0.28	257	0.63
156	0.79	3.7	3.2	11	7.1	14797	8.5
157	0.24	0.77	0.24	2.5	1.5	3954	2.2
167	0.38	1.7	1.3	4.8	2.7	6695	4.5
169	0.048	0.050	0.038	0.061	0.15	19	0.074
189	0.11	0.24	0.22	0.39	0.24	591	0.34
Indikator PCB							
28	13	26	17	69	61	11159	124
52	27	122	53	396	318	59404	736
101	27	92	57	269	203	228996	410
138	11	45	35	114	78	198167	143
153	14	51	48	112	88	179599	176
180	5.1	13	14	18	17	26298	27
<b>Summe i-PCB</b>	<b>97</b>	<b>349</b>	<b>225</b>	<b>978</b>	<b>765</b>	<b>703623</b>	<b>1617</b>
<b>Gesamt PCB (Summe x 5)</b>	<b>484</b>	<b>1746</b>	<b>1127</b>	<b>4891</b>	<b>3824</b>	<b>3518114</b>	<b>8083</b>
Summe Tri - HpCB (bestimmt)	395	1428	932	4256	3311	3361575	6358
Summe Tri	57	134	94	347	298	44286	469
Summe Te	127	465	249	1430	1201	783161	2552
Summe Pe	120	554	338	1890	1363	1550209	2194
Summe Hx	75	241	216	542	406	913616	1055
Summe Hp	14	33	35	48	43	70213	88
Korrekturfaktor PRC normiert gegenüber Pila	1.0	2.80	2.80	1.0	1.0	récupérés sur la rive 31.08.	1.28
Summe i-PCB korrigiert via PRC:	97	978	631	978	765		7071
Summe der Tri - HpCB korrigiert via PRC:	395	3998	2611	4256	3311		8147

Tabelle 4: Konzentrationen der dl-PCB und Indikator PCB in den PDMS Passivsammlern, exponiert im Gewässer zwischen dem 17. bzw. 18. August und dem 31. August bzw. 1. September 2016. Die Konzentrationen sind in ng/kg PDMS angegeben.

ng/kg PDMS	Amont Passerelle	Amont Passerelle avec PRC	Gérine	Gérine avec PRC	Invua	Invua avec PRC	Glâne	Glâne avec PRC
Dioxin-Like PCB	2690-11	2690-12	2690-61	2690-62	2690-71	2690-72	2690-81	2690-82
	24316	24416	24916	25016	25116	25216	25316	25416
77	14	10	14	9.4	13	23	49	27
81	2.8	3.2	3.0	1.5	4.2	5.6	4.5	3.6
105	54	60	65	24	73	75	114	66
114	2.4	3.0	2.9	0.91	3.3	3.8	5.0	3.3
118	144	162	166	65	192	204	246	154
123	0.90	1.2	3.0	1.3	4.3	4.6	12	6.5
126	0.21	0.28	0.79	0.54	0.55	0.46	1.2	0.76
156	5.8	7.1	11	4.3	7.7	8.3	9.2	6.5
157	1.3	1.5	2.4	1.1	1.9	1.7	1.8	1.2
167	2.5	2.9	4.9	2.2	3.7	3.8	4.0	2.8
169	0.045	0.066	0.10	0.058	0.067	0.040	0.11	0.066
189	0.22	0.019	0.39	0.21	0.37	0.41	0.43	0.23
Indikator PCB								
28	73	195	58	30	95	104	718	425
52	405	556	236	101	550	599	1403	876
101	227	278	246	88	334	355	353	248
138	72	82	141	50	108	113	114	86
153	81	88	143	54	124	127	128	95
180	14	1	30	14	21	23	23	19
<b>Summe I-PCB</b>	<b>871</b>	<b>1199</b>	<b>854</b>	<b>337</b>	<b>1232</b>	<b>1321</b>	<b>2739</b>	<b>1749</b>
Gesamt PCB (Summe x 5)	4354	5997	4268	1685	6161	6603	13697	8746
Summe Tri - HpCB (bestimmt)	3688	5144	3814	1497	5418	5608	13299	8543
Summe Tri	304	798	244	132	428	440	2109	1282
Summe Te	1385	2019	1122	486	2112	2279	7637	4753
Summe Pe	1572	1853	1705	589	2223	2219	2881	2013
Summe Hx	386	433	673	254	598	605	609	445
Summe Hp	41	40	70	35	56	65	63	51
<b>Korrekturfaktor PRC normiert gegenüber Pils:</b>	<b>1.39</b>	<b>1.39</b>	<b>0.86</b>	<b>0.86</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	<b>2.01</b>	<b>2.01</b>
Summe I-PCB korrigiert via PRC:	1208	1664	731	289	1250	1339	5513	3520
Summe der Tri - HpCB korrigiert via PRC:	5117	7136	3266	1282	5494	5687	26764	17194

Tabelle 5: Konzentrationen der dl-PCB und Indikator PCB in den PDMS Passivsammlern, exponiert im Gewässer zwischen dem 17. bzw. 18. August und dem 31. August bzw. 1. September 2016. Die Konzentrationen sind in ng/kg PDMS angegeben.

ng/kg PDMS	Creux du Loup	Creux du Loup avec PRC	Lac de Pérolles (fond)	Lac de Pérolles (fond) avec PRC	Lac de Pérolles (milieu)	Lac de Pérolles (milieu) avec PRC	Lac de Pérolles (surface)	Lac de Pérolles (surface) avec PRC
	2690-91	2690-92	2690-101.1	2690-102.1	2690-101.2	2690-102.2	2690-101.3	2690-102.3
Dioxin-Like PCB	25916	26016	26116	26216	26316	26416	26516	26616
77	7.2	8.8	6.7	11.0	8.9	12.1	7.7	11
81	1.3	1.7	1.2	2.3	1.6	2.5	1.0	2.4
105	36	33	30	38	38	40	37	38
114	1.9	1.7	1.8	1.9	1.9	2.2	1.7	2.2
118	95	92	79	105	99	109	92	100
123	2.0	1.7	2.5	3.9	3.0	4.0	2.0	2.8
126	0.18	0.17	0.12	0.21	0.20	0.22	0.16	0.23
156	4.7	4.6	3.5	4.5	3.9	4.5	3.9	4.1
157	1.1	1.2	0.78	1.0	1.0	1.1	0.87	1.0
167	1.9	2.0	1.5	1.9	1.8	2.0	1.7	2.0
169	0.14	0.035	0.047	0.044	0.11	0.079	0.14	0.082
189	0.15	0.26	0.16	0.19	0.19	0.21	0.11	0.19
Indikator PCB								
28	45	48	54	76	70	81	80	74
52	203	201	232	296	292	313	338	285
101	133	131	129	168	158	178	191	162
138	58	66	51	71	63	72	77	67
153	62	71	59	78	73	83	87	75
180	12	12	11	12	11	12	14	11
<b>Summe i-PCB</b>	<b>513</b>	<b>530</b>	<b>537</b>	<b>702</b>	<b>667</b>	<b>739</b>	<b>787</b>	<b>674</b>
<b>Gesamt PCB (Summe x 5)</b>	<b>2564</b>	<b>2649</b>	<b>2684</b>	<b>3509</b>	<b>3335</b>	<b>3697</b>	<b>3934</b>	<b>3369</b>
<b>Summe Tri - HpCB (bestimmt)</b>	<b>2203</b>	<b>2233</b>	<b>2320</b>	<b>3062</b>	<b>2906</b>	<b>3420</b>	<b>3496</b>	<b>3018</b>
Summe Tri	176	187	215	303	272	534	306	294
Summe Te	889	888	1015	1323	1308	1389	1474	1228
Summe Pe	772	758	759	984	925	1039	1157	1011
Summe Hx	327	363	300	415	370	424	512	447
Summe Hp	40	37	31	37	31	35	47	38
<b>Korrekturfaktor PRC normiert gegenüber Aval Pila 1:</b>	<b>9.65</b>	<b>9.65</b>	<b>2.57</b>	<b>2.57</b>	<b>2.36</b>	<b>2.36</b>	<b>2.66</b>	<b>2.66</b>
<b>Summe i-PCB korrigiert via PRC:</b>	<b>4947</b>	<b>5110</b>	<b>1382</b>	<b>1807</b>	<b>1576</b>	<b>1748</b>	<b>2091</b>	<b>1791</b>
<b>Summe der Tri - HpCB korrigiert via PRC:</b>	<b>21251</b>	<b>21541</b>	<b>5073</b>	<b>7883</b>	<b>6870</b>	<b>8085</b>	<b>9293</b>	<b>8021</b>

Tabelle 6: Konzentrationen der dl-PCB und Indikator PCB in den PDMS Passivsammlern, exponiert im Gewässer zwischen dem 17. bzw. 18. August und dem 31. August bzw. 1. September 2016. Die Konzentrationen sind in ng/kg PDMS angegeben.

ng/kg PDMS	Aval Maigrage récupérés sur la rive 31.08.	Aval Maigrage avec PRC récupérés sur la rive 31.08.	Invua exponiert vom 14.05 bis zum 17.08.	Invua exponiert vom 14.05 bis zum 17.08. mit PRC
	2690-111	2690-112	2690-73	29690-74
Dioxin-Like PCB	26916	27016	21216	21316
77	22	28	45	100
81	2.0	3.5	8.1	12
105	58	54	160	154
114	1.9	1.6	8.3	7.1
118	133	123	465	464
123	1.8	2.7	7.8	9.2
126	0.73	0.86	1.5	2.2
156	3.7	3.7	20	18
157	1.5	1.5	4.9	4.9
167	2.8	2.9	11	12
169	0.17	0.036	0.16	0.57
189	0.18	0.22	0.89	1.6
Indikator PCB				
28	123	118	187	166
52	521	482	1095	1148
101	261	261	771	819
138	85	92	349	289
153	101	111	332	281
180	14	14	48	49
<b>Summe l-PCB</b>	<b>1104</b>	<b>1079</b>	<b>2782</b>	<b>2752</b>
<b>Gesamt PCB (Summe x 5)</b>	<b>5522</b>	<b>5394</b>	<b>13909</b>	<b>13758</b>
Summe Tri - HpCB (bestimmt)	4719	4730	11432	10316
Summe Tri	493	480	666	663
Summe Te	2170	2025	4560	3957
Summe Pe	1488	1521	4325	4110
Summe Hx	530	655	1741	1415
Summe Hp	39	49	140	170
<b>Korrekturfaktor PRC normiert gegenüber Aval Pila 1:</b>	<b>1.65</b>	<b>1.65</b>	<b>exponiert vom 14.05 bis zum 17.08.</b>	<b>exponiert vom 14.05 bis zum 17.08.</b>
<b>Summe l-PCB korrigiert via PRC:</b>	<b>1821</b>	<b>1779</b>		
<b>Summe der Tri - HpCB korrigiert via PRC:</b>	<b>7781</b>	<b>7789</b>		

Tabelle 7: di-PCB WHO-TEQ<sub>2005</sub> in den PDMS Passivsammlern, exponiert im Gewässer zwischen dem 17. bzw. 18. August und dem 31. August bzw. 1. September 2016. Die Konzentrationen sind in ng/kg PDMS angegeben.

ng/kg PDMS	Blindwert	Mont Pila avec PRC				Aval Pila 1 récupérés sur la rive 31.08.	Aval Pila 1 avec PRC récupérés sur la rive 31.08.
		Mont Pila	PRC	Pila	Pila avec PRC	2690-31	2690-32
Dioxin-Like PCB	22216	2690-51 24716	2690-52 24816	2690-41 24516	2690-42 24616	2690-31 26716	2690-32 26816
77	0.00013	0.00083	0.00046	0.0013	0.0011	1.2	0.0021
81	0.000063	0.00034	0.00029	0.00080	0.00074	0.39	0.0012
105	0.000096	0.00057	0.00024	0.0024	0.0016	2.4	0.0019
114	0.0000075	0.000027	0.000027	0.00010	0.000072	0.088	0.000099
118	0.00029	0.0015	0.00083	0.0060	0.0041	8.2	0.0057
123	0.0000054	0.000016	0.000017	0.000043	0.000067	0.093	0.000095
126	0.0030	0.019	0.019	0.040	0.028	26	0.063
156	0.000024	0.00011	0.000097	0.00034	0.00021	0.44	0.00026
157	0.0000072	0.000023	0.0000073	0.000074	0.000044	0.12	0.000065
167	0.000011	0.000050	0.000038	0.00015	0.000082	0.20	0.00013
169	0.0014	0.0015	0.0011	0.0018	0.0046	0.56	0.0022
189	0.0000032	0.0000071	0.0000066	0.000012	0.0000073	0.02	0.000010
<b>Summe WHO-TEQ<sub>2005</sub></b>	<b>0.0050</b>	<b>0.024</b>	<b>0.022</b>	<b>0.053</b>	<b>0.041</b>	<b>39</b>	<b>0.077</b>
<b>Summe WHO-TEQ<sub>2005</sub> korrigiert via PRC:</b>	<b>0.0050</b>	<b>0.068</b>	<b>0.062</b>	<b>0.053</b>	<b>0.041</b>		<b>0.099</b>

Tabelle 8: di-PCB WHO-TEQ<sub>2005</sub> in den PDMS Passivsammlern, exponiert im Gewässer zwischen dem 17. bzw. 18. August und dem 31. August bzw. 1. September 2016. Die Konzentrationen sind in ng/kg PDMS angegeben.

ng/kg PDMS	Mont Passerelle		Gérine		Invua		Glâne	
	Passerelle	avec PRC	Gérine	avec PRC	Invua	avec PRC	Glâne	avec PRC
Dioxin-Like PCB	2690-11 24316	2690-12 24416	2690-61 24916	2690-62 25016	2690-71 25116	2690-72 25216	2690-81 25316	2690-82 25416
77	0.0014	0.0010	0.0014	0.00094	0.0013	0.0023	0.0049	0.0027
81	0.00085	0.00095	0.00089	0.00045	0.0012	0.0017	0.0013	0.0011
105	0.0016	0.0018	0.0020	0.00072	0.0022	0.0022	0.0034	0.0020
114	0.000071	0.000089	0.000086	0.000027	0.00010	0.00011	0.00015	0.00010
118	0.0043	0.0049	0.0050	0.0019	0.0058	0.0061	0.0074	0.0046
123	0.000027	0.000035	0.000090	0.000039	0.00013	0.00014	0.00035	0.00020
126	0.021	0.028	0.079	0.054	0.055	0.046	0.12	0.076
156	0.00018	0.00021	0.00034	0.00013	0.00023	0.00025	0.00028	0.00020
157	0.000038	0.000045	0.000073	0.000033	0.000056	0.000050	0.000055	0.000037
167	0.000076	0.000088	0.00015	0.000066	0.00011	0.00011	0.00012	0.000084
169	0.0013	0.0020	0.0031	0.0017	0.0020	0.0012	0.0033	0.0020
189	0.0000067	0.00000057	0.000012	0.0000064	0.000011	0.000012	0.000013	0.0000068
<b>Summe WHO-TEQ<sub>2005</sub></b>	<b>0.031</b>	<b>0.040</b>	<b>0.092</b>	<b>0.061</b>	<b>0.069</b>	<b>0.060</b>	<b>0.14</b>	<b>0.089</b>
<b>Summe WHO-TEQ<sub>2005</sub> korrigiert via PRC:</b>	<b>0.044</b>	<b>0.055</b>	<b>0.079</b>	<b>0.052</b>	<b>0.070</b>	<b>0.061</b>	<b>0.29</b>	<b>0.18</b>

Tabelle 9: di-PCB WHO-TEQ<sub>2005</sub> in den PDMS Passivsammlern, exponiert im Gewässer zwischen dem 17. bzw. 18. August und dem 31. August bzw. 1. September 2016. Die Konzentrationen sind in ng/kg PDMS angegeben.

ng/kg PDMS	Creux du Loup	Creux du Loup avec PRC	Lac de Péroilles (fond)	Lac de Péroilles (fond) avec PRC	Lac de Péroilles (milieu)	Lac de Péroilles (milieu) avec PRC	Lac de Péroilles (surface)	Lac de Péroilles (surface) avec PRC
	2690-91	2690-92	2690-101.1	2690-102.1	2690-101.2	2690-102.2	2690-101.3	2690-102.3
Dioxin-Like PCB	25916	26016	26116	26216	26316	26416	26516	26616
77	0.00072	0.00088	0.00067	0.0011	0.00089	0.0012	0.00077	0.0011
81	0.00038	0.00052	0.00035	0.00070	0.00047	0.00075	0.00031	0.00071
105	0.0011	0.00099	0.00091	0.0011	0.0011	0.0012	0.0011	0.0011
114	0.000056	0.000050	0.000054	0.000058	0.000057	0.000065	0.000052	0.000065
118	0.0029	0.0028	0.0024	0.0032	0.0030	0.0033	0.0028	0.0030
123	0.000059	0.000050	0.000074	0.00012	0.000091	0.00012	0.000060	0.000084
126	0.018	0.017	0.012	0.021	0.020	0.022	0.016	0.023
156	0.00014	0.00014	0.00010	0.00014	0.00012	0.00014	0.00012	0.00012
157	0.000033	0.000035	0.000023	0.000029	0.000029	0.000032	0.000026	0.000029
167	0.000058	0.000060	0.000044	0.000058	0.000054	0.000059	0.000051	0.000059
169	0.0041	0.0011	0.0014	0.0013	0.0034	0.0024	0.0043	0.0024
189	0.0000044	0.0000077	0.0000049	0.0000056	0.0000057	0.0000062	0.0000034	0.0000058
Summe WHO-TEQ <sub>2005</sub>	0.027	0.023	0.018	0.029	0.029	0.032	0.026	0.032
Summe WHO-TEQ <sub>2005</sub> korrigiert via PRC <sub>i</sub>	0.26	0.22	0.046	0.074	0.069	0.075	0.068	0.084

Tabelle 10: di-PCB WHO-TEQ<sub>2005</sub> in den PDMS Passivsammlern, exponiert im Gewässer zwischen dem 17. bzw. 18. August und dem 31. August bzw. 1. September 2016. Die Konzentrationen sind in ng/kg PDMS angegeben.

ng/kg PDMS	Aval Malgrange récupérés sur la rive 31.08.	Aval Malgrange avec PRC récupérés sur la rive 31.08.	Invua exponiert vom 14.05 bis zum 17.08.	Invua exponiert vom 14.05 bis zum 17.08. mit PRC
	2690-111	2690-112	2690-73	29690-74
Dioxin-Like PCB	26916	27016	21216	21316
77	0.0022	0.0028	0.0045	0.010
81	0.00059	0.0010	0.0024	0.0037
105	0.0017	0.0016	0.0048	0.0046
114	0.000057	0.000049	0.00025	0.00021
118	0.0040	0.0037	0.014	0.014
123	0.000055	0.000082	0.00023	0.00028
126	0.073	0.086	0.15	0.22
156	0.00011	0.00011	0.00060	0.00054
157	0.000044	0.000045	0.00015	0.00015
167	0.000084	0.000088	0.00033	0.00036
169	0.0051	0.0011	0.0048	0.017
189	0.0000055	0.0000065	0.000027	0.000049
Summe WHO-TEQ <sub>2005</sub>	0.087	0.096	0.19	0.27
Summe WHO-TEQ <sub>2005</sub> korrigiert via PRC <sub>i</sub>	0.14	0.16		

## 4 Probenahmestandorte und Grafische Darstellung der Resultate

### 4.1 Probenahmestandorte in der Saane im Bereich La Pila

In den Abbildungen 1 und 2 sind die Probenahmestandorte der PDMS Passivsammler, welche im August 2016 in der Saane, Gérine und Glâne exponiert wurden, eingezeichnet.

Abbildung 1: Probenahmestandorte im Bereich der Deponie La Pila.

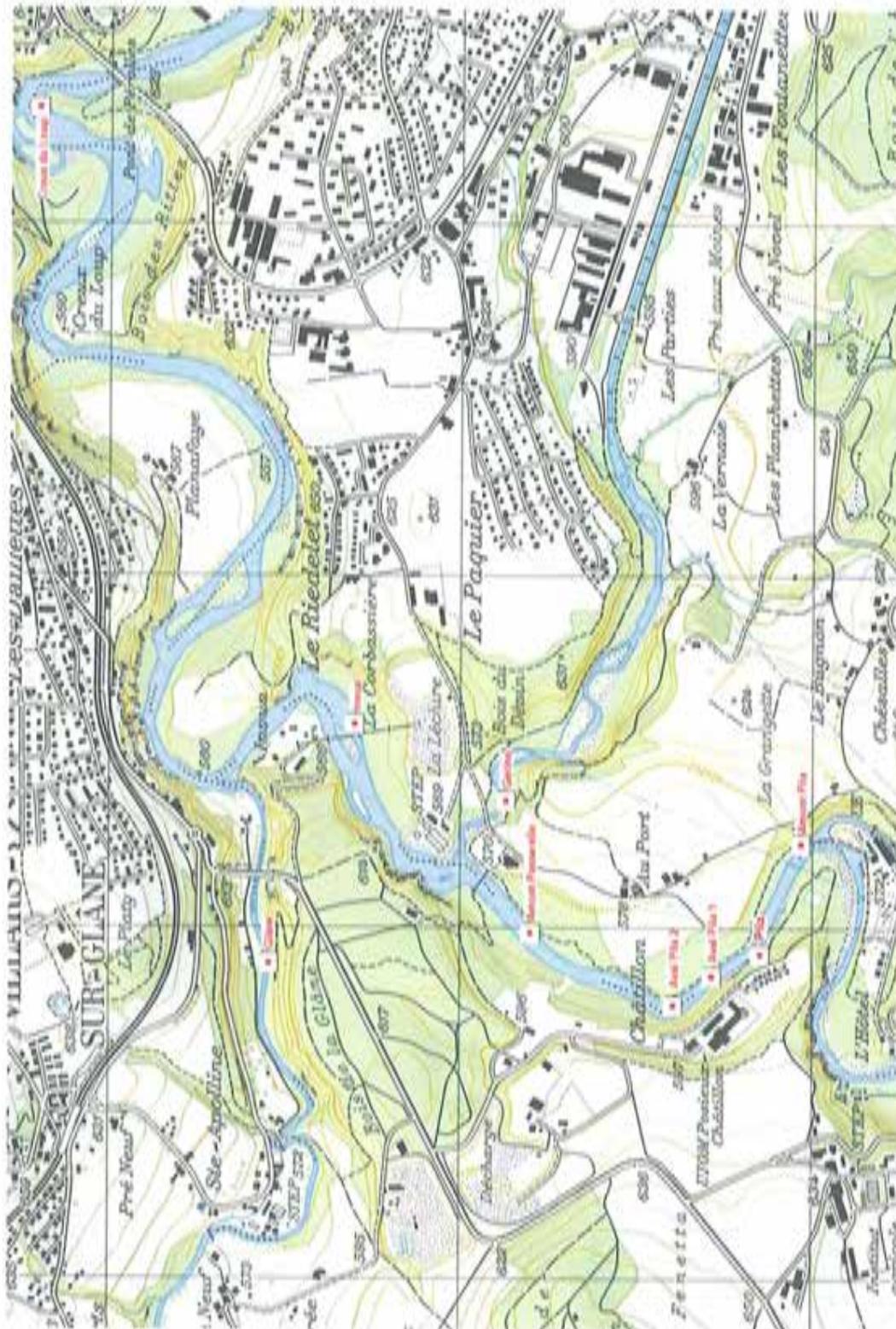
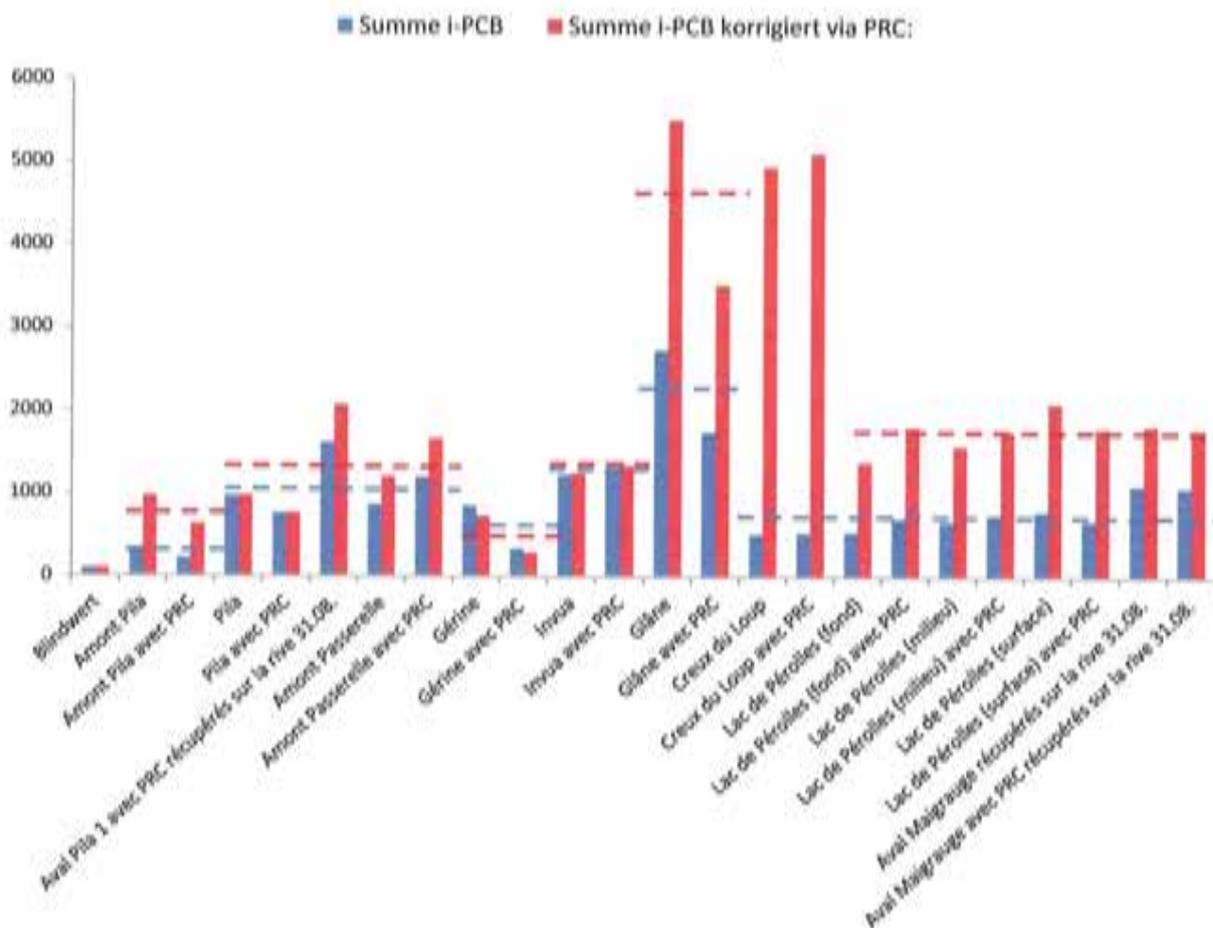


Abbildung 2: Probenahmestandorte im Lac de Pérolles und bei Maigrauge.



Abbildung 3: Summe der i-PCB in den PDMS Passivsammlern, exponiert in der Saane im August 2016 in ng/kg PDMS. Die gestrichelten Linien geben den Mittelwert des jeweiligen Flussabschnittes an (blau = nicht korrigiert; rot = korrigiert via PRC).



### Kommentar zu Abbildung 3:

Der Summenwert der Indikator-PCB liegt bei **Amont Pila** bei **230 bzw. 350 ng/kg PDMS**. Nach Korrektur via PRC liegen die Konzentrationen bei **630 bzw. 980 ng/kg PDMS**. **Zwischen Pila und der Passerelle** sind nicht korrigierte Konzentrationen zwischen **770 und 1'600 ng/kg** anzutreffen mit einem Durchschnitt von rund **1'100 ng/kg PDMS**. Es ist jedoch noch zu erwähnen, dass die Sammler bei **Aval Pila 1** am Ufer liegend gefunden wurden. Wobei der Sammler ohne PRC extrem hohe PCB Konzentrationen aufwies. Der Summenwert der 6 i-PCB lag dabei bei sehr hohen **700'000 ng/kg**. Der Sammler **Aval Pila 1** mit PRC wies mit **1'600 ng/kg** einen Wert auf der durchaus als plausibel für diesen Standort betrachtet werden kann. Aus diesem Grunde wurde er auch in die Berechnung des Mittelwertes miteinbezogen.

Werden die PCB Konzentrationen via die PRC korrigiert so liegen diese zwischen **770 und 2'100 ng/kg**. Der Mittelwert nach Korrektur über die PRC liegt in diesem Abschnitt der Saane bei ca. **1'300 ng/kg PDMS** und somit gering über dem **nicht korrigierten Mittelwert von 1'100 ng/kg**.

In der **Gérine** wurden Konzentrationen von **850 bzw. 340 ng/kg** bestimmt. Im Mittel lag der i-PCB Gehalt bei **600 ng/kg** und somit tiefer als in der Saane oberhalb der einmündung der Gérine. Nach Korrektur via PRC lagen die Werte leicht tiefer bei **730 bzw. 290 ng/kg** (Mittelwert **500 ng/kg**).

Bei **Invua** wurden i-PCB Summenwerte von **1'200 bzw. 1'300 ng/kg** gemessen (Mittelwert gerundet **1'300 ng/kg**). Die Korrektur via PRC lieferte sehr ähnliche Gehalte von jeweils gerundeten **1'300 ng/kg**.

In der **Glâne** wurden mit **1'700 bzw. 2'700 ng/kg** die höchsten i-PCB Summenwerte detektiert (Mittelwert **2'200 ng/kg**). Nach Korrektur liegen die Konzentrationen bei **3'500 bzw. 5'500 ng/kg PDMS** (Mittelwert **4'500 ng/kg**).

Zwischen **Creux du Loup, dem Lac de Pérolles und Malgrange** sind PCB Gehalte von **500 bis 1'100 ng/kg PDMS** anzutreffen (Mittelwert **700 ng/kg**; nicht korrigierte Werte). Werden die Gehalte via die PRC korrigiert so liegen diese zwischen **1'400 und 2'100 ng/kg PDMS** (Mittelwert **1'700 ng/kg**). Hierbei wurden die via PRC korrigierten Gehalte von Creux du Loup nicht berücksichtigt, da der hohe Korrekturfaktor von 0,65 für diesen Standort nicht in das Gesamtbild passt und eher zu hoch ausgefallen sein dürfte. Es ist eher davon auszugehen, dass eine Korrektur für diesen Standort vergleichbar mit dem Lac de Pérolles sein sollte, d.h. ein Korrekturfaktor von ca. 2,4 bis 2,7 zur Anwendung kommen sollte. Dann wären korrigierte Gehalte bei **Creux du Loup** von ca. **1'300 ng/kg** realistisch.

Die Befunde stimmen relativ gut mit der Messkampagne von Mai 2016 überein (Empir. Prüfbericht 5214010010).

## 5 Allgemeine Angaben

### 5.1 Verwendete Abkürzungen

PCB	Polychlorierte Biphenyle
PRC	Performance Reference Compounds
di PCB	Dioxin-like PCB (dioxinähnliche PCB)
PDMS	Polydimethylsiloxan (Silikonquarzöl)
MoCB	Monochlorbiphenyl
DiCB	Dichlorbiphenyl
TriCB	Trichlorbiphenyl
TetraCB	Tetrachlorbiphenyl
PentaCB	Pentachlorbiphenyl
HexaCB	Hexachlorbiphenyl
HeptaCB	Heptachlorbiphenyl
WHO-TEF	WHO 2,3,7,8-TCDD-Toxizitätsäquivalenzfaktor
WHO-TLQ	WHO 2,3,7,8-TCDD-Toxizitätsäquivalent
ng	Nanogramm (1 ng = 1 x 10 <sup>-9</sup> g = 0.000'000'001 g)

### 5.2 Toxizitätsäquivalente

Die in den Tabellen 3 bis 6 aufgeführten Einzelkongomere sind die toxikologisch bedeutsamen Vertreter der PCB (di PCB). Der TEQ Wert eines Proben (Tabellen 7 bis 10) errechnet sich, indem die jeweiligen di-PCB Kongomerenkonzentration mit dem dazugehörigen WHO-Toxizitätsäquivalenzfaktor (WHO-TF, Tabelle 11 oder 12) multipliziert und die so erhaltenen Produkte addiert wurden.

Tabelle 11: WHO Toxizitätsäquivalenzfaktoren für PCB (WHO-TF I, 1988)

Nonortho-PCB	WHO-TEF	Monoortho-PCB	WHO-TEF
77	0,0001	105	0,0001
81	0,0001	114	0,0005
126	0,1	118	0,0001
169	0,01	123	0,0001
		156	0,0005
		157	0,0005
		167	0,00001
		188	0,0001

Tabelle 12: WHO Toxizitätsäquivalenzfaktoren für PCB (WHO-TEF, 2005)

Nonortho-PCB	WHO-TEF	Monoortho-PCB	WHO-TEF
77	0.0001	105	0.00003
81	0.0003	114	0.00003
126	0.1	118	0.00003
169	0.03	123	0.00003
		136	0.00003
		157	0.00003
		167	0.00003
		189	0.00003

### 5.3 Qualitätssicherung und Messunsicherheit

Alle Untersuchungen werden nach den Grundsätzen der Qualitätssicherung (ISO/IEC 17025) durchgeführt. Nach unseren Erfahrungen beträgt die Messunsicherheit für die Bestimmung der PCB um 20 % (Probendünne meist abtrocknen).

Empa  
Überlandstrasse 129  
CH-8600 Dübendorf  
T +41 58 765 11 11  
F +41 58 765 11 22  
www.empa.ch

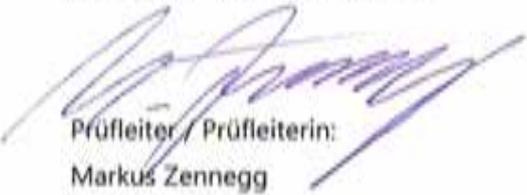
Pronat Conseils SA  
Kreuzmattstrasse 56  
CH-3185 Schmitten

## Prüfbericht Nr.5214014373

<b>Prüfauftrag:</b>	<b>Bestimmung von Indikator-PCB und dioxinähnlichen PCB in PDMS Passivsammlern aus der Saane im Bereich der Deponie La Pila</b>
Auftraggeber:	Pronat Conseils SA
Prüfobjekt:	PDMS Passivsammler
Kundenreferenz:	Francoise Vial / Andreas Zurwerra
Ihr Auftrag vom:	28.11.2016
Eingang des Prüfobjektes:	29.11.2016
Ausführung der Prüfung:	29.11.2016 – 10.12.2016
Anzahl Seiten:	-13-
Beilagen:	Rechnung

---

Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt  
Dübendorf, 15. Dezember 2016

  
Prüfleiter / Prüfleiterin:  
Markus Zennegg

  
Abteilungsleiter / Abteilungsleiterin:  
PD Dr. Davide Bleiner

## 1 Prüfobjekte

Am 12. November 2016 wurden in der Saane, im Bereich der Deponie La Pila und der Passerelle, vor der Einmündung der Gerne in die Saane, an fünf Standorten PDMS Passivsammler ausgebracht. Diese Arbeiten wurden durch das Büro Pronat ausgeführt. Pro Standort wurden zwei Passivsammler in paralleler oder seriell aufeinanderfolgender Position ausgebracht. Jeweils einer der Sammler wurde vor der Exposition mit Performance Reference Compounds beladen (PRC). Die Exposition der Sammler dauerte zwei Wochen bis zum 26. November 2016. Nach dem Einsammeln der Proben wurden diese gut verpackt (250 ml. Sovirel Glasflaschen mit Schraubverschluss) zur Analyse an die Empa Abteilung Advanced Analytical Technologies gesandt. Die Proben wurden, wenn nicht sofort extrahiert, bis zur Extraktion bei 20°C aufbewahrt.

Tabelle 1: Prüfobjekte und Standorte

Probenbezeichnung:	Bemerkungen:	Fließgeschw. m/s <sup>a</sup>	Landeskoordinaten:
PDMS Amont Pila 2690 51	Ohne PRC	0.05 / 0.05	576247 / 180032
PDMS Amont Pila 2690 52	Mit PRC	0.05 / 0.05	576242 / 180032
PDMS Pila 1 2690 41	Ohne PRC	0	575926 / 180147
PDMS Pila 1 2690 42	Mit PRC	0	575926 / 180147
PDMS Aval Pila 1 2690 31	Ohne PRC	0.1	575846 / 180286
PDMS Aval Pila 1 2690 32	Mit PRC	0.1	575846 / 180286
PDMS Aval Pila 2 2690 21	Ohne PRC	0.2	575782 / 180394
PDMS Aval Pila 2 2690 22	Mit PRC	0.2	575782 / 180394
PDMS Amont Passerelle 2690 11	Ohne PRC	0.05 / 0.1	575985 / 180800
PDMS Amont Passerelle 2690 12	Mit PRC	0.05 / 0.1	575985 / 180800

<sup>a</sup>Die Fließgeschwindigkeiten in der Tabelle 1 wurden bei Niedrigwasser gemessen und entsprechen nicht den während der Expositionszeit vorliegenden Bedingungen. Eine Messung der Fließgeschwindigkeit bei Hochwasser ist nicht möglich.

## 2 Prüfung

### 2.1 Prüfverfahren für PCB in PDMS Passivsammlern ohne PRC

Die PDMS Passivsammler wurden nach Zugabe einer Mischung von 18  $^{13}\text{C}_{12}$  isotopenmarkierten PCB (Cambridge Isotope Laboratories) mit Methanol während 16 Stunden heiss extrahiert (Soxhletextraktion). Anschliessend wurde das Lösemittel am Rotationsverdampfer bei 50°C und 330 mbar bis auf ca. 0.5 ml eingedunstet.

Die praktisch farblosen bis leicht grünen Extrakte wurde quantitativ, durch mehrmaliges Nachspülen mit 1 bis 2 ml n-Hexan, in ein 10 ml Savirel Zentrifugenglas überführt.

Nach vorsichtiger Zugabe von 1 – 2 mL konz. Schwefelsäure wurde der Extrakt auf einem Vortexmixer kräftig geschüttelt und dreimal mit n-Hexan extrahiert. Zur besseren Phasentrennung wurde die Suspension für einige Minuten bei 5'000 rpm zentrifugiert.

Die klare überstehende n-Hexanphase wurde vorsichtig in einen 10 ml Spitzkolben abpipettiert und das Volumen am Rotationsverdampfer bei 50°C und 300 mbar bis auf ca. 0.5 ml reduziert.

Der vorgereinigte n-Hexanextrakt wurde chromatographisch an 0.8 g aktiviertem Kieselgel gereinigt (Mini Kieselgelsäule). Die Elution erfolgte mit 10 ml n-Hexan.

Das Lösemittel wurde am Rotationsverdampfer bei 50°C und 300 mbar bis auf ca. 0.5 ml eingedunstet.

Nach quantitativem Transfer in 0.5 ml Mini Vials wurde unter Stickstoffgasung bei Raumtemperatur das Volumen bis auf ca. 30  $\mu\text{l}$  reduziert.

Die messbereiten Probenextrakte wurden mit dem Recoverystandard ( $^{13}\text{C}_{12}$  PCB 70) zur Bestimmung der Wiederfindungsrate versetzt.

Die quantitative Analyse der polychlorierten Biphenyle wurde mittels Gaschromatographie/Massenspektrometrie durchgeführt (HRGC/HRMS). Die Quantifizierung erfolgte durch Vergleich mit den isotopenmarkierten Standards (Isotopenverdünnungsanalyse).

### 2.2 Prüfverfahren für PCB in PDMS Passivsammlern mit PRC (keine Säure)

**Um einen Abbau von  $^{13}\text{C}_{12}$  Mono- und Dichlorbiphenylen, welche als PRC eingesetzt wurden, durch die konzentrierte Schwefelsäure zu vermeiden, wurde auf deren Einsatz verzichtet.**

Die PDMS Passivsammler wurden nach Zugabe einer Mischung von 18  $^{13}\text{C}_{12}$  isotopenmarkierten PCB (Cambridge Isotope Laboratories) mit Methanol während 16 Stunden heiss extrahiert (Soxhletextraktion). Anschliessend wurde das Lösemittel am Rotationsverdampfer bei 50°C und 330 mbar bis auf ca. 0.5 ml eingedunstet.

Die praktisch farblosen bis leicht grünen Extrakte wurde quantitativ, durch mehrmaliges Nachspülen mit 1 bis 2 ml n-Hexan, in ein 10 ml Savirel Zentrifugenglas überführt.

Nach Verdünnung mit Reinstwasser im Verhältnis 1:1 wurde auf einem Vortexmixer kräftig geschüttelt und dreimal mit n-Hexan extrahiert. Zur besseren Phasentrennung wurde die Suspension für einige Minuten bei 5'000 rpm zentrifugiert.

Die klare Überstehende n-Hexanphase wurde vorsichtig in einen 10 ml Spitzkolben abpipettiert und das Volumen am Rotationsverdampfer bei 50°C und 300 mbar bis auf ca. 0,5 ml reduziert.

Der vorgereinigte n-Hexanextrakt wurde chromatographisch an 0,8 g aktiviertem Kieselgel gereinigt (Mini-Kieselgelsäule). Die Elution erfolgte mit 10 ml n-Hexan.

Das Lösemittel wurde am Rotationsverdampfer bei 50°C und 300 mbar bis auf ca. 0,5 ml eingedunstet.

Nach quantitativem Transfer in 0,5 ml Mini Vials wurde unter Stickstoffbegabung bei Raumtemperatur das Volumen bis auf ca. 30 µl reduziert.

Die analysierten Probenextrakte wurden mit dem Recoverystandard ( $^{13}\text{C}_{12}$  PCB 70) zur Bestimmung der Wiederfindungsrate versetzt.

Die quantitative Analyse der polychlorierten Biphenyle wurde mittels Gaschromatographie/Massenspektrometrie durchgeführt (HRGC/HRMS). Die Quantifizierung erfolgte durch Vergleich mit den isotope-markierten Standards (Isotopenverdünnungsanalyse).

### 2.3 Referenzmaterialien

Kalibrationsstandard:	Mischung der PCB 77, 81, 105, 114, 118, 123, 126, 156, 157, 167, 169, 189 (C-WHO 01, Accu Standards Inc.) Mischung der PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180 (AF 00059, Accu Standards Inc.)
Wiederfindungsstandard:	$^{13}\text{C}_{12}$ PCB 70 (IC 4914, Cambridge Isotope Laboratories)
Interner Standard:	Mischung der $^{13}\text{C}_{12}$ isotope-markierten PCB 77, 81, 105, 114, 118, 123, 126, 156, 157, 167, 169, 189 (IC 4937, Cambridge Isotope Laboratories) Mischung der $^{13}\text{C}_{12}$ isotope-markierten PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180 (IC 4058, Cambridge Isotope Laboratories)
Verwendete PRC:	Mischung der $^{13}\text{C}_{12}$ isotope-markierten PCB 9, 37, 79, 111, 162, 194, 206, (PCB 155 H, Wellington Laboratories) $^{13}\text{C}_{12}$ isotope-markiertes PCB 2 (MBP 1, Wellington Laboratories) $^{13}\text{C}_{12}$ isotope-markiertes PCB 4 (MBP 3, Wellington Laboratories)

### 2.4 Prüfmittel

Gaschromatographie:	Thermo Finnigan Trace GC Ultra mit Thermo Scientific TriPlus Autosampler
Kapillarsäule:	30m x 0,22 mm, 50/1 FF8, Filmdicke 0,25 µm
Massenspektrometer:	doppelokussierendes Massenspektrometer Finnigan MAT 95, ausgerüstet mit Systemsteuerungs- und Applikationssoftware Xcalibur 1.4

## 2.5 Prüfbedingungen

Trägergas:	Helium, 100 kPa
Injektion:	3 µl splitlos
Temperaturprogramm:	100 °C (1 min), 20 °C min <sup>-1</sup> bis 180 °C, 4 °C min <sup>-1</sup> bis 300 °C
Quellentemperatur:	220 °C
Ionisierung:	Elektronenstoss (EI), Detektion der positiven Ionen
Elektronenenergie:	70 eV
Massenauflösung:	m/Am 8'000 (10 % Tol)
Einzelionendetektion:	Es wurden jeweils die m/z Werte der beiden häufigsten Isotopenkombinationen der nativen und <sup>13</sup> C <sub>12</sub> markierten PCB im Molekülionencluster registriert (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Detektierte m/z Werte der nativen und <sup>13</sup>C<sub>12</sub> markierten PCB

PCB	native		<sup>13</sup> C <sub>12</sub> labeled	
	m/z	m/z	m/z	m/z
MoCB	188.0387	190.0358	200.0790	202.0760
DiCB	221.0998	223.0968	234.0400	236.0371
TriCB	255.0613	257.0583	268.0021	269.9991
TetraCB	289.0223	291.0148	301.9626	303.9597
PentaCB	325.8805	327.8776	337.9207	339.9178
HexaCB	359.8415	361.8386	371.8817	373.8789
HeptaCB	399.8025	399.7996	405.8428	407.8398

### 3 Resultate

#### 3.1 Resultate zu den Passivsammlern exponiert in der Saane (November 2016)

Tabelle 3: Konzentrationen der dl-PCB und Indikator PCB in den PDMS Passivsammlern, exponiert im Gewässer zwischen dem 12. und dem 26. November 2016. Die Konzentrationen sind in ng/kg PDMS angegeben.

<b>ng/kg PDMS</b>	Blindwert	Amont Pila	Amont Pila avec PRC	Pila	Pila avec PRC	Aval Pila 1	Aval Pila 1 avec PRC
		2690-51	2690-52	2690-41	2690-42	2690-31	2690-32
Dioxin-Like PCB	38216	38916	40216	38816	40116	38716	40016
77	1.4	3.8	4.3	5.5	8.1	4.0	6.9
81	0.15	0.92	1.0	1.2	1.6	1.2	1.6
105	2.9	6.7	6.4	22	25	14	15
114	0.25	0.40	0.51	1.3	1.3	0.74	0.93
118	9.4	23	20	62	71	43	46
123	0.18	0.68	0.64	2.7	2.1	1.1	1.6
126	0.056	0.23	0.21	0.22	0.32	0.20	0.31
156	1.2	2.3	2.6	3.8	4.6	3.6	4.1
157	0.25	0.55	0.56	0.88	1.2	0.76	0.9
167	0.54	1.3	1.3	1.8	2.2	1.8	1.9
169	0.035	0.041	0.030	0.030	0.040	0.036	0.025
189	0.14	0.14	0.16	0.18	0.23	0.20	0.26
Indikator PCB							
28	8.0	21	20	52	57	40	40
52	19	58	52	199	218	122	129
101	22	73	62	137	154	110	123
138	13	34	34	50	60	50	53
153	14	39	37	51	61	53	57
180	5.7	8.5	11	9	14	11	12
<b>Summe i-PCB</b>	<b>82</b>	<b>233</b>	<b>214</b>	<b>497</b>	<b>564</b>	<b>386</b>	<b>414</b>
Gesamt PCB (Summe x 5)	408	1164	1071	2486	2820	1930	2072
Korrekturfaktor PRC normiert gegenüber Aval Pila 1:	1.0	1.98	1.98	1.10	1.10	1.00	1.00
Summe i-PCB korrigiert via PRC:	82	461	424	546	619	386	414

Tabelle 4: Konzentrationen der dl-PCB und Indikator PCB in den PDMS Passivsammlern, exponiert im Gewässer zwischen dem 12. und dem 26. November 2016. Die Konzentrationen sind in ng/kg PDMS angegeben.

<b>ng/kg PDMS</b>	Aval Pila 2	Aval Pila 2 avec PRC	Amont Passerelle	Amont Passerelle avec PRC
	2690-21	2690-22	2690-11	2690-12
Dioxin-Like PCB	38616	39916	38516	39816
77	7.9	10	7.4	10
81	1.7	2.2	1.0	2.6
105	21	27	23	26
114	1.2	1.4	1.3	1.5
118	59	77	66	76
123	1.7	1.8	1.9	1.6
126	0.31	0.35	0.33	0.39
156	4.4	6.1	4.2	5.0
157	0.8	1.5	1.0	1.2
167	2.2	2.7	2.1	2.4
169	0.05	0.031	0.13	0.025
189	0.20	0.28	0.20	0.28
Indikator PCB				
28	49	76	52	64
52	181	203	219	240
101	144	176	158	174
138	60	74	58	67
153	61	73	60	68
180	16	16	13	15
<b>Summe i-PCB</b>	<b>510</b>	<b>618</b>	<b>559</b>	<b>628</b>
Gesamt PCB (Summe x 5)	2552	3089	2795	3142
Korrekturfaktor PRC normiert gegenüber Aval Pila 1:	1.07	1.07	1.02	1.02
<b>Summe i-PCB korrigiert via PRC:</b>	<b>547</b>	<b>663</b>	<b>570</b>	<b>641</b>

Tabelle 5: dl-PCB WHO-TEQ<sub>2005</sub> in den PDMS Passivsammlern, exponiert im Gewässer zwischen dem 12. und dem 26. November 2016. Die Konzentrationen sind in ng/kg PDMS angegeben.

ng/kg PDMS	Blindwert	Amont Pila				Aval Pila 1	
		Amont Pila	avec PRC	Pila	Pila avec PRC	Aval Pila 1	avec PRC
		2690-51	2690-52	2690-41	2690-42	2690-31	2690-32
Dioxin-Like PCB	38216	38916	40216	38816	40116	38716	40016
77	0.00014	0.00038	0.00043	0.00055	0.00081	0.00040	0.00069
81	0.000045	0.00028	0.00030	0.00035	0.00047	0.000350	0.00048
105	0.000086	0.000200	0.00019	0.00065	0.00075	0.00042	0.00045
114	0.0000076	0.000012	0.000015	0.000038	0.000040	0.000022	0.000028
118	0.00028	0.00068	0.00061	0.0018	0.0021	0.0013	0.0014
123	0.0000055	0.0000203	0.000019	0.0000818	0.000062	0.000033	0.000049
126	0.0056	0.0225	0.021	0.0223	0.032	0.020	0.031
156	0.000036	0.000069	0.000077	0.000113	0.00014	0.00011	0.00012
157	0.0000076	0.000017	0.000017	0.0000264	0.000036	0.000023	0.000027
167	0.000016	0.000038	0.000039	0.000053	0.000067	0.000054	0.000057
169	0.0010	0.0012	0.00090	0.0009	0.0012	0.0011	0.00075
189	0.0000041	0.0000041	0.0000049	0.0000055	0.0000069	0.0000060	0.0000078
<b>Summe WHO-TEQ<sub>2005</sub></b>	<b>0.0073</b>	<b>0.025</b>	<b>0.024</b>	<b>0.027</b>	<b>0.038</b>	<b>0.023</b>	<b>0.035</b>
<b>Summe WHO-TEQ<sub>2005</sub> korrigiert via PRC:</b>	<b>0.0073</b>	<b>0.050</b>	<b>0.047</b>	<b>0.030</b>	<b>0.042</b>	<b>0.023</b>	<b>0.035</b>

Tabelle 6: dl-PCB WHO-TEQ<sub>2005</sub> in den PDMS Passivsammlern, exponiert im Gewässer zwischen dem 12. und dem 26. November 2016. Die Konzentrationen sind in ng/kg PDMS angegeben.

<b>ng/kg PDMS</b>	Aval Pila 2	Aval Pila 2 avec PRC	Amont Passerelle	Amont Passerelle avec PRC
	2690-21	2690-22	2690-11	2690-12
Dioxin-Like PCB	38616	39916	38516	39816
77	0.00079	0.00097	0.00074	0.00096
81	0.00051	0.00061	0.00030	0.00078
105	0.00063	0.00080	0.00068	0.00078
114	0.0000360	0.000043	0.000038	0.000045
118	0.0018	0.0023	0.0020	0.00230
123	0.000052	0.000055	0.000057	0.000049
126	0.031	0.035	0.033	0.039
156	0.00013	0.00018	0.00013	0.00015
157	0.000024	0.000045	0.000031	0.000036
167	0.000067	0.000082	0.000063	0.000073
169	0.0014	0.00094	0.0039	0.00075
189	0.0000061	0.0000083	0.0000061	0.0000083
<b>Summe WHO-TEQ<sub>2005</sub></b>	<b>0.036</b>	<b>0.041</b>	<b>0.041</b>	<b>0.045</b>
<b>Summe WHO-TEQ<sub>2005</sub> korrigiert via PRC:</b>	<b>0.039</b>	<b>0.044</b>	<b>0.041</b>	<b>0.046</b>

## 4 Probenahmestandorte und Grafische Darstellung der Resultate

### 4.1 Probenahmestandorte in der Saane im Bereich La Pila

In der Abbildung 1 sind die Probenahmestandorte der PDMS Passivsammler, welche im November 2016 in der Saane exponiert wurden, eingezeichnet (inklusive der nicht beprobten Standorte unterhalb der Passerelle).

Abbildung 1: Probenahmestandorte im Bereich der Deponie La Pila.

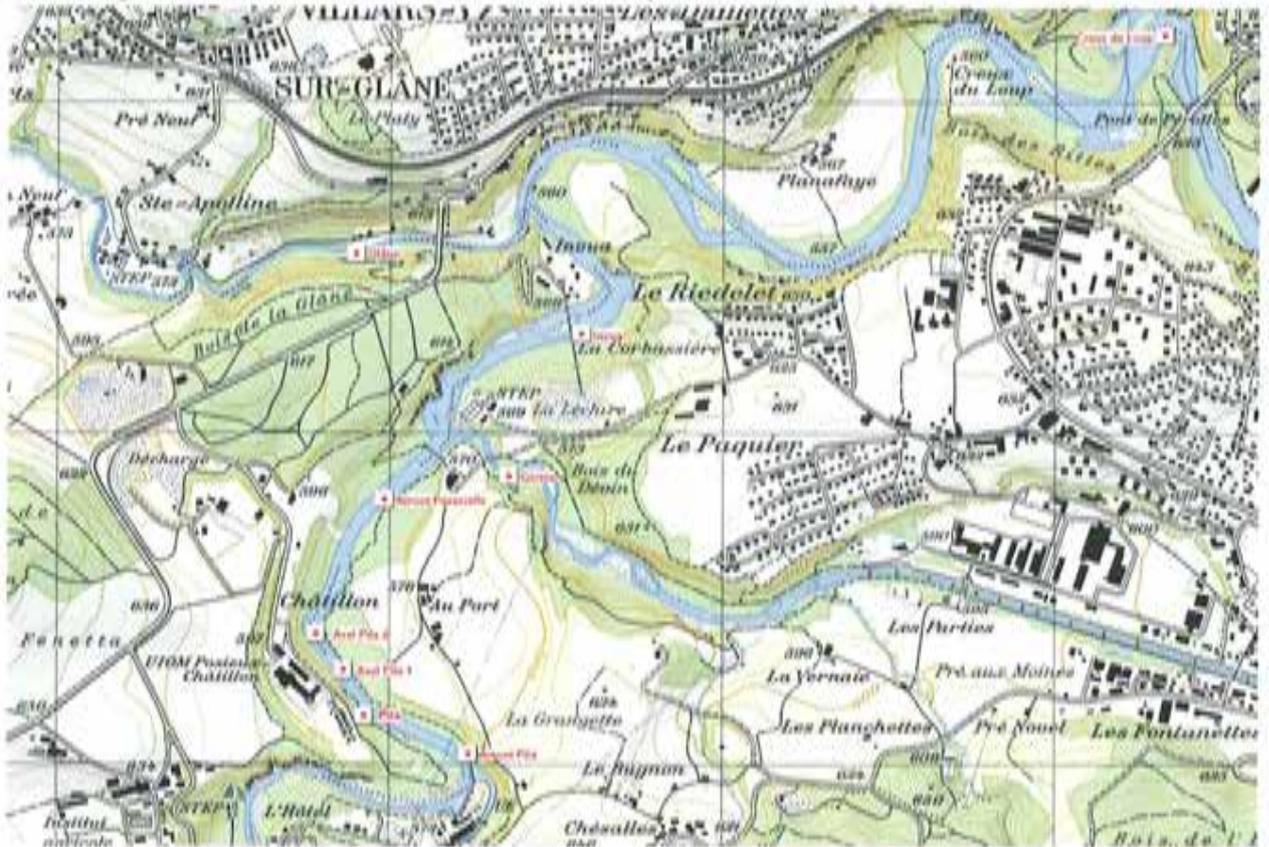
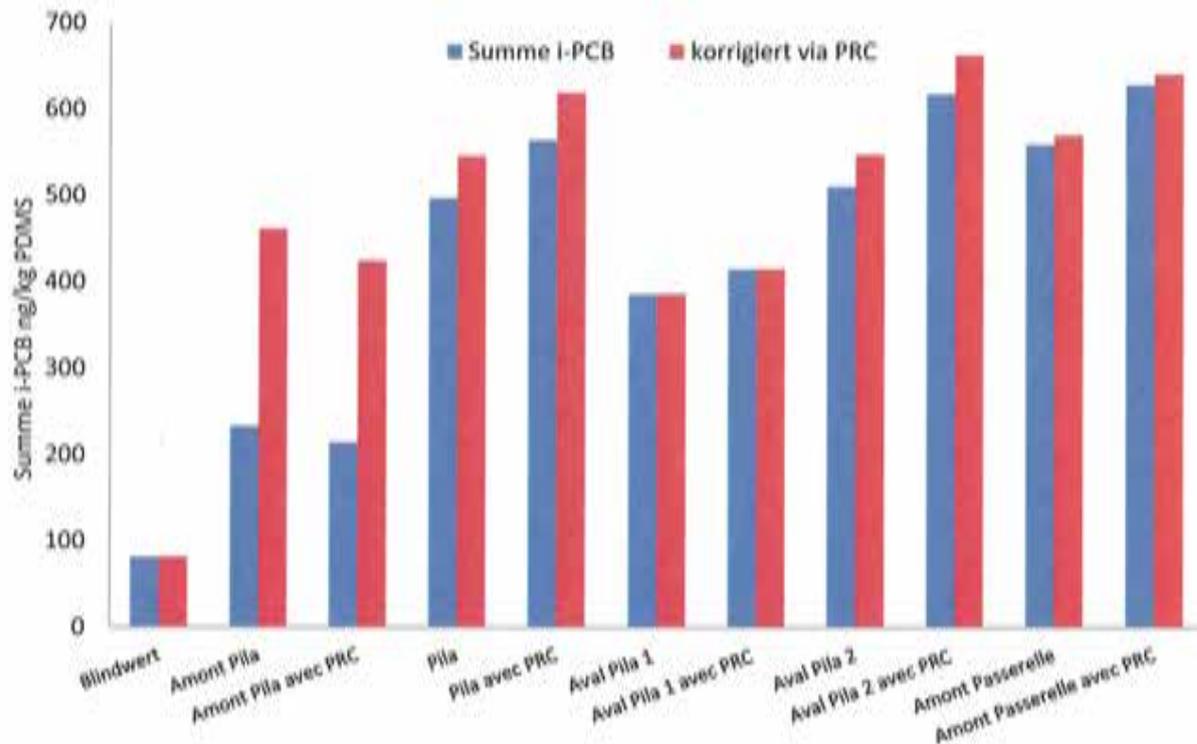


Abbildung 2: Summe der i-PCB in den PDMS Passivsammlern, exponiert in der Saane im November 2016 in ng/kg PDMS (blaue Balken = nicht korrigiert; rote Balken = korrigiert via PRC).



#### Kommentar zu Abbildung 2:

Der Summenwert der Indikator-PCB liegt bei **Amont Pila** bei **230 bzw. 210 ng/kg PDMS**. Nach Korrektur via PRC liegen die Konzentrationen bei **460 bzw. 420 ng/kg PDMS**. **Zwischen Pila und der Passerelle** sind nicht korrigierte Konzentrationen zwischen **390 und 630 ng/kg** anzutreffen mit einem Durchschnitt von rund **520 ng/kg PDMS**. Werden die PCB Konzentrationen via die PRC korrigiert so liegen diese zwischen **390 und 660 ng/kg**. Der Mittelwert nach Korrektur über die PRC liegt in diesem Abschnitt der Saane bei ca. **550 ng/kg PDMS** und somit nur sehr gering über dem **nicht korrigierten Mittelwert von 520 ng/kg**. Geht man von einer Sammelrate des Passivsammlers von ca. 12 Liter Wasseräquivalent pro Tag aus, dann dürfte die Wasserkonzentration in der Saane (Summe der 6 i-PCB) bei **tiefen 0.13 ng/L** liegen und somit **weit unterhalb von 0.6 ng/L** welche von der internationalen Kommission des Schutzes des Rheins (IKSR) als PCB Zielwert gefordert werden. Auch wenn die Sammelrate, wegen etwas tieferen Wassertemperaturen im November, nur bei 6 L/Tag liegen würde, wäre die PCB Wasserkonzentration mit 0.26 ng/L immer noch unproblematisch.

## 5 Allgemeine Angaben

### 5.1 Verwendete Abkürzungen

PCB	Polychlorierte Biphenyle
PRC	Performance Reference Compounds
dl-PCB	Dioxin-like PCB (dioxinähnliche PCB)
PDMS	Polydimethylsiloxan (Silikon gummi)
MoCB	Monochlorbiphenyl
DiCB	Dichlorbiphenyl
TriCB	Trichlorbiphenyl
TetraCB	Tetrachlorbiphenyl
PentaCB	Pentachlorbiphenyl
HexaCB	Hexachlorbiphenyl
HeptaCB	Heptachlorbiphenyl
WHO-TCF	WHO 2,3,7,8-TCDD Toxizitätsäquivalenzfaktor
WHO-TEQ	WHO 2,3,7,8-TCDD Toxizitätsäquivalent
ng	Nanogramm (1 ng = $1 \times 10^{-9}$ g = 0.000'000'001 g)

### 5.2 Toxizitätsäquivalente

Die in den Tabellen 3 und 4 aufgeführten Einzelkongomere sind die toxikologisch bedeutsamen Vertreter der PCB (dl-PCB). Der TEQ-Wert einer Probe (Tabellen 5 bis 6) errechnet sich, indem die jeweilige dl-PCB-Kongomerenkonzentration mit dem dazugehörigen WHO-Toxizitätsäquivalenzfaktor (WHO-TEF, Tabelle 11 oder 12) multipliziert und die so erhaltenen Produkte addiert werden.

Tabulle 7: WHO Toxizitätsäquivalenzfaktoren für PCB (WHO-TEF, 1998)

Nonortho-PCB	WHO-TEF	Monoortho-PCB	WHO-TEF
77	0.0001	105	0.0001
81	0.0001	114	0.0005
126	0.1	118	0.0001
169	0.01	123	0.0001
		156	0.0005
		157	0.0005
		167	0.00001
		189	0.0001

Tabulle 8: WHO Toxizitätsäquivalenzfaktoren für PCB (WHO-TEF, 2005)

Nonortho-PCB	WHO-TEF	Monoortho-PCB	WHO-TEF
77	0.0001	105	0.00003
81	0.0003	114	0.00003
126	0.1	118	0.00003
169	0.03	123	0.00003
		156	0.00003
		157	0.00003
		167	0.00003
		189	0.00003

### 5.3 Qualitätssicherung und Messunsicherheit

Alle Untersuchungen wurden nach den Grundsätzen der Qualitätssicherung (ISO/IEC 17025) durchgeführt. Nach unseren Erfahrungen beträgt die Messunsicherheit für die Bestimmung der PCB ca. 20 % (Probenahme nicht einbezogen).

**Annexe 2.3.3.1 - 2**

**Conversion des unités ng kg<sup>-1</sup> PDMS en ng L<sup>-1</sup>**

## Conversion des unités ng/kg PDMS (mesures EMPA) en unités ng/L

NOVEMBRE 2015												
Echantillon	6 i-PCB ng/kg PDMS	Facteur correction	Expositio n (sem)	6 i-PCB x 4.3 ng/PDMS jour ng/kg PDMS jour	6 i-PCB x 4.3 ng/L, différents taux de collecte 8L/jour ng/L	12L/jour ng/L	16L/jour ng/L	18L/jour ng/L				
Amont Pila	134	1.0	2	41	0.21	0.14	0.10	0.09				
2690-52	616	1.0	4	95	0.47	0.32	0.24	0.21				
Pila	640	1.0	2	197	0.98	0.66	0.49	0.44				
2690-42	1'087	1.0	4	167	0.83	0.56	0.42	0.37				
Aval Pila 1	475	1.0	2	146	0.73	0.49	0.36	0.32				
2690-32	757	1.0	4	116	0.58	0.39	0.29	0.26				
Aval Pila 2	687	1.0	2	211	1.06	0.70	0.53	0.47				
2690-22	1'235	1.0	4	190	0.95	0.63	0.47	0.42				
Amont passerelle	873	1.0	2	268	1.34	0.89	0.67	0.60				
2690-12	1'187	1.0	4	182	0.91	0.61	0.46	0.41				
Gérine	148	1.3	2	59	0.29	0.20	0.15	0.13				
2690-62*	-	-	-	-	-	-	-	-				
Invua	873	1.0	2	268	1.34	0.89	0.67	0.60				
2690-72	1'558	1.0	4	239	1.20	0.80	0.60	0.53				
Glâne	2'252	1.6	2	1088	5.44	3.63	2.72	2.42				
2690-82	2'990	1.6	4	722	3.61	2.41	1.81	1.60				
Creux du Loup	320	3.1	2	305	1.53	1.02	0.76	0.68				
2690-91	534	3.1	4	255	1.28	0.85	0.64	0.57				

MAI 2016												
Echantillon	6 i-PCB ng/kg PDMS	Facteur correction	Expositio n (sem)	6 i-PCB x 4.3 ng/PDMS jour	ng/kg PDMS jour	ng/40g PDMS jour	8L/jour ng/L	12L/jour ng/L	16L/jour ng/L	18L/jour ng/L	6 i-PCB x 4.3 ng/L, différents taux de collecte	
Amont Pila	2690-51	164	2.9	2	148	5.9	0.74	0.49	0.37	0.33		
	2690-52	261	2.9	2	234	9.4	1.17	0.78	0.59	0.52		
Pila	2690-41	628	1.9	2	374	15.0	1.87	1.25	0.94	0.83		
	2690-42	718	1.9	2	428	17.1	2.14	1.43	1.07	0.95		
Aval Pila 1	2690-31	541	1.0	2	166	6.6	0.83	0.55	0.42	0.37		
	2690-32	582	1.0	2	179	7.1	0.89	0.60	0.45	0.40		
Aval Pila 2	2690-21	550	1.1	2	178	7.1	0.89	0.59	0.44	0.39		
	2690-22	624	1.1	2	201	8.0	1.01	0.67	0.50	0.45		
Amont	2690-11	537	3.0	2	487	19.5	2.43	1.62	1.22	1.08		
passerelle	2690-12	624	3.0	2	566	22.6	2.83	1.89	1.41	1.26		
Gérine*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Invua*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Glâne	2690-81	3'264	1.8	2	1834	73.4	9.17	6.11	4.59	4.08		
	2690-82	2'283	1.8	2	1283	51.3	6.42	4.28	3.21	2.85		
Creux du	2690-91	300	4.5	2	416	16.6	2.08	1.39	1.04	0.92		
Loup	2690-92	392	4.5	2	543	21.7	2.71	1.81	1.36	1.21		
Lac de	2690-	508	4.1	2	638	25.5	3.19	2.13	1.60	1.42		
Pérolles	101.3											
	-101.2	461	6.0	2	844	33.8	4.22	2.81	2.11	1.88		
	-101.1	408	4.4	2	552	22.1	2.76	1.84	1.38	1.23		
	-102.3	558	4.1	2	700	28.0	3.50	2.33	1.75	1.56		
	-102.2	527	6.0	2	966	38.6	4.83	3.22	2.41	2.15		
	-102.1	646	4.4	2	874	34.9	4.37	2.91	2.18	1.94		
Aval	2690-111	543	3.3	2	550	22.0	2.75	1.83	1.38	1.22		
Maigrage	2690-112	563	3.3	2	570	22.8	2.85	1.90	1.43	1.27		

AOÛT 2016										
Echantillon	6 i-PCB ng/kg PDMS	Facteur correction	Expositio n (sem)	6 i-PCB x 4.3 ng/PDMS jour ng/kg PDMS jour	8L/jour ng/L	12L/jour ng/L	16L/jour ng/L	18L/jour ng/L	6 i-PCB x 4.3 ng/L, différents taux de collecte	
Mont Pila	2690-51	349	2.8	2	300	12.0	1.50	1.00	0.75	0.67
	2690-52	224	2.8	2	193	7.7	0.96	0.64	0.48	0.43
Pila	2690-41	978	1.0	2	300	12.0	1.50	1.00	0.75	0.67
	2690-42	765	1.0	2	235	9.4	1.17	0.78	0.59	0.52
Aval 1*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aval 2*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mont passerelle	2690-11	872	1.4	2	372	14.9	1.86	1.24	0.93	0.83
	2690-12	1'200	1.4	2	512	20.5	2.56	1.71	1.28	1.14
Gérine	2690-61	854	0.9	2	226	9.0	1.13	0.75	0.56	0.50
	2690-62	337	0.9	2	89	3.6	0.45	0.30	0.22	0.20
Invua	2690-71	1'232	1.0	2	378	15.1	1.89	1.26	0.95	0.84
	2690-72	1'321	1.0	2	406	16.2	2.03	1.35	1.01	0.90
Glâne	2690-81	2'739	2.0	2	1691	67.6	8.45	5.64	4.23	3.76
	2690-82	1'749	2.0	2	1080	43.2	5.40	3.60	2.70	2.40
Creux du Loup	2690-91	513	2.5**	2	394	15.8	1.97	1.31	0.98	0.88
	2690-92	529	2.5**	2	406	16.2	2.03	1.35	1.02	0.90
Lac de Pétolles	2690- 101.3	787	2.7	2	643	25.7	3.21	2.14	1.61	1.43
	-101.2	667	2.4	2	483	19.3	2.42	1.61	1.21	1.07
	-101.1	536	2.6	2	423	16.9	2.12	1.41	1.06	0.94
	-102.3	739	2.7	2	604	24.2	3.02	2.01	1.51	1.34
	-102.2	739	2.4	2	536	21.4	2.68	1.79	1.34	1.19
	-102.1	701	2.6	2	553	22.1	2.77	1.84	1.38	1.23
Aval	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Maigrage *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

NOVEMBRE 2016										
Echantillon	6 i-PCB ng/kg PDMS	Facteur correction	Expositio n (sem)	6 i-PCB x 4.3 ng/PDMS jour ng/kg PDMS jour	6 i-PCB x 4.3 ng/L, différents taux de collecte	8L/jour ng/L	12L/jour ng/L	16L/jour ng/L	18L/jour ng/L	
Amont Pila 2690-51	233	2.0	2	142	5.7	0.71	0.47	0.35	0.31	
2690-52	214	2.0	2	130	5.2	0.65	0.43	0.33	0.29	
Pila 2690-41	497	1.1	2	168	6.7	0.84	0.56	0.42	0.37	
2690-42	564	1.1	2	191	7.6	0.95	0.64	0.48	0.42	
Aval Pila 1 2690-31	386	1.0	2	119	4.7	0.59	0.40	0.30	0.26	
2690-32	414	1.0	2	127	5.1	0.64	0.42	0.32	0.28	
Aval Pila 2 2690-21	510	1.1	2	168	6.7	0.84	0.56	0.42	0.37	
2690-22	618	1.1	2	203	8.1	1.02	0.68	0.51	0.45	
Amont 2690-11	559	1.0	2	175	7.0	0.88	0.58	0.44	0.39	
passerelle 2690-12	628	1.0	2	197	7.9	0.98	0.66	0.49	0.44	

\* Pas de résultats, car les capteurs passifs posés n'ont pas été retrouvés / ont été retrouvés ailleurs que sur le site initial

\*\* 9.7 dans le rapport, mais ajusté à 2.5 (semblable à Pérolles)

\*\*\* Poids d'un capteur passif

Appréciation des valeurs mesurées pour la somme des i-PCB, répartition en classes de concentration

<1'000 ng/kg	1'000-10'000 ng/kg	>10'000 ng/kg
Faible	Moyen	Très élevé

## **Annexe 2.3.3.2**

### **Mesures EMPA de PCB dissous dans la Sarine durant la crue**

**PCB dissous, échantillons obtenus pendant la crue**  
**Mesures par laboratoires EMPA**

	<b>Echantillon</b>	<b>PCB dissous ng/L. 6 x 4.3</b>
Amont	14.09.2016 - 1	1.62
	14.09.2016 - 2	2.32
	14.09.2016 - 3	6.22
	15.09.2016	3.05
Passerelle	14.09.2016 - 1	3.27
	14.09.2016 - 2	2.40
	14.09.2016 - 3	1.33
	15.09.2016 - 1	4.03
	15.09.2016 - 2	5.14
Pérolles	14.09.2016 - 1	1.57
	14.09.2016 - 2	2.63
	15.09.2016 - 1	3.88
	15.09.2016 - 2	22.75



**Annexe 2.4.3 – 1**

**Résultats d'analyses Laboratoire de Berne et UFAG  
Grammares et poissons**

Kontrolle Nr. I2587

Bern, 23. Mai 2016

**Prüfbericht****Auftraggeber/in**

Name CSD Ingénieurs Conseils SA  
 Adresse Chantemerle 37  
 1701 Fribourg

**Allgemeines**

Prüfverfahren cPCB und PCB in Fisch  
 Eingang der Proben im KL Bern 12. Mai 2016

**Untersuchte Proben und Ergebnisse**

Nr.	Bezeichnung	externe Nr.	Untersuchungskriterien	Ergebnis	Einheit
92575	Fisch	16-50337	polychlorierte Biphenyle	209318	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	104988	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	12.7	pg/g (WHO05-TEQ)
92576	Fisch	16-50336	polychlorierte Biphenyle	180340	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	91257	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	7.4	pg/g (WHO05-TEQ)
92577	Fisch	16-50703	polychlorierte Biphenyle	20867	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	8720	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	1.1	pg/g (WHO05-TEQ)
92578	Fisch	16-50701	polychlorierte Biphenyle	99336	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	57179	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	4.3	pg/g (WHO05-TEQ)
92579	Fisch	16-50702	polychlorierte Biphenyle	399058	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	227087	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	18.5	pg/g (WHO05-TEQ)

Nr.	Bezeichnung	externe Nr.	Untersuchungskriterien	Ergebnis	Einheit
92580	Fisch	16-50710	polychlorierte Biphenyle	95390	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	51296	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	4.4	pg/g (WHO05-TEQ)
92581	Gammarus	M3 Amont Pila	polychlorierte Biphenyle	11588	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	5191	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	0.2	pg/g (WHO05-TEQ)
92582	Gammarus	M1 Aval Pila	polychlorierte Biphenyle	32105	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	16357	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	0.5	pg/g (WHO05-TEQ)
92583	Gammarus	M4 Passerelle	polychlorierte Biphenyle	31438	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	15530	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	1.5	pg/g (WHO05-TEQ)
92584	Gammarus	M5 Invua	polychlorierte Biphenyle	8945	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	3637	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	0.4	pg/g (WHO05-TEQ)
92585	Gammarus	M6 Pont Pérolles	polychlorierte Biphenyle	9131	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	3755	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	0.6	pg/g (WHO05-TEQ)

#### Bemerkungen

1. Nähere Angaben zu den Prüfverfahren sind auf Anfrage erhältlich.
2. Dieser Bericht wurde elektronisch erzeugt und ist ohne Unterschrift gültig.

Für den Bericht verantwortlich:

Dr. Susanne Olivier, Stv. Abteilungsvorsteherin  
Tel. 031 633 11 53  
susanne.olivier@gef.be.ch

**Kantonales Laboratorium Bern**

Gesundheits- und  
Fürsorgedirektion des  
Kantons Bern

EF S S	E 26 ADUT 2016	Ad 14
	Mdt:	visa CP:
	Distribution: MRD	

Muesmattstrasse 19  
3000 Bern 9  
Telefon 031 633 11 11  
Telefax 031 633 11 99  
info.kl@gef.be.ch  
www.be.ch/kl

CSD Ingénieurs Conseils SA  
Frau Marie Randlett  
Chantemerle 37  
Granges-Paccot CP 384  
1701 Fribourg

Kontrolle Nr. 15258  
Unser Zeichen Ree

Bern, 25. August 2016

**PCB in Fischen aus dem Kanton Freiburg**

Sehr geehrte Frau Randlett

In der Beilage erhalten Sie in Ergänzung zu der bereits versandten, detaillierten Excel-Tabelle den Prüfbericht I5258 zu den Proben vom Juli 2016.

Die Verrechnung der Proben erfolgt mit separater Post.



Freundliche Grüsse  
Kantonales Laboratorium

  
Dr. Daniel Kull  
Abteilungsvorsteher

Beilage(n):  
- im Text erwähnt

Kontrolle Nr. I5258

Bern, 25. August 2016

**Prüfbericht****Auftraggeber/in**

Name CSD Ingénieurs Conseils SA  
 Adresse Chantemerle 37  
 1701 Fribourg

**Allgemeines**

Prüfverfahren cPCB und PCB in Fisch  
 Eingang der Proben im KL Bern 21. Juli 2016

**Untersuchte Proben und Ergebnisse**

Nr.	Bezeichnung	externe Nr.	Untersuchungskriterien	Ergebnis	Einheit
92586	Gammarus	M3 Amont Pila	polychlorierte Biphenyle	6295	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	2970	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	0.1	pg/g (WHO05-TEQ)
92587	Gammarus	M1 Aval Pila	polychlorierte Biphenyle	37255	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	20768	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	2.2	pg/g (WHO05-TEQ)
92588	Gammarus	M4 Passerelle	polychlorierte Biphenyle	105510	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	59875	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	3.9	pg/g (WHO05-TEQ)
92589	Gammarus	M5 Invua	polychlorierte Biphenyle	22944	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	11392	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	1.1	pg/g (WHO05-TEQ)
92590	Gammarus	M6 Pont Pérolles	polychlorierte Biphenyle	15939	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	7656	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	0.9	pg/g (WHO05-TEQ)



Nr.	Bezeichnung	externe Nr.	Untersuchungskriterien	Ergebnis	Einheit
92591	Bachforelle	16-68402	polychlorierte Biphenyle	72696	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	34139	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	3.4	pg/g (WHO05-TEQ)
92592	Bachforelle	16-68411	polychlorierte Biphenyle	17329	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	8466	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	0.3	pg/g (WHO05-TEQ)
92593	Bachforelle	16-68412	polychlorierte Biphenyle	55506	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	26072	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	2.4	pg/g (WHO05-TEQ)
92594	Bachforelle	16-68413	polychlorierte Biphenyle	120936	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	64760	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	5.7	pg/g (WHO05-TEQ)
92595	Bachforelle	16-68414	polychlorierte Biphenyle	270286	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	139405	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	12.5	pg/g (WHO05-TEQ)
92596	Bachforelle	16-68415	polychlorierte Biphenyle	34575	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	17688	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	0.5	pg/g (WHO05-TEQ)
92597	Bachforelle	16-68416	polychlorierte Biphenyle	50044	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	23038	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	3.0	pg/g (WHO05-TEQ)
92598	Bachforelle	16-68417	polychlorierte Biphenyle	30294	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	14572	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	1.4	pg/g (WHO05-TEQ)
92599	Bachforelle	16-68418	polychlorierte Biphenyle	41407	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	20811	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	2.6	pg/g (WHO05-TEQ)
92600	Bachforelle	16-68419	polychlorierte Biphenyle	119749	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	67691	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	8.0	pg/g (WHO05-TEQ)

Nr.	Bezeichnung	externe Nr.	Untersuchungskriterien	Ergebnis	Einheit
92601	Bachforelle	16-68401	polychlorierte Biphenyle	633171	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	374654	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	35.5	pg/g (WHO05-TEQ)

#### Bemerkungen

1. Nähere Angaben zu den Prüfverfahren sind auf Anfrage erhältlich.
2. Dieser Bericht wurde elektronisch erzeugt und ist ohne Unterschrift gültig.

---

Für den Bericht verantwortlich: Dr. Daniel Kull, Abteilungsvorsteher  
 Tel. 031 633 11 81  
 daniel.kull@gef.be.ch

---

**Kantonales Laboratorium Bern**

Gesundheits- und  
Fürsorgedirektion des  
Kantons Bern

Muesmattstrasse 19  
3000 Bern 9  
Telefon 031 633 11 11  
Telefax 031 633 11 99  
info.kl@gef.be.ch  
www.be.ch/kl

E S S	E 17 OCT. 2016	Ad / LV
	Mdt:	visa CP:
	Distribution: MRO	

CSD Ingénieurs Conseils SA  
Frau Marie Randlett  
Chantemerle 37  
Granges-Paccot CP 384  
1701 Fribourg

Kontrolle Nr. I6121  
Unser Zeichen Ree

Bern, 14. Oktober 2016

**PCB in Fischen aus dem Kanton Freiburg**

Sehr geehrte Frau Randlett

In der Beilage erhalten Sie in Ergänzung zu der bereits versandten, detaillierten Excel-Tabelle den Prüfbericht I6121 zu den Proben der Erhebung von Ende August 2016.

Die Verrechnung der Proben erfolgt mit separater Post.



Freundliche Grüsse  
Kantonales Laboratorium

Dr. Daniel Kull  
Abteilungsvorsteher

Beilage(n):

- im Text erwähnt



Kontrolle Nr. I6121

Bern, 14. Oktober 2016

**Prüfbericht****Auftraggeber/in**

Name CSD Ingénieurs Conseils SA  
 Adresse Chantemerle 37  
 1701 Fribourg

**Allgemeines**

Prüfverfahren cPCB und PCB in Fisch  
 Eingang der Proben im KL Bern 26. August 2016

**Untersuchte Proben und Ergebnisse**

Nr.	Bezeichnung	externe Nr.	Untersuchungskriterien	Ergebnis	Einheit
104365	Sarine, Filet 1	16-75568	polychlorierte Biphenyle	85218	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	41756	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	6.5	pg/g (WHO05-TEQ)
104366	Sarine, Filet 5/11	16-75553	polychlorierte Biphenyle	113385	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	53835	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	10.2	pg/g (WHO05-TEQ)
104367	Sarine, Filet 3/14	16-75564	polychlorierte Biphenyle	97083	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	45210	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	6.9	pg/g (WHO05-TEQ)
104368	Sarine Filet 4/19	16-75552	polychlorierte Biphenyle	45097	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	20924	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	2.9	pg/g (WHO05-TEQ)
104369	Sarine, Filet 3/6	16-75562	polychlorierte Biphenyle	99209	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	48381	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	8.4	pg/g (WHO05-TEQ)



Nr.	Bezeichnung	externe Nr.	Untersuchungskriterien	Ergebnis	Einheit
104370	Sarine, Filet 4/17	16-75556	polychlorierte Biphenyle	25470	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	9081	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	1.1	pg/g (WHO05-TEQ)
104371	Sarine, Filet 3/16	16-75563	polychlorierte Biphenyle	162889	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	89848	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	10.6	pg/g (WHO05-TEQ)
104372	Sarine Filet 1/2	16-75601	polychlorierte Biphenyle	233730	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	104219	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	7.9	pg/g (WHO05-TEQ)
104373	Sarine Filet 2/5	16-75603	polychlorierte Biphenyle	212494	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	108640	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	7.8	pg/g (WHO05-TEQ)
104374	Sarine, Filet 4/20	16-75560	polychlorierte Biphenyle	204244	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	104583	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	8.4	pg/g (WHO05-TEQ)
104375	Sarine Filet 2/3	16-75590	polychlorierte Biphenyle	256958	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	129095	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	13.1	pg/g (WHO05-TEQ)
104376	Sarine, Filet 5/12	16-75566	polychlorierte Biphenyle	238274	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	115203	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	13.3	pg/g (WHO05-TEQ)
104377	Sarine, Filet 5/9	16-75554	polychlorierte Biphenyle	75275	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	39105	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	6.5	pg/g (WHO05-TEQ)
104378	Sarine Filet5/10	16-75602	polychlorierte Biphenyle	41935	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	19069	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	2.6	pg/g (WHO05-TEQ)
104379	Sarine Filet 4/18	16-75570	polychlorierte Biphenyle	102678	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	49211	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	6.3	pg/g (WHO05-TEQ)

Nr.	Bezeichnung	externe Nr.	Untersuchungskriterien	Ergebnis	Einheit
104380	Sarine, Filet 3/13	16-75555	polychlorierte Biphenyle	374342	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	177698	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	13.0	pg/g (WHO05-TEQ)
104381	Sarine Filet 3/15	16-75596	polychlorierte Biphenyle	120278	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	62605	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	7.0	pg/g (WHO05-TEQ)
104382	Sarine Filet 2/4	16-75600	polychlorierte Biphenyle	127746	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	64160	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	7.9	pg/g (WHO05-TEQ)
104383	Sarine 5/8	16-75567	polychlorierte Biphenyle	50923	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	23338	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	3.3	pg/g (WHO05-TEQ)
104384	Sarine Filet 5/7	16-75569	polychlorierte Biphenyle	65728	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	33243	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	3.8	pg/g (WHO05-TEQ)
104385	Sarine, tronçon 5	16-71392	polychlorierte Biphenyle	19324	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	8122	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	1.3	pg/g (WHO05-TEQ)
104386	Sarine, tronçon 5	16-71393	polychlorierte Biphenyle	58282	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	28462	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	4.8	pg/g (WHO05-TEQ)
104387	Sarine, tronçon 5	16-71395	polychlorierte Biphenyle	89815	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	41300	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	6.1	pg/g (WHO05-TEQ)
104388	Sarine, tronçon 6	16-71396	polychlorierte Biphenyle	50100	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	23737	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	2.2	pg/g (WHO05-TEQ)
104389	Sarine, tronçon 4	16-71397	polychlorierte Biphenyle	23571	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	10561	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	1.1	pg/g (WHO05-TEQ)

Nr.	Bezeichnung	externe Nr.	Untersuchungskriterien	Ergebnis	Einheit
104390	Sarine, tronçon 4	16-71398	polychlorierte Biphenyle	36563	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	16007	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	2.5	pg/g (WHO05-TEQ)
104391	Sarine, tronçon 6	16-71399	polychlorierte Biphenyle	35710	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	13959	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	3.6	pg/g (WHO05-TEQ)
104392	Sarine, tronçon 5	16-71401	polychlorierte Biphenyle	23784	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	11996	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	1.7	pg/g (WHO05-TEQ)
104393	Sarine, tronçon 5	16-71402	polychlorierte Biphenyle	54956	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	26063	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	2.8	pg/g (WHO05-TEQ)
104394	Sarine, tronçon 5	16-71403	polychlorierte Biphenyle	27070	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	12987	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	1.2	pg/g (WHO05-TEQ)
104395	Sarine, tronçon 5	16-71405	polychlorierte Biphenyle	72090	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	32976	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	5.5	pg/g (WHO05-TEQ)
104396	Sarine, tronçon 4	16-71406	polychlorierte Biphenyle	20607	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	8561	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	1.4	pg/g (WHO05-TEQ)
104397	Sarine, tronçon 3	16-71408	polychlorierte Biphenyle	64100	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	31245	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	4.3	pg/g (WHO05-TEQ)
104398	Sarine, tronçon 3	16-71409	polychlorierte Biphenyle	38628	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	16328	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	2.8	pg/g (WHO05-TEQ)
104399	Sarine, tronçon 3	16-71410	polychlorierte Biphenyle	29584	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	11386	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	1.6	pg/g (WHO05-TEQ)

Nr.	Bezeichnung	externe Nr.	Untersuchungskriterien	Ergebnis	Einheit
104400	Sarine, tronçon 5	16-71413	polychlorierte Biphenyle	54100	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	37768	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	7.2	pg/g (WHO05-TEQ)
104401	Sarine, tronçon 5	16-71417	polychlorierte Biphenyle	45762	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	22212	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	2.6	pg/g (WHO05-TEQ)
104402	Sarine, tronçon 7	16-71394	polychlorierte Biphenyle	250816	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	160475	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	12.3	pg/g (WHO05-TEQ)
104403	Sarine, tronçon 7	16-71400	polychlorierte Biphenyle	115929	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	58117	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	4.3	pg/g (WHO05-TEQ)
104404	Sarine, tronçon 7	16-71404	polychlorierte Biphenyle	96059	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	50085	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	4.6	pg/g (WHO05-TEQ)
104405	Sarine, tronçon 7	16-71407	polychlorierte Biphenyle	70976	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	27695	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	4.0	pg/g (WHO05-TEQ)
104406	Sarine, Tronçon 7	16-75536	polychlorierte Biphenyle	92760	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	51844	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	5.9	pg/g (WHO05-TEQ)
104407	Sarine, Tronçon 7	16-75537	polychlorierte Biphenyle	430216	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	240763	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	26.1	pg/g (WHO05-TEQ)
104408	Sarine Tronçon 7	16-75538	polychlorierte Biphenyle	46644	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	25248	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	3.0	pg/g (WHO05-TEQ)
104409	Sarine Tronçon 7	16-75539	polychlorierte Biphenyle	54787	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	30220	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	3.3	pg/g (WHO05-TEQ)

Nr.	Bezeichnung	externe Nr.	Untersuchungskriterien	Ergebnis	Einheit
104410	Sarine Tronçon 7	16-75540	polychlorierte Biphenyle	199310	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	99573	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	15.0	pg/g (WHO05-TEQ)
104411	Sarine, Tronçon 7	16-75551	polychlorierte Biphenyle	229773	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	128848	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	14.6	pg/g (WHO05-TEQ)
104412	Sarine, Tronçon 7	16-75541	polychlorierte Biphenyle	174989	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	104179	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	11.8	pg/g (WHO05-TEQ)
104413	Sarine, Tronçon 7	16-75542	polychlorierte Biphenyle	114257	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	60939	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	8.0	pg/g (WHO05-TEQ)
104414	Sarine Tronçon 7	16-75558	polychlorierte Biphenyle	39417	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	19094	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	2.7	pg/g (WHO05-TEQ)
104415	Sarine, Pila	16-75559	polychlorierte Biphenyle	320940	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	157277	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	18.2	pg/g (WHO05-TEQ)

### Bemerkungen

- Nähere Angaben zu den Prüfverfahren sind auf Anfrage erhältlich.
- Dieser Bericht wurde elektronisch erzeugt und ist ohne Unterschrift gültig.

Für den Bericht verantwortlich:

Dr. Daniel Kull, Abteilungsvorsteher  
Tel. 031 633 11 81  
daniel.kull@gef.be.ch

## Kantonales Laboratorium Bern

Gesundheits- und  
Fürsorgedirektion des  
Kantons Bern

Muesmattstrasse 19  
3000 Bern 9  
Telefon 031 633 11 11  
Telefax 031 633 11 99  
info.kl@gef.be.ch  
www.be.ch/kl

CSD-LE EF	14 NOV. 2016	APB-LE
		visa CP:
	Distribution: MRD	

CSD Ingénieurs Conseils SA  
Frau Marie Randlett  
Chantemerle 37  
Granges-Paccot CP 384  
1701 Fribourg

Kontrolle Nr. 18016  
Unser Zeichen Ree

Bern, 11. November 2016

### PCB in Gammarus aus dem Kanton Freiburg

Sehr geehrte Frau Randlett

In der Beilage erhalten Sie in Ergänzung zu der bereits versandten, detaillierten Excel-Tabelle den Prüfbericht 18016 zu den Proben der Erhebung von Ende Oktober 2016.

Die Verrechnung der Proben erfolgt mit separater Post.



Freundliche Grüsse  
Kantonales Laboratorium

Dr. Daniel Kull  
Abteilungsvorsteher

Beilage(n):

- im Text erwähnt



Kontrolle Nr. I8016

Bern, 11. November 2016

**Prüfbericht****Auftraggeber/in**

Name CSD Ingénieurs Conseils SA  
 Adresse Chantemerle 37  
 1701 Fribourg

**Allgemeines**

Prüfverfahren cPCB und PCB in Fisch  
 Datum der Probenerhebung 18. Oktober 2016  
 Eingang der Proben im KL Bern 26. Oktober 2016

**Untersuchte Proben und Ergebnisse**

Nr.	Bezeichnung	externe Nr.	Untersuchungskriterien	Ergebnis	Einheit
101208	Gammarus	2690-M1 aval Pila	polychlorierte Biphenyle	6710	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	3965	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	0.6	pg/g (WHO05-TEQ)
101209	Gammarus	2690-M3 amont Pila	polychlorierte Biphenyle	1271	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	469	pg/g
			dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (Summe cPCB)	0.0	pg/g (WHO05-TEQ)

**Bemerkungen**

- Nähere Angaben zu den Prüfverfahren sind auf Anfrage erhältlich.
- Dieser Bericht wurde elektronisch erzeugt und ist ohne Unterschrift gültig.

Für den Bericht verantwortlich:

Dr. Daniel Kull, Abteilungsvorsteher  
 Tel. 031 633 11 81  
 daniel.kull@gef.be.ch





CSD Ingenieurs SA  
Madame Marie-Ève Randlett  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
CH-1701 Fribourg

No-client: 69148

Facture:                            CSD Ingenieurs SA, Fribourg

## Rapport

Rapport No.: 16-24077

Page 1 de 36

Reçu le: 26.10.16    Terminé le: 10.11.16

### Sommaire

Pos.	Numéro d'éch.	Nom, Désignation	Votre référence
1	16-24077-001	16-50702	
2	16-24077-002	16-68419	
3	16-24077-003	16-68401	
4	16-24077-004	16-71394	
5	16-24077-005	16-71407	
6	16-24077-006	16-68412	
7	16-24077-007	16-68414	
8	16-24077-008	16-75540	
9	16-24077-009	16-71393	
10	16-24077-010	16-71395	
11	16-24077-011	16-71405	
12	16-24077-012	16-50337	
13	16-24077-013	16-50336	
14	16-24077-014	16-75568	
15	16-24077-015	16-75553	
16	16-24077-016	16-75564	
17	16-24077-017	16-75562	
18	16-24077-018	16-75556	
19	16-24077-019	16-75563	
20	16-24077-020	16-75601	
21	16-24077-021	16-75603	
22	16-24077-022	16-75560	
23	16-24077-023	16-75590	
24	16-24077-024	16-75566	
25	16-24077-025	16-75570	
26	16-24077-026	16-75555	
27	16-24077-027	16-75596	

Sursee, 10.11.2016

Votre interlocuteur (-trice):  
Susanne Falk  
Auftragsmanagement Lebensmittel

Digitally signed by UFAG Laboratorien AG  
Date: 2016.11.10 14:44:02 GMT+01:00  
Reason: signed by Susanne Falk  
Location: CH-6210 Sursee

Ce rapport a été généré par un système informatique des laboratoires validé.  
La libération a été effectuée par une signature électronique traçable.

Les résultats obtenus se réfèrent exclusivement aux échantillons examinés. Sur demande, le client peut obtenir des informations plus précises quant aux méthodes d'investigation utilisées (incl. l'insécurité de mesure). Les méthodes suivies du signe [\*] n'entrent pas dans le champ d'application de l'accréditation. Les méthodes suivies du signe [\*\*] sont sous-traitées dans un autre laboratoire. Ce rapport ne peut faire l'objet d'une reproduction partielle sans l'autorisation écrite des Laboratoires UFAG. Nos conditions générales en vigueur sont applicables





# Rapport

Rapport No.: 16-24077

Page 2 de 36

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 10.11.16

## Sommaire

Pos.	Numéro d'éch.	Nom, Désignation	Votre référence
28	16-24077-028	16-75600	
29	16-24077-029	Mischprobe - 1	
30	16-24077-030	Mischprobe - 2	
31	16-24077-031	Mischprobe - 3	
32	16-24077-032	Mischprobe - 4	
33	16-24077-033	Mischprobe - 5	
34	16-24077-034	Mischprobe - 6	





# Rapport

Rapport No.: 16-24077

Page 3 de 36

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 10.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 1  
 Numéro d'éch.: 16-24077-001  
 Nom: 16-50702  
 Poids: 100 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
<b>Nutritives</b>						
SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)						
Matières grasses	4.9	g/100g				



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24077

Page 4 de 36

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 10.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 2  
 Numéro d'éch.: 16-24077-002  
 Nom: 16-68419  
 Poids: 100 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
-----------	----------	-------	-------------	-------------	---------------	----------------------

## Nutritives

SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)

Matières grasses	1.7 g/100g					
------------------	------------	--	--	--	--	--



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24077

Page 5 de 36

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 10.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 3  
 Numéro d'éch.: 16-24077-003  
 Nom: 16-68401  
 Poids: 95 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
<b>Nutritives</b>						
SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)						
Matières grasses	2.4	g/100g				



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24077

Page 6 de 36

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 10.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 4  
 Numéro d'éch.: 16-24077-004  
 Nom: 16-71394  
 Poids: 40 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
<b>Nutritives</b>						
SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)						
Matières grasses	1.3	g/100g				



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24077

Page 7 de 36

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 10.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 5  
 Numéro d'éch.: 16-24077-005  
 Nom: 16-71407  
 Poids: 55 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
<b>Nutritives</b>						
SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)						
Matières grasses	2.3	g/100g				



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24077

Page 8 de 36

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 10.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 6  
 Numéro d'éch.: 16-24077-006  
 Nom: 16-68412  
 Poids: 95 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
-----------	----------	-------	-------------	-------------	---------------	-------------------------

## Nutritives

SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)

Matières grasses	0.7 g/100g					
------------------	------------	--	--	--	--	--



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24077

Page 9 de 36

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 10.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
Madame Marie-Ève Randlett  
CH-1701 Fribourg  
Position: 7  
Numéro d'éch.: 16-24077-007  
Nom: 16-68414  
Poids: 60 g  
Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
°C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
-----------	----------	-------	-------------	-------------	---------------	-------------------------

## Nutritives

SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)

Matières grasses	1.3 g/100g
------------------	------------



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24077

Page 10 de 36

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 10.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 8  
 Numéro d'éch.: 16-24077-008  
 Nom: 16-75540  
 Poids: 60 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
<b>Nutritives</b>						
SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)						
Matières grasses	1.8	g/100g				



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24077

Page 11 de 36

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 10.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 9  
 Numéro d'éch.: 16-24077-009  
 Nom: 16-71393  
 Poids: 40 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
-----------	----------	-------	-------------	-------------	---------------	-------------------------

## Nutritives

SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)

Matières grasses	1.6 g/100g					
------------------	------------	--	--	--	--	--



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24077

Page 12 de 36

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 10.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 10  
 Numéro d'éch.: 16-24077-010  
 Nom: 16-71395  
 Poids: 85 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
<b>Nutritives</b>						
SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)						
Matières grasses	1.0	g/100g				



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24077

Page 13 de 36

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 10.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 11  
 Numéro d'éch.: 16-24077-011  
 Nom: 16-71405  
 Poids: 80 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

LDT / LD

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	(LOQ / LOD)
-----------	----------	-------	-------------	-------------	---------------	-------------

## Nutritives

SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)

Matières grasses	1.5 g/100g					
------------------	------------	--	--	--	--	--



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24077

Page 14 de 36

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 10.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 12  
 Numéro d'éch.: 16-24077-012  
 Nom: 16-50337  
 Poids: 100 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
-----------	----------	-------	-------------	-------------	---------------	-------------------------

## Nutritives

SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)

Matières grasses	1.4 g/100g					
------------------	------------	--	--	--	--	--



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24077

Page 15 de 36

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 10.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
Madame Marie-Ève Randlett  
CH-1701 Fribourg  
Position: 13  
Numéro d'éch.: 16-24077-013  
Nom: 16-50336  
Poids: 100 g  
Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
°C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
-----------	----------	-------	-------------	-------------	---------------	-------------------------

## Nutritives

SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)

Matières grasses	0.6 g/100g
------------------	------------



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24077

Page 16 de 36

Reçu le: 26.10.16    Terminé le: 10.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 14  
 Numéro d'éch.: 16-24077-014  
 Nom: 16-75568  
 Poids: 105 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
<b>Nutritives</b>						
SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)						
Matières grasses	2.7	g/100g				



Légende:    nd = non détectable (inférieure à la LD)    LD = Limite de détection    UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT)    LDT = Limite de détermination    MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24077

Page 17 de 36

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 10.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 15  
 Numéro d'éch.: 16-24077-015  
 Nom: 16-75553  
 Poids: 70 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
<b>Nutritives</b>						
SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)						
Matières grasses	3.6	g/100g				



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24077

Page 18 de 36

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 10.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 16  
 Numéro d'éch.: 16-24077-016  
 Nom: 16-75564  
 Poids: 95 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
<b>Nutritives</b>						
SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)						
Matières grasses	2.6	g/100g				



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24077

Page 19 de 36

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 10.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 17  
 Numéro d'éch.: 16-24077-017  
 Nom: 16-75562  
 Poids: 85 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
<b>Nutritives</b>						
SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)						
Matières grasses	3.7	g/100g				



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24077

Page 20 de 36

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 10.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 18  
 Numéro d'éch.: 16-24077-018  
 Nom: 16-75556  
 Poids: 90 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
-----------	----------	-------	-------------	-------------	---------------	-------------------------

## Nutritives

SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)

Matières grasses	0.5 g/100g					
------------------	------------	--	--	--	--	--



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24077

Page 21 de 36

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 10.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 19  
 Numéro d'éch.: 16-24077-019  
 Nom: 16-75563  
 Poids: 100 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
<b>Nutritives</b>						
SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)						
Matières grasses	4.3	g/100g				



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24077

Page 22 de 36

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 10.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 20  
 Numéro d'éch.: 16-24077-020  
 Nom: 16-75601  
 Poids: 105 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
-----------	----------	-------	-------------	-------------	---------------	-------------------------

## Nutritives

SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)

Matières grasses	0.3 g/100g					
------------------	------------	--	--	--	--	--



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24077

Page 23 de 36

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 10.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 21  
 Numéro d'éch.: 16-24077-021  
 Nom: 16-75603  
 Poids: 90 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
<b>Nutritives</b>						
SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)						
Matières grasses	2.5	g/100g				



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24077

Page 24 de 36

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 10.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 22  
 Numéro d'éch.: 16-24077-022  
 Nom: 16-75560  
 Poids: 100 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
<b>Nutritives</b>						
SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)						
Matières grasses	0.9	g/100g				



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24077

Page 25 de 36

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 10.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 23  
 Numéro d'éch.: 16-24077-023  
 Nom: 16-75590  
 Poids: 100 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
<b>Nutritives</b>						
SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)						
Matières grasses	2.9	g/100g				



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24077

Page 26 de 36

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 10.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 24  
 Numéro d'éch.: 16-24077-024  
 Nom: 16-75566  
 Poids: 115 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
-----------	----------	-------	-------------	-------------	---------------	-------------------------

## Nutritives

SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)

Matières grasses	1.7 g/100g					
------------------	------------	--	--	--	--	--



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24077

Page 27 de 36

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 10.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 25  
 Numéro d'éch.: 16-24077-025  
 Nom: 16-75570  
 Poids: 100 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
-----------	----------	-------	-------------	-------------	---------------	-------------------------

## Nutritives

SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)

Matières grasses	4.6 g/100g					
------------------	------------	--	--	--	--	--



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24077

Page 28 de 36

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 10.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 26  
 Numéro d'éch.: 16-24077-026  
 Nom: 16-75555  
 Poids: 95 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
-----------	----------	-------	-------------	-------------	---------------	-------------------------

## Nutritives

SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)

Matières grasses	1.4 g/100g					
------------------	------------	--	--	--	--	--



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24077

Page 29 de 36

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 10.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
Madame Marie-Ève Randlett  
CH-1701 Fribourg  
Position: 27  
Numéro d'éch.: 16-24077-027  
Nom: 16-75596  
Poids: 90 g  
Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
°C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
-----------	----------	-------	-------------	-------------	---------------	-------------------------

## Nutritives

SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)

Matières grasses	0.7 g/100g
------------------	------------



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24077

Page 30 de 36

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 10.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 28  
 Numéro d'éch.: 16-24077-028  
 Nom: 16-75600  
 Poids: 85 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
-----------	----------	-------	-------------	-------------	---------------	-------------------------

## Nutritives

SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)

Matières grasses	0.7 g/100g					
------------------	------------	--	--	--	--	--



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24077

Page 31 de 36

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 10.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 29  
 Numéro d'éch.: 16-24077-029  
 Nom: Mischprobe - 1  
 Poids: 85 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
-----------	----------	-------	-------------	-------------	---------------	-------------------------

## Nutritives

SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)

Matières grasses	1.7 g/100g
------------------	------------

## Commentaires

### Groupes d'échantillons constitué par:

<u>Échantillon-ID</u>	<u>Poids pour analyse</u>
16-50701	6 g
16-50710	6 g
16-71400	6 g
16-71404	6 g
16-75536	6 g
16-75538	6 g
16-75539	6 g
16-75558	6 g

Poids total: 48 g



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24077

Page 32 de 36

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 10.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 30  
 Numéro d'éch.: 16-24077-030  
 Nom: Mischprobe - 2  
 Poids: 85 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
-----------	----------	-------	-------------	-------------	---------------	-------------------------

## Nutritives

SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)

Matières grasses	1.3 g/100g
------------------	------------

## Commentaires

### Groupes d'échantillons constitué par:

<u>Échantillon-ID</u>	<u>Poids pour analyse</u>
16-75559	9 g
16-75537	9 g
16-75551	9 g
16-75541	9 g
16-75542	6 g

Poids total: 45 g



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24077

Page 33 de 36

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 10.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
Madame Marie-Ève Randlett  
CH-1701 Fribourg  
Position: 31  
Numéro d'éch.: 16-24077-031  
Nom: Mischprobe - 3  
Poids: 85 g  
Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
°C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
-----------	----------	-------	-------------	-------------	---------------	-------------------------

## Nutritives

SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)

Matières grasses	1.5 g/100g
------------------	------------

## Commentaires

### Groupes d'échantillons constitué par:

<u>Échantillon-ID</u>	<u>Poids pour analyse</u>
16-50703	5 g
16-68411	5 g
16-68415	5 g
16-68417	5 g
16-71392	5 g
16-71396	5 g
16-71397	5 g
16-71403	5 g
16-71406	5 g

Poids total: 45 g



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24077

Page 34 de 36

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 10.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 32  
 Numéro d'éch.: 16-24077-032  
 Nom: Mischprobe - 4  
 Poids: 85 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
-----------	----------	-------	-------------	-------------	---------------	-------------------------

## Nutritives

SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)

Matières grasses	1.8 g/100g
------------------	------------

## Commentaires

### Groupes d'échantillons constitué par:

<u>Échantillon-ID</u>	<u>Poids pour analyse</u>
16-68402	5 g
16-68416	5 g
16-68418	5 g
16-71398	5 g
16-71401	5 g
16-71402	5 g
16-71409	5 g
16-71410	5 g
16-71417	5 g

Poids total: 45 g



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24077

Page 35 de 36

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 10.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 33  
 Numéro d'éch.: 16-24077-033  
 Nom: Mischprobe - 5  
 Poids: 85 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
-----------	----------	-------	-------------	-------------	---------------	-------------------------

## Nutritives

SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)

Matières grasses	1.4 g/100g
------------------	------------

## Commentaires

### Groupes d'échantillons constitué par:

<u>Échantillon-ID</u>	<u>Poids pour analyse</u>
16-68413	10 g
16-71399	10 g
16-71408	10 g
16-71413	10 g

Poids total: 40 g



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24077

Page 36 de 36

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 10.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 34  
 Numéro d'éch.: 16-24077-034  
 Nom: Mischprobe - 6  
 Poids: 85 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
-----------	----------	-------	-------------	-------------	---------------	-------------------------

## Nutritives

SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)

Matières grasses	1.0 g/100g
------------------	------------

## Commentaires

### Groupes d'échantillons constitué par:

<u>Échantillon-ID</u>	<u>Poids pour analyse</u>
16-75552	10 g
16-75554	10 g
16-75602	10 g
16-75567	10 g
16-75569	10 g

Poids total: 50 g



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



CSD Ingenieurs SA  
Madame Marie-Ève Randlett  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
CH-1701 Fribourg

No-client: 69148

Facture: CSD Ingenieurs SA, Fribourg

## Rapport

Rapport No.: 16-24189

Page 1 de 11

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 11.11.16

### Sommaire

Pos.	Numéro d'éch.	Nom, Désignation	Votre référence
1	16-24189-001	M3 Amont Pila	
2	16-24189-002	M3 Amont Pila	
3	16-24189-003	M1 Aval Pila	
4	16-24189-004	M1 Aval Pila	
5	16-24189-005	M4 Passerelle	
6	16-24189-006	M4 Passerelle	
7	16-24189-007	M5 Invua	
8	16-24189-008	M5 Invua	
9	16-24189-009	M6 Pont Pérolles	
10	16-24189-010	M6 Pont Pérolles	

Sursee, 11.11.2016

Votre interlocuteur (-trice):  
Susanne Falk  
Auftragsmanagement Lebensmittel

Digitally signed by UFAG Laboratorien AG  
Date: 2016.11.11 14:52:29 GMT+01:00  
Reason: signed by Susanne Falk  
Location: CH-6210 Sursee

Ce rapport a été généré par un système informatique des laboratoires validé.  
La libération a été effectuée par une signature électronique traçable.

Les résultats obtenus se réfèrent exclusivement aux échantillons examinés. Sur demande, le client peut obtenir des informations plus précises quant aux méthodes d'investigation utilisées (incl. l'insécurité de mesure). Les méthodes suivies du signe [\*] n'entrent pas dans le champ d'application de l'accréditation. Les méthodes suivies du signe [\*\*] sont sous-traitées dans un autre laboratoire. Ce rapport ne peut faire l'objet d'une reproduction partielle sans l'autorisation écrite des Laboratoires UFAG. Nos conditions générales en vigueur sont applicables





# Rapport

Rapport No.: 16-24189

Page 2 de 11

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 11.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 1  
 Numéro d'éch.: 16-24189-001  
 Nom: M3 Amont Pila  
 Poids: 150 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
-----------	----------	-------	-------------	-------------	---------------	----------------------

## Nutritives

SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)

Matières grasses	1.7 g/100g					
------------------	------------	--	--	--	--	--



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24189

Page 3 de 11

Reçu le: 26.10.16    Terminé le: 11.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 2  
 Numéro d'éch.: 16-24189-002  
 Nom: M3 Amont Pila  
 Poids: 150 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
<b>Nutritives</b>						
SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)						
Matières grasses	1.1	g/100g				



Légende:    nd = non détectable (inférieure à la LD)    LD = Limite de détection    UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT)    LDT = Limite de détermination    MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24189

Page 4 de 11

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 11.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
Madame Marie-Ève Randlett  
CH-1701 Fribourg  
Position: 3  
Numéro d'éch.: 16-24189-003  
Nom: M1 Aval Pila  
Poids: 150 g  
Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
°C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
-----------	----------	-------	-------------	-------------	---------------	-------------------------

## Nutritives

SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)

Matières grasses	2.0 g/100g
------------------	------------



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24189

Page 5 de 11

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 11.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 4  
 Numéro d'éch.: 16-24189-004  
 Nom: M1 Aval Pila  
 Poids: 150 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
<b>Nutritives</b>						
SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)						
Matières grasses	1.6	g/100g				



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24189

Page 6 de 11

Reçu le: 26.10.16    Terminé le: 11.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 5  
 Numéro d'éch.: 16-24189-005  
 Nom: M4 Passerelle  
 Poids: 150 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
<b>Nutritives</b>						
SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)						
Matières grasses	1.9	g/100g				



Légende:    nd = non détectable (inférieure à la LD)    LD = Limite de détection    UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT)    LDT = Limite de détermination    MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24189

Page 7 de 11

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 11.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 6  
 Numéro d'éch.: 16-24189-006  
 Nom: M4 Passerelle  
 Poids: 150 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
<b>Nutritives</b>						
SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)						
Matières grasses	1.7	g/100g				



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24189

Page 8 de 11

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 11.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 7  
 Numéro d'éch.: 16-24189-007  
 Nom: M5 Invua  
 Poids: 150 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
-----------	----------	-------	-------------	-------------	---------------	-------------------------

## Nutritives

SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)

Matières grasses	2.5 g/100g					
------------------	------------	--	--	--	--	--



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24189

Page 9 de 11

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 11.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 8  
 Numéro d'éch.: 16-24189-008  
 Nom: M5 Invua  
 Poids: 150 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
<b>Nutritives</b>						
SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)						
Matières grasses	2.2	g/100g				



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24189

Page 10 de 11

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 11.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 9  
 Numéro d'éch.: 16-24189-009  
 Nom: M6 Pont Pérolles  
 Poids: 150 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
<b>Nutritives</b>						
SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)						
Matières grasses	2.7	g/100g				



Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche



# Rapport

Rapport No.: 16-24189

Page 11 de 11

Reçu le: 26.10.16 Terminé le: 11.11.16

Client: CSD Ingenieurs SA, KdNr. 69148  
 Madame Marie-Ève Randlett  
 CH-1701 Fribourg  
 Position: 10  
 Numéro d'éch.: 16-24189-010  
 Nom: M6 Pont Pérolles  
 Poids: 150 g  
 Oberfl. Temp. bei Eing. in 1.0  
 °C:

Code - Méthode, technique de mesure

Paramètre	Résultat	Unité	Valeur réf.	Valeur tol.	Valeur limite	LDT / LD (LOQ / LOD)
<b>Nutritives</b>						
SLMNGRA004 - MSDA, gravimétrique (hydr. acide)						
Matières grasses	1.9	g/100g				

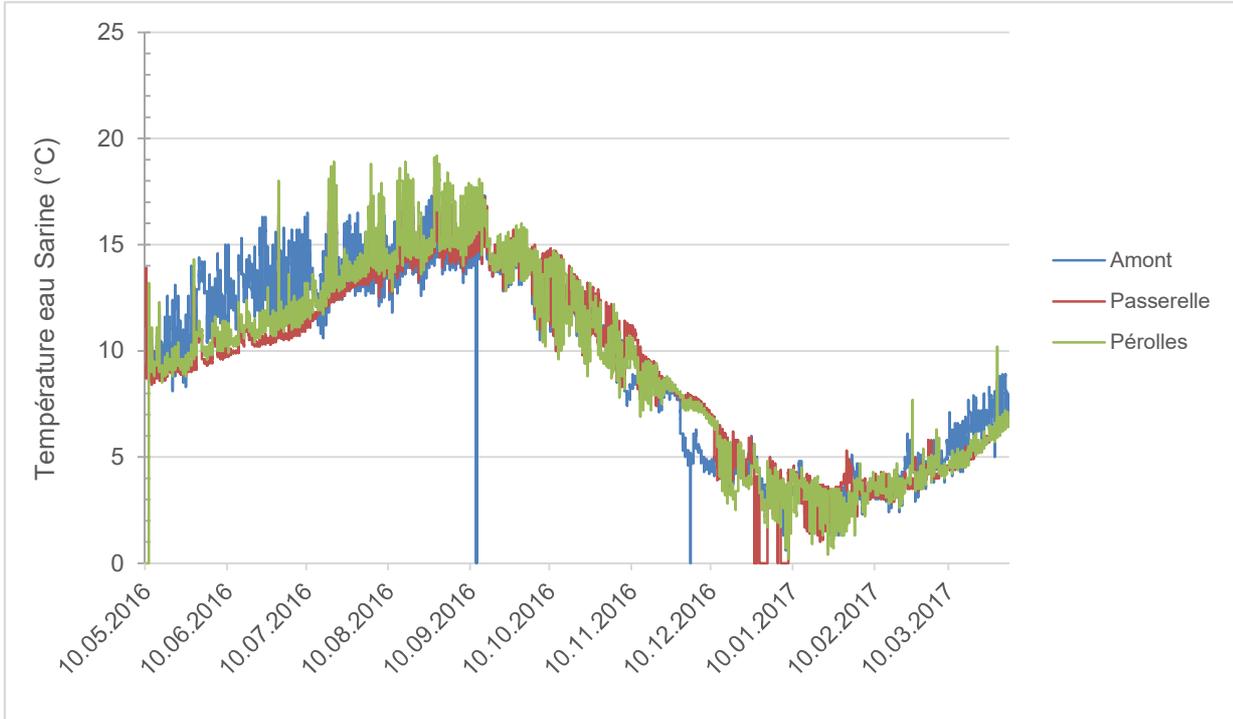


Légende: nd = non détectable (inférieure à la LD) LD = Limite de détection UFC = Unités formant colonie  
 ndt = non déterminable (inférieure à la LDT) LDT = Limite de détermination MS = Matière sèche

**Annexe 2.4.3 – 2**

**Température de la Sarine mesurée in situ**

**Température eau Sarine mesurée insitu (sonde), du 10.05.2016 au 01.04.2017**



**Température moyenne, 10 jours autour des dates d'échantillonnage de gammarets**

Mois	Date	Température moyenne ± écart type °C	
		Passerelle	Pérolles
Mai	10.-20.05.2016	9 ± 1	9.6 ± 0.9
Juillet	10.-20.07.2016	12 ± 1	13 ± 2

**Annexe 2-5-3 – 1**

**Résumé des mesures des truites**

## Résumé des analyses effectuées sur les truites

Échantillon	Segment	Date	Poids	Longueur	Y	X	PCB	PCB	Âge scalimétrie	Lipides
no SAAV		pêche	g	cm	CH1903	CH1903	TEQ05 pg/g	6i pg/g	a	% g/g
16-50701	PG	11.05.2016	223	27	575804	180461	4.3	99'336	2	1.7
16-50702	PG	11.05.2016	1465	49	575804	180461	18.5	399'058	5	4.9
16-50710	PG	11.05.2016	74	19	575804	180461	4.4	95390	1	1.7
16-68419	PG	18.07.2016	523	38	575888	180694	8.0	119749	3	1.7
16-68401	PG	18.07.2016	1747	55	576048	180878	35.5	633171	4	2.4
16-71394	PG	03.08.2016	305	31	575822	180301	12.3	250816	2	1.3
16-71400	PG	03.08.2016	97	21	575976	180802	4.3	115929	1	1.7
16-71404	PG	03.08.2016	89	21	575821	180332	4.6	96059	1	1.7
16-71407	PG	03.08.2016	453	35	575825	180307	4.0	70976	3	2.3
16-75536	PG	17.08.2016	97	20	575924	180750	5.9	92760	1	1.7
16-75537	PG	17.08.2016	86	20	575835	180308	26.1	430216	1	1.3
16-75538	PG	17.08.2016	85	20	575790	180430	3.0	46644	1	1.7
16-75539	PG	17.08.2016	154	25	575840	180309	3.3	54787	1	1.7
16-75540	PG	17.08.2016	450	37	575851	180290	15.6	199310	2	1.8
16-75551	PG	17.08.2016	308	31	575914	180756	14.6	229773	2	1.3
16-75541	PG	17.08.2016	78	19	575896	180690	11.8	174989	1	1.3
16-75542	PG	17.08.2016	143	24	576101	180876	8.0	114257	1	1.3
16-75558	PG	17.08.2016	131	23	575861	180548	2.7	39417	1	1.7
16-75559	PG	17.08.2016	157	24	575900	180696	18.2	320940	1	1.3

Échantillon	Segment	Date	Poids	Longueur	Y	X	PCB	PCB	Âge scalimétrie	Lipides
no SAAV		pêche	g	cm	CH1903	CH1903	TEQ05 pg/g	6i pg/g	a	% g/g
16-50703	GP	11.05.2016	50	17	577834	182126	1.1	20867	1	1.5
16-68402	GP	18.07.2016	78	19	576293	181218	3.4	72696	1	1.8
16-68411	GP	18.07.2016	154	24	576606	181383	0.3	17329	2	1.5
16-68412	GP	18.07.2016	682	39	577833	182106	2.4	55506	3	0.7
16-68413	GP	18.07.2016	56	17	576137	181100	5.7	120936	1	1.4
16-68414	GP	18.07.2016	340	32	576523	181580	12.5	270286	2	1.3
16-68415	GP	18.07.2016	65	18	576482	181631	0.5	34575	1	1.5
16-68416	GP	18.07.2016	150	25	576788	181803	3.0	50044	2	1.8
16-68417	GP	18.07.2016	82	18	576518	181560	1.4	30294	1	1.5
16-68418	GP	18.07.2016	157	25	577235	181490	2.6	41407	2	1.8
16-71392	GP	03.08.2016	115	22	576600	181850	1.3	19324	1	1.5
16-71393	GP	03.08.2016	399	35	576650	181850	4.6	58282	3	1.6
16-71395	GP	03.08.2016	776	41	576650	181875	6.1	89815	4	1.0
16-71396	GP	03.08.2016	84	21	576450	181671	2.2	50100	1	1.5
16-71397	GP	03.08.2016	75	20	577322	181498	1.1	23571	1	1.5
16-71398	GP	03.08.2016	117	21	577566	181800	2.5	36563	1	1.4
16-71399	GP	03.08.2016	84	20	576651	181468	3.6	35710	1	1.5
16-71401	GP	03.08.2016	245	30	576600	181850	1.7	23784	3	1.8
16-71402	GP	03.08.2016	214	28	576600	181875	2.8	54956	2	1.8
16-71403	GP	03.08.2016	158	25	576450	181800	1.2	27070	2	1.5
16-71405	GP	03.08.2016	991	46	576650	181875	5.5	72090	4	1.5
16-71406	GP	03.08.2016	81	20	577322	181498	1.4	20607	1	1.5
16-71408	GP	03.08.2016	275	31	578030	181968	4.3	64100	2	1.4
16-71409	GP	03.08.2016	99	20	577815	182180	2.8	38628	1	1.8
16-71410	GP	03.08.2016	206	28	578195	182023	1.6	29584	2	1.8
16-71413	GP	03.08.2016	124	22	576600	181850	7.2	54100	1	1.4
16-71417	GP	03.08.2016	135	22	576181	181117	2.6	45762	EcAbs	1.8

Échantillon	Segment	Date	Poids	Longueur	Y	X	PCB	PCB	Âge scalimétrie	Lipides
no SAAV		pêche	g	cm	CH1903	CH1903	TEQ05 pg/g	6i pg/g	a	% g/g
16-50337	LP	10.05.2016	1764	56	579055	182699	12.7	209318	5	1.4
16-50336	LP	10.05.2016	2100	59	579055	182699	7.4	180340	5	0.6
16-75568	LP	17.08.2016	1670	54	578505	181799	6.5	85218	4	2.7
16-75553	LP	17.08.2016	797	41	579056	182718	10.2	113385	3	3.6
16-75564	LP	17.08.2016	2257	55	579016	182320	6.9	97083	5	2.6
16-75552	LP	17.08.2016	184	25	579077	182394	2.9	45097	2	1.0
16-75562	LP	17.08.2016	1854	54	579016	182320	8.4	99209	4	3.7
16-75556	LP	17.08.2016	1448	56	579077	182394	1.1	25470	5	0.5
16-75563	LP	17.08.2016	2580	63	579056	182718	10.6	162889	Reg	4.3
16-75601	LP	17.08.2016	1991	63	578505	181799	7.9	233730	5	0.3
16-75603	LP	17.08.2016	1899	57	578663	181576	7.8	212494	Reg	2.5
16-75560	LP	17.08.2016	1723	53	579077	182394	8.4	204244	4	0.9
16-75590	LP	17.08.2016	3366	65	578663	181576	13.1	256958	5	2.9
16-75566	LP	17.08.2016	2477	63	579056	182718	13.3	238274	5	1.7
16-75554	LP	17.08.2016	102	22	579056	182718	6.5	75275	1	1.0
16-75602	LP	17.08.2016	66	19	579056	182718	2.6	41935	1	1.0
16-75570	LP	17.08.2016	1723	53	579077	182394	6.3	102678	-	4.6
16-75555	LP	17.08.2016	1780	57	579016	182320	13.0	374342	Reg	1.4
16-75596	LP	17.08.2016	1707	55	579056	182718	7.0	120278	4	0.7
16-75600	LP	17.08.2016	666	41	578663	181576	7.9	127746	4	0.7
16-75567	LP	17.08.2016	123	23	579056	182718	3.3	50923	1	1.0
16-75569	LP	17.08.2016	121	22	579056	182718	3.8	65728	1	1.0
Segment	PG	Pila-Gérine					Âge scalimétrie	EcAbs	écaille absente	
	GL	Gérine-Pérolles					notes	Reg	régénérée	
	LP	Lac Pérolles						-	pas de résultat	

## Lipides échantillons composites

Échantillon original no SAAV	Analyse lipides		
	Poids restant après analyses PCB (g)	nom composite	Poids utilisé pour le composite (g)
16-50701	27	Mischprobe-1	6
16-50710	7	Mischprobe-1	6
16-71400	16	Mischprobe-1	6
16-71404	9	Mischprobe-1	6
16-75536	13	Mischprobe-1	6
16-75538	13	Mischprobe-1	6
16-75539	20	Mischprobe-1	6
16-75558	16	Mischprobe-1	6
-	-	Poids total	48
16-75559	17	Mischprobe-2	9
16-75537	13	Mischprobe-2	9
16-75551	39	Mischprobe-2	9
16-75541	10	Mischprobe-2	9
16-75542	21	Mischprobe-2	9
-	-	Poids total	45
16-50703	5	Mischprobe-3	5
16-68411	18	Mischprobe-3	5
16-68415	8	Mischprobe-3	5
16-68417	16	Mischprobe-3	5
16-71392	17	Mischprobe-3	5
16-71396	11	Mischprobe-3	5
16-71397	8	Mischprobe-3	5
16-71403	22	Mischprobe-3	5
16-71406	9	Mischprobe-3	5
-	-	Poids total	45

Échantillon original no SAAV	Analyse lipides		
	Poids restant après analyses PCB (g)	nom composite	Poids utilisé pour le composite (g)
16-68402	6	Mischprobe-4	5
16-68416	20	Mischprobe-4	5
16-68418	14	Mischprobe-4	5
16-71398	13	Mischprobe-4	5
16-71401	33	Mischprobe-4	5
16-71402	25	Mischprobe-4	5
16-71409	12	Mischprobe-4	5
16-71410	20	Mischprobe-4	5
16-71417	21	Mischprobe-4	5
-	-	Poids total	45
16-68413	15	Mischprobe-5	10
16-71399	10	Mischprobe-5	10
16-71408	30	Mischprobe-5	10
16-71413	20	Mischprobe-5	10
-	-	Poids total	40
16-75552	26	Mischprobe-6	10
16-75554	14	Mischprobe-6	10
16-75602	11	Mischprobe-6	10
16-75567	15	Mischprobe-6	10
16-75569	13	Mischprobe-6	10
-	-	Poids total	50

**Annexe 2.5.3 – 2**

**Résultats d'analyses Wessling  
Contenus stomacaux des truites**

## Résultats détaillés des analyses de contenu stomacaux

Échantillon	Segm ent	Contenu stomacal													
		% Gammar es	% Aselle s	% Ephéméro ptères	% Tricho fourreau	% Tricho libres	% Débris vég	% Diptèr es	% Mollusq ues	% Poiss ons	% Oligoch ètes	% Planair e	% Terrestres volants	% Terrestres autres	% Indet
16-50701	PG	2	0	74	18	4	1	0	0	0	0	0	0	0	1
16-50702	PG	88	0	3	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16-50710	PG	0	0	98	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16-68419	PG	99	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16-68401	PG	81	0	0	16	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16-71394	PG	98	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16-71400	PG	4	0	20	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	64
16-71404	PG	0	0	50	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0
16-71407	PG	0	0	29	0	7	0	2	0	0	0	0	5	0	57
16-75536	PG	30	0	60	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	7
16-75537	PG	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16-75538	PG	0	0	74	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	21
16-75539	PG	1	0	10	8	46	0	0	0	0	0	0	17	0	17
16-75540	PG	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16-75551	PG	0	0	23	14	0	0	5	0	0	0	0	14	0	45
16-75541	PG	61	0	27	7	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0
16-75542	PG	0	0	26	53	0	0	11	0	0	0	0	11	0	0
16-75558	PG	71	0	10	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0	5
16-75559	PG	5	5	5	62	14	0	5	0	0	0	0	0	0	5

Échantillon	Segm ent	Contenu stomacal													
		% Gammar es	% Aselle s	% Ephéméro ptères	% Tricho fourreau	% Tricho libres	% Débits vég	% Diptèr es	% Mollusq ues	% Poiss ons	% Oligoch ètes	% Planair e	% Terrestres volants	% Terrestres autres	% Indet
16-50703	GP	0	0	75	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16-68402	GP	0	0	50	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	38
16-68411	GP	0	0	13	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38
16-68412	GP	0	0	1	68	1	0	0	0	27	0	0	0	0	3
16-68413	GP	13	0	47	0	0	0	13	0	0	0	0	7	7	13
16-68414	GP	0	0	0	93	5	0	0	0	0	0	0	2	0	0
16-68415	GP	0	0	17	83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16-68416	GP	0	0	0	98	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16-68417	GP	0	4	0	68	0	0	0	0	0	0	0	20	8	0
16-68418	GP	0	0	0	99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16-71392	GP	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50
16-71393	GP														
16-71395	GP	98	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16-71396	GP	0	0	0	56	0	0	22	0	0	0	0	0	0	22
16-71397	GP	0	0	9	82	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0
16-71398	GP	14	0	71	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0
16-71399	GP	0	0	12	0	0	5	48	0	0	0	0	12	0	24
16-71401	GP	0	0	44	16	0	0	1	0	0	0	0	5	3	31
16-71402	GP	90	0	3	2	1	0	2	0	0	0	0	0	0	2
16-71403	GP	0	0	71	0	0	0	29	0	0	0	0	0	0	0
16-71405	GP	84	0	0	14	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
16-71406	GP	0	0	0	78	0	0	6	0	0	0	0	0	0	16
16-71408	GP	0	0	3	0	97	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16-71409	GP	57	0	37	0	0	0	2	0	0	0	0	4	0	0
16-71410	GP	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16-71411*	GP	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16-71412*	GP	3	7	3	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
16-71414*	GP	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16-75534*	GP	5	0	0	93	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1

Échantillon	Segm ent	Contenu stomacal														
		% Gammar es	% Aselle s	% Ephéméro ptères	% Tricho fourreau	% Tricho libres	% Débris vég	% Diptèr es	% Mollusq ues	% Poiss ons	% Oligoch ètes	% Planair e	% Terrestres volants	% Terrestres autres	% Indet	
16-50337	LP	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16-50336	LP	89	0	3	5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	
16-75568	LP	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16-75553	LP															
16-75564	LP	98	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	
16-75552	LP															
16-75562	LP															
16-75556	LP															
16-75563	LP	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16-75601	LP															
16-75603	LP	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16-75560	LP															
16-75590	LP	5	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0	0	0	76	
16-75566	LP	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16-75554	LP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	
16-75602	LP	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	
16-75570	LP															
16-75555	LP															
16-75596	LP	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16-75600	LP	0	0	50	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	
16-75567	LP															
16-75569	LP	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

volume contenu total = 0  
volume cont. stom. < 0.1 mL

Segment PG Pila-Gérine \* Projet "pêcheurs" du SFF  
GL Gérine-Pérolles Tricho Trichoptère  
LP Lac Pérolles Indet Indéterminé

## **Annexe 3.1.3**

### **Résultats d'analyses Wessling – Erosion**

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Monsieur Sébastien Paratte  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-02077-16  
Interlocuteur: N. Amstutz  
Ligne directe: +41 32 387 67 41  
E-Mail: Nicolas.Amstutz@wessling.ch

**Lyss, le 03.06.2016**

## Rapport no. ULS16-002904-1

### Décharge de la Pila - Mesures de l'érosion FR2706.916



S SCHWEIZERISCHER PRÜFSTELLENDEINST  
T SERVICE SUISSE D'ESSAI  
S SERVIZIO DI PROVA IN SVIZZERA  
SWISS TESTING SERVICE

ISO/IEC 17025:2005 - STS Nr. 092

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS16-002904-1  
Lyss, le 03.06.2016

Désignation d'échantillon			E1-S01 (solide)	E1-W01 (aqueux)
N° d'échantillon	Unité	LQ	16-075883-01	16-075883-02

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	59
---------------	---------	-----	----

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	Gew% MS	0.05	0.89
-------------------------------	---------	------	------

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

***PCB selon OFEV S-12***

PCB n° 28	mg/kg MS	0.01	0.037
PCB n° 52	mg/kg MS	0.01	0.35
PCB n° 101	mg/kg MS	0.01	0.63
PCB n° 118	mg/kg MS	0.01	0.74
PCB n° 138	mg/kg MS	0.01	0.64
PCB n° 153	mg/kg MS	0.01	0.4
PCB n° 180	mg/kg MS	0.01	0.1
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>mg/kg MS</b>	<b>0.01</b>	<b>2.2</b>
<b>Somme des 7 PCB</b>	<b>mg/kg MS</b>	<b>0.01</b>	<b>2.9</b>
<b>Somme des 6 PCB (x4,3)</b>	<b>mg/kg MS</b>	<b>0.01</b>	<b>9.3</b>

***PCB (7 congénères)***

PCB n° 28	µg/l E/L	0.002	<0,002
PCB n° 52	µg/l E/L	0.002	0.011
PCB n° 101	µg/l E/L	0.002	0.011
PCB n° 118	µg/l E/L	0.002	0.01
PCB n° 153	µg/l E/L	0.002	0.006
PCB n° 138	µg/l E/L	0.002	0.008
PCB n° 180	µg/l E/L	0.002	<0,002
<b>Somme des 7 PCB</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>0.046</b>
<b>Somme des 6 PCB (x4,3)</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>0.15</b>
Somme des 6 PCB	µg/l E/L		0.036

masse sèche totale	kg MB	0.09
--------------------	-------	------

Rapport no. ULS16-002904-1  
Lyss, le 03.06.2016

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-075883-01	16-075883-02
Date de réception:	19.05.2016	19.05.2016
<b>Désignation</b>	<b>E1-S01 (solide)</b>	<b>E1-W01 (aqueux)</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol
Prélèvement:	15.05.2016	15.05.2016
Prélèvement par:	CSD Fribourg	CSD Fribourg
Début des analyses:	19.05.2016	19.05.2016
Fin des analyses:	03.06.2016	03.06.2016

## Méthodes

### Paramètres

Matières sèches  
PCB - Méth. interne HAP-PCB adaptée de  
Tamisage de gravier de voie  
Carbone organique total sur mat. solide (combustion sèche)  
PCB sur eau / lixiviat

### Norme

DIN ISO 11465<sup>A</sup>  
DIN ISO 10382<sup>A</sup>  
DB 880.4010<sup>A</sup>  
DIN ISO 10694<sup>A</sup>  
DIN EN ISO 6468<sup>A</sup>

### Laboratoire

Laboratoriën Lyss CH (CH)  
Laboratoriën Lyss CH (CH)  
Laboratoriën Lyss CH (CH)  
Umweltanalytik Oppin (D)  
Laboratoriën Lyss CH (CH)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Monsieur Sébastien Paratte  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-02865-16  
Interlocuteur: N. Amstutz  
Ligne directe: +41 32 387 67 41  
E-Mail: Nicolas.Amstutz@wessling.ch

**Lyss, le 08.07.2016**

## Rapport no. ULS16-003638-1

### Décharge de la Pila FR2706.916



**S** SCHWEIZERISCHER PRÜFSTELLENDIENST  
**T** SERVICE SUISSE D'ESSAI  
**S** SERVIZIO DI PROVA IN SVIZZERA  
SWISS TESTING SERVICE

ISO/IEC 17025:2005 - STS Nr. 092

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS16-003638-1  
Lyss, le 08.07.2016

<b>Désignation d'échantillon</b>	<b>E1 - S02 (solide)</b>		
<b>N° d'échantillon</b>	<b>Unité</b>	<b>LQ</b>	16-100059-01

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	24
---------------	---------	-----	----

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	26000
-------------------------------	----------	------	-------

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

***PCB selon OFEV S-12***

PCB n° 28	mg/kg MS	0.002	0.067
PCB n° 52	mg/kg MS	0.002	0.85
PCB n° 101	mg/kg MS	0.002	4.8
PCB n° 118	mg/kg MS	0.002	7.7
PCB n° 138	mg/kg MS	0.002	5.2
PCB n° 153	mg/kg MS	0.002	3.8
PCB n° 180	mg/kg MS	0.002	0.28
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>15</b>
<b>Somme des 7 PCB</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>23</b>
<b>Somme des 6 PCB (x4,3)</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>64</b>

Quantité totale	kg MB		0.525
-----------------	-------	--	-------

Rapport no. ULS16-003638-1  
Lyss, le 08.07.2016

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-100059-01
Date de réception:	29.06.2016
<b>Désignation</b>	<b>E1 - S02 (solide)</b>
Type d'échantillons:	Sol
Prélèvement:	23.06.2016
Prélèvement par:	CSD Fribourg
Début des analyses:	29.06.2016
Fin des analyses:	08.07.2016

## Méthodes

### Paramètres

Matières sèches  
Carbone organique total sur mat. solide (combustion sèche)  
Tamisage de gravier de voie  
PCB - Méth. interne HAP-PCB adaptée de

### Norme

DIN ISO 11465<sup>A</sup>  
DIN ISO 10694 mod.<sup>A</sup>  
DB 880.4010<sup>A</sup>  
DIN ISO 10382<sup>A</sup>

### Laboratoire

Laboratoire Lyss CH (CH)  
Laboratoire Lyss CH (CH)  
Laboratoire Lyss CH (CH)  
Laboratoire Lyss CH (CH)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Monsieur Sébastien Paratte  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-02710-16  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 30.06.2016**

## Rapport no. ULS16-003465-1

### Décharge de la Pila - Mesures de l' érosion, FR2706.916



S SCHWEIZERISCHER PRÜFSTELLENDIENST  
T SERVICE SUISSE D'ESSAI  
S SERVIZIO DI PROVA IN SVIZZERA  
SWISS TESTING SERVICE

ISO/IEC 17025:2005 - STS Nr. 092

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS16-003465-1  
Lyss, le 30.06.2016

Désignation d'échantillon	E2-S01 (solide)		
N° d'échantillon	Unité	LQ	16-094161-01

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	58
Matière sèche totale	g		969

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	23000
-------------------------------	----------	------	-------

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

***PCB selon OFEV S-12***

PCB n° 28	mg/kg MS	0.002	0.0052
PCB n° 52	mg/kg MS	0.002	0.014
PCB n° 101	mg/kg MS	0.002	0.016
PCB n° 118	mg/kg MS	0.002	0.01
PCB n° 138	mg/kg MS	0.002	0.016
PCB n° 153	mg/kg MS	0.002	0.012
PCB n° 180	mg/kg MS	0.002	0.0052
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>0.067</b>
<b>Somme des 7 PCB</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>0.078</b>
<b>Somme des 6 PCB (x4,3)</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>0.29</b>

Rapport no. ULS16-003465-1  
Lyss, le 30.06.2016

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-094161-01
Date de réception:	20.06.2016
<b>Désignation</b>	<b>E2-S01 (solide)</b>
Type d'échantillons:	Sol
Prélèvement:	17.06.2016
Prélèvement par:	CSD Fribourg
Début des analyses:	20.06.2016
Fin des analyses:	30.06.2016

## Méthodes

### Paramètres

Matières sèches  
Carbone organique total sur mat. solide (combustion sèche)  
PCB - Méth. interne HAP-PCB adaptée de

### Norme

DIN ISO 11465<sup>A</sup>  
DIN ISO 10694 mod.<sup>A</sup>  
DIN ISO 10382<sup>A</sup>

### Laboratoire

Laboratoire Lyss CH (CH)  
Laboratoire Lyss CH (CH)  
Laboratoire Lyss CH (CH)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Monsieur Sébastien Paratte  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-03312-16  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 09.08.2016**

## Rapport no. ULS16-004244-1

### Décharge Pila - Mesures de l'érosion FR2706.915



S SCHWEIZERISCHER PRÜFSTELLENDIENST  
T SERVICE SUISSE D'ESSAI  
S SERVIZIO DI PROVA IN SVIZZERA  
SWISS TESTING SERVICE

ISO/IEC 17025:2005 - STS Nr. 092

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS16-004244-1  
Lyss, le 09.08.2016

Désignation d'échantillon N° d'échantillon	Unité	LQ	E1 -S03 16-117663-01	E2 -S02 16-117663-02
---	-------	----	-------------------------	-------------------------

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0,1	33	92
---------------	---------	-----	----	----

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	Gew% MS	0,1	2,6	2,1
-------------------------------	---------	-----	-----	-----

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

***PCB selon OFEV S-12***

PCB n° 28	mg/kg MS	0,002	0,061	0,0033
PCB n° 52	mg/kg MS	0,002	4,3	0,027
PCB n° 101	mg/kg MS	0,002	4,6	0,024
PCB n° 118	mg/kg MS	0,002	4,2	0,0076
PCB n° 138	mg/kg MS	0,002	5,4	0,014
PCB n° 153	mg/kg MS	0,002	4,1	0,012
PCB n° 180	mg/kg MS	0,002	0,33	0,0033
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>19</b>	<b>0,084</b>
<b>Somme des 7 PCB</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>23</b>	<b>0,091</b>
<b>Somme des 6 PCB (x4,3)</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>81</b>	<b>0,36</b>

Quantité totale	kg MB		1,03	1,56
-----------------	-------	--	------	------

Rapport no. ULS16-004244-1  
Lyss, le 09.08.2016

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-117663-01	16-117663-02
Date de réception:	26.07.2016	26.07.2016
<b>Désignation</b>	<b>E1 -S03</b>	<b>E2 -S02</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol
Prélèvement:	25.07.2016	25.07.2016
Prélèvement par:	CSD Fribourg	CSD Fribourg
Début des analyses:	27.07.2016	27.07.2016
Fin des analyses:	09.08.2016	09.08.2016

## Méthodes

### Paramètres

Matières sèches  
Homogenisierung  
Tamisage de gravier de voie  
Carbone organique total sur mat. solide (combustion sèche)  
PCB - Méth. interne HAP-PCB adaptée de

### Norme

DIN ISO 11465<sup>A</sup>  
WES 092<sup>A</sup>  
DB 880.4010<sup>A</sup>  
DIN ISO 10694<sup>A</sup>  
DIN ISO 10382<sup>A</sup>

### Laboratoire

Laboratorien Lyss CH (CH)  
Laboratorien Lyss CH (CH)  
Laboratorien Lyss CH (CH)  
Laboratorien Lyss CH (CH)  
Laboratorien Lyss CH (CH)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Monsieur Sébastien Paratte  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°: ULS-03921-16  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 20.09.2016**

## Rapport no. ULS16-005094-1

### Décharge de la Pila - Mesures de l'érosion



S SCHWEIZERISCHER PRÜFSTELLENDIENST  
T SERVICE SUISSE D'ESSAI  
S SERVIZIO DI PROVA IN SVIZZERA  
SWISS TESTING SERVICE

ISO/IEC 17025:2005 - STS Nr. 092

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS16-005094-1  
Lyss, le 20.09.2016

Désignation d'échantillon			E1_S04	Mischprobe E2_S03	E3_S01
N° d'échantillon	Unité	LQ	16-136066-01	16-136066-02	16-136066-03

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB		45	26	80
---------------	---------	--	----	----	----

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	53000	71000	12000
-------------------------------	----------	------	-------	-------	-------

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

*PCB selon OFEV S-12*

PCB n° 28	mg/kg MS	0,002	<0,002	0,012	0,014
PCB n° 52	mg/kg MS	0,002	0,013	0,035	0,05
PCB n° 101	mg/kg MS	0,002	0,46	0,027	0,043
PCB n° 118	mg/kg MS	0,002	0,56	0,0077	0,036
PCB n° 138	mg/kg MS	0,002	0,49	0,0077	0,025
PCB n° 153	mg/kg MS	0,002	0,34	<0,002	0,019
PCB n° 180	mg/kg MS	0,002	0,056	<0,002	0,0038
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>1,4</b>	<b>0,081</b>	<b>0,15</b>
<b>Somme des 7 PCB</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>1,9</b>	<b>0,088</b>	<b>0,19</b>
<b>Somme des 6 PCB (x4,3)</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>5,8</b>	<b>0,35</b>	<b>0,66</b>

Quantité totale avant séchage	g		194,3	1079,6	1238,3
Quantité totale après séchage	g		87,6	278,3	984,8

Rapport no. ULS16-005094-1  
Lyss, le 20.09.2016

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-136066-01	16-136066-02	16-136066-03
Date de réception:	30.08.2016	30.08.2016	30.08.2016
<b>Désignation</b>	<b>E1_S04</b>	<b>Mischprobe E2_S03</b>	<b>E3_S01</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	26.08.2016	26.08.2016	26.08.2016
Prélèvement par:	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg
Début des analyses:	31.08.2016	31.08.2016	31.08.2016
Fin des analyses:	20.09.2016	20.09.2016	20.09.2016

## Méthodes

### Paramètres

Matières sèches  
Tamisage de gravier de voie  
Carbone organique total sur mat. solide (combustion sèche)  
PCB - Méth. interne HAP-PCB adaptée de

### Norme

DIN ISO 11465<sup>A</sup>  
DB 880.4010<sup>A</sup>  
DIN ISO 10694 mod.<sup>A</sup>  
DIN ISO 10382<sup>A</sup>

### Laboratoire

Laboratoire Lyss CH (CH)  
Laboratoire Lyss CH (CH)  
Laboratoire Lyss CH (CH)  
Laboratoire Lyss CH (CH)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Monsieur S. Studer  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Auftrag Nr.: ULS-04522-16  
Ansprechpartner: I. Lehning  
Durchwahl: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, den 18.10.2016**

## Prüfbericht ULS16-005652-1

### Décharge de la Pila - Mesures de l'érosion FR2706.916



**S** SCHWEIZERISCHER PRÜFSTELLENDEINST  
**T** SERVICE SUISSE D'ESSAI  
**S** SERVIZIO DI PROVA IN SVIZZERA  
SWISS TESTING SERVICE

ISO/IEC 17025:2005 - STS Nr. 092

Die Messergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die uns vorliegenden Prüfobjekte. Dieser Prüfbericht darf ohne die Genehmigung der WESSLING AG nicht auszugsweise vervielfältigt werden (DIN EN ISO/IEC 17025).

Prüfbericht ULS16-005652-1  
Lyss, den 18.10.2016

Bezeichnung Probe Nr.	Einheit	BG	E1-S05 16-156579-01	E2-S04 16-156579-02	E3-S02 16-156579-03	E4-S01 16-156579-04
--------------------------	---------	----	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% OS	0.1	60	22	86	2
---------------	---------	-----	----	----	----	---

**Paramètres organiques globaux**

**BAFU F-25**

Carbone organique total (COT)	mg/kg TS	1000	39000	22000	15000	62000
-------------------------------	----------	------	-------	-------	-------	-------

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

**PCB nach BAFU F-12**

PCB Nr. 28	mg/kg TS		0.027	0.023	0.012	<0,01
PCB Nr. 52	mg/kg TS		0.16	0.018	0.034	<0,01
PCB Nr. 101	mg/kg TS		0.6	0.018	0.042	<0,01
PCB Nr. 118	mg/kg TS		0.73	0.014	0.038	<0,01
PCB Nr. 138	mg/kg TS		0.6	0.014	0.026	<0,01
PCB Nr. 153	mg/kg TS		0.53	0.0091	0.021	<0,01
PCB Nr. 180	mg/kg TS		0.06	<0,002	0.0058	<0,01
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>mg/kg TS</b>		<b>2</b>	<b>0.082</b>	<b>0.14</b>	<b>-/-</b>
<b>Somme des 7 PCB</b>	<b>mg/kg TS</b>		<b>2.7</b>	<b>0.095</b>	<b>0.18</b>	<b>-/-</b>
<b>PCB total (Somme 6 PCB x 4,3 )</b>	<b>mg/kg TS</b>		<b>8.5</b>	<b>0.35</b>	<b>0.6</b>	<b>-/-</b>

Masse total avant séchage	g OS		107.4	483.6	837.9	164.2
Masse après séchage	g		63.7	102.7	697	3.7

Prüfbericht ULS16-005652-1  
Lyss, den 18.10.2016

Bezeichnung Probe Nr.	Einheit	BG	E5-S01 16-156579-05	E6-S01 16-156579-06
--------------------------	---------	----	------------------------	------------------------

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% OS	0.1	8	22
---------------	---------	-----	---	----

**Paramètres organiques globaux**

**BAFU F-25**

Carbone organique total (COT)	mg/kg TS	1000	31000	21000
-------------------------------	----------	------	-------	-------

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

**PCB nach BAFU F-12**

PCB Nr. 28	mg/kg TS		<0,01	<0,004
PCB Nr. 52	mg/kg TS		<0,01	<0,004
PCB Nr. 101	mg/kg TS		<0,01	0.045
PCB Nr. 118	mg/kg TS		<0,01	0.05
PCB Nr. 138	mg/kg TS		<0,01	0.041
PCB Nr. 153	mg/kg TS		<0,01	0.032
PCB Nr. 180	mg/kg TS		<0,01	<0,004
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>mg/kg TS</b>		<b>-/-</b>	<b>0.12</b>
<b>Somme des 7 PCB</b>	<b>mg/kg TS</b>		<b>-/-</b>	<b>0.17</b>
<b>PCB total (Somme 6 PCB x 4,3 )</b>	<b>mg/kg TS</b>		<b>-/-</b>	<b>0.51</b>

Masse total avant séchage	g OS		104.1	94.2
Masse après séchage	g		7.9	20.4

Prüfbericht ULS16-005652-1  
Lyss, den 18.10.2016

## Informationen zu den Proben

Probe Nr.	16-156579-01	16-156579-02	16-156579-03	16-156579-04	16-156579-05
Eingangsdatum	30.09.2016	30.09.2016	30.09.2016	30.09.2016	30.09.2016
<b>Bezeichnung</b>	<b>E1-S05</b>	<b>E2-S04</b>	<b>E3-S02</b>	<b>E4-S01</b>	<b>E5-S01</b>
Probenart	Boden	Boden	Boden	Boden	Boden
Probenahme	29.09.2016	29.09.2016	29.09.2016	29.09.2016	29.09.2016
Probenahme durch	CSD Fribourg				
Untersuchungsbeginn	03.10.2016	03.10.2016	03.10.2016	03.10.2016	03.10.2016
Untersuchungsende	18.10.2016	18.10.2016	18.10.2016	18.10.2016	18.10.2016
Probe Nr.	16-156579-06				
Eingangsdatum	30.09.2016				
<b>Bezeichnung</b>	<b>E6-S01</b>				
Probenart	Boden				
Probenahme	29.09.2016				
Probenahme durch	CSD Fribourg				
Untersuchungsbeginn	03.10.2016				
Untersuchungsende	18.10.2016				

## Methoden

Parameter	Norm	Ausführendes Labor
Trockenrückstand / Wassergehalt im Feststoff	DIN ISO 11465 <sup>A</sup>	Laboratorien Lyss CH (CH)
Polychlorierte Biphenyle (PCB)	DIN ISO 10382 <sup>A</sup>	Laboratorien Lyss CH (CH)
Siebung Gleisschotter	DB 880.4010 <sup>A</sup>	Laboratorien Lyss CH (CH)
Gesamter organischer Kohlenstoff (TOC)	DIN ISO 10694 mod. <sup>A</sup>	Laboratorien Lyss CH (CH)

OS = Originalsubstanz  
TS = Trockensubstanz  
BG = Bestimmungsgrenze  
W/E = Wasser / Eluat

---

Heinrich Kalt  
Geschäftsführer, Dr. rer. nat

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Monsieur Sébastien Paratte  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-05161-16  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 21.11.2016**

## Rapport no. ULS16-006385-1

### Décharge de la Pila - Mesures de l' érosion, FR2706.916



S SCHWEIZERISCHER PRÜFSTELLENDIENST  
T SERVICE SUISSE D'ESSAI  
S SERVIZIO DI PROVA IN SVIZZERA  
SWISS TESTING SERVICE

ISO/IEC 17025:2005 - STS Nr. 092

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS16-006385-1  
Lyss, le 21.11.2016

Désignation d'échantillon N° d'échantillon	Unité	LQ	E1-S06 16-177733-01	E2-S05 16-177733-02	E3-S03 16-177733-03	E4-S02 16-177733-04	E5-S02 16-177733-05
---	-------	----	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	26	35	74	2	15
---------------	---------	-----	----	----	----	---	----

**Préparation**

Quantité avant séchage	g		242.7	298.7	616.2	219.1	111.4
quantité après séchage	g		64.2	104.3	457.6	4.1	16.2

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	51000	30000	25000	170000	25000
-------------------------------	----------	------	-------	-------	-------	--------	-------

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

***PCB selon OFEV S-12***

PCB n° 28	mg/kg MS		<0,002	<0,002	0.059	<0,01	<0,004
PCB n° 52	mg/kg MS		0.042	<0,002	0.12	<0,01	0.047
PCB n° 101	mg/kg MS		0.26	0.014	0.082	<0,01	0.17
PCB n° 118	mg/kg MS		0.32	0.014	0.069	<0,01	0.18
PCB n° 138	mg/kg MS		0.3	0.014	0.049	<0,01	0.17
PCB n° 153	mg/kg MS		0.2	0.014	0.034	<0,01	0.12
PCB n° 180	mg/kg MS		0.05	0.0057	0.0081	<0,01	<0,004
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>0.86</b>	<b>0.049</b>	<b>0.36</b>	<b>-/-</b>	<b>0.51</b>
<b>Somme des 7 PCB</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>1.2</b>	<b>0.063</b>	<b>0.42</b>	<b>-/-</b>	<b>0.69</b>
<b>Somme des 6 PCB (x4,3)</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>3.7</b>	<b>0.21</b>	<b>1.5</b>	<b>-/-</b>	<b>2.2</b>

Rapport no. ULS16-006385-1  
Lyss, le 21.11.2016

<b>Désignation d'échantillon</b>			<b>E6-S02</b>
<b>N° d'échantillon</b>	<b>Unité</b>	<b>LQ</b>	16-177733-06

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	38
---------------	---------	-----	----

**Préparation**

Quantité avant séchage	g		106.6
quantité après séchage	g		40.7

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	29000
-------------------------------	----------	------	-------

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

***PCB selon OFEV S-12***

PCB n° 28	mg/kg MS		<0,002
PCB n° 52	mg/kg MS		<0,002
PCB n° 101	mg/kg MS		0.016
PCB n° 118	mg/kg MS		0.016
PCB n° 138	mg/kg MS		0.018
PCB n° 153	mg/kg MS		0.013
PCB n° 180	mg/kg MS		<0,002
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>0.047</b>
<b>Somme des 7 PCB</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>0.063</b>
<b>Somme des 6 PCB (x4,3)</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>0.2</b>

Rapport no. ULS16-006385-1  
Lyss, le 21.11.2016

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-177733-01	16-177733-02	16-177733-03	16-177733-04	16-177733-05
Date de réception:	04.11.2016	04.11.2016	04.11.2016	04.11.2016	04.11.2016
<b>Désignation</b>	<b>E1-S06</b>	<b>E2-S05</b>	<b>E3-S03</b>	<b>E4-S02</b>	<b>E5-S02</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	28.10.2016	28.10.2016	28.10.2016	28.10.2016	28.10.2016
Prélèvement par:	CSD Fribourg				
Début des analyses:	04.11.2016	04.11.2016	04.11.2016	04.11.2016	04.11.2016
Fin des analyses:	21.11.2016	21.11.2016	21.11.2016	21.11.2016	21.11.2016
Echantillon-n°	16-177733-06				
Date de réception:	04.11.2016				
<b>Désignation</b>	<b>E6-S02</b>				
Type d'échantillons:	Sol				
Prélèvement:	28.10.2016				
Prélèvement par:	CSD Fribourg				
Début des analyses:	04.11.2016				
Fin des analyses:	21.11.2016				

## Méthodes

<b>Paramètres</b>	<b>Norme</b>	<b>Laboratoire</b>
Matières sèches	DIN ISO 11465 <sup>A</sup>	Laboratoire Lyss CH (CH)
Carbone organique total sur mat. solide (combustion sèche)	DIN ISO 10694 mod. <sup>A</sup>	Laboratoire Lyss CH (CH)
PCB - Méth. interne HAP-PCB adaptée de	DIN ISO 10382 <sup>A</sup>	Laboratoire Lyss CH (CH)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat

## Commentaires

16-177733-04 + 05

Commentaires des résultats:

Contrôle de plausibilité environnement (ULS): Matériel insuffisant. Moins pesé. La limite de quantification a été élevée!

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Monsieur Sébastien Paratte  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-05693-16  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 20.12.2016**

## Rapport no. ULS16-007065-1

### Décharge de la Pila - Mesures de l' érosion, FR2706.916



ISO/IEC 17025

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS16-007065-1  
Lyss, le 20.12.2016

Désignation d'échantillon N° d'échantillon	Unité	LQ	E1-S07 16-197035-01	E2-S06 16-197035-02	E3-S04 16-197035-03	E5-S03 16-197035-05	E6-S03 16-197035-06
<b>Propriétés générales</b>							
Matière sèche	Gew% MB	0.1	9	10	50	4	5
<b>Paramètres organiques globaux</b>							
Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	30000	19000	15000	61000	26000
<b>Substances organiques moyennement et peu volatiles</b>							
<b>PCB selon OFEV S-12</b>							
PCB n° 28	mg/kg MS	0.002	0.0051	0.0041	0.014	0.0023	0.0038
PCB n° 52	mg/kg MS	0.002	0.058	0.011	0.034	0.017	0.034
PCB n° 101	mg/kg MS	0.002	0.25	0.012	0.032	0.04	0.12
PCB n° 118	mg/kg MS	0.002	0.38	0.01	0.042	0.036	0.16
PCB n° 138	mg/kg MS	0.002	0.27	0.014	0.023	0.035	0.1
PCB n° 153	mg/kg MS	0.002	0.21	0.012	0.017	0.026	0.085
PCB n° 180	mg/kg MS	0.002	0.039	0.0057	0.0039	0.0046	0.011
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>0.84</b>	<b>0.058</b>	<b>0.12</b>	<b>0.13</b>	<b>0.36</b>
<b>Somme des 7 PCB</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>1.2</b>	<b>0.069</b>	<b>0.16</b>	<b>0.16</b>	<b>0.52</b>
<b>Somme des 6 PCB (x4,3)</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>3.6</b>	<b>0.25</b>	<b>0.53</b>	<b>0.54</b>	<b>1.5</b>
Quantité totale avant séchage	kg MB		0.298	0.83	0.387	0.209	0.328

Rapport no. ULS16-007065-1  
Lyss, le 20.12.2016

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-197035-01	16-197035-02	16-197035-03	16-197035-05	16-197035-06
Date de réception:	05.12.2016	05.12.2016	05.12.2016	05.12.2016	05.12.2016
<b>Désignation</b>	<b>E1-S07</b>	<b>E2-S06</b>	<b>E3-S04</b>	<b>E5-S03</b>	<b>E6-S03</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	24.11.2016	24.11.2016	24.11.2016	24.11.2016	24.11.2016
Prélèvement par:	CSD Fribourg				
Début des analyses:	06.12.2016	06.12.2016	06.12.2016	06.12.2016	06.12.2016
Fin des analyses:	20.12.2016	20.12.2016	20.12.2016	20.12.2016	20.12.2016

## Méthodes

### Paramètres

Matières sèches  
PCB - Méth. interne HAP-PCB adaptée de  
Carbone organique total sur mat. solide (combustion sèche)  
Tamisage de gravier de voie

### Norme

DIN ISO 11465<sup>A</sup>  
DIN ISO 10382<sup>A</sup>  
DIN ISO 10694 mod.<sup>A</sup>  
DB 880.4010<sup>A</sup>

### Laboratoire

Laboratoire Lyss CH (CH)  
Laboratoire Lyss CH (CH)  
Laboratoire Lyss CH (CH)  
Laboratoire Lyss CH (CH)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat  
G = gaz

Des compléments d'information sur les principes d'analyses, par exemple les incertitudes de mesure, sont disponibles sur demande.

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Monsieur Sébastien Paratte  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°: ULS-00729-17  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 17.03.2017**

## Rapport no. ULS17-001301-1

### Décharge de la Pila - Mesures de l'érosion, FR2706.916

Remplace le rapport ULS17-001229-1



ISO/IEC 17025

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS17-001301-1  
Lyss, le 17.03.2017

Désignation d'échantillon			E2-S07	E3-S05 (Feinanteil)	E3-S05 (Grobanteil)	E5-S04	E6-S04
N° d'échantillon	Unité	LQ	17-029109-01	17-029109-02	17-029109-02-1	17-029109-04	17-029109-05

#### Propriétés générales

Matière sèche	Gew% MB	0,1	30	82	82	5	9
---------------	---------	-----	----	----	----	---	---

#### Préparation

Partie fine < 2mm			8541,9				
Partie grossière > 2mm			19031,2				
Quantité totale avant séchage	g MB		4595,3	34470,2		136,3	240,5
Quantité après séchage	g MB		1399,4	27630		6,8	20,9

#### Paramètres organiques globaux

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	9000	11000	10000	34000	15000
-------------------------------	----------	------	------	-------	-------	-------	-------

#### Substances organiques moyennement et peu volatiles

##### *PCB selon OFEV S-12*

PCB n° 28	mg/kg MS		0,0067	0,38	1,1	0,48	0,26
PCB n° 52	mg/kg MS		0,017	2,2	1,8	0,7	0,37
PCB n° 101	mg/kg MS		0,013	1,2	0,94	0,34	0,17
PCB n° 118	mg/kg MS		0,01	0,94	0,86	0,14	0,11
PCB n° 138	mg/kg MS		0,013	0,28	0,21	0,04	0,078
PCB n° 153	mg/kg MS		0,01	0,18	0,2	0,04	0,056
PCB n° 180	mg/kg MS		0,01	0,037	0,085	<0,004	0,011
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>0,07</b>	<b>4,3</b>	<b>4,3</b>	<b>1,6</b>	<b>0,93</b>
<b>Somme des 7 PCB</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>0,08</b>	<b>5,2</b>	<b>5,2</b>	<b>1,7</b>	<b>1</b>
<b>Somme des 6 PCB (x4,3)</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>0,3</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>6,9</b>	<b>4</b>

Rapport no. ULS17-001301-1  
Lyss, le 17.03.2017

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	17-029109-01	17-029109-02	17-029109-02-1	17-029109-04	17-029109-05
Date de réception:	23.02.2017	23.02.2017	23.02.2017	23.02.2017	23.02.2017
Désignation	<b>E2-S07</b>	<b>E3-S05</b> (Feinanteil)	<b>E3-S05</b> (Grobanteil)	<b>E5-S04</b>	<b>E6-S04</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	15.02.2017	15.02.2017	15.02.2017	15.02.2017	15.02.2017
Prélèvement par:	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg
Début des analyses:	23.02.2017	23.02.2017	23.02.2017	23.02.2017	23.02.2017
Fin des analyses:	14.03.2017	14.03.2017	14.03.2017	14.03.2017	14.03.2017

## Méthodes

### Paramètres

PCB - Méth. interne HAP-PCB adaptée de  
Carbone organique total sur mat. solide (combustion sèche)  
Tamisage de gravier de voie  
Matières sèches  
Tamisage de solides

### Norme

DIN ISO 10382<sup>A</sup>  
DIN ISO 10694 mod.<sup>A</sup>  
DB 880.4010<sup>A</sup>  
DIN ISO 11465<sup>A</sup>  
DIN ISO 11464<sup>A</sup>

### Laboratoire

Laboratorien Lyss CH (CH)  
Laboratorien Lyss CH (CH)  
Laboratorien Lyss CH (CH)  
Laboratorien Lyss CH (CH)  
Laboratorien Lyss CH (CH)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat  
G = gaz

Des compléments d'information sur les principes d'analyses, par exemple les incertitudes de mesure, sont disponibles sur demande.

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Monsieur Studer  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-01189-17  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 07.04.2017**

## Rapport no. ULS17-001739-1

### Décharge de la Pila - Mesures de l'érosion FR2706.917



ISO/IEC 17025

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS17-001739-1  
Lyss, le 07.04.2017

Désignation d'échantillon			E1-S08	E2-S08	E3-S06 (Feinfraktion)	E4-S05	E5-S05
N° d'échantillon	Unité	LQ	17-048770-01	17-048770-02	17-048770-03	17-048770-04	17-048770-05

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0,1	51	27	85	3,2	17
---------------	---------	-----	----	----	----	-----	----

**Préparation**

Quantité avant séchage	g		1482,7	2001	19530,9	200,9	47,6
Quantité après séchage	g		756,6	544,6	16528,6	6,4	7,9
Partie fine < 2mm	g				3404,2		
Partie > 2 mm	g						

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	11000	11000	7000	23000	18000
-------------------------------	----------	------	-------	-------	------	-------	-------

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

*PCB selon OFEV S-12*

PCB n° 28	mg/kg MS		<0,002	0,0037	0,58	0,078	0,021
PCB n° 52	mg/kg MS		0,0039	0,011	1	0,17	0,038
PCB n° 101	mg/kg MS		0,0098	0,01	0,59	0,17	0,019
PCB n° 118	mg/kg MS		0,0078	0,0059	0,58	0,14	0,011
PCB n° 138	mg/kg MS		0,0078	0,0074	0,15	0,13	0,0065
PCB n° 153	mg/kg MS		0,0039	0,0059	0,085	0,091	0,0053
PCB n° 180	mg/kg MS		<0,002	0,0022	0,028	0,016	0,0012
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>0,025</b>	<b>0,04</b>	<b>2,4</b>	<b>0,64</b>	<b>0,091</b>
<b>Somme des 7 PCB</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>0,033</b>	<b>0,046</b>	<b>3</b>	<b>0,78</b>	<b>0,1</b>
<b>Somme des 6 PCB (x4,3)</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>0,11</b>	<b>0,17</b>	<b>11</b>	<b>2,8</b>	<b>0,39</b>

Rapport no. ULS17-001739-1  
Lyss, le 07.04.2017

Désignation d'échantillon			E6-S05	E3-S06 (Grobfraktion)
N° d'échantillon	Unité	LQ	17-048770-06	17-048770-03-1

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0,1	20	85
---------------	---------	-----	----	----

**Préparation**

Quantité avant séchage	g		107,4	19530,9
Quantité après séchage	g		21,7	16528,6
Partie fine < 2mm	g			
Partie > 2 mm	g			13160,0

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	9000	6000
-------------------------------	----------	------	------	------

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

*PCB selon OFEV S-12*

PCB n° 28	mg/kg MS		0,057	0,58
PCB n° 52	mg/kg MS		0,1	1,1
PCB n° 101	mg/kg MS		0,091	0,67
PCB n° 118	mg/kg MS		0,076	0,6
PCB n° 138	mg/kg MS		0,07	0,15
PCB n° 153	mg/kg MS		0,049	0,079
PCB n° 180	mg/kg MS		0,008	0,022
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>0,38</b>	<b>2,6</b>
<b>Somme des 7 PCB</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>0,45</b>	<b>3,2</b>
<b>Somme des 6 PCB (x4,3)</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>1,6</b>	<b>11</b>

Rapport no. ULS17-001739-1  
Lyss, le 07.04.2017

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	17-048770-01	17-048770-02	17-048770-03	17-048770-04	17-048770-05
Date de réception:	28.03.2017	28.03.2017	28.03.2017	28.03.2017	28.03.2017
Désignation	<b>E1-S08</b>	<b>E2-S08</b>	<b>E3-S06</b> (Feinfraktion)	<b>E4-S05</b>	<b>E5-S05</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	23.03.2017	23.03.2017	23.03.2017	23.03.2017	23.03.2017
Prélèvement par:	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg
Début des analyses:	28.03.2017	28.03.2017	28.03.2017	28.03.2017	28.03.2017
Echantillon-n°	17-048770-06	17-048770-03-1			
Date de réception:	28.03.2017	28.03.2017			
Désignation	<b>E6-S05</b>	<b>E3-S06</b> (Grobfraktion)			
Type d'échantillons:	Sol	Sol			
Prélèvement:	23.03.2017	23.03.2017			
Prélèvement par:	CSD Fribourg	CSD Fribourg			
Début des analyses:	28.03.2017	28.03.2017			

## Méthodes

### Paramètres

Matières sèches  
Carbone organique total sur mat. solide (combustion sèche)  
PCB - Méth. interne HAP-PCB adaptée de  
Matières sèches sur solide (séché à l'air à 40 °C)  
Tamisage de solides

### Norme

DIN ISO 11465<sup>A</sup>  
DIN ISO 10694 mod.<sup>A</sup>  
DIN ISO 10382<sup>A</sup>  
DIN EN 12880 mod.<sup>A</sup>  
DIN ISO 11464<sup>A</sup>

### Laboratoire

Laboratoire Lyss CH (CH)  
Laboratoire Lyss CH (CH)  
Laboratoire Lyss CH (CH)  
Laboratoire Lyss CH (CH)  
Laboratoire Lyss CH (CH)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat  
G = gaz

Des compléments d'information sur les principes d'analyses, par exemple les incertitudes de mesure, sont disponibles sur demande.

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Monsieur Stephane Studer  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-01804-17  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 19.05.2017**

## Rapport no. ULS17-002576-1

### Décharge de la Pila - Mesures de l'érosion FR2706.917



ISO/IEC 17025

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS17-002576-1  
Lyss, le 19.05.2017

Désignation d'échantillon			E1-S09	E2-S09	E3-S07 (partie fine)	E4-S06	E5-S06
N° d'échantillon	Unité	LQ	17-071759-01	17-071759-02	17-071759-03	17-071759-04	17-071759-05

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	10	40	84	5	2
---------------	---------	-----	----	----	----	---	---

**Préparation**

Quantité totale avant séchage	kg		1.88	3.00	18.62	0.64	0.3
Quantité total après séchage	kg		0.18	1.2	15.72	0.028	0.005
Partie fine < 2mm	kg				4.9		
Partie > 2 mm	kg						

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	15000	21000	9300	25000	45000
-------------------------------	----------	------	-------	-------	------	-------	-------

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

***PCB selon OFEV S-12***

PCB n° 28	mg/kg MS	0.002	0.007	0.018	0.55	0.16	0.29
PCB n° 52	mg/kg MS	0.002	0.14	0.025	0.77	0.24	0.43
PCB n° 101	mg/kg MS	0.002	0.35	0.02	0.7	0.12	0.31
PCB n° 118	mg/kg MS	0.002	0.37	0.013	0.57	0.05	0.15
PCB n° 138	mg/kg MS	0.002	0.3	0.015	0.17	0.024	0.046
PCB n° 153	mg/kg MS	0.002	0.2	0.013	0.11	0.02	0.038
PCB n° 180	mg/kg MS	0.002	0.047	0.005	0.051	0.004	0.016
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>1</b>	<b>0.095</b>	<b>2.3</b>	<b>0.56</b>	<b>1.1</b>
<b>Somme des 7 PCB</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>1.4</b>	<b>0.11</b>	<b>2.9</b>	<b>0.61</b>	<b>1.3</b>
<b>Somme des 6 PCB (x4,3)</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>4.4</b>	<b>0.41</b>	<b>10</b>	<b>2.4</b>	<b>4.8</b>

Rapport no. ULS17-002576-1  
Lyss, le 19.05.2017

Désignation d'échantillon			E6-S06	E3-S07 (partie grossière)
N° d'échantillon	Unité	LQ	17-071759-06	17-071759-03-1

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	4	84
---------------	---------	-----	---	----

**Préparation**

Quantité totale avant séchage	kg		0.55	
Quantité total après séchage	kg		0.023	
Partie fine < 2mm	kg			
Partie > 2 mm	kg			10.8

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	25000	7400
-------------------------------	----------	------	-------	------

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

***PCB selon OFEV S-12***

PCB n° 28	mg/kg MS	0.002	0.18	0.38
PCB n° 52	mg/kg MS	0.002	0.22	0.5
PCB n° 101	mg/kg MS	0.002	0.19	0.45
PCB n° 118	mg/kg MS	0.002	0.11	0.42
PCB n° 138	mg/kg MS	0.002	0.075	0.13
PCB n° 153	mg/kg MS	0.002	0.053	0.085
PCB n° 180	mg/kg MS	0.002	0.01	0.044
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>0.72</b>	<b>1.6</b>
<b>Somme des 7 PCB</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>0.84</b>	<b>2</b>
<b>Somme des 6 PCB (x4,3)</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>3.1</b>	<b>6.8</b>

Rapport no. ULS17-002576-1  
Lyss, le 19.05.2017

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	17-071759-01	17-071759-02	17-071759-03	17-071759-04	17-071759-05
Date de réception:	04.05.2017	04.05.2017	04.05.2017	04.05.2017	04.05.2017
Désignation	<b>E1-S09</b>	<b>E2-S09</b>	<b>E3-S07 (partie fine)</b>	<b>E4-S06</b>	<b>E5-S06</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	27.04.2017	27.04.2017	27.04.2017	27.04.2017	27.04.2017
Prélèvement par:	CSD FR	CSD FR	CSD FR	CSD FR	CSD FR
Début des analyses:	05.05.2017	05.05.2017	05.05.2017	05.05.2017	05.05.2017
Fin des analyses:	19.05.2017	19.05.2017	19.05.2017	19.05.2017	19.05.2017
Echantillon-n°	17-071759-06	17-071759-03-1			
Date de réception:	04.05.2017	04.05.2017			
Désignation	<b>E6-S06</b>	<b>E3-S07 (partie grossière)</b>			
Type d'échantillons:	Sol	Sol			
Prélèvement:	27.04.2017	27.04.2017			
Prélèvement par:	CSD FR	CSD FR			
Début des analyses:	05.05.2017	05.05.2017			
Fin des analyses:	19.05.2017	19.05.2017			

## Méthodes

### Paramètres

Matières sèches  
Carbone organique total sur mat. solide (combustion sèche)  
PCB - Méth. interne HAP-PCB adaptée de  
Tamisage de solides

### Norme

DIN ISO 11465<sup>A</sup>  
DIN ISO 10694 mod.<sup>A</sup>  
DIN ISO 10382<sup>A</sup>  
DIN ISO 11464<sup>A</sup>

### Laboratoire

Laboratoire Lyss CH (CH)  
Laboratoire Lyss CH (CH)  
Laboratoire Lyss CH (CH)  
Laboratoire Lyss CH (CH)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat  
G = gaz

Des compléments d'information sur les principes d'analyses, par exemple les incertitudes de mesure, sont disponibles sur demande.

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

## **Annexe 3.2**

### **Glissement de terrain à la décharge**

DÉCHARGE DE LA PILA  
SUITE DES DÉMARCHES EN RELATION AVEC  
LE PROJET D'ASSAINISSEMENT  
ANNEXE CHAPITRE 3.2 - GLISSEMENTS

Fribourg, le 12.06.2019  
FR2706.917

**CSD INGENIEURS SA**

Chantemerle 37 - Granges-Paccot

Case postale 384

CH-1701 Fribourg

t +41 26 460 74 74

f +41 26 460 74 79

e [fribourg@csd.ch](mailto:fribourg@csd.ch)

[www.csd.ch](http://www.csd.ch)



## TABLE DES MATIÈRES

<b>1. MÉTHODOLOGIE : MASSE DÉSTABILISÉE APRÈS UNE CRUE CENTENNALE</b>	<b>1</b>
1.1 Démarche	1
1.2 Données de base	1
1.3 Hypothèses	1
1.4 Étape 1 : Évaluation des masses potentiellement déstabilisées	2
1.5 Étape 2 : subdivision de la zone déstabilisée en secteurs	3
1.6 Étape 3 : Détermination de la teneur en PCB par secteur	6
1.6.1 Objectifs	6
1.6.2 Prélèvement	6
1.6.3 Préparation des échantillons composites	8
1.6.4 Teneur en PCB par secteur de glissement	10
1.7 Étape 4 : détermination de la masse de PCB présente dans les matériaux déstabilisés	11
1.8 Étape 5 : Évaluation de l'impact du glissement sur la Sarine pendant les premières 24 h après le glissement sur la base d'un essai de mise en suspension.	13
1.8.1 Essais de mise en suspension. Méthodologie	13
1.8.2 Résultats	15
1.9 Étape 6 : détermination du volume des matériaux déstabilisés et de la masse correspondante de PCB par fraction granulométrique.	16

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1	Echantillons composites solides prélevés	6
Tableau 1.2	Échantillons composites analysés.	10
Tableau 1.3	Comparaisons des teneurs en PCB sur des échantillons prélevés sur les secteurs « Talus Hot Spot » et « Zone Berlinoise »	10
Tableau 1.4	Résultats des teneurs en PCB par échantillon composite.	11
Tableau 1.5	Masse PCB dans les matériaux déstabilisés.	12
Tableau 1.6	Masse déchets déstabilisée et de PCB . Cf zones sur figure suivante.	16

## LISTE DES FIGURES

Figure 1-1	Plan de situation de la surface de glissement	2
Figure 1-2	Ligne de glissement déterminante en cas de crue centennale	3
Figure 1-3	Subdivision de la zone de glissement en 5 secteurs	4

Figure 1-4	Répartition spatiale des concentrations en PCB. Profils 1, 3 et 4, cf. situation des profils sur la figure précédente.	5
Figure 1-5	Préparation des échantillons composites. À gauche : échantillons pour l'essai de mise en suspension (chf. Chap. 1.8). À droite Préparation et analyse des échantillons solides	9
Figure 1-6	Zone de glissement avec estimation des masses de déchets déstabilisés et des masses de PCB dans les déchets.	12
Figure 1.7	A gauche : essais de mise en suspension pour échantillons A1A2 et B2B3. À droite : essais de mise en suspension pour échantillon C	14
Figure 1.8	Particules flottant sur la surface d'eau 1 h, 6h et 24 h après avoir remué l'eau avec l'échantillon solide au fond du seau.	14
Figure 1.9	Essais de mise en suspension : PCB dissous	15
Figure 1.10	Essais de mise en suspension : Évolution dans le temps de la masse de particules dans les échantillons et les concentrations en PCB dans les particules.	15

## ANNEXES

Annexe A	Rapport WEssling : analyses des échantillons composites prélevés dans la zone de glissement	20
Annexe B	Synthèse des résultats d'analyse des échantillons composites	21
Annexe C	Résultats d'analyse de l'essais de mise en suspension	22
Annexe D	Calcul du volume de la masse déstabilisée, la masse PCB en fonction de la granulométrie	23

## PRÉAMBULE

CSD confirme par la présente avoir exécuté son mandat avec la diligence requise. Les résultats et conclusions sont basés sur l'état actuel des connaissances tel qu'exposé dans le rapport et ont été obtenus conformément aux règles reconnues de la branche.

CSD se fonde sur les prémisses que :

- le mandant ou les tiers désignés par lui ont fourni des informations et des documents exacts et complets en vue de l'exécution du mandat,
- les résultats de son travail ne seront pas utilisés de manière partielle,
- sans avoir été réexaminés, les résultats de son travail ne seront pas utilisés pour un but autre que celui convenu ou pour un autre objet ni transposés à des circonstances modifiées.

Dans la mesure où ces conditions ne seraient pas remplies, CSD déclinera toute responsabilité envers le mandant pour les dommages qui pourraient en résulter.

Si un tiers utilise les résultats du travail ou s'il fonde des décisions sur ceux-ci, CSD décline toute responsabilité pour les dommages directs et indirects qui pourraient en résulter.



## 1. Méthodologie : Masse déstabilisée après une crue centennale

### 1.1 Démarche

L'étude des flux solides susceptibles d'atteindre la Sarine a été menée par étapes :

1. Évaluation des masses potentiellement déstabilisées suite à une crue centennale : étude de stabilité de la pente dans la zone haute.
2. Subdivision de la zone déstabilisée en secteurs de contamination en PCB similaires, en fonction de la répartition spatiale des PCB (géostatistique 3D, 2010).
3. Échantillonnage de matériaux solides dans les secteurs. Détermination de la teneur totale en PCB
4. Calcul de la masse de PCB dans chaque secteur.
5. Évaluation de l'impact du glissement sur la Sarine pendant les premières 24 h après le glissement basée sur un essai de mise en suspension.

### 1.2 Données de base

Le calcul de la masse totale déstabilisée suite à une crue centenaire se base sur les données suivantes :

1. Topographie de la zone haute.
2. Étude géostatistique de la répartition spatiale des PCB, 2010
3. Résultats d'analyses des matériaux prélevés dans les forages effectués dans la zone de glissement
4. Informations et résultats d'analyses issus des mesures urgentes d'assainissement dans les zones de glissement (nommés « zone hot spot » et « zone Berlinoise ») et des berges.
5. Observations visuelles de la présence de condensateurs proches de la surface dans la zone de glissement.
6. Échantillons solides composites prélevés dans la zone de glissement (cf. chap. 1.6).

### 1.3 Hypothèses

La masse déstabilisée a été calculée pour une ligne d'eau à 569 msm, calculée (modèle HEC-RAS) pour une crue de temps de retour 100 ans.

## 1.4 Étape 1 : Évaluation des masses potentiellement déstabilisées

Le plan suivant présente la surface de glissement potentiel causé par une déstabilisation consécutive à une crue centennale.

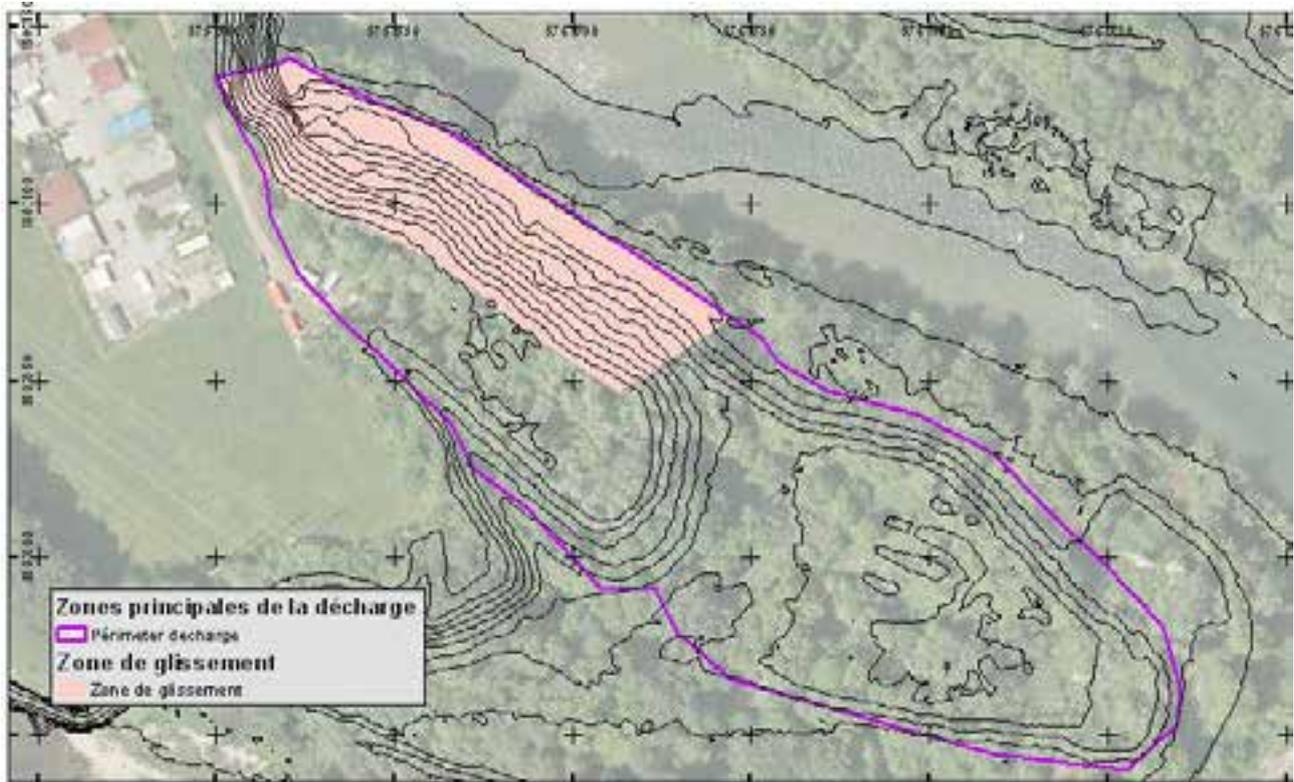


Figure 1-1 Plan de situation de la surface de glissement

Les paramètres des remblais de la décharge ont été fixés par rétro-analyse en supposant la stabilité des pentes selon leur configuration actuelle. Les paramètres des autres formations ont été déterminés sur la base de nos connaissances de ce type de terrains. La ligne de rupture potentielle des terrains a été déterminée sur la base d'un calcul avec le logiciel LARIX-5S (méthode des tranches) en considérant un niveau d'eau à 569 m.s.m et une perte de butée en pied de talus (cf. Figure 1-2). Elle correspond à la ligne de glissement avec le coefficient de sécurité le plus faible

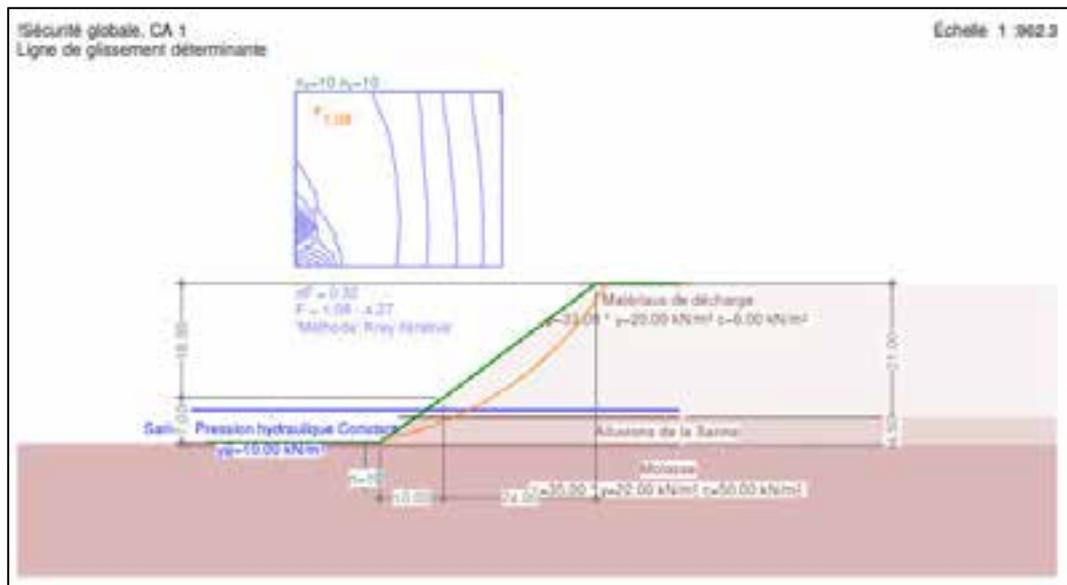


Figure 1-2 Ligne de glissement déterminante en cas de crue centennale

Au total, une masse de déchets d'un volume de **22'000 m<sup>3</sup>** est déstabilisée sur la zone haute :

## 1.5 Étape 2 : subdivision de la zone déstabilisée en secteurs

En se basant sur les résultats de l'étude géostatistique de la répartition spatiale des teneurs en PCB ainsi que sur les résultats des échantillons composites prélevés dans la zone de glissement, la surface de glissement a été subdivisée en 5 secteurs sur la base des hypothèses suivantes :

1. Degré de contamination par le PCB similaire au sein d'un secteur
2. Importance de la présence de condensateurs

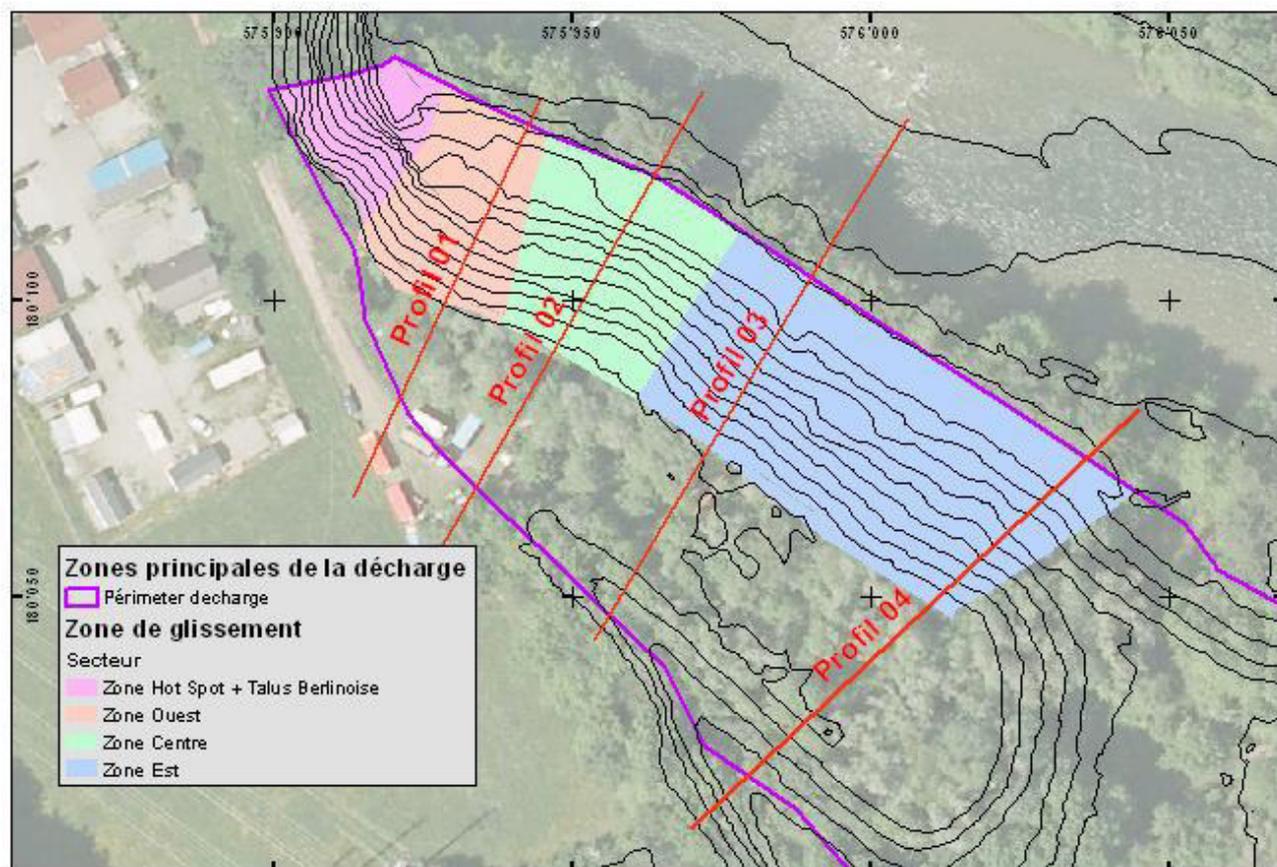


Figure 1-3 Subdivision de la zone de glissement en 5 secteurs

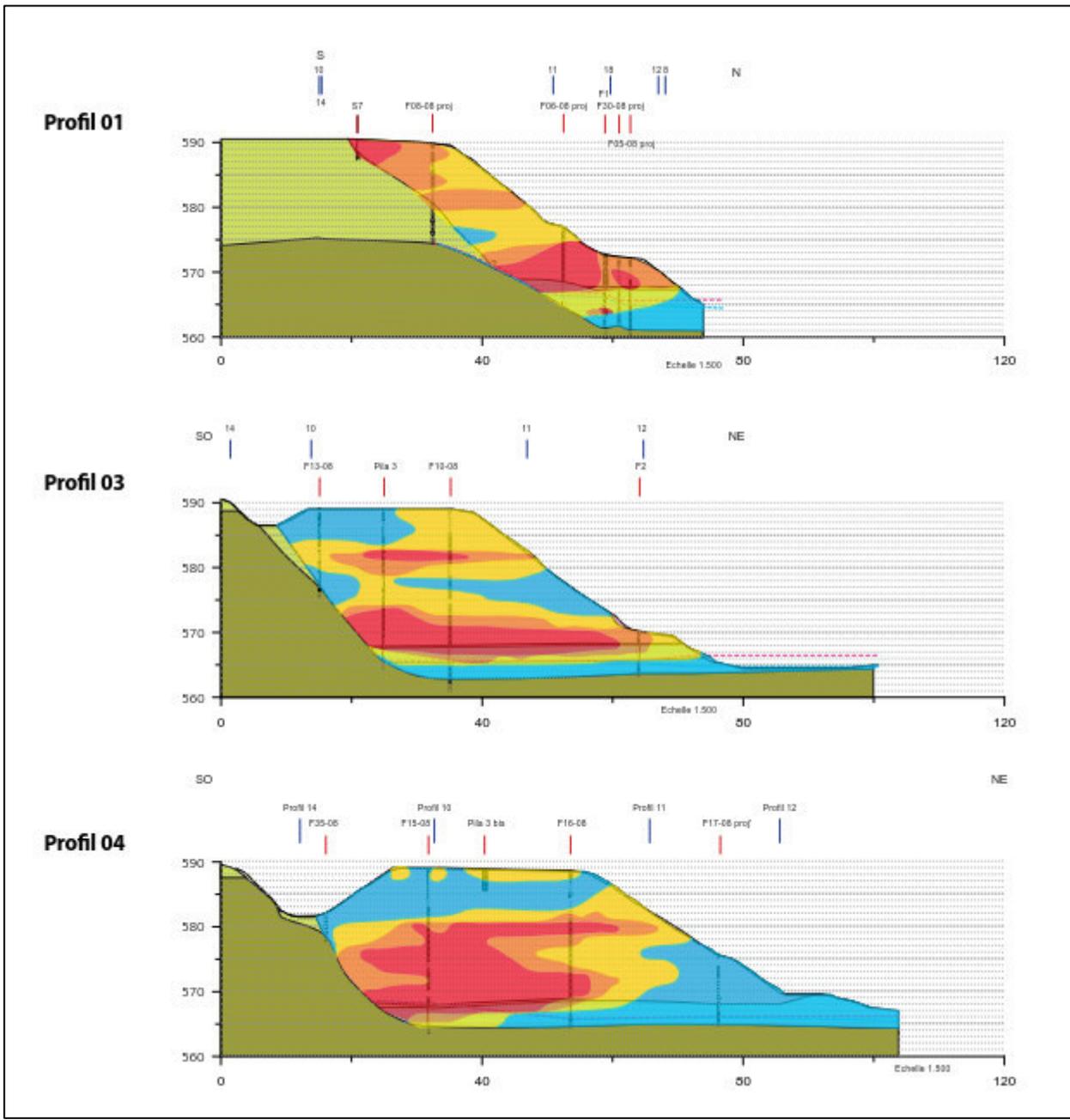


Figure 1-4 Répartition spatiale des concentrations en PCB. Profils 1, 3 et 4, cf. situation des profils sur la figure précédente.

## 1.6 Etape 3 : Détermination de la teneur en PCB par secteur

### 1.6.1 Objectifs

Des échantillons solides ont été prélevés dans les différents secteurs du glissement potentiel avec les objectifs suivants :

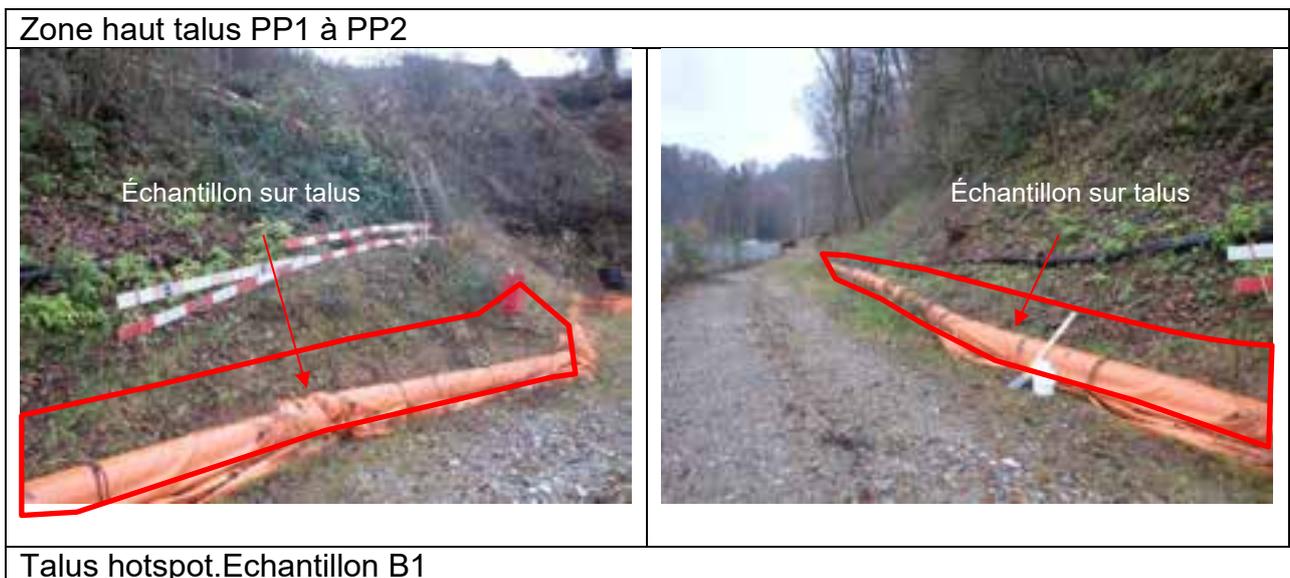
1. Détermination de la teneur totale en PCB et du COT en fonction de 3 fractions granulométriques < 2mm, 2-8 mm et > 8 mm.
2. Essais de mise en suspension d'échantillon solide pour évaluer le potentiel de libération de PCB sous forme dissoute et particulaire immédiatement après le glissement dans le cours d'eau.

### 1.6.2 Prélèvement

Des échantillons composites ont été prélevés dans les secteurs suivants :

	Nom échantillons	Secteur	Description	Profondeur prélèvement	Quantité
A1	Haut talus décharge PP1 à PP2	Zone Ouest et Centre	Déchets : verre, plastique, 1 condensateur entier dans l'échantillon PP1 à PP2, briques, etc.	0.2 m en moyenne	15-20 kg
A2	Haut talus décharge PP2 à PP3	Zone Est	Déchets : verre, plastique, briques, etc.	0.2 m en moyenne	15-20 kg
B1	Talus hotspot (0-0.1m)	Talus Hot Spot	Terre végétale avec petite fraction minérale	3 cm en moyenne	15-20 kg
B2	Talus berlinoise (0-0.1m)	Zone Berlinoise	Terre végétale, fraction minérale 7 cm	3 cm en moyenne	15-20 kg
B3	Fond talus berlinoise (0 – 0.1 m)	Zone Berlinoise	Terre végétale, fraction minérale 7 cm	3 cm en moyenne	15-20 kg

Tableau 1.1 Echantillons composites solides prélevés







### 1.6.3 Préparation des échantillons composites

Afin de réduire le nombre d'échantillons, en raison de la nature similaire des déchets prélevés, des composites d'échantillons ont été formés. Lors de cette procédure les condensateurs entiers et des morceaux visibles de condensateurs ont été enlevés. La procédure de préparation des échantillons pour l'analyse des teneurs totales en PCB et pour le test de mise en suspension est présentée schématiquement ci-dessous :

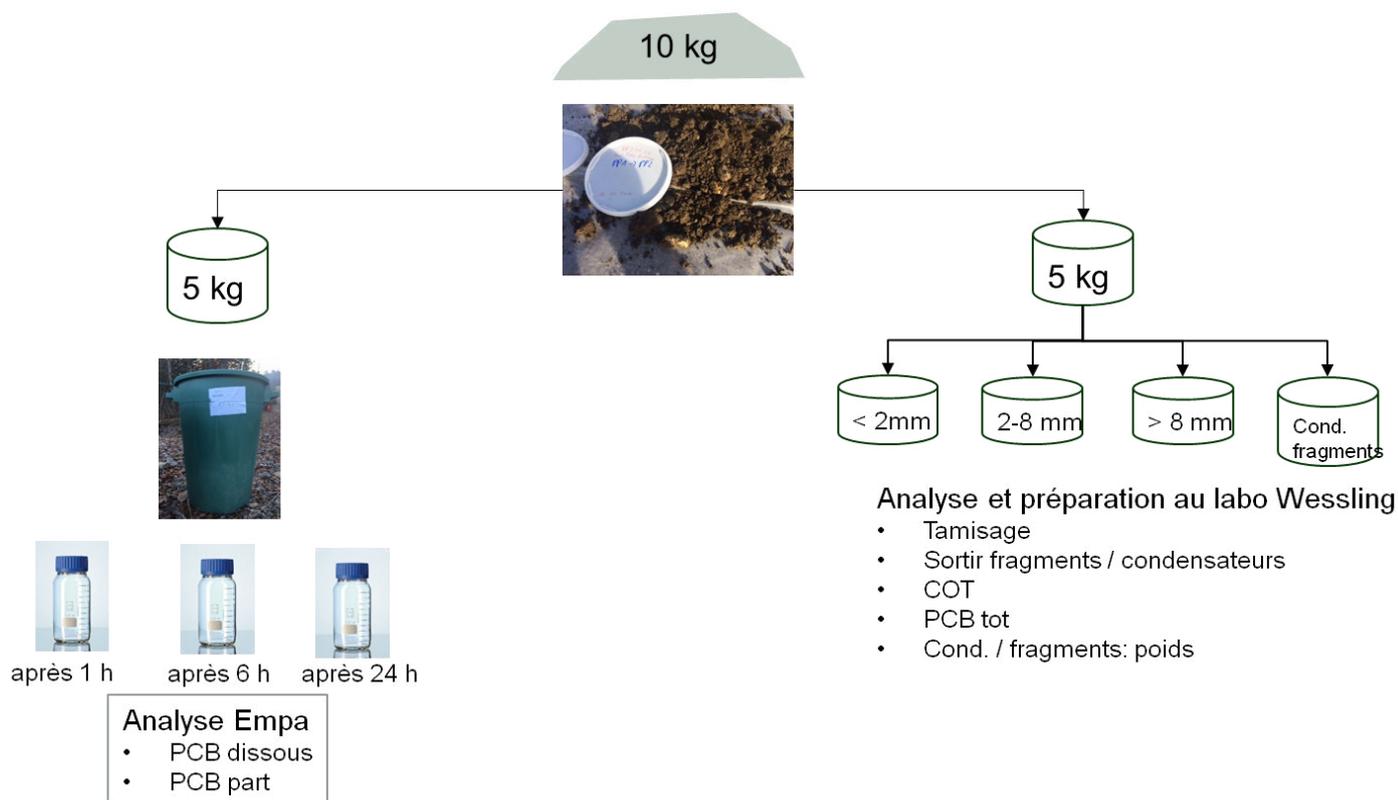


Figure 1-5 Préparation des échantillons composites. À gauche : échantillons pour l'essai de mise en suspension (chf. Chap. 1.8). À droite Préparation et analyse des échantillons solides

### Étapes de préparation des échantillons pour analyse :

Étape	Démarche	Nom échantillon
Réduction d'échantillons	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Homogénéisation (à la main) de chaque échantillon A1, A2, B2 et B3</li> <li>2. Prendre de chaque échantillon 10 kg.</li> <li>3. Mélanger les échantillons A1 et A2. Diviser en 2 (= 2x10 kg).</li> <li>4. Idem pour les échantillons B2 et B3.</li> </ol>	A1A2 B2B3
Échantillon de condensateurs	Échantillon composé de 1 kg de condensateurs à 50 g / condensateur	C
Partage des échantillons	Partage des échantillons en 3 : <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 10 kg : réserve</li> <li>2. 5 kg : pour analyse teneur totale en PCB</li> <li>3. 5 kg : pour essais mis en suspension</li> </ol>	A1A2 B2B3
Préparation avant analyse de l'échantillon et analyse	Préparation de l'échantillon par le laboratoire Wessling : <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Homogénéisation de l'échantillon</li> <li>2. Tamisage (3 fractions granulométriques) : &lt;2mm, 2-8 mm, &gt; 8 mm.</li> <li>3. Contrôle visuel : enlever à la main les déchets de condensateurs. Pesage des déchets</li> <li>4. Homogénéisation des fractions granulométriques</li> </ol> Analyse de la teneur totale en PCB. LQ = 0.01 mg/kg	A1A2, B2B3
Essais de mise en suspension	3 échantillons : Cf. chap. 1.8	A1A2 à 5 kg B2B3 à 5 kg C à 1 kg

En fonction des connaissances sur l'importance de la présence de condensateurs dans chaque secteur (cf. étude géostatistique 2010) celles-ci seront prises en compte dans le calcul de la teneur totale en PCB.

Échantillon	Composite	Secteur	Teneur en PCB retenue
A1A2	Composite des échantillons A1 et A2	Zone Ouest et Centre	Teneur en PCB + PCB dans 1 condensateur
		Zone Est	Teneur en PCB + PCB dans un bout de condensateur (correspond à 2% d'un condensateur)
B2B3	Composite des échantillons B2 et B3	Zone Berlinoise	2-3 condensateurs dans un échantillon de 15-20 kg
B1	Non analysé. Référence :	Zone Berlinoise	

Tableau 1.2 Échantillons composites analysés.

L'échantillon B1, représentatif de la Zone Berlinoise, n'a pas été analysé pour la raison suivante : une comparaison des analyses effectués sur des échantillons prélevés en fond de fouille et sur les matériaux excavés lors des travaux d'assainissement urgentes en 2013 a permis de démontrer que la teneur totale en PCB de l'échantillon B2B3 est similaire à celle du fond de fouille :

Secteur	Echantillon	Teneur PCB ( $4.3 * \sum 6\text{PCB}$ [mg/kg])
Talus Hot Spot	Fond de fouille 2013	1'100
Talus Berlinoise	Matériaux excavés	1'017
	Echantillon B2B3	966

Tableau 1.3 Comparaisons des teneurs en PCB sur des échantillons prélevés sur les secteurs « Talus Hot Spot » et « Zone Berlinoise »

Les teneurs relativement proches l'une de l'autre ont permis de retenir une teneur de 1'100 mg/kg PCB pour la zone Berlinoise.

Le rapport d'analyse ainsi qu'une synthèse des résultats se trouvent en Annexe A et Annexe B.

#### 1.6.4 Teneur en PCB par secteur de glissement

Le tableau suivant résume les teneurs en PCB en fonction des fractions granulométriques < 2 mm et > 2 mm. La fraction > 2 mm englobe également les condensateurs et les déchets de condensateurs.

Le tableau indique également les secteurs de glissement pour lesquels l'échantillon composite est représentatif.

<b>Echantillon A1A2</b>		<b>Zone ouest + centre</b>		<b>Zone est*</b>	
		fraction < 2 mm	fraction > 2 mm	fraction < 2 mm	fraction > 2 mm
			avec 1 condensateur		avec 2% condensateur
<b>Poids après séchage</b>	g	804	3'281	804	3'232
<b>Teneur 4.3Σ6 PCB</b>	mg/kg	17	339	17	28
<b>Teneur total 4.3Σ6 PC</b>	mg/kg	276		26	

\* Zone Est : malgré la présence d'un condensateur dans l'échantillon, les forages / fouilles montrent des teneurs nettement inférieure à la teneur calculée avec un condensateur entier. Calcul effectué: 2% condensateur

<b>Echantillon B2B3</b>		<b>Zone talus Berlinoise</b>	
		fraction < 2 mm	fraction > 2 mm
			Estimation: 2.25 condensateurs
<b>Poids après séchage</b>	g	1'773	2672
<b>Teneur 4.3Σ6 PCB</b>	mg/kg	488	1'283
<b>Teneur total 4.3Σ6 PC</b>	mg/kg	966	

Tableau 1.4 Résultats des teneurs en PCB par échantillon composite.

## 1.7 Étape 4 : détermination de la masse de PCB présente dans les matériaux déstabilisés

La masse de PCB présente dans les matériaux potentiellement déstabilisés par un glissement a été déterminée de manière suivante :

### Base de calcul

1. Masse des matériaux par secteur. En [kg] → Tableau 1.6
2. Teneur moyenne en PCB par secteur. En [mg/kg] → Tableau 1.4
3. Volume massique : 1'600 kg/m<sup>3</sup>

Calcul :  $Masse\ PCB\ [kg] = teneur\ PCB\ \left[\frac{mg}{kg}\right] \times volume\ matériaux\ [m^3] \times 1'600\ \left[\frac{kg}{m^3}\right] \times 10^{-6}$

Secteurs	Référence pour concentration.	Concentrations moyenne	Volume glissement	Masse déchets glissés	Masse PCB glissés
		[mg/kg]	[m <sup>3</sup> ]	[kg]	[kg]
Talus Berlinoise	Ech. B2B3	966	200	320'000	309
Talus Hot Spot	Ech. Fond de fouille 2013	1'100	629	1'006'530	1'107
Zone ouest	Ech.. A1A2 + 1 condens.	276	3'352	5'363'040	1'478
Zone centre	Ech.. A1A2 + 1 condens.	276	5'724	9'159'018	2'525
Zone est	Ech. A1A2 + 2% condens.	26	12'494	19'989'927	511
<b>TOTAL (arrondi à 100)</b>			<b>22'400</b>	<b>35'838'500</b>	<b>5'900</b>

Tableau 1.5 Masse PCB dans les matériaux déstabilisés.

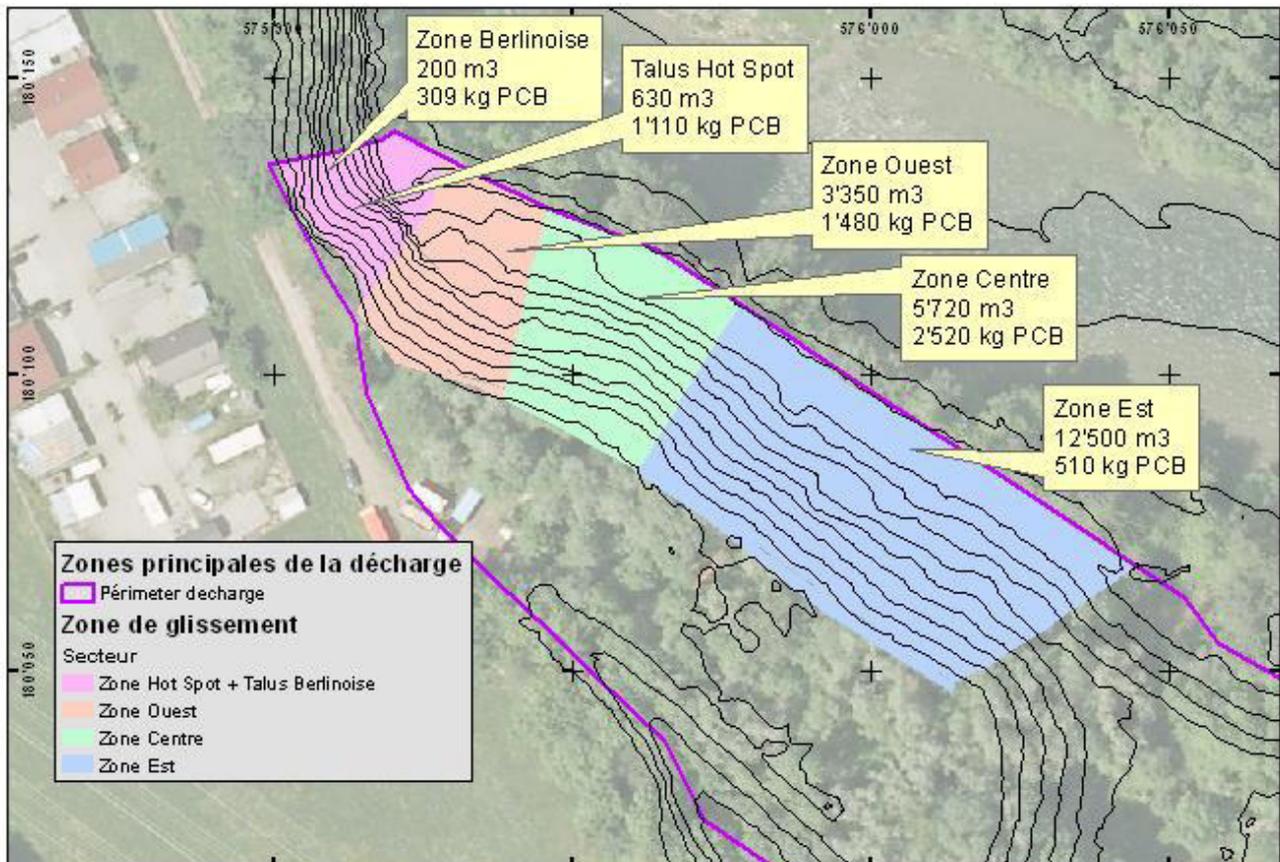


Figure 1-6 Zone de glissement avec estimation des masses de déchets déstabilisés et des masses de PCB dans les déchets.

Le tableau suivant présente la distribution de la masse de PCB en fonction de la fraction granulométrique. On observe que la masse de PCB se concentre principalement dans la fraction > 2 mm ce qui est majoritairement lié aux condensateurs pris en compte.

Base de calcul :

1. Fraction granulométrique : pourcentage massique de la fraction < 2mm et > 2mm selon les résultats d'analyse des échantillons A1A2 et B2B3 (cf. Annexe A et Annexe B) :

$$\%age\ massique\ de\ la\ fraction\ x\ [\%] = \frac{poid\ de\ la\ fraction\ x\ [g]}{poid\ de\ l'\acute{e}chantillon\ [g]}$$

2. Teneurs en PCB de chaque fraction granulométrique → Tableau 1.4
3. Masse de matériaux glissés par secteur → Tableau 1.5

Calcul :

$$\begin{aligned} &Masse\ PCB\ par\ fraction\ x\ [kg] \\ &= \%age\ massique\ de\ la\ fraction\ x\ masse\ matériaux\ [g] \times concentration\ PCB\ de\ la\ fraction\ x \end{aligned}$$

	Echantillon	%age masse		PCB fraction < 2mm	PCB fraction > 2 mm	Masse PCB		
		Fraction < 2mm	Fraction > 2 mm	mg/kg	mg/kg	Fraction < 2mm	Fraction > 2 mm	Total
Talus Berlinoise	Ech. B2B3	40%	60%	488	1283	62	247	309
Talus Hot Spot*	Ech. Fond de fouille 2013	40%	60%	1100	1100	442	666	1'107
Zone ouest	Ech.. A1A2 + 1 condens.	20%	80%	17	339	17	1'461	1'478
Zone centre	Ech.. A1A2 + 1 condens.	20%	80%	17	339	30	2'495	2'525
Zone est	Ech. A1A2 + 2% condens.	20%	80%	17	28	65	447	512
<b>TOTAL (arrondi à 100)</b>						<b>600</b>	<b>5'300</b>	<b>5'900</b>

\* fraction granul. non déterminée: Hypothèse: correspond à talus hot Spot

## 1.8 Étape 5 : Évaluation de l'impact du glissement sur la Sarine pendant les premières 24 h après le glissement sur la base d'un essai de mise en suspension.

### 1.8.1 Essais de mise en suspension. Méthodologie

La méthodologie des essais de mise en suspension se réfère à la directive du Canton de Zurich « Methoden zur Untersuchung von belasteten Standorten in Seen » du laboratoire de la protection des eaux du « Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL, oct. 2016). Celle-ci tient compte des impacts (p.ex. ancrage, terrassement, glissement) et de la libération de polluant.

Après consultation du laboratoire de la protection des eaux un essai similaire a été effectué sur les échantillons composites prélevés dans la zone de glissement (cf. chap. 1.6) et sur un échantillon composé uniquement de condensateurs selon la procédure suivante :

1. Essai sur les 3 échantillons A1A2, B2B3, 1 échantillon condensateur (C1) : → Total : 3 échantillons
2. Emplacement pour l'essai: sur la décharge, proche de la Sarine, dans un endroit sécurisé comme par exemple derrière les palplanches.
3. Dilution : W/S : 10 (pour échantillon C (condensateurs) : W/S :50)
  - a. 5 kg échantillon dans un seau (volume 70-100 l).
  - b. Ajout de 45 l eaux de la Sarine
4. Remuer env. 3 min, puis décantation
5. Prélèvement d'eau après 1 h, 6 h, 24 h. Bouteilles de 2.5 l → 12 échantillons

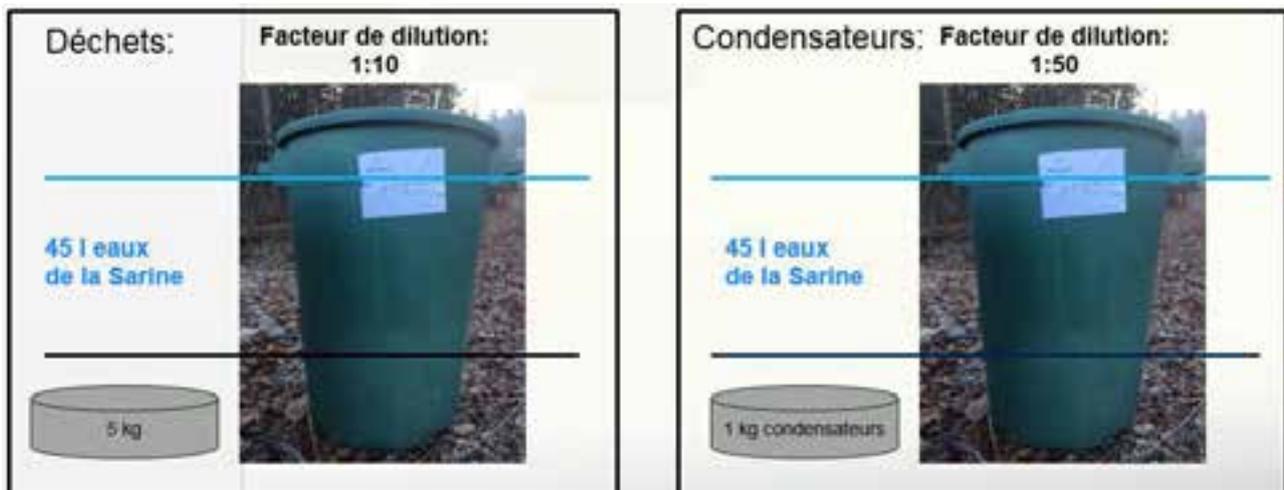


Figure 1.7 A gauche : essais de mise en suspension pour échantillons A1A2 et B2B3. À droite : essais de mise en suspension pour échantillon C



Figure 1.8 Particules flottant sur la surface d'eau 1 h, 6h et 24 h après avoir remué l'eau avec l'échantillon solide au fond du seau.

## **Programme d'analyse :**

1. PCB dissous
2. PCB particulaire : du fait que les échantillons présentaient des particules de grande taille, les analyses ont porté sur les particules  $> 1.4 \text{ mm}$  et  $> 0.45 \text{ }\mu\text{m}$ .

Les résultats d'analyse se trouvent en Annexe C.

1.8.2 Résultats

PCB dissous



Figure 1.9 Essais de mise en suspension : PCB dissous

Constat : les teneurs en PCB dissous augmentent pour l'échantillon fortement contaminé en PCB (B2B3) en fonction du temps, mais pas pour l'échantillon le plus concentré en PCB, c'est-à-dire les condensateurs (C1).

PCB particulaire

On observe non seulement une diminution importante de la masse particulaire (sédimentation) mais aussi une réduction des teneurs en PCB sur les particules.

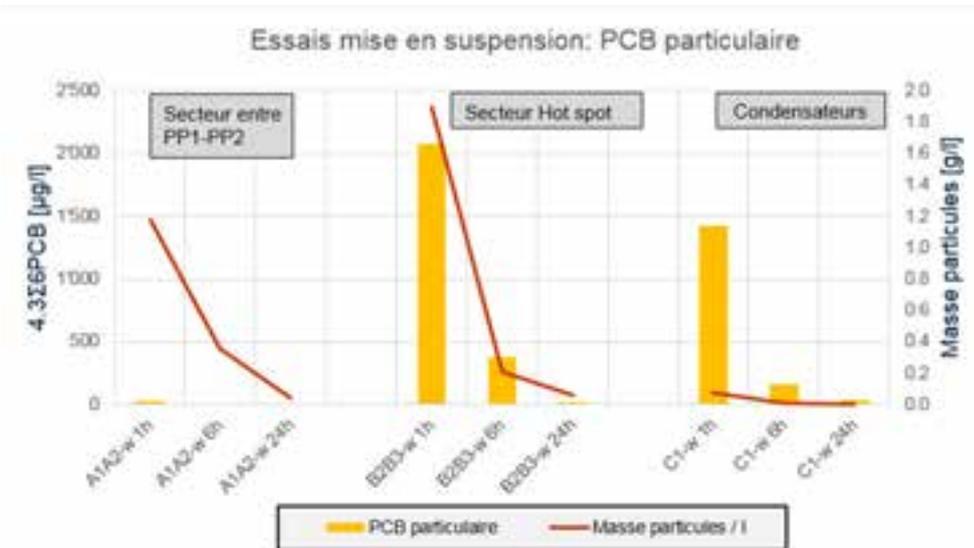


Figure 1.10 Essais de mise en suspension : Évolution dans le temps de la masse de particules dans les échantillons et les concentrations en PCB dans les particules.

## 1.9 Étape 6 : détermination du volume des matériaux déstabilisés et de la masse correspondante de PCB par fraction granulométrique.

L'Annexe D comprend le détail des calculs pour les paramètres suivants :

1. Volume de la masse déstabilisée après une crue centennale, réparti sur les 5 secteurs selon étape 1 (cf. chap. 1.4).
2. La masse de PCB dans cette masse de déchets.
3. La masse de PCB en fonction de la fraction granulométrique <2mm et > 2 mm.

Secteur	Caractéristiques	Volume [m3]	Masse de déchets [kg]
Talus Berlinoise	Présence de déchets hautement contaminés par les PCB, présence importante de condensateurs	200	300'000
Zone Hot spot	Présence de déchets hautement contaminés par les PCB, présence importante de condensateurs	630	1'000'000
Zone Ouest	Présence de déchets hautement contaminés par les PCB, présence de condensateurs (visible à la surface)	3'350	5'350'000
Zone Centre	Idem zone ouest	5'700	9'200'000
Zone Est	Présence de déchets contaminés avec peu de condensateurs	12'500	20'000'000
<b>TOTAL</b>		<b>22'400</b>	<b>36'000'000</b>

Tableau 1.6 Masse déchets déstabilisée et de PCB . Cf zones sur figure suivante.





**ANNEXE A**

**RAPPORT WESSLING : ANALYSES DES  
ÉCHANTILLONS COMPOSITES PRÉLEVÉS DANS LA  
ZONE DE GLISSEMENT**



WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Madame Alexandra Fröhlich  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-05859-16  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 23.12.2016**

## **Rapport no. ULS16-007171-1**

### **Décharge de la Pila - Simulation Glissement FR2706.916 Fribourg**



ISO/IEC 17025

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

ΚΥΠΡΟΚΑΤΑΛΟΓΟΣ 6-1, ΟΡΘΟΡ  
 ΟΣΣΩΕΠΙ & ΕΠΙ 6

Désignation d'échantillon			A1A2-s < 2mm	A1A2-s 2-8 mm	A1A2-s >8 mm	B2B3-s < 2mm	B2B3-s 2-8mm
N° d'échantillon	Unité	LQ	16-202363-01	16-202363-01-1	16-202363-01-2	16-202363-02	16-202363-02-1

**Propriétés générales**

Matière sèche	Gew% MB	0.1	81	81	81	83	83
---------------	---------	-----	----	----	----	----	----

**Préparation**

Poids total avant séchage	g		4995.3			5218.1	
Poids total après séchage	g		803.5	1940.5	1290.9	1773.2	1562.9
Poids des fragments	g				0.261		

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	23000	23000	17000	28000	21000
Carbone inorganique total (CIT)	mg/kg MS	1000	19000	15000	30000	20000	37000

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

**PCB selon OFEV S-12**

PCB n° 28	mg/kg MS	0.01	0.38	0.44	0.099	1.8	1.1
PCB n° 52	mg/kg MS	0.01	1.2	1.7	0.27	20	13
PCB n° 101	mg/kg MS	0.01	1.1	1.5	0.23	38	24
PCB n° 118	mg/kg MS	0.01	0.54	0.83	0.2	29	13
PCB n° 138	mg/kg MS	0.01	0.47	0.54	0.15	29	14
PCB n° 153	mg/kg MS	0.01	0.54	0.53	0.099	21	10
PCB n° 180	mg/kg MS	0.01	0.15	0.086	0.025	3.6	1.7
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>3.8</b>	<b>4.8</b>	<b>0.88</b>	<b>110</b>	<b>65</b>
<b>Somme des 7 PCB</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>4.4</b>	<b>5.6</b>	<b>1.1</b>	<b>140</b>	<b>77</b>
<b>Somme des 6 PCB (x4,3)</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>16</b>	<b>21</b>	<b>3.8</b>	<b>480</b>	<b>280</b>

- K/VořmofWf r 6-, Cr Cr -r  
 C\$ss%eñ &r! N , r 6

Désignation d'échantillon			B2B3-s >8mm	B1-s < 2mm	B1-s 2-8mm	B1-s >8 mm
N° d'échantillon	Unité	LQ	16-202363-02-2	16-202363-03	16-202363-03-1	16-202363-03-2

#### Propriétés générales

Matière sèche	Gew% MB	0.1	83	80	80	80
---------------	---------	-----	----	----	----	----

#### Préparation

Poids total avant séchage	g			5884.5		
Poids total après séchage	g		983.8	1839	1672.9	1162.6
Poids des fragments	g					

#### Paramètres organiques globaux

Carbone organique total (COT)	mg/kg MS	1000	19000			
Carbone inorganique total (CIT)	mg/kg MS	1000	45000			

#### Substances organiques moyennement et peu volatiles

##### PCB selon OFEV S-12

PCB n° 28	mg/kg MS	0.01	0.54			
PCB n° 52	mg/kg MS	0.01	5.2			
PCB n° 101	mg/kg MS	0.01	7.9			
PCB n° 118	mg/kg MS	0.01	4.2			
PCB n° 138	mg/kg MS	0.01	3.9			
PCB n° 153	mg/kg MS	0.01	3.2			
PCB n° 180	mg/kg MS	0.01	0.64			
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>21</b>			
<b>Somme des 7 PCB</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>26</b>			
<b>Somme des 6 PCB (x4,3)</b>	<b>mg/kg MS</b>		<b>92</b>			

Rapport no. ULS16-007171-1  
Lyss, le 23.12.2016

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-202363-01	16-202363-01-1	16-202363-01-2	16-202363-02	16-202363-03
Date de réception:	14.12.2016	14.12.2016	14.12.2016	14.12.2016	14.12.2016
<b>Désignation</b>	<b>A1A2-s &lt; 2mm</b>	<b>A1A2-s 2-8 mm</b>	<b>A1A2-s &gt;8 mm</b>	<b>B2B3-s &lt; 2mm</b>	<b>B1-s &lt; 2mm</b>
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	17.11.2016	17.11.2016	17.11.2016	17.11.2016	17.11.2016
Prélèvement par:	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg
Début des analyses:	14.12.2016	14.12.2016	14.12.2016	14.12.2016	14.12.2016
Fin des analyses:	23.12.2016	23.12.2016	23.12.2016	23.12.2016	23.12.2016
Echantillon-n°	16-202363-02-1	16-202363-02-2	16-202363-03-1	16-202363-03-2	
Date de réception:	14.12.2016	14.12.2016	14.12.2016	14.12.2016	
<b>Désignation</b>	<b>B2B3-s 2-8mm</b>	<b>B2B3-s &gt;8mm</b>	<b>B1-s 2-8mm</b>	<b>B1-s &gt;8 mm</b>	
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	
Prélèvement:	17.11.2016	17.11.2016	17.11.2016	17.11.2016	
Prélèvement par:	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg	
Début des analyses:	14.12.2016	14.12.2016	14.12.2016	14.12.2016	
Fin des analyses:	23.12.2016	23.12.2016	23.12.2016	23.12.2016	

## Méthodes

### Paramètres

Matières sèches  
Tamisage  
PCB - Méth. interne HAP-PCB adaptée de  
Carbone organique total sur mat. solide (combustion sèche)  
Homogenisierung

### Norme

DIN ISO 11465<sup>A</sup>  
méthode interne  
DIN ISO 10382<sup>A</sup>  
DIN ISO 10694 mod.<sup>A</sup>  
WES 092<sup>A</sup>

### Laboratoire

Laboratoire Lyss CH (CH)  
Laboratoire Lyss CH (CH)  
Laboratoire Lyss CH (CH)  
Laboratoire Lyss CH (CH)  
Laboratoire Lyss CH (CH)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat  
G = gaz

Des compléments d'information sur les principes d'analyses, par exemple les incertitudes de mesure, sont disponibles sur demande.

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

**ANNEXE B            SYNTHÈSE DES RÉSULTATS D'ANALYSE DES  
ÉCHANTILLONS COMPOSITES**



<b>A1A2</b>									
<b>Référence pour les Zones Ouest et Centre :</b>		fraction < 2 mm	fraction > 2 mm			<b>zone ouest + centre</b>		<b>zone est</b>	
		<b>A1A2-s &lt; 2mm</b>	<b>A1A2-s 2-8 mm</b>	<b>A1A2-s &gt;8 mm</b>	<b>Fragments *</b>	<b>Condensateur entier *</b>		<b>2% d'un condensateur</b>	
<b>Poids avant séchage</b>	g	4995.3			Condensateur papier	1 cond. entier			
<b>Poids après séchage</b>	g	803.5	1940.5	1290.5	0.261	50	4084.8	1.0	4035.8
<b>Teneurs PCB</b>						<b>Teneur totale</b>		<b>Teneur totale</b>	
<b>28</b>	mg/kg	0.38	0.44	0.099	552	183	2.59	183	0.40
<b>52</b>	mg/kg	1.2	1.7	0.27	5690	1570	20.71	1570	1.90
<b>101</b>	mg/kg	1.1	1.5	0.23	6190	1440	19.02	1440	1.77
<b>118</b>	mg/kg	0.54	0.83	0.2	6020	1570	20.17	1570	1.35
<b>138</b>	mg/kg	0.47	0.54	0.15	4680	851	11.11	851	0.91
<b>153</b>	mg/kg	0.54	0.53	0.099	3850	720	9.45	720	0.82
<b>180</b>	mg/kg	0.15	0.086	0.025	569	90.3	1.22	90.3	0.14
<b>Teneur Σ6 PCB</b>	mg/kg	4	5	1	21'531	4'854	64	4'854	5.94
<b>Teneur 4.3Σ6 PCB</b>	mg/kg	16.5	20.6	3.8	92'583	20'873	276	20'873	25.6
<b>Teneur Σ7 PCB</b>	mg/kg	4.4	5.6	1.1	27'551	6'424	84.3		
<b>COT</b>	mg/kg	23000	23000	17000			21079		
<b>CIT</b>	mg/kg	19000	15000	30000			20593		

Teneurs totales (\*: les teneurs pour les fragments proviennent de l'analyse condensateur papier de l'ID 2008)

Zone Est : malgré la présence d'un condensateur dans l'échantillon, les forages / fouilles montrent des teneurs nettement inférieures à la teneur calculée avec un condensateur entier. Calcul effectué: 2% condensateur

<b>B2B3</b>							
<b>Référence pour: Zone talus berlinoise</b>		<b>B2B3-s &lt; 2mm</b>	<b>B2B3-s 2-8 mm</b>	<b>B2B3-s &gt;8 mm</b>	<b>Fragments *</b>	<b>Condensateur entier</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Poids avant séchage</b>	g	5218				* Estimation: 2.25 condensateurs	
<b>Poids après séchage</b>	g	1773	1563	984	-	125	4445.0
<b>Teneurs PCB</b>						<b>Teneur totale</b>	
<b>28</b>	mg/kg	1.8	1.1	0.54		183	6.4
<b>52</b>	mg/kg	20	13	5.2		1570	57.9
<b>101</b>	mg/kg	38	24	79		1440	81.6
<b>118</b>	mg/kg	29	13	4.2		1570	61.2
<b>138</b>	mg/kg	29	14	3.9		851	41.3
<b>153</b>	mg/kg	21	10	3.2		720	32.8
<b>180</b>	mg/kg	3.6	1.7	0.64		90.3	4.7
<b>Teneur Σ6 PCB</b>	mg/kg	113.4	63.8	92.48		4854.3	224.6
<b>Teneur 4.3 Σ6 PCB</b>		487.62	274.34	397.664		20873.49	966.0
<b>Teneur Σ7 PCB</b>	mg/kg	140	77	26		6424.3	285.9
<b>COT</b>	mg/kg	28000	21000	19000			22'759
<b>CIT</b>	mg/kg	20000	37000	45000			30'950

\* L'échantillon n'a pas pris en considération la présence de condensateurs et déchets condensateurs. Pour que la teneur total correspond à la teneur fdf de 2013 un nombre de condensateurs a été ajouté par calcul

**ANNEXE C**

**RÉSULTATS D'ANALYSE DE L'ESSAIS DE MISE EN  
SUSPENSION**



Empa  
Überlandstrasse 129  
CH-8600 Dübendorf  
T: +41 58 765 11 11  
F: +41 58 765 11 22  
www.empa.ch

Frau Alexandra Fröhlicher  
CSD Ingenieurbüro SA  
Chantermerle 37 – Granges-Paccot  
Case postale 384  
CH-1701 Fribourg

## Prüfbericht Nr.5214014533

<b>Prüfauftrag:</b>	<b>Bestimmung von Indikator-PCB in Proben aus dem Freisetzungsversuch (Testerosion)</b>
<b>Auftraggeber:</b>	CSD
<b>Prüfobjekt:</b>	Wasser- und Schwebstoffproben
<b>Kundenreferenz:</b>	Alexandra Fröhlicher
<b>Ihr Auftrag vom:</b>	12. Dezember 2016
<b>Eingang des Prüfobjektes:</b>	15. Dezember 2016
<b>Ausführung der Prüfung:</b>	15. bis 23. Dezember 2016
<b>Anzahl Seiten:</b>	11
<b>Bemerkungen:</b>	Die Resultate wurden als Exceldatei am 23.12.2016 übermittelt
<b>Beilagen:</b>	Rechnung

---

Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt  
Dübendorf, 9. Januar 2017

  
Prüfleiter / Prüfleiterin:  
Markus Zennegg

  
Abteilungsleiter / Abteilungsleiterin:  
PD Dr. Davide Bleiner

## 1 Prüfobjekte

Die in der Tabellen 1 aufgeführten Wasserproben aus dem Freisetzungsversuch wurden der Empa, Abteilung Advanced Analytical Technologies, per Post zugestellt.

Tabelle 1. Wasserproben angeliefert am 15.12.2016

Probenbezeichnung:	Probenart:	Datum Probenahme:	Beiprobtes Wasservolumen:
A1A2-w 1h	Wasser	12.12.16	1 x 2.5L Glasflasche
A1A2-w 6h	Wasser	12.12.16	1 x 2.5L Glasflasche
A1A2-w 24h	Wasser	13.12.16	1 x 2.5L Glasflasche
B2B3-w 1h	Wasser	12.12.16	1 x 2.5L Glasflasche
B2B3-w 6h	Wasser	12.12.16	1 x 2.5L Glasflasche
B2B3-w 24h	Wasser	13.12.16	1 x 2.5L Glasflasche
C1-w 1h	Wasser	12.12.16	1 x 2.5L Glasflasche
C1-w 6h	Wasser	12.12.16	1 x 2.5L Glasflasche
C1-w 24h	Wasser	13.12.16	1 x 2.5L Glasflasche

A1A2 → Steilhang La Pila mit Rutschgefahr. Mit Kondensatorenabfällen

B2B3 → „Hot spot“. Rutschung 2005. Mit Kondensatorenabfällen

C1 → nur Kondensatoren

## 2 Prüfverfahren

### 2.1 Prüfverfahren für PCB Wasserproben (gelöste Phase)

Da die Wasserproben teilweise noch gröberes Material enthielten wurden sie durch ein Sieb mit der Maschenweite 1.4 mm gesiebt.

Da der Anteil an sehr feinem Material in den Proben relativ gross war, wurden die Proben kurz bei 3'000 rpm zentrifugiert.

Die Wasserproben wurden durch einen, oder je nach Feinanteil mehrere, vorgewogene und vorgereinigte Filter (0.45 µm RC55) filtriert. Die Filter mit den partikulären Rückständen wurde bei Raumtemperatur im Exsikkator über Nacht getrocknet (bis Gewichtskonstanz).

Ein Aliquot von 100 bis 500 mL des klaren Filtrates wurde mit einer Mischung von 18 <sup>13</sup>C<sub>12</sub>-isotopenmarkierten PCB (Cambridge Isotope Laboratories) versetzt und gut geschüttelt.

Das Wasser wurde anschliessend mittels einer Pumpe durch eine vorkonditionierte SPE Kartusche (Phenomenex 500 mg Strata-XL 100µ Polymeric Reversed Phase) gesogen. Der Volumensstrom lag bei ca. 5 mL/min.

Die Kartusche wurde anschliessend durch Applikation von Vakuum kurz getrocknet (exakt 30 s). Danach erfolgte die Elution der PCB durch spülen der SPE Kartusche mit 6 mL n-Hexan (Tropfgeschwindigkeit).

Das Lösemittel wurde unter Begasung mit Stickstoff bei Raumtemperatur bis auf ca. 30 µl reduziert. Anschliessend wurden die Extrakte mit dem Recoverystandard (<sup>11</sup>C<sub>2</sub>-PCB 70) zur Bestimmung der Wiederfindungsrate versetzt.

Die quantitative Analyse der polychlorierten Biphenyle wurde mittels Gaschromatographie-Massenspektrometrie durchgeführt (HRGC/HRMS). Die Quantifizierung erfolgte durch Vergleich mit den isotopenmarkierten Standards (Isotopenverdünnungsanalyse).

## 2.2 Prüfverfahren für PCB Wasserproben (part. Phase >0.45 µm und >1.4 mm)

Die Filter mit den Rückständen wurde nach dem Trocknen gewogen und die Partikelrassen bestimmt.

Die Extraktion aller Filter einer Probe erfolgte mit n-Hexan für 16 Stunden in einer Soxhletapparatur.

Nach beendeter Extraktion wurde der Extrakt auf 100 mL mit n-Hexan verdünnt. Je nach Probe wurde ein kleines Aliquot von ca. 25 bis 400 µL des Extraktes mit einer Mischung von 18 <sup>13</sup>C<sub>12</sub>-isotopenmarkierten PCB (Cambridge Isotope Laboratories) versetzt und direkt für die Analyse verwendet.

Die quantitative Analyse der polychlorierten Biphenyle wurde mittels Gaschromatographie-Massenspektrometrie durchgeführt (HRGC/HRMS). Die Quantifizierung erfolgte durch Vergleich mit den isotopenmarkierten Standards (Isotopenverdünnungsanalyse).

## 2.4 Referenzmaterialien

Kalibrationsstandard	Mischung der PCB 77, 81, 105, 114, 118, 123, 126, 156, 157, 167, 169, 189 (C-WHO-01, Accu Standards Inc.) Mischung der PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180 (AE-00059, Accu Standards Inc.)
Wiederfindungsstandard	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -PCB 70 (EC-4914, Cambridge Isotope Laboratories)
interner Standard:	Mischung der <sup>13</sup> C <sub>12</sub> -isotopenmarkierten PCB 77, 81, 105, 114, 118, 123, 126, 156, 157, 167, 169, 189 (EC 4937, Cambridge Isotope Laboratories) Mischung der <sup>13</sup> C <sub>12</sub> -isotopenmarkierten PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180 (FC 4058, Cambridge Isotope Laboratories)

## 2.5 Prüfmittel

Gaschromatograph	Thermo Finnigan Trace GC Ultra mit Thermo Scientific TriPlus Autosampler
Kapillarsäule:	25m * 0.22 mm, SGE HT8, Filmdicke 0.25 µm
Massenspektrometer:	doppelfokussierendes Massenspektrometer Finnigan MAT 95, ausgerüstet mit Systemsteuerungs- und Applikationssoftware Xcalibur 1.4.

## 2.6 Prüfbedingungen

Trägergas:	Helium, 100 kPa
Injektion	3 µL splitlos
Temperaturprogramm:	100 °C (1 min), 20 °C min <sup>-1</sup> bis 200 °C, 5 °C min <sup>-1</sup> bis 300 °C
Quellentemperatur:	220 °C
Ionisierung:	Elektronenstoss (EI), Detektion der positiven Ionen
Elektronenenergie:	70 eV
Massenauflösung:	m/Δm = 8'000 (10 % Tal)
Einzelionendetektion:	Es wurden jeweils die m/z-Werte der beiden häufigsten Isotopenkombinationen der nativen und <sup>13</sup> C <sub>12</sub> -markierten PCB im Moleküllonencluster registriert (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Detektierte Massen der nativen und  $^{13}\text{C}_{17}$  markierten PCB

PCB	native		$^{13}\text{C}_{17}$ -labeled	
	m/z	m/z	m/z	m/z
TriCB	255.9613	257.9583	268.0021	269.9991
TetraCB	289.9223	291.9146	301.9626	303.9597
PentaCB	325.8805	327.8776	337.9207	339.9178
HexaCB	359.8415	361.8386	371.8817	373.8788
HeptaCB	393.8025	395.7996	405.8428	407.8398

### 3 Resultate

Die Resultate in den folgenden Tabellen wurden auf zwei signifikante Stellen gerundet. Die Summenwerte wurden erst nach der Berechnung auf zwei signifikante Stellen gerundet.

Tabelle 3:  $\Sigma$ -PCB in den Wasserproben aus dem Freisetzungversuch (gelöster Anteil) in ng/L

Probe:	A1A2-w	A1A2-w	A1A2-w	B2B3-w	B2B3-w	B2B3-w	C1-w 1h	C1-w 6h	C1-w 24h
	1h	6h	24h	1h	6h	24h			
Int. Bez.:	40716	41016	41316	40816	41116	41416	40916	41216	41516
	ng/L	ng/L	ng/L						
28	19	22	19	52	220	330	410	230	170
52	51	110	75	360	1400	2100	2600	1400	1200
101	12	93	39	170	560	900	1300	460	550
118	7.9	77	32	140	380	630	1200	280	450
138	2.7	33	10	56	110	210	540	100	180
153	2.2	24	7.8	37	81	150	390	66	120
180	0.34	2.1	0.76	5.1	7.9	17	56	7.4	16
<b>Summe</b>									
<b>6</b>	88	290	150	690	2400	3700	5300	2300	2200
<b>Summe</b>									
<b>7</b>	95	370	180	820	2800	4300	6600	2600	2700

Tabelle 4: i-PCB in den Wasserproben aus dem Freisetzungsversuch [partikularer Anteil &gt;0.45 µm &lt; 1.4 mm] in ng/g TS und mg/kg TS.

Probe: Interne Bezeichnung:	A1A2-w 1h	A1A2-w 6h	A1A2-w 24h	B2B3-w 1h	B2B3-w 6h	B2B3-w 24h	C1-w 1h	C1-w 6h	C1-w 24h	
	40716	41016	41316	40816	41116	41416	40916	41216	41516	
	ng/g TS	ng/g TS	ng/g TS	ng/g TS	ng/g TS	ng/g TS	ng/g TS	ng/g TS	ng/g TS	
28	540	520	220	3700	1000	760	100000	73000	33000	
52	1500	2000	780	32000	11000	9500	1100000	840000	380000	
101	1400	1600	920	62000	24000	23000	1500000	1300000	570000	
118	1500	1600	1200	74000	34000	35000	1700000	1500000	650000	
138	910	880	700	55000	23000	22000	960000	910000	420000	
153	660	640	510	39000	16000	15000	690000	650000	300000	
180	160	160	120	8200	3600	3400	130000	120000	54000	
Summe 6	5200	5800	3300	200000	78000	74000	4500000	3800000	1700000	
<b>Summe 7</b>	<b>6700</b>	<b>7400</b>	<b>4400</b>	<b>270000</b>	<b>110000</b>	<b>110000</b>	<b>6100000</b>	<b>5300000</b>	<b>2400000</b>	
	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	
28	0.54	0.52	0.22	3.7	1.0	0.8	100	73	33	
52	1.5	2.0	0.8	32	11	10	1100	840	380	
101	1.4	1.6	0.9	62	24	23	1500	1300	570	
118	1.5	1.6	1.2	74	34	36	1700	1500	650	
138	0.91	0.88	0.70	55	23	22	960	910	420	
153	0.66	0.64	0.51	39	16	15	690	650	300	
180	0.16	0.16	0.12	8.2	3.6	3.4	130	120	54	
Summe 6	5.2	5.8	3.2	200	78	74	4500	3800	1700	
<b>Summe 7</b>	<b>6.7</b>	<b>7.4</b>	<b>4.4</b>	<b>270</b>	<b>110</b>	<b>110</b>	<b>6100</b>	<b>5300</b>	<b>2400</b>	
Partikelmasse gesamt [g]	1.8046	0.4157	0.1289	1.8249	0.3195	0.1472	0.1481	0.0278	0.0136	
Volumen gesamt [L]: Partikel/Liter [g]:	2.817	2.608	2.755	2.791	2.824	2.572	2.773	2.81	2.381	
Bemerkungen:	brauner Belag, mit einigen brauner Kümmeln	brauner Belag	brauner Belag, mit einigen braunen Kümmeln	brauner Belag	brauner Belag, mit einigen braunen Kümmeln	brauner Belag, mit einigen braunen Kümmeln	brauner Belag, mit einigen braunen Kümmeln	brauner Belag, mit einigen braunen Kümmeln	wenig brauner, Belag, mit einigen braunen Kümmeln	wenig brauner, Belag, mit einigen braunen Kümmeln

Tabelle 5 i-PCB in den Wasserproben aus dem Freisetzungsversuch (partikulärer Anteil  $>0.45 \mu\text{m} < 1.4 \text{mm}$ ) berechnet als ng/L.

Probe: Interne Bezeichnung:	A1A2-w 1h	A1A2-w 6h	A1A2-w 24h	B2B3-w 1h	B2B3-w 6h	B2B3-w 24h	C1-w 1h	C1-w 6h	C1-w 24h
	40716	41016	41316	40816	41116	41416	40916	41216	41516
	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L
28	350	77	10	2400	110	44	5600	720	190
52	950	290	37	21000	1300	550	59000	8400	2100
101	920	240	43	41000	2700	1300	79000	13000	3200
118	950	230	56	48000	3800	2100	90000	14000	3700
138	580	130	33	36000	2600	1300	51000	9000	2400
153	420	95	24	25000	1800	880	37000	6400	1700
180	100	24	58	5300	410	190	6800	1200	310
Summe 6	3300	860	150	130000	8900	4200	240000	36000	10000
Summe 7	4300	1100	210	180000	13000	6300	330000	53000	14000

Tabelle 6:  $\alpha$ -PCB in den Wasserproben aus dem Freisetzungsversuch (partikularer Anteil >1.4 mm) in ng/g TS und mg/kg TS.

Probe Interne Bezeichnung:	A1A2-w 1h	A1A2-w 6h	A1A2-w 24h	B2B3-w 1h	B2B3-w 6h	B2B3-w 24h	C1-w 1h	C1-w 6h	C1-w 24h
	40716	41016	41316	40816	41116	41416	40916	41216	41516
	ng/g TS	ng/g TS	ng/g TS	ng/g TS	ng/g TS	ng/g TS	Konden- sator splitter ng/g TS	ng/g TS	ng/g TS
28	730	150	n.b.	8700	37000	n.b.	95000	n.b.	n.b.
52	2900	910	n.b.	71000	260000	n.b.	930000	n.b.	n.b.
101	2600	1200	n.b.	99000	280000	n.b.	1200000	n.b.	n.b.
118	2200	1300	n.b.	110000	280000	n.b.	1500000	n.b.	n.b.
138	1100	640	n.b.	58000	130000	n.b.	970000	n.b.	n.b.
153	930	450	n.b.	42000	91000	n.b.	700000	n.b.	n.b.
180	120	62	n.b.	5700	11000	n.b.	130000	n.b.	n.b.
<b>Summe 6</b>	<b>8400</b>	<b>3400</b>	<b>n.b.</b>	<b>280000</b>	<b>810000</b>	<b>n.b.</b>	<b>4000000</b>	<b>n.b.</b>	<b>n.b.</b>
<b>Summe 7</b>	<b>11000</b>	<b>4700</b>	<b>n.b.</b>	<b>400000</b>	<b>1100000</b>	<b>n.b.</b>	<b>5500000</b>	<b>n.b.</b>	<b>n.b.</b>
	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
28	0.73	0.15	n.b.	8.7	37	n.b.	95	n.b.	n.b.
52	2.9	0.91	n.b.	71	260	n.b.	930	n.b.	n.b.
101	2.6	1.2	n.b.	99	280	n.b.	1200	n.b.	n.b.
118	2.2	1.3	n.b.	110	280	n.b.	1500	n.b.	n.b.
138	1.1	0.64	n.b.	58	130	n.b.	970	n.b.	n.b.
153	0.93	0.45	n.b.	42	91	n.b.	700	n.b.	n.b.
180	0.12	0.062	n.b.	5.7	11	n.b.	130	n.b.	n.b.
<b>Summe 6</b>	<b>8.4</b>	<b>3.4</b>	<b>n.b.</b>	<b>280</b>	<b>810</b>	<b>n.b.</b>	<b>4000</b>	<b>n.b.</b>	<b>n.b.</b>
<b>Summe 7</b>	<b>11</b>	<b>4.7</b>	<b>n.b.</b>	<b>400</b>	<b>1100</b>	<b>n.b.</b>	<b>5500</b>	<b>n.b.</b>	<b>n.b.</b>
Partikelmasse gesamt [g].	1.4962	0.5951	n.b.	3.4584	0.2763	n.b.	0.0651	n.b.	n.b.
Volumen gesamt [L]	2.8170	2.8080	n.b.	2.7910	2.8240	n.b.	2.7730	n.b.	n.b.
Partikel/Liter [g]:	0.5311	0.2119	n.b.	1.2391	0.0978	n.b.	0.0235	n.b.	n.b.
Bemerkungen:	kleinere Holz- stücke und ein paar Schne- ckchen	kleinere Holz- stücke		kleinere Holz- stücke und ein paar Schne- ckchen	wenig kleinere Holz- stücke		wenige silbrige Konden- sator- splitter		

n.b. = nicht bestimmbar, da keine Partikel &gt;1.4 mm

Tabelle 7. i-PCB in den Wasserproben aus dem Freisetzungsversuch (partikulärer Anteil &gt;1.4 mm) berechnet als ng/L.

Probe- Interne Bezeichnung:	A1A2-w 1h	A1A2-w 6h	A1A2-w 24h	B2B3-w 1h	B2B3-w 6h	B2B3-w 24h	C1-w 1h	C1-w 6h	C1-w 24h
	40716	41016	41316	40816	41116	41416	40916	41216	41516
	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L
28	390	31	n.b.	11000	3600	n.b.	2200	n.b.	n.b.
52	1500	190	n.b.	80000	28000	n.b.	22000	n.b.	n.b.
101	1400	250	n.b.	120000	28000	n.b.	28000	n.b.	n.b.
118	1200	270	n.b.	140000	27000	n.b.	36000	n.b.	n.b.
138	600	140	n.b.	72000	13000	n.b.	23000	n.b.	n.b.
153	490	96	n.b.	52000	8900	n.b.	16000	n.b.	n.b.
180	62	13	n.b.	7100	1000	n.b.	3000	n.b.	n.b.
<b>Summe 6</b>	<b>4400</b>	<b>720</b>	<b>n.b.</b>	<b>350000</b>	<b>80000</b>	<b>n.b.</b>	<b>94000</b>	<b>n.b.</b>	<b>n.b.</b>
<b>Summe 7</b>	<b>5600</b>	<b>990</b>	<b>n.b.</b>	<b>490000</b>	<b>110000</b>	<b>n.b.</b>	<b>130000</b>	<b>n.b.</b>	<b>n.b.</b>

n.b. = nicht bestimmbar, da keine Partikel &gt;1.4 mm

**Tabelle 8** i-PCB in den Wasserproben aus dem Freisetzungsvoruch (Summe partikulärer Anteil  $>0.45 \mu\text{m}$   $<1.4 \text{ mm}$  und  $>1.4 \text{ mm}$ ) in **ng/g TS** und **mg/kg TS**.

Probe. Interne Bezeichnung:	A1A2-w 1h	A1A2-w 6h	A1A2-w 24h	B2B3-w 1h	B2B3-w 6h	B2B3-w 24h	C1-w 1h	C1-w 6h	C1-w 24h
	40716	41016	41316	40816	41116	41416	40916	41216	41516
	ng/g TS	ng/g TS	ng/g TS	ng/g TS	ng/g TS	ng/g TS	Konden- sator- splitter ng/g TS	ng/g TS	ng/g TS
28	620	300	220	6900	18000	760	100000	73000	33000
52	2100	1300	780	58000	130000	9500	1000000	840000	380000
101	1900	1400	920	86000	140000	23000	1400000	1300000	570000
118	1800	1400	1200	99000	150000	36000	1600000	1500000	650000
138	1000	740	700	57000	73000	22000	960000	910000	420000
153	780	530	510	41000	51000	15000	680000	650000	300000
180	140	100	120	6800	6900	3400	130000	120000	54000
<b>Summe 6</b>	<b>8600</b>	<b>4400</b>	<b>3200</b>	<b>250000</b>	<b>420000</b>	<b>74000</b>	<b>4300000</b>	<b>3900000</b>	<b>1700000</b>
<b>Summe 7</b>	<b>8500</b>	<b>5800</b>	<b>4400</b>	<b>350000</b>	<b>570000</b>	<b>110000</b>	<b>6000000</b>	<b>5300000</b>	<b>2400000</b>
	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
28	0.62	0.30	0.22	6.9	18	0.76	100	73	33
52	2.12	1.34	0.78	58	130	10	1000	840	380
101	1.95	1.36	0.92	86	140	23	1400	1300	570
118	1.83	1.39	1.2	99	150	36	1600	1500	650
138	1.01	0.74	0.70	57	73	22	960	910	420
153	0.78	0.53	0.51	41	51	15	680	650	300
180	0.14	0.10	0.12	6.6	6.9	3.4	130	120	54
<b>Summe 6</b>	<b>6.6</b>	<b>4.4</b>	<b>3.2</b>	<b>260</b>	<b>420</b>	<b>74</b>	<b>4300</b>	<b>3900</b>	<b>1700</b>
<b>Summe 7</b>	<b>6.5</b>	<b>5.8</b>	<b>4.4</b>	<b>350</b>	<b>570</b>	<b>110</b>	<b>6000</b>	<b>5300</b>	<b>2400</b>
Partikelmasse gesamt [g]:	3.3008	1.0108	0.1289	5.2833	0.5958	0.1472	0.2132	0.0278	0.0136
Volumen gesamt [L]:	2.817	2.808	2.755	2.791	2.824	2.572	2.773	2.81	2.381
Partikel/Liter (g):	1.1717	0.3600	0.0468	1.8930	0.2110	0.0572	0.0769	0.0099	0.0057
Partikel/Liter >0.45 $\mu\text{m}$ * (g):	0.6406	0.1480	0.0468	0.6539	0.1131	0.0572	0.0534	0.0089	0.0057
Partikel/Liter >1.4 mm [g]:	0.5311	0.2119	n.b.	1.2391	0.0978	n.b.	0.0235	n.b.	n.b.

\*>0.45  $\mu\text{m}$  <1.4mm

n.b. = nicht bestimmbar, da keine Partikel >1.4 mm

Tabelle 9. i-PCB in den Wasserproben aus dem Freisetzungsversuch (Summe partikulärer Anteil &gt;0.45 µm &lt;1.4 mm und &gt;1.4 mm) berechnet als ng/L.

Probe:	A1A2-w 1h	A1A2-w 6h	A1A2-w 24h	B2B3-w 1h	B2B3-w 6h	B2B3-w 24h	C1-w 1h	C1-w 6h	C1-w 24h
Interne Bezeichnung:	40716	41016	41316	40816	41116	41416	40916	41216	41516
	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L
28	730	110	10	13000	3700	44	7800	720	190
52	2500	480	37	110000	27000	550	81000	8400	2100
101	2300	490	43	160000	30000	1300	110000	13000	3200
118	2100	500	56	190000	31000	2100	130000	14000	3700
138	1200	270	33	110000	15000	1300	74000	8900	2800
153	920	190	24	77000	11000	880	53000	6400	1700
180	180	37	5.8	12000	1500	190	9800	1200	310
<b>Summe 6</b>	<b>7800</b>	<b>1600</b>	<b>150</b>	<b>480000</b>	<b>88000</b>	<b>4200</b>	<b>330000</b>	<b>38000</b>	<b>10000</b>
<b>Summe 7</b>	<b>9900</b>	<b>2100</b>	<b>210</b>	<b>670000</b>	<b>120000</b>	<b>6300</b>	<b>460000</b>	<b>63000</b>	<b>14000</b>

## 4 Allgemeine Angaben

### 4.1 Verwendete Abkürzungen

PCB	Polychlorierte Biphenyle
TriCB	Trichlorbiphenyl
TetraCB	Tetrachlorbiphenyl
PentaCB	Pentachlorbiphenyl
HexaCB	Hexachlorbiphenyl
HeptaCB	Heptachlorbiphenyl
mg	Milligramm ( $1 \text{ mg} = 1 \times 10^{-3} \text{ g} = 0.001 \text{ g}$ )
$\mu\text{g}$	Mikrogramm ( $1 \mu\text{g} = 1 \times 10^{-6} \text{ g} = 0.000'001 \text{ g}$ )
ng	Nanogramm ( $1 \text{ ng} = 1 \times 10^{-9} \text{ g} = 0.000'000'001 \text{ g}$ )
pg	Pikogramm ( $1 \text{ pg} = 1 \times 10^{-12} \text{ g} = 0.000'000'000'001 \text{ g}$ )
TS	Trockensubstanz

### 4.2 Messunsicherheit

Nach unseren Erfahrungen beträgt die Messunsicherheit für die Bestimmung der PCB ca. 20 % (Probenahme nicht einbezogen).



**ANNEXE D            CALCUL DU VOLUME DE LA MASSE DÉSTABILISÉE,  
LA MASSE PCB EN FONCTION DE LA  
GRANULOMÉTRIE**



## Calcul des volumes des masses déstabilisées

- Bases de calcul**
1. Subdivision de la zone de glissement en 5 sous-zones, en fonction des classes principales de contamination en PCB et des résultats d'analyses
  1. Teneurs PCB par zone selon échantillons composites prélevés ou résultats d'analyse de fond de fouille (mesure d'assainissement 2013 dans la zone "Talus Hot Spot". Chap. 3.2
  2. Volume du glissement: calculs des volumes par couches de 2 m sur la base des résultats géostatistiques 2010
  3. Volume massique: 1600 kg/m<sup>3</sup>

**Calcul**      $Masse\ PCB = concentration\ moyenne \times volume \times 1600$

Secteurs	Référence pour concentration.	Concentrations moyenn e	Volume glisseme nt	Masse matériaux glissés	Masse PCB glissés
		[mg/kg]	[m <sup>3</sup> ]	[kg]	[kg]
<b>Zone Berlinois</b>	Ech. B2B3	966	200	320'000	309
<b>Talus Hot Spot</b>	Ech. Fond de fouille 2013	1'100	629	1'006'530	1'107
<b>Zone ouest</b>	Ech.. A1A2 + 1 condens.	276	3'352	5'363'040	1'478
<b>Zone centre</b>	Ech.. A1A2 + 1 condens.	276	5'724	9'159'018	2'525
<b>Zone est</b>	Ech. A1A2 + 2% condens.	26	12'494	19'989'927	511
<b>TOTAL (arrondi à 100)</b>			<b>22'400</b>	<b>35'838'500</b>	<b>5'900</b>

## Calcul de la masse PCB dans la fraction < 2mm et > 2 mm

**Base de calcul** 1. %age massique de la fraction < 2mm et > 2mm selon les résultats d'analyse des échantillons A1A2 et B2B3

$$\frac{\text{Poids séché de la fraction}}{\text{poid séché total de l'échantillon}}$$

2. dans la fraction > 2 mm sont compris les condensateurs (déchets + condensateurs entiers)

3. La teneur en PCB (= 4.3  $\sum$ 6PCB) pour chaque fraction -  
-> cf. Onglet Chap. 3.2 Echanti\_zoneglissement

**Calcul** Teneur PCB (fraction x) X %age masse fraction x

Echantillon		%age masse			PCB fraction < 2mm	PCB fraction > 2 mm	Masse PCB [kg]		
		Fraction < 2mm	Fraction > 2 mm	Présence condensateurs	mg/kg	mg/kg	Fraction < 2mm	Fraction > 2 mm	Total
Talus Berlinoise	Ech. B2B3	40%	60%	plusieurs	488	1283	62	247	309
Talus Hot Spot*	Ech. Fond de fouille 2013	40%	60%	plusieurs	1100	1100	442	666	1'107
Zone ouest	Ech.. A1A2 + 1 condens.	20%	80%	1	17	339	17	1'461	1'478
Zone centre	Ech.. A1A2 + 1 condens.	20%	80%	1	17	339	30	2'495	2'525
Zone est	Ech. A1A2 + 2% condens.	20%	80%	2% d'un cond. entier	17	28	65	447	512
<b>TOTAL (arrondi à 100)</b>							<b>600</b>	<b>5'300</b>	<b>5'900</b>

\* fraction granul. non déterminée: Hypothèse: correspond à talus hot Spot

**Annexe 3.3.2 – 1**

**Méthodes d'échantillonnage et d'analyses  
Eaux souterraines – Rapport CSD**

## DÉCHARGE DE LA PILA - MESURES COMPLÉMENTAIRES

EAUX SOUTERRAINES : MÉTHODES D'ÉCHANTILLONNAGE ET  
D'ANALYSE - ETUDE SUR L'IMPORTANCE DES TENEURS EN PCB DE  
LA FRACTION PARTICULAIRE

Fribourg, le 07.07.2016  
FR2706.916.600

**CSD INGENIEURS SA**

Chantemerle 37 - Granges-Paccot

Case postale 384

CH-1701 Fribourg

t +41 26 460 74 74

f +41 26 460 74 79

e [fribourg@csd.ch](mailto:fribourg@csd.ch)

[www.csd.ch](http://www.csd.ch)



**TABLE DES MATIÈRES**

<b>1.</b>	<b>SITUATION</b>	<b>1</b>
1.1	Situation de base	1
1.2	Objectifs	1
1.3	Démarche	1
<b>2.</b>	<b>DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE</b>	<b>2</b>
<b>3.</b>	<b>MESURES TECHNIQUES</b>	<b>3</b>
3.1	Détermination des points de prélèvement	3
3.2	Technique et conditions limites à respecter de la purge et de l'échantillonnage	3
3.2.1	Méthodologie de la purge et de l'échantillonnage	3
3.2.2	Purge	4
3.2.3	Échantillonnage	4
3.2.4	Prélèvement d'un échantillon homogène	4
3.3	Mesures de la turbidité avant et durant l'échantillonnage	4
3.4	Méthodes d'analyse	5
3.4.1	Méthode EMPA	5
3.4.2	Selon Directive OVEV, analyse par EMPA	5
3.4.3	Selon Directive OFEV, analyse par Wessling	6
<b>4.</b>	<b>TURBIDITÉ AVANT L'ÉCHANTILLONNAGE</b>	<b>6</b>
<b>5.</b>	<b>RÉSULTATS DE L'ÉCHANTILLONNAGE DU 17.05.2016</b>	<b>6</b>
5.1	Synthèse des résultats	6
5.2	Turbidité lors de purge et en fonction du débit de pompage	8
5.3	Comparaison des méthodes d'analyse et des laboratoires	8
5.4	Masse et taille des particules	9
5.5	Teneurs en PCB sur les particules	10
5.6	Importance des teneurs PCB <sub>part</sub> relative aux teneurs PCB <sub>diss</sub>	11
5.7	Influence du débit sur la masse en particules	12
5.8	Évaluation	12
<b>6.</b>	<b>RECOMMANDATIONS CONCERNANT LE PRÉLÈVEMENT ET L'ANALYSE DES PCB DANS LES EAUX SOUTERRAINES</b>	<b>14</b>
6.1	Mesures et recommandations	14
6.2	Questions ouvertes à régler	14

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1	Etapes et mesures techniques	2
Tableau 3.1	Synthèse sondages, profondeur nappe du 17.05.16 et profondeur d'installation de la pompe.	3
Tableau 3.2	Installation des sondes pour les mesures avant et durant l'échantillonnage	4
Tableau 5.1	Synthèse des résultats d'analyse PCB. En rouge : résultat surestimé dû à un « recovery bas du standard interne » (cf. ANNEXE G )	7
Tableau 5.2	Observations lors de la purge en comparaison avec les mesures de la turbidité	8
Tableau 5.3	PCB <sub>diss</sub> selon laboratoire et méthode d'analyse	8

## LISTE DES FIGURES

Figure 5.1	Masse de particules (grammes dans l'échantillon d'env. 2.5l) en fonction de la taille des particules.	9
Figure 5.2	Teneurs en PCB <sub>part</sub> en fonction de la taille des particules	10
Figure 5.3	Importance des teneurs en PCB liées aux particules par rapport aux teneurs PCB <sub>diss</sub> . Comparaison entre les méthodes (analyses de l'EMPA).	11
Figure 5.4	Masses des particules en fonction du débit du débit pompé	12

## ANNEXES

ANNEXE A	Plan de situation des points échantillonnés	16
ANNEXE B	Assurance de qualité CSD de l'échantillonnage des eaux souterraines en rapport avec les sites pollués. Formulaire d'échantillonnage	17
ANNEXE C	Logs des forages avec indication profondeur de la pompe	18
ANNEXE D	Graphiques de la turbidité avant et durant l'échantillonnage	19
ANNEXE E	Rapport d'analyse WEssling	20
ANNEXE F	Rapport EMPA	21
ANNEXE G	Synthèse des résultats	22

## ABBREVIATIONS

PCB <sub>part</sub>	teneur en PCB liée aux particules
PCB <sub>diss</sub>	teneur dissoute en PCB

## PRÉAMBULE

CSD confirme par la présente avoir exécuté son mandat avec la diligence requise. Les résultats et conclusions sont basés sur l'état actuel des connaissances tel qu'exposé dans le rapport et ont été obtenus conformément aux règles reconnues de la branche.

CSD se fonde sur les prémisses que :

- le mandant ou les tiers désignés par lui ont fourni des informations et des documents exacts et complets en vue de l'exécution du mandat,
- les résultats de son travail ne seront pas utilisés de manière partielle,
- sans avoir été réexaminés, les résultats de son travail ne seront pas utilisés pour un but autre que celui convenu ou pour un autre objet ni transposés à des circonstances modifiées.

Dans la mesure où ces conditions ne sont pas remplies, CSD décline toute responsabilité envers le mandant pour les dommages qui pourraient en résulter.

Si un tiers utilise les résultats du travail ou s'il fonde des décisions sur ceux-ci, CSD décline toute responsabilité pour les dommages directs et indirects qui pourraient en résulter.



## 1. Situation

### 1.1 Situation de base

Une première campagne d'échantillonnage a été effectuée le 04.11.2015 avec des analyses des i-PCB effectuées par Empa (Section Advanced Analytical Technologies) en parallèle des analyses des i-PCB effectuées par Wessling dans le cadre de la surveillance de la qualité des eaux souterraines à la Pila. Les résultats de cette étude sont décrits dans le rapport [1].

L'évaluation et la comparaison des analyses a permis de tirer plusieurs conclusions qui nécessitaient alors des investigations complémentaires :

1. Importance de la fraction particulaire  $< 1 \mu\text{m}$  et contamination de cette fraction par les PCB
2. Limite de quantification pour les échantillons contenant des faibles à très faibles concentrations en particules fines.
3. Conséquences de l'application de la méthode Wessling (conforme à la directive OFEV, méthode E-12) ou de la méthode Empa sur les teneurs (méthodologie de prétraitement de l'échantillon et d'analyse, limite de quantification).
4. Effet probable du débit de pompage sur la libération de particules (masse, teneurs en PCB des particules).
5. Importance des particules fines influencée par les caractéristiques du point de prélèvement.
6. Importance négligeable des teneurs en PCB liée aux particules (=  $\text{PCB}_{\text{part}}$ ) comparée avec celles en PCB dissous (=  $\text{PCB}_{\text{diss}}$ ).

### 1.2 Objectifs

Le rapport conclut que les résultats d'analyses de l'EMPA doivent être vérifiés avec des mesures complémentaires dans le but de définir les méthodes d'échantillonnage et d'analyse des eaux souterraines pour la suite des études. Ces mesures doivent répondre aux objectifs suivants :

- A. Importance et provenance des particules fines
- B. Vérification de l'importance des teneurs  $\text{PCB}_{\text{part}}$  par rapport aux teneurs  $\text{PCB}_{\text{diss}}$ .
- C. Influence des débits de purge / prélèvement sur la variabilité des particules fines.
- D. Validation / adaptation de la méthode EMPA et analyses comparatives avec la(les) méthode(s) recommandée par l'OFEV.
- E. Limite de quantification pour  $\text{PCB}_{\text{part}}$  et  $\text{PCB}_{\text{diss}}$ .

### 1.3 Démarche

Le tableau suivant résume les mesures en lien avec les objectifs à atteindre suite à la 1<sup>ère</sup> évaluation de l'étude EMPA sur l'importance de la fraction particulaire sur les teneurs en PCB :

Etape	Mesure
1 Choix de points de prélèvement représentatifs	3 points de prélèvement avec les caractéristiques suivantes sont à choisir : <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Contamination en PCB constatée dans le passé</li> <li>2. Différence importante en termes de teneurs en PCB</li> <li>3. Colonne d'eau suffisamment représentative pour un échantillonnage</li> <li>4. Équipement similaire afin d'exclure son influence sur les résultats d'analyse.</li> </ol>
2 Mesure de la turbidité avant et durant le pompage	Mesures : <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Installation de sondes de turbidité avec mesures en continue durant 3 – 5 jours avant le prélèvement (turbidité en état naturel).</li> <li>2. Mesures de la turbidité durant la purge</li> </ol>
3 Mise à disposition d'un échantillon homogène aux 2 laboratoires	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Prélèvement d'un seul échantillon (volume env. 5 l) avec distribution de l'échantillon dans les divers récipients fournis par les laboratoires.</li> </ol>
4 Validation de(s) méthode(s) d'analyse et analyses comparatives avec la(les) méthode(s) recommandée par l'OFEV	3 méthodes d'analyses différentes seront appliquées : <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Laboratoire Empa : méthode « Empa », comme utilisée et décrite dans [1]</li> <li>2. Laboratoire Empa : méthode recommandée par l'OFEV [4] avec détermination des PCB<sub>diss</sub> et de la masse et les teneurs en PCB dans les particules 0.45 – 1 µm et &gt;1 µm. Les analyses i-PCB sont effectuées par les laboratoires EMPA selon la méthode « Empa »</li> <li>3. Laboratoire Wessling : méthode recommandée par l'OFEV [4] avec prétraitement de l'échantillon (décantation pendant 24 h et prélèvement du surnageant).</li> </ol>

Tableau 1.1 Etapes et mesures techniques

Les résultats de cette étude doivent permettre de conclure au niveau de :

- ☞ La méthodologie de prélèvement et d'analyse des eaux souterraines
- ☞ L'importance du flux de PCB<sub>fract</sub> dans les eaux souterraines s'exfiltrant dans la Sarine

## 2. Documents de référence

- [1] CSD Ingénieurs SA, 29.03.2016 : Décharge de la Pila. Surveillance des eaux souterraines selon OSites & Monitoring de la Sarine (PRONAT) 2015
- [2] CSD Ingénieurs SA, 06.10.2009 : Consortium La Pila. Décharge de la Pila. Modélisation hydrogéologique numérique
- [3] CSD Ingénieurs SA, 15.12.2008 : Décharge de la Pila. Investigation détaillée de l'ensemble du site. FR02706.300 / D62
- [4] OFEV, 2013 : Méthodes d'analyse dans le domaine des déchets et des sites pollués. L'environnement pratique > Déchets / Sites contaminés.
- [5] OFEV, 2003 : Échantillonnage des eaux souterraines. Guide pratique

## 3. Mesures techniques

### 3.1 Détermination des points de prélèvement

Pour le choix des piézomètres répondant aux critères évoqués dans le Tableau 1.1, les bases suivantes ont été consultées :

- ☞ Résultats d'analyse PCB de [3] et [1]
- ☞ Hydrogéologie (nappe, direction d'écoulement) décrite dans [3]
- ☞ Logs des sondages, équipement, teneurs en PCB dans les alluvions [3]
- ☞ Niveaux de la nappe (mesures du 11.05.2016).

Les points de prélèvement suivant ont finalement été retenus (cf. plan de situation en Annexe A) :

Nom du sondage	Type	Z (sol)	Piézo	Prof. crépine m <sup>3</sup> / Lithologie	Teneur totale Σ6PCB *4.3 [mg/kg]	Profondeur du toit de la molasse (m)	Profond. eaux [m] le 17.05.16 (sol)	Prof. pompe [m] (sol)	Épaisseur zone saturée
F18-08	carotté	575.66	PVC 4 ½ "	7.5-11.65 Alluvions de la Sarine et molasse	0.74	11.5	6.26	9.9	5.25
F19-08	carotté	576.80	PVC 4 ½ "	8.2-12.5 Alluvions de la Sarine et molasse	1.16	12.0	10.82	11.3 – 11.5	1.18
F27-08	carotté	569.31	PVC 4 ½ "	3.2-5.1 Alluvions de la Sarine et molasse	< LQ	4.7	3.33	3.8	1.37

Tableau 3.1 Synthèse sondages, profondeur nappe du 17.05.16 et profondeur d'installation de la pompe.

### 3.2 Technique et conditions limites à respecter de la purge et de l'échantillonnage

#### 3.2.1 Méthodologie de la purge et de l'échantillonnage

La technique de l'échantillonnage ainsi que toutes les mesures accompagnantes assurant un prélèvement conforme aux exigences du guide de l'OFEV [5] sont commentées dans le document « assurance de qualité pour le prélèvement des eaux souterraines en relation avec les sites pollués » de CSD Ingénieurs SA (en ANNEXE B ainsi que dans les formulaires d'échantillonnage du prélèvement du 17.05.2016).

## 3.2.2 Purge

La purge a été effectuée conformément au Guide pratique de l'OFEV [5] : échange de (au minimum) 3x le volume de la colonne d'eau dans le piézomètre y compris eau dans le gravier filtrant + stabilisation des paramètres physico-chimiques conductivité, température et oxygène dissous.

La purge a été effectuée avec un débit moyen de pompage de 6 l/min.

## 3.2.3 Échantillonnage

2 échantillons ont été prélevés à 2 différents débits de pompage :

1. 1<sup>er</sup> échantillon : prélèvement avec un débit de 6 l/min.
2. Puis diminution du débit à 1 l/min, pompage jusqu'à stabilisation des paramètres physico-chimiques
3. 2<sup>ème</sup> échantillon : prélèvement à un débit de 1 l/min

## 3.2.4 Prélèvement d'un échantillon homogène

Afin de garantir un échantillon homogène pour les 2 laboratoires Empa et Wessling, une bouteille de 5 l (livrée par Empa, rincée et chauffée à 450 °C) a été en premier lieu rincée avec l'eau pompée, puis remplie. La bouteille a été légèrement agitée avant de remplir les bouteilles suivantes :

1. 1 bouteille en verre, 3dl, livrées par Wessling.
2. 2 bouteille de 2.5 l, livrées par Empa.

## 3.3 Mesures de la turbidité avant et durant l'échantillonnage

2 sondes de turbidité avec transmission GSM/GPRS (mesures en continu tous les 10 min) ont été installées dans les piézomètres :

### Caractéristiques :

- ☞ Unité de mesures : NTU
- ☞ Limite de quantification : 0.1 NTU

Piézomètre	N° sonde	Avant l'échantillonnage		Durant l'échantillonnage (17.05.16)	
		Période du	Mesures / unité temps	N° sonde pour les mesures lors de l'échantillonnage	Mesures / unité temps
Piezo bleu	1	09.05. – 11.05.16	1 mesure / 10 min.	Pas d'échantillonnage	1 min / 10 sec.
F27-08	2	09.05. – 11.05.16	idem	1	1
F18-08	1	11.05. – 17.05.16	idem	1	1
F19-08	2	11.05. – 17.05.16	idem	1	1

Tableau 3.2 Installation des sondes pour les mesures avant et durant l'échantillonnage

## 3.4 Méthodes d'analyse

### 3.4.1 Méthode EMPA

#### Prétraitement de l'échantillon :

Fraction particulaire : séparation de la fraction particulaire par filtration de l'échantillon sur filtre en fibres de verre à 1 µm. Séchage pendant plusieurs heures à 40 – 50 °C avant d'être extrait avec du dichlorométhane.

Phase dissoute : concentration sur une cartouche (SPE, Phenomenex 500 mg STRata-XL 100 u Polymeric Reversed Phase) retenant les PCB<sub>diss.</sub>. Récupération des PCB dissous concentrés par élution d'hexane.

#### Méthode d'analyse

Faction particulaire : HRGC / HRMS. Quantification par comparaison avec standards marqués par des isotopes (<sup>13</sup>C<sup>12</sup> PCB70)

Phase dissoute : HRGC / HRMS. Quantification par comparaison avec standards marqués par des isotopes (<sup>13</sup>C<sup>12</sup> PCB70)

#### Limite de quantification

Faction particulaire : Voir annexe F et [1]

Phase dissoute : env. 0.001 ng/l par congénère (Voir annexe F et [1])

### 3.4.2 Selon Directive OVEV, analyse par EMPA

#### Prétraitement de l'échantillon :

Voir annexe F

#### Méthode d'analyse

Dispositif d'enrichissement SPE et GC/MS (Voir annexe F)

#### Limite de quantification

Faction particulaire : Voir annexe F

Phase dissoute : env. 0.001 ng/l par congénère (Voir annexe F)

### 3.4.3 Selon Directive OFEV, analyse par Wessling

#### **Prétraitement de l'échantillon :**

Les échantillons claires (<5 NTU) sont directement analysés.

Les échantillons troubles sont traités selon la méthode E-12 décrite dans la directive de l'OVEF 2013 : la décantation durant 24 h à 4°C permet normalement d'obtenir un surnageant clair (<5 NTU). Si le surnageant n'est pas clair, il est nécessaire de centrifuger l'échantillon.

#### **Méthode d'analyse :**

Transfert de 10 ml de l'échantillon dans un HS-Vial de 20 ml, addition de WF/ISTD (congénère PCB marqué 13C). Enrichissement des analytes dans le volume headspace (HS) du vial sur une fibre SPME, séparation par chromatographie en phase gazeuse et quantification par MS/MS.

#### **Limite de quantification**

Phase dissoute : 2 ng/l par congénère

## **4. Turbidité avant l'échantillonnage**

Les graphiques en ANNEXE D présentant la turbidité dans l'eau souterraines en période « sans pompage » montrent que la turbidité pour les 3 piézomètres F18-08 et F27-08 se situent autour de la limite de quantification de 0.1 NTU : les eaux souterraines peuvent être considérées comme claires.

Au F19-08 par contre la turbidité varie entre 0.1 – 1.2 NTU ce qui indique une légère turbidité variable des eaux souterraines.

La turbidité au « Piezo Bleu » est également autour de la limite de quantification.

Pour le programme d'échantillonnage, les points de prélèvement représentatifs pour le programme d'échantillonnage ont été choisis selon les critères suivants :

- Turbidité différente en situation normale
- Différence importante au niveau du degré de pollution par les PCB.

Sur cette base le piézomètre « Piezo bleu » a été écarté du programme.

## **5. Résultats de l'échantillonnage du 17.05.2016**

### **5.1 Synthèse des résultats**

Les 2 tableaux suivants résument les résultats des  $\Sigma 6$  PCB dans les fractions dissoutes et particulaires (pour les détails cf. tableaux en ANNEXE G).

Methode OFEV	$\Sigma 6\text{PCBdiss}$	$\Sigma 6\text{PCB}$ part. > 1 $\mu\text{m}$	$\Sigma 6\text{PCB}$ part. 0.45-1 $\mu\text{m}$	% PCB dissous	% PCB part	PCBpart (>1 $\mu\text{m}$ ) / PCBpart (0.45-1 $\mu\text{m}$ )	Masse part. > 1 $\mu\text{m}$	Masse part. 0.45- 1 $\mu\text{m}$	masse (>1 $\mu\text{m}$ ) / masse (0.45-1 $\mu\text{m}$ )
	[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]				[mg/l]	[mg/l]	
F27-08B G 1L/min	1.6	0.46	0.30	68%	32%	60%	~ 0	2.44	0%
F19-08B G 1L/min	17.7	6.9	0.3	71%	29%	96%	7.92	0.28	97%
F18-08B G 1L/min	232.3	2.8	1.2	98%	2%	69%	74.24	0.04	100%
F27-08B G 6L/min	1.3	1.1	0.3	48%	52%	78%	~ 0	2.08	0%
F19-08B G 6L/min	23.6	20.7	0.4	53%	47%	98%	19.36	1.12	95%
F18-08B G 6L/min	320	2.7	1.20	99%	1%	69%	28.45	4.00	88%

Methode EMPA	$\Sigma 6\text{PCBdiss}$	$\Sigma 6\text{PCB}$ part. > 1 $\mu\text{m}$	% PCB dissous	% PCB part	Masse part. > 1 $\mu\text{m}$
	[ng/l]	[ng/l]			[mg/l]
F27-08A G 1L/min	1.5	0.16	91%	9%	~ 0
F19-08A G 1L/min	15.7	14.6	52%	48%	8.56
F18-08A G 1L/min	214.5	2.6	99%	1%	74.44
F27-08A G 6L/min	0.91	0.15	86%	14%	~ 0
F19-08A G 6L/min	21	43.4	33%	67%	58.56
F18-08A G 6L/min	176.4	2.9	98%	2%	71.84

Tableau 5.1 Synthèse des résultats d'analyse PCB. En rouge : résultat surestimé dû à un « recovery bas du standard interne » (cf. ANNEXE G )

## 5.2 Turbidité lors de purge et en fonction du débit de pompage

Les résultats de la sonde de turbidité (cf. ANNEXE D ) confirment les observations faites par rapport aux eaux pompées :

Sondage	Observations lors de la purge	Mesures de la turbidité	Remarque
F18-08	Eaux légèrement trouble, couleur jaunâtre, forte odeur soufre (œufs pourris). Les mesures ne dépassent pas 0.1 NTU, indépendamment du débit lors de l'échantillonnage		Échantillon devient très trouble (précipitations) env. 1 h après prélèvement
F19-08	Au début de la purge, le débit a progressivement baissé (batterie déchargée) Après le changement de la batterie, le débit a de nouveau atteint 6 l/min  Suite à l'abaissement de la nappe, la pompe et la sonde ont été placés plus bas et par conséquent plus proche du fond du piézomètre.	La turbidité diminue en parallèle avec la diminution du débit.  La turbidité a rapidement augmenté.  On observe une augmentation importante de la turbidité et également un ensablement de la sonde.	
F27-08	Eaux claires pompées lors de la purge, eaux claires lors de l'échantillonnage. Sans odeurs.	La turbidité oscille autour de 0.1 NTU. Les mesures ponctuelles de NTU plus importantes peuvent être observées lors du pompage à 1 l/min.	

Tableau 5.2 Observations lors de la purge en comparaison avec les mesures de la turbidité

## 5.3 Comparaison des méthodes d'analyse et des laboratoires

Σ6 PCB <sub>diss</sub> Méthode	Débit l/min	Empa	Empa	Wessling	Wessling – OFEV - / Empa-- Empa	Wessling - OFEV / Empa OFEV	Empa – Empa / Empa -OFEV
		Empa dissous ng/l	OFEV SPE - GC/MS dissous ng/l	OFEV HS-SPME- GC-MS/MS dissous ng/l	-	-	-
F27-08/1	1	1.5	1.6	3.0	1.9	1.8	0.9
F27-08/6	6	0.9	1.3	<2	~1	~1	0.7
F18-08/1	1	214.5	232.3	203.0	0.9	0.9	0.9
F18-08/6	6	176.4	320.5	249.0	1.4	0.8	0.6
F19-08/1	1	15.7	17.7	36.0	2.3	2.0	0.9
F19-08/6	6	21.2	23.6	32.0	1.5	1.4	0.9

Tableau 5.3 PCB<sub>diss</sub> selon laboratoire et méthode d'analyse

Les concentrations en PCB<sub>diss</sub> analysées selon la méthode EMPA sont d'un facteur 1 – 2 moins importantes que celles analysées par Wessling. Selon information (orale) de l'Empa, cette différence est acceptable.

Les 2 méthodes appliquées par l'Empa fournissent des résultats d'analyse très similaires.

## 5.4 Masse et taille des particules

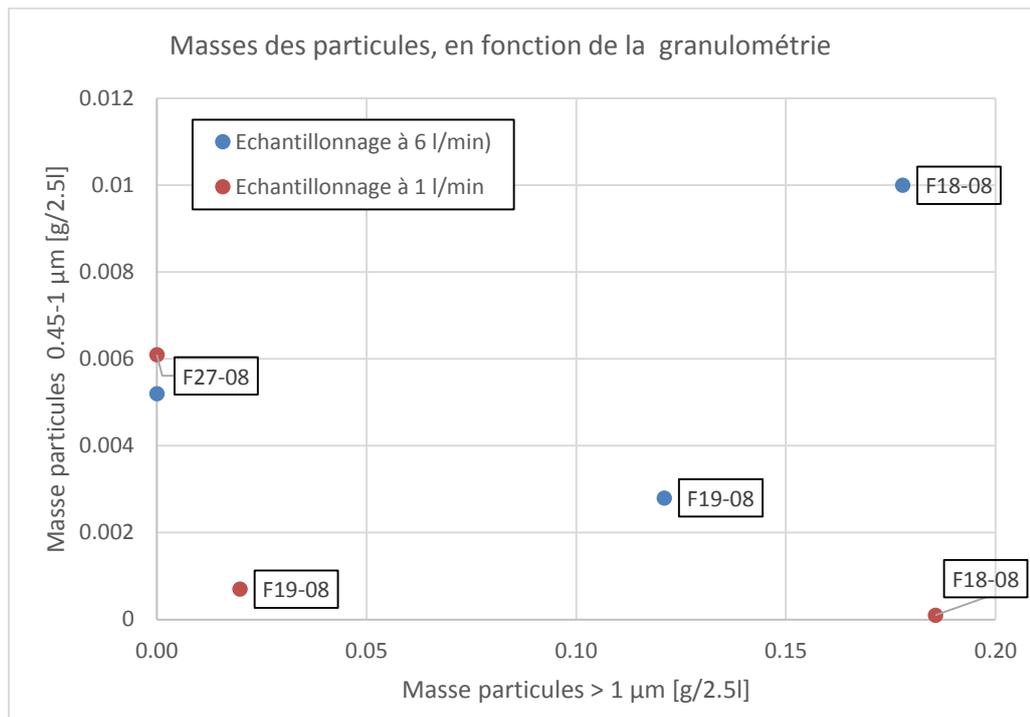


Figure 5.1 Masse de particules (grammes dans l'échantillon d'env. 2.5l) en fonction de la taille des particules.

Dans les eaux prélevées dans les 2 sondages au centre de la décharge (F18-08, la masse des particules > 1µm est nettement plus importante que celle des particules entre 0.45 – 1µm. Au F27-08 on observe le contraire.

Les particules du F18-08 correspondent plutôt aux complexes insolubles précipités dans l'échantillon bien après l'échantillonnage.

Au F19-08 on observe l'influence du débit de pompage : les particules de plus grande taille sont plus nombreuses lors du débit de pompage plus important.

Le graphique est partiellement biaisé par le fait que, pour plusieurs échantillons, la masse des particules est difficilement pesable (cf ANNEXE G).

## 5.5 Teneurs en PCB sur les particules

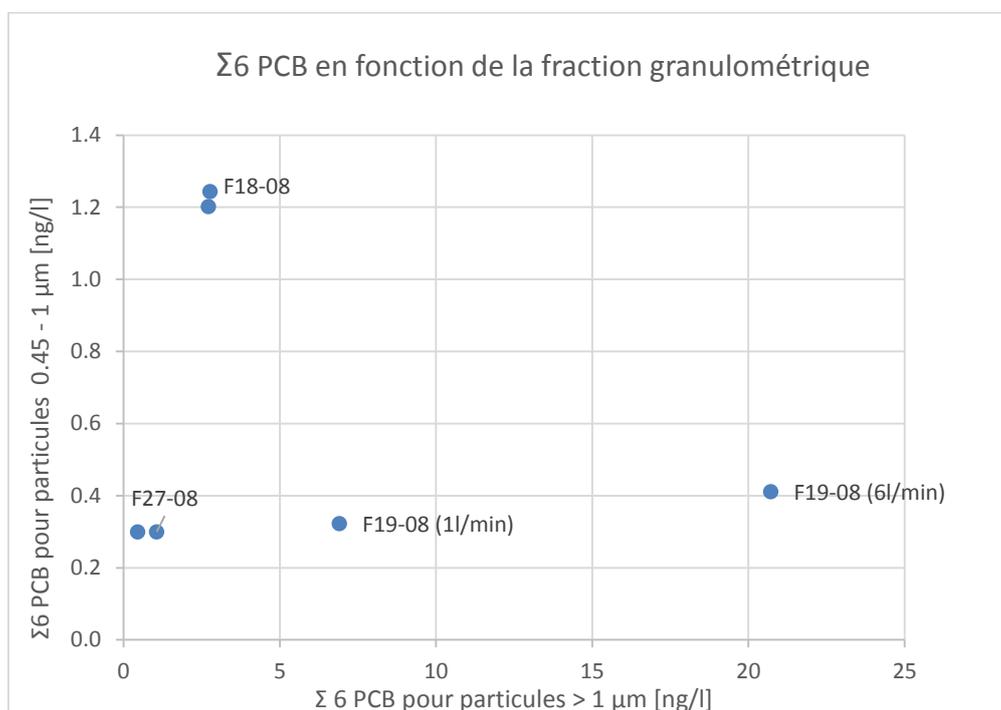


Figure 5.2 Teneurs en PCB<sub>part</sub> en fonction de la taille des particules

Les particules  $> 1\mu\text{m}$  sont en général plus chargées en PCB que les particules entre  $0.45 - 1 \mu\text{m}$ .

Au F19-08, on observe une fois de plus l'influence du débit sur les particules libérées et la contamination de ces particules : le débit plus important (6 l/min) libère non seulement plus de particules (cf. Figure 5.1), les particules libérées sont en plus bien plus contaminées par les PCB.

### 5.6 Importance des teneurs PCB<sub>part</sub> relative aux teneurs PCB<sub>diss</sub>

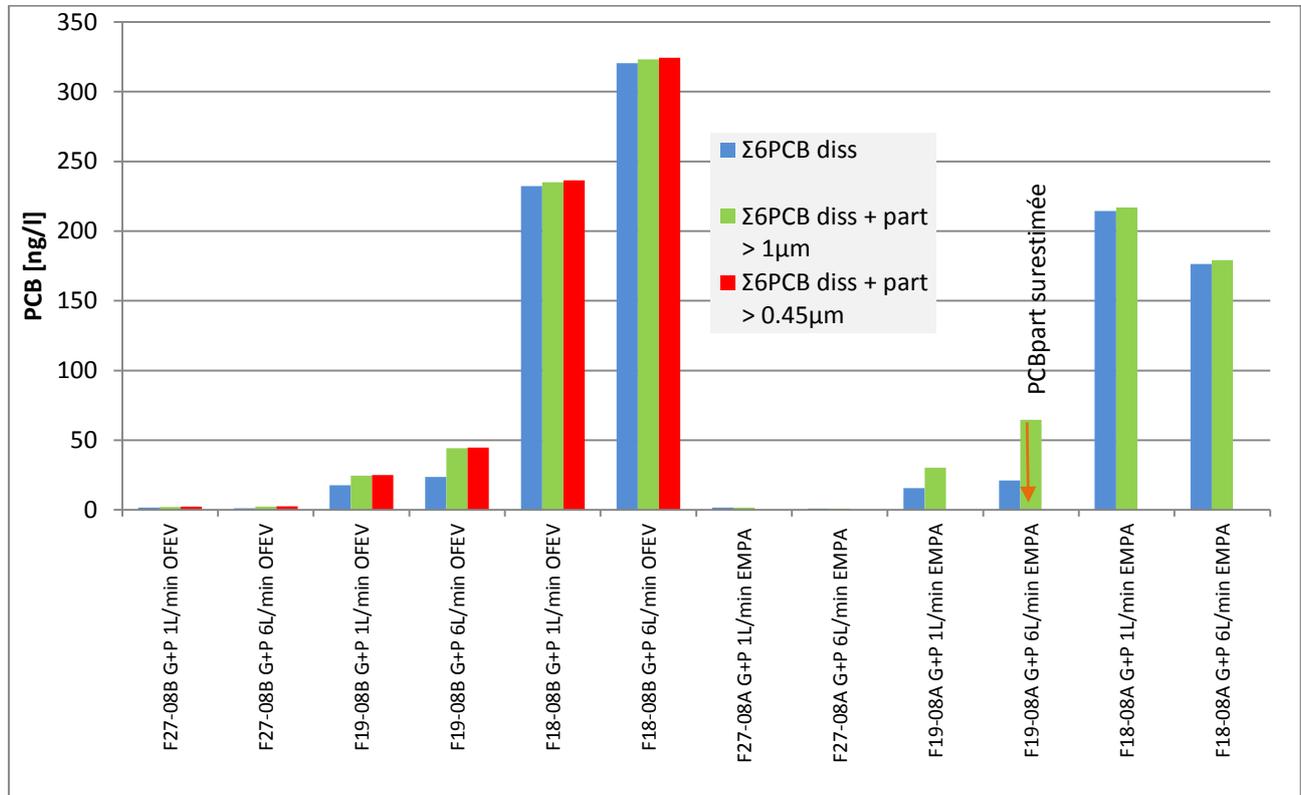


Figure 5.3 Importance des teneurs en PCB liées aux particules par rapport aux teneurs PCB<sub>diss</sub>. Comparaison entre les méthodes (analyses de l'EMPA).

Les teneurs des PCB<sub>part</sub> se situent autour de 0.5 à quelques ng/l. Par contre, les teneurs en PCB<sub>diss</sub> se situent entre 0.5 et 320 ng/l.

Les PCB<sub>part</sub> jouent un rôle marginal pour les teneurs élevées en PCB<sub>diss</sub>, leur contribution à la teneur totale en PCB est cependant plus importante pour les PCB<sub>diss</sub> inférieures à env. 20 ng/l. L'importance de cette contribution est cependant biaisée par le fait que la masse des particules est partiellement trop faible pour permettre une analyse fiable.

## 5.7 Influence du débit sur la masse en particules

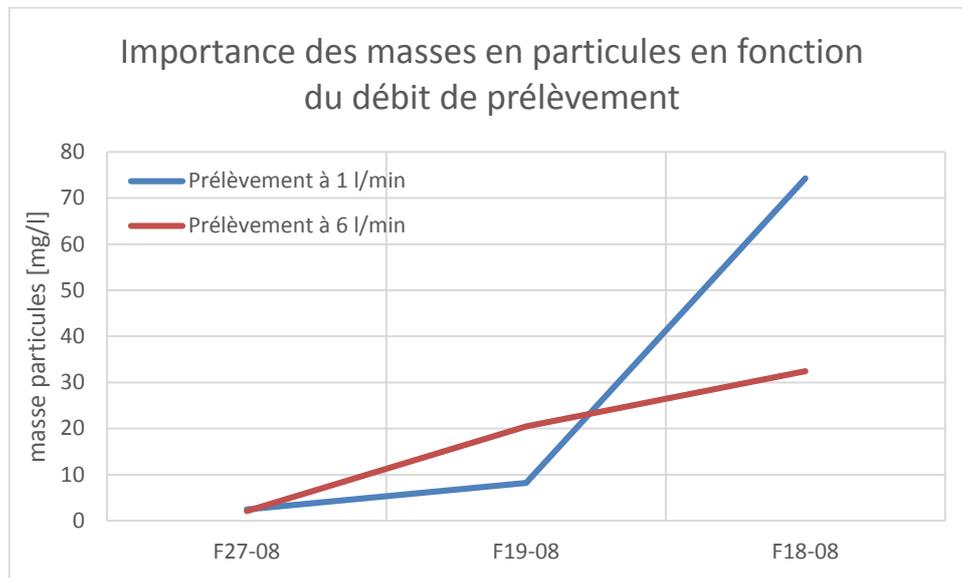


Figure 5.4 Masses des particules en fonction du débit du débit pompé

La présence plus importante de particules en lien avec un débit plus important peut uniquement être observée au F19-08.

Les masses de particules au F18-08 sont fortement biaisées par l'importante précipitation de particules dans l'échantillon environ 1 h après l'échantillonnage.

Le débit n'a que très peu d'importance en cas de turbidité très faible.

## 5.8 Évaluation

### Objectifs A + C

### Importance et provenance des particules fines

La turbidité naturelle des eaux souterraines est en majorité très faible à négligeable. Les valeurs sont clairement inférieures à 2 NTU correspondant à une turbidité naturelle d'une eau souterraine dans un aquifère en roche meuble.

La turbidité observée au F19-08 (avant pompage) est plus importante et atteint des valeurs jusqu'à 1 NTU. Ces valeurs sont toujours faibles et sont fort probablement dues aux conditions géologiques et hydrogéologiques au droit du sondage (faible épaisseur de la nappe, changement du gradient hydraulique, cf. profil n° 5 de l'investigation de détail [3]). De plus, le fond du piézomètre crépiné se situe à la hauteur du toit de la molasse sableuse ce qui favorise la libération de particules de sable, comme il a pu être observé lors de la purge.

Les facteurs les plus déterminants pour la présence de particules dans les échantillons des eaux souterraines sont les suivants (dans l'ordre d'importance):

- ☞ Lithologie autour des crépines
- ☞ Épaisseur de la nappe

☞ Débit de purge et au moment du prélèvement.

A l'exception du sondage F19-08, la purge n'a pas provoqué de turbidité plus importante : les mesures de la turbidité restent inchangées aux sondages F27-08 et F18-08. En ce qui concerne les teneurs en particules, elles sont faibles et varient en fonction du débit pompé. On peut donc en conclure que les débits appliqués ne libèrent que peu de particules mais que le nombre de particules augmente avec un plus grand débit.

On observe cependant la formation de particules après l'échantillonnage suite à la précipitation d'insolubles engendrée par le changement des conditions redox. Au F18-08, il est possible que les conditions de l'échantillonnage aient provoqué la précipitation de complexes de sulfure. Comme la turbidité est restée inchangée lors de la purge (env. 0.1 NTU), la masse des particules dans les échantillons F18-08 provient principalement des complexes précipités de taille  $> 1 \mu\text{m}$ .

En résumé, la turbidité est principalement liée aux caractéristiques du milieu dans lequel le point de prélèvement se situe et à son équipement. Les débits de pompage appliqués (purge et prélèvement correspondent à la technique du « low flow sampling » et ne provoquent pas une libération importante de particules fines.

Le choix d'une pompe à débit réglable ainsi que d'un débit de pompage de max. 1 l/min lors du prélèvement permettent de réduire au maximum la libération de particules.

## **Objectif B Importance des teneurs $\text{PCB}_{\text{part}}$ relatives aux teneurs $\text{PCB}_{\text{diss}}$**

Les teneurs en  $\text{PCB}_{\text{part}}$  sont de quelques ng/l et ceci indépendamment du débit pompé, de la turbidité et de l'importance de la contamination du terrain à la hauteur de la pompe. Les teneurs en PCB sont principalement déterminées par le  $\text{PCB}_{\text{diss}}$ . Seul en présence de teneurs faibles à très faibles (inf. en  $\text{PCB}_{\text{diss}}$ ), les  $\text{PCB}_{\text{part}}$  gagnent en importance.

En résumé, les concentrations en PCB total sont principalement constituées par les  $\text{PCB}_{\text{diss}}$ . Le  $\text{PCB}_{\text{part}}$  ne participe uniquement en cas de faibles teneurs en  $\text{PCB}_{\text{diss}}$ , principalement en raison de la faible masse de particules.

Comme la turbidité est quasiment nulle en temps « normal », c'est à-dire sans pompage, on peut en conclure que l'importance des teneurs en  $\text{PCB}_{\text{part}}$  est non pertinente comparativement aux teneurs en  $\text{PCB}_{\text{diss}}$  dans les eaux souterraines. Par conséquent, le flux de PCB transporté par les eaux souterraines s'extrayant dans la Sarine est quasi entièrement déterminé par les PCB dissous.

## **Objectif D Méthode d'analyse**

Concernant la méthode d'analyse, les résultats du laboratoire Empa pour les 2 méthodes ainsi que ceux du laboratoire Wessling sont comparables. Le traitement de l'échantillon liquide (décantation durant 24 h et prélèvement du surnageant) permet l'analyse des  $\text{PCB}_{\text{diss}}$ .

Les résultats ont montré que les teneurs en  $\text{PCB}_{\text{part}}$  sont négligeables comparées aux teneurs en  $\text{PCB}_{\text{diss}}$ . Par conséquent, la méthode Empa avec analyse du  $\text{PCB}_{\text{part}}$  n'est plus nécessaire.

Les résultats d'analyses légèrement plus élevés fournis par le laboratoire Wessling méritent des recherches plus approfondies. Il n'est pas clair si ces teneurs plus élevées sont dues au prétraitement insuffisant de l'échantillon (décantation incomplète par exemple) ou si la méthode d'analyse utilisée par Wessling est adaptée aux caractéristiques spécifiques de certains congénères PCB plus volatils. On observe par exemple qu'au contraire des résultats Empa, les teneurs en PCB28 chez Wessling sont systématiquement plus élevées que les teneurs en PCB52. Selon information de l'Empa, ceci peut être lié au type de colonne GC-

MS utilisé qui ne permet pas de différenciation détaillée des congénères PCB28 et PCB31, ou à la méthode SPME, qui favorise plutôt l'accumulation des PCB28 plus volatiles que les PCB52.

En résumé, les 3 méthodes d'analyses sont validées. Les analyses se limitent aux PCB<sub>diss</sub> et peuvent être effectuées selon la méthode d'analyse du laboratoire Wessling.

## **Objectif E      Limite de quantification**

En raison de l'importance négligeable des PCB<sub>part</sub>, la limite de quantification indiquée par le laboratoire Wessling de 2 ng/l par congénère répond aux exigences de l'OSites.

## **6.      Recommandations concernant le prélèvement et l'analyse des PCB dans les eaux souterraines**

### **6.1      Mesures et recommandations**

Méthodologie de prélèvement :

- Selon la méthodologie définie dans le document assurance de qualité
- Utilisation d'une pompe à débit réglable, permettant un débit de pompage  $\leq 1$ l/min
- Débit de pompage lors de la purge :  $\leq 6$ l/min
- Débit de pompage lors du prélèvement :  $\leq 1$ l/min.
- Formulaire d'échantillonnage pour toutes les campagnes (traçabilité).

Analyse :

- Méthode d'analyse et prétraitement de l'échantillon selon la méthode OFEV, E-12
- Analyse des PCB<sub>diss</sub> uniquement.
- Détermination, en collaboration avec le laboratoire, du prétraitement et de la méthode d'analyse adaptée aux critères spécifiques liés des PCB. Application systématique de la méthode convenue pour toutes les campagnes et tous les échantillons.
- Limite de quantification : 2 ng/l par congénère.

### **6.2      Questions ouvertes à régler**

Les questions suivantes sont à régler avec le laboratoire d'analyse avant la prochaine campagne :

- Influence de la méthode de décantation sur les analyses PCB<sub>diss</sub>.
- Influence de la méthode d'analyse sur les congénères plus volatiles comme le PCB28.
- Différenciation entre le PCB28 et le PCB31.

## CSD INGENIEURS SA

pp. Sébastien Paratte  
Chef de projet

pp. Alexandra Fröhlich  
Cheffe de projet

Fribourg, le 07.07.2016

### COREFERENT

Sébastien Paratte

### AUTRE(S) COLLABORATEUR(S) CHARGÉ(S) DE L'ÉTUDE

Alexandra Fröhlich (dipl. sc. nat. EPFZ)

Léa Tallon (hydrogéologue UNINE)

M:\Inter-Filiale\FR\_Fribourg\Datas\Csdfr\MANDATS\2700-749\FR2706.16 Pila\Eaux Souterraines\PCB\_Turbidite\_MES\Rapport\La Pila Eaux souterraines  
Méthodes échantillonnage et analyse.docx

Pour préserver l'environnement, CSD imprime ses documents sur du papier 100 % recyclé (ISO 14001).

**ANNEXE A    PLAN DE SITUATION DES POINTS ÉCHANTILLONNÉS**



reproduit avec l'autorisation de swisstopo (JA052246)

**FR2706 Décharge de la Pila**

**Plan de situation**

**C'S'D'**  
 Environnement  
 Sciences de la terre  
 Génie civil  
 Déchets et dépollution  
 Installations de traitement

**CSD Ingénieurs Conseils SA**  
 Chantemerle 37 - Granges-Paccot  
 CP384 - 1701 Fribourg  
 Tél. 026 460 74 74  
 Fax. 026 460 74 79  
 fribourg@csd.ch  
 www.csd.ch

Dessin FREDG	N° mandat FR2706.300
Date 08.08.2008	Echelle 1:1'000
Format A3	N° d'annexe Annexe A

<p><b>Forages et Sondages</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Forage 2008</li> <li> Forage pré-2008</li> <li> Rejet SAIDEF</li> <li> Sondage</li> </ul>	<p><b>Géologie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> profil 1 Trace des profils géologiques (Annexe C)</li> </ul>	<p><b>Divers</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> A3 Analyses de gaz</li> </ul>
---	---	--

**ANNEXE B      ASSURANCE DE QUALITÉ CSD DE L'ÉCHANTILLONNAGE  
DES EAUX SOUTERRAINES EN RAPPORT AVEC LES  
SITES POLLUÉS. FORMULAIRES D'ÉCHANTILLONNAGE**

## ASSURANCE QUALITE POUR LE PRELEVEMENT DES EAUX SOUTERRAINES EN RELATION AVEC LES SITES POLLUES

Les responsables de l'échantillonnage confirment par leur signature qu'ils possèdent l'expertise nécessaire pour effectuer des campagnes d'échantillonnage des eaux souterraines en relation avec les sites pollués.

<b>Chef/fe de projet :</b>	<b>Responsable de l'échantillonnage :</b>
<b>Nom Prénom</b>	<b>Nom Prénom</b>
Fonction chez CSD : Alexandra Fröhlich	Fonction chez CSD : Alexandra Fröhlich, Léa Tallon
Formation dans les sites pollués : CAS SIPO	Formation dans les sites pollués :
Date, lieu : 17.05.16, La Pila	Date, lieu : 17.05.16, La Pila
Signature	Signature

### Liste des documents joints pour l'assurance qualité

Documents	Chef/fe de projet	Responsable de l'échant.
1 Procédure générale de l'échantillonnage des eaux souterraines	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2 Procédure détaillée pour les points de prélèvements	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3 Collaboration avec un laboratoire accrédité SAS	<input checked="" type="checkbox"/>	
4 Documentations du responsable de l'échant.		
1. Plan de situation avec le sens de l'écoulement des eaux souterraines et les points de prélèvements	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2. Fiches d'échantillonnage	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3. Liste des flacons nécessaires fournie par le laboratoire	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4. Mandat d'analyses envoyé au laboratoire	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

**Le signataire confirme avoir lu, compris et rempli les documents ci-joints.**

**Date, signature**

.....

.....

## STANDARDS INTERNES-CSD POUR LES PRELEVEMENTS DES EAUX SOUTERRAINES EN RELATION AVEC LES SITES POLLUES

### EXIGENCES GENERALES POUR LES PRELEVEMENTS

1. Lorsque plusieurs campagnes doivent être effectuées (p. ex. dans le cadre d'un programme de surveillance ou lors de 2 campagnes en situation hydrologique contrastée), les mêmes conditions de renouvellement des eaux souterraines (purge) et de prélèvements doivent être appliquées.
2. L'ordre des points de prélèvements est déterminé par la concentration de polluants en chaque point : on commence par le point le moins pollué et l'on termine avec le plus pollué.
3. Les prélèvements sont effectués par une personne expérimentée dans le travail de terrain, qui connaît les différents équipements des installations et les appareils de terrain. De plus, elle doit être qualifiée dans les domaines de l'hydrochimie des eaux et en hydrogéologie.

### RESPONSABILITES, INFORMATIONS ET DOCUMENTATIONS

4. Le chef de projet est responsable de l'organisation, de la documentation, du déroulement et du contrôle final de la campagne d'échantillonnage.
5. Il élabore les documents de base pour les prélèvements (fiches d'échantillonnage, plan de situation et description du déroulement de la campagne).
6. Le responsable de l'échantillonnage a le devoir de contrôler le matériel de prélèvement et est responsable de son nettoyage avant et après la campagne et du bon déroulement de l'échantillonnage.
7. Le responsable de l'échantillonnage remplit les fiches d'échantillonnage durant et après chaque points de prélèvements et vérifie qu'elles soient complètes à la fin de l'échantillonnage.
8. Lors de la campagne d'échantillonnage, le chef de projet est soit présent ou joignable en tout temps. Si les conditions sont différentes par rapport aux campagnes des mesures précédentes, le responsable de l'échantillonnage doit immédiatement en informer le chef de projet et discuter des nouvelles mesures à prendre.
9. Le responsable de l'échantillonnage est responsable du stockage et de l'envoi des échantillons.
10. Après la campagne, le responsable de l'échantillonnage remet les formulaires aux chefs de projets et l'informe de la campagne.
11. Le chef de projet vérifie que les fiches d'échantillonnages sont complètes et contrôle le mandat d'analyses envoyé au laboratoire.

### EXIGENCES PAR RAPPORT AU MATERIEL D'ECHANTILLONNAGE ET INSTRUMENTS DE MESURES

12. La pompe est en inox ou PTFE. Aucun autre type de matériau ne doit être utilisé.
13. Le tuyau de la pompe est en PTFE. Aucun autre type de matériau ne doit être utilisé.
14. Les flacons / récipients utilisés pour l'échantillonnage sont fournis par le laboratoire qui les analysent. Des flacons provenant d'un autre laboratoire ne doivent pas être utilisés.

### EXIGENCES PAR RAPPORT AU NETTOYAGE ET A L'ENTRETIEN DU MATERIEL

15. Le calibrage des sondes de mesures O<sub>2</sub> doit être effectué avant la campagne (si possible le jour même de la campagne, cependant, si les conditions météorologiques sont stables, il est possible de l'effectuer le jour avant). Le calibrage des sondes de mesures de conductivité él. pH, oxygène et redox est à effectuer selon les instructions du fournisseur.
16. Nettoyage des pompes et du matériel de prélèvements : la pompe et l'intérieur du tuyau sont nettoyés à l'aide d'isopropanol dilué à environ 20%, puis rincé avec de l'eau du robinet. L'extérieur du tuyau est nettoyé à l'aide de l'isopropanol dilué à 20 % et d'un chiffon propre.

17. Entre les points de prélèvements, la pompe et le matériel de prélèvement sont nettoyés à l'intérieur et à l'extérieur avec l'eau claire. Dans le cas d'une pollution importante, le nettoyage se fait à l'aide d'isopropanol dilué à 20% puis est rincé avec de l'eau claire.
18. Le nettoyage du matériel de prélèvements se fait uniquement avec de l'isopropanol dilué à 20 % et d'eau du robinet.

## **EXIGENCES PAR RAPPORT A LA SECURITE DES PERSONNES ET DU TRAVAIL, AINSI QUE PAR RAPPORT AUX RISQUES DE CONTAMINATION**

19. Sécurisation du périmètre du point de prélèvement : mettre en place une signalisation ou une barrière de sécurité si nécessaire.
20. Respecter les consignes de sécurité et d'hygiène (gants, lunettes, etc.).
21. Si la surface autour du point de prélèvement est contaminée, prévoir une bâche pour le matériel de prélèvements.
22. Installer la génératrice du côté opposé au sens du vent et le plus loin possible des points de prélèvements.

## **EXIGENCES VIS A VIS DE TIERS**

23. Les analyses sont uniquement effectuées par des laboratoires accrédités SAS.
24. A définir avec le laboratoire : les méthodes analytiques et les limites de quantification ainsi que les conditions nécessaires pour le flaconnage, le conditionnement et la conservation des échantillons. Il faut contrôler les flacons lors de leur réception au bureau.
25. Transmission d'un mandat d'analyses complet au laboratoire : indications des paramètres à analyser (y compris si teneurs totales ou dissoutes), lieu de la campagne, limite de quantification, méthode analytique.

## **EXIGENCES PAR RAPPORT A LA DOCUMENTATION**

26. Le chef de projet compose pour chaque campagne d'échantillonnage un dossier qui comprend les éléments suivants : description du déroulement de la campagne, les fiches d'échantillonnages pour chaque point de prélèvements, le plan de situation, le tableau des niveaux piézométriques (avec les mesures des campagnes précédentes) ainsi que, si disponible, les logs des forages, le mandat d'analyses du laboratoire et la liste des flacons correspondant aux différents paramètres analysés.
27. Sur les fiches d'échantillonnage figurent au minimum les indications suivantes : lieu, mandataire, date, point de prélèvement, prélèvement, équipement du piézomètre, volume de la colonne d'eau, matériel de prélèvement, programme d'analyses ainsi qu'un tableau pour les paramètres physico-chimiques, du volume pompé, du débit et des caractéristiques de l'eau pompée (turbidité, odeur,...).

## **EXIGENCES PAR RAPPORT AU RENOUVELLEMENT DES EAUX SOUTERRAINES AU FORAGE**

28. Le pompage ne doit pas induire une zone de suintement. Durant le renouvellement de l'eau dans un forage, le rabattement créé par le pompage ne doit pas être trop élevé car les mesures destinées à éviter les échanges gazeux de l'eau avec l'air seraient rendues inutiles à cause de suintements trop importants.
29. Pendant la phase de renouvellement des eaux au niveau du forage, le rabattement ne doit pas être trop important. La pompe est placée dans la partie supérieure de la zone saturée (< 2 m sous le niveau de la nappe).
30. L'eau pompée passe à travers une cellule de mesures pour que les paramètres physico-chimiques puissent être mesurés durant la phase de renouvellement.
31. La durée de la phase de renouvellement (jusqu'à obtention d'une eau souterraine représentative) dépend des paramètres suivants:
  - Turbidité : l'eau doit être claire
  - Paramètres physico-chimiques : les paramètres doivent être stables. Néanmoins, les variations suivantes sont admises : C25 :  $\pm 10 \mu\text{s/cm}$ , T° :  $\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ , O<sub>2</sub> :  $\pm 0.2 \text{ mg/l}$ .

- Le volume d'eau pompé doit correspondre au minimum à 3 fois celui contenu dans le tube du forage et du massif filtrant.

Ces trois conditions doivent être remplies afin d'avoir un échantillonnage représentatif.

32. Pour les milieux de perméabilité faible à très faible, il faut vider complètement l'eau du forage 1 à 2 fois (eau stagnante) puis attendre que le niveau se stabilise à nouveau dans le forage. Aussitôt que le niveau est stable, l'échantillonnage doit être effectué.

## **EXIGENCES DURANT L'ECHANTILLONNAGE**

33. L'échantillonnage est réalisé directement depuis la pompe. Le débit de pompage doit alors être réduit à 2 l/min.
34. Toutes les étapes, observations et mesures doivent être indiquées sur les fiches d'échantillonnage.
35. Le conditionnement et la conservation sont donnés par le laboratoire, néanmoins ils doivent être conformes à la directive de l'OFEV (2013) : prélèvements des eaux souterraines en relation avec les sites pollués.

## LIEU, COMMUNE ECHANTILLONNAGE DU *date*

### DONNEES GENERALES

Site pollué	
Nom	Décharge de La Pila
Commune	Hauterive
N° du cadastre	2219-0116
Statut	Nécessite assainissement
Mandat	
Mandant	Consortium
Mandataire	<b>CSD INGENIEURS SA</b> Chantemerle 37 - Granges-Paccot Case postale 384 CH-1701 Fribourg t +41 26 460 74 74 f +41 26 460 74 79 e fribourg@csd.ch www.csd.ch
	<i>Chef(fe) de projet / mandat</i> Sébastien Paratte
	<i>Responsable de l'échantillonnage</i> Alexandra Fröhlich
Laboratoire	1. Empa, Section Advanced Analytical Technologies 2. WEssling, Lyss

### PROGRAMME DE LA CAMPAGNE D'ECHANTILLONNAGE

Conditions hydrologiques

**Hautes eaux**

Déroulement de l'échantillonnage

Ordre des points de prélèvements, du non-pollué au plus pollué.

Points de prélèvement		
Nom	Emplacement (amont/aval)	Type
F18-08	Centre zone Basse de la décharge	PVC 4 ½'
F19-08	Centre zone Basse de la décharge	PVC 4 ½'
F27-08	Aval zone Basse de la décharge	PVC 4 ½'

Programme d'analyses				
Paramètre	LQ	Méthode d'analyses	Méthode selon OFEV (2013)	Analyses effectuées pour les points de prélèvement
I-PCB	0.001 ng/l par cong.	Labor. Empa : Méthode Empa (cf. annexe F).		F18-08, F19-08, F27-08
I-PCB	0.001 ng/l par cong.	Labor. Empa : SPE - GC/MS	E-12	F18-08, F19-08, F27-08
I-PCB	2 ng/l par cong.	Labor. Wessling : SPME – GC-MS/MS	E-12	F18-08, F19-08, F27-08
COT	0.5 mg/l		Texte	F18-08, F19-08, F27-08
COD	0.5 mg/l		Texte	F18-08, F19-08, F27-08

## PARAMETRES DE LA CAMPAGNE D'ÉCHANTILLONNAGE

	F18-08	F19-08	F27-08
<b>Pompe</b>	Pompe immergée PP 36 inox avec survolteur /régleur de débit		
<b>Tuyau</b>	PVC		
<b>Appareil de mesures</b>	Multiparamètre HACH (pH, T, K, O2)		
<b>Renouvellement de l'eau au forage [l]</b>	3x volume + stabilisation des paramètres K, T, O2		
<b>Débit moyen durant le renouvellement [l/min]</b>	6	6	6
<b>Débit moyen durant l'échantillonnage [l/min]</b>	a) 6 b) 1	a) 6 b) 1	a) 6 b) 1

## Changements dans le programme d'échantillonnage par rapport aux campagnes précédentes -

	oui/non	Changements
Points de prélèvement		
Programme d'analyses		
Paramètres du renouvellement des eaux souterraines et d'échantillonnage		
Matériel, appareil de mesures		

**PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES**

N° et nom Projet	FR2706.916 - Pila : étude complémentaire à l'assainissement
Bureau d'étude, responsable	CSD Ingénieurs SA, Chantemerle 37 Granges-Paccot. 1701 Fribourg
Maître d'ouvrage	

**Contexte général de l'échantillonnage**

Date / heure échantillonnage	17.05.2016			
Conditions météorologiques	<input checked="" type="checkbox"/> Beau	<input type="checkbox"/> nuageux	<input type="checkbox"/> Tempête	<input type="checkbox"/> pluie <input type="checkbox"/> neige
Laboratoire d'analyse	Wessling SA / EMPA			
Transport des échantillons	transport par Wessling SA			
Stockage des échantillons	Date :	Livraison des échantillons. Date:		

Données générales sur le point d'eau		Piezomètre / Sondage		
Nom / N° point d'eau	F18-08/6	Coordonnées		
Lieu / commune		Référence pour niveaux d'eau		
Type	<input type="checkbox"/> Source	Cote terrain	<input type="checkbox"/>	
	<input type="checkbox"/> Puits de captage	Cote piezomètre	<input checked="" type="checkbox"/>	
	<input checked="" type="checkbox"/> Piézo/forage	Différence [m]		
	<input type="checkbox"/> Réseau d'eau	Tube aveugle [m]	dp.terrain	
Type sondage	<input type="checkbox"/> destructif	Tube aveugle "[m]	dp.terrain	
	<input type="checkbox"/> carotté	Tube crépiné [m]	dp.terrain	
Type tubage	<input type="checkbox"/> Acier <input type="checkbox"/> Acier inox	Dépotoire	dp.terrain	
	<input type="checkbox"/> PE <input checked="" type="checkbox"/> PVC	Remarques		
Diamètre int. tubage (")				

Echantillonnage		Purge		
NOM ECHANTILLON				
Type de pompe	<input type="checkbox"/> Grundfos	Volume colonne d'eau [l]		
	<input type="checkbox"/> 12V inox			
12 V Inox PP36 avec régleur de débit		Purge théor. de 3x volume [l]		260
		Purge réalisée [l]		
Tuyau, matériel	<input type="checkbox"/> PE <input checked="" type="checkbox"/> Teflon	Niveau statique (réf.)		4.19
Prélèvement	<input type="checkbox"/> échant. inox	Profondeur moy. pompe [m]	Tube dp.terrain	10
	<input type="checkbox"/> par pompage	Débit moyen [l/min]		

**Programme d'analyse**

PCB

EMPA: conditionnement méthode Empa (1µm, analyse PCB<sub>diss</sub> + PCB<sub>part</sub>)

EMPA: décantation: analyse PCB<sub>diss</sub> + PCB<sub>part</sub> selon méthode OFEV

COT, DOC → Wessling

MES (0.45 µm) [mg/l]: analyse selon OFEV pour tous les échantillons



**PROTOCOLE D'ECHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES**

N° et nom Projet	FR2706.916 - P11a : étude complémentaire à l'assainissement
Bureau d'étude, responsable	CS3 Ingénierie SA, Chantemerle 17 Courmayeur, Parc 01, 1701 Triboung
Maitre d'ouvrage	

<b>Contexte général de l'échantillonnage</b>	
Date / heure d'échantillonnage	21.05.2016
Conditions météorologiques	<input checked="" type="checkbox"/> Beau   <input type="checkbox"/> nuageux   <input type="checkbox"/> tempête   <input type="checkbox"/> pluie   <input type="checkbox"/> neige
Laboratoire d'analyse	Wessling SA / <b>CEMPA</b>
Transport des échantillons	Transport par Wessling SA
Stockage des échantillons	Date :   Location des échantillons, Date :

Données générales sur le point d'eau		Piezomètre / Sondage	
Nom / N° point d'eau	<b>F19-08</b>	Coordonnées	
Lieu / commune		<i>Référence pour niveaux d'eau</i>	
Type	<input type="checkbox"/> source <input type="checkbox"/> Puits de captage <input checked="" type="checkbox"/> Piezométrage <input type="checkbox"/> Réseau d'eau	Capacité (m³)	<input type="checkbox"/>
Type sondage	<input type="checkbox"/> descendant <input type="checkbox"/> ascendant	Échelle piézométrique	<input checked="" type="checkbox"/>
Type tubage	<input type="checkbox"/> Acier   <input type="checkbox"/> Acier inox <input type="checkbox"/> PE   <input checked="" type="checkbox"/> PVC	Différentiel (m)	
Diamètre int. tubage (")		Tube d'égout (m)	diploca
		Tube arrosage (m)	diploca
		Tube crépiné (m)	diploca
		Déprotector	diploca
		Remarques	

Échantillonnage		Purge	
NOM ÉCHANTILLON		Volume colonne d'eau (l)	
Type de pompe	<input type="checkbox"/> Gravitaire <input type="checkbox"/> 12V inox 12 V Inox PP36 avec régulateur de débit	Purge théor. de 8 volumes (l)	
Tuyau, matériel	<input type="checkbox"/> PE   <input checked="" type="checkbox"/> Nylon	Purge réalisée (l)	
Prélèvement	<input type="checkbox"/> à la main <input type="checkbox"/> par pompage	Niveau statique (m)	diploca 11.50
		Profondeur moy. pompe (m)	diploca
		Débit moyen (l/min)	

**Programme d'analyse**

PCB

EMPA conditionnement méthode EMPA (1µm, analyse PCB<sub>sum</sub> + PCB<sub>point</sub>)

EMPA décantation: analyse PCB<sub>sum</sub> + PCB<sub>point</sub> selon méthode CE LV

CC1, CC2 - Wessling

MI 5 (0.45 µm) (mg/l) analyse selon CE LV pour tous les échantillons



**PROTUCOLL D'ÉCHANTILLONNAGE DES FAUX SOUTERRAINES**

N° et nom Projet	FR2706.916 - PIIA : étude complémentaire à l'assainissement
Bureau d'étude, responsable	CSO Ingénierie SA, Chemin de la 17 Grande Paroisse, 17031 Erlbourg
Maître d'ouvrage	

<b>Contexte général de l'échantillonnage</b>	
Date / heure échantillonnage	13-05-2016
Conditions météorologiques	<input checked="" type="checkbox"/> Beau   <input type="checkbox"/> Nuageux   <input type="checkbox"/> Tempête   <input type="checkbox"/> Pluie   <input type="checkbox"/> Neige
Laboratoire d'analyse	Wessling SA / <i>EMA</i>
Transport des échantillons	Transport par Wessling SA
Stockage des échantillons	Date :   Localisation des échantillons, Date:

<b>Données générales sur le point d'eau</b>		<b>Piezomètre / Sondage</b>	
Nom / N° point d'eau	F27-08	Cote (mètres)	
Lieu / commune		<i>Référence pour niveaux d'eau</i>	
Type	<input type="checkbox"/> Source	Cote terrain	[ ]
	<input type="checkbox"/> Puits de captage	Cote piezométrique	[ ]
Type sondage	<input checked="" type="checkbox"/> Piezométrique	Différence [m]	
	<input type="checkbox"/> Réseau d'eau	Tube aveugle [m]	diploca
	<input type="checkbox"/> Abandon	Tube récapé [m]	diploca
	<input type="checkbox"/> Conduite	Tube récapé [m]	diploca
Type tubage	<input type="checkbox"/> Acier   <input type="checkbox"/> Acier inox	Départure	diploca
	<input type="checkbox"/> PE   <input checked="" type="checkbox"/> PVC	Remarques	
Diamètre int. tubage (")			

<b>Echantillonnage</b>		Purge	
<b>NOM ÉCHANTILLON</b>		Volume colonne d'eau [l]	
Type de pompe	<input type="checkbox"/> Manuelle <input type="checkbox"/> 12V inox	Purge théorique de 3x volume [l]	
	12 V Inox PP36 avec régulateur de débit	Purge réalisée [l]	
Matériau matériel	<input type="checkbox"/> PE   <input checked="" type="checkbox"/> Pexon	Niveau statique (m)	4.04
Prélèvement	<input type="checkbox"/> Échant. aux <input type="checkbox"/> au putois	Profondeur moy. pompe [m]	4.50
		Débit moyen (l/min)	

<b>Programme d'analyse</b>	
PCB	
-MPA conditionnement méthode Empa (1µm), analyse PCB <sub>sum</sub> + PCB <sub>point</sub>	
-MPA décontamination analyse PCB <sub>sum</sub> + PCB <sub>point</sub> selon méthode C1 E V	
C11, C100 - Wessling	
M15 (0.45 µm) [mg/l]: analyse selon C1 E V pour tous les échantillons	

SONDAGE		F27-8							
NOM ECHANTILLON									
Date, heure :		17.05.16 13 <sup>00</sup>							
Niveau statique :		m s (dp. référence)							
Heure	Niveau s/lpt réf. [m]	Débit [l/min]	Vol. pompé [l]	T° [°C]	K (25°C) [µS/cm]	pH	O <sub>2</sub> [mg/l]	Eh [mV]	Remarques (turb., couleur, odeur, etc.)
13:00	4.04	6.7		12.8	560		5.98		clair
13:08				9.8	572		6.17	53.4%	"
13:09				9.4	573		6.44		
13:10	4.08								
13:13				9.3	575		6.18	58.6%	"
13:15		1							
13:19				10.2	569		6.88		"
13:23				10.5	576		6.31	61.6%	"
							← Prélèvement le		

♂ Nil.  
♀ pré

**ANNEXE C LOGS DES FORAGES AVEC INDICATION PROFONDEUR  
DE LA POMPE**

# Reconnaitances géologiques

## COUPE DE SONDAGE 1:50

### F27-08

Cote : ~~569.166~~ 569.31

Date : 18.06.08

Coordonnées : 576'091.586 / 180'045.108

Maison de forage : Stump

Méthode / Ø (mm)	Echantillons sols	Prof. (m)	Profil	Description lithologique	Géologie	Humidité des sols	Hydrogéologie	Echantillons sols		Echantillons eau		Equipement
								Date prélèvement	N° ID Labo	Date prélèvement	N° ID Labo	
			<LQ	Limons argileux, légère cohésion, brun foncé, bois, racines, galets et blocs arrondis (5%)	Sol	humide		18.06.2008	F27-08/0-2			
		1.0		Sables graveleux (15%, arrondis), lâches, gris-brun, pas de déchets	Alluvions de la Sarine	très peu humide	☉					
		2.0		Entre 1.7m et 2.0m: plus de graviers								
		3.0	<LQ	Graviers sableux, lâches, gris, presque sec jusqu'à 3.3m, présence de blocs arrondis				18.06.2008	F27-08/2-4			
		4.0		Entre 4.4m et 4.7m: plus limoneux, légère cohésion		très humide à saturé					17.05.16 565.98 msm	
		5.0		Molasse, très dure	Molasse	sec					Pompe à env. 3.9 m depuis terrain	
				Fin du forage								
		6.0										
		7.0										
		8.0										
		9.0										

# Reconnaitances géologiques

## COUPE DE SONDAGE 1:50

### F18-08

Cote : 575.724 575.66

Date : 03.06.08

Coordonnées : 576'039.072 / 180'005.243

Maison de forage : Stump

Méthode / Ø (mm)	Echantillons sols	Prof. (m)	Profil	Description lithologique	Géologie	Humidité des sols	Hydrogéologie		Echantillons eau		Equipement	
							Date prélèvement	N° ID Labo	Date prélèvement	N° ID Labo		
				Topsoil, limons légèrement sableux, racines, brun	Sol							
	41.02mg/kg	1.0		Limons argilo-sableux, gris-brun avec des déchets: plastique, pas de vis d'ampoule, bois, verre, briques,...	Décharge	légèrement humide						
		2.0		Entre 1.3 et 2.5m: beaucoup de briques de verre Entre 1.5m et 1.6m: gros morceau de bois Devenant plus argileux en profondeur À 2.1m: gros bloc					03.06.2008	F18-08/0-2		
	16.08mg/kg	3.0		Matière organique sableuse (+/- limono-sableuse dans certains niveaux), noir. Beaucoup de déchets: verre, porcelaine, bois, plastique, métal,...					03.06.2008	F18-08/2-4		
	3.10mg/kg	5.0		Entre 5.1m et 5.7m: beaucoup de gros déchets: brique et plastique		très humide						
		6.0				humide						
	4.77mg/kg	7.0		Entre 6.9m et 7.2m: métal et plastique abondant								
		8.0		Paléosol: limons sablo-argileux, racines, brun foncé	Paléosol							
				Limons sableux, gris, légère cohésion, pas de déchets								
	0.74mg/kg	9.0		Sables, gris-vert, pas de déchets et pas de galets	Alluvions de la Sarine	très humide à saturé						
				Graviers fins sableux, gris					03.06.2008	F18-08/6-8		
				Sables avec graviers (galets de environ 3cm), gris					03.06.2008	F18-08/8-10		
				Limons argileux, bonne cohésion, brun-gris								

17.05.16 569.40 msm

Pompe à erv. 10 m  
depuis terrain

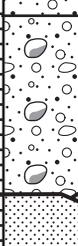
**Reconnaitances géologiques**  
**COUPE DE SONDAGE 1:50**  
**F18-08**

Cote : 575.724

Date : 03.06.08

Coordonnées : 576'039.072 / 180'005.243

Maison de forage : Stump

Méthode / Ø (mm)	Echantillons sols	Prof. (m)	Profil	Description lithologique	Géologie	Humidité des sols	Hydrogéologie	Echantillons sols		Echantillons eau		Equipement
								Date prélevement	N° ID Labo	Date prélevement	N° ID Labo	
	0.07mg/kg	11.0		Sables gris Gros graviers arrondis, sableux, gris	Alluvions de la Sarine	saturé		03.06.2008	F18-08/10-12			
			Molasse dure, verdâtre	Molasse								
		12.0		Fin du forage								
		13.0										
		14.0										
		15.0										
		16.0										
		17.0										
		18.0										
		19.0										



CSD Ingénieurs Conseils SA  
 1701 FRIBOURG  
 Tél 026 / 460 74 74

Levé géologique : ART  
 Dessin : ART

# Reconnaitances géologiques

## COUPE DE SONDAGE 1:50

### F19-08

Cote : ~~576.742~~ 576.80

Date : 29.05.08

Coordonnées : 576'053.818 / 180'030.549

Maison de forage : Stump

Méthode / Ø (mm)	Echantillons sols	Prof. (m)	Profil	Description lithologique	Géologie	Humidité des sols	Hydrogéologie		Equipment		
							Echantillons sols	Echantillons eau			
							Date prélèvement	N° ID Labo			
0.69mg/kg		0.0		Sables limoneux, meubles, avec quelques graviers (0.5cm-2cm), gris-brun, racines dans les 10 premiers cm. Déchets: clous, métal, plastique, verre, béton, sagex,... Entre 0.6m et 0.8: beaucoup déchets métalliques	Sol et décharge	très peu humide					
		1.0		Limons argileux, cohésif, brun-beige, quelques graviers (0.5-2cm) arrondis, peu de déchets (quelques briques de verre et morceaux de tuile) Entre 1.1m et 1.3m: moins argileux	Déchets plutôt de construction	légèrement humide	29.05.2008	F19-08/0-2			
		2.0		Sables limoneux avec un peu de matière organique (noir), gris-noir déchets de construction: tuyau de câblage, plastique, béton, métal, verre,... À la base: béton			29.05.2008	F19-08/2-4			
		3.0		Limons noirs avec des niveaux plus argileux (2.2m-2.4m et entre 2.75 et 2.95: brun clair) Petits débris de construction (Peul)							
		0.28mg/kg		4.0		Déchets de construction: béton, briques, tuiles,... dans matrice sableuse, beige-noir					
				4.0		Déchets: plastique, sagex, fibres de verre, verre, métal,... dans sables limoneux (brun)					
		4.17mg/kg		5.0		Limons argilo-sableux, quelques graviers, gris-noir Déchets: caoutchouc, verre, bois, câbles, briques, tuiles, plastique, métal, béton, sagex, paille, tissu,... Entre 4.5m et 4.9m: beaucoup de petits débris de verre	Décharge	humide	29.05.2008	F19-08/4-6	
				6.0		Dès 6m: plus de déchets, moins de limons: gros bouts de plastique souple, verre, porcelaine, briques, tuiles,...					
				7.0		Entre 6.9m et 7.6m: beaucoup de plastique et de papier ainsi que du bois.					
				8.0		Béton, gris clair					
482.761mg/kg		8.0		Limons légèrement sablo-argileux, racines -> paléosol	Paléosol						
		9.0		Sables, gris-vert À 9.0m: apparition de galets dans les sables (arrondis, 0.5-3cm)	Alluvions de la Sarine	plus humide	02.06.2008	F19-08/8-10			
1.26mg/kg											

# Reconnaitances géologiques

## COUPE DE SONDAGE 1:50

### F19-08

Cote : ~~576.742~~

Coordonnées : 576'053.818 / 180'030.549

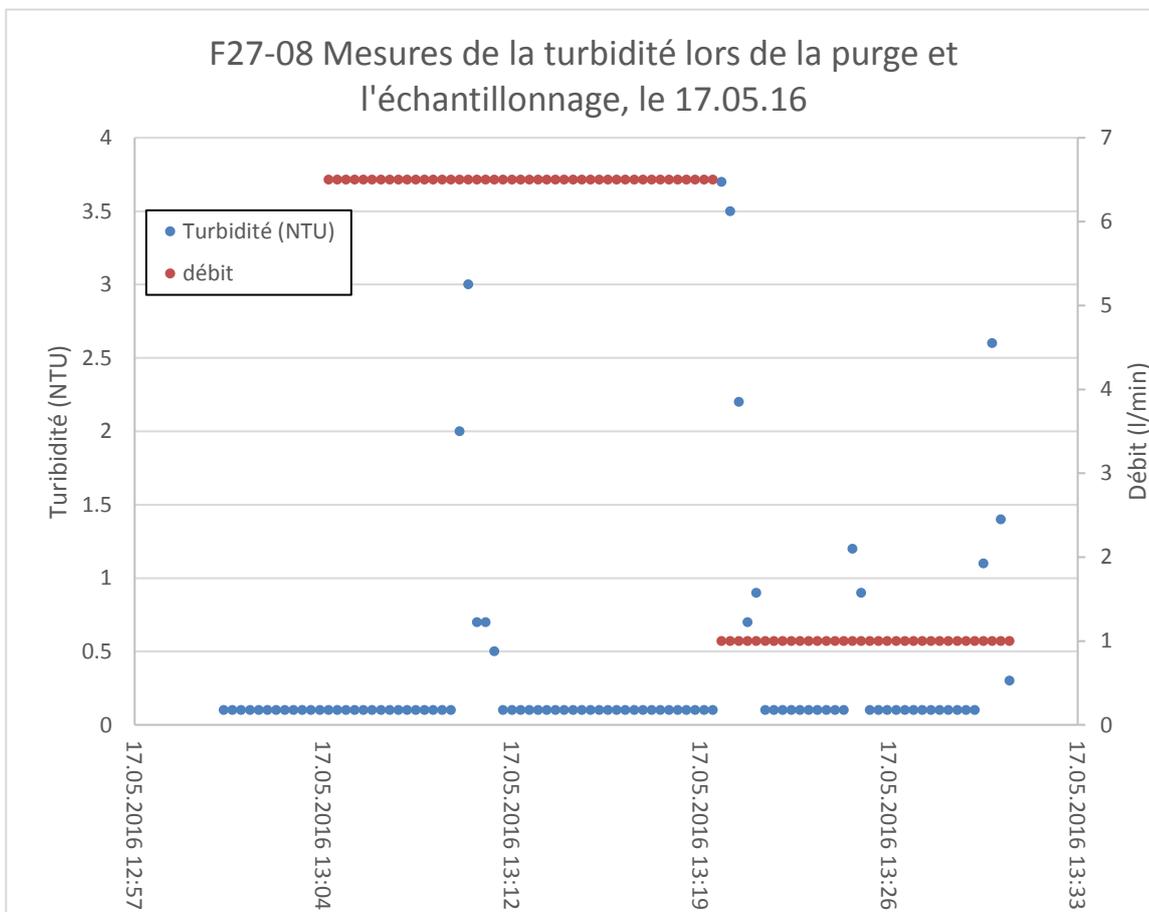
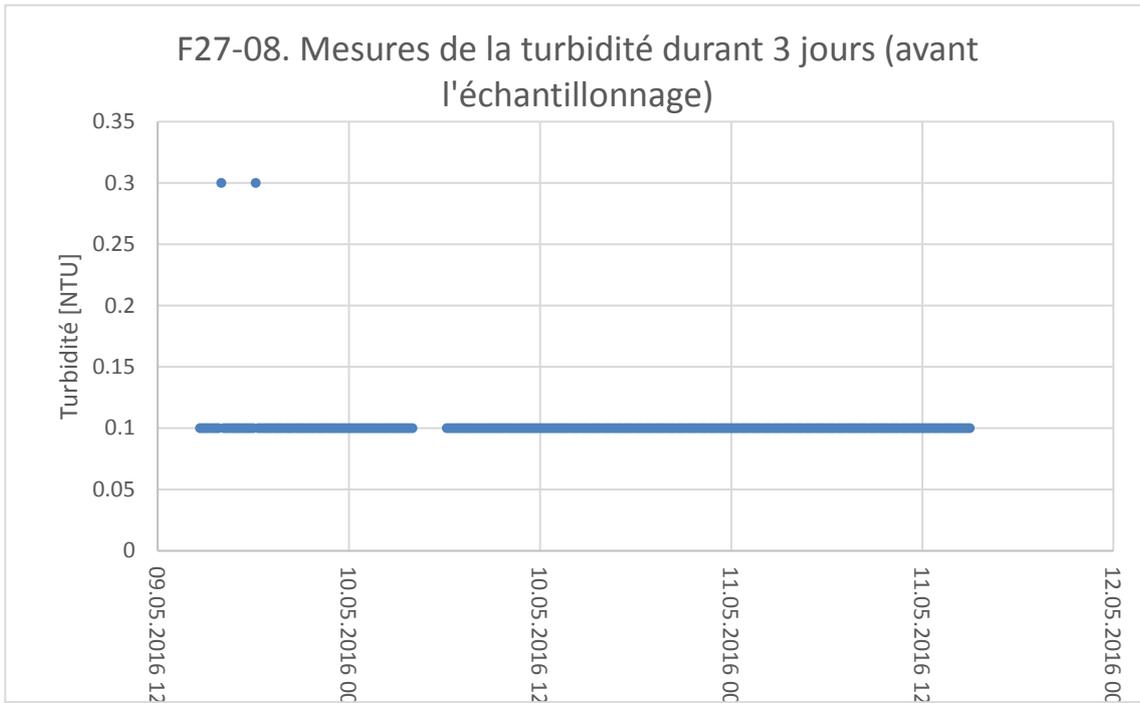
Date : 29.05.08

Maison de forage : Stump

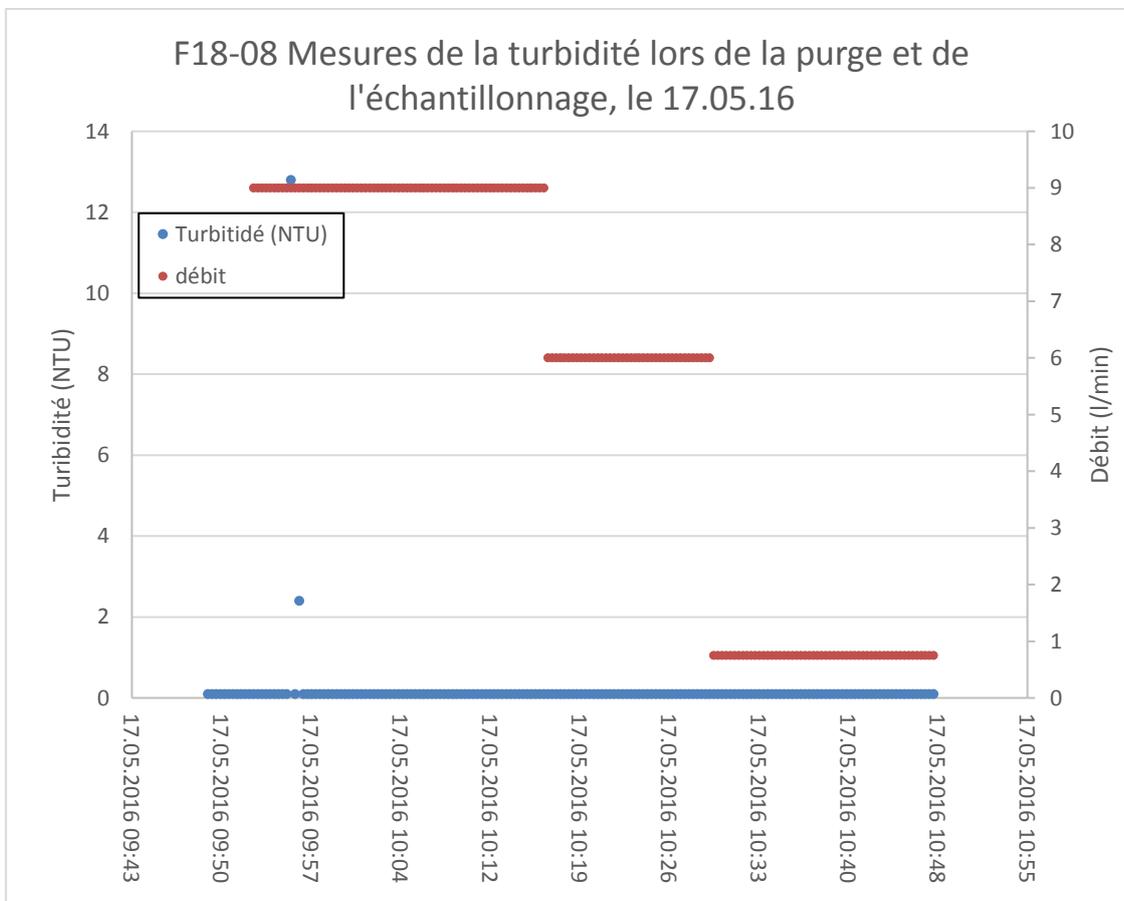
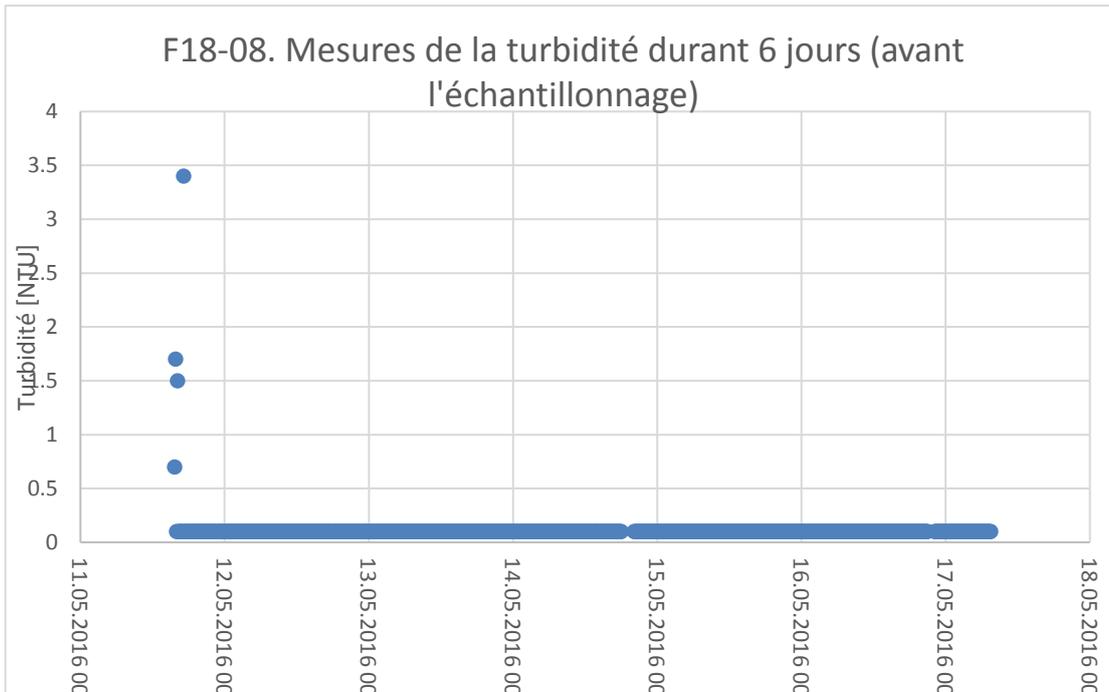
Méthode / Ø (mm)	Echantillons sols	Prof. (m)	Profil	Description lithologique	Géologie	Humidité des sols	Hydrogéologie	Echantillons sols		Echantillons eau		Equipement
								Date prélèvement	N° ID Labo	Date prélèvement	N° ID Labo	
	1.16mg/kg			Sables, gris-vert	Alluvions de la Sarine	humide	♂	03.06.2008	9-08/10-12	17.05.16	565.98	msm
		11.0		Graviers (0.5-8cm) sableux, gris		très humide - saturé				03.06.08	Pompe à env. 11.5 m depuis terrain	
		12.0		Molasse verdâtre, dure	Molasse							
		13.0		Fin du forage								
		14.0										
		15.0										
		16.0										
		17.0										
		18.0										
		19.0										

**ANNEXE D      GRAPHIQUES DE LA TURBIDITÉ AVANT ET DURANT  
L'ÉCHANTILLONNAGE**

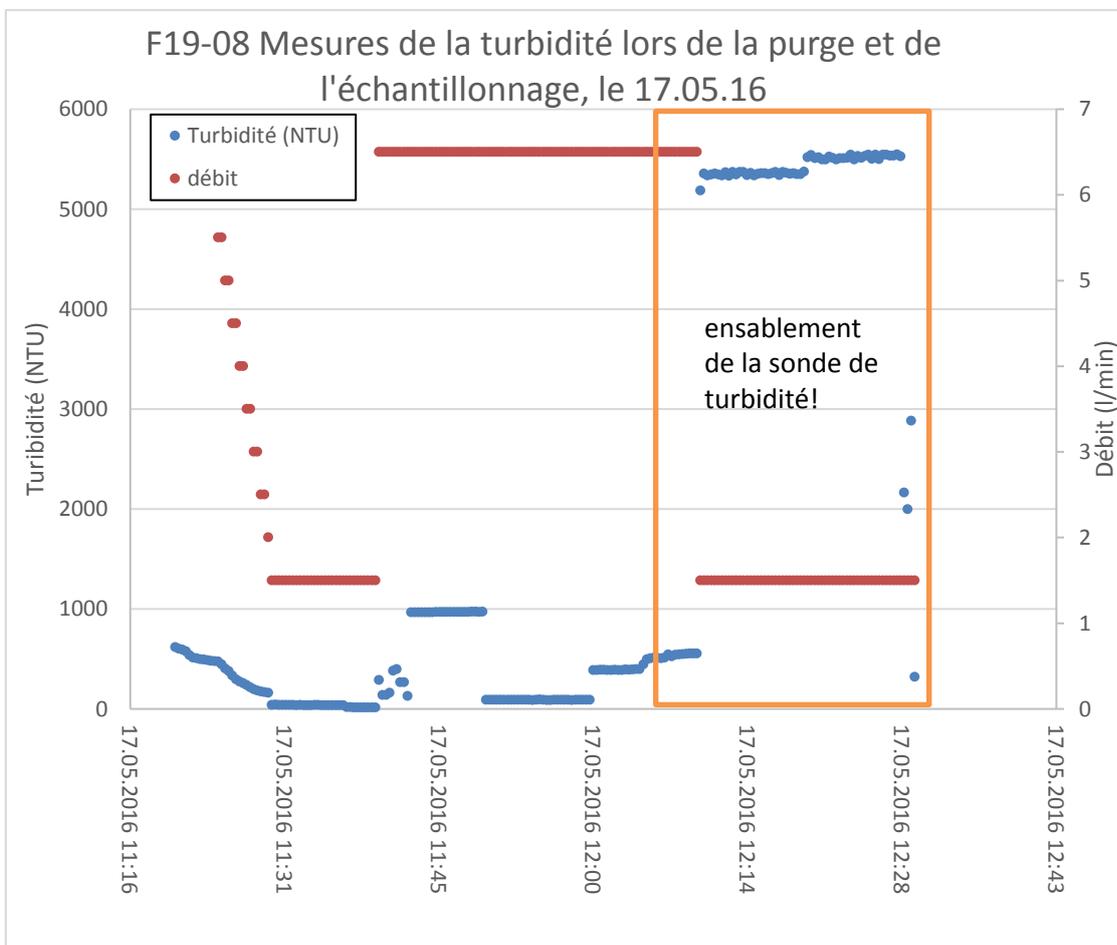
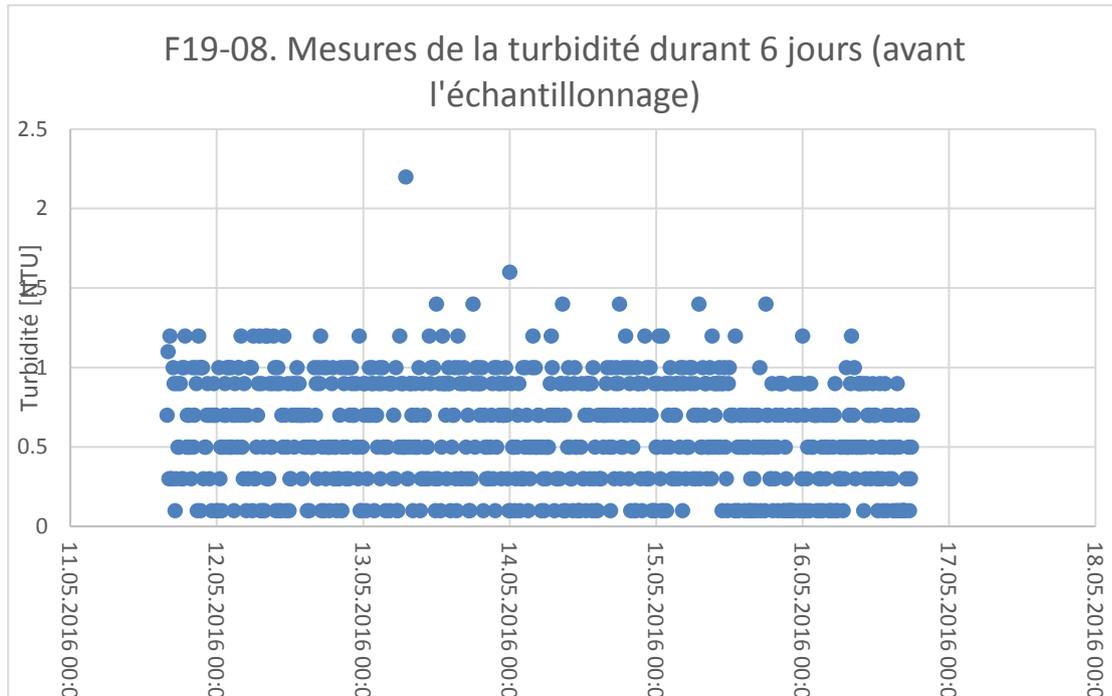
## Sondage F27-08



## Sondage F18-08



## Sondage F19-08



**ANNEXE E      RAPPORT D'ANALYSE WESSLING**

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Madame Tallon  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-02060-16  
Interlocuteur: N. Amstutz  
Ligne directe: +41 32 387 67 41  
E-Mail: Nicolas.Amstutz@wessling.ch

**Lyss, le 08.06.2016**

## Rapport no. ULS16-002686-2

### La pila Hauterive FR2706.916



S SCHWEIZERISCHER PRÜFSTELLENDIENST  
T SERVICE SUISSE D'ESSAI  
S SERVIZIO DI PROVA IN SVIZZERA  
SWISS TESTING SERVICE

ISO/IEC 17025:2005 - STS Nr. 092

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS16-002686-2  
Lyss, le 08.06.2016

Désignation d'échantillon N° d'échantillon	Unité	LQ	F18-08/1 16-075056-01	F18-08/6 16-075056-02	F19-08/1 16-075056-03	F19-08/6 16-075056-04	F27-08/1 16-075056-05
---	-------	----	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique dissous (COD)	mg/l E/L	0.5	22	23	3.3	3.7	1.4
Carbone organique total (COT)	mg/l E/L	0.5	32	39	5.3	5.4	1.4

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

*PCB selon OFEV E-12*

PCB n° 28	µg/l E/L	0.002	0.15	0.18	0.023	0.016	0.003
PCB n° 52	µg/l E/L	0.002	0.048	0.063	0.01	0.011	<0,002
PCB n° 101	µg/l E/L	0.002	0.005	0.006	0.003	0.005	<0,002
PCB n° 138	µg/l E/L	0.002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
PCB n° 153	µg/l E/L	0.002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
PCB n° 180	µg/l E/L	0.002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>0.20</b>	<b>0.25</b>	<b>0.036</b>	<b>0.032</b>	<b>0.003</b>
<b>Somme des 6 PCB (x4,3)</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>0.87</b>	<b>1.1</b>	<b>0.15</b>	<b>0.14</b>	<b>0.01</b>

Rapport no. ULS16-002686-2  
Lyss, le 08.06.2016

<b>Désignation d'échantillon</b>			<b>F27-08/6</b>
<b>N° d'échantillon</b>	<b>Unité</b>	<b>LQ</b>	16-075056-06

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique dissous (COD)	mg/l E/L	0.5	1.4
Carbone organique total (COT)	mg/l E/L	0.5	1.4

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

***PCB selon OFEV E-12***

PCB n° 28	µg/l E/L	0.002	<0,002
PCB n° 52	µg/l E/L	0.002	<0,002
PCB n° 101	µg/l E/L	0.002	<0,002
PCB n° 138	µg/l E/L	0.002	<0,002
PCB n° 153	µg/l E/L	0.002	<0,002
PCB n° 180	µg/l E/L	0.002	<0,002
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>-/-</b>
<b>Somme des 6 PCB (x4,3)</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>-/-</b>

Rapport no. ULS16-002686-2  
Lyss, le 08.06.2016

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-075056-01	16-075056-02	16-075056-03	16-075056-04	16-075056-05
Date de réception:	18.05.2016	18.05.2016	18.05.2016	18.05.2016	18.05.2016
<b>Désignation</b>	<b>F18-08/1</b>	<b>F18-08/6</b>	<b>F19-08/1</b>	<b>F19-08/6</b>	<b>F27-08/1</b>
Type d'échantillons:	Eau souterraine				
Prélèvement:	17.05.2016	17.05.2016	17.05.2016	17.05.2016	17.05.2016
Prélèvement par:	CSD SA				
Préleveur:	L. Tallon				
Début des analyses:	18.05.2016	18.05.2016	18.05.2016	18.05.2016	18.05.2016
Fin des analyses:	25.05.2016	25.05.2016	25.05.2016	25.05.2016	25.05.2016
Echantillon-n°	16-075056-06				
Date de réception:	18.05.2016				
<b>Désignation</b>	<b>F27-08/6</b>				
Type d'échantillons:	Eau souterraine				
Prélèvement:	17.05.2016				
Prélèvement par:	CSD SA				
Préleveur:	L. Tallon				
Début des analyses:	18.05.2016				
Fin des analyses:	25.05.2016				

## Méthodes

### Paramètres

Carbone organique total (COT)  
Carbone organique dissous (COD) sur eau/lixiviat  
Polychlorobiphényles (PCB) sur eau/lixiviat

### Norme

DIN EN 1484 (H3)<sup>A</sup>  
DIN EN 1484<sup>A</sup>  
DIN EN ISO 6468<sup>A</sup>

### Laboratoire

Laboratoire Lyss CH (CH)  
Laboratoire Lyss CH (CH)  
Laboratoire Lyss CH (CH)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

**ANNEXE F      RAPPORT EMPA**

Frau Alexandra Fröhlicher  
CSD Ingenieurs SA  
Chantemerle 37 – Granges-Paccot  
Case postale 384  
CH-1701 Fribourg

## Empa-Prüfbericht 5214012957

**Prüfauftrag:** Bestimmung von Indikator-PCB in Grundwasserproben aus  
der Deponie La Pila (FR)  
**Prüfobjekte:** Grundwasserproben aus drei Piezometern

**Kundenreferenz:** Alexandra Fröhlicher  
**Ihr Auftrag vom:** 3. Mai 2016  
**Eingang der Prüfobjekte:** 17. Mai 2016  
**Ausführung der Prüfung:** 18. bis 31. Mai 2016  
**Anzahl Seiten:** - 13 -  
**Bemerkungen:** Resultate als Exceldatei wurden am 31.05. an CSD versandt  
**Beilagen:** Rechnung

---

Dübendorf, 27. Juni 2016

Projektleiter:



M. Zennegg

Abteilungsleiter  
Advanced Analytical Technologies



Dr. D. Bleiner

## 1 Prüfobjekte

Am 17. Mai 2016 wurden im Bereich der Deponie La Pila durch die Firma CSD, im Beisein von Markus Zennegg und Julian Bachmann (beide Empa), Grundwasserproben aus Piezometern gezogen. Die Probenbezeichnungen können der Tabelle 1 entnommen werden. Je Probe wurden ca. fünf Liter Wasser gesammelt und in einer grossen 5L Glasflasche gut geschüttelt (homogenisiert). Danach wurden drei Aliquote zu je ca. 250 mL für das Analysenlabor Wessling abgefüllt. Der Rest wurde auf zwei 2.5L Glasflaschen (vorgereinigt und bei 450°C ausgeheizt) verteilt. Die Proben wurden nach beendeter Probenahme direkt ins Labor der Empa, Abteilung Advanced Analytical Technologies transportiert und bis zur Analyse bei 4°C aufbewahrt. Die Probenaufarbeitung für die Analyse auf polychlorierte Biphenyle (PCB) erfolgte am 18. und 19. Mai 2016.

Tabelle 1: Prüfobjekte

Probenbezeichnung:	Bemerkungen zu den Proben:
F27-08 1L/min.	Farblos, geruchlos, keine Partikel sichtbar
F27-08 6L/min.	Farblos, geruchlos, keine Partikel sichtbar
F19-08 1L/min.	Leicht gelblich, Geruch nach PCB, keine Partikel zu Beginn, mit der Zeit rostähnliche Ausfällung beobachtbar
F19-08 6L/min.	Leicht gelblich, Geruch nach PCB, keine Partikel zu Beginn, mit der Zeit rostähnliche Ausfällung beobachtbar
F18-08 1L/min.	Gelblich, Geruch nach PCB, keine Partikel zu Beginn, mit der Zeit rostähnliche Ausfällung beobachtbar
F18-08 6L/min.	Gelblich, Geruch nach PCB, keine Partikel zu Beginn, mit der Zeit rostähnliche Ausfällung beobachtbar

## 2 Prüfverfahren

### 2.1 Prüfverfahren für PCB Wasserproben (gelöste Phase Empa)

Die Wasserproben wurden durch einen vorgewogenen Glasfaserfilter (1 µm bzw. 0.45 µm) filtriert. Der Filter mit den partikulären Rückständen wurde bei Raumtemperatur im Exsikkator über Nacht getrocknet (bis Gewichtskonstanz).

Das klare Filtrat wurde mit einer Mischung von 18 <sup>13</sup>C<sub>12</sub>-isotopenmarkierten PCB (Cambridge Isotope Laboratories) versetzt und gut geschüttelt.

Das Wasser wurde anschliessend mittels einer Pumpe durch eine vorkonditionierte SPE Kartusche (Phenomenex 500 mg Strata-XL 100µ Polymeric Reversed Phase) gesogen. Der Volumenstrom lag bei ca. 5 mL/min.

Die Kartusche wurde anschliessend durch Applikation von Vakuum kurz getrocknet (exakt 30 s). Danach erfolgte die Elution der PCB durch spülen der SPE Kartusche mit 6 mL n-Hexan (Tropfgeschwindigkeit).

Das Lösemittel wurde unter Begasung mit Stickstoff bei Raumtemperatur bis auf ca. 30 µl reduziert. Anschliessend wurden die Extrakte mit dem Recoverystandard (<sup>13</sup>C<sub>12</sub> PCB 70) zur Bestimmung der Wiederfindungsrate versetzt.

Die quantitative Analyse der polychlorierten Biphenyle wurde mittels Gaschromatographie-Massenspektrometrie durchgeführt (HRGC/HRMS). Die Quantifizierung erfolgte durch Vergleich mit den isotopenmarkierten Standards (Isotopenverdünnungsanalyse).

## 2.2 Prüfverfahren für PCB Wasserproben (partikuläre Phase Empa)

Der Filler mit den Rückständen wurde nach dem Trocknen gewogen und die Partikelmasse bestimmt.

Danach wurde der Filler mit Dichormethan für 16 Stunden in einer Soxhletapparat extrahiert.

Nach Zugabe einer Mischung von 18 <sup>13</sup>C<sub>12</sub>-isotopenmarkierten PCB (Cambridge Isotope Laboratories) wurde der Extrakt bis auf ca. 0.5 mL am Rotationsverdampfer bei 40 – 50°C eingeengt.

Der aufkonzentrierte Extrakt wurde chromatographisch an 1 g aktiviertem und saurem Kieselgel gereinigt (Mini Kieselgel-Säule mit 0.5 g aktiviertem KG und 0.5 g H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> saurem KG).

Die Elution der PCB erfolgte mit 10 mL n-Hexan. Das Lösemittel wurde am Rotationsverdampfer bei 50°C und 300 mbar bis auf ca. 0.5 mL eingeengt.

Nach quantitativem Transfer in 0.5 mL Mini-Vials wurde unter Stickstoffbegasung bei Raumtemperatur das Volumen bis auf ca. 30 µL reduziert.

Die messbereiten Probenextrakte wurden mit dem Recoverystandard (<sup>13</sup>C<sub>12</sub> PCB 70) zur Bestimmung der Wiederfindungsrate versetzt.

Die quantitative Analyse der polychlorierten Biphenyle wurde mittels Gaschromatographie-Massenspektrometrie durchgeführt (HRGC/HRMS). Die Quantifizierung erfolgte durch Vergleich mit den isotopenmarkierten Standards (Isotopenverdünnungsanalyse).

## 2.3 Prüfverfahren für PCB Wasserproben (gelöste und partikuläre Phase BAFU)

Die Wasserproben wurden mind. 24h stehen gelassen. Danach wurde vom Überstand vorsichtig, mittels einer 100 mL Glasspritze, soviel Wasser entnommen wie für die Analyse benötigt wurde (250 – 2200 mL).

Die Aufarbeitung erfolgte nach Zugabe der <sup>13</sup>C<sub>12</sub> markierten internen Standards wie unter 2.1 beschrieben durch Anreicherung der PCB an einer Festphase (Phenomenex 500 mg Strata-XL 100u Polymeric Reversed Phase).

Der Rest der Wasserprobe wurde filtriert und der Filtrerrückstand wie unter 2.2 beschrieben aufgearbeitet.

## 2.4 Referenzmaterialien

Kalibrationsstandard: Mischung der PCB 77, 81, 105, 114, 118, 123, 126, 156, 157, 167, 169, 189 (C-WHO-01, Accu Standards Inc.)

Mischung der PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180 (AE-00059, Accu Standards Inc.)

Wiederfindungsstandard: <sup>13</sup>C<sub>12</sub>-PCB 70 (EC-4914, Cambridge Isotope Laboratories)

Interner Standard: Mischung der <sup>13</sup>C<sub>12</sub>-isotopenmarkierten PCB 77, 81, 105, 114, 118, 123, 126, 156, 157, 167, 169, 189 (EC 4937, Cambridge Isotope Laboratories)

Mischung der <sup>13</sup>C<sub>12</sub>-isotopenmarkierten PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180 (EC 4058, Cambridge Isotope Laboratories)

## 2.5 Prüfmittel

Gaschromatograph: Thermo Finnigan Trace GC Ultra mit Thermo Scientific TriPlus Autosampler

Kapillarsäule: 25m × 0.22 mm, SGE HT8, Filmdicke 0.25 µm

Massenspektrometer: doppelfokussierendes Massenspektrometer Finnigan MAT 95, ausgerüstet mit Systemsteuerungs- und Applikationssoftware Xcalibur 1.4.

## 2.6 Prüfbedingungen

Tragergas:	Helium, 200 kPa
Injektion:	3 $\mu$ L splitlos
Temperaturprogramm:	100 °C (1 min), 20 °C min <sup>-1</sup> bis 200 °C, 5 °C min <sup>-1</sup> bis 300 °C
Quellentemperatur:	220 °C
Ionisierung:	Elektronenstoss (EI). Detektion der positiven Ionen
Elektronenenergie:	70 eV
Massenauflösung:	$m/\Delta m = 8'000$ (10 % Tal)
Einzelionendetektion:	Es wurden jeweils die $m/z$ -Werte der beiden häufigsten Isotopenkombinationen der nativen und <sup>13</sup> C <sub>12</sub> -markierten PCB im Molekülionencluster registriert (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Detektierte Massen der nativen und <sup>13</sup>C<sub>12</sub>-markierten PCB

PCB	native		<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -labeled	
	$m/z$	$m/z$	$m/z$	$m/z$
TriCB	255.9613	257.9583	268.0021	269.9991
TetraCB	289.9223	291.9148	301.9626	303.9597
PentaCB	325.8805	327.8776	337.9207	339.9178
HexaCB	359.8415	361.8386	371.8817	373.8789
HeptaCB	393.8025	395.7996	405.8428	407.8398

### 3 Resultate

Die Resultate in den folgenden Tabellen wurden auf zwei signifikante Stellen gerundet. Die Summenwerte wurden erst nach der Berechnung auf zwei signifikante Stellen gerundet.

Tabelle 3: Zusammenfassung der i-PCB Summenwerte (A = Methode Empa, B = Methode BAFU)

Probe	$\Sigma$ 6 i-PCB ng/L gelöst	$\Sigma$ 6 i-PCB ng/L partikulär 1 $\mu$ m	$\Sigma$ 6 i-PCB ng/L partikulär 0.45 $\mu$ m	$\Sigma$ 6 i-PCB ng/L gelöst + partikulär 1 $\mu$ m	$\Sigma$ 6 i-PCB ng/L gelöst + partikulär 1+0.45 $\mu$ m
27-08 A 1U/min.	1.5	0.16	---	1.7	---
27-08 A 6 L/min.	0.91	0.15	---	1.1	---
27-08 B 1U/min.	1.6	0.46	0.30	2.1	2.4
27-08 B 6 L/min.	1.3	1.1	0.30	2.3	2.6
19-08 A 1L/min.	15	15	---	30	---
19-08 A 6L/min.	21	43	---	65	---
19-08 B 1L/min.	18	6.9	0.32	25	25
19-08 B 6L/min.	24	21	0.41	44	45
18-08 A 1U/min.	210	2.8	---	220	---
18-08 A 6 L/min.	180	2.9	---	180	---
18-08 B 1U/min.	230	2.8	1.2	240	240
18-08 B 6 L/min.	320	2.7	1.2	320	320
Sputwasser nach Probenahme bei F18-08	2.3	---	---	---	---
Blindwert H <sub>2</sub> O Li- chrosolv (Merck)	0.50	0.14	---	0.64	---

Tabelle 4: i-PCB in den Wasserproben vom 17.05.2016 (Proba F27-08A 1 und 6L/min, Methode Empa)

Externe Bez.:	F27-08A G 1L/min	F27-08A P 1L/min 1µm	F27-08A G 6L/min	F27-08A P 6L/min 1µm
	ng/Liter	ng/Liter	ng/Liter	ng/Liter
PCB 28	0.33	0.043	0.21	0.035
PCB 52	1.0	0.050	0.59	0.040
PCB 101	0.11	0.033	0.053	0.035
PCB 138	0.034	0.013	0.016	0.017
PCB 153	0.043	0.016	0.024	0.019
PCB 180	0.011	0.0047	0.0071	0.0072
<b>Summe 6:</b>	<b>1.5</b>	<b>0.16</b>	<b>0.91</b>	<b>0.15</b>
Summe 6*4.3.	6.6	0.69	3.9	0.65
Summe Tri-HpCB (bestimmt).	17	0.72	11	0.67
<b>Summe gelöst+partikulär 1µm:</b>	<b>1.7</b>		<b>1.1</b>	
Summe gelöst+partikulär 1µm+0.45µm:				
Partikelmasse nach Filtration 1µm oder 0.45µm [g]:		Keine Partikel wägbar		Keine Partikel wägbar
Die Masse auf dem Filter entspricht dem Partikel der gesamten Probe (d.h. ca. 2.5 Liter Wasser).		Könnte Blindwert sein		Könnte Blindwert sein

G = gelöst, P = partikulär (Filtration durch 1 µm Glasfaserfilter bzw. 0.45 µm rekonstituierte Cellulose).

Tabelle 5: i-PCB in den Wasserproben vom 17.05.2016 (Probe F27-08B 1L/min, Methode BAFU).

Externe Bez.:	F27-08B G 1L/min ng/Liter	F27-08B P 1L/min 1µm ng/Liter	F27-08B P 1L/min 0.45µm ng/Liter
PCB 28	0.30	0.16	0.081
PCB 52	1.1	0.19	0.16
PCB 101	0.13	0.075	0.035
PCB 138	0.035	0.016	0.011
PCB 153	0.051	0.015	0.014
PCB 180	0.010	0.0051	0.0035
<b>Summe 6:</b>	<b>1.6</b>	<b>0.46</b>	<b>0.30</b>
Summe 6*4.3:	7.0	2.0	1.3
Summe Tri-HpCB (bestimmt):	21	1.9	1.8
<b>Summe gelöst+partikulär 1µm:</b>	<b>2.1</b>		
Summe gelöst+partikulär 1µm+0.45µm: Partikelmasse nach Filtration 1µm oder 0.45µm [g]	<b>2.4</b>	Keine Partikel wägbar	0.0061
<small>Die Masse auf dem Filter entspricht den Partikeln der gesamten Probe (d.h. ca. 2.5 Liter Wasser).</small>			<small>Sehr geringe, graue Schicht auf dem Filter</small>

G = gelöst; P = partikulär (Filtration durch 1 µm Glasfaserfilter bzw. 0.45 µm rekonstituierte Cellulose)

Tabelle 6: i-PCB in den Wasserproben vom 17.05.2016 (Probe F27-08B 6L/min, Methode BAFU).

Externe Bez.:	F27-08B G 6L/min ng/Liter	F27-08B P 6L/min 1µm ng/Liter	F27-08B P 6L/min 0.45µm ng/Liter
PCB 28	0.20	0.44	0.08
PCB 52	0.77	0.46	0.16
PCB 101	0.11	0.11	0.03
PCB 138	0.13	0.024	0.011
PCB 153	0.04	0.026	0.014
PCB 180	0.02	0.0056	0.0035
<b>Summe 6:</b>	<b>1.3</b>	<b>1.1</b>	<b>0.3</b>
Summe 6*4.3:	5.4	4.6	1.3
Summe Tri-HpCB (bestimmt):	14	3.6	1.8
<b>Summe gelöst+partikulär 1µm:</b>	<b>2.3</b>		
Summe gelöst+partikulär 1µm+0.45µm: Partikelmasse nach Filtration 1µm oder 0.45µm [g]	<b>2.6</b>	Keine Partikel wägbar	0.0052
<small>Die Masse auf dem Filter entspricht den Partikeln der gesamten Probe (d.h. ca. 2.5 Liter Wasser).</small>			<small>Sehr geringe, graue Schicht auf dem Filter</small>

G = gelöst; P = partikulär (Filtration durch 1 µm Glasfaserfilter bzw. 0.45 µm rekonstituierte Cellulose).

Tabelle 7:  $\Sigma$ -PCB in den Wasserproben vom 17.05.2016 (Probe F19-08A Methode Empa).

Externe Bez.:	F19-08A G 1L/min ng/Liter	F19-08A P 1L/min 1 $\mu$ m ng/Liter	F19-08A G 6L/min ng/Liter	F19-08A P 6L/min 1 $\mu$ m ng/Liter
PCB 28	4.9	3.4	6.3	7.1
PCB 52	8.0	5.0	10.9	17
PCB 101	2.0	3.7	3.0	11
PCB 138	0.34	1.2	0.60	3.9
PCB 153	0.34	1.0	0.40	3.2
PCB 180	0.07	0.3	0.11	1.0
<b>Summe 6:</b>	<b>16</b>	<b>15</b>	<b>21</b>	<b>43</b>
Summe 6*4.3	67	63	91	187
Summe Tri-HpCB (bestimmt)	120	130	150	670
<b>Summe glöst+partikulär 1<math>\mu</math>m:</b>	<b>30</b>		<b>65</b>	
Summe glöst+partikulär 1 $\mu$ m+0.45 $\mu$ m: Partikelmasse nach Filtration 1 $\mu$ m oder 0.45 $\mu$ m [g]:		0.0214		0.1464
Die Masse auf dem Filter entspricht dem Partikeln der gesamten Probe (d.h. ca. 2.5 Liter Wasser).		Rostfarbene Partikel auf dem Filter sichtbar. Partikel waren erst nach der Probenahme ausgefallen		Rostfarbene Partikel auf dem Filter sichtbar. Partikel waren erst nach der Probenahme ausgefallen. Tiefe Recoveries der internen Standards, führt eher zu überhöhten Werten, v.a. bei den Summenwerten der Chlorhologen. Resultat mit Vorsicht zu betrachten

G = gelöst; P = partikulär (Filtration durch 1  $\mu$ m Glasfaserfilter bzw. 0.45  $\mu$ m rekonstituierte Cellulose)

Tabella 8: i-PCB in den Wasserproben vom 17.05.2016 (Probe F19-08B 1L/min, Methode BAFU).

Externe Bez.:	F19-08B G 1L/min ng/Liter	F19-08B P 1L/min 1µm ng/Liter	F19-08B P 1L/min 0.45µm ng/Liter
PCB 28	5.6	1.8	0.067
PCB 52	8.7	2.4	0.13
PCB 101	2.4	1.5	0.062
PCB 138	0.49	0.56	0.026
PCB 153	0.42	0.45	0.026
PCB 180	0.12	0.14	0.008
<b>Summe 6:</b>	<b>18</b>	<b>6.9</b>	<b>0.32</b>
Summe 6*4 3:	76	30	1.4
Summe Tri-HpCB (bestimmt):	130	65	2.6
<b>Summe gelöst+partikulär 1µm:</b>	<b>25</b>		
Summe gelöst+partikulär 1µm+0.45µm Partikelmasse nach Filtration 1µm oder 0.45µm [g]:	25	0.0198	0.0007
Die Masse auf dem Filter entspricht den Partikeln der gesamten Probe (d.h. ca. 2.5 Liter Wasser):		Rostfarbene Partikel auf dem Filter sichtbar. Partikel waren erst nach der Probenahme ausgefallen	Praktisch nicht auswägbar. Die 0.0007 g können gerade so gut Messfehler sein.

G = gelöst, P = partikulär (Filtration durch 1 µm Glasfaserfilter bzw. 0.45 µm rekonstruierte Cellulose).

Tabella 9: i-PCB in den Wasserproben vom 17.05.2016 (Probe F19-08B 6L/min, Methode BAFU)

Externe Bez.:	F19-08B G 6L/min ng/Liter	F19-08B P 6L/min 1µm ng/Liter	F19-08B P 6L/min 0.45µm ng/Liter
PCB 28	7.2	1.8	0.099
PCB 52	11.7	8.7	0.21
PCB 101	3.5	5.9	0.056
PCB 138	0.61	2.1	0.022
PCB 153	0.50	1.6	0.022
PCB 180	0.12	0.55	0.0066
<b>Summe 6:</b>	<b>24</b>	<b>21</b>	<b>0.41</b>
Summe 6*4 3:	100	89	1.8
Summe Tri-HpCB (bestimmt):	180	270	3.6
<b>Summe gelöst+partikulär 1µm:</b>	<b>44</b>		
Summe gelöst+partikulär 1µm+0.45µm Partikelmasse nach Filtration 1µm oder 0.45µm [g]:	45	0.1210	0.0028
Die Masse auf dem Filter entspricht den Partikeln der gesamten Probe (d.h. ca. 2.5 Liter Wasser):		Rostfarbene Partikel auf dem Filter sichtbar. Partikel waren erst nach der Probenahme ausgefallen	Nur sehr geringe Masse auf dem Filter (<3 mg)

G = gelöst, P = partikulär (Filtration durch 1 µm Glasfaserfilter bzw. 0.45 µm rekonstruierte Cellulose).

Tabelle 10: i-PCB in den Wasserproben vom 17.05.2016 (Probe F18-08A Methode Empa).

Externe Bez.:	F18-08A G 1L/min ng/Liter	F18-08A P 1L/min 1 µm ng/Liter	F18-08A G 6L/min ng/Liter	F18-08A P 6L/min 1µm ng/Liter
PCB 28	62	0.53	59	0.66
PCB 52	140	1.32	110	1.4
PCB 101	4.6	0.35	3.2	0.38
PCB 138	0.47	0.094	0.29	0.11
PCB 153	1.0	0.19	0.56	0.22
PCB 180	3.3	0.091	0.10	0.10
<b>Summe 6:</b>	<b>210</b>	<b>2.6</b>	<b>180</b>	<b>2.9</b>
Summe 6*4.3:	920	11	760	12
Summe Tri-HpCB (be- stimmt):	2300	19	1300	18
<b>Summe glöst+partikulär 1µm:</b>	<b>220</b>		<b>180</b>	
Summe glöst+partikulär 1µm+0.45µm: Partikelmasse nach Filtration 1µm oder 0.45µm in g:  Die Masse auf dem Filter entspricht den Partikeln der gesamten Probe (d.h. ca. 2.5 Liter Wasser).		0.1861		0.1796
		Rostfarbene Partikel auf dem Filter sicht- bar. Partikel waren erst nach der Pro- benahme ausgefal- len.		Rostfarbene Partikel auf dem Filter sicht- bar. Partikel waren erst nach der Pro- benahme ausgefal- len.

G = gelöst; P = partikulär (Filtration durch 1 µm Glasfaserfilter bzw. 0.45 µm rekonstituierte Cellulose)

Tabelle 11: i-PCB in den Wasserproben vom 17.05.2016 (Probe F18-08B 1L/min, Methode BAFU).

Externe Bez.:	F18-08B G 1L/min ng/Liter	F18-08B P 1L/min 1µm ng/Liter	F18-08B P 1L/min 0.45µm ng/Liter
PCB 28	68	0.66	0.27
PCB 52	160	1.3	0.71
PCB 101	5.7	0.38	0.17
PCB 138	0.56	0.11	0.030
PCB 153	1.3	0.21	0.053
PCB 180	0.25	0.094	0.013
<b>Summe 6:</b>	<b>230</b>	<b>2.8</b>	<b>1.2</b>
Summe 6*4.3:	1000	12	5.3
Summe Tri-HpCB (bestimmt):	2300	19	7.5
<b>Summe glöst+partikulär 1µm:</b>	<b>240</b>		
Summe glöst+partikulär 1µm+0.45µm: Partikelmasse nach Filtration 1µm oder 0.45µm [g]	<b>240</b>	0.1856	0.0001
Die Masse auf dem Filter entspricht den Partikeln der gesamten Probe (d.h. ca. 2.5 Liter Wasser)		Rostfarbene Partikel auf dem Filter sichtbar. Partikel waren erst nach der Probenahme ausgefallen.	Praktisch nicht auswägbare. Die 0.0001 g können gerade so gut Messfehler sein.

G = gelöst, P = partikulär (Filtration durch 1 µm Glasfaserfilter bzw. 0.45 µm rekonstituierte Cellulose).

Tabelle 12: i-PCB in den Wasserproben vom 17.05.2016 (Probe F18-08B 6L/min, Methode BAFJ).

Externe Bez.:	F18-08B G 6L/min ng/Liter	F18-08B P 6L/min 1µm ng/Liter	F18-08B P 6L/min 0.45µm ng/Liter
PCB 28	93	0.62	0.26
PCB 52	220	1.3	0.69
PCB 101	7.9	0.38	0.17
PCB 138	0.85	0.10	0.029
PCB 153	1.6	0.22	0.051
PCB 180	0.44	0.10	0.012
<b>Summe 6:</b>	<b>320</b>	<b>2.7</b>	<b>1.2</b>
Summe 6*4.3:	1400	12	5.2
Summe Tri-HpCB (bestimmt):	3200	17	4.1
<b>Summe glöst+partikulär 1µm:</b>	<b>320</b>		
Summe glöst+partikulär 1µm+0.45µm: Partikelmasse nach Filtration 1µm oder 0.45µm [g]	<b>320</b>	0.1778	0.010
Die Masse auf dem Filter entspricht den Partikeln der gesamten Probe (d.h. ca. 2.5 Liter Wasser)		Rostfarbene Partikel auf dem Filter sichtbar. Partikel waren erst nach der Probenahme ausgefallen.	

G = gelöst; P = partikulär (Filtration durch 1 µm Glasfaserfilter bzw. 0.45 µm rekonstituierte Cellulose).

Tabella 13. µ-PCB Methoden-Blindwert (Probe = 2.5 Liter ultrapures Wasser Lichrosolv Merck), Spülwasser der Pumpe und des Probenahmeschlauches nach Spülen der Geräte mit Ethanol/Wasser, nach der Probenahme bei F18-08.

Externe Bez.	Blindwert G ng/Liter	Blindwert P ng/Liter	Spülwasser nach F18-08 ng/Liter
PCB 28	0.15	0.028	0.054
PCB 52	0.18	0.043	2.0
PCB 101	0.13	0.046	0.12
PCB 138	0.02	0.010	0.016
PCB 153	0.025	0.012	0.036
PCB 180	0.0042	0.0010	0.021
<b>Summe 6:</b>	<b>0.50</b>	<b>0.14</b>	<b>2.3</b>
Summe 6*4.3:	2.1	0.60	9.8
Summe Tri-HpCB (bestimmt):	2.9	0.77	n.d.
<b>Summe glöst+partikulär 1µm:</b>	<b>0.64</b>		<b>n.d.</b>
Summe glöst+partikulär 1µm+0.45µm: Partikelmasse nach Filtration 1µm oder 0.45µm [g]:			
Die Masse auf dem Filter entspricht den Partikeln der gesamten Probe (6 h ca. 2.5 Liter Wasser)		Keine Partikel auf dem Filter sichtbar. Keine Partikel wägbar	

G = gelöst; P = partikulär (Filtration durch 1 µm Glasfaserfilter bzw. 0.45 µm rekonstituierte Cellulose).

## 4 Allgemeine Angaben

### 4.1 Verwendete Abkürzungen

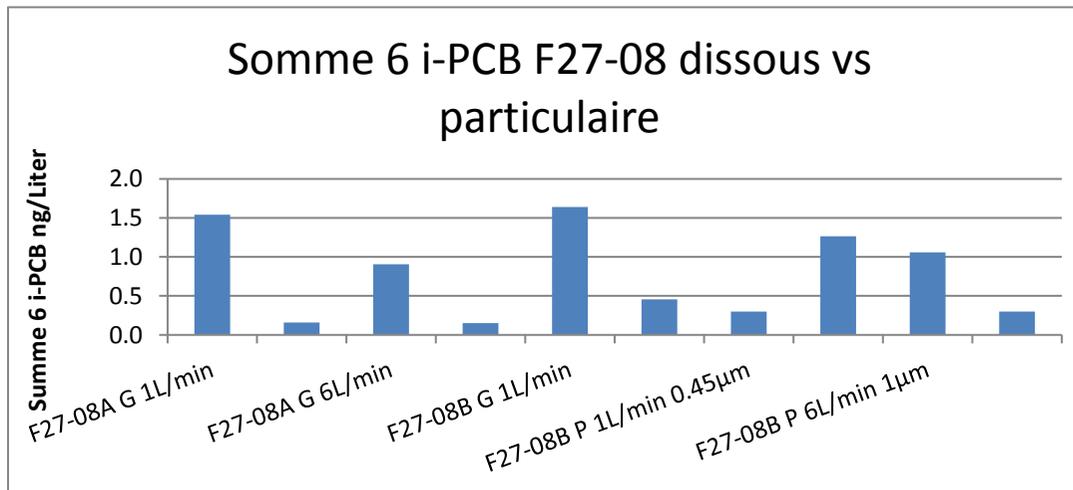
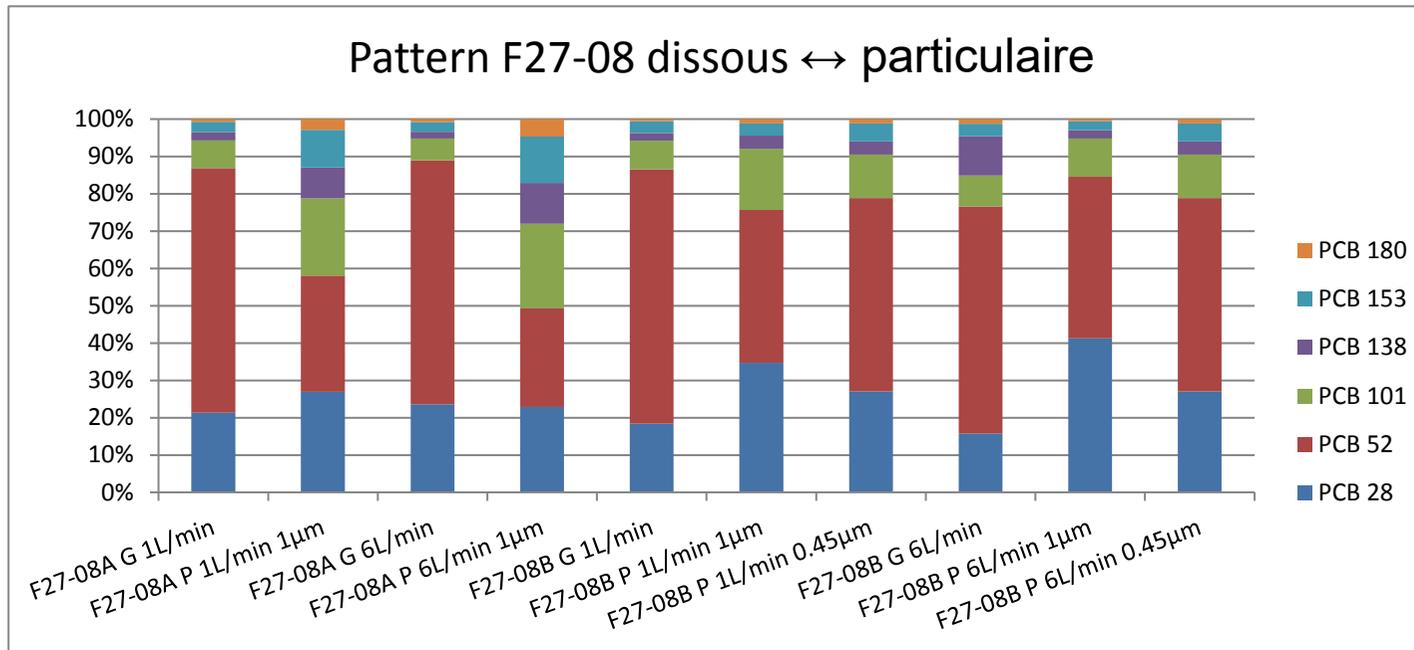
PCB	Polychlorierte Biphenyle
TriCB	Trichlorbiphenyl
TetraCB	Tetrachlorbiphenyl
PentaCB	Pentachlorbiphenyl
HexaCB	Hexachlorbiphenyl
HeptaCB	Heptachlorbiphenyl
ng	Nanogramm ( $1 \text{ ng} = 1 \times 10^{-9} \text{ g} = 0.000'000'001 \text{ g}$ )
pg	Pikogramm ( $1 \text{ pg} = 1 \times 10^{-12} \text{ g} = 0.000'000'000'001 \text{ g}$ )

### 4.2 Messunsicherheit

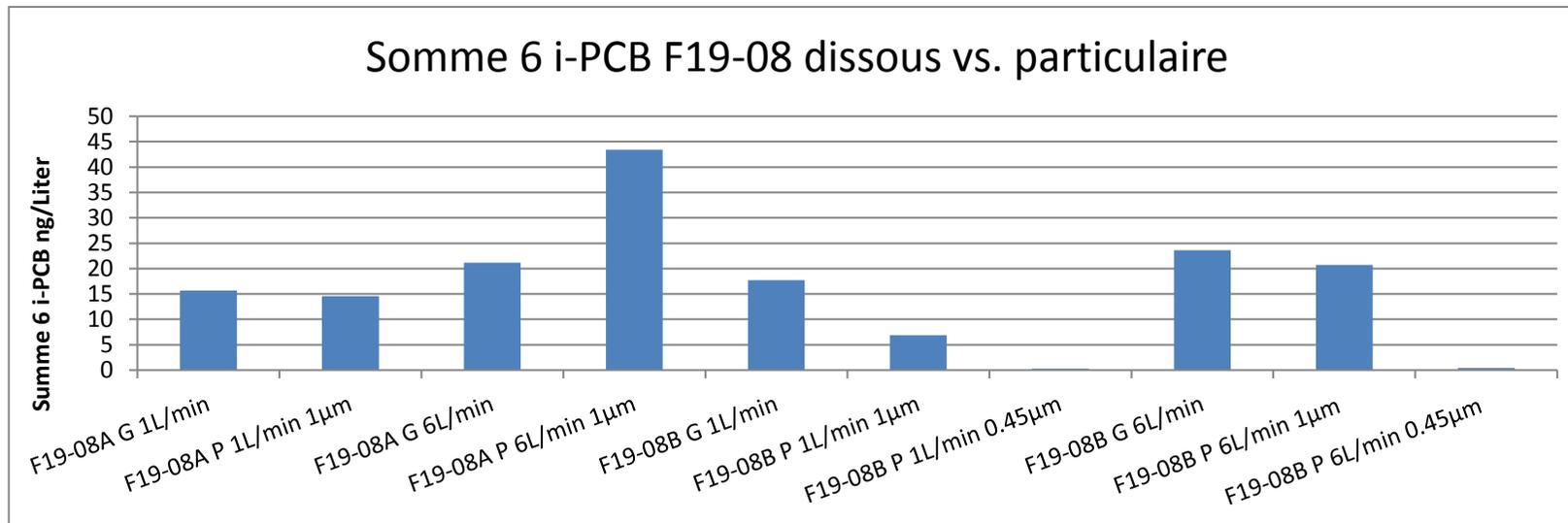
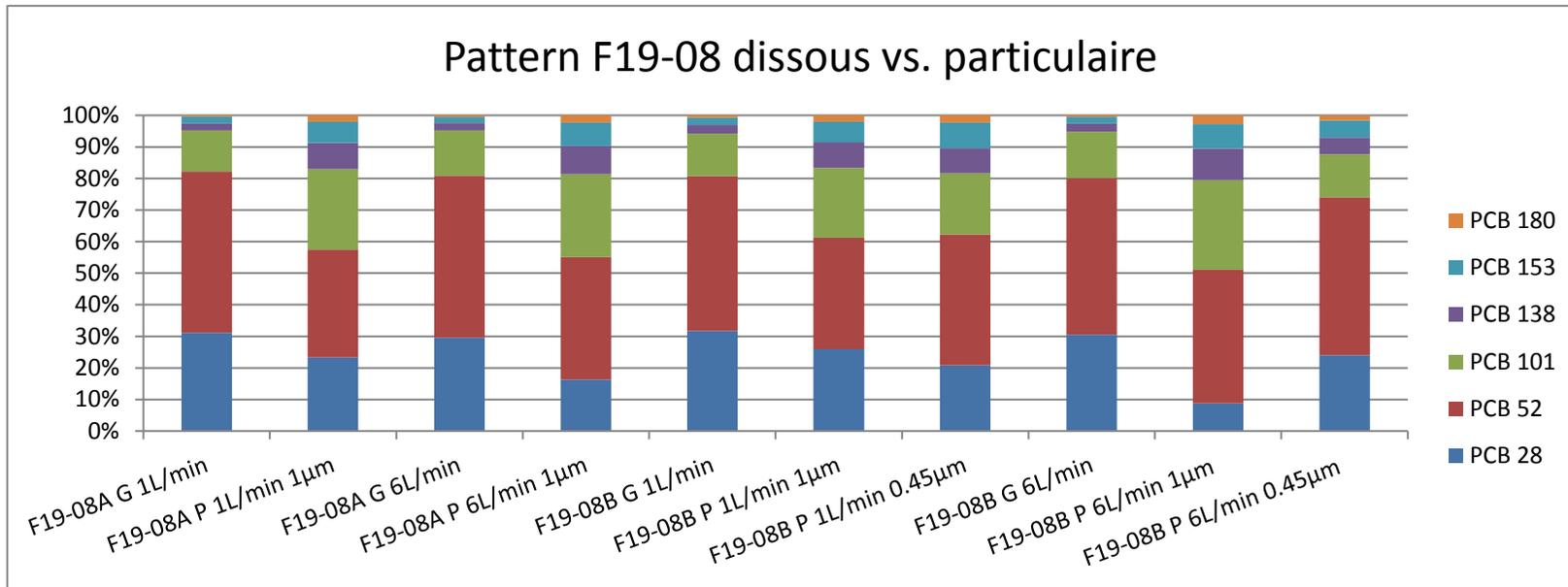
Nach unseren Erfahrungen beträgt die Messunsicherheit für die Bestimmung der PCB ca. 20 % (Probenahme nicht einbezogen).

**ANNEXE G    SYNTHÈSE DES RÉSULTATS**

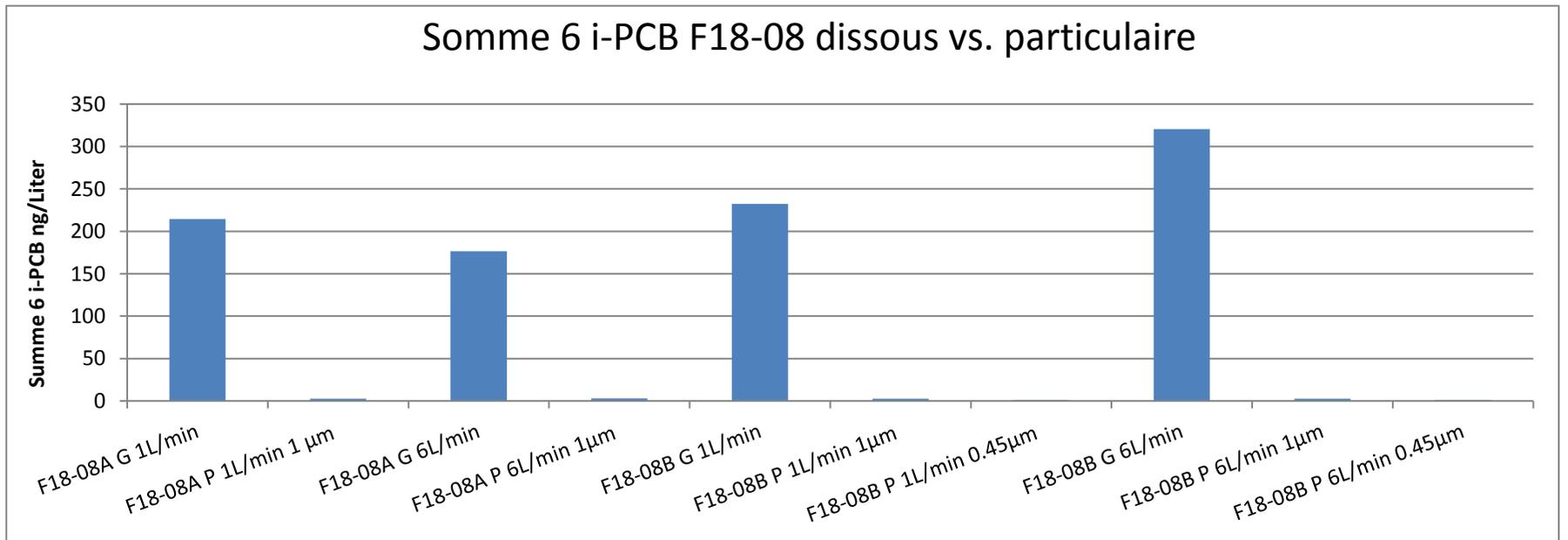
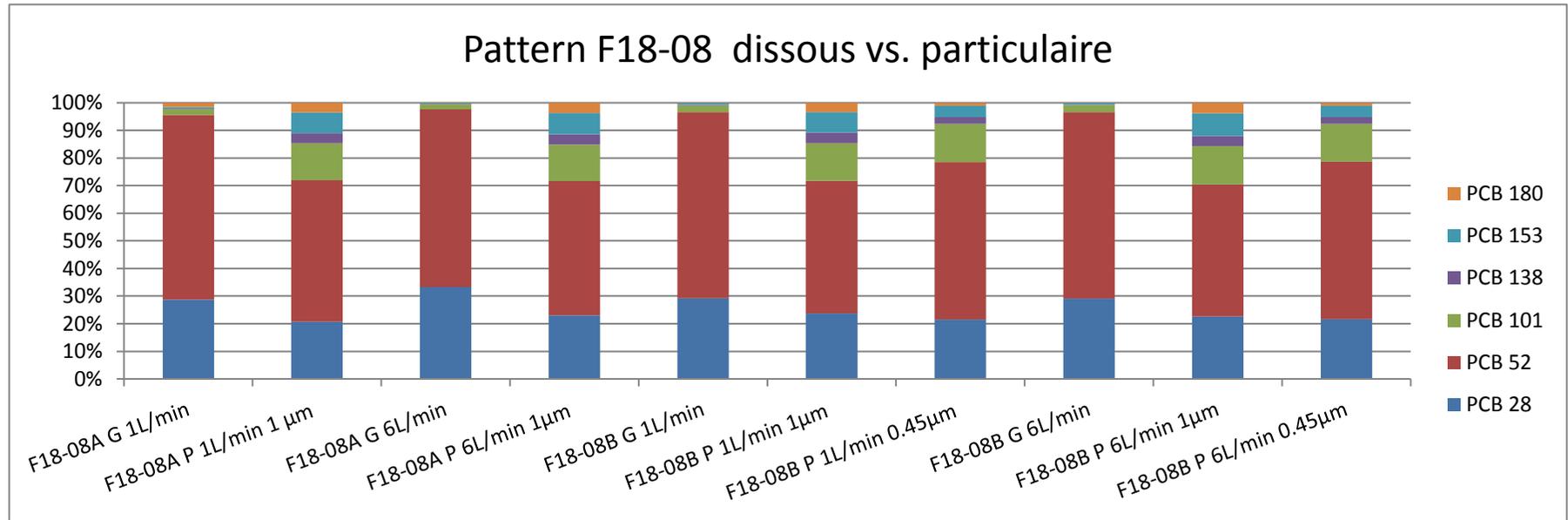
Laboratoire	EMPA						WESSLING	EMPA						WESSLING
Méthode	EMPA		OFEV			OFEV		EMPA		OFEV			OFEV	
	F27-08A G 1L/min	F27-08A P 1L/min 1µm	F27-08B G 1L/min	F27-08B P 1L/min 1µm	F27-08B P 1L/min 0.45µm	F27-08/1 1 l/min dissous		F27-08A G 6L/min	F27-08A P 6L/min 1µm	F27-08B G 6L/min	F27-08B P 6L/min 1µm	F27-08B P 6L/min 0.45µm	F27-08/6 6 l/min dissous	
	[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]		[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]	
<b>PCB 28</b>	0.33	0.043	0.30	0.16	0.081	3.000		0.21	0.035	0.20	0.44	0.08	<2	
<b>PCB 52</b>	1.0	0.050	1.1	0.19	0.155	<2		0.59	0.040	0.77	0.46	0.16	<2	
<b>PCB 101</b>	0.11	0.033	0.13	0.075	0.035	<2		0.053	0.035	0.11	0.11	0.03	<2	
<b>PCB 138</b>	0.034	0.013	0.035	0.016	0.011	<2		0.016	0.017	0.13	0.024	0.011	<2	
<b>PCB 153</b>	0.043	0.016	0.051	0.015	0.014	<2		0.024	0.019	0.04	0.026	0.014	<2	
<b>PCB 180</b>	0.011	0.0047	0.010	0.0051	0.0035	<2		0.0071	0.0072	0.02	0.0056	0.0035	<2	
<b>Somme 6:</b>	1.5	0.16	1.6	0.46	0.30	3.00		0.91	0.15	1.3	1.1	0.3	<2	
<b>Somme 6*4.3:</b>	6.6	0.69	7.0	2.0	1.3	12.9		3.9	0.65	5.4	4.6	1.3	<2	
<b>(Somme 6) dissous + part. 1µm:</b>	1.7		2.1			3.0		1.1		2.3			0.0	
<b>Somme dissous + part. 1µm+0.45µm:</b>			2.4							11.3				
<b>Masse particule après filtration 1µm ou 0.45µm [g]</b>	pas de particules pesables		pas de particules pesables			0.0061		pas de particules pesables		pas de particules pesables			0.0052	
<b>La masse sur le filtre correspond aux particules dut total de l'échantillon (env. 2.5 l)</b>						couche très fine et grise sur le filtre							couche très fine et grise sur le filtre	



Laboratoire	EMPA						WESSLING	EMPA						WESSLING
Méthode	EMPA		OFEV			OFEV		EMPA		OFEV			OFEV	
	F19-08A G 1L/min	F19-08A P 1L/min 1µm	F19-08B G 1L/min	F19-08B P 1L/min 1µm	F19-08B P 1L/min 0.45µm	F19-08/1 1 l/min diss		F19-08A G 6L/min	F19-08A P 6L/min 1µm	F19-08B G 6L/min	F19-08B P 6L/min 1µm	F19-08B P 6L/min 0.45µm	F19-08/6 6l/min diss	
	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l		ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	
<b>PCB 28</b>	4.88	3.404	5.62	1.80	0.067	23.000		6.26	7.093	7.21	1.83	0.10	16.00	
<b>PCB 52</b>	8.0	4.957	8.7	2.43	0.134	10.000		10.86	16.843	11.74	8.75	0.21	11.00	
<b>PCB 101</b>	2.04	3.721	2.38	1.533	0.062	3.000		3.029	11.400	3.46	5.90	0.06	5.00	
<b>PCB 138</b>	0.339	1.214	0.487	0.559	0.026	<2		0.502	3.875	0.61	2.062	0.022	<2	
<b>PCB 153</b>	0.341	0.979	0.418	0.452	0.026	<2		0.400	3.218	0.50	1.628	0.022	<2	
<b>PCB 180</b>	0.069	0.2901	0.120	0.1402	0.0075	<2		0.1133	0.9965	0.12	0.5509	0.0066	<2	
<b>Somme 6:</b>	15.7	14.57	17.7	6.91	0.32	36.00		21.16	43.43	23.6	20.7	0.4	32.0	
<b>Somme 6*4.3:</b>	67.4	62.64	76.1	29.7	1.4	154.8		91.0	186.73	101.7	89.1	1.8	137.6	
<b>(Somme 6) dissous + part. 1µm:</b>	<b>30.2</b>		<b>24.6</b>			<b>36.0</b>		64.6		44.4			32.0	
<b>Somme dissous + part. 1µm+0.45µm:</b>			<b>24.9</b>							44.8				
<b>Masse particule après filtration 1µm ou 0.45µm [g]</b>	0.0214		0.0198			0.0007		0.1464		0.121			0.0028	
<b>La masse sur le filtre correspond aux particules dut total de l'échantillon (env. 2.5 l)</b>						Prat. pas pesable. Les 0.0007 g peuvent aussi être une erreur		Recovery très bas du standard interne, emmène à des valeurs		Très peu de masse sur le filtre (<3 mg)				



Laboratoire	EMPA						WESSLING	EMPA						WESSLING
Méthode	EMPA		OFEV			OFEV		EMPA		OFEV			OFEV	
	F18-08A G 1L/min	F18-08A P 1L/min 1 µm	F18-08B G 1L/min	F18-08B P 1L/min 1µm	F18-08B P 1L/min 0.45µm	F18-08/1 1 l/min dissous		F18-08A G 6L/min	F18-08A P 6L/min 1µm	F18-08B G 6L/min	F18-08B P 6L/min 1µm	F18-08B P 6L/min 0.45µm	F18-08/6 6 l/min dissous	
	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l		ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	
<b>PCB 28</b>	61.56	0.533	67.95	0.66	0.268	150.000		58.76	0.660	93.40	0.62	0.26	180.00	
<b>PCB 52</b>	143.6	1.318	156.5	1.33	0.709	48.000		113.45	1.393	216.38	1.30	0.69	63.00	
<b>PCB 101</b>	4.57	0.345	5.70	0.377	0.171	5.000		3.227	0.378	7.88	0.38	0.17	6.00	
<b>PCB 138</b>	0.475	0.094	0.559	0.105	0.030	<2		0.287	0.107	0.85	0.100	0.029	<2	
<b>PCB 153</b>	1.036	0.192	1.321	0.205	0.053	<2		0.564	0.223	1.56	0.222	0.051	<2	
<b>PCB 180</b>	3.278	0.0905	0.254	0.0935	0.0127	<2		0.0956	0.1041	0.44	0.1039	0.0121	<2	
<b>Somme 6:</b>	214.5	2.57	232.3	2.77	1.24	203.00		176.38	2.87	320.5	2.7	1.2	249.0	
<b>Somme 6*4.3:</b>	922.2	11.06	999.0	11.9	5.3	872.9		758.4	12.32	1378.1	11.7	5.2	1070.7	
<b>1µm:</b>	<b>217.0</b>		<b>235.1</b>			<b>203.0</b>		179.2		323.2			249.0	
<b>1µm+0.45µm:</b>			<b>236.3</b>							324.4				
<b>Masse particule après filtration 1µm ou 0.45µm [g]</b>		<b>0.1861</b>		<b>0.1856</b>	<b>0.0001</b>			<b>0.1796</b>			<b>0.1778</b>	<b>0.01</b>		
<b>La masse sur le filtre correspond aux particules dut total de l'échantillon (env. 2.5 l)</b>		particules à couleur de rouille, précipitées après échantillon		particules à couleur de rouille, précipitées après échantillon	Prat. pas pesable. Les 0.0001 g peuvent aussi être			particules à couleur de rouille, précipitées après échantillon			particules à couleur de rouille, précipitées après échantillon			



**Annexe 3.3.2 – 2**

**Méthode EMPA – Blanc**

## 6.2 LQ Wessling – Blanc de la méthode Empa

**LQ Wessling:** contrôle sur la base de standards

### **Blanc de la méthode Empa:**

1. Blanc de la méthode pour les analyses des échantillons du 04.11.2015 (rapport CSD 29.06.16):
    - L'analyse a été fait « sans faire passer de l'eau pure dans la cartouche ». La cartouche a été rincé qu'une seule fois avec un solvant.
    - Ce blanc représente la pollution liée à la cartouche et au solvant utilisé ainsi que de toutes les étapes de concentration (appliqué si aucune filtration de l'eau n'a lieu).
  2. Blanc de la méthode pour les échantillons du 18.05.16 / août 16 et sept. 16
    - Utilisation de 2.5 l eaux ultrapure (Lichrosolv Merck) (contamination de cette eau non exclue).
    - Représente la pollution liée à tous le matériel en verre utilisé (filtre 2.5 l, RC55-filtre (0.45  $\mu\text{m}$ ), bouteille en verre de l'échantillon (2.5 l), cartouche, solvants etc. (applicable si une filtration avec de l'eau est appliqué). (blanc max)
- > Ces 2 différents types de blancs on constate que c'est illusoire d'exiger un matériel ou un blanc sans traces de PCB resp. non contaminé .

**CONSEIL DE L'EXPERT: se référer au Blindwert effectué avec l'eau ultrapure qui simule au mieux les erreurs induites par le matériel du labo et les récipients et qui présente la «distance» au résultat d'analyse de l'échantillon**

## 6.2 LQ Wessling – Blanc de la méthode Empa

### PCB dissous

				PCB dissous, par congénère	
Labo	Méthode	Type		LQ standard	LQ basse
Wessling	Standard labo	LQ standard	ng/l	2	pour tous les congénère
		LQ basse	ng/l	0.4 - 0.8	LQ différent par congénère
Empa	Blanc de la méthode (cartouche) sans utilisation eau	Blan	ng/l	0.0019 - 0.0092	LQ différent par congénère
	Blanc de la méthode Lichrosolv Merck (eau ultrapure)		ng/l	0.024 - 0.07	LQ différent par congénère

**Valeur de concentration OSites:**

**100 ng/l**

**Nécessité d'assainissement art. 10**

**10 x 100 ng/l = 1'000 ng/l**

**Nécessité d'assainissement art. 9**

**0.5 x 100 ng/l = 50 ng/l**

## 6.2 Blanc méthode PCB particulaires

### PCB particulaire

#### Blanc de la méthode PCB particulaire (Empa)

- 1. Méthode:**
  - Extraction d'un filtre RC55 0.45  $\mu\text{m}$  avec n-Hexane
  - Analyse PCB quantitatif
- 2. Calcul pour ng/l en appliquant le volume moyen de tous les échantillons**
- 3. Évaluation de l'écart par rapport au blanc:**
  - concentration du blanc divisé par la masse particulaire de l'échantillon [g/l]

rouge:  $<2.5 \times$  blanc

Orange:  $2.5 \text{ à } 5 \times$  blanc

vert  $>5 \times$  blanc

In der Tabelle 34 sind die Resultate von vier **Methodenblindwerten für die gelöste Phase** aufgeführt. Für die Bestimmung wurde Reinstwasser verwendet, welches wie eine Probe behandelt wurde. D.h. 2.5 Liter Wasser wurden durch einen vorgereinigten 0.45 µm RC55 Filter filtriert. Das Filtrat wurde anschliessend mit dem internen Standard versetzt und über die SPE Kartusche geleitet. Quantitative Bestimmung der PCB wie oben beschrieben. Der Mittelwert wurde verwendet um den Abstand des i-PCB Summenwertes ( $\Sigma$ 7 i-PCB) der Proben (gelöste Phase) vom Blindwert zu berechnen.

Tabelle 34: i-PCB Methodenblindwert (n=4) für die **gelöste Phase** in ng/L.

	Blindwert mit Reinstwasser 1	Blindwert mit Reinstwasser 2	Blindwert mit Reinstwasser 3	Blindwert mit Reinstwasser 4	Mittelwert n=4
	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L
PCB 28	0.027	0.026	0.033	0.029	0.029
PCB 52	0.097	0.054	0.077	0.054	0.070
PCB 101	0.074	0.046	0.061	0.053	0.058
PCB 118	0.036	0.017	0.031	0.026	0.027
PCB 138	0.049	0.016	0.036	0.020	0.030
PCB 153	0.063	0.025	0.040	0.035	0.041
PCB 180	0.045	0.0074	0.023	0.021	0.024
<b>Summe 6:</b>	<b>0.35</b>	<b>0.17</b>	<b>0.27</b>	<b>0.21</b>	<b>0.25</b>
<b>Summe 7:</b>	<b>0.39</b>	<b>0.19</b>	<b>0.30</b>	<b>0.24</b>	<b>0.28</b>

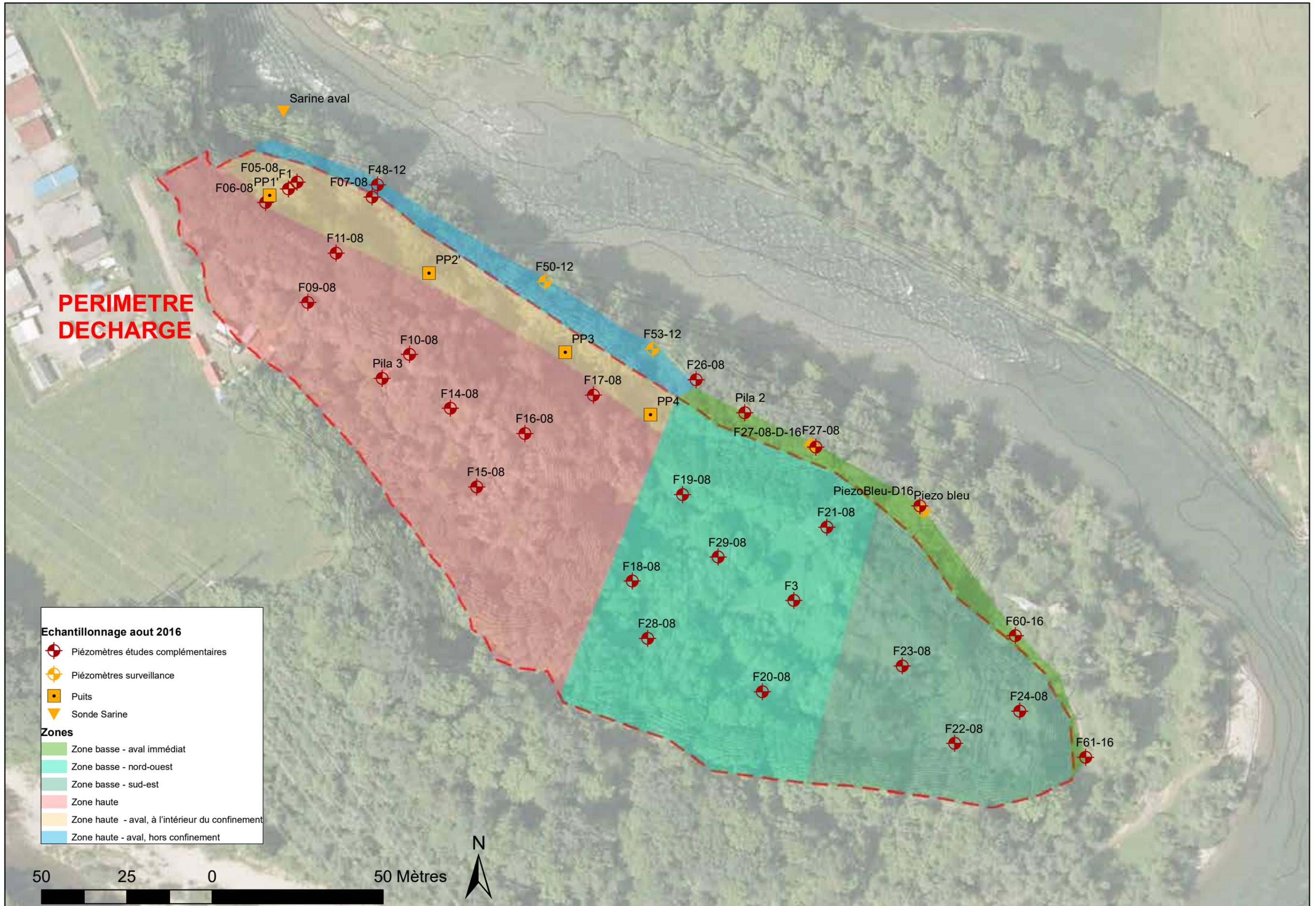
In der Tabelle 35 ist der **Methodenblindwert für die partikuläre Phase** aufgeführt. Hierzu wurde ein vorgereinigter 0.45 µm RC55 Filter, nach Zugabe der internen Standards, in einer vorgereinigten Minisoxhlet-hülse mit n-Hexan während sechs Stunden extrahiert. Quantitative Bestimmung der PCB wie oben beschrieben. Für die Berechnung ausgedrückt als **ng/L** wurde das Durchschnittliche Filtrationsvolumen aller Proben verwendet. Um den Abstand des i-PCB Summenwertes ( $\Sigma$ 7 i-PCB) der Proben, ausgedrückt als ng/L, vom Blindwert zu berechnen wurde der aufgeführte Summenwert verwendet. Für die Berechnung des Anteils des Methodenblindwertes als **ng/g** müssen die in der Tabelle 35 aufgeführten Konzentrationen durch die **Partikelmasse in g/L**, der jeweiligen individuellen Probe, dividiert werden. Da die Partikelmassen der einzelnen Proben stark schwanken, von wenigen mg/L zu mehreren 100 mg/L, kann nicht mit einer durchschnittlichen Partikelmasse/L gerechnet werden. Die Daten sind nicht aufgeführt wurden jedoch in Form einer Excel-Datei per E-Mail übermittelt.

Tabelle 35: i-PCB Methodenblindwert (n=4) für die **partikuläre Phase** in ng/L.

	Blindwert partikuläre Phase
	ng/L
PCB 28	0.031
PCB 52	0.077
PCB 101	0.074
PCB 118	0.070
PCB 138	0.075
PCB 153	0.068
PCB 180	0.027
<b>Summe 6:</b>	<b>0.35</b>
<b>Summe 7:</b>	<b>0.42</b>

**Annexe 3.3.2 – 3**

**Campagne d'échantillonnage des eaux souterraines  
d'août 2016**



Nom du sondage	Date de réalisation	Type	X	Y	Z (sol) 2016 [m.s.m]	Z (tête) 2016 [m.s.m]	Diamètre [pouce]	Crépine [m]	Profondeur [m]
F05-08	26.05.08	carotté	575941.00	180122.00	572.12	572.9	4.5	6-11.60	12
F06-08	20.05.08	carotté	575931.75	180116.00	576.18	576.97	4.5	10-11.80	12.2
F07-08	27.05.08	carotté	575962.89	180117.27	570.345	571.185	4.5	4.6-7.6	7.6
F09-08	17.04.08	carotté	575944.08	180086.82	590.04	590.6	4.5	22-26	26
F1	23.02.06	carotté	575938.39	180120.04	572.7	573.57	2	8-13	13
F10-08	25.04.08	carotté	575973.93	180071.59	588.974	589.854	4.5	24-28	28
F11-08	16.05.08	carotté	575952.41	180101.32	582.423	583.223	4.5	16-20	20
F14-08	13.05.08	carotté	575985.83	180055.83	588.953	589.793	4.5	22.3-26.3	26.3
F15-08	05.05.08	carotté	575993.54	180032.86	588.872	589.812	4.5	21.5-25.5	25.5
F16-08	08.05.08	carotté	576007.70	180048.45	588.5	588.4	4.5	20.5-24.5	24.5
F17-08	28.05.08	carotté	576027.75	180059.69	575.932	576.882	4.5	9.20-11.3	11.3
F18-08	03.06.08	carotté	576039.07	180005.24	575.66	576.59	4.5	7.5-11.65	11.65
F19-08	29.05.08	carotté	576053.82	180030.55	576.8	577.48	4.5	8.2-12.5	12.5
F20-08	05.06.08	carotté	576077.21	179972.95	578.832	579.607	4.5	11-14.62	14.62
F21-08	04.06.08	carotté	576096.07	180021.07	578.425	579.375	4.5	10.2-14.0	14
F22-08	09.06.08	carotté	576133.51	179957.74	577.884	578.904	4.5	10.2-13.20	13.2
F23-08	19.06.08	carotté	576118.20	179980.50	578.966	579.866	4.5	10.5-14.5	14.5
F24-08	23.06.08	carotté	576152.57	179967.24	576.17	576.74	4.5	7.8-11.7	11.7
F26-08	16.06.08	carotté	576057.84	180064.25	568.402	569.302	4.5	2.6-4.5	4.5
F27-08	18.06.08	carotté	576091.59	180045.11	569.31	570.02	4.5	3.2-5.1	5.1
F27-D-16	17.06.2016	carotté	576092.90	180044.46	569.4	570.03	4.5	2-5	6
F28-08	26.06.08	carotté	576043.58	179988.48	574.573	575.393	4.5	9.6-10.6	10.6
F29-08	25.06.08	carotté	576064.23	180012.33	576.914	577.761	4.5	10-12	12
F3	23.02.06	carotté	576089.45	179999.60	578.01	578.93	2	11-13	14
F50-12	25.04.13	carotté	576013.58	180092.91	567.22	567.84	4.5	1.4-3.4	4.4
F53-12	17.04.13	carotté	576045.03	180073.00	568.79	569.41	4.5	2.2-4.2	6.2
F60-16	17.06.2016	carotté	576147.76	179993.25	572.289	573.169	4.5	5-7	8
F61-16	17.06.2016	carotté	576176.95	179960.44	570.42	570.27	4.5	3.5-5.5	6.5
Piézo-bleu	10.02.94		576124.51	180026.21	569.24	570.18	4.5	3.10-5.0	5.5
Piezo-bleu-D	17.06.2016	carotté	576123.40	180027.30	569.28	570.12	4.5	2-5	6
Pila 2	21.10.2004	carotté	576087.00	180055.00	569.16	569.21	2	4-5.3	5.3
Pila 3	21-25.10.04	carotté	576018.00	180028.00	575	0	2	22-24.20	25
PP1	2012	puits	575939.76	180117.42	572.79	573.22	6	7-11	13
PP2	2012	puits	575992.81	180093.52	569.94	570.35	6	3-7	9
PP3	2012	puits	576025.51	180073.08	569.61	570	6	2-6	8
PP4	2012	puits	576048.16	180055.47	568.64	569.04	6	4-6	6
Sarine aval	-	eau de surface	575994.24	180112.34	-	-	-	-	-

## La Pila – Eaux souterraines – Méthodes d'échantillonnage de la campagne d'août 2016

Tableau 1 : Caractéristiques des prélèvements

<b>Points de prélèvements</b>	<b>Piézomètres</b>	<b>PP1, PP2, PP3, PP4</b>	<b>Sarine aval</b>
<b>Pompe</b>	Grundfos MP1	prélèvement à la tête du puits	Sans pompe, directement dans la rivière
<b>Tuyau</b>	téflon	-	
<b>Appareil de mesures</b>	Sonde multi paramètres Hach	Sonde multi paramètres Hach	Sonde multi paramètres Hach
<b>Volume de la purge [l]</b>	3-5x volume d'eau du piézomètre	~15 min	-
<b>Débit moyen de pompage durant la purge [l/min]</b>	8-12	-	-
<b>Débit moyen de pompage durant le prélèvement [l/min]</b>	1-2	-	-

### Paramètres d'analyses

Un blanc pour chaque pompe utilisée a été effectué au préalable de la campagne.

Les analyses de points de prélèvements de la campagne de surveillance ont été réalisés tel que prévu dans le programme de surveillance et monitoring 2014-2018 et résumé dans le Tableau 2. Les paramètres analysés pour les « autres » points de prélèvement sont indiqués dans ce même tableau.

Cinq points de prélèvement (Piézo bleu, F21-08, F23-08, F27-08, F61-16) ont fait l'objet d'analyses supplémentaires par le laboratoire de l'EMPA. L'objectif principal était de disposer d'un état avant crue avec la méthode EMPA pour les piézomètres qui ont été échantillonnés dans le cadre du suivi de la crue artificielle.

Le piézomètre F19-08 a également fait l'objet d'analyses supplémentaires par le laboratoire de l'EMPA des PCB dissous, particuliers et totaux.

### Laboratoire

Les analyses sont effectuées par le laboratoire Wessling SA à Lyss. Le laboratoire est certifié selon la norme ISO / CEI 17025 (n° d'accréditation STS 092, date du 15.11.1994, dernier renouvellement 05.06.2015, valable jusqu'au 04.06.2020).

Les analyses supplémentaires sont effectuées par le laboratoire de l'EMPA

Tableau 2 : Paramètres analysés lors de la campagne d'août 2016. Laboratoire Wessling

<b>Points de prélèvements</b>		<b>Paramètres analysés</b>
<b>Blancs</b>	<b>Blanc-R</b> <b>Blanc-C</b>	PCB 7 congénères, LQ basse (LQ = 0.4ng/l pour congénères n°28, 52, 101, 118 ; LQ = 0.8 ng/l pour congénères n°138, 153, 180)

	<b>Blanc-B</b>	PCB 7 congénères, LQ standard (2ng/l)
<b>Campagne de surveillance</b>	<b>Piézo bleu</b> <b>F27-08</b> <b>F48-12</b> <b>F50-12</b> <b>F53-12</b> <b>PP1, PP2', PP3 et PP4</b> <b>Sarine aval</b>	pH, température, conductivité, oxygène, MES, COD, PCB 7 congénères LQ standard (2ng/l), ammonium, chlorures, bromures, HC C5-C10 et C10-C40, BTEX et solvants chlorés
Autres points de prélèvement (ensemble des piézomètres)		MES, COD, PCB 7 congénères LQ standard (2ng/l), ammonium, HC C5-C10, solvants chlorés

Tableau 3 : Analyses supplémentaires effectuées par le laboratoire EMPA

Points de prélèvement	Paramètres analysés
Piézo bleu F21-08 F23-08 F27-08 F61-16	PCB 7 congénères (analyse après filtration à 0.45µm LQ basse <<1ng/L)
F19-08	PCB 7 congénères (analyse après filtration à 0.45µm LQ basse <<1ng/L) ; PCB particulières (analyse du filtre à 0.45µm) PCB totaux (extraction de l'échantillon non filtré)

**Annexe 3.3.2 – 4**

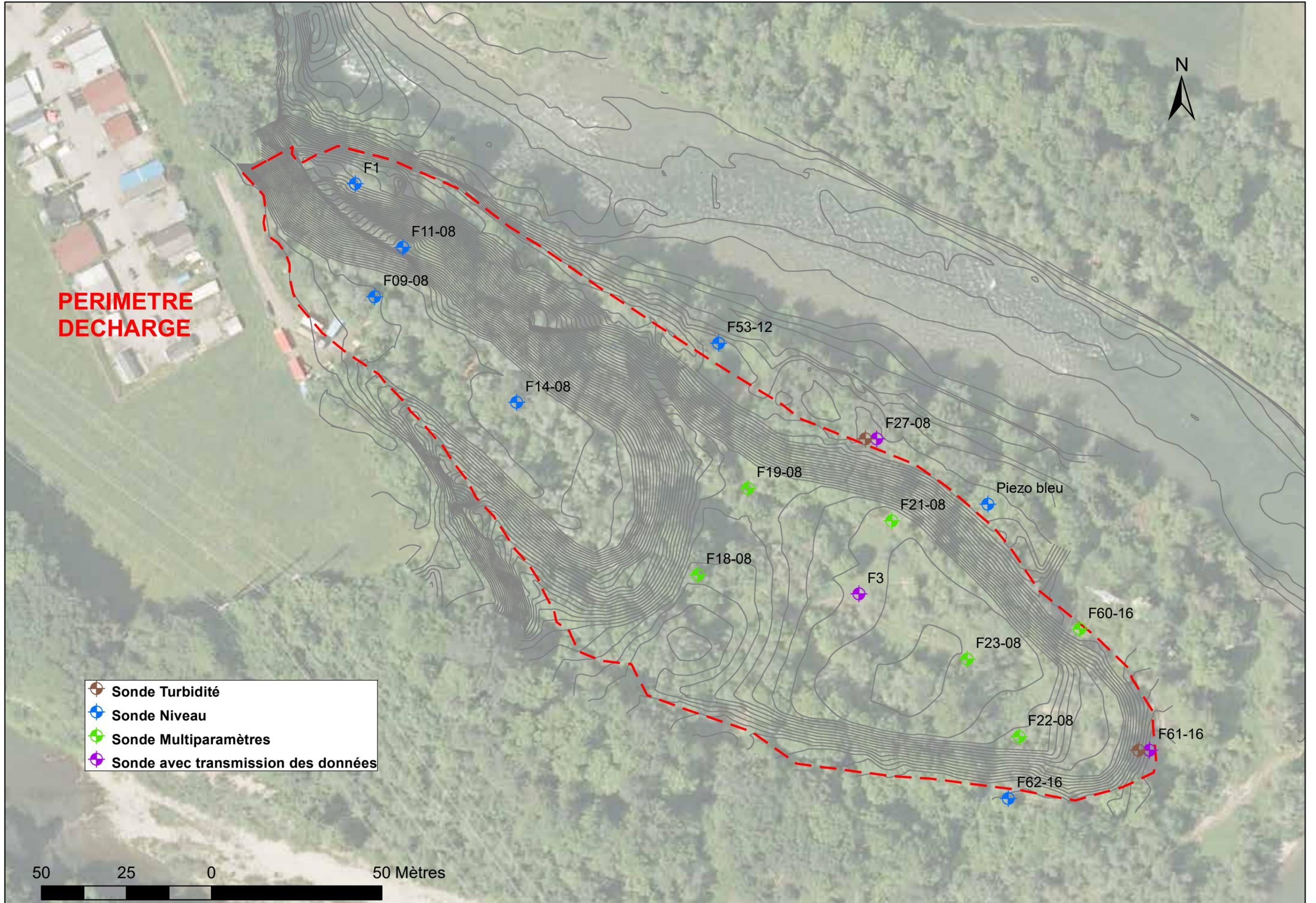
**Plan de situation des sondes piézométriques**



**PERIMETRE  
DECHARGE**

-  Sonde Turbidité
-  Sonde Niveau
-  Sonde Multiparamètres
-  Sonde avec transmission des données

50      25      0      50 Mètres



**Annexe 3.3.3 – 1**

**Capteurs passifs – Rapport CSD et Résultats EMPA**

DÉCHARGE DE LA PILA  
SUITE DES DÉMARCHES EN RELATION AVEC  
LE PROJET D'ASSAINISSEMENT - MESURES  
COMPLÉMENTAIRES

ANNEXE 3.3.3 - 1 - RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS DES CAPTEURS  
PASSIFS DANS LES EAUX SOUTERRAINES

Fribourg, le 14.06.2017  
FR2706.917

**CSD INGENIEURS SA**

Chantemerle 37 - Granges-Paccot

Case postale 384

CH-1701 Fribourg

t +41 26 460 74 74

f +41 26 460 74 79

e [fribourg@csd.ch](mailto:fribourg@csd.ch)

[www.csd.ch](http://www.csd.ch)



## TABLE DES MATIÈRES

<b>1.</b>	<b>INTRODUCTION ET OBJECTIFS</b>	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>MÉTHODOLOGIE</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>RÉSULTATS ET ÉVALUATION</b>	<b>5</b>
3.1	Niveau de la Sarine durant les périodes d'expositions des capteurs passifs	6
3.2	Comparaison de la masse de PCB par jour entre les différentes périodes et points de prélèvements	6
3.3	Évaluation par rapport aux analyses ponctuelles	7

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 :	Piézomètres dans lesquels ont été placés les capteurs passifs et périodes d'exposition.	5
Tableau 2.2 :	durée d'exposition pour la période pré-crue. Certains piézomètres ont été hors de l'eau pendant cette période d'exposition	5

## LISTE DES FIGURES

Figure 3.1 :	Niveau de la Sarine au droit de la Pila durant les périodes d'exposition des capteurs passifs.	6
Figure 3.2 :	masse par jour de $\sum 6$ i-PCB * 4.3 des capteurs passifs. L'incertitude de mesure au niveau de l'analyse est de 20%, représentée par les barres d'erreurs. L'analyse du F21-08 durant la période « pré-crue » n'a pas été incluse car elle est jugée comme peu représentative (cf. chapitre 2).	7
Figure 3.3 :	Comparaison entre les valeurs déduites des capteurs passifs et les mesures ponctuelles. Période « pré-crue »	8
Figure 3.4 :	Comparaison entre les valeurs déduites des capteurs passifs et les mesures ponctuelles. Période « crue »	8
Figure 3.5 :	Comparaison entre les valeurs déduites des capteurs passifs et les mesures ponctuelles. Période « après-crue »	8

## ANNEXES

Annexe A	Rapport EMPA	9
----------	--------------	---

## PRÉAMBULE

CSD confirme par la présente avoir exécuté son mandat avec la diligence requise. Les résultats et conclusions sont basés sur l'état actuel des connaissances tel qu'exposé dans le rapport et ont été obtenus conformément aux règles reconnues de la branche.

CSD se fonde sur les prémisses que :

- le mandant ou les tiers désignés par lui ont fourni des informations et des documents exacts et complets en vue de l'exécution du mandat,
- les résultats de son travail ne seront pas utilisés de manière partielle,
- sans avoir été réexaminés, les résultats de son travail ne seront pas utilisés pour un but autre que celui convenu ou pour un autre objet ni transposés à des circonstances modifiées.

Dans la mesure où ces conditions ne seraient pas remplies, CSD déclinera toute responsabilité envers le mandant pour les dommages qui pourraient en résulter.

Si un tiers utilise les résultats du travail ou s'il fonde des décisions sur ceux-ci, CSD décline toute responsabilité pour les dommages directs et indirects qui pourraient en résulter.

## 1. Introduction et objectifs

Les capteurs passifs permettent de mesurer les PCB dissous et une partie des PCB particulières sur une période donnée.

Des capteurs passifs ont été installés dans les 5 piézomètres échantillonnés durant la crue (F21-08, F23-08, F27-08, F61-16 et Piézo-bleu-D-16) durant 3 périodes d'exposition, de 2 semaines chacune, avant, durant et après la crue. Ces mesures avaient pour but de vérifier qu'il n'y ait pas de flux « manqué » durant la crue par les prélèvements ponctuels et d'avoir des résultats exploitables dans les cas où les concentrations des mesures ponctuelles étaient inférieures aux limites de quantification.

## 2. Méthodologie

Chaque capteur a été installé durant environ 2 semaines, afin d'avoir des teneurs comparables. Cette durée, analogue à la durée d'exposition des capteurs passifs dans les cours d'eau, avait déjà été testée en 2013 et 2014 dans certains piézomètres de la décharge. Les périodes durant lesquels les capteurs ont été exposés sont listées dans le Tableau 2.1.

Cependant, suite à divers problèmes sur le terrain, les capteurs au niveau des piézomètres Piézo-bleu-D-16, F21-08 et F27-08 se sont trouvés hors de l'eau durant quelques jours pour la première période d'exposition (pré-crue, Tableau 2.2). Ainsi, la *durée* d'exposition ne correspond pas à la *période* d'exposition pour ce laps de temps.

Tableau 2.1 : Piézomètres dans lesquels ont été placés les capteurs passifs et périodes d'exposition.

Piézo-mètres	Période d'exposition
F61-16	« pré-crue » : 26.08.- 13.09.16
Piezo-Bleu-D-16	
F27-08	« crue » : 13.09.- 27.09.16
F23-08	« après-crue » : 07.10. - 21.10.16
F21-08	

Tableau 2.2 : durée d'exposition pour la période pré-crue.  
Certains piézomètres ont été hors de l'eau pendant cette période d'exposition

Piézo-mètres	Durée d'exposition pour la période « pré-crue » [j]
F61-16	18
Piezo-Bleu-D-16	10
F27-08	15
F23-08	18
F21-08	4

## 3. Résultats et évaluation

Le capteur passif du F21-08 durant la période pré-crue n'a malheureusement été sous le niveau de la nappe que durant 4 jours et présente une teneur particulièrement élevée en PCB. L'impact sur les concentrations en PCB du capteur hors de l'eau est difficilement quantifiable : il est possible qu'il ait été en contact avec du matériel contenant des PCB, tels que des particules fines. Cette incertitude rend la prise en compte de ce résultat délicat, et pour cette raison, cette valeur n'a pas été retenue pour l'évaluation des résultats.

### 3.1 Niveau de la Sarine durant les périodes d'expositions des capteurs passifs

La figure ci-dessous (Figure 3.1) montre le niveau de la Sarine au droit de la pila durant les périodes d'exposition des capteurs passifs. Une différence essentielle entre les deux semaines « hors crue », pouvant avoir une influence sur les flux de PCB, sont les 4 jours consécutifs de basses eaux précédant la crue. Les basses eaux augmentent le flux d'eau sortant de la décharge (cf. ANNEXE 5.2.1.2 – Modélisation hydrogéologique).

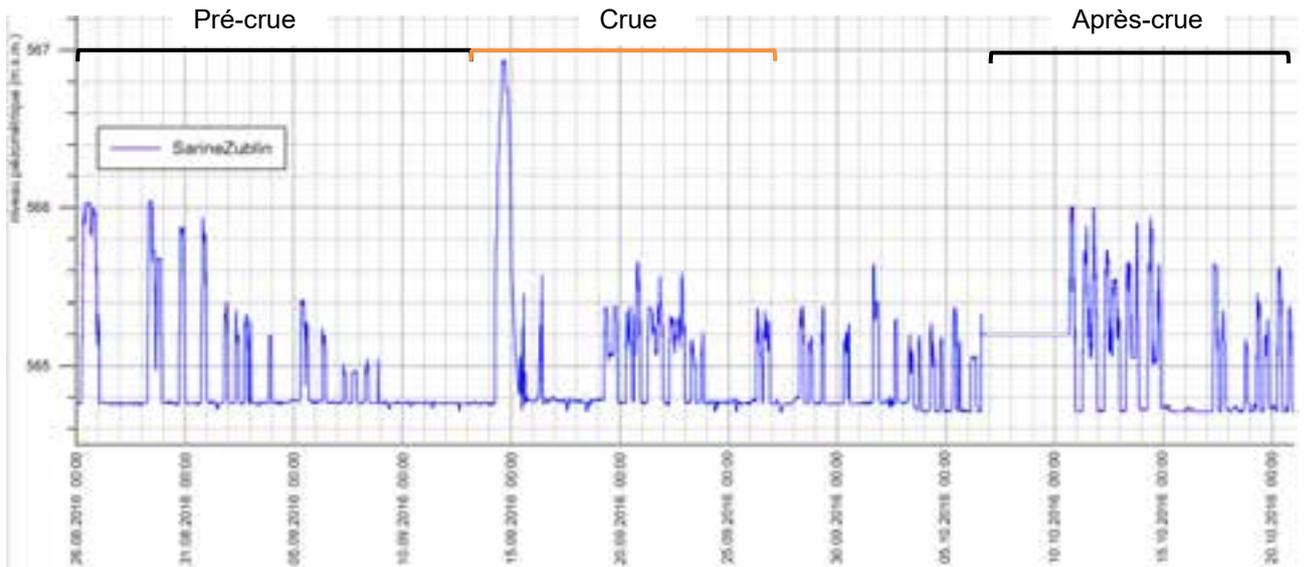


Figure 3.1 : Niveau de la Sarine au droit de la Pila durant les périodes d'exposition des capteurs passifs.

### 3.2 Comparaison de la masse de PCB par jour entre les différentes périodes et points de prélèvements

Les résultats d'analyses de PCB du F21-08 et F61-16 présentent globalement des valeurs nettement plus élevées que les 3 autres piézomètres durant la crue, alors que les teneurs sont du même ordre de grandeurs que pour les autres piézomètres lors de la période « après-crue » (Figure 3.2). La valeur la plus élevée est retrouvée au F61-16 durant la crue.

Les résultats des capteurs passifs aux piézomètres Piezobleu-D-16, F27-08, F23-08 montrent des valeurs d'un même ordre de grandeur entre eux et entre les différentes périodes d'exposition des capteurs. Il peut cependant être constaté que pour ces trois piézomètres, les teneurs sont plus élevées lors de la campagne pré-crue, bien que cette affirmation soit délicate pour les piézomètres Piezo-bleu-D-16 et F23-08 si l'on tient compte de l'incertitude de l'analyse.

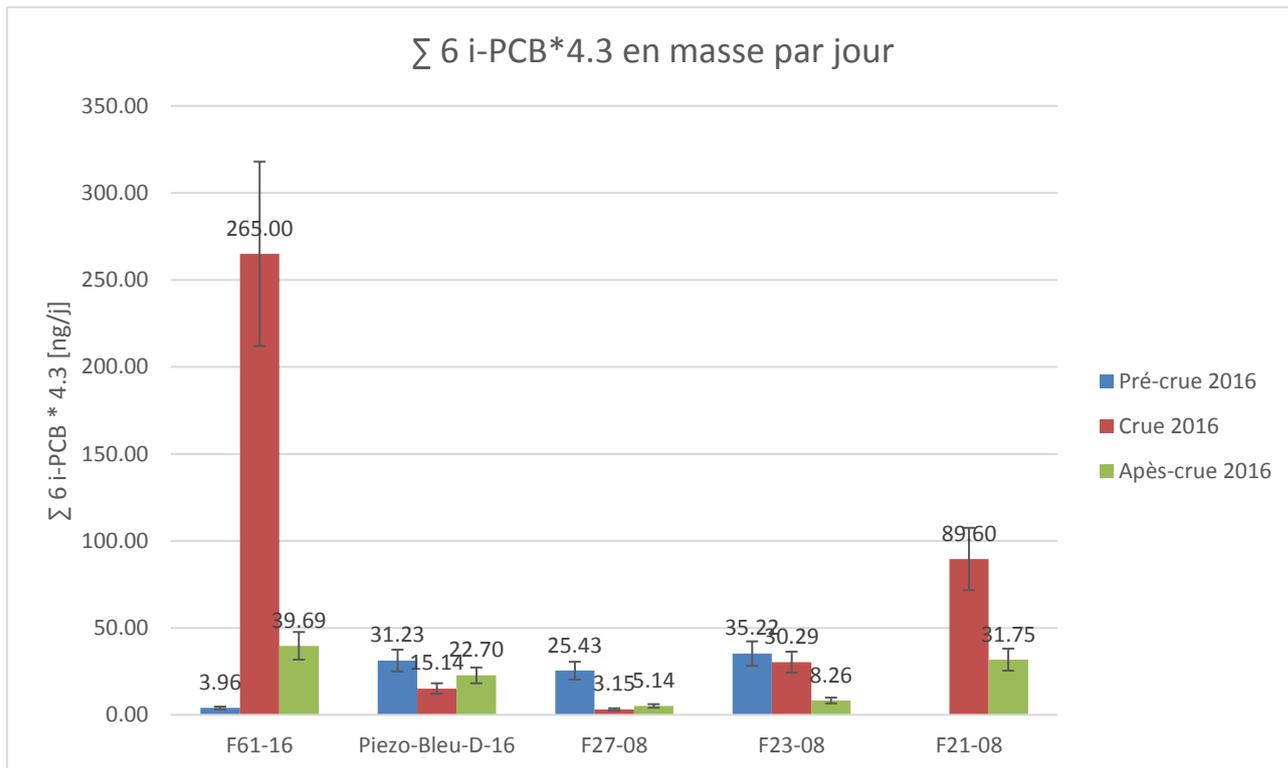


Figure 3.2 : masse par jour de  $\sum 6 i\text{-PCB} * 4.3$  des capteurs passifs. L'incertitude de mesure au niveau de l'analyse est de 20%, représentée par les barres d'erreurs. L'analyse du F21-08 durant la période « pré-crue » n'a pas été incluse car elle est jugée comme peu représentative (cf. chapitre 2).

Les variations de teneurs au F61-16 peuvent s'expliquer par rapport aux niveaux de l'eau souterraine dans celui-ci. En effet, il présente un effet de seuil : lorsque le niveau de la nappe se trouve au-dessus de 565.93 m. s. m., il fluctue de façon similaire aux piézomètres à l'aval (p. ex. Piézo-bleu), alors que lorsqu'il se situe en dessous de ce niveau, ce dernier ne descend quasiment plus. Cela signifie qu'il n'y a pas de nouvelle arrivée d'eau à partir de ce seuil. Durant la période d'exposition pré-crue, ce seuil est atteint entre le 03-13.09.2016, soit environ un tiers de la durée, ce qui pourrait expliquer la faible teneur en PCB analysée durant cette période. Au moment de la crue, le piézomètre se remplit avec de l'eau fortement chargée en PCB en remobilisant la zone non saturée.

Au niveau des autres piézomètres, les tendances sont plus compliquées à comprendre. Possiblement, le fait d'avoir 4 jours de basses eaux consécutifs engendre des teneurs en PCB plus élevées durant la période « pré-crue » que pour celle « après-crue ».

Globalement, il peut être constaté que dans les piézomètres à l'aval immédiat, piézo-bleu-D-16 et F27-07, la crue de 2016 n'engendre pas d'augmentation des teneurs en PCB sur une période de 2 semaines.

### 3.3 Évaluation par rapport aux analyses ponctuelles

Les capteurs passifs avaient été mis en place dans les piézomètres, en parallèle des échantillonnages ponctuels, afin de vérifier qu'il n'y ait pas eu de flux « manqué » durant la crue avec les mesures ponctuelles.

Des flux de PCB ont été déduits à partir des masses de PCB sur les capteurs (Figure 3.3, Figure 3.4 et Figure 3.5). Ces flux de PCB ont été calculés avec deux vitesses de flux d'eau différents. Ces derniers ont été estimés en comparant les concentrations des mesures ponctuelles avec les teneurs analysées sur les capteurs passifs par l'EMPA et confirmés par les simulations du modèle numérique. Ces estimations donnent un flux d'eau de 1 l/j à 4 l/j. Plus le flux d'eau est grand, moins la concentration de

PCB sera importante. Ces valeurs ont été comparées avec les résultats des prélèvements ponctuels. Pour la période « pré-cru » et « après-cru », les résultats des prélèvements ponctuels de la campagne d'août 2016 ont été considérés (Figure 3.3). Pour la période « crue », la moyenne des concentrations analysées durant la crue (du 14. au 18.09.2016) a été prise en compte (Figure 3.4).

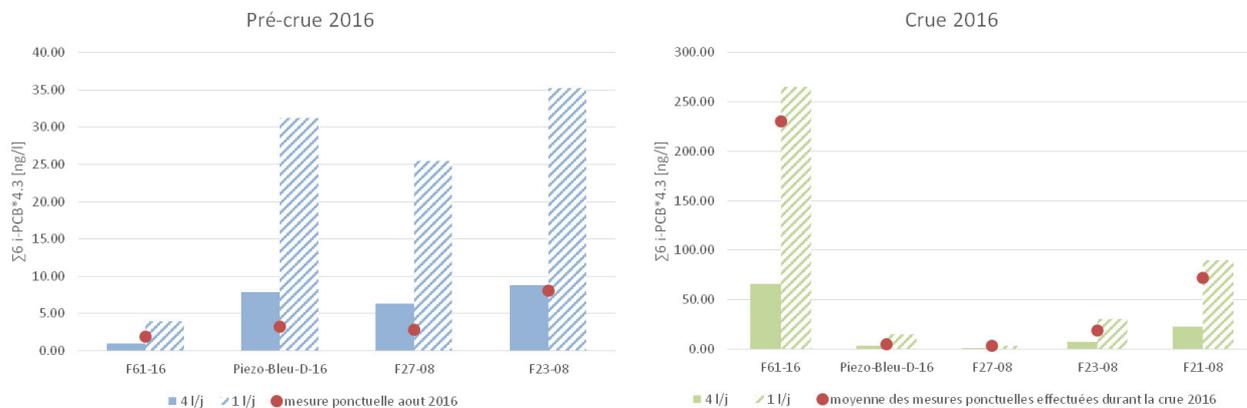


Figure 3.3 : Comparaison entre les valeurs déduites des capteurs passifs et les mesures ponctuelles. Période « pré-cru »

Figure 3.4 : Comparaison entre les valeurs déduites des capteurs passifs et les mesures ponctuelles. Période « crue »

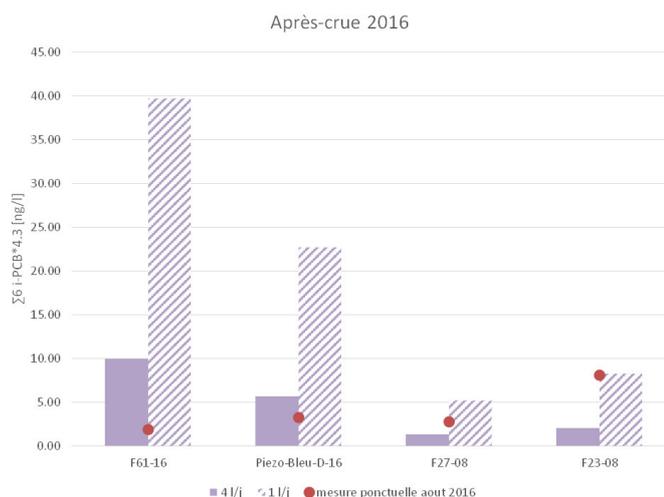


Figure 3.5 : Comparaison entre les valeurs déduites des capteurs passifs et les mesures ponctuelles. Période « après-cru »

Les teneurs déduites par les capteurs passifs et par les analyses ponctuelles sont d'un même ordre de grandeurs. Ces résultats montrent qu'il n'y a pas eu de flux « manqué » lors des mesures ponctuelles et ils valident les résultats d'analyses des mesures ponctuelles.

**ANNEXE A      RAPPORT EMPA**



Frau Alexandra Fröhlicher  
CSD Ingenieure SA  
Chanlemarle 37 – Granges-Paccot  
Case postale 384  
CH-1701 Fribourg

## Empa-Prüfbericht 5214014104

**Prüfauftrag:** Bestimmung von PCB in Passivsammlern aus Piezometern  
der Deponie La Pila

**Prüfobjekte:** Passivsammler aus Piezometern

**Kundenreferenz:** Alexandra Fröhlicher

**Ihr Auftrag vom:** 24. Oktober 2016

**Eingang der Prüfobjekte:** 25. Oktober 2016

**Ausführung der Prüfung:** 25. Oktober bis 3. November 2016

**Anzahl Seiten:** - 9 -

**Bemerkungen:** Daten wurden per E-Mail als Excelfile am 9.11.2016 versandt

**Beilagen:** Rechnung

Dübendorf, 15. November 2016

Prüfleiter:

M. Zennegg

Abteilungsleiter  
Advanced Analytical Technologies

PD Dr. D. Bleiner

## 1 Prüfobjekte

Die in der Tabellen 1 aufgeführten Passivsammler wurden der Empa, Abteilung Advanced Analytical Technologies, per Post zugestellt

Tabelle 1: Prüfobjekte angeliefert am 25.10.2016 (Bemerkungen gemäss E-Mail von Lea Tallon vom 24.10.2016 an Markus Zennegg).

Probenbezeichnung	Probenart	Datum Probenahme	Bemerkungen
Piezo Bleu	Passivsammler	13.09.2016	Im Piezometer vom 26.08. bis 13.09.2016. Gemäss Pegelstand nur 10 Tage im Wasser.
F61-16	Passivsammler	13.09.2016	Im Piezometer vom 26.08. bis 13.09.2016.
F27-D16	Passivsammler	13.09.2016	Im Piezometer vom 26.08.2016 bis 13.09.2016. Die letzten drei Tage neben dem Piezometer am Boden gelassen.
F23-08	Passivsammler	13.09.2016	Im Piezometer vom 26.08. bis 13.09.2016.
F21-08	Passivsammler	13.09.2016	Im Piezometer vom 26.08. bis 13.09.2016. Gemäss Pegelstand nur 4 Tage im Wasser
Piezo Bleu	Passivsammler	21.10.2016	Exponiert vom 4.10. bis 21.10.2016
F61-16	Passivsammler	21.10.2016	Exponiert vom 4.10. bis 21.10.2016
F27-D16	Passivsammler	21.10.2016	Exponiert vom 4.10. bis 21.10.2016
F23-08	Passivsammler	21.10.2016	Exponiert vom 4.10. bis 21.10.2016
F21-08	Passivsammler	21.10.2016	Exponiert vom 4.10. bis 21.10.2016

## 2 Prüfverfahren

### 2.1 Prüfverfahren für PCB in PDMS Passivsammlern mit PRC (keine Säure)

Um einen Abbau von  $^{13}\text{C}_{11}$  Mono- und Dichlorbiphenylen, welche als PRC eingesetzt wurden, durch die konzentrierte Schwefelsäure zu vermeiden, wurde auf deren Einsatz verzichtet.

Die PDMS Passivsammler wurden nach Zugabe einer Mischung von 16  $^{13}\text{C}_{12}$ -isotopenmarkierten PCB (Cambridge Isotope Laboratories) mit Methanol während 16 Stunden heiss extrahiert (Soxhletextraktion)

Anschliessend wurde das Lösemittel am Rotationsverdampfer bei 50°C und 330 mbar bis auf ca. 0.5 mL eingedunstet

Die praktisch farblosen bis leicht grünen Extrakte wurden quantitativ, durch mehrmaliges Nachspülen mit 1 bis 2 mL n-Hexan, in ein 10 mL Soviral Zentrifugenglas überführt.

Nach Verdünnung mit Reinstwasser im Verhältnis 1:1 wurde auf einem Vortexmixer kräftig geschüttelt und dreimal mit n-Hexan extrahiert. Zur besseren Phasentrennung wurde die Suspension für einige Minuten bei 5'000 rpm zentrifugiert

Die klare übersiehende n-Hexanphase wurde vorsichtig in einen 10 mL Spitzkolben abpipettiert und das Volumen am Rotationsverdampfer bei 50°C und 300 mbar bis auf ca. 0.5 mL reduziert.

Der vorgereinigte n-Hexanextrakt wurde chromatographisch an 0.8 g aktiviertem Kieselgel gereinigt (Mini-Kieselgelsäule). Die Elution erfolgte mit 10 mL n-Hexan

Das Lösemittel wurde am Rotationsverdampfer bei 50°C und 300 mbar bis auf ca. 0.5 mL eingedunstet.

Nach quantitativem Transfer in 0.5 mL Mini-Vials wurde unter Stickstoffbegasung bei Raumtemperatur das Volumen bis auf ca. 30 µL reduziert.

Die messbereiten Probenextrakte wurden mit dem Recoverystandard ( $^{13}\text{C}_{12}$ -PCB 70) zur Bestimmung der Wiederfindungsrate versetzt.

Die quantitative Analyse der polychlorierten Biphenyle wurde mittels Gaschromatographie/Massenspektrometrie durchgeführt (HRGC/HRMS). Die Quantifizierung erfolgte durch Vergleich mit den isotonenmarkierten Standards (Isotopenverdünnungsanalyse).

## 2.2 Referenzmaterialien

Kalibrationsstandard: Mischung der PCB 77, 81, 105, 114, 118, 123, 126, 156, 157, 167, 169, 189 (C-WHO-01 Accu Standards Inc.)

Mischung der PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180 (AE-00059, Accu Standards Inc.)

Wiederfindungsstandard:  $^{13}\text{C}_{12}$ -PCB 70 (EC-4914, Cambridge Isotope Laboratories)

Interner Standard: Mischung der  $^{13}\text{C}_{12}$ -isotopenmarkierten PCB 77, 81, 105, 114, 118, 123, 126, 156, 157, 167, 169, 189 (EC 4937, Cambridge Isotope Laboratories)

Mischung der  $^{13}\text{C}_{12}$ -isotopenmarkierten PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180 (EC 4058, Cambridge Isotope Laboratories)

## 2.3 Prüfmittel

Gaschromatograph: Thermo Finnigan Trace GC Ultra mit Thermo Scientific TriPlus Autosampler

Kapillarsäule: 25m x 0.22 mm, SGE HT8, Filmdicke 0.25 µm

Massenspektrometer: doppelfokussierendes Massenspektrometer Finnigan MAT 95, ausgerüstet mit Systemsteuerungs- und Applikationssoftware Xcalibur 1.4

## 2.4 Prüfbedingungen

Trägergas: Helium, 100 kPa

Injektion: 3 µL splitlos

Temperaturprogramm: 100 °C (1 min), 20 °C min<sup>-1</sup> bis 200 °C, 5 °C min<sup>-1</sup> bis 300 °C

Quellentemperatur: 220 °C

Ionisierung: Elektronenstoss (EI), Detektion der positiven Ionen

Elektronenenergie: 70 eV

Massenauflosung:  $m/\Delta m = 8'000$  (10 % Tal)

Einzelionendetektion: Es wurden jeweils die  $m/z$ -Werte der beiden häufigsten Isotopenkombinationen der nativen und  $^{13}\text{C}_{12}$ -markierten PCB im Molekülionencluster registriert (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Detektierte  $m/z$  Werte der nativen und  $^{13}\text{C}_{12}$ -markierten PCB

PCB	native		$^{13}\text{C}_{12}$ -labeled	
	$m/z$	$m/z$	$m/z$	$m/z$
MoCB	188.0387	190.0358	200.0790	202.0760
DiCB	221.9998	223.9968	234.0400	236.0371
TriCB	255.9613	257.9583	268.0021	269.9991
TetraCB	289.9223	291.9148	301.9626	303.9597
PentaCB	325.8805	327.8776	337.9207	339.9178
HexaCB	359.8415	361.8386	371.8817	373.8789
HeptaCB	393.8025	395.7996	405.8428	407.8398

### 3 Resultate

Die Resultate in den folgenden Tabellen wurden auf zwei signifikante Stellen gerundet. Die Summenwerte wurden erst nach der Berechnung auf zwei signifikante Stellen gerundet.

Tabelle 3: i-PCB in den Passivsammlerproben in ng/kg (exponiert in den Piezometern vom 13.09. bis zum 27.09.2016).

Externe Bez.:	Piezo-bleu	F61-16	F27-D-16	F23-08	F21-08	Blindwert
Datum Probenahme:	13.09.2016	13.09.2016	13.09.2016	13.09.2016	13.09.2016	
Interne Bez.	33516	33416	33316	33216	33116	33016
Exposition (Tage)	10	18	15	18	4	
PCB 28	44	35	130	890	1500	0.93
PCB 52	290	110	940	1700	8200	4.7
PCB 101	440	98	560	320	4800	6.1
PCB 118	620	97	350	290	3200	3.1
PCB 138	410	62	150	180	1200	4.5
PCB 153	390	61	210	200	2200	4.3
PCB 180	72	14	27	68	200	1.9
<b>Summe 6:</b>	<b>1700</b>	<b>380</b>	<b>2000</b>	<b>3300</b>	<b>18000</b>	<b>22</b>
<b>Summe 7:</b>	<b>2300</b>	<b>470</b>	<b>2400</b>	<b>3600</b>	<b>21000</b>	<b>25</b>

Da die Elimination der Performance Reference Compounds (PRC) bei den Mono- und Dichlor-PCB geringer als 20% ausfiel und bei den höherchlorierten PRC nicht vorhanden war, ist eine Standortkorrektur via PRC nicht möglich. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Sammelraten in den fünf untersuchten Piezometern etwa gleich hoch war.

Tabelle 4: i-PCB in den Passivsammlerproben in ng/kg (exponiert in den Piezometern vom 04.10. bis zum 21.10.2016).

Externe Bez.:	Piezo-bleu	F61-16	F27-D-16	F23-08	F21-08
Datum Probenahme:	21.10.2016	21.10.2016	21.10.2016	21.10.2016	21.10.2016
Interne Bez.	34116	34016	33916	33816	33716
Exposition (Tage)	17	17	17	17	17
PCB 28	67	170	24	120	480
PCB 52	280	1200	78	350	1100
PCB 101	650	1100	120	110	610
PCB 118	670	1100	180	99	460
PCB 138	500	430	85	68	250
PCB 153	460	560	140	70	290
PCB 180	85	100	21	21	110
<b>Summe 6:</b>	<b>2000</b>	<b>3600</b>	<b>460</b>	<b>740</b>	<b>2900</b>
<b>Summe 7:</b>	<b>2700</b>	<b>4700</b>	<b>640</b>	<b>840</b>	<b>3300</b>

Da die Elimination der Performance Reference Compounds (PRC) bei den Mono- und Dichlor-PCB geringer als 20% ausfiel und bei den höherchlorierten PRC nicht vorhanden war, ist eine Standortkorrektur via PRC nicht möglich. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Sammelraten in den fünf untersuchten Piezometern etwa gleich hoch war.

Tabella 5: dl-PCB in den Passivsammlerproben in ng/kg (exponiert in den Piezometern vom 13.09. bis zum 27.09.2016), sowie das daraus berechnete WHO Toxizitätsäquivalent in ng/kg. **Rote Werte liegen unterhalb der Nachweisgrenze.**

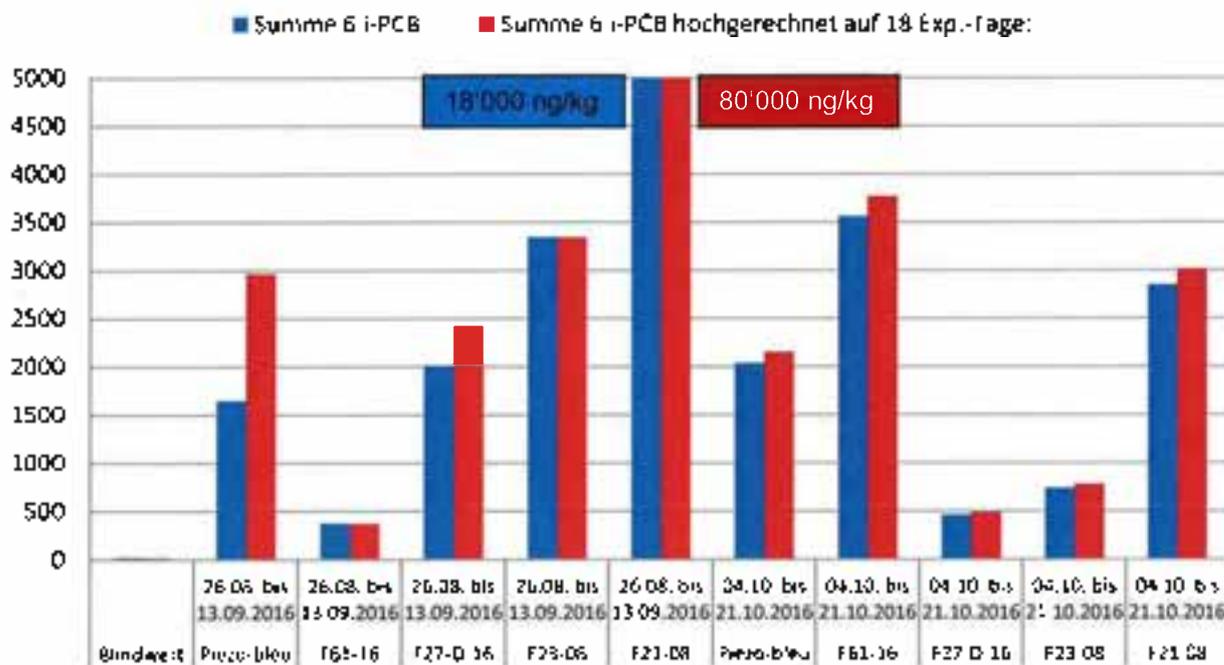
Externe Bez.:	Piezo-bleu	F61-16	F27-D-16	F23-08	F21-08	Blindwert
Datum Probenahme:	13.09.2016	13.09.2016	13.09.2016	13.09.2016	13.09.2016	
Interne Bez.:	33516	33416	33316	33216	33116	33016
<b>Exposition (Tage):</b>	<b>10</b>	<b>18</b>	<b>15</b>	<b>18</b>	<b>4</b>	
PCB 77	23	6.2	24	44	160	0.35
PCB 81	4.5	0.82	3.1	4.6	32	0.082
PCB 105	170	28	85	110	350	1.1
PCB 114	8.6	1.4	5.3	6.7	26	0.079
PCB 118	620	97	360	290	3200	3.1
PCB 123	5.1	0.78	3.9	3.0	18	0.046
PCB 126	0.66	0.27	1.0	0.81	1.9	<b>0.059</b>
PCB 156	46	6.9	19	24	83	0.33
PCB 157	12	1.8	4.4	5.6	20	0.12
PCB 167	21	2.9	10	10	43	0.15
PCB 169	<b>0.24</b>	<b>0.090</b>	<b>0.16</b>	<b>0.20</b>	<b>0.35</b>	<b>0.081</b>
PCB 189	1.5	0.31	0.68	1.6	2.6	<b>0.11</b>
<b>WHO-TEQ<sub>2005</sub></b>	<b>0.10</b>	<b>0.035</b>	<b>0.12</b>	<b>0.11</b>	<b>0.33</b>	<b>0.10</b>
<b>WHO-TEQ<sub>1998</sub></b>	<b>0.18</b>	<b>0.045</b>	<b>0.16</b>	<b>0.15</b>	<b>0.63</b>	<b>0.085</b>

Tabella 6: dl-PCB in den Passivsammlerproben in ng/kg (exponiert in den Piezometern vom 04.10. bis zum 21.10.2016), sowie das daraus berechnete WHO Toxizitätsäquivalent in ng/kg. **Rote Werte liegen unterhalb der Nachweisgrenze.**

Externe Bez.:	Piezo-bleu	F61-16	F27-D-16	F23-08	F21-08
Datum Probenahme:	21.10.2016	21.10.2016	21.10.2016	21.10.2016	21.10.2016
Interne Bez.:	34116	34016	33916	33816	33716
<b>Exposition (Tage)</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b>
PCB 77	25	56	6.8	13	49
PCB 81	3.9	8.0	1.1	1.3	5.7
PCB 105	200	180	26	41	130
PCB 114	9.5	8.7	1.4	2.3	6.0
PCB 118	570	1100	180	99	460
PCB 123	6.7	4.4	0.93	1.5	4.8
PCB 126	0.77	3.1	0.21	0.39	1.1
PCB 156	56	50	8.4	7.2	27
PCB 157	14	13	1.7	1.8	7.6
PCB 167	25	23	4.1	3.4	12
PCB 169	<b>0.083</b>	0.33	<b>0.14</b>	<b>0.14</b>	<b>0.16</b>
PCB 189	1.9	2.2	0.42	0.41	1.6
<b>WHO-TEQ<sub>2005</sub></b>	<b>0.11</b>	<b>0.37</b>	<b>0.033</b>	<b>0.050</b>	<b>0.14</b>
<b>WHO-TEQ<sub>1998</sub></b>	<b>0.21</b>	<b>0.48</b>	<b>0.049</b>	<b>0.062</b>	<b>0.20</b>

## 4 Grafische Darstellung der Resultate

Figur 1: Summe der 6 i-PCB in ng/kg PDMS in den Passivsammlern exponiert in den Piezometern im August/September und Oktober 2016. Die roten Balken zeigen die auf 18 Tage Expositionszeit hochgerechneten Werte. Zur besseren Vergleichbarkeit wurde die X-Achse auf ein Maximum von 5000 ng/kg festgelegt. Die Werte von F21-08 wurde in farbigen Kästchen zusätzlich eingeführt.



### Bemerkungen zu Figur 1:

Die Gehalte in den Passivsammlern liegen, wenn auf 18 Expositionstage hochgerechnet (rote Balken), zwischen **380 und 3'800 ng/kg PDMS**, wobei die Probe F21-08 (August/September 2016) hier nicht mit einbezogen wurde.

### Piezo F21-08:

F21-08 vom August/September 2016 war leider nur rund 4 Tage unterhalb des Grundwasserspiegels exponiert. Trotzdem lag der Gehalt an i-PCB mit **18'000 ng/kg** relativ hoch. Ob eine Hochrechnung auf 18 Expositionstage gerechtfertigt ist, ist schwierig zu sagen. Es ist nicht klar was mit dem Passivsammler passierte, als er nicht mehr im Grundwasser lag. Hatte er Kontakt zu aufgewirbeltem und PCB-haltigem Material, wie Feinpartikeln? Würde der Gehalt auf 18 Tage hochgerechnet so lage dieser bei hohen **80'000 ng/kg PDMS**. Bei einer Sammelrate von ca. 1 - 4 Liter/Tag (realistisch für ein Piezometer mit sehr geringer Fließgeschwindigkeit) wäre die Wasserkonzentration im Piezometer F21-08 (Aug/Sept) ca **45 bis 180 ng/Liter**. Dieser Bereich liegt klar oberhalb des Wertes von **7.7 ng/L** der am 22. August 2016 analytisch im Piezometer F21-08 bestimmt wurde. Während des Hochwassers und kurz danach lagen die Wasserkonzentrationen (gelöster Anteil) im Piezometer F21-08 zwischen **9.9 und 35 ng/L (Mittelwert 17 ng/L)**. Der partikulär vorhandene Anteil lag damals im Mittel bei **74 ng/L**, mit zwei relativ hohen Werten am 14.09. und 15.09. von **290 bzw. 120 ng/L**. Danach lagen die Konzentrationen (partikulär) deutlich tiefer zwischen **5.3 und 14 ng/L (Mittelwert 8.5 ng/L)**, ohne Werte vom 14. und 15.09.2016). Die Konzentrationen welche im Oktober 2016 im Passivsammler F21-08 bestimmt wurden lagen mit rund **3'000 ng/kg PDMS** deutlich tiefer. Bei einer Sammelrate von **1 bis 4 Liter/Tag** wären Wasserkonzentrationen von **1.7 bzw. 6.7 ng/L** zu erwarten. Womit man im Bereich dessen waron was analytisch zwischen dem 16. und 18.09. nach dem Hochwasser gemessen wurde (**10 bis 13 ng/L, Mittelwert 11 ng/L**), sowie dem oben bereits erwähnten Wert von **7.7 ng/L** vom 22.08.2016.

#### **Piezo-bleu:**

Im Passivsammler **Piezo-bleu** wurden im August/September rund **3'000 ng/kg** bestimmt. Ein sehr ähnlicher Wert von **2'400 ng/kg** resultierte im Oktober 2016. Bei einer Sammelrate von 1 bis 4 L/Tag würde bei **3'000 ng/kg PDMS** eine Wasserkonzentration, wie bereits oben beschrieben, von **1.7 bzw. 6.7 ng/L** vorliegen. Bei **2'400 ng/kg PDMS** sind die Wasserkonzentrationen entsprechend geringer mit **1.3 bzw. 5.3 ng/L**. Zwischen dem 14. und 18.09.2016 wurden im **Piezo-bleu** Wasserkonzentrationen von **0.6 bis 1.3 ng/L** bestimmt (**Mittelwert 1.1 ng/L**). Basierend auf diesen Wasserkonzentrationen ist anzunehmen, dass die Sammelrate im **Piezo-bleu** wohl eher bei **4 Liter/Tag** lag. Wie dem auch sei, stimmen die analytisch bestimmten Wasserkonzentrationen relativ gut mit den über die Sammelraten abgeschätzten Konzentrationen überein. Zusätzlich lag der analytisch bestimmte Wert vom 24.08.2016 im **Piezo-bleu** bei **0.76 ng/L**.

#### **Piezo F61-16:**

Beim Piezometer **F61-16** ist der Unterschied zwischen August/September zu Oktober 2016 relativ hoch. Wurde im August/September ein tiefer Wert von rund **360 ng/kg** bestimmt, so lag der Wert im Oktober mit rund **3'600 ng/kg** einen Faktor von 10 höher. Bei einer Sammelrate von 1 bis 4 L/Tag dürfte die Wasserkonzentration im **Piezo F61-16** im August/September zwischen **0.21 und 0.84 ng/L** gelegen haben. Tatsächlich wurden am 22. August 2016 im **F61-16** eine Wasserkonzentration von **0.44 ng/L** bestimmt (gelöster Anteil). Dies passt sehr gut zu den über die Sammelrate abgeschätzten Wasserkonzentrationen. Zwischen dem 14. und 17.09.2016 wurden Wasserkonzentrationen im **Piezo F61-16** von **17 bis 120 ng/L** bestimmt (**Mittelwert 54 ng/L**, gelöster Anteil). Der im Oktober 2016 gemessenen Passivsammlerwert von **3'600 ng/kg** wurde bei einer Sammelrate von 1 bis 4 L/Tag zu einer abgeschätzten Wasserkonzentration von **2.1 bis 8.4 ng/L** führen. Dieser Bereich liegt deutlich unterhalb der Konzentrationen die während und direkt nach dem Hochwasser gemessen wurden, aber klar oberhalb des analytisch bestimmten Messwertes vom 22.08.2016 von **0.44 ng/L**.

#### **F27-D-16:**

Im Piezometer **F27-D-16** wurde am 24. August 2016 eine Wasserkonzentration an den 6 i-PCB von **0.64 ng/L** bestimmt. Der Passivsammler von August/September 2016 wies eine Konzentration von **2'400 ng/kg** auf. Bei einer Sammelrate von 1 bis 4 L/Tag wäre mit einer Wasserkonzentration von **1.3 bis 5.3 ng/L** zu rechnen. Bei einer Sammelrate von 4 L/Tag liegt der abgeschätzte Wert von **1.3 ng/L** nur gerade einen Faktor von 2 oberhalb dessen was am 24. August analytisch bestimmt worden war. Der Passivsammler vom Oktober 2016 wies mit **490 ng/kg PDMS** einen deutlich tieferen Gehalt an i-PCB auf. Die Wasserkonzentration dürfte bei einer Sammelrate von 1 bis 4 L/Tag bei rund **0.27 bis 1.1 ng/L** liegen und somit nahe dessen was analytisch im August 2016 bestimmt wurde (**0.64 ng/L**).

#### **F23-08:**

Im Piezometer **F23-08** wurden am 23. August 2016 ein i-PCB-Summenwert von **1.8 ng/L** bestimmt (gelöster Anteil). Im Passivsammler von August/September 2016 wurde eine Konzentration von **3'300 ng/kg PDMS** bestimmt. Bei einer Sammelrate von 1 bis 4 L/Tag wäre mit einer Wasserkonzentration von **1.9 bis 7.5 ng/L** zu rechnen, was sehr gut mit dem am 23.08.2016 analytisch bestimmten Wert übereinstimmt. Während und kurz nach dem Hochwasser wurden im Piezometer gefaste PCB-Konzentrationen zwischen **1.8 und 14 ng/L** gemessen, wobei der Mittelwert von sechs Bestimmungen zwischen dem 14. und 18.09.2016 bei **4.5 ng/L** lag. Würde der höchste Messwert von **14 ng/L** nicht berücksichtigt, so läge der Mittelwert bei **2.6 ng/L**. Der Passivsammler im Oktober 2016 wies eine Konzentration von **790 ng/kg PDMS** auf. Bei einer Sammelrate von 1 bis 4 L/Tag dürfte die Wasserkonzentration im Piezometer **F23-08** zwischen **0.45 und 1.8 ng/L** liegen und somit gut mit den analytisch bestimmten Konzentrationen von August und September übereinstimmen.

## 5 Allgemeine Angaben

### 5.1 Verwendete Abkürzungen

PCB	Polychlorierte Biphenyle
PRC	Performance Reference Compounds
dl-PCB	Dioxin-Like PCB (dioxinähnliche PCB)
PDMS	Polydimethylsiloxan (Silikongummi)
MoCB	Monochlorbiphenyl
DiCB	Dichlorbiphenyl
TriCB	Trichlorbiphenyl
TetraCB	Tetrachlorbiphenyl
PentaCB	Pentachlorbiphenyl
HexaCB	Hexachlorbiphenyl
HeptaCB	Heptachlorbiphenyl
WHO-TEF	WHO 2,3,7,8-TCDD-Toxizitätsäquivalenzfaktor
WHO-TEQ	WHO 2,3,7,8-TCDD-Toxizitätsäquivalent
ng	Nanogramm ( $1 \text{ ng} = 1 \times 10^{-9} \text{ g} = 0.000'000'001 \text{ g}$ )

### 5.2 Toxizitätsäquivalente

Die in den Tabellen 5 und 6 aufgeführten Einzelkongenere sind die toxikologisch bedeutsamen Vertreter der PCB (dl-PCB). Der TEQ-Wert einer Probe (unten bei Tabelle 5 und 6) errechnet sich, indem die jeweilige dl-PCB Kongenerenkonzentration mit dem dazugehörigen WHO Toxizitätsäquivalenzfaktor (WHO-TEF, Tabelle 7 oder 8) multipliziert und die so erhaltenen Produkte addiert werden.

Tabelle 7: WHO Toxizitätsäquivalenzfaktoren für PCB (WHO-TEF, 1998)

Nonortho-PCB	WHO-TEF	Monoortho-PCB	WHO-TEF
77	0.0001	105	0.0001
81	0.0001	114	0.0005
126	0.1	118	0.0001
169	0.01	123	0.0001
		156	0.0005
		157	0.0005
		167	0.00001
		189	0.0001

Tabelle 8: WHO Toxizitätsäquivalenzfaktoren für PCB (WHO-TEF, 2005)

<b>Nonortho-PCB</b>	<b>WHO-TEF</b>	<b>Monoortho-PCB</b>	<b>WHO-TEF</b>
77	0.0001	105	0.00003
81	0.0003	114	0.00003
126	0.1	118	0.00003
169	0.03	123	0.00003
		156	0.00003
		157	0.00003
		167	0.00003
		189	0.00003

## 5.2 Messunsicherheit

Nach unseren Erfahrungen beträgt die Messunsicherheit für die Bestimmung der PCB ca. 20 % (Probenahme nicht einbezogen).

Frau Alexandra Fröhlicher  
CSD Ingenieurs SA  
Chantemerle 37 – Granges-Paccot  
Case postale 384  
CH-1701 Fribourg

## Empa-Prüfbericht 5214013674

<b>Prüfauftrag:</b>	<b>Bestimmung von Indikator-PCB in Wasser-, Grundwasser- und Passivsammlerproben</b>
Prüfobjekte:	Grundwasserproben aus der Deponie La Pila Wasserproben aus der Saane und Gérine Passivsammlerproben aus der Deponie La Pila
Kundenreferenz:	Alexandra Fröhlicher
Ihr Auftrag vom:	2016
Eingang der Prüfobjekte:	26. August bis 30. September 2016
Ausführung der Prüfung:	2. September bis 17. Oktober 2016
Anzahl Seiten:	- 30 -
Bemerkungen:	Die Resultate wurden als Exceldatei dem Auftraggeber übermittelt
Beilagen:	Rechnung

Wir forschen und prüfen für Sie

---

Dübendorf, 18. Oktober 2016

Prüfleiter:

M. Zennegg

Abteilungsleiter  
Advanced Analytical Technologies

Dr. D. Bleiner

Tabelle 36: i-PCB in den Passivsammlerproben in ng/kg (exponiert in den Piezometern vom 13.09. bis zum 27.09.2016).

Externe Bez.:	Passiv- sammler Piezo-bleu- D16	Passiv- sammler F61-16	Passiv- sammler F27-08	Passiv- sammler F23-08	Passiv- sammler F21-08	Passiv- sammler Blindwert
Datum Probe- nahme:						
Interne Bez.:	31716	31816	31916	32016	32116	22216
PCB 28	24	590	11	380	820	13
PCB 52	180	5500	60	1400	3100	27
PCB 101	240	3700	54	200	1500	27
PCB 118	430	7600	71	230	1400	10
PCB 138	400	3600	45	160	590	11
PCB 153	300	5900	63	210	900	14
PCB 180	82	1600	14	74	150	5.1
<b>Summe 6:</b>	1200	21000	250	2400	7100	97
<b>Summe 7:</b>	1700	29000	310	2600	8500	107
17 Faktor Abstand zu Blindwert:	16	270	3.0	25	79	
	Rot < 2.5 x Blindwert	Orange 2.5 – 5 x Blindwert	Grün > 5 x Blindwert			

Da die Elimination der Performance Reference Compounds (PRC) bei den Mono- und Dichlor-PCB geringer als 20% ausfiel und bei den höherchlorierten PRC nicht vorhanden war, ist eine Standortkorrektur via PRC nicht möglich. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Sammelraten in den fünf untersuchten Piezometern etwa gleich hoch war.

**Annexe 3.3.3 – 2a**

**Fiches d'échantillonnage de la campagne des eaux  
souterraines d'août 2016**

**PROTOCOLE D'ECHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES**

N° et nom Projet	FR2/06.916.600
Bureau d'étude, responsable	CSO Ingénierie SA, Chantier de AZ Granges, Parc OL 1/01 Fribourg
Maître d'ouvrage	Concession Li PIE

<b>Contact général de l'échantillonnage</b>	
Date / heure échantillonnage	24.08.2010
Localité, coordonnées	Bevaix SA
Laboratoire d'analyse	Wessling SA
Transport des échantillons	Transport par Wessling SA
Stockage des échantillons	Date : / / Lieu : /

<b>Données générales sur le point d'eau</b>		<b>Piezomètre / Sondage</b>	
Nom / N° point d'eau	F1	Coordonnées	475038,4   160120
Lieu / commune		Référence pour niveaux d'eau	
Type	Piezomètre	Cote terrain	472,7
		Cote tube de protection	471,7
		Différence (m)	
		Tube aveugle (m)	déroulé
		Tube réparé (m)	de terrain R 11
Type sondage	0,00 m à m	Tube aveugle (m)	de terrain
		Tube réparé (m)	de terrain
Type tubage	PE	Déroulé	déroulé
Diamètre int. tubage (")	2	Remarques	

<b>Echantillonnage</b>		<b>Purge</b>	
<b>NOM ECHANTILLON</b>			
Type de pompe	12 Volt, inox	Volume colonne d'eau (l)	
		Purge théor. de la colonne (l)	140
		Purge réalisée (l)	200
Tuyau matériel	Teflon	Niveau statique (réf.)	3,18
Prélèvement	par pompage	Profondeur moy. pompe (m)	déroulé
		(réf. moyen (l/m))	

prof. piéz. 12,60

**Programme d'analyse**

Laboratoire Wessling: analyse selon annex 1 Osites, respectant directive DFLV

Prél. complètes avec flottes de quantifications basses	2 flacon en verre 1000 ml	
Ammonium, NH <sub>4</sub>	1 flacon PE 1000 ml	
Solvants chlorés / HC / C / 10 / BTEX	2 vials headspace 40 ml	Sans bulles
CO <sub>2</sub>	1 flacon en verre 250 ml	
ROBICOL	1 flacon en verre 1l + 1 flacon PE 1l	

SONDAGE				F1						
NOM ECHANTILLON										
Date, heure :										
Niveau statique :		m s (dp. référence)								
Heure	Niveau s\pt réf. (m)	Débit (l/min)	Vol. pompé	T° (°C)	K (25°C) (µS/cm)	pH	O2 (mg/l)	Eh (mV)	Remarques (turb., couleur, odeur, etc.)	
8:03		7							eau/brillant	
8:05				12.4	1025					
8:08				12.5	1017				légèrement trouble	
8:11				12.3	1013	très légèrement trouble				
8:14				12.2	1012	très légèrement trouble			laineux	
8:18				12.2	1010	très très légèrement trouble			laineux	
8:21				12.3	1010	clair				
14:24	2,17	2	170	12.3	1012	7.1	0.86		clair	

IIIIII

SI/455e

**PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES**

N° et nom Projet	FR2706.916.600
Bureau d'étude, responsable	CSD Ingénieurs SA, Chantemerle 37 Granges-Paccot. 1701 Fribourg
Maître d'ouvrage	Consortium la Pila

**Contexte général de l'échantillonnage**

Date / heure échantillonnage	24.08.2016 24.08.2016	
Conditions météorologiques	Bonne et chaud	
Laboratoire d'analyse	Wessling SA	
Transport des échantillons	transport par Wessling SA	
Stockage des échantillons	Date :	Livraison des échantillons. Date:

Données générales sur le point d'eau		Piezomètre / Sondage	
Nom / N° point d'eau	F3	Coordonnées	576089.5 179999.8
Lieu / commune		Référence pour niveaux d'eau	
Type	Piézo/forage	Cote terrain	578.01
Type sondage	carotté	Cote tube de protection	578.93
Type tubage	PE	Différence [m]	
Diamètre int. tubage (")	2	Tube aveugle [m]	dp.terrain
		Tube crépiné [m]	dp.terrain 11-13
		Tube aveugle [m]	dp.terrain
		Tube crépiné [m]	dp.terrain
		Dépotoire	dp.terrain
		Remarques	

Echantillonnage		Purge	
<b>NOM ECHANTILLON</b>			
Type de pompe	12 Volts Inox	Volume colonne d'eau [l]	
		Purge théor. de 3x volume [l]	
		Purge réalisée [l]	
Tuyau, matériel	Teflon	Niveau statique (réf.)	12.77
Prélèvement	par pompage	Profondeur moy. pompe [m]	dp.terrain 13.30
		Débit moyen [l/min]	

*Prof. Piezo 13.88*

**Programme d'analyse**

Laboratoire Wessling: analyse selon annexe 1 OSites, respectant directive OFEV

PCB 7 congénères avec limites de quantifications basses	2 flacon en verre 1000 ml	
Ammonium, MES	1 flacon PE 1000 ml	
Solvants chlorés / HC C5-C10 / BTEX	2 vials headspace 40 ml	Sans bulles
COD	1 flacon en verre 250 ml	
Réserve	1 flacon en verre 1l + 1 flacon PE 1l	

SONDAGE		F3								
NOM ECHANTILLON										
Date, heure :										
Niveau statique :		m s (dp. référence)								
Heure	Niveau s\pt réf. (m)	Débit [l/min]	Vol. pompé	T° [°C]	K (25°C) [μS/cm]	pH	O2 [mg/l]	Eh [mV]	Remarques (turb., couleur, odeur, etc.)	
14.50		1.5								
14.04										
14.06				17.4	1500				trouble, gr 13	
14.07				16.6	1500				trouble, moins gr 13	
14.11				16.2	1500				trouble, gr 13 & peu sable	
14.14				16.4	1500				trouble, r l'eau wie	
14.17		2	21	16.8	1530	7.05	0.93		trouble, peu gr 13 & abgestandenes Wasser	
									plus de sable	
ave. 14.30									l'eau trop salée → qu'une bouteille "salvantes, chères"	

- clair jusqu'à la dernière bouteille ou eau devenue toute laieuse
- avec un débit de 1.5 pompage sans abaissement possible

**PROTOCOL D'ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES**

N° et nom Projet	FR2706.016.600
Bureau d'étude, responsable	CSO Ingénierie SA, Chantemerle 37 oranges, Parcoul, 1701 Elbowing
Maître d'ouvrage	Communauté de la Pila

<b>Contexte général de l'échantillonnage</b>	
Date / heure échantillonnage	29.08.2016
Conditions météorologiques	Céleste 24°C
Laboratoire d'analyse	Wessling SA
Transport des échantillons	transport par Wessling SA
Stockage des échantillons	Date: _____ Elévation des échantillons: Date: _____

<b>Données générales sur le point d'eau</b>		<b>Piezomètre / Sondage</b>	
Nom / N° point d'eau	F05-08	Courtois	572041 180122
Lieu / commune		<i>Référence pour niveaux d'eau</i>	
Type	Piezométrie	Cote terrain	572.12
Type sondage	carotté	Cote tube de protection	572.0
Type tubage	PI	Différence (m)	
Diamètre int. tubage (")	4.5	Tube aveugle (m)	diatom
		Tube réparé (m)	diatom
		Tube aveugle (m)	diatom
		Tube capliné (m)	diatom
		Départure	diatom
		Remarque:	

<b>Échantillonnage</b>		<b>Purge</b>	
<b>NOM ÉCHANTILLON</b>			
Type de pompe	12 Volts, inox	Volume colonne d'eau (l)	
		Purge théor. de 6 volumes (l)	
		Purge réalisée (l)	
Liquide, matériel	Folium	Niveau statique (côt.)	6.6-7
Prélèvement	par pompage	Profondeur moy. pompe (m)	diatom
		Niveau moyen (l/m)	

*voir pièce 6.587*

*Échantillon*

**Programme d'analyse**  
 Laboratoire Wessling: analyse selon annexe 1 OStes, respectant directive OFEV

PCB / compléments avec limites de quantification, bases	2 flacon en verre 1000 ml	
Aromatiques, M) 5	1 flacon PE 1000 ml	
Solvants chlorés / HC (5, 10 / 011 X	2 vials headspace 40 ml	Sans bulles
COB	1 flacon en verre 250 ml	
Réserves	1 flacon en verre 1 l + 1 flacon PE 1 l	

SONDAGE			F05-08						
NOM ÉCHANTILLON									
Date, heure :			m s (dp. référence)						
Niveau statique :									
Heure	Niveau (à pt. ref.) [m]	Débit [l/min]	Vol. (m³/s)	T° [°C]	κ (25°C) [µS/cm]	pH	Ca [mg/l]	Mg [mg/l]	Remarques (temp., couleur, odeur, etc.)

Échantie

**PROTÉCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES**

N° et nom Projet	FR2706.916.600
Bureau d'étude, responsable	CSO Ingénieurs SA, Chantemerle 3/ Courmayeur Pavot, 1701 Fribourg
Maître d'ouvrage	Consortium la Plé

<b>Contexte général de l'échantillonnage</b>	
Date / heure échantillonnage	24.08.2016
Conditions météorologiques	Pluie
Laboratoire d'analyse	Wesding SA
Transport des échantillons	Transport par Wesding SA
Stockage des échantillons	Date: / livraison des échantillons, Date:

<b>Données générales sur le point d'eau</b>		<b>Piezomètre / Sondage</b>	
Nom / N° point d'eau	F06-08	Courlances	100110
Lieu / commune		<i>Référence pour niveaux d'eau</i>	
Type	Piézo/forage	Cote terrain	576.18
		Cote tube de protection	576.17
		Diamètre (m)	
		Tube aveugle (m)	dp terrain
		Tube captif (m)	dp terrain 10.11.80
Type sondage	capoté	Tube aveugle (m)	dp terrain
Type tubage	Pt	Tube captif (m)	dp terrain
		Déperdition	dp terrain
Diamètre int. tubage (")	4.5	Remarques	

<b>Echantillonnage</b>		<b>Purge</b>	
NOM ÉCHANTILLON			
Type de pompe	12 Volts inox	Volume colonne d'eau [l]	
		Purge théor. de 3x volume [l]	60%
		Purge réalisée [l]	
Liquide matériel	cellon	Niveau statique (rel.)	43.1%
Prélevement	par pompage	Profondeur moy. pompe (m)	dp terrain 11.5%
		Débit moyen (l/min)	1.2%

**Programme d'analyse**

Laboratoire Wesding: analyse selon annexe 1 OSites, respectant directive OELV

MW / congélateur, avec huiles de quantification basses	2 flacons en verre 1000 ml	
Ammoniac, NH <sub>3</sub>	1 flacon PE 1000 ml	
Solvants chlorés / HC / C / TD / BTX	2 vials headspace 40 ml	Sans huiles
CO <sub>2</sub>	1 flacon en verre 250 ml	
Réserves	1 flacon en verre 1l + 1 flacon PE 1l	

SONDAGE		F-03 03							
NOM ECHANTILLON									
Date, heure									
Niveau statique		m s (dp. référence)							
Heure	Niveau stat. ref. (m)	Débit (l/min)	Vol pompe	T° [°C]	K (25°C) [µS/cm]	pH	O2 [mg/l]	Ch (mV)	Remarques (turb., couleur, odeur, etc.)
10.37		5							
10.39				7.7	1103				
10.47			20.21						
10.49									
10.57									
10.58			25.2	7.6	10.35	7.02	1.812		
11.05									

avec  
pompe  
de  
drain  
puit  
fait  
le  
puit  
y a  
des  
plantes

1 puits de  
100m  
Niveau de  
100m  
Niveau de  
100m  
Niveau de  
100m

provenance complètement à  
provenance inconnue  
à l'extérieur du puits

**PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE DES FAUX SOUTERRAINES**

N° et nom Projet	FR2706.916.600
Bureau d'étude, responsable	CST Ingénierie SA, Champenois 17 Ganges, Parc. 17011 Ribourg
Maître d'ouvrage	Consortium la Pila

<b>Contexte général de l'échantillonnage</b>	
Date / heure échantillonnage	24 oct 2014
Conditions météorologiques	Mer, vent, soleil
Laboratoire d'analyse	Wessling SA
Transport des échantillons	transport par Wessling SA
Stockage des échantillons	Date: _____ Localisation des échantillons: Date: _____

<b>Données générales sur le point d'eau</b>		<b>Piezomètre / Sondage</b>	
Num / N° point d'eau	F07-08	Coordonnées	47°56'29" 180117.3
Lieu / commune		<b>Référence pour niveaux d'eau</b>	
Type	Puits/forage	Cote terrain	570.345
		Cote tube de protection	571.185
		Différence [m]	
		Tube aveugle [m]	dp terrain
		Tube captif [m]	dp terrain
Type sondage	carotté	Tube aveugle [m]	dp terrain
Type tubage	PI	Tube captif [m]	dp terrain
Diamètre int. tubage (")	4.5	Départaire	dp terrain
		Remarques	

<b>Echantillonnage</b>		<b>Purge</b>	
<b>NOM ECHANTILLON</b>			
Type de pompe	12 Volt, inox	Volume calculé d'eau [l]	
		Purge théor. de 1x volume [l]	40
		Purge réalisée [l]	24.35
Fuyan, matériel	Tetlon	Niveau statique (réf.)	
Prélevement	par pompage	Profondeur moy. pompe [m]	dp terrain
		Débit moyen [l/min]	

P003 P1800 6

**Programme d'analyse**

Laboratoire Wessling analyse selon annexe 1 OSites, respectant directive OFIV

PCB / congénères avec limites de quantification basses	2 flacons en verre 1000 ml	
Ammonium, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1 flacon PI 1000 ml	
Solvants chlorés / HC.V.V.10 / HHC	2 vials headspace 40 ml	500 bulles carbone actif
Cr6	1 flacon en verre 250 ml	
Résidu	+ 1 flacon en verre 1 l 1 flacon PI 1 l	



**PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES**

N° et nom Projet	FR2706.916.600
Bureau d'étude, responsable	CSD Ingénieurs SA, Chantemerle 37 Granges-Paccot. 1701 Fribourg
Maitre d'ouvrage	Consortium la Pila

<b>Contexte général de l'échantillonnage</b>	
Date / heure échantillonnage	22.08.2016
Conditions météorologiques	beau
Laboratoire d'analyse	Wessling SA
Transport des échantillons	transport par Wessling SA
Stockage des échantillons	Date : _____ Livraison des échantillons. Date: _____

<b>Données générales sur le point d'eau</b>		<b>Piezomètre / Sondage</b>	
Nom / N° point d'eau	F09-08	Coordonnées	575944.1 180086.8
Lieu / commune		<i>Référence pour niveaux d'eau</i>	
Type	Piézo/forage	Cote terrain	590.04
		Cote tube de protection	590.6
		Différence [m]	
		Tube aveugle [m]	dp.terrain
Type sondage	carotté	Tube crépiné [m]	22-26
		Tube aveugle [m]	dp.terrain
Type tubage	PE	Tube crépiné [m]	dp.terrain
		Dépotoire	dp.terrain
Diamètre int. tubage (")	4.5	Remarques	

<b>Echantillonnage</b>		<b>Purge</b>	
<b>NOM ECHANTILLON</b>			
Type de pompe	12 Volts Inox	Volume colonne d'eau [l]	
		Purge théor. de 3x volume [l]	120
		Purge réalisée [l]	8
Tuyau, matériel	Teflon	Niveau statique (réf.)	23.07
Prélèvement	par pompage	Profondeur moy. pompe [m]	dp.terrain 24
		Débit moyen [l/min]	

*poz piezo*

*26*

**Programme d'analyse**

Laboratoire Wessling: analyse selon annexe 1 OSites, respectant directive OFEV

PCB 7 congénères avec limites de quantifications basses	2 flacon en verre 1000 ml	
Ammonium, MES	1 flacon PE 1000 ml	
Solvants chlorés / HC C5-C10 / BTEX	2 vials headspace 40 ml	Sans bulles
COD	1 flacon en verre 250 ml	
Réserve	1 flacon en verre 1l + 1 flacon PE 1l	

*8 bouteilles points*

SONDAGE			F09-08						
NOM ECHANTILLON									
Date, heure :									
Niveau statique :			m s (dp. référence)						
Heure	Niveau s\pt réf. (m)	Débit [l/mfn]	Vol. pompé	T° [°C]	K (25°C) [µS/cm]	pH	O2 [mg/l]	Eh [mV]	Remarques (turb., couleur, odeur, etc.)
16:39	23.02	<del>1</del>		13.8	2500				trouble, jaune-brun jaunâtre, léger goût huile
16:49		3		13.6	2150				
16:54				13.4	2150				
16:58	changement de bobine								
17:16				13.4	2260				
17:18				13.4	2340				
17:20		4	120	13.4	2300	7.104	006		
	▽, après	prcl	23	02					

**PROTOCOLE D'ECHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES**

N° et nom Projet	FR2706.916.600
Bureau d'étude, responsable	CSD Ingénieurs SA, Chantemerle 37 Granges-Paccot. 1701 Fribourg
Maître d'ouvrage	Consortium la Pila

Contexte général de l'échantillonnage	
Date / heure échantillonnage	22.08.2016
Conditions météorologiques	beau
Laboratoire d'analyse	Wessling SA
Transport des échantillons	transport par Wessling SA
Stockage des échantillons	Date :                      Livraison des échantillons. Date:

Données générales sur le point d'eau		Piezomètre / Sondage	
Nom / N° point d'eau	F10-08	Coordonnées	575973.9 180071.6
Lieu / commune		<i>Référence pour niveaux d'eau</i>	
Type	Piézo/forage	Cote terrain	588.974
		Cote tube de protection	589.854
		Différence [m]	
		Tube aveugle [m]	dp.terrain
Type sondage	carotté	Tube crépiné [m]	dp.terrain 24-28
		Tube aveugle [m]	dp.terrain
Type tubage	PE	Tube crépiné [m]	dp.terrain
		Dépotoire	dp.terrain
Diamètre int. tubage (")	4.5	Remarques	

Echantillonnage		Purge	
NOM ECHANTILLON			
Type de pompe	12 Volts Inox	Volume colonne d'eau [l]	
		Purge théor. de 3x volume [l]	120
		Purge réalisée [l]	120
Tuyau, matériel	Teflon	Niveau statique (réf.)	24.35 28 de profondeur piézo
Prélèvement	par pompage	Profondeur moy. pompe [m]	dp.terrain 25.5
		Débit moyen [l/min]	

**Programme d'analyse**  
 Laboratoire Wessling: analyse selon annexe 1 OSites, respectant directive OFEV

PCB 7 congénères avec limites de quantifications basses	2 flacon en verre 1000 ml	
Ammonium, MES	1 flacon PE 1000 ml	
Solvants chlorés / HC C5-C10 / BTEX	2 vials headspace 40 ml	Sans bulles
COD	1 flacon en verre 250 ml	
Réserve	1 flacon en verre 1l + 1 flacon PE 1l	



**PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES**

N° et nom projet	FR2706.916.000
Bureau d'étude, responsable	CSO Ingénierie SA, Chantonnelle 12 Grange, Parc 1701 Erlbourg
Maître d'ouvrage	Consortium la Pika

**Contexte général de l'échantillonnage**

Date / heure échantillonnage	24.08.2016
Conditions météorologiques	beau soleil
Laboratoire d'analyse	Wessling SA
Transport des échantillons	transport par Wessling SA
Stockage des échantillons	Temp: ... Lieu: ...

Données générales sur le point d'eau		Piezomètre / sondage	
Nom / N° point d'eau	F11-08	Coordonnées	57°0'2.4" 180°10'1.3"
Nom / compagnie		Référence pour niveaux d'eau	
Type	Puits/forage	Cote terrain	587.473
		Cote tube de protection	587.223
Type sondage	carotté	Différence [m]	
		Tube aveugle [m]	de terrain
Type tubage	PE	Tube répliqué [m]	de terrain 10.20
		Tube répliqué [m]	de terrain
Type tubage	PE	Dépotable	de terrain
		Remarques	
Diamètre int. tubage (")	4.5		

Échantillonnage		Purge	
NOM ÉCHANTILLON			
Type de pompe	12 Volts inox	Volume colonne d'eau [l]	
Liquide matériel	Teflon	Purge théor. de 3x volume [l]	24
		Purge réalisée [l]	
Prélevement	par pompage	Niveau statique (m)	177
		Profondeur moy. pompe [m]	de terrain 170.517
		Débit moyen [l/min]	

**Programme d'analyse**

Laboratoire Wessling: analyse selon annexe 1 OSites, respectant directive DEIV

PCB / congénérés avec limites de quantités allow. basses	2 Barreaux en verre 1000 ml	
Ambientaux, MTS	1 Barreau PE 1000 ml	
Solvants chlorés / HC (C10 / B) X	2 vials headspace 40 ml	Sans bulles
CAD	1 Barreau en verre 250 ml	
Réserve	1 Barreau en verre 1 l + 1 Barreau PE 1 l	

SONDAGE				F11-08					
NOM ECHANTILLON									
Date, heure :									
Niveau statique :				m s (dp. référence)					
Heure	Niveau s\pt réf. [m]	Débit [l/min]	Vol. pompé	T° [°C]	K (25°C) [μS/cm]	pH	O <sub>2</sub> [mg/l]	Eh [mV]	Remarques (turb., couleur, odeur, etc.)
12:05									sable fin eau de boue trou brillant

ou matière organique en décomposition

4.5 / 1.46  
Trop de sable/boues,  
risque de casser  
la pompe

**PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES**

N° et nom Projet	FR2706.916.600
Bureau d'étude, responsable	CSD Ingénieurs SA, Chantemerle 37 Granges-Paccot, 1701 Fribourg
Maître d'ouvrage	Consortium la Pila

**Contexte général de l'échantillonnage**

Date / heure échantillonnage	22.8.2016 15h
Conditions météorologiques	50% 25°C
Laboratoire d'analyse	Wessling SA
Transport des échantillons	transport par Wessling SA
Stockage des échantillons	Date :                      Livraison des échantillons, Date:

Données générales sur le point d'eau		Piezomètre / Sondage	
Nom / N° point d'eau	F14-08	Coordonnées	575985.8 180055.8
Lieu / commune		<i>Référence pour niveaux d'eau</i>	
Type	Piézo/forage	Cote terrain	588.953
Type sondage	carotté	Cote tube de protection	589.793
Type tubage	PE	Différence [m]	
Diamètre int. tubage (")	4.5	Tube aveugle [m]	dp.terrain
		Tube crépiné [m]	dp.terrain 22.3-26.3
		Tube aveugle [m]	dp.terrain
		Tube crépiné [m]	dp.terrain
		Dépotoire	dp.terrain
		Remarques	

Echantillonnage		Purge	
NOM ECHANTILLON			
Type de pompe	12 Volts Inox	Volume colonne d'eau [l]	
		Purge théor. de 3x volume [l]	183
		Purge réalisée [l]	20
Tuyau, matériel	Teflon	Niveau statique (réf.)	24.22m
Prélèvement	par pompage	Profondeur moy. pompe [m]	dp.terrain 28.5-20.5 26.5m
		Débit moyen [l/min]	27

**Programme d'analyse**

Laboratoire Wessling: analyse selon annexe 1 OSites, respectant directive OFEV

PCB 7 congénères avec limites de quantifications basses	2 flacon en verre 1000 ml	
Ammonium, MES	1 flacon PE 1000 ml	
Solvants chlorés / HC C5-C10 / BTEX	2 vials headspace 40 ml	Sans bulles
COD	1 flacon en verre 250 ml	
Réserve	1 flacon en verre 1l + 1 flacon PE 1l	



**PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES**

N° et nom Projet	FR2706.916.600
Bureau d'étude, responsable	CSD Ingénieurs SA, Chantemerle 37 Granges-Paccot. 1701 Fribourg
Maître d'ouvrage	Consortium la Pila

<b>Contexte général de l'échantillonnage</b>	
Date / heure échantillonnage	23.08.2016
Conditions météorologiques	Beau
Laboratoire d'analyse	Wessling SA
Transport des échantillons	transport par Wessling SA
Stockage des échantillons	Date :                      Livraison des échantillons, Date:

Données générales sur le point d'eau		Piezomètre / Sondage	
Nom / N° point d'eau	F15-08	Coordonnées	575993.5 180032.9
Lieu / commune		<i>Référence pour niveaux d'eau</i>	
Type	Piézo/forage	Cote terrain	588.872
		Cote tube de protection	589.812
		Différence [m]	
		Tube aveugle [m]	dp.terrain
Type sondage	carotté	Tube crépiné [m]	dp.terrain 21.5-25.5
		Tube aveugle [m]	dp.terrain
Type tubage	PE	Tube crépiné [m]	dp.terrain
		Dépotoire	dp.terrain
Diamètre int. tubage (")	4.5	Remarques	

Echantillonnage		Purge	
<b>NOM ECHANTILLON</b>			
Type de pompe	12 Volts Inox	Volume colonne d'eau [l]	
		Purge théor. de 3x volume [l]	180
		Purge réalisée [l]	200
Tuyau, matériel	Teflon	Niveau statique (réf.)	10.55
Prélèvement	par pompage	Profondeur moy. pompe [m]	dp.terrain 21.50
		Débit moyen [l/min]	

Prof. P. 1500                      25

**Programme d'analyse**  
 Laboratoire Wessling: analyse selon annexe 1 OSites, respectant directive OFEV

PCB 7 congénères avec limites de quantifications basses	2 flacon en verre 1000 ml	
Ammonium, MES	1 flacon PE 1000 ml	
Solvants chlorés / HC C5-C10 / BTEX	2 vials headspace 40 ml	Sans bulles
COD	1 flacon en verre 250 ml	
Réserve	1 flacon en verre 1l + 1 flacon PE 1l	

SONDAGE			F15-08						
NOM ECHANTILLON									
Date, heure :		m s (dp. référence)							
Niveau statique :									
Heure	Niveau s\pt réf. [m]	Débit [l/min]	Vol. pompé	T° [°C]	K (25°C) [µS/cm]	pH	O2 [mg/l]	Eh [mV]	Remarques (turb., couleur, odeur, etc.)
14:49	20.62	4		13.8	2.25	8.5			eau noire
14:55		4		14.0	2.71	8.5			brillant / gras
15:00				13.9	2.71	8.5			odeur: essence
15:05			4.2	13.8	2.63	8.5			plastique brûlé
15:08					2.65	8.5			"
15:12				13.9	2.65	8.5			"
15:16				13.9	2.64	8.5			"
15:18				14	2.43	8.5			"
15:22				13.9	2.33	8.5			"
15:24				13.6	2.32	8.5			"
15:28				13.8	2.24	8.5			"
15:30	20.62	2	208	14.0	2.27	7.72	0.4		"

*bonne fonce*  
*odeur*  
*brillant / gras*  
*essence*  
*plastique brûlé*

**PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES**

N° et nom Projet	FR2706.916.600
Bureau d'étude, responsable	CSD Ingénieurs SA, Chantemerle 37 Granges-Paccot, 1701 Fribourg
Maître d'ouvrage	Consortium la Pila

<b>Contexte général de l'échantillonnage</b>	
Date / heure échantillonnage	23.08.2016 14h00
Conditions météorologiques	
Laboratoire d'analyse	Wessling SA
Transport des échantillons	transport par Wessling SA
Stockage des échantillons	Date : Livraison des échantillons, Date:

<b>Données générales sur le point d'eau</b>		<b>Piezomètre / Sondage</b>	
Nom / N° point d'eau	F16-08	Coordonnées	576007.7 180048.4
Lieu / commune		<i>Référence pour niveaux d'eau</i>	
Type	Piézo/forage	Cote terrain	588.5
		Cote tube de protection	588.4
		Différence [m]	
		Tube aveugle [m]	dp.terrain
Type sondage	carotté	Tube crépiné [m]	dp.terrain 20.5-24.5
		Tube aveugle [m]	dp.terrain
Type tubage	PE	Tube crépiné [m]	dp.terrain
		Dépotoire	dp.terrain
Diamètre int. tubage (")	4.5	Remarques	

<b>Echantillonnage</b>		<b>Purge</b>	
<b>NOM ECHANTILLON</b>			
Type de pompe	12 Volts inox	Volume colonne d'eau [l]	
		Purge théor. de 3x volume [l]	
		Purge réalisée [l]	23.86
Tuyau, matériel	Teflon	Niveau statique (réf.)	
Prélèvement	par pompage	Profondeur moy. pompe [m]	dp.terrain
		Débit moyen [l/min]	

**Programme d'analyse**

Laboratoire Wessling: analyse selon annexe 1 OSites, respectant directive OFEV

PCB 7 congénères avec limites de quantifications basses	2 flacon en verre 1000 ml	
Ammonium, MES	1 flacon PE 1000 ml	
Solvants chlorés / HC C5-C10 / BTEX	2 vials headspace 40 ml	Sans bulles
COD	1 flacon en verre 250 ml	
Réserve	1 flacon en verre 1l + 1 flacon PE 1l	



## PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES

N° et nom Projet	FR2706.916.600
Bureau d'étude, responsable	CSD Ingénieurs SA, Chantemerle 37 Granges-Paccot. 1701 Fribourg
Maître d'ouvrage	Consortium la Pila

### Contexte général de l'échantillonnage

Date / heure échantillonnage	24.08.2016	
Conditions météorologiques	Bonne et chaud	
Laboratoire d'analyse	Wessling SA	
Transport des échantillons	transport par Wessling SA	
Stockage des échantillons	Date :	Livraison des échantillons. Date:

Données générales sur le point d'eau		Piezomètre / Sondage	
Nom / N° point d'eau	F18-08	Coordonnées	576039.1 180005.2
Lieu / commune		Référence pour niveaux d'eau	
Type	Plézo/forage	Cote terrain	576.59
Type sondage	carotté	Cote tube de protection	575.66
Type tubage	PE	Différence [m]	
Diamètre int. tubage (")	4.5	Tube aveugle [m]	dp.terrain
		Tube crépiné [m]	dp.terrain 7.5-11.65
		Tube aveugle [m]	dp.terrain
		Tube crépiné [m]	dp.terrain
		Dépotoire	dp.terrain
		Remarques	

Echantillonnage		Purge	
NOM ECHANTILLON			
Type de pompe	12 Volts Inox	Volume colonne d'eau [l]	
		Purge théor. de 3x volume [l]	160
		Purge réalisée [l]	270
Tuyau, matériel	Teflon	Niveau statique (réf.)	7.64 12.20 prof. piézo
Prélèvement	par pompage	Profondeur moy. pompe [m]	dp.terrain 8.5
		Débit moyen [l/min]	

### Programme d'analyse

Laboratoire Wessling: analyse selon annexe 1 OSites, respectant directive OFEV

PCB 7 congénères avec limites de quantifications basses	2 flacon en verre 1000 ml	
Ammonium, MES	1 flacon PE 1000 ml	
Solvants chlorés / HC C5-C10 / BTEX	2 vials headspace 40 ml	Sans bulles
COD	1 flacon en verre 250 ml	
Réserve	1 flacon en verre 1l + 1 flacon PE 1l	



LBA / K80

**PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES**

N° et nom Projet	FR2706.916.600
Bureau d'étude, responsable	CSD Ingénieurs SA, Chantemerle 37 Granges-Paccot, 1701 Fribourg
Maître d'ouvrage	Consortium la Pila

<b>Contexte général de l'échantillonnage</b>	
Date / heure échantillonnage	23.08.16
Conditions météorologiques	Beau + très chaud
Laboratoire d'analyse	Wessling SA
Transport des échantillons	transport par Wessling SA
Stockage des échantillons	Date : 23.08.16
	Livraison des échantillons, Date:

<b>Données générales sur le point d'eau</b>		<b>Piezomètre / Sondage</b>	
Nom / N° point d'eau	F19-08	Coordonnées	576053.8 180030.5
Lieu / commune		Référence pour niveaux d'eau	
Type	Piézo/forage	Cote terrain	576.8
		Cote tube de protection	577.48
		Différence [m]	
		Tube aveugle [m]	dp.terrain
		Tube crépiné [m]	dp.terrain 8.2-12.5
Type sondage	carotté	Tube aveugle [m]	dp.terrain
		Tube crépiné [m]	dp.terrain
Type tubage	PE	Dépotoire	dp.terrain
Diamètre int. tubage (")	4.5	Remarques	

<b>Echantillonnage</b>		<b>Purge</b>	
NOM ECHANTILLON			
Type de pompe	12 Volts Inox	Volume colonne d'eau [l]	240
		Purge théor. de 3x volume [l]	720
		Purge réalisée [l]	520
Tuyau, matériel	Teflon	Niveau statique (réf.)	11.62 12.40
Prélèvement	par pompage	Profondeur moy. pompe [m]	dp.terrain
		Débit moyen [l/min]	

**Programme d'analyse**

Laboratoire Wessling: analyse selon annexe 1 OSites, respectant directive OFEV

PCB 7 congénères avec limites de quantifications basses	2 flacon en verre 1000 ml	
Ammonium, MES	1 flacon PE 1000 ml	
Solvants chlorés / HC C5-C10 / BTEX	2 vials headspace 40 ml	Sans bulles =>
COD	1 flacon en verre 250 ml	
Réserve	1 flacon en verre 1l + 1 flacon PE 1l	

Avec sel ✓  
car pas de réaction

SONDAGE		F19-08							
NOM ECHANTILLON									
Date, heure :		23.08.16							
Niveau statique :		m s (dp. référence)							
Heure	Niveau s\pt réf. (m)	Débit (l/min)	Vol. pompé	T° [°C]	K (25°C) [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	pH	O <sub>2</sub> (mg/l)	Eh (mV)	Remarques (turb., couleur, odeur, etc.)
17H57		2,8							clair
17H02				11,5	1032				↓
17H04				12,3	1082				
17H06				12,2	1053				
17H08				12,2	1025	7,01	0,3		
17H09		metiv. →	à 1,0 l/min						
17H23		metiv. finit		12,4	1031	7,01	0,55		
17H35		pompe arrêtée							
			102,6 = volume total pompe						
PURGE REELLE			de 32 litres						
17H44	11,62m								
<hr/>									
25.08.16	7:24	11,52m		12,3	1016				eau claire
	7:28			12,4	980				
	8:32			12,4	931				
	8:34			12,3	923				
	9:36			12,2	920				
	9:40	prélèvement de 5 bouteilles de 2L.							
	9:50			12,3	1017				

Purge théorique de 3,1 litres à faire  
purge à 12,1 m

LBA / KBO

**PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES**

N° et nom Projet	FR2706.916.600
Bureau d'étude, responsable	CSD Ingénieurs SA, Chantemerle 37 Granges-Paccot. 1701 Fribourg
Maître d'ouvrage	Consortium la Pila

Contexte général de l'échantillonnage	
Date / heure échantillonnage	23.09.16
Conditions météorologiques	Beau + très chaud
Laboratoire d'analyse	Wessling SA
Transport des échantillons	transport par Wessling SA
Stockage des échantillons	Date : 23.09.16   Livraison des échantillons, Date:

Données générales sur le point d'eau		Piezomètre / Sondage	
Nom / N° point d'eau	F20-08	Coordonnées	576077.2 179973
Lieu / commune		Référence pour niveaux d'eau	
Type	Piézo/forage	Cote terrain	578.881
		Cote tube de protection	579.661
		Différence [m]	
		Tube aveugle [m]	dp.terrain
Type sondage	carotté	Tube crépiné [m]	dp.terrain 11-14.62
		Tube aveugle "[m]	dp.terrain
Type tubage	PE	Tube crépiné [m]	dp.terrain
		Dépotoire	dp.terrain
Diamètre int. tubage (")	4.5	Remarques	

Echantillonnage		Purge	
NOM ECHANTILLON			
Type de pompe	12 Volts Inox	Volume colonne d'eau [l]	87 litres 46,8
		Purge théor. de 3x volume [l]	→ depuis tube piézo
		Purge réalisée [l]	
Tuyau, matériel	Teflon	Niveau statique (réf.)	1365 / 14-90
Prélèvement	par pompage	Profondeur moy. pompe [m]	dp.terrain
		Débit moyen [l/min]	

(en dépense la protection métallique)

**Programme d'analyse**

Laboratoire Wessling: analyse selon annexe 1 OSites, respectant directive OFEV

PCB 7 congénères avec limites de quantifications basses	2 flacon en verre 1000 ml	
Ammonium, MES	1 flacon PE 1000 ml	
Solvants chlorés / HC C5-C10 / BTEX	2 vials headspace 40 ml	Sans bulles
COD	1 flacon en verre 250 ml	
Réserve	1 flacon en verre 1l + 1 flacon PE 1l	

! sans sel car bulles

SONDAGE		F20-08									
NOM ECHANTILLON											
Date, heure :		23.09.16									
Niveau statique :		m s (dp. référence)									
Heure	Niveau s\pt réf. [m]	Débit [l/min]	Vol. pompé	T° [°C]	K (25°C) [µS/cm]	pH	O2 [mg/l]	Eh [mV]	Remarques (turb., couleur, odeur, etc.)		
15H18		4,7									
15H42			280	17,1	1745						
15H44		2,2		16,2	1770						
15H43				16,3	1765						
15H45	14,62		390								
15H52		2,8									
15H55		2,8	62								
				16,5	1731						
16H01				14,9	1760						
16H02				14,3	1761						
16H04				14,3	1758	6,98	0,34				
16H06											
16H20											
16H22				15,4	1755	6,18	0,30				
16H26											
16H35	13,52										

trouble / odeur  
mat. org.  
en decomp.  
(odeur HC)

⇒ milieu ⇒ à 1,8 l/min ⇒  
 ⇒ fin milieu ⇒  
 ⇒ arrêt pompe  
 134,4 = volume total pompé

PURGE  
REELLE

DE 87 litres

58 litres à purger théoriquement  
 14,80 purge à

**PROTOCOLE D'ECHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES**

N° et nom Projet	FR2706.916.600
Bureau d'étude, responsable	CSD Ingénieurs SA, Chantemerle 37 Granges-Paccot, 1701 Fribourg
Maître d'ouvrage	Consortium la Pila

<b>Contexte général de l'échantillonnage</b>	
Date / heure échantillonnage	24.08.2016
Conditions météorologiques	beau et chaud
Laboratoire d'analyse	Wessling SA
Transport des échantillons	transport par Wessling SA
Stockage des échantillons	Date : Livraison des échantillons, Date:

<b>Données générales sur le point d'eau</b>		<b>Piezomètre / Sondage</b>	
Nom / N° point d'eau	F21-08	Coordonnées	576096.1 180021.1
Lieu / commune		<i>Référence pour niveaux d'eau</i>	
Type	Piézo/forage	Cote terrain	578.425
		Cote tube de protection	579.375
		Différence [m]	
		Tube aveugle [m]	dp.terrain
		Tube crépiné [m]	dp.terrain 10.2-14.0
Type sondage	carotté	Tube aveugle [m]	dp.terrain
		Tube crépiné [m]	dp.terrain
Type tubage	PE	Dépotoire	dp.terrain
Diamètre int. tubage (")	4.5	Remarques	

<b>Echantillonnage</b>		<b>Purge</b>	
<b>NOM ECHANTILLON</b>			
Type de pompe	12 Volts Inox	Volume colonne d'eau [l]	
		Purge théor. de 3x volume [l]	40
		Purge réalisée [l]	12.6
Tuyau, matériel	Teflon	Niveau statique (réf.)	13.32 14.58 prof p280
Prélèvement	par pompage	Profondeur moy. pompe [m]	dp.terrain 13.8 M
		Débit moyen [l/min]	

**Programme d'analyse**

Laboratoire Wessling: analyse selon annexe 1 OSites, respectant directive OFEV

PCB 7 congénères avec limites de quantifications basses	2 flacon en verre 1000 ml	
Ammonium, MES	1 flacon PE 1000 ml	
Solvants chlorés / HC C5-C10 / BTEX	2 vials headspace 40 ml	Sans bulles
COD	1 flacon en verre 250 ml	
Réserve	1 flacon en verre 1l + 1 flacon PE 1l	

SONDAGE		F21-08								
NOM ECHANTILLON										
Date, heure :										
Niveau statique :		m s (dp. référence)								
Heure	Niveau s\pt réf. (m)	Débit [l/min]	Vol. pompe	T° [°C]	K (25°C) [µS/cm]	pH	O2 [mg/l]	Eh (mV)	Remarques (turb., couleur, odeur, etc.)	
11:55	73,58	6		13,8	767				grise / trouble	
12:00	13,57			12,8	772					
12:04	13,57			12,2	772				plus moins trouble	
12:07	13,58			12,4	767				claire	
12:12				11,3	770					
12:16	13,58			12,3	763				claire	
12:18	13:38	7		12,2	757	7.5	4,83 mg/l 3,87			
		138	volume total pompé							alimentation avec la voiture

prêt:

**PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES**

N° et nom Projet	FR2706.916.600
Bureau d'étude, responsable	CSD Ingénieurs SA, Chantemerle 37 Granges-Paccot. 1701 Fribourg
Maître d'ouvrage	Consortium la Pila

<b>Contexte général de l'échantillonnage</b>	
Date / heure échantillonnage	22.08.2016
Conditions météorologiques	beau
Laboratoire d'analyse	Wessling SA
Transport des échantillons	transport par Wessling SA
Stockage des échantillons	Date : Livraison des échantillons. Date:

<b>Données générales sur le point d'eau</b>		<b>Piezomètre / Sondage</b>	
Nom / N° point d'eau	F22-08	Coordonnées	576133.5 179957.7
Lieu / commune		<i>Référence pour niveaux d'eau</i>	
Type	Piézo/forage	Cote terrain	577.884
Type sondage	carotté	Cote tube de protection	578.904
Type tubage	PE	Différence [m]	
Diamètre int. tubage (")	4.5	Tube aveugle [m]	dp.terrain
		Tube crépiné [m]	dp.terrain 10.2-13.20
		Tube aveugle [m]	dp.terrain
		Tube crépiné [m]	dp.terrain
		Dépotoire	dp.terrain
		Remarques	

<b>Echantillonnage</b>		<b>Purge</b>	
<b>NOM ECHANTILLON</b>			
Type de pompe	12 Volts Inox	Volume colonne d'eau [l]	
		Purge théor. de 3x volume [l]	<del>42.6</del> 20
		Purge réalisée [l]	62 Litre
Tuyau, matériel	Teflon	Niveau statique (réf.)	12.90 - 13.23 - profondeur piézo
Prélèvement	par pompage	Profondeur moy. pompe [m]	dp.terrain
		Débit moyen [l/min]	

**Programme d'analyse**

Laboratoire Wessling: analyse selon annexe 1 OSites, respectant directive OFEV

PCB 7 congénères avec limites de quantifications basses	2 flacon en verre 1000 ml	
Ammonium, MES	1 flacon PE 1000 ml	
Solvants chlorés / HC C5-C10 / BTEX	2 vials headspace 40 ml	Sans bulles
COD	1 flacon en verre 250 ml	
Réserve	1 flacon en verre 1l + 1 flacon PE 1l	



LBA / KBO

**PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES**

N° et nom Projet	FR2706.916.600
Bureau d'étude, responsable	CSD Ingénieurs SA, Chantemerle 37 Granges-Paccot. 1701 Fribourg
Maître d'ouvrage	Consortium la Pila

<b>Contexte général de l'échantillonnage</b>	
Date / heure échantillonnage	23.01.16 / Beau soleil + très chaud
Conditions météorologiques	
Laboratoire d'analyse	Wessling SA
Transport des échantillons	transport par Wessling SA
Stockage des échantillons	Date : 23.01.16 Livraison des échantillons. Date:

Données générales sur le point d'eau		Piezomètre / Sondage	
Nom / N° point d'eau	F23-08	Coordonnées	576118.2 179980.5
Lieu / commune		Référence pour niveaux d'eau	
Type	Piézo/forage	Cote terrain	579.76
		Cote tube de protection	578.84
		Différence [m]	
		Tube aveugle [m]	dp.terrain
		Tube crépiné [m]	dp.terrain 10.5-14.5
Type sondage	carotté	Tube aveugle [m]	dp.terrain
		Tube crépiné [m]	dp.terrain
Type tubage	PE	Dépotoire	dp.terrain
Diamètre int. tubage (")	4.5	Remarques	

Echantillonnage		Purge	
NOM ECHANTILLON			
Type de pompe	12 Volts inox	Volume colonne d'eau [l]	
		Purge théor. de 3x volume [l]	47 l
		Purge réalisée [l]	note et métal.
Tuyau, matériel	Teflon	Niveau statique (réf.) depuis	13.63 15.30
Prélèvement	par pompage	Profondeur moy. pompe [m]	dp.terrain
		Débit moyen [l/min]	

**Programme d'analyse**

Laboratoire Wessling: analyse selon annexe 1 OSites, respectant directive OFEV

PCB 7 congénères avec limites de quantifications basses	2 flacon en verre 1000 ml	
Ammonium, MES	1 flacon PE 1000 ml	
Solvants chlorés / HC C5-C10 / BTEX	2 vials headspace 40 ml	Sans bulles
COD	1 flacon en verre 250 ml	
Réserve	1 flacon en verre 1l + 1 flacon PE 1l	

! sans sel car réaction



SONDAGE		F23-08							
NOM ECHANTILLON									
Date, heure :		23.09.11							
Niveau statique :		m s (dp. référence)							
Heure	Niveau s\pt réf. [m]	Débit [l/min]	Vol. pompé	T° [°C]	K (25°C) [µS/cm]	pH	O2 [mg/l]	Eh [mV]	Remarques (turb., couleur, odeur, etc.)
10h27		1.2		19.3	1985	7.70			trouble granule
10h40		1.5		18.5	2040	6.82			
10h46				18.7	2023	6.86	1.87		un peu trouble
10h48		1.0							
10h58	13.68			17.3	1985		1.22		
11h10				17.6	1927	6.90	2.22		
11h21		0.75		18.2	1925	6.85	2.30		chauffé au soleil (seau)
11h26		1.5		17.3	1951		1.82		un peu trouble
11h33				17.7	1966	6.84	1.01		
11h38				16.2	1965	6.8	0.58		
11h42				17.7	1963	6.78	0.39		nettoyement
11h55		0.3							
12h04				17.8	1962	6.78	0.30		Air nettoyement
12h10	=> pompe éteint								
<del>12h15</del>	<del>13.55</del>								
12h25	13.55								

au 5m

T°: eau chauffé au soleil (seau)

Purge <sup>réelle</sup> de 75 l  
 Pompe à 14,5 m  
 Purge théorique 61,8 l

⚠ bouchon métallique de la sonde tombé dans pièce ! Désolés

Remarque pour O<sub>2</sub> => l'eau a bougé lorsque O<sub>2</sub> ↑ le tuyau est hors de l'eau (remous)  
 lorsque O<sub>2</sub> ↓ tuyau dans l'eau (pas de remous)

## PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES

N° et nom Projet	FR2706.916.600
Bureau d'étude, responsable	CSD Ingénieurs SA, Chantemerle 37 Granges-Paccot. 1701 Fribourg
Maître d'ouvrage	Consortium la Pila

### Contexte général de l'échantillonnage

Date / heure échantillonnage	22.08.2010	
Conditions météorologiques	beau	
Laboratoire d'analyse	Wessling SA	
Transport des échantillons	transport par Wessling SA	
Stockage des échantillons	Date :	Livraison des échantillons, Date:

Données générales sur le point d'eau		Piezomètre / Sondage	
Nom / N° point d'eau	F24-08	Coordonnées	576152.6 179967.2
Lieu / commune		Référence pour niveaux d'eau	
Type	Piézo/forage	Cote terrain	576.17
		Cote tube de protection	576.74
		Différence [m]	
		Tube aveugle [m]	dp.terrain
Type sondage	carotté	Tube crépiné [m]	dp.terrain 7.8-11.7
		Tube aveugle [m]	dp.terrain
Type tubage	PE	Tube crépiné [m]	dp.terrain
		Dépotoire	dp.terrain
Diamètre int. tubage (")	4.5	Remarques	

Echantillonnage		Purge	
NOM ECHANTILLON			
Type de pompe	12 Volts Inox	Volume colonne d'eau [l]	
		Purge théor. de 3x volume [l]	120
		Purge réalisée [l]	128
Tuyau, matériel	Teflon	Niveau statique (réf.)	10.25 13 - profondeur forage
Prélèvement	par pompage	Profondeur moy. pompe [m]	dp.terrain
		Débit moyen [l/min]	

### Programme d'analyse

Laboratoire Wessling: analyse selon annexe 1 OSites, respectant directive OFEV

PCB 7 congénères avec limites de quantifications basses	2 flacon en verre 1000 ml	
Ammonium, MES	1 flacon PE 1000 ml	
Solvants chlorés / HC C5-C10 / BTEX	2 vials headspace 40 ml	Sans bulles
COD	1 flacon en verre 250 ml	
Réserve	1 flacon en verre 1l + 1 flacon PE 1l	

SONDAGE				F24-08					
NOM ECHANTILLON									
Date, heure :									
Niveau statique :		m s (dp. référence)							
Heure	Niveau s\pt réf. (m)	Débit [l/min]	Vol. pompé	T° [°C]	K (25°C) [μS/cm]	pH	O2 (mg/l)	Eh [mV]	Remarques (turb., couleur, odeur, etc.)
15:10	10,68	3,6		14,6	203	7,20	5,56 mg/l		eau claire
<del>15:15</del>	<del>10,675</del>						67,4%		
15:15	10,675			13,2	217	7,20	5,61 mg/l		eau claire
<del>15:22</del>				<del>13</del>	<del>204</del>		58,3%		
15:24				13,0	201	7,13	5,78		eau claire
<del>15:32</del>							58,3%		
15:32		3,5		13,0	204	7,14	5,90 mg/l		eau claire
							60%		
15:36	10,67			12,7	204	7,12	5,65 mg/l		eau claire
<del>15</del>							58,3%		
15:47		2		12,7	206	7,13	5,62 mg/l		eau claire
							58,2%		
15:42	prélevements								
	après prélèvement: (10,67) m								
		<u>128 litres</u>							

**PROTOCOLE D'ECHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES**

N° et nom Projet	FR2706.916.000
Bureau d'étude, responsable	CSO Ingénierie SA, Châteaumeyle 37 Giranges Parc od. 1701 Erdoung
Maitre d'ouvrage	Compagnie la Pila

<b>Contexte général de l'échantillonnage</b>	
Date / heure échantillonnage	
Conditions météorologiques	
Laboratoire d'analyse	Wessling SA
Transport des échantillons	transport par Wessling SA
Stockage des échantillons	Date : [Ordonnée des échantillons, Date]

<b>Données générales sur le point d'eau</b>		<b>Piezomètre / Sondage</b>	
Nom / N° point d'eau	F27-08	Coordonnées	476001.6 180045.1
Lien / commune		<b>Référence pour niveaux d'eau</b>	
Type	Pézo/forage	Cote terrain	479.11
		Cote tube de protection	470.02
		Différence (m)	
		Tube aveugle (m)	de terrain
Type sondage	carotté	Tube crépiné (m)	de terrain 4.2 5.1
		Tube aveugle (m)	de terrain
Type tubage	P1	Tube crépilé (m)	de terrain
		Dépouille	de terrain
Diamètre int. tubage (")	4.5	Remarques	

<b>Echantillonnage</b>		<b>Purge</b>	
<b>NOM ECHANTILLON</b>			
Type de pompe	12 Volt, inox	Volume colonne d'eau (l)	
		Purge théor. de la colonne (l)	60
		Purge réalisée (l)	
Liquide, matériel	Teflon	Niveau statique (m)	4.10
Prélevement	par pompage	Profondeur moy. pompe (m)	de terrain
		Temps moyen (l/mn)	0:35

pt 1

8.5

**Programme d'analyse**

Laboratoire Wessling: analyse selon annex 1 OSites, respectant directive OFEV

PCB / congénères avec limites de quantification basses	2 flacon en verre 1000 ml	
Ammonium, NH <sub>4</sub>	1 flacon PE 1000 ml	
Solvants chlorés / TR / C / IO / BTEX	2 vials hermetique 40 ml	Sans bulles
CO <sub>2</sub>	1 flacon en verre 250 ml	
Résidue	1 flacon en verre 1l + 1 flacon PE 1l	

0.0500000

4.9 (A) 270000



**PROTOCOLE D'ECHANTILLONNAGE DES LAUX SOUTERRAINES**

N° et nom Projet	FR2706.916.600
Bureau d'étude, responsable	CSI Ingénierie SA, Chantemerle 17 Colanges Parc est, 17011 Embourg
Maître d'ouvrage	Comarthur La Pila

<b>Contexte général de l'échantillonnage</b>	
Date / heure échantillonnage	25.07.2016
Conditions météorologiques	Ensoleillement
Laboratoire d'analyse	Wessling SA
Transport des échantillons	Transport par Wessling SA
Stockage des échantillons	Date: / Localisation des échantillons: Date:

<b>Données générales sur le point d'eau</b>		<b>Piezmètre / Sondage</b>	
Nom / N° point d'eau	F27-D-16	Coordonnées	476092.9 180044.5
Lieu / Commune		Référence pour niveau d'eau	
Type	Piézo/forage	Cote terrain	509.4
Type sondage	carotté	Cote tube de protection	570.01
Type forage	PI	Tube aveugle (m)	de terrain
Diamètre int. tubage (")	4.5	Tube crépiné (m)	de terrain 2.5
		Tube aveugle (m)	de terrain
		Tube crépiné (m)	de terrain 6.5
		Dépotone	de terrain
		Remarques	

<b>Echantillonnage</b>		<b>Purge</b>	
NOM ECHANTILLON			
Type de pompe	12 Volts inox	Volume colonne d'eau (l)	
		Purge théor. de 3x volume (l)	6.5
		Purge réelle (l)	
Liquor, matériel	Teflon	Niveau statique (p.l.)	4.17
Prélèvement	par pompage	Profondeur moy. pompe (m)	de terrain
		Débit moyen (l/min)	

**Programme d'analyse**  
 Laboratoire Wessling: analyse selon annexe 1 OSites, respectant directive CEIV

PER / composésayer limites de quantifications bases	2 flacons en verre 1000 ml	
Ammonium, ML5	1 flacon PE 1000 ml	
Solvants chlorés / H/C5/C10 / BTEX	2 vials headspace 40 ml	Sans bulles
COB	1 flacon en verre 250 ml	
Réserves	1 flacon en verre 1 l + 1 flacon PE 1 l	

Ensoleillement

A. M. W. S. C. S. S.

prof. piez.

6.5

SONDAGE		F27-D-16							
NOM ECHANTILLON									
Date, heure :									
Niveau statique :		m s (dp. référence)							
Heure	Niveau s\pt réf. (m)	Débit (l/min)	Vol. pompé	T° [°C]	K (25°C) [μS/cm]	pH	O2 [mg/l]	Eh [mV]	Remarques (turb., couleur, odeur, etc.)
9h08		9							
9h19				11.6	682				
9h23				12.4	405				claire
9h25				12.3	408				
9h30				12.5	412	7.30	5.80	(53.7%)	

avec sonde auto

LBA / KBO

**PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES**

N° et nom Projet	FR2706.916.600
Bureau d'étude, responsable	CSD Ingénieurs SA, Chantemerle 37 Granges-Paccot, 1701 Fribourg
Maître d'ouvrage	Consortium la Pila

**Contexte général de l'échantillonnage**

Date / heure échantillonnage	23.03.16	
Conditions météorologiques	Bonne + très chaud	
Laboratoire d'analyse	Wessling SA	
Transport des échantillons	transport par Wessling SA	
Stockage des échantillons	Date : 23.03.16	Livraison des échantillons. Date:

Données générales sur le point d'eau		Piezomètre / Sondage	
Nom / N° point d'eau	F28-08	Coordonnées	576043.6 179988.5
Lieu / commune		Référence pour niveaux d'eau	
Type	Piézo/forage	Cote terrain	574.597
Type sondage	carotté	Cote tube de protection	575.437
Type tubage	PE	Différence [m]	
Diamètre int. tubage (")	4.5	Tube aveugle [m]	dp.terrain
		Tube crépiné [m]	dp.terrain 9.6-10.6
		Tube aveugle " [m]	dp.terrain
		Tube crépiné [m]	dp.terrain
		Dépotoire	dp.terrain
		Remarques	

Echantillonnage		Purge	
<b>NOM ECHANTILLON</b>			
Type de pompe	12 Volts Inox	Volume colonne d'eau [l]	
		Purge théor. de 3x volume [l]	
		Purge réalisée [l]	
Tuyau, matériel	Teflon	Niveau statique (réf.) depuis	9.46 10.80
Prélèvement	par pompage	Profondeur moy. pompe [m]	dp.terrain
		Débit moyen [l/min]	

**Programme d'analyse**

Laboratoire Wessling: analyse selon annexe 1 OSites, respectant directive OFEV

PCB 7 congénères avec limites de quantifications basses	2 flacon en verre 1000 ml	
Ammonium, MES	1 flacon PE 1000 ml	
Solvants chlorés / HC C5-C10 / BTEX	2 vials headspace 40 ml	Sans bulles =>
COD	1 flacon en verre 250 ml	
Réserve	1 flacon en verre 1l + 1 flacon PE 1l	

⚠ sans sel car bulles

SONDAGE		F28-08							
NOM ECHANTILLON									
Date, heure :		23.09.11							
Niveau statique :		m s (dp. référence)							
Heure	Niveau s\pt réf. [m]	Débit [l/min]	Vol. pompé	T° [°C]	K (25°C) [µS/cm]	pH	O2 [mg/l]	Eh [mV]	Remarques (turb., couleur, odeur, etc.)
14H14		4,3							
14H16	10 l 20 l								
14H19		4,7							
14H23				13,7	1670	7	0,4		
14H26		4		13,3	1700				
14H28				13,2	1709				
14H31	=> prélèv		115	13,5	1703	6,8	0,35		
14H37	09 11,53								
14H58	=> prélèvement fini								
14H59		4		14,2	1654	6,81			
15H				14,4	1701	6,75			
15H03	=> pompe éteint								
15H10	09,45								

seul point de couleur / assez clair  
 + odeur mat.  
 115 en dia-mp.  
 (colonne de) HC

~ 54 l théorique purge à faire  
 purge à 10 m

## PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES

N° et nom Projet	FR2706.916.600
Bureau d'étude, responsable	CSD Ingénieurs SA, Chantemerle 37 Granges-Paccot. 1701 Fribourg
Maître d'ouvrage	Consortium la Pila

### Contexte général de l'échantillonnage

Date / heure échantillonnage	22.08.2016	
Conditions météorologiques	Soleil	
Laboratoire d'analyse	Wessling SA	
Transport des échantillons	transport par Wessling SA	
Stockage des échantillons	Date :	Livraison des échantillons. Date:

Données générales sur le point d'eau		Piezomètre / Sondage	
Nom / N° point d'eau	F26-08	Coordonnées	576057.8 180064.2
Lieu / commune		<i>Référence pour niveaux d'eau</i>	
Type	Piézo/forage	Cote terrain	568.402
		Cote tube de protection	569.302
		Différence [m]	
		Tube aveugle [m]	dp.terrain
		Tube crépiné [m]	dp.terrain 2.6-4.5
Type sondage	carotté	Tube aveugle [m]	dp.terrain
		Tube crépiné [m]	dp.terrain
Type tubage	PE	Dépotoire	dp.terrain
		Remarques	
Diamètre int. tubage (")	4.5		

Echantillonnage		Purge	
<b>NOM ECHANTILLON</b>			
Type de pompe	12 Volts Inox	Volume colonne d'eau [l]	
		Purge théor. de 3x volume [l]	40L
		Purge réalisée [l]	
Tuyau, matériel	Teflon	Niveau statique (réf.)	3.75m bord
Prélèvement	par pompage	Profondeur moy. pompe [m]	dp.terrain 4.40m
		Débit moyen [l/min]	

*Profondeur (m): 4.85*

### Programme d'analyse

Laboratoire Wessling: analyse selon annexe 1 OSites, respectant directive OFEV

PCB 7 congénères avec limites de quantifications basses	2 flacon en verre 1000 ml	
Ammonium, MES	1 flacon PE 1000 ml	
Solvants chlorés / HC C5-C10 / BTEX	2 vials headspace 40 ml	Sans bulles
COD	1 flacon en verre 250 ml	
Réserve	1 flacon en verre 1l + 1 flacon PE 1l	

*1 po = 2.4 cm*

SONDAGE		F26-08								
NOM ECHANTILLON										
Date, heure :										
Niveau statique :		m s (dp. référence)								
Heure	Niveau s\pt réf. (m)	Débit [l/min]	Vol. pompé	T° [°C]	K (25°C) [µS/cm]	pH	O2 (mg/l)	Eh [mV]	Remarques (turb., couleur, odeur, etc.)	
9:51		8		13	818				légère turbidité	
9:54	4.7									
9:55				12.4	832				eau claire	
9:57	4.8			12.3	833					
10:02				13.6	831		2.9 mg/l		eau claire	
10:08				15.1	823	7.36	2.9 mg/l		eau claire	
10:17	3.93	2		15.2	839	7.28	2.6 mg/l		eau claire	
			20%				2.4 mg/l			
		après prol :		3.93						

### PROCOLE D'ECHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES

N° et nom Projet	FR2706.916.600
Bureau d'étude, responsable	CSD Ingénieurs SA, Chantemerle 37 Granges-Paccot, 1701 Fribourg
Maitre d'ouvrage	Consortium la Pila

Contexte général de l'échantillonnage	
Date / heure échantillonnage	24.08.2016
Conditions météorologiques	Beau-chaud
Laboratoire d'analyse	Wessling SA
Transport des échantillons	transport par Wessling SA
Stockage des échantillons	Date :                      Livraison des échantillons, Date:

Données générales sur le point d'eau		Piezomètre / Sondage	
Nom / N° point d'eau	F29-08	Coordonnées	576064.2    180012.3
Lieu / commune		<i>Référence pour niveaux d'eau</i>	
Type	Piézo/forage	Cote terrain	577.06
		Cote tube de protection	577.92
		Différence [m]	
		Tube aveugle [m]	dp.terrain
Type sondage	carotté	Tube crépiné [m]	10-12
		Tube aveugle [m]	dp.terrain
Type tubage	PE	Tube crépiné [m]	dp.terrain
		Dépotoire	dp.terrain
Diamètre int. tubage (")	4.5	Remarques	

Echantillonnage		Purge	
NOM ECHANTILLON			
Type de pompe	12 Volts Inox	Volume colonne d'eau [l]	
		Purge théor. de 3x volume [l]	
		Purge réalisée [l]	
Tuyau, matériel	Teflon	Niveau statique (réf.)	11,87    12,20 prof piézo
Prélèvement	par pompage	Profondeur moy. pompe [m]	dp.terrain
		Débit moyen [l/min]	

### Programme d'analyse

Laboratoire Wessling: analyse selon annexe 1 OSites, respectant directive OFEV

PCB 7 congénères avec limites de quantifications basses	2 flacon en verre 1000 ml	
Ammonium, MES	1 flacon PE 1000 ml	
Solvants chlorés / HC C5-C10 / BTEX	2 vials headspace 40 ml	Sans bulles
COD	1 flacon en verre 250 ml	
Réserve	1 flacon en verre 1l + 1 flacon PE 1l	



## PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES

N° et nom Projet	FR2706.916.600
Bureau d'étude, responsable	CSD Ingénieurs SA, Chantemerle 37 Granges-Paccot, 1701 Fribourg
Maitre d'ouvrage	Consortium la Pila

Contexte général de l'échantillonnage	
Date / heure échantillonnage	
Conditions météorologiques	
Laboratoire d'analyse	Wessling SA
Transport des échantillons	transport par Wessling SA
Stockage des échantillons	Date :                      Livraison des échantillons. Date:

Données générales sur le point d'eau		Piezomètre / Sondage	
Nom / N° point d'eau	F48-12	Coordonnées	0      0
Lieu / commune		<i>Référence pour niveaux d'eau</i>	
Type	Piézo/forage	Cote terrain	long tube
Type sondage	0.00 m.s.m	Cote tube de protection	570.31
Type tubage	PE	Différence [m]	
Diamètre int. tubage (")	2	Tube aveugle [m]	dp.terrain
		Tube crépiné [m]	dp.terrain      0
		Tube aveugle [m]	dp.terrain
		Tube crépiné [m]	dp.terrain
		Dépotoire	dp.terrain
		Remarques	

Echantillonnage		Purge	
<b>NOM ECHANTILLON</b>			
Type de pompe	12 Volts Inox	Volume colonne d'eau [l]	
		Purge théor. de 3x volume [l]	
		Purge réalisée [l]	
Tuyau, matériel	Teflon	Niveau statique (réf.)	4.49
Prélèvement	par pompage	Profondeur moy. pompe [m]	dp.terrain
		Débit moyen [l/min]	

Programme d'analyse  
 Laboratoire Wessling: analyse selon annexe 1 OSites, respectant directive OFEV

PCB 7 congénères avec limites de quantifications basses	2 flacon en verre 1000 ml	
Ammonium, MES	1 flacon PE 1000 ml	
Solvants chlorés / HC C5-C10 / BTEX	2 vials headspace 40 ml	Sans bulles
COD	1 flacon en verre 250 ml	
Réserve	1 flacon en verre 1l + 1 flacon PE 1l	

Bromures

1 " PE 250 ml

prof

6.00

SONDAGE		F50-12 F48-12							
NOM ECHANTILLON									
Date, heure :									
Niveau statique :		m s (dp. référence)							
Heure	Niveau s\pt réf. [m]	Débit [l/min]	Vol. pompé	T° [°C]	K (25°C) [μS/cm]	pH	O2 [mg/l]	Eh [mV]	Remarques (turb., couleur, odeur, etc.)
11:50				18	560	7.68	5.40		Rouille, beige et

se vide très rapidement, se renouvele assez rapidement

purge 3 l (allumé - éteindre)

1 seule

### PROTOCOLE D'ECHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES

N° et nom Projet	FR2706.916.600
Bureau d'étude, responsable	CSD Ingénieurs SA, Chantemerle 37 Granges-Paccot, 1701 Fribourg
Maître d'ouvrage	Consortium la Pila

Contexte général de l'échantillonnage	
Date / heure échantillonnage	
Conditions météorologiques	
Laboratoire d'analyse	Wessling SA
Transport des échantillons	transport par Wessling SA
Stockage des échantillons	Date :                      Livraison des échantillons, Date:

Données générales sur le point d'eau		Piezomètre / Sondage	
Nom / N° point d'eau	F50-12	Coordonnées	576013.6 180092.9
Lieu / commune		<i>Référence pour niveaux d'eau</i>	
Type	Piézo/forage	Cote terrain	567.22
		Cote tube de protection	567.84
		Différence [m]	
		Tube aveugle [m]	dp.terrain
		Tube crépiné [m]	dp.terrain 1,4-3,4
Type sondage	0.00 m.s.m	Tube aveugle [m]	dp.terrain
		Tube crépiné [m]	dp.terrain
Type tubage	PE	Dépotoire	dp.terrain
		Remarques	
Diamètre int. tubage (")	4.5		

Echantillonnage		Purge	
NOM ECHANTILLON			
Type de pompe	12 Volts Inox	Volume colonne d'eau [l]	
		Purge théor. de 3x volume [l]	
		Purge réalisée [l]	
Tuyau, matériel	Teflon	Niveau statique (réf.)	1,92 4,70
Prélèvement	par pompage	Profondeur moy. pompe [m]	dp.terrain
		Débit moyen [l/min]	

#### Programme d'analyse

Laboratoire Wessling: analyse selon annexe 1 OSites, respectant directive OFEV

PCB 7 congénères avec limites de quantifications basses	2 flacon en verre 1000 ml	
Ammonium, MES	1 flacon PE 1000 ml	
Solvants chlorés / HC C5-C10 / BTEX	2 vials headspace 40 ml	Sans bulles
COD	1 flacon en verre 250 ml	
Réserve	1 flacon en verre 1l + 1 flacon PE 1l	

brasure

1 l PE 250 ml



**PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES**

N° et nom Projet	FR2706.916.600
Bureau d'étude, responsable	CSD Ingénieurs SA, Chantemerle 37 Granges-Paccot. 1701 Fribourg
Maître d'ouvrage	Consortium la Pila

Contexte général de l'échantillonnage	
Date / heure échantillonnage	25.09.2016
Conditions météorologiques	Peau Sec
Laboratoire d'analyse	Wessling SA
Transport des échantillons	transport par Wessling SA
Stockage des échantillons	Date : Livraison des échantillons. Date:

Données générales sur le point d'eau		Piezomètre / Sondage	
Nom / N° point d'eau	F53-12	Coordonnées	576045 180073
Lieu / commune		Référence pour niveaux d'eau	
Type	Piézo/forage	Cote terrain	568.79
Type sondage	0.00 m.s.m	Cote tube de protection	569.41
Type tubage	PE	Différence [m]	
Diamètre int. tubage (")	4.5	Tube aveugle [m]	dp.terrain
		Tube crépiné [m]	dp.terrain 2.2-4.2
		Tube aveugle " [m]	dp.terrain
		Tube crépiné [m]	dp.terrain
		Dépotoire	dp.terrain
		Remarques	

Echantillonnage		Purge	
NOM ECHANTILLON			
Type de pompe	12 Volts Inox	Volume colonne d'eau [l]	
		Purge théor. de 3x volume [l]	
		Purge réalisée [l]	
Tuyau, matériel	Teflon	Niveau statique (réf.)	3.42 6.80-
Prélèvement	par pompage	Profondeur moy. pompe [m]	dp.terrain
		Débit moyen [l/min]	

**Programme d'analyse**

Laboratoire Wessling: analyse selon annexe 1 Osites, respectant directive OFEV

PCB 7 congénères avec limites de quantifications basses	2 flacon en verre 1000 ml	
Ammonium, MES	1 flacon PE 1000 ml	
Solvants chlorés / HC C5-C10 / BTEX	2 vials headspace 40 ml	Sans bulles
COD	1 flacon en verre 250 ml	
Réserve	1 flacon en verre 1l + 1 flacon PE 1l	

Branche

à l' PE 250 ml



**PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES**

N° et nom Projet	FR2706.916.600
Bureau d'étude, responsable	CSD Ingénieurs SA, Chantemerle 37 Granges-Paccot. 1701 Fribourg
Maître d'ouvrage	Consortium la Pila

<b>Contexte général de l'échantillonnage</b>	
Date / heure échantillonnage	22.08.2016
Conditions météorologiques	soleil
Laboratoire d'analyse	Wessling SA
Transport des échantillons	transport par Wessling SA
Stockage des échantillons	Date :                      Livraison des échantillons. Date:

<b>Données générales sur le point d'eau</b>		<b>Piezomètre / Sondage</b>	
Nom / N° point d'eau	F60-16	Coordonnées	576147.8 179993.3
Lieu / commune		<i>Référence pour niveaux d'eau</i>	
Type	Piézo/forage	Cote terrain	572.42
Type sondage	0.00 m.s.m	Cote tube de protection	572.534 <i>à corrigé</i>
Type tubage	PE	Différence [m]	
Diamètre int. tubage (")	4.5	Tube aveugle [m]	dp.terrain
		Tube crépiné [m]	dp.terrain 5-7
		Tube aveugle [m]	dp.terrain
		Tube crépiné [m]	dp.terrain
		Dépotoire	dp.terrain
		Remarques	

<b>Echantillonnage</b>		<b>Purge</b>	
<b>NOM ECHANTILLON</b>			
Type de pompe	12 Volts Inox	Volume colonne d'eau [l]	
		Purge théor. de 3x volume [l]	40L
		Purge réalisée [l]	
Tuyau, matériel	Teflon	Niveau statique (réf.)	6.90m <i>bord orange</i>
Prélèvement	par pompage	Profondeur moy. pompe [m]	dp.terrain <i>8.40m</i>
		Débit moyen [l/min]	

**Programme d'analyse**

Laboratoire Wessling: analyse selon annexe 1 OSites, respectant directive OFEV

PCB 7 congénères avec limites de quantifications basses	2 flacon en verre 1000 ml	
Ammonium, MES	1 flacon PE 1000 ml	
Solvants chlorés / HC C5-C10 / BTEX	2 vials headspace 40 ml	Sans bulles
COD	1 flacon en verre 250 ml	
Réserve	1 flacon en verre 1l + 1 flacon PE 1l	

-> première obs : 10:57 - pompe SL -> 6.90m  
 deuxième essai : 11:00 - pompe SL -> 7.90 puis 8.40m  
 C) fond à 50 cm au max.  
 11h16 -> toujours à 8.40m (prof. d'eau)  
 11h22

SONDAGE		F60-16								
NOM ECHANTILLON										
Date, heure :										
Niveau statique :		m s (dp. référence)								
Heure	Niveau s/pt réf. [m]	Débit [l/min]	Vol. pompé	T* [°C]	K (25°C) [μS/cm]	pH	O2 [mg/l]	Eh [mV]	Remarques (turb., couleur, odeur, etc.)	
<del>10:57</del>										
<del>11:22</del>										
10:57	6.90		~ 5L							Pl-g d'eau qui sort... la pompe est abaissée.
11:00	7.90		~ 5L							<del>XXXXXXXXXX</del>
11:16	8.40						75%			l'eau du sseau est
11:22	8.40				629	7.44	770mg/l			est échantillonné eau trouble
11:28	8.40		d							↳ pour éviter d'abaisser trop la pompe et la bloquer

eau  
 du sseau  
 ↙  
 Sans  
 purge  
 2 échant.  
 1L verre  
 1 flacon

... la pompe  
 est abaissée.  
 est  
 échantillonné  
 ↳ pour éviter  
 d'abaisser  
 trop la pompe  
 et la bloquer

**PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES**

N° et nom Projet	FR2706.916.600
Bureau d'étude, responsable	CSD Ingénieurs SA, Chantemerle 37 Granges-Paccot. 1701 Fribourg
Maître d'ouvrage	Consortium la Pila

Contexte général de l'échantillonnage	
Date / heure échantillonnage	22.08.2016
Conditions météorologiques	Soleil
Laboratoire d'analyse	Wessling SA
Transport des échantillons	transport par Wessling SA
Stockage des échantillons	Date : Livraison des échantillons. Date:

Données générales sur le point d'eau		Piezomètre / Sondage	
Nom / N° point d'eau	F61-16	Coordonnées	576176.9 179960.4
Lieu / commune		Référence pour niveaux d'eau	
Type	Piézo/forage	Cote terrain	570.42
		Cote tube de protection	570.27
		Différence [m]	
		Tube aveugle [m]	dp.terrain
		Tube crépiné [m]	dp.terrain 3.5-5.5
Type sondage	0.00 m.s.m	Tube aveugle [m]	dp.terrain
		Tube crépiné [m]	dp.terrain
Type tubage	PE	Dépotoire	dp.terrain
Diamètre int. tubage (")	4.5	Remarques	

Echantillonnage		Purge	
<b>NOM ECHANTILLON</b>			
Type de pompe	12 Volts Inox	Volume colonne d'eau [l]	
		Purge théor. de 3x volume [l]	40L
		Purge réalisée [l]	
Tuyau, matériel	Teflon	Niveau statique (réf.)	4.43 <i>bande mesurée (pas du sol)</i>
Prélèvement	par pompe	Profondeur moy. pompe [m]	dp.terrain
		Débit moyen [l/min]	

**Programme d'analyse**  
 Laboratoire Wessling: analyse selon annexe 1 O Sites, respectant directive OFEV

*Profondeur (m): 6.57  
 ← fond du piézo*

PCB 7 congénères avec limites de quantifications basses	2 flacon en verre 1000 ml	
Ammonium, MES	1 flacon PE 1000 ml	
Solvants chlorés / HC C5-C10 / BTEX	2 vials headspace 40 ml	Sans bulles
COD	1 flacon en verre 250 ml	
Réserve	1 flacon en verre 1l + 1 flacon PE 1l	

SONDAGE		F61-16								
NOM ECHANTILLON										
Date, heure :										
Niveau statique :		m s (dp. référence)								
Heure	Niveau s/pt réf. (m)	Débit [l/min]	Vol. pompé	T° [°C]	K (25°C) [µS/cm]	pH	O2 [mg/l]	Eh [mV]	Remarques (turb., couleur, odeur, etc.)	
11:52	4.43		~5L						Eau claire, plus d'eau après -30s.	
12:04	5.10									
12:08		10L/min	~70L						claire, plus d'eau, arrêt pompe	
12:10	5.60	5L/2min								
<del>12:14</del>										
12:18				14	902				clair	
12:21				13.9	858				clair	
12:23				14	839				clair	
12:25				14.2	825					
12:27				14.1	819					
12:29				13.9	810					
après arrêt : 4.4 m										

→ niveau d'eau qui remonte... environ 10cm

problème de pompe

Δ le niveau d'eau est plus haut qu'avant pompage à la fin

**PROTOCOLE D'ECHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES**

N° et nom Projet	FR2706.916.600
Bureau d'étude, responsable	CSD Ingénieurs SA, Chantemerle 37 Granges-Paccot, 1701 Fribourg
Maitre d'ouvrage	Consortium la Pila

**Contexte général de l'échantillonnage**

Date / heure échantillonnage	22-08-2016	
Conditions météorologiques	Soleil	
Laboratoire d'analyse	Wessling SA	
Transport des échantillons	transport par Wessling SA	
Stockage des échantillons	Date :	Livraison des échantillons. Date:

Données générales sur le point d'eau		Piezomètre / Sondage		
Nom / N° point d'eau	Pila 2	Coordonnées	576087	180055
Lieu / commune		Référence pour niveaux d'eau		
		Cote terrain	569.16	
Type	Piézo/forage	Cote tube de protection	569.21	
		Différence [m]		
		Tube aveugle [m]	dp.terrain	
		Tube crépiné [m]	dp.terrain	4-5.3
Type sondage	0.00 m.s.m	Tube aveugle [m]	dp.terrain	
		Tube crépiné [m]	dp.terrain	
Type tubage	PE	Dépotoire	dp.terrain	
Diamètre int. tubage (")	2	Remarques		

Echantillonnage		Purge		
NOM ECHANTILLON				
Type de pompe	12 Volts Inox	Volume colonne d'eau [l]		
		Purge théor. de 3x volume [l]	11 L	
		Purge réalisée [l]		
Tuyau, matériel	Teflon	Niveau statique (réf.)		
Prélèvement	par pompage	Profondeur moy. pompe [m]	dp.terrain	
		Débit moyen [l/min]		

pas d'eau

profondeur 3,5m (bord du tube blanc)

**Programme d'analyse**

Laboratoire Wessling: analyse selon annexe 1 OSites, respectant directive OFEV

PCB 7 congénères avec limites de quantifications basses	2 flacon en verre 1000 ml ✓	
Ammonium, MES	1 flacon PE 1000 ml	
Solvants chlorés / HC C5-C10 / BTEX	2 vials headspace 40 ml	Sans bulles
COD	1 flacon en verre 250 ml	
Réserve	1 flacon en verre 1L 1 flacon PE 1l	

3 Vene 1L , 1 Vene 250 mL , 2 flacons  
2 PE 1L



**PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES**

N° et nom Projet	FR2706.916.600
Bureau d'étude, responsable	CSD Ingénieurs SA, Chantemerle 37 Granges-Paccot. 1701 Fribourg
Maître d'ouvrage	Consortium la Pila

Contexte général de l'échantillonnage	
Date / heure échantillonnage	13h45 23.07.2016
Conditions météorologiques	
Laboratoire d'analyse	Wessling SA
Transport des échantillons	transport par Wessling SA
Stockage des échantillons	Date : Livraison des échantillons, Date:

Données générales sur le point d'eau		Piezomètre / Sondage	
Nom / N° point d'eau	Pila 3	Coordonnées	576018 180028
Lieu / commune		Référence pour niveaux d'eau	
Type	Piézo/forage	Cote terrain	575
		Cote tube de protection	0
		Différence [m]	
		Tube aveugle [m]	dp.terrain
		Tube crépiné [m]	dp.terrain 22-24.20
Type sondage	0.00 m.s.m	Tube aveugle [m]	dp.terrain
Type tubage	PE	Tube crépiné [m]	dp.terrain
		Dépotoire	dp.terrain
Diamètre int. tubage (")	2	Remarques	

Echantillonnage		Purge	
NOM ECHANTILLON			
Type de pompe	12 Volts Inox	Volume colonne d'eau [l]	
		Purge théor. de 3x volume [l]	
		Purge réalisée [l]	
Tuyau, matériel	Teflon	Niveau statique (réf.)	24.63
Prélèvement	par pompage	Profondeur moy. pompe [m]	dp.terrain
		Débit moyen [l/min]	

fond piézo 24.20

**Programme d'analyse**

Laboratoire Wessling: analyse selon annexe 1 OSites, respectant directive OFEV

PCB 7 congénères avec limites de quantifications basses	2 flacon en verre 1000 ml	
Ammonium, MES	1 flacon PE 1000 ml	
Solvants chlorés / HC C5-C10 / BTEX	2 vials headspace 40 ml	Sans bulles
COD	1 flacon en verre 250 ml	
Réserve	1 flacon en verre 1l + 1 flacon PE 1l	

<b>SONDAGE</b>			Pila 3						
<b>NOM ECHANTILLON</b>									
Date, heure :									
Niveau statique :			m s (dp. référence)						
Heure	Niveau s\pt réf. [m]	Débit [l/min]	Vol. pompé	T° [°C]	K (25°C) [µS/cm]	pH	O <sub>2</sub> [mg/l]	Eh [mV]	Remarques (turb., couleur, odeur, etc.)

Pas assez d'eau

**PROTOCOL D'ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES**

N° et nom Projet	FR2706.916.600
Bureau d'étude, responsable	CSO Ingénieurs SA, Chantemerle 17 Crampin, Paudent, 1701 Erlbourg
Maître d'ouvrage	Comartium la Pila

<b>Contexte général de l'échantillonnage</b>	
Date / heure échantillonnage	24.05.2020
Conditions météorologiques	beau soleil
Laboratoire d'analyse	Wessling SA
Transport des échantillons	transport par Wessling SA
Stockage des échantillons	Date: _____ Niveau des échantillons, Date: _____

Données générales sur le point d'eau		Pézomètre / sondage	
Nom / N° point d'eau	Plézo-bleu	Coordonnées	576124.5 1180125.2
Lieu / commune		Référence pour niveaux d'eau	
Type	Pézo/sondage	Cote terrain	570.24
		Cote tube de protection	570.11
		Différence [m]	
		Tube aveugle [m]	diapason
Type sondage	0.00 m, s, m	Tube criblé [m]	diapason 1.10 % D
		Tube aveugle [m]	diapason
Type tubage	PI	Tube criblé [m]	diapason
Diamètre int. tubage (")	4 1/2	Dépotable	diapason
		Remarques	

<b>Échantillonnage</b>		Purge	
<b>NOM ECHANTILLON</b>			
Type de pompe	12 Volts inox	Volume colonne d'eau [l]	
		Purge théor. de 3x volume [l]	
		Purge réelle [l]	
Tuyau, matériel	teflon	Niveau statique (m)	570.11
Prélevement	par pompage	Profondeur moy. pompe (m)	diapason
		Débit moyen [l/min]	

FOP par en

5.30

**Programme d'analyse**

Laboratoire Wessling: analyse selon annexe 1 OSites, respectant directive DCE V

PCB / congénères axes Baires de quantifications basses	2 flacons en verre 1000 ml	
Amines, MEV	1 flacon PE 1000 ml	
Solvants chlorés / H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> / 10 / H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	2 vials headspace 40 ml	sans bulles
CO <sub>2</sub>	1 flacon en verre 250 ml	
Réserve	1 flacon en verre 1L + 1 flacon PE 1L	
P <sub>2</sub> (bact)	1 flacon en verre 250 ml	



**PROTOCOLE D'ECHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES**

N° et nom Projet	IRZ/06.016.600
Bureau d'étude, responsable	END Hygiène SA, Champenois 17 Coanges, Parc at 1701 Libourg
Maitre d'ouvrage	Copson/Com La Pila

**Contexte général de l'échantillonnage**

Date / heure échantillonnage	21.08.2016	
Conditions météorologiques	Belle	
Laboratoire d'analyse	Wessling SA	
Transport des échantillons	transport par Wessling SA	
Stockage des échantillons	Date :	Durée en des échantillons, Dates :

Données générales sur le point d'eau		Piezomètre / Sondage	
Nom / N° point d'eau	Piezo-bleu-D-16	Coordonnées	4761214 1000273
Nom / commune		<i>Référence pour niveaux d'eau</i>	
Type	Piezo/forage	Cote terrain	560,28
Type sondage	0.00 m s m	Cote tube de protection	576,12
Type forage	PI	Différence [m]	
Diamètre int. forage (")	4,5	Tube aveugle [m]	opterale
		Tube répliqué [m]	opterale 2,5
		Tube aveugle [m]	opterale
		Tube enpiqué [m]	opterale
		Départure	opterale
		Remarques	

Echantillonnage		Purge	
<b>NDM LÉCHANSILLON</b>			
Type de pompe	12 Volts inox	Volume colonne d'eau [l]	
		Purge théor. de la colonne [l]	
		Purge réalisée [l]	
Liquor. matériel	Teflon	Niveau statique (réf.)	3,86
Prélèvement	par pompage	Profondeur moy. pompe [m]	opterale
		Débit moyen [l/min]	

**Programme d'analyse**

Laboratoire Wessling: analyse selon annexe 1 OSites, respectant directive DEIV

PCB / congénères avec huiles de quantifications traces	2 flacon en verre 1000 ml	
Ammonium, NH <sub>4</sub>	1 flacon PE 1000 ml	
Solvants chlorés / HC C5 C10 / PHX	2 stab. headspace 40 ml	Sans bulles
COD	1 flacon en verre 250 ml	
Réserves	1 flacon en verre 1l + 1 flacon PE 1l	

SONDAGE		Piezo-bleu-D-16							
NOM ECHANTILLON									
Date, heure :									
Niveau statique :		m s (dp. référence)							
Heure	Niveau s\pt réf. (m)	Débit [l/min]	Vol. pompé	T° [°C]	K (25°C) [µS/cm]	pH	O2 [mg/l]	Eh [mV]	Remarques (turb., couleur, odeur, etc.)
4:09		3		12,4	560				
4:13				12,1	557				
4:16				12,1	556				claire
4:20				12,7	556	7,6			
			3.85						

prêt:

**PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES**

N° et nom Projet	FR2706.916.600
Bureau d'étude, responsable	ESD Ingénieurs SA, Chantemerle 37 Groupes Pécourt, 17011 Libourne
Maître d'ouvrage	Concession la Pila

**Contexte général de l'échantillonnage**

Date / heure d'échantillonnage	22.08.2016	
Conditions météorologiques	Bonne	
Laboratoire d'analyse	Wessling SA	
Transport des échantillons	transport par Wessling SA	
Stockage des échantillons	Date:	Expiration des échantillons, Date:

Données générales sur le point d'eau		Piezomètre / sondage	
Nom / N° point d'eau	PP1	Caractéristiques	5/2/18.1   180118.1
Lieu / commune		Référence pour niveaux d'eau	
Type	Piezo/sondage	Cote terrain	572.79
		Cote tube de protection	571.81
		Différence (m)	
Type sondage	Ø 100 mm	Tube aveugle (m)	de terrain
		Tube criblé (m)	de terrain
Type tubage	PI	Tube aveugle (m)	de terrain
		Tube criblé (m)	de terrain
Diamètre int. tubage (")		Départure	de terrain
		Remarques	

Echantillonnage		Purge	
<b>NOM ÉCHANTILLON</b>			
Type de pompe	12 Volts/mot	Volume colonne d'eau (l)	
		Purge théor. de 3x volume (l)	
		Purge réalisée (l)	
Tuyau, matériel	cellon	Niveau statique (cf.)	
Prélevement	par pompage	Profondeur moy. pompe (m)	de terrain
	SCHEISS	Débit moyen (l/min)	

**Programme d'analyse**

Laboratoire Wessling: analyse selon annexe 1 OSIs, respectant directive DPLV

PCB / congénérés, axes limites, de quaternaires basses	2 flacons en verre 1000 ml	
Ammonium, NH3	1 flacon PI 1000 ml	
Solvants chlorés / HC (C10 / B11X)	2 flacons polypropylène 40 ml	sans bulles
COU	1 flacon en verre 250 ml	
Réserves	1 flacon en verre 1l + 1 flacon PI 1l	

de la 11.04

de la 11.04



**PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES**

N° et nom Projet	FR2706.916.000
Bureau d'étude, responsable	CSO Ingénierie SA, Chantemerle 37 Courmes Pavot, 1701 Brilbois
Maitre d'ouvrage	Consortium la Plie

**Contexte général de l'échantillonnage**

Date / heure échantillonnage	02.03.2016
Conditions météorologiques	Pluie + vent
Laboratoire d'analyse	Westling SA
Transport des échantillons	transport par Westling SA
Stockage des échantillons	Date: / Expiration des échantillons, Date:

Données générales sur le point d'eau		Pézomètre / Sondage			
Nom / N° point d'eau	PP2	Coordonnées		UTM	UTM
Localité / commune		Référence pour niveau d'eau			
Type	Pézomètre	Cote terrain			542.90
		Cote tube de 1000x100			570.00
		Différence [m]			
Type sondage	(100 m x m)	Tube aveugle [m]	de terrain		
		Tube creusé [m]	de terrain		
Type tubage	PE	Tube aveugle [m]	de terrain		
		Tube creusé [m]	de terrain		
Diamètre int. tubage (")		Remarques			

Echantillonnage		Purge	
NOM ÉCHANTILLON			
Type de pompe	12 Volts, inox	Volume colonne d'eau [l]	
Tuyau, matériel	Teflon	Purge théor. de 3x volume [l]	
	Prélevement	Purge réalisée [l]	5.17 m <sup>3</sup> (10 passages)
	12 Volts	Niveau statique (m)	
		Pendanteur moy pompe (m)	de terrain
		Débit moyen (l/min)	

**Programme d'analyse**

Laboratoire Westling; analyse selon annexe 1 CSites, respectant directive CEIV

PCB / congénérés, axes limites, de quantités axes basses	2 flacons en verre 1000 ml	
Ammonium, NH <sub>4</sub>	1 flacon PE 1000 ml	
Solvants chlorés / HC / C <sub>10</sub> / BTEX	2 vials headspace 40 ml	Sans bulles
CO <sub>2</sub>	1 flacon en verre 250 ml	
Réserves	1 flacon en verre II + 1 flacon PE II	

2 axes axes

1 flacon PE 1000 ml



**PROTOCOLE D'ECHANTILLONNAGE DES EAUX SOUERRAINES**

N° et nom Projet	Fit2/06.916.600
Bureau d'étude, responsable	CSB Ingénieurs SA, Chappois 17 Orange, Parc 1701 Laubourg
Maitre d'ouvrage	Commune La Pila

<b>Contexte général de l'échantillonnage</b>	
Date / heure échantillonnage	27.08.2014
Conditions météorologiques	13.04
Laboratoire d'analyse	Wessling SA
Transport des échantillons	Transport par Wessling SA
Stockage des échantillons	Date: _____ Lieu: _____

<b>Données générales sur le point d'eau</b>		<b>Piezomètre / Sondage</b>	
Nom / N° point d'eau	PP3	Coordonnées	N 4760754, E 1800731
Lieu / Commune		<b>Référence pour niveaux d'eau</b>	
Type	Piezo/forage	Cote terrain	509.6
Type sondage	puits	Cote tube de protection	570.58
Type tubage	P1	Différence [m]	
Diamètre int. tubage (")		Tube aveugle [m]	de terrain
		Tube crépiné [m]	de terrain
		Tube aveugle [m]	de terrain
		Tube crépiné [m]	de terrain
		Remarques	

<b>Echantillonnage</b>		<b>Purge</b>	
<b>NOM ECHANTILLON</b>			
Type de pompe	12 Volt, inox	Volume colonne d'eau [l]	
		Purge théor. de 3x volume [l]	
		Purge réalisée [l]	5.0
Type matériel	100g	Niveau statique (réf.)	
Prélevement	par pompage	Profondeur moy. pompe [m]	diapason
	100, 100g	Débit moyen [l/min]	

**Programme d'analyse**  
 Laboratoire Wessling: analyse selon annexe 1 OSites, respectant directive OFFV

PCB / congénères avec bottles de quantification bases	2 flacon en verre 1000 ml	
Amygdalins, MPA	1 flacon PE 1000 ml	
Solvants chlorés / PCE / CTD / THX	2 vials headspace 40 ml	Sans bottles
Cr6	1 flacon en verre 250 ml	
Résidu	1 flacon en verre 1 l, 1 flacon PE 1 l	

Bureau

CSB Ingénieurs SA



**PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES**

N° et nom Projet	FR2706.916.600
Bureau d'étude, responsable	CSO Ingénierie SA, Chantemerle 47 Ganges, Parc. 1701 L'Islebourg
Maître d'ouvrage	Consorzium la Vila

**Contexte général de l'échantillonnage**

Date / heure échantillonnage	22.05.2016
Conditions météorologiques	Voilàs 1.00
Laboratoire d'analyse	Wessling SA
Transport des échantillons	Transport par Wessling SA
Stockage des échantillons	Date : _____ Livraison des échantillons, Date : _____

Données générales sur le point d'eau		Plézimètre / sondage			
Nom / N° point d'eau	PP4	Caractéristiques	% Z6048.2	100000.5	
Lieu / commune		Référence pour niveau d'eau			
Type	Plézu/sondage	Cote terrain		518.54	
		Cote tube de protection		517.67	
		Différence (m)			
Type sondage	puits	Tube aveugle (m)	dp. terrain		
		Tube creusé (m)	dp. terrain		
Type tubage	P	Tube aveugle (m)	dp. terrain		
		Tube creusé (m)	dp. terrain		
Diamètre int. Tubage (")		Remarques			

Echantillonnage		Purge	
NOM ÉCHANTILLON			
Type de pompe	12 Volts inox	Volume colonne d'eau (l)	
Tuyau matériel	Teflon	Purge théor. de 1x volume (l)	
		Purge réalisée (l)	1.00000
Prélèvement	pp (pompe)	Niveau statique (m)	
	5.50000	Profondeur moy. pompe (m)	dp. terrain
		Débit moyen (l/min)	

**Programme d'analyse**

Laboratoire Wessling: analyse selon annexe 1 OSites, respectant directive CDT V

PER / congénères, avec limites de quantifications basses.	2 flacons en verre 1000 ml	
Ammonium, MN	1 flacon PE 1000 ml	
Solvants chlorés / HC (5, 10) / BTEX	2 vials headspace 40 ml	sans bulles.
COB	1 flacon en verre 250 ml	
réserves	1 flacon en verre 1L + 1 flacon PE 1L	

Signature :

A. R. ...



### PROTOCOLE D'ECHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES

N° et nom Projet	FR2706.916.600
Bureau d'étude, responsable	CSD Ingénieurs SA, Chantemerle 37 Granges-Paccot. 1701 Fribourg
Maître d'ouvrage	Consortium la Pila

Contexte général de l'échantillonnage	
Date / heure échantillonnage	25.08.16 - 10:25
Conditions météorologiques	beau/chaud/sec
Laboratoire d'analyse	Wessling SA
Transport des échantillons	transport par Wessling SA
Stockage des échantillons	Date : Livraison des échantillons, Date:

Données générales sur le point d'eau		Piezomètre / Sondage	
Nom / N° point d'eau	Sarine aval	Coordonnées	
Lieu / commune		Référence pour niveaux d'eau	
Type	Piézo/forage	Cote terrain	
Type sondage		Cote tube de protection	
Type tubage	PE	Différence [m]	
Diamètre int. tubage (")		Tube aveugle [m]	dp.terrain
		Tube crépiné [m]	dp.terrain
		Tube aveugle [m]	dp.terrain
		Tube crépiné [m]	dp.terrain
		Dépotoire	dp.terrain
		Remarques	

Echantillonnage		Purge	
NOM ECHANTILLON			
Type de pompe	12 Volts Inox	Volume colonne d'eau [l]	
		Purge théor. de 3x volume [l]	
		Purge réalisée [l]	
Tuyau, matériel	Teflon	Niveau statique (réf.)	
Prélèvement	par pompage	Profondeur moy. pompe [m]	dp.terrain
		Débit moyen [l/min]	

#### Programme d'analyse

Laboratoire Wessling: analyse selon annexe 1 OSites, respectant directive OFEV

PCB 7 congénères avec limites de quantifications basses	2 flacon en verre 1000 ml	
Ammonium, MES	1 flacon PE 1000 ml	
Solvants chlorés / HC C5-C10 / BTEX	2 vials headspace 40 ml	Sans bulles
COD	1 flacon en verre 250 ml	
Réserve	1 flacon en verre 1l + 1 flacon PE 1l	

Bromures

1" PE 250ml



**Annexe 3.3.3 – 2b**

**Résultats d'analyses Wessling  
Résultats de la campagne des eaux souterraines  
d'août 2016**

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Madame Tallon  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-03578-16  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 18.08.2016**

## Rapport no. ULS16-004412-1

### Pila - mesures complémentaires Hauterive FR FR2706.916.600



S SCHWEIZERISCHER PRÜFSTELLENDIENST  
T SERVICE SUISSE D'ESSAI  
S SERVIZIO DI PROVA IN SVIZZERA  
S SWISS TESTING SERVICE

ISO/IEC 17025:2005 - STS Nr. 092

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS16-004412-1  
Lyss, le 18.08.2016

Désignation d'échantillon N° d'échantillon	Unité	LQ	Blanc - B 16-126698-01
---	-------	----	---------------------------

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

*PCB (7 congénères)*

PCB n° 28	µg/l E/L	0,002	<0,002
PCB n° 52	µg/l E/L	0,002	<0,002
PCB n° 101	µg/l E/L	0,002	<0,002
PCB n° 118	µg/l E/L	0,002	<0,002
PCB n° 153	µg/l E/L	0,002	<0,002
PCB n° 138	µg/l E/L	0,002	<0,002
PCB n° 180	µg/l E/L	0,002	<0,002
Somme des 7 PCB	µg/l E/L		-/-
Somme des 6 PCB (x4,3)	µg/l E/L		-/-
Somme des 6 PCB	µg/l E/L		-/-

Rapport no. ULS16-004412-1  
Lyss, le 18.08.2016

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-126698-01
Date de réception:	12.08.2016
<b>Désignation</b>	<b>Blanc - B</b>
Type d'échantillons:	Eau souterraine
Prélèvement:	11.08.2016
Prélèvement par:	CSD SA
Préleveur:	L. Tallon
Début des analyses:	12.08.2016
Fin des analyses:	18.08.2016

## Méthodes

### Paramètres

PCB sur eau / lixiviât

### Norme

DIN EN ISO 6468<sup>A</sup>

### Laboratoire

Laboratoire Lyss CH (CH)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviât

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Madame Tallon  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-03540-16  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 19.08.2016**

## Rapport no. ULS16-004447-1

### Pila-mesures complémentaires Hauterive FR FR2706.916.600



**S** SCHWEIZERISCHER PRÜFSTELLENDEINST  
**T** SERVICE SUISSE D'ESSAI  
**S** SERVIZIO DI PROVA IN SVIZZERA  
SWISS TESTING SERVICE

ISO/IEC 17025:2005 - STS Nr. 092

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS16-004447-1  
Lyss, le 19.08.2016

Désignation d'échantillon			Blanc-R	Blanc-C
N° d'échantillon	Unité	LQ	16-125747-01	16-125747-02

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

PCB n° 28	pg/l	400	<400	590
PCB n° 52	pg/l	400	420	640
PCB n° 101	pg/l	400	<400	440
PCB n° 138	pg/l	800	<800	<800
PCB n° 153	pg/l	800	<800	<800
PCB n° 180	pg/l	800	<800	<800
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>pg/l</b>		<b>420</b>	<b>1700</b>
<b>Somme des 6 PCB (x5)</b>	<b>pg/l</b>		<b>2100</b>	<b>8300</b>
PCB n° 118	pg/l E/L	400	<400	<400

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Madame Tallon  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°: ULS-03790-16  
Interlocuteur: N. Amstutz  
Ligne directe: +41 32 387 67 41  
E-Mail: Nicolas.Amstutz@wessling.ch

**Lyss, le 05.09.2016**

## Rapport no. ULS16-004755-1

### Pila - mesures complémentaires FR2706.916.600 Hauterive FR



S SCHWEIZERISCHER PRÜFSTELLENDIENST  
T SERVICE SUISSE D'ESSAI  
S SERVIZIO DI PROVA IN SVIZZERA  
S SWISS TESTING SERVICE

ISO/IEC 17025:2005 - STS Nr. 092

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS16-004755-1  
Lyss, le 05.09.2016

Désignation d'échantillon N° d'échantillon	Unité	LQ	F23-08 16-132618-01	F28-08 16-132618-02	F20-08 16-132618-03	F19-08 16-132618-04	F10-08 16-132618-05
---	-------	----	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------

#### Analyse physico-chimique

Matières filtrables	mg/l E/L	5	<5	52	84	<5	22
---------------------	----------	---	----	----	----	----	----

#### Cations, anions et éléments non métalliques

##### *Ammonium selon OFEV E-1*

Ammonium (NH <sub>4</sub> )	mg/l E/L	0,01	1,3	18	27	0,85	74
-----------------------------	----------	------	-----	----	----	------	----

#### Paramètres organiques globaux

Carbone organique dissous (COD)	mg/l E/L	0,5	15	86	68	6,2	100
---------------------------------	----------	-----	----	----	----	-----	-----

#### Substances organiques volatiles

##### *BTEX selon OFEV E-3*

Benzène	µg/l E/L	0,1	<0,1	1,4	1,2	<0,1	0,45
Toluène	µg/l E/L	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ethylbenzène	µg/l E/L	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
m-, p-Xylène	µg/l E/L	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
o-Xylène	µg/l E/L	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
<b>Somme des CAV</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>-/-</b>	<b>1,4</b>	<b>1,2</b>	<b>-/-</b>	<b>0,45</b>

##### *HC C5-C10 selon OFEV E-3*

Indice hydrocarbure (C5-C10)	mg/l E/L	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
------------------------------	----------	-----	------	------	------	------	------

##### *HC halogénés volatils selon OFEV E-8*

Chlorure de vinyle	µg/l E/L	0,1	<0,1	1,8	0,14	<0,1	0,83
Dichlorométhane	µg/l E/L	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
cis-1,2-Dichloroéthylène	µg/l E/L	0,5	2,5	0,26	0,19	<0,1	0,67
trans-1,2-Dichloroéthylène	µg/l E/L	0,5	0,13	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Trichlorométhane	µg/l E/L	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
1,1,1-Trichloroéthane	µg/l E/L	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Tétrachlorométhane	µg/l E/L	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Trichloroéthylène	µg/l E/L	0,5	0,97	<0,1	0,28	0,25	<0,1
Tétrachloroéthylène	µg/l E/L	0,5	2,2	<0,1	0,24	1,2	<0,1
<b>Somme des COHV</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>5,8</b>	<b>2,1</b>	<b>0,85</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>

#### Substances organiques moyennement et peu volatiles

##### *PCB (7 congénères)*

PCB n° 28	µg/l E/L	0,002	<0,002	0,03	0,07	0,008	<0,002
PCB n° 52	µg/l E/L	0,002	<0,002	0,02	0,03	0,006	0,01
PCB n° 101	µg/l E/L	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
PCB n° 118	µg/l E/L	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
PCB n° 153	µg/l E/L	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
PCB n° 138	µg/l E/L	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
PCB n° 180	µg/l E/L	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
<b>Somme des 7 PCB</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>-/-</b>	<b>0,05</b>	<b>0,1</b>	<b>0,014</b>	<b>0,01</b>
<b>Somme des 6 PCB (x4,3)</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>-/-</b>	<b>0,22</b>	<b>0,43</b>	<b>0,06</b>	<b>0,043</b>
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>-/-</b>	<b>0,05</b>	<b>0,1</b>	<b>0,014</b>	<b>0,01</b>

Rapport no. ULS16-004755-1  
Lyss, le 05.09.2016

Désignation d'échantillon N° d'échantillon	Unité	LQ	F15-08 16-132618-06
---	-------	----	------------------------

**Analyse physico-chimique**

Matières filtrables	mg/l E/L	5	38
---------------------	----------	---	----

**Cations, anions et éléments non métalliques**

**Ammonium selon OFEV E-1**

Ammonium (NH <sub>4</sub> )	mg/l E/L	0,01	1100
-----------------------------	----------	------	------

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique dissous (COD)	mg/l E/L	0,5	480
---------------------------------	----------	-----	-----

**Substances organiques volatiles**

**BTEX selon OFEV E-3**

Benzène	µg/l E/L	0,1	1,1
Toluène	µg/l E/L	0,1	2,4
Ethylbenzène	µg/l E/L	0,1	2,1
m-, p-Xylène	µg/l E/L	0,1	2,9
o-Xylène	µg/l E/L	0,1	2,7
<b>Somme des CAV</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>11</b>

**HC C5-C10 selon OFEV E-3**

Indice hydrocarbure (C5-C10)	mg/l E/L	0,1	<0,1
------------------------------	----------	-----	------

**HC halogénés volatils selon OFEV E-8**

Chlorure de vinyle	µg/l E/L	0,1	0,73
Dichlorométhane	µg/l E/L	0,1	<0,1
cis-1,2-Dichloroéthylène	µg/l E/L	0,5	0,59
trans-1,2-Dichloroéthylène	µg/l E/L	0,5	0,14
Trichlorométhane	µg/l E/L	0,1	<0,1
1,1,1-Trichloroéthane	µg/l E/L	0,1	<0,1
Tétrachlorométhane	µg/l E/L	0,1	<0,1
Trichloroéthylène	µg/l E/L	0,5	<0,1
Tétrachloroéthylène	µg/l E/L	0,5	<0,1
<b>Somme des COHV</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>1,5</b>

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

**PCB (7 congénères)**

PCB n° 28	µg/l E/L	0,002	11
PCB n° 52	µg/l E/L	0,002	20
PCB n° 101	µg/l E/L	0,002	3,4
PCB n° 118	µg/l E/L	0,002	1,1
PCB n° 153	µg/l E/L	0,002	1,3
PCB n° 138	µg/l E/L	0,002	1,1
PCB n° 180	µg/l E/L	0,002	0,37
<b>Somme des 7 PCB</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>38</b>
<b>Somme des 6 PCB (x4,3)</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>160</b>
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>37</b>

Rapport no. ULS16-004755-1  
Lyss, le 05.09.2016

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-132618-01	16-132618-02	16-132618-03	16-132618-04	16-132618-05
Date de réception:	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016
<b>Désignation</b>	<b>F23-08</b>	<b>F28-08</b>	<b>F20-08</b>	<b>F19-08</b>	<b>F10-08</b>
Type d'échantillons:	Eau souterraine				
Prélèvement:	23.08.2016	23.08.2016	23.08.2016	23.08.2016	23.08.2016
Prélèvement par:	CSD, Fribourg				
Préleveur:	L. Tallon				
Début des analyses:	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016
Fin des analyses:	05.09.2016	05.09.2016	05.09.2016	05.09.2016	05.09.2016
Echantillon-n°	16-132618-06				
Date de réception:	24.08.2016				
<b>Désignation</b>	<b>F15-08</b>				
Type d'échantillons:	Eau souterraine				
Prélèvement:	23.08.2016				
Prélèvement par:	CSD, Fribourg				
Préleveur:	L. Tallon				
Début des analyses:	24.08.2016				
Fin des analyses:	05.09.2016				

## Méthodes

### Paramètres

Matières en suspension sur eau / Lixiviat  
Ammonium sur eau / lixiviat  
Carbone organique dissous (COD) sur eau/lixiviat  
Hydrocarbures aliph. volatils (C5-C10) eau  
Benzène et aromatiques (CAV-BTEX)  
Hydrocarbures halogénés volatils (COHV) sur eau  
PCB sur eau / lixiviat

### Norme

DIN 38409 H2<sup>A</sup>  
DIN 38406 E5-1<sup>A</sup>  
DIN EN 1484<sup>A</sup>  
BAFU W-3<sup>A</sup>  
DIN 38407 F9<sup>A</sup>  
DIN EN ISO 10301<sup>A</sup>  
DIN EN ISO 6468<sup>A</sup>

### Laboratoire

Laboratoriën Lyss CH (CH)  
Laboratoriën Lyss CH (CH)  
Umweltanalytik Oppin (D)  
Laboratoriën Lyss CH (CH)  
Laboratoriën Lyss CH (CH)  
Laboratoriën Lyss CH (CH)  
Laboratoriën Lyss CH (CH)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Frau Alexandra Fröhlich  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°: ULS-03873-16  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 08.09.2016**

## Rapport no. ULS16-004837-1

### Pila - mesures complémentaires FR2706.916.600 Hauterive FR



S SCHWEIZERISCHER PRÜFSTELLENDIENST  
T SERVICE SUISSE D'ESSAI  
S SERVIZIO DI PROVA IN SVIZZERA  
S SWISS TESTING SERVICE

ISO/IEC 17025:2005 - STS Nr. 092

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS16-004837-1  
Lyss, le 08.09.2016

Désignation d'échantillon N° d'échantillon	Unité	LQ	F27-12 16-134735-01	F27-D-16 16-134735-02	F50-12 16-134735-03	F53-12 16-134735-04	Sarine aval 16-134735-05
---	-------	----	------------------------	--------------------------	------------------------	------------------------	-----------------------------

#### Analyse physico-chimique

Matières filtrables	mg/l E/L	5	<5	<5	<5	<5	61
---------------------	----------	---	----	----	----	----	----

#### Métaux, métaux lourds et autres éléments

##### Métaux et autres éléments selon OFEV E-6

Brome (Br)	mg/l E/L	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,058	<0,05
------------	----------	------	-------	-------	-------	-------	-------

#### Cations, anions et éléments non métalliques

##### Ammonium selon OFEV E-1

Ammonium (NH4)	mg/l E/L	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Chlorures (Cl)	mg/l E/L	1	5,3	5,6	3,4	5,8	3

#### Paramètres organiques globaux

Carbone organique dissous (COD)	mg/l E/L	0,5	5	6,8	3,4	6	2,6
---------------------------------	----------	-----	---	-----	-----	---	-----

#### HC C10-C40 selon OFEV E-9

Indice hydrocarbure C10-C40	mg/l E/L	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
-----------------------------	----------	-----	------	------	------	------	------

#### Substances organiques volatiles

##### BTEX selon OFEV E-3

Benzène	µg/l E/L	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Toluène	µg/l E/L	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ethylbenzène	µg/l E/L	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
m-, p-Xylène	µg/l E/L	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
o-Xylène	µg/l E/L	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
<b>Somme des CAV</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>-/-</b>	<b>-/-</b>	<b>-/-</b>	<b>-/-</b>	<b>-/-</b>

##### HC C5-C10 selon OFEV E-3

Indice hydrocarbure (C5-C10)	mg/l E/L	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
------------------------------	----------	-----	------	------	------	------	------

#### HC halogénés volatils selon OFEV E-8

Chlorure de vinyle	µg/l E/L	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Dichlorométhane	µg/l E/L	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
cis-1,2-Dichloroéthylène	µg/l E/L	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
trans-1,2-Dichloroéthylène	µg/l E/L	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Trichlorométhane	µg/l E/L	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
1,1,1-Trichloroéthane	µg/l E/L	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Tétrachlorométhane	µg/l E/L	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Trichloroéthylène	µg/l E/L	0,1	0,1	0,1	<0,1	0,21	<0,1
Tétrachloroéthylène	µg/l E/L	0,1	2,5	2,7	1,7	4,4	<0,1
<b>Somme des COHV</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>2,6</b>	<b>2,8</b>	<b>1,7</b>	<b>4,6</b>	<b>-/-</b>

#### Substances organiques moyennement et peu volatiles

##### PCB (7 congénères)

PCB n° 28	µg/l E/L	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
PCB n° 52	µg/l E/L	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
PCB n° 101	µg/l E/L	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
PCB n° 118	µg/l E/L	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
PCB n° 153	µg/l E/L	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
PCB n° 138	µg/l E/L	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
PCB n° 180	µg/l E/L	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
<b>Somme des 7 PCB</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>-/-</b>	<b>-/-</b>	<b>-/-</b>	<b>-/-</b>	<b>-/-</b>
<b>Somme des 6 PCB (x4,3)</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>-/-</b>	<b>-/-</b>	<b>-/-</b>	<b>-/-</b>	<b>-/-</b>
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>-/-</b>	<b>-/-</b>	<b>-/-</b>	<b>-/-</b>	<b>-/-</b>

Rapport no. ULS16-004837-1  
Lyss, le 08.09.2016

<b>Désignation d'échantillon</b>			<b>F48-12</b>
<b>N° d'échantillon</b>	<b>Unité</b>	<b>LQ</b>	16-134735-06

**Analyse physico-chimique**

Matières filtrables	mg/l E/L	5	
---------------------	----------	---	--

**Métaux, métaux lourds et autres éléments**

**Métaux et autres éléments selon OFEV E-6**

Brome (Br)	mg/l E/L	0,05	
------------	----------	------	--

**Cations, anions et éléments non métalliques**

**Ammonium selon OFEV E-1**

Ammonium (NH <sub>4</sub> )	mg/l E/L	0,01	
Chlorures (Cl)	mg/l E/L	1	

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique dissous (COD)	mg/l E/L	0,5	
---------------------------------	----------	-----	--

**HC C10-C40 selon OFEV E-9**

Indice hydrocarbure C10-C40	mg/l E/L	0,1	
-----------------------------	----------	-----	--

**Substances organiques volatiles**

**BTEX selon OFEV E-3**

Benzène	µg/l E/L	0,1	
Toluène	µg/l E/L	0,1	
Ethylbenzène	µg/l E/L	0,1	
m-, p-Xylène	µg/l E/L	0,1	
o-Xylène	µg/l E/L	0,1	
<b>Somme des CAV</b>	<b>µg/l E/L</b>		

**HC C5-C10 selon OFEV E-3**

Indice hydrocarbure (C5-C10)	mg/l E/L	0,1	
------------------------------	----------	-----	--

**HC halogénés volatils selon OFEV E-8**

Chlorure de vinyle	µg/l E/L	0,1	
Dichlorométhane	µg/l E/L	0,1	
cis-1,2-Dichloroéthylène	µg/l E/L	0,1	
trans-1,2-Dichloroéthylène	µg/l E/L	0,1	
Trichlorométhane	µg/l E/L	0,1	
1,1,1-Trichloroéthane	µg/l E/L	0,1	
Tétrachlorométhane	µg/l E/L	0,1	
Trichloroéthylène	µg/l E/L	0,1	
Tétrachloroéthylène	µg/l E/L	0,1	
<b>Somme des COHV</b>	<b>µg/l E/L</b>		

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

**PCB (7 congénères)**

PCB n° 28	µg/l E/L	0,002	<0,002
PCB n° 52	µg/l E/L	0,002	0,005
PCB n° 101	µg/l E/L	0,002	0,003
PCB n° 118	µg/l E/L	0,002	<0,002
PCB n° 153	µg/l E/L	0,002	<0,002
PCB n° 138	µg/l E/L	0,002	<0,002
PCB n° 180	µg/l E/L	0,002	<0,002
<b>Somme des 7 PCB</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>0,008</b>
<b>Somme des 6 PCB (x4,3)</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>0,034</b>
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>0,008</b>

Rapport no. ULS16-004837-1  
Lyss, le 08.09.2016

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-134735-01	16-134735-02	16-134735-03	16-134735-04	16-134735-05
Date de réception:	26.08.2016	26.08.2016	26.08.2016	26.08.2016	26.08.2016
<b>Désignation</b>	<b>F27-12</b>	<b>F27-D-16</b>	<b>F50-12</b>	<b>F53-12</b>	<b>Sarine aval</b>
Type d'échantillons:	Eau souterraine				
Prélèvement:	25.08.2016	25.08.2016	25.08.2016	25.08.2016	25.08.2016
	CSD	CSD	CSD	CSD	CSD
Prélèvement par:	INGENIEURS SA				
Début des analyses:	26.08.2016	26.08.2016	26.08.2016	26.08.2016	26.08.2016
Fin des analyses:	08.09.2016	08.09.2016	08.09.2016	08.09.2016	08.09.2016
Echantillon-n°	16-134735-06				
Date de réception:	26.08.2016				
<b>Désignation</b>	<b>F48-12</b>				
Type d'échantillons:	Eau souterraine				
Prélèvement:	25.08.2016				
	CSD				
Prélèvement par:	INGENIEURS SA				
Début des analyses:	26.08.2016				
Fin des analyses:	08.09.2016				

## Méthodes

### Paramètres

Matières en suspension sur eau / Lixiviat  
Ammonium sur eau / lixiviat  
Carbone organique dissous (COD) sur eau/lixiviat  
Hydrocarbures aliph. volatils (C5-C10) eau  
Benzène et aromatiques (CAV-BTEX)  
Hydrocarbures halogénés volatils (COHV) sur eau  
PCB sur eau / lixiviat  
Chlorures  
Indice hydrocarbures (GC) sur eau / lixiviat (HCT)  
Métaux/Éléments sur eau / lixiviat

### Norme

DIN 38409 H2<sup>A</sup>  
DIN 38406 E5-1<sup>A</sup>  
DIN EN 1484<sup>A</sup>  
BAFU W-3<sup>A</sup>  
DIN 38407 F9<sup>A</sup>  
DIN EN ISO 10301<sup>A</sup>  
DIN EN ISO 6468<sup>A</sup>  
DIN EN ISO 10304-1<sup>A</sup>  
DIN EN ISO 9377-2<sup>A</sup>  
DIN EN ISO 11885 / DIN EN ISO 1729<sup>A</sup>

### Laboratoire

Laboratoire Lyss CH (CH)  
Laboratoire Lyss CH (CH)  
Umweltanalytik Oppin (D)  
Laboratoire Lyss CH (CH)  
Laboratoire Lyss CH (CH)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Madame Tallon  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-03805-16  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 08.09.2016**

## Rapport no. ULS16-004844-1

### Pila - mesures complémentaires Hauterive FR FR2706.916.600



S SCHWEIZERISCHER PRÜFSTELLENDIENST  
T SERVICE SUISSE D'ESSAI  
S SERVIZIO DI PROVA IN SVIZZERA  
SWISS TESTING SERVICE

ISO/IEC 17025:2005 - STS Nr. 092

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS16-004844-1  
Lyss, le 08.09.2016

Désignation d'échantillon N° d'échantillon	Unité	LQ	F26-08 16-132916-01	F61-16 16-132916-02	F24-08 16-132916-03	F22-08 16-132916-04	F14-08 16-132916-05
---	-------	----	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------

**Analyse physico-chimique**

Matières filtrables	mg/l E/L		26	<5	15	<5	20
---------------------	----------	--	----	----	----	----	----

**Métaux, métaux lourds et autres éléments**

**Métaux et autres éléments selon OFEV E-6**

Brome (Br)	mg/l E/L	0.05					
------------	----------	------	--	--	--	--	--

**Cations, anions et éléments non métalliques**

**Ammonium selon OFEV E-1**

Ammonium (NH4)	mg/l E/L	0.01	0.01	<0,01	0.01	0.03	28
----------------	----------	------	------	-------	------	------	----

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique dissous (COD)	mg/l E/L	0.5	2	2.4	2.2	5.9	21
---------------------------------	----------	-----	---	-----	-----	-----	----

**HC C10-C40 selon OFEV E-9**

Indice hydrocarbure C10-C40	mg/l E/L	0.1					
-----------------------------	----------	-----	--	--	--	--	--

**Substances organiques volatiles**

**BTEX selon OFEV E-3**

Benzène	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0.36
Toluène	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ethylbenzène	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
m-, p-Xylène	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
o-Xylène	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
<b>Somme des CAV</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>-/-</b>	<b>-/-</b>	<b>-/-</b>	<b>-/-</b>	<b>0.36</b>

**HC C5-C10 selon OFEV E-3**

Indice hydrocarbure (C5-C10)	mg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
------------------------------	----------	-----	------	------	------	------	------

**HC halogénés volatils selon OFEV E-8**

Chlorure de vinyle	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0.75
Dichlorométhane	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
cis-1,2-Dichloroéthylène	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0.99
trans-1,2-Dichloroéthylène	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Trichlorométhane	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
1,1,1-Trichloroéthane	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Tétrachlorométhane	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Trichloroéthylène	µg/l E/L	0.1	0.24	0.12	0.2	0.49	0.12
Tétrachloroéthylène	µg/l E/L	0.1	4.3	0.56	1	2.7	<0,1
<b>Somme des COHV</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>4.5</b>	<b>0.68</b>	<b>1.2</b>	<b>3.2</b>	<b>1.9</b>

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

**PCB (7 congénères)**

PCB n° 28	µg/l E/L	0.002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
PCB n° 52	µg/l E/L	0.002	<0,002	0.006	<0,002	<0,002	0.007
PCB n° 101	µg/l E/L	0.002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
PCB n° 118	µg/l E/L	0.002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
PCB n° 153	µg/l E/L	0.002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
PCB n° 138	µg/l E/L	0.002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
PCB n° 180	µg/l E/L	0.002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
<b>Somme des 7 PCB</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>-/-</b>	<b>0.006</b>	<b>-/-</b>	<b>-/-</b>	<b>0.007</b>
<b>Somme des 6 PCB (x4,3)</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>-/-</b>	<b>0.026</b>	<b>-/-</b>	<b>-/-</b>	<b>0.03</b>
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>-/-</b>	<b>0.006</b>	<b>-/-</b>	<b>-/-</b>	<b>0.007</b>

Rapport no. ULS16-004844-1  
Lyss, le 08.09.2016

Désignation d'échantillon N° d'échantillon	Unité	LQ	F09-08 16-132916-06	PP1 16-132916-07	PP2 16-132916-08	PP3 16-132916-09	PP4 16-132916-10
---	-------	----	------------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------

**Analyse physico-chimique**

Matières filtrables	mg/l E/L		35	44	16	<5	<5
---------------------	----------	--	----	----	----	----	----

**Métaux, métaux lourds et autres éléments**

*Métaux et autres éléments selon OFEV E-6*

Brome (Br)	mg/l E/L	0.05		<0,05	0.39	0.14	<0,05
------------	----------	------	--	-------	------	------	-------

**Cations, anions et éléments non métalliques**

*Ammonium selon OFEV E-1*

Ammonium (NH <sub>4</sub> )	mg/l E/L	0.01	100	15	28	3.8	0.04
-----------------------------	----------	------	-----	----	----	-----	------

**Paramètres organiques globaux**

Carbone organique dissous (COD)	mg/l E/L	0.5	51	8.8	20	4.8	0.8
---------------------------------	----------	-----	----	-----	----	-----	-----

*HC C10-C40 selon OFEV E-9*

Indice hydrocarbure C10-C40	mg/l E/L	0.1		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
-----------------------------	----------	-----	--	------	------	------	------

**Substances organiques volatiles**

*BTEX selon OFEV E-3*

Benzène	µg/l E/L	0.1	0.14	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Toluène	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ethylbenzène	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
m-, p-Xylène	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
o-Xylène	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
<b>Somme des CAV</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>0.14</b>	<b>-/-</b>	<b>-/-</b>	<b>-/-</b>	<b>-/-</b>

*HC C5-C10 selon OFEV E-3*

Indice hydrocarbure (C5-C10)	mg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
------------------------------	----------	-----	------	------	------	------	------

*HC halogénés volatils selon OFEV E-8*

Chlorure de vinyle	µg/l E/L	0.1	0.29	<0,1	0.36	<0,1	<0,1
Dichlorométhane	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
cis-1,2-Dichloroéthylène	µg/l E/L	0.1	0.24	0.29	0.77	0.14	<0,1
trans-1,2-Dichloroéthylène	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Trichlorométhane	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
1,1,1-Trichloroéthane	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Tétrachlorométhane	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Trichloroéthylène	µg/l E/L	0.1	<0,1	0.26	0.17	0.29	<0,1
Tétrachloroéthylène	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1	3.6	0.75
<b>Somme des COHV</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>0.53</b>	<b>0.55</b>	<b>1.3</b>	<b>4</b>	<b>0.75</b>

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

*PCB (7 congénères)*

PCB n° 28	µg/l E/L	0.002	0.05	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
PCB n° 52	µg/l E/L	0.002	0.53	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
PCB n° 101	µg/l E/L	0.002	0.04	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
PCB n° 118	µg/l E/L	0.002	0.009	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
PCB n° 153	µg/l E/L	0.002	0.006	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
PCB n° 138	µg/l E/L	0.002	0.009	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
PCB n° 180	µg/l E/L	0.002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
<b>Somme des 7 PCB</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>0.64</b>	<b>-/-</b>	<b>-/-</b>	<b>-/-</b>	<b>-/-</b>
<b>Somme des 6 PCB (x4,3)</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>2.7</b>	<b>-/-</b>	<b>-/-</b>	<b>-/-</b>	<b>-/-</b>
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>0.64</b>	<b>-/-</b>	<b>-/-</b>	<b>-/-</b>	<b>-/-</b>

Rapport no. ULS16-004844-1  
Lyss, le 08.09.2016

Désignation d'échantillon	F60-16		
N° d'échantillon	Unité	LQ	16-132916-11

#### Analyse physico-chimique

Matières filtrables	mg/l E/L		38
---------------------	----------	--	----

#### Métaux, métaux lourds et autres éléments

##### Métaux et autres éléments selon OFEV E-6

Brome (Br)	mg/l E/L	0.05	
------------	----------	------	--

#### Cations, anions et éléments non métalliques

##### Ammonium selon OFEV E-1

Ammonium (NH <sub>4</sub> )	mg/l E/L	0.01	0.11
-----------------------------	----------	------	------

#### Paramètres organiques globaux

Carbone organique dissous (COD)	mg/l E/L	0.5	2.3
---------------------------------	----------	-----	-----

##### HC C10-C40 selon OFEV E-9

Indice hydrocarbure C10-C40	mg/l E/L	0.1	
-----------------------------	----------	-----	--

#### Substances organiques volatiles

##### BTEX selon OFEV E-3

Benzène	µg/l E/L	0.1	<0,1
Toluène	µg/l E/L	0.1	<0,1
Ethylbenzène	µg/l E/L	0.1	<0,1
m-, p-Xylène	µg/l E/L	0.1	<0,1
o-Xylène	µg/l E/L	0.1	<0,1
<b>Somme des CAV</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>-/-</b>

##### HC C5-C10 selon OFEV E-3

Indice hydrocarbure (C5-C10)	mg/l E/L	0.1	<0,1
------------------------------	----------	-----	------

##### HC halogénés volatils selon OFEV E-8

Chlorure de vinyle	µg/l E/L	0.1	<0,1
Dichlorométhane	µg/l E/L	0.1	<0,1
cis-1,2-Dichloroéthylène	µg/l E/L	0.1	<0,1
trans-1,2-Dichloroéthylène	µg/l E/L	0.1	<0,1
Trichlorométhane	µg/l E/L	0.1	<0,1
1,1,1-Trichloroéthane	µg/l E/L	0.1	<0,1
Tétrachlorométhane	µg/l E/L	0.1	<0,1
Trichloroéthylène	µg/l E/L	0.1	<0,1
Tétrachloroéthylène	µg/l E/L	0.1	0.16
<b>Somme des COHV</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>0.16</b>

#### Substances organiques moyennement et peu volatiles

##### PCB (7 congénères)

PCB n° 28	µg/l E/L	0.002	<0,002
PCB n° 52	µg/l E/L	0.002	<0,002
PCB n° 101	µg/l E/L	0.002	<0,002
PCB n° 118	µg/l E/L	0.002	<0,002
PCB n° 153	µg/l E/L	0.002	<0,002
PCB n° 138	µg/l E/L	0.002	<0,002
PCB n° 180	µg/l E/L	0.002	<0,002
<b>Somme des 7 PCB</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>-/-</b>
<b>Somme des 6 PCB (x4,3)</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>-/-</b>
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>-/-</b>

Rapport no. ULS16-004844-1  
Lyss, le 08.09.2016

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-132916-01	16-132916-02	16-132916-03	16-132916-04	16-132916-05
Date de réception:	23.08.2016	23.08.2016	23.08.2016	23.08.2016	23.08.2016
<b>Désignation</b>	<b>F26-08</b>	<b>F61-16</b>	<b>F24-08</b>	<b>F22-08</b>	<b>F14-08</b>
Type d'échantillons:	Eau souterraine				
Prélèvement:	22.08.2016	22.08.2016	22.08.2016	22.08.2016	22.08.2016
Prélèvement par:	CSD, Fribourg				
Préleveur:	L. Tallon				
Début des analyses:	23.08.2016	23.08.2016	23.08.2016	23.08.2016	23.08.2016
Fin des analyses:	08.09.2016	08.09.2016	08.09.2016	08.09.2016	08.09.2016
Echantillon-n°	16-132916-06	16-132916-07	16-132916-08	16-132916-09	16-132916-10
Date de réception:	23.08.2016	23.08.2016	23.08.2016	23.08.2016	23.08.2016
<b>Désignation</b>	<b>F09-08</b>	<b>PP1</b>	<b>PP2</b>	<b>PP3</b>	<b>PP4</b>
Type d'échantillons:	Eau souterraine				
Prélèvement:	22.08.2016	22.08.2016	22.08.2016	22.08.2016	22.08.2016
Prélèvement par:	CSD, Fribourg				
Préleveur:	L. Tallon				
Début des analyses:	23.08.2016	23.08.2016	23.08.2016	23.08.2016	23.08.2016
Fin des analyses:	08.09.2016	08.09.2016	08.09.2016	08.09.2016	08.09.2016
Echantillon-n°	16-132916-11				
Date de réception:	23.08.2016				
<b>Désignation</b>	<b>F60-16</b>				
Type d'échantillons:	Eau souterraine				
Prélèvement:	22.08.2016				
Prélèvement par:	CSD, Fribourg				
Préleveur:	L. Tallon				
Début des analyses:	24.08.2016				
Fin des analyses:	08.09.2016				

## Méthodes

### Paramètres

Matières en suspension sur eau / Lixiviat  
Ammonium sur eau / lixiviat  
Carbone organique dissous (COD) sur eau/lixiviat  
Hydrocarbures aliph. volatils (C5-C10) eau  
Benzène et aromatiques (CAV-BTEX)  
Hydrocarbures halogénés volatils (COHV) sur eau  
PCB sur eau / lixiviat  
Indice hydrocarbures (GC) sur eau / lixiviat (HCT)  
Métaux/Eléments sur eau / lixiviat

### Norme

DIN 38409 H2<sup>A</sup>  
DIN 38406 E5-1<sup>A</sup>  
DIN EN 1484<sup>A</sup>  
BAFU W-3<sup>A</sup>  
DIN 38407 F9<sup>A</sup>  
DIN EN ISO 10301<sup>A</sup>  
DIN EN ISO 6468<sup>A</sup>  
DIN EN ISO 9377-2<sup>A</sup>  
DIN EN ISO 11885 / DIN EN ISO 1729

### Laboratoire

Laboratorien Lyss CH (CH)  
Laboratorien Lyss CH (CH)  
Umweltanalytik Oppin (D)  
Laboratorien Lyss CH (CH)  
Laboratorien Lyss CH (CH)  
Laboratorien Lyss CH (CH)  
Laboratorien Lyss CH (CH)  
Laboratorien Lyss CH (CH)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Madame Tallon  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-03833-16  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 08.09.2016**

## Rapport no. ULS16-004845-1

### Pila - mesures complémentaires FR2706.916.600 Hauterive FR



S SCHWEIZERISCHER PRÜFSTELLENDIENST  
T SERVICE SUISSE D'ESSAI  
S SERVIZIO DI PROVA IN SVIZZERA  
SWISS TESTING SERVICE

ISO/IEC 17025:2005 - STS Nr. 092

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS16-004845-1  
Lyss, le 08.09.2016

Désignation d'échantillon N° d'échantillon	Unité	LQ	F18-08 16-133403-01	F21-08 16-133403-02	F3 16-133403-03	F07-08 16-133403-04	F06-08 16-133403-05
---	-------	----	------------------------	------------------------	--------------------	------------------------	------------------------

#### Analyse physico-chimique

Matières filtrables	mg/l E/L		60	15	50	50	180
---------------------	----------	--	----	----	----	----	-----

#### Métaux, métaux lourds et autres éléments

##### *Métaux et autres éléments selon OFEV E-6*

Brome (Br)	mg/l E/L	0.05					
------------	----------	------	--	--	--	--	--

#### Cations, anions et éléments non métalliques

##### *Ammonium selon OFEV E-1*

Ammonium (NH <sub>4</sub> )	mg/l E/L	0.01	96	0.01	0.11	34	1.8
Chlorures (Cl)	mg/l E/L	1					

#### Paramètres organiques globaux

Carbone organique dissous (COD)	mg/l E/L	0.5	100	5.9	13	26	12
---------------------------------	----------	-----	-----	-----	----	----	----

#### *HC C10-C40 selon OFEV E-9*

Indice hydrocarbure C10-C40	mg/l E/L	0.1					
-----------------------------	----------	-----	--	--	--	--	--

#### Substances organiques volatiles

##### *BTEX selon OFEV E-3*

Benzène	µg/l E/L	0.1	1.1	<0,1	<0,1	0.12	<0,1
Toluène	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ethylbenzène	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
m-, p-Xylène	µg/l E/L	0.1	0.13	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
o-Xylène	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
<b>Somme des CAV</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>1.2</b>	<b>-/</b>	<b>-/</b>	<b>0.12</b>	<b>-/</b>

#### *HC C5-C10 selon OFEV E-3*

Indice hydrocarbure (C5-C10)	mg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
------------------------------	----------	-----	------	------	------	------	------

#### *HC halogénés volatils selon OFEV E-8*

Chlorure de vinyle	µg/l E/L	0.1	0.47	<0,1	0.26	0.45	<0,1
Dichlorométhane	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
cis-1,2-Dichloroéthylène	µg/l E/L	0.1	0.23	<0,1	1.8	0.83	0.19
trans-1,2-Dichloroéthylène	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	0.13	<0,1	<0,1
Trichlorométhane	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
1,1,1-Trichloroéthane	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Tétrachlorométhane	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Trichloroéthylène	µg/l E/L	0.1	<0,1	0.13	1.1	0.37	<0,1
Tétrachloroéthylène	µg/l E/L	0.1	<0,1	1.3	0.38	<0,1	<0,1
<b>Somme des COHV</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>0.7</b>	<b>1.4</b>	<b>3.7</b>	<b>1.7</b>	<b>0.19</b>

#### Substances organiques moyennement et peu volatiles

##### *PCB (7 congénères)*

PCB n° 28	µg/l E/L	0.002	0.23	0.002	0.1	0.005	0.03
PCB n° 52	µg/l E/L	0.002	0.1	0.003	0.09	0.008	0.02
PCB n° 101	µg/l E/L	0.002	0.006	<0,002	0.01	<0,002	0.006
PCB n° 118	µg/l E/L	0.002	<0,002	<0,002	0.004	<0,002	<0,002
PCB n° 153	µg/l E/L	0.002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
PCB n° 138	µg/l E/L	0.002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
PCB n° 180	µg/l E/L	0.002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
<b>Somme des 7 PCB</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>0.34</b>	<b>0.005</b>	<b>0.2</b>	<b>0.013</b>	<b>0.056</b>
<b>Somme des 6 PCB (x4,3)</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>1.4</b>	<b>0.022</b>	<b>0.86</b>	<b>0.056</b>	<b>0.24</b>
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>0.34</b>	<b>0.005</b>	<b>0.2</b>	<b>0.013</b>	<b>0.056</b>

Rapport no. ULS16-004845-1  
Lyss, le 08.09.2016

Désignation d'échantillon N° d'échantillon	Unité	LQ	F1 16-133403-06	Piézo-bleu 16-133403-07	Piézo-bleu-16 16-133403-08
---	-------	----	--------------------	----------------------------	-------------------------------

#### Analyse physico-chimique

Matières filtrables	mg/l E/L		19	<5	<5
---------------------	----------	--	----	----	----

#### Métaux, métaux lourds et autres éléments

##### *Métaux et autres éléments selon OFEV E-6*

Brome (Br)	mg/l E/L	0.05		<0,05	<0,05
------------	----------	------	--	-------	-------

#### Cations, anions et éléments non métalliques

##### *Ammonium selon OFEV E-1*

Ammonium (NH <sub>4</sub> )	mg/l E/L	0.01	15	0.02	0.02
Chlorures (Cl)	mg/l E/L	1		4.7	4.8

#### Paramètres organiques globaux

Carbone organique dissous (COD)	mg/l E/L	0.5	13	4.4	1.6
---------------------------------	----------	-----	----	-----	-----

##### *HC C10-C40 selon OFEV E-9*

Indice hydrocarbure C10-C40	mg/l E/L	0.1		<0,1	<0,1
-----------------------------	----------	-----	--	------	------

#### Substances organiques volatiles

##### *BTEX selon OFEV E-3*

Benzène	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1
Toluène	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1
Ethylbenzène	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1
m-, p-Xylène	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1
o-Xylène	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1
<b>Somme des CAV</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>-/-</b>	<b>-/-</b>	<b>-/-</b>

##### *HC C5-C10 selon OFEV E-3*

Indice hydrocarbure (C5-C10)	mg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1
------------------------------	----------	-----	------	------	------

##### *HC halogénés volatils selon OFEV E-8*

Chlorure de vinyle	µg/l E/L	0.1	0.25	<0,1	<0,1
Dichlorométhane	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1
cis-1,2-Dichloroéthylène	µg/l E/L	0.1	0.52	<0,1	<0,1
trans-1,2-Dichloroéthylène	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1
Trichlorométhane	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1
1,1,1-Trichloroéthane	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1
Tétrachlorométhane	µg/l E/L	0.1	<0,1	<0,1	<0,1
Trichloroéthylène	µg/l E/L	0.1	0.44	0.13	0.11
Tétrachloroéthylène	µg/l E/L	0.1	<0,1	0.14	0.26
<b>Somme des COHV</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>1.2</b>	<b>0.27</b>	<b>0.37</b>

#### Substances organiques moyennement et peu volatiles

##### *PCB (7 congénères)*

PCB n° 28	µg/l E/L	0.002	0.29	<0,002	<0,002
PCB n° 52	µg/l E/L	0.002	0.81	<0,002	<0,002
PCB n° 101	µg/l E/L	0.002	0.27	<0,002	<0,002
PCB n° 118	µg/l E/L	0.002	0.13	<0,002	<0,002
PCB n° 153	µg/l E/L	0.002	0.06	<0,002	<0,002
PCB n° 138	µg/l E/L	0.002	0.04	<0,002	<0,002
PCB n° 180	µg/l E/L	0.002	<0,002	<0,002	<0,002
<b>Somme des 7 PCB</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>1.6</b>	<b>-/-</b>	<b>-/-</b>
<b>Somme des 6 PCB (x4,3)</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>6.3</b>	<b>-/-</b>	<b>-/-</b>
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>µg/l E/L</b>		<b>1.5</b>	<b>-/-</b>	<b>-/-</b>

Rapport no. ULS16-004845-1  
Lyss, le 08.09.2016

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-133403-01	16-133403-02	16-133403-03	16-133403-04	16-133403-05
Date de réception:	25.08.2016	25.08.2016	25.08.2016	25.08.2016	25.08.2016
<b>Désignation</b>	<b>F18-08</b>	<b>F21-08</b>	<b>F3</b>	<b>F07-08</b>	<b>F06-08</b>
Type d'échantillons:	Eau souterraine	Eau souterraine	Eau souterraine	Eau souterraine	Eau souterraine
Prélèvement:	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016
Prélèvement par:	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg
Début des analyses:	25.08.2016	25.08.2016	25.08.2016	25.08.2016	25.08.2016
Fin des analyses:	08.09.2016	08.09.2016	08.09.2016	08.09.2016	08.09.2016
Echantillon-n°	16-133403-06	16-133403-07	16-133403-08		
Date de réception:	25.08.2016	25.08.2016	25.08.2016		
<b>Désignation</b>	<b>F1</b>	<b>Piézo-bleu</b>	<b>Piézo-bleu-16</b>		
Type d'échantillons:	Eau souterraine	Eau souterraine	Eau souterraine		
Prélèvement:	24.08.2016	24.08.2016	24.08.2016		
Prélèvement par:	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg		
Début des analyses:	25.08.2016	25.08.2016	25.08.2016		
Fin des analyses:	08.09.2016	08.09.2016	08.09.2016		

## Méthodes

### Paramètres

Matières en suspension sur eau / Lixiviât  
Ammonium sur eau / lixiviat  
Carbone organique dissous (COD) sur eau/lixiviat  
Hydrocarbures aliph. volatils (C5-C10) eau  
Benzène et aromatiques (CAV-BTEX)  
Hydrocarbures halogénés volatils (COHV) sur eau  
PCB sur eau / lixiviat  
Chlorures  
Indice hydrocarbures (GC) sur eau / lixiviat (HCT)  
Métaux/Eléments sur eau / lixiviat

### Norme

DIN 38409 H2<sup>A</sup>  
DIN 38406 E5-1<sup>A</sup>  
DIN EN 1484<sup>A</sup>  
BAFU W-3<sup>A</sup>  
DIN 38407 F9<sup>A</sup>  
DIN EN ISO 10301<sup>A</sup>  
DIN EN ISO 6468<sup>A</sup>  
DIN EN ISO 10304-1<sup>A</sup>  
DIN EN ISO 9377-2<sup>A</sup>  
DIN EN ISO 11885 / DIN EN ISO 1729

### Laboratoire

Laboratoriën Lyss CH (CH)  
Laboratoriën Lyss CH (CH)  
Umweltanalytik Oppin (D)  
Laboratoriën Lyss CH (CH)  
Laboratoriën Lyss CH (CH)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

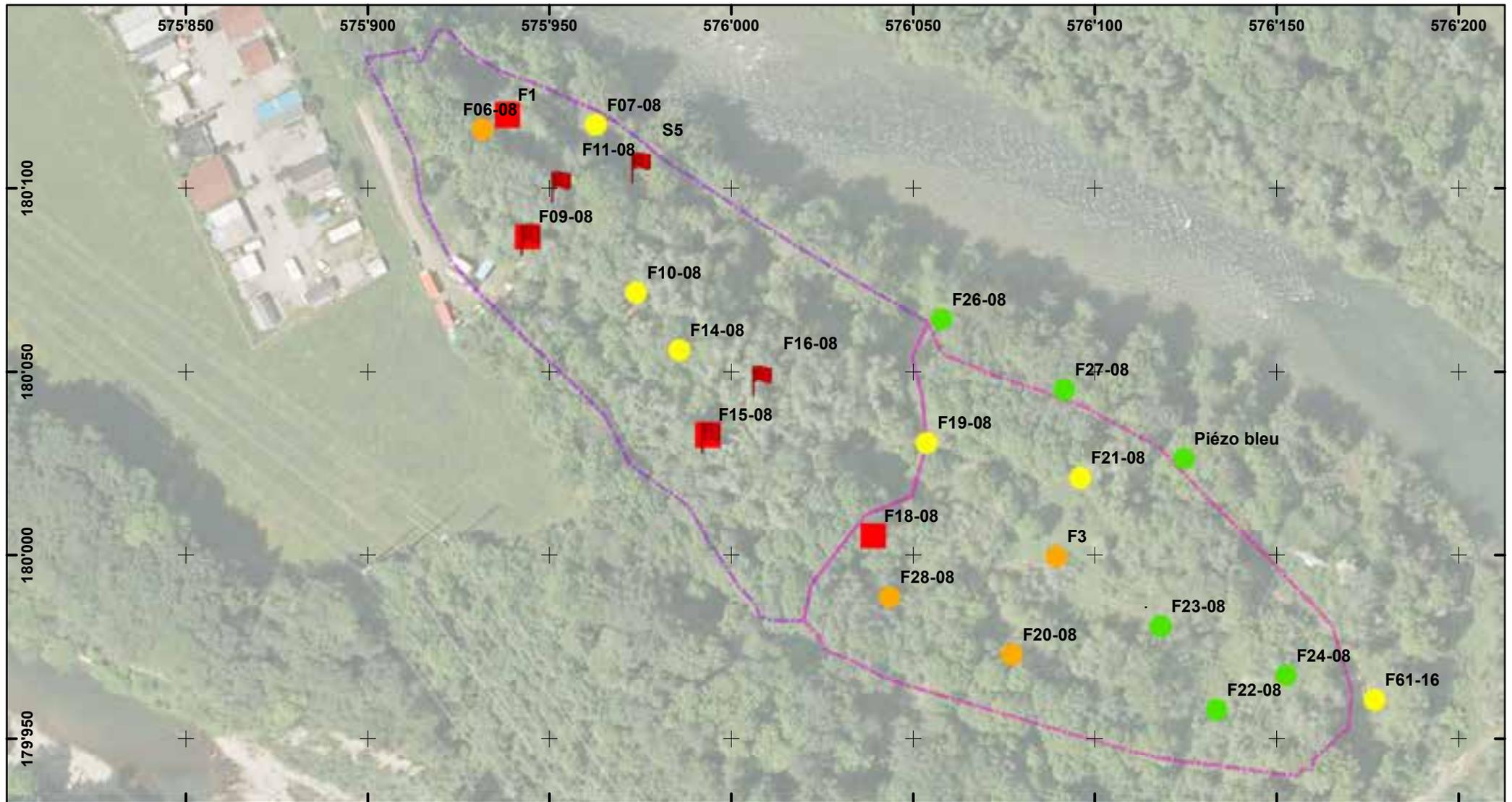
**Annexe 3.3.3 – 2c**

**Rapport EMPA  
Résultats de la campagne d'échantillonnage des eaux  
souterraines d'août 2016**

Externe Bez.: Interne Bez:	Piezo F19-08 (25.08.2016) filtriert 0.45 µm	Piezo F19-08 patikulär (25.08.2016)	Piezo F19-08 Summe aus gelöst und partikulär 22916+23816	Piezo F19-08 (25.08.2016) unfiltriert flüssig- flüssig- Extraktion 23016	Piezo F19-08 partikulär (25.08.2016) 23816	Piezo F61-16 (22.08.2016) filtriert 0.45 µm 23116	Piezo F21-08 (22.08.2016) filtriert 0.45 µm 23216	Piezo Bleu (24.08.2016) filtriert 0.45 µm 23316	Piezo F23-08 (24.08.2016) filtriert 0.45 µm 23416	Piezo F27-16 (24.08.2016) filtriert 0.45 µm 23516	Blindwert 1 (Soxhletextraktio n Filter) <b>nur zum Vergleich mit F19-08 partikulär</b>	Blindwert 2 (Soxhletextraktio n Filter) <b>nur zum Vergleich mit F19-08 partikulär</b>	Blindwert 1 (Soxhletextraktio n Filter) <b>nur zum Vergleich mit F19-08 partikulär</b>	Blindwert 2 (Soxhletextraktio n Filter) <b>nur zum Vergleich mit F19-08 partikulär</b>
	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/g Partikel	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/g Partikel
<b>PCB 28</b>	3.12	0.93	4.1	5.1	204	0.037	1.19	0.065	0.24	0.063	0.056	0.035	12.2	7.7
<b>PCB 52</b>	5.06	1.23	6.3	7.6	270	0.12	4.52	0.24	1.04	0.25	0.11	0.073	25.0	16.1
<b>PCB 101</b>	1.09	1.03	2.1	2.5	227	0.13	1.33	0.21	0.29	0.14	0.084	0.070	18.4	15.3
<b>PCB 118</b>	0.67	1.56	2.2	2.6	343	0.069	0.50	0.13	0.14	0.072	0.017	0.022	3.8	4.8
<b>PCB 138</b>	0.18	0.40	0.58	0.63	88	0.055	0.22	0.087	0.11	0.071	0.013	0.015	2.8	3.3
<b>PCB 153</b>	0.24	0.41	0.65	0.73	89	0.082	0.34	0.12	0.17	0.094	0.020	0.024	4.3	5.2
<b>PCB 180</b>	0.050	0.16	0.21	0.20	35	0.022	0.053	0.026	0.033	0.027	0.003	0.004	0.69	0.94
<b>Summe 6:</b>	9.75	4.2	13.9	16.8	911	0.44	7.66	0.76	1.9	0.64	0.29	0.22	63	48
<b>4.3*SUMME 6pcb</b>	41.93	17.87	59.80	72.27	3919.41	1.90	32.94	3.25	8.08	2.77	1.24	0.95		
<b>Summe 7:</b>	10.4	5.7	16.1	19.4	1254	0.51	8.16	0.89	2.0	0.72	0.31	0.24	67	53
<b>Partikelmasse nach Filtration 0.45 µm in g in Klammern das filtrierte Wasservolumen:</b>		0.0456 (10L)				0.0069 (2.2L)	0.0619 (2.1L)	0.0039 (2.1L)	0.0149 (2.2L)	Keine Partikel auswägbar (2.1L)				
<b>Filtration druch 0.45 µm RC55. Trocknung bei Raumtemperatur im Exsikator bis zur Gewichtskonstanz.</b>	SPE Kartusche nach Filtration 0.45 µm.	45.6 mg grau bis dunkelgraue Partikel auf dem Filter (extrahiert im Soxhlet mit n- Hexan). Diese stammen von 10 Liter Wasser. Also nur 4.56 mg/L.	Summe der SPE Kartusche (gelöst) und der extrahierten Partikel auf dem Filter (partikulär).	Flüssig-flüssig- Extraktion von 2.5 Liter der 12.5 Liter Mischprobe (unfiltriert). 3x mit 100 mL Für ein Gramm Partikel wären rund 220 Liter Wasser von F19- 08 am 25.08.2016 nötig gewesen.	SPE Kartusche nach Filtration 0.45 µm. Auf dem Filter nur ein geringer hellgelb-beiger Belag.	SPE Kartusche nach Filtration 0.45 µm. Auf dem Filter waren deutlich mehr Partikel sichtbar (dunkelgrau).	SPE Kartusche nach Filtration 0.45 µm. Auf dem Filter waren praktisch keine Partikel sichtbar nur ein leicht hellgrauer Belag.	SPE Kartusche nach Filtration 0.45 µm. Auf dem Filter waren geringe Mengen hellbraun-beige Partikel sichtbar.	SPE Kartusche nach Filtration 0.45 µm. Auf dem Filter war nur ein Hauch einer hellgrauen Schicht sichtbar.	Methodenblinde wert für die Soxhletextraktio n von 0.45 µm n-Hexan. Berechnet auf ein Probenvolumen von 10 Liter.	Methodenblinde wert für die Soxhletextraktio n von 0.45 µm n-Hexan. Berechnet auf ein Probenvolumen von 10 Liter.	Methodenblinde wert für die Soxhletextraktio n von 0.45 µm n-Hexan. Berechnet auf eine Probenmenge von 45.6 mg Partikel.	Methodenblinde wert für die Soxhletextraktio n von 0.45 µm n-Hexan. Berechnet auf eine Probenmenge von 45.6 mg Partikel.	
Konzentration ng/g für 4.3 * summe 6PCB		3919												
Blindwert auf Masse berechnet														272
Abstand zu Blindwert		14.4												

## **Annexe 3.3.3 -2d**

### **Plan de situation des résultats d'analyses des PCB et d'ammonium**



**Site contaminé La Pila. Commune de Hauterive**

**Campagne d'échantillonnage des eaux souterraines du mois d'août 2016. Teneurs en PCB**

**CSDINGENIEURS+**

Umwelt  
Geologie und Geotechnik  
Ingenieurwesen  
Abfall und Altlasten  
Wasser

Chantemerle 37 - Granges-Paccot  
CP 384 - 1701 Fribourg  
Tel. 026 460 74 74  
Fax. 026 460 74 79  
fribourg@csd.ch  
www.csd.ch

Dessin franh	Mandat N° FR2706.917
Date: 25.06.2017	Masstab 1:1'500
Format A4	

**Périmètre du site contaminé La Pila**

- Zone haute
- Zone basse

**Présence huile (PCB) dans la nappe**

- Présence huile (PCB) dans la nappe

**Dépassement de 10x valeur conc. pour les PCB**

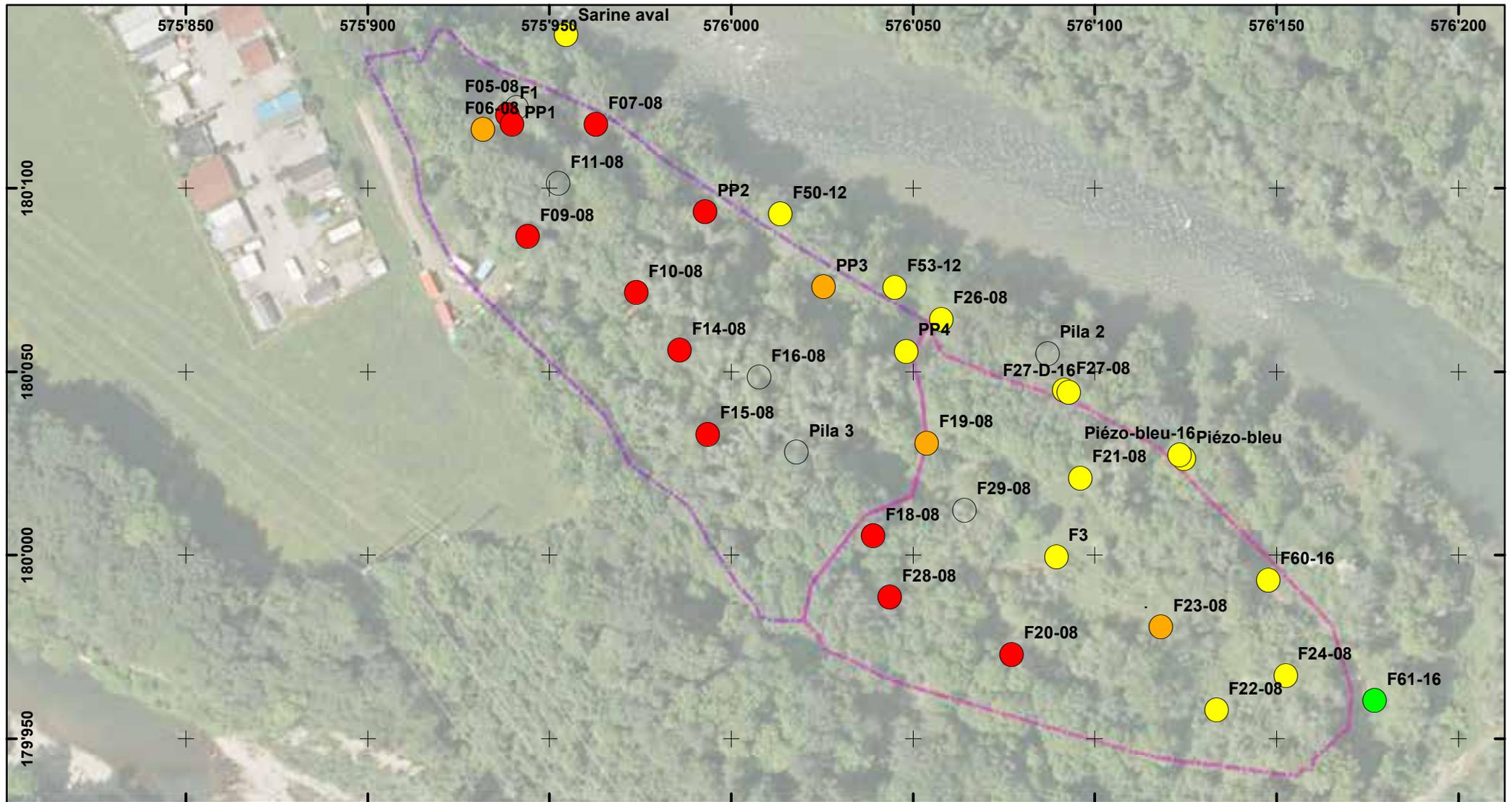
- Dépassement de 10x valeur conc. pour les PCB

**Eaux souterraines. Campagne août 2016**

Teneurs en PCB (4,3\*somme 6 PCB)

- < LQ (0.002 microg/l)
- 0.002-0.1 microg/l
- 0.1-1.0 microg/l
- > 1 microg/l





**Site contaminé La Pila. Commune de Hauterive**

**Campagne d'échantillonnage des eaux souterraines  
du mois d'août 2016. Teneurs en ammonium**

**CSDINGENIEURS+**

Umwelt  
Geologie und Geotechnik  
Ingenieurwesen  
Abfall und Altlasten  
Wasser

Chantemerle 37 - Granges-Paccot  
CP 384 - 1701 Fribourg  
Tel. 026 460 74 74  
Fax. 026 460 74 79  
fribourg@csd.ch  
www.csd.ch

Dessin franh	Mandat N° FR2706.917
Date: 25.06.2017	Masstab 1:1'500
Format A4	

**Ammonium [mg/l]**

- Non échantillonné
- < LQ (0.01)
- 0.01 - 0.50
- 0.51 - 5.00
- > 5 (5 mg/l correspond à 10x la valeur OSites)

**Périmètre du site contaminé La Pila**

- ▭ Zone haute
- ▭ Zone basse



## **Annexe 3.3.3 – 3a**

### **Fiches d'échantillonnage des eaux souterraines durant la crue**

## PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES

N° et nom Projet	FR2706.916.600
Bureau d'étude, responsable	CSD Ingénieurs SA, Chantemerle 37 Granges-Paccot, 1701 Fribourg
Maître d'ouvrage	Consortium la Pila

Contexte général de l'échantillonnage	
Date / heure échantillonnage	
Conditions météorologiques	
Laboratoire d'analyse	EMAP/Wessling SA
Transport des échantillons	transport par Poste/Wessling SA
Stockage des échantillons	Date :                      Livraison des échantillons, Date:

Données générales sur le point d'eau		Piezomètre / Sondage	
Nom / N° point d'eau	F21-08	Coordonnées	576096.1 180021.07
Lieu / commune		<i>Référence pour niveaux d'eau</i>	
Type	Piézo/forage	Cote terrain	578.425
		Cote tube de protection	579.375
		Différence [m]	
		Tube aveugle [m]	dp.terrain
Type sondage	carotté	Tube crépiné [m]	dp.terrain 10.2-14.0
		Tube aveugle [m]	dp.terrain
Type tubage	PE	Tube crépiné [m]	dp.terrain
		Dépotoire	dp.terrain
Diamètre int. tubage (")	4.5	Remarques	

Echantillonnage		Purge	
<b>NOM ECHANTILLON</b>			
Type de pompe	12 Volts Inox	Volume colonne d'eau [l]	
		Purge théor. de 3x volume [l]	40
		Purge réalisée [l]	
Tuyau, matériel	Teflon	Niveau statique (réf.)	13.72 74.50 → fond pompe
Prélèvement	par pompage	Profondeur moy. pompe [m]	dp.terrain 14.30
		Débit moyen [l/min]	

### Programme d'analyse

Laboratoire Wessling: analyse selon annexe 1 OSites, respectant directive OFEV

Ammonium	1 flacon PE 1l	congélateur
----------	----------------	-------------

### Laboratoire EMPA

PCB 7 congénères	1 flacons en verre 2.5l	au frais
Réserve	2 flacons en verre 1l	au frais
	1 flacons en PE 1l	congélateur

**SONDAGE** E21-08

**NOM ECHANTILLON**

Date, heure : \_\_\_\_\_

Niveau statique : \_\_\_\_\_

Date	Heure	Préi (oui/non)	Niveau s/pt réf. [m]	m s (dp. référence)					O2 [mg/l]	Remarque
				Débit [l/min]	Vol. pompé	T° [°C]	K (25°C) [µS/cm]	pH		
13.09	10h15	non	13.9		31	12.6	1045			Remarque → 12.5 sur pompe très trouble " " eau presque claire légèrement trouble 73% 73% 43% gms 47% 46% très trouble mais trouble gris/bleu légèrement trouble clair que trouble plus clair
	10h21	non		2						
	10h23									
	10h27									
	10h33		14.22			12.6	1022			
	10h37			1.5		12.5	1012			
	10h45					12.4	980			
	10h53					12.8	1007			
	10h55	oui (0)				13.1	1005			
14.09	15:27		13.85			14.6	992			
	15:33					15.3	1004	3.28		
	15:36					14.6	1003	3.68		
	15:40		14.02			14.3	970	4.15		
	15:43		14.05			13.4	980	4.5		
	15:46					13.1	981	4.6		
	15:49	oui (1)				13.2	977	4.47		
14.09	21:10		13.12	1 l/min		11.9	830			
	21:18					12.9	1004			
	21:20					12.2	948			
	21:23					12	985			
	21:30	oui (2)				11.9	934			
11.00	3:22			0		12.87	856			
	3:25			2	12.1	977				
	3:26					11.5	966			
	3:27						978			
	3:27						966			
	3:27						978			
10/	3:35	oui (3)				11.4	932	7.07	4.43 (44.2%) trouble	

purge

Remarque

→ 12.5 sur pompe  
très trouble

" "  
eau presque claire  
légèrement trouble

73%

73%

43% gms

47%

46%

très trouble

mais trouble

gris/bleu

légèrement trouble

clair

que trouble

plus clair

trouble

SONDAGE		NUM. LIQUIDEUR									
Date, heure				m/s (dp. référence)							
Niveau (station)											
Date	Heure	Prof. (m/Zero)	Niveau Apt. est. (m)	Débit (l/mn)	Vol. pompe (l)	T° (°C)	K (25°C) (µS/cm)	pH	O <sub>2</sub> (mg/l)	Remarques (Dirh., conduct., odeur, etc.)	
1971	14h00	...	1.20	...	...	...	...	...	...	...	
1971	14h15	...	1.25	...	...	...	...	...	...	...	
1971	14h30	...	1.30	...	...	...	...	...	...	...	
1971	14h45	...	1.35	...	...	...	...	...	...	...	
1971	15h00	...	1.40	...	...	...	...	...	...	...	
1971	15h15	...	1.45	...	...	...	...	...	...	...	
1971	15h30	...	1.50	...	...	...	...	...	...	...	
1971	15h45	...	1.55	...	...	...	...	...	...	...	
1971	16h00	...	1.60	...	...	...	...	...	...	...	
1971	16h15	...	1.65	...	...	...	...	...	...	...	
1971	16h30	...	1.70	...	...	...	...	...	...	...	
1971	16h45	...	1.75	...	...	...	...	...	...	...	
1971	17h00	...	1.80	...	...	...	...	...	...	...	
1971	17h15	...	1.85	...	...	...	...	...	...	...	
1971	17h30	...	1.90	...	...	...	...	...	...	...	
1971	17h45	...	1.95	...	...	...	...	...	...	...	
1971	18h00	...	2.00	...	...	...	...	...	...	...	
1971	18h15	...	2.05	...	...	...	...	...	...	...	
1971	18h30	...	2.10	...	...	...	...	...	...	...	
1971	18h45	...	2.15	...	...	...	...	...	...	...	
1971	19h00	...	2.20	...	...	...	...	...	...	...	
1971	19h15	...	2.25	...	...	...	...	...	...	...	
1971	19h30	...	2.30	...	...	...	...	...	...	...	
1971	19h45	...	2.35	...	...	...	...	...	...	...	
1971	20h00	...	2.40	...	...	...	...	...	...	...	

(Vitesse) 0.1  
1.5  
2.0  
2.5

Dirh. 1.0



SONDAGE  
NOM : CHANTIERON

12400

Date, heure :

Niveau statistique :

m/s (dp. 1000m/s)

Date	Heure	Prof (total/total)	Niveau statistique (m)	Velocité (m/s)	Vel. groupée (m)	T (°C)	K (2°/°C) (m/s/m)	dp	Cl. (log/l)	Remarques (Bath., couleur, niveau, etc.)
10/01/00			15.10							
	10:00			6.5		10.0	1.0			
	10:05			"		10.0	1.0			
	10:10			"		10.0	1.0			
	10:15			"		10.0	1.0			
	10:20			"		10.0	1.0			
	10:25			"		10.0	1.0			
10/01/00	16:02	15.10	15.10			10.0	1.0			
10/01/00			15.10			10.0	1.0			
						10.0	1.0			
	17:11					10.0	1.0			
	17:15					10.0	1.0			
	17:20	10	15.10			10.0	1.0			



**PROTOCOLE D'ECHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES**

N° et nom Projet	FR2706.916.600
Bureau d'étude, responsable	CSD Ingénieurs SA, Chantemerle 37 Granges-Paccot, 1701 Fribourg
Maître d'ouvrage	Consortium la Pila

**Contexte général de l'échantillonnage**

Date / heure échantillonnage	
Conditions météorologiques	
Laboratoire d'analyse	EMAP/Wessling SA
Transport des échantillons	transport par Poste/Wessling SA
Stockage des échantillons	Date : <span style="float:right">Livraison des échantillons, Date:</span>

Données générales sur le point d'eau		Piezomètre / Sondage	
Nom / N° point d'eau	F23-08	Coordonnées	576118.2 179980.5
Lieu / commune		<i>Référence pour niveaux d'eau</i>	
Type	Piézo/forage	Cote terrain	579.76
		Cote tube de protection	578.84
		Différence [m]	
		Tube aveugle [m]	dp.terrain
Type sondage	carotté	Tube crépiné [m]	10.5-14.5
		Tube aveugle [m]	dp.terrain
Type tubage	PE	Tube crépiné [m]	dp.terrain
		Dépotoire	dp.terrain
Diamètre int. tubage (")	4.5	Remarques	

Echantillonnage		Purge	
<b>NOM ECHANTILLON</b>			
Type de pompe	12 Volts Inox	Volume colonne d'eau [l]	
		Purge théor. de 3x volume [l]	50
		Purge réalisée [l]	
Tuyau, matériel	Teflon	Niveau statique (réf.)	14.05
Prélèvement	par pompage	Profondeur moy. pompe [m]	dp.terrain 15.00
		Débit moyen [l/min]	

fond 15.30  
capteur passif à 15m

**Programme d'analyse**

Laboratoire Wessling: analyse selon annexe 1 OSites, respectant directive OFEV

Ammonium	1 flacon PE 1l	congélateur
----------	----------------	-------------

**Laboratoire EMPA**

PCB 7 congénères	1 flacons en verre 2.5l	au frais
------------------	-------------------------	----------

Réserve	2 flacons en verre 1l	au frais
	1 flacons en PE 1l	congélateur

Pompe A (avec tuyau B) → cassée  
Pompe Réserve (avec tuyau B)

*[Handwritten scribbles]*

SONDAGE *E-23-09*  
 NOM ECHANTILLON

Date, heure :  
 Niveau statique :

Date	Heure	Prél (oui/non)	Niveau s\pt réf. [m]	m s (dp. référence)					
				Débit [l/min]	Vol. pompé	T° [°C]	K (25°C) [µS/cm]	pH	O2 [mg/l]
<i>13-09-13.00</i>	<i>13:02</i>		<i>14.60</i>	<i>0.9</i>	<i>6.5</i>				
<i>14.09</i>	<i>14:03</i>				<i>1.0</i>	<i>17.0</i>	<i>1373</i>		
	<i>14:12</i>			<i>2.0</i>		<i>15.9</i>	<i>2015</i>		
	<i>14:15</i>					<i>15.0</i>	<i>2016</i>		
	<i>14:23</i>					<i>14.7</i>	<i>1505</i>		
	<i>14:25</i>					<i>15.0</i>	<i>1506</i>		
	<i>14:30</i>					<i>15.4</i>	<i>1551</i>		
	<i>14:38</i>					<i>15.1</i>	<i>1505</i>		
	<i>14:44</i>					<i>15.2</i>	<i>1492</i>		
	<i>14:45</i>					<i>16.2</i>	<i>2000</i>		
	<i>14:45</i>					<i>15.2</i>	<i>2000</i>		
	<i>14:53</i>					<i>15.0</i>	<i>2000</i>		
<i>14.09</i>	<i>14h30</i>		<i>14.05</i>			<i>13.9</i>	<i>1600</i>		
<i>14.09</i>	<i>14:27</i>		<i>13.82</i>	<i>0.9</i>		<i>13.2</i>	<i>1504</i>		
	<i>14:57</i>					<i>13.9</i>	<i>2000</i>		
	<i>14:58</i>		<i>13.98</i>			<i>13.0</i>	<i>2000</i>		
<i>14.09</i>	<i>21:10</i>	<i>NO9(2)</i>	<i>13.13</i>	<i>noirâtre (MUS)</i>	<i>0.5 mls</i>	<i>12.9</i>	<i>1885</i>	<i>→ 100 éch.</i>	<i>→ 18415</i>
						<i>12.9</i>	<i>1885</i>	<i>→ 100 éch.</i>	<i>→ 18415</i>
<i>15.09</i>	<i>3:47</i>	<i>NO9(3)</i>	<i>13.07</i>			<i>14.7</i>	<i>1610</i>	<i>→ 100 éch.</i>	<i>→ 18415</i>
						<i>14.7</i>	<i>1610</i>	<i>→ 100 éch.</i>	<i>→ 18415</i>
						<i>14.7</i>	<i>1610</i>	<i>→ 100 éch.</i>	<i>→ 18415</i>

*troupeau  
 → piazon sec*

*→ 100 éch.  
 → 18415*

*→ 100 éch.  
 → 18415*

*→ 100 éch.  
 → 18415*

*9.5  
 9.38  
 9.39 (4) 13.18 14.4 1610 3.87  
 2.4*

*échantillon*



1950

10

1950

1950

1950

1950

1950

1950

1950

1950

1950

1950

1950

SONDAGE

NOM L'ÉCHANTILLON

Date, heure

Niveau technique

ms (resp. référence)

Date	Heure	Prof (m)	Niveau (m) ref.	Qualif (g/min)	Vol. (ml)	γ (%)	K (g/cm³)	ρ <sub>1000</sub> (g/cm³)	D <sub>10</sub> (mm)	Remarques (saib., couleur, odeur, etc.)
11/10/74	10.10		10.10		1	100	1.00	1.20		
	10.15				1	100	1.00	1.20		
	10.20				1	100	1.00	1.20		
	10.25				1	100	1.00	1.20		
	10.30				1	100	1.00	1.20		
	10.35				1	100	1.00	1.20		
11/10/74	10.40	10.40	10.40		2	100	1.00	1.20		
	10.45				1	100	1.00	1.20		
11/10/74	10.50				1	100	1.00	1.20		
	10.55				1	100	1.00	1.20		
	11.00				1	100	1.00	1.20		
	11.05	11.05	11.05		1	100	1.00	1.20		
11/10/74	11.10				1	100	1.00	1.20		
	11.15				1	100	1.00	1.20		
11/10/74	11.20				1	100	1.00	1.20		
	11.25				1	100	1.00	1.20		
	11.30				1	100	1.00	1.20		
	11.35				1	100	1.00	1.20		
11/10/74	11.40				1	100	1.00	1.20		
	11.45				1	100	1.00	1.20		
11/10/74	11.50	11.50	11.50		1	100	1.00	1.20		
	11.55				1	100	1.00	1.20		



## PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES

N° et nom Projet	FR2706.916.600
Bureau d'étude, responsable	CSD Ingénieurs SA, Chantemerle 37 Granges-Paccot, 1701 Fribourg
Maître d'ouvrage	Consortium la Pila

### Contexte général de l'échantillonnage

Date / heure échantillonnage	
Conditions météorologiques	
Laboratoire d'analyse	EMAP/Wessling SA
Transport des échantillons	transport par Poste/Wessling SA
Stockage des échantillons	Date :                      Livraison des échantillons. Date:

Données générales sur le point d'eau		Piezomètre / Sondage	
Nom / N° point d'eau	<b>F27-08</b>	Coordonnées	576091.6 180045.11
Lieu / commune		<i>Référence pour niveaux d'eau</i>	
Type	Piézo/forage	Cote terrain	569.31
Type sondage	carotté	Cote tube de protection	570.02
Type tubage	PE	Différence [m]	
Diamètre int. tubage (")	4.5	Tube aveugle [m]	dp.terrain
		Tube crépiné [m]	dp.terrain 3.2-5.1
		Tube aveugle [m]	dp.terrain
		Tube crépiné [m]	dp.terrain
		Dépotoire	dp.terrain
		Remarques	

Echantillonnage		Purge	
<b>NOM ECHANTILLON</b>			
Type de pompe	12 Volts Inox	Volume colonne d'eau [l]	
		Purge théor. de 3x volume [l]	
		Purge réalisée [l]	
Tuyau, matériel	Teflon	Niveau statique (réf.)	4.68 5.50
Prélèvement	par pompage	Profondeur moy. pompe [m]	dp.terrain 5.0m
		Débit moyen [l/min]	

*And pompe 5*

### Programme d'analyse

Laboratoire Wessling: analyse selon annexe 1 OSites, respectant directive OFEV

Ammonium	1 flacon PE 1l	congélateur
----------	----------------	-------------

### Laboratoire EMPA

PCB 7 congénères	1 flacons en verre 2.5l	au frais
------------------	-------------------------	----------

Réserve	2 flacons en verre 1l	au frais
	1 flacons en PE 1l	congélateur

SONDAGE				F23 - CR					
NOM ECHANTILLON									
Date, heure :				m s (dp. référence)					
Niveau statique :									
Date	Heure	Prél (oui/non)	Niveau s/pt réf. [m]	Débit [l/min]	Vol. pompé	T° [°C]	K (25°C) [µS/cm]	pH	O2 [mg/l]
14-09	12:01		3.59	0		12.2	754		
	12:04					13.2	757		
	12:06					13.2	757		
	12:08					13.2	757		
14-09	10:11		3.69	0		12.1	694		
	10:10			0.2		13.6	754	rouge	clair
	10:12					13.1	758	"	"
	10:15	Oui (2)		2		12.9	757	7.33	6.60 (8.7%) dair
15-09	4:00		3.81	0			582	sonde	(149)
	4:02			2		13.2	753		
	4:03						709		
	4:05					12.5	681		
	4:06						672		
	4:14					12.9	659		
	4:17	Oui (3)		2		12.9	659	7.1	5.10 52.4%
15-09	11:17		4.07	2					
	11:19					14.3	674		
	11:21					12.5	686		
	11:23					13.7	689		
	11:26					13.5	694		
	11:28	Oui				13.4	678		

15.09  
à 4.20 Sarine 389 µS / 15.8 °C | Multiparamètre CSD

777-08

**SONDAGE**

**NOM ECHANTILLON**

Date, heure :

Niveau statique :

m s (dp. référence)

Date	Heure	Prél (oui/non)	Niveau s/pt réf. (m)	Débit (l/min)	Vol. pompé (l)	T° (°C)	K (25°C) (µS/cm)	pH	O <sub>2</sub> (mg/l)	Remarques (turb., couleur, odeur, etc.)
			4.10							clair
15.09	16:35	2				14.4	716			"
	3:57	2				14.0	717			"
	3:58	//				14.2	723			"
	4:03	//				14.7	731			"
	4:06	(5)	4.1							
16.09	16:50		4.35	1.850		13.3	756			clair
	16:52					13.1	762			
	16:54					13.3	763			
	10:57	6	4.35							CH4/V
16.09	19:00		4.40	0		12.9	765			clair
	19:01			2			763			
	19:04						765			
	19:06	(17)				12.6	766			
17.09.16	10:24	-	4.51				12.5	809		clair
	10:27	-			1-2		12.5	806		"
	10:29	-			"		12.5	806		"
	10:32						12.7	807		clair
17.09	10:35	(8)	4.65	11	15		12.7	807		

100







**PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES**

N° et nom Projet	FR2706.916.600
Bureau d'étude, responsable	CSD Ingénieurs SA, Chantemerle 37 Granges-Paccot. 1701 Fribourg
Maître d'ouvrage	Consortium la Pila

**Contexte général de l'échantillonnage**

Date / heure échantillonnage		
Conditions météorologiques		
Laboratoire d'analyse	EMAP/Wessling SA	
Transport des échantillons	transport par Poste/Wessling SA	
Stockage des échantillons	Date :	Livraison des échantillons, Date:

Données générales sur le point d'eau		Piezomètre / Sondage			
Nom / N° point d'eau	<b>F61-16</b>	Coordonnées		576176.9	179960.44
Lieu / commune		<i>Référence pour niveaux d'eau</i>			
Type	Piézo/forage	Cote terrain		570.42	
		Cote tube de protection		570.27	
		Différence [m]			
		Tube aveugle [m]	dp.terrain		
Type sondage	0.00 m.s.m	Tube crépiné [m]	dp.terrain	3.5-5.5	
		Tube aveugle [m]	dp.terrain		
Type tubage	PE	Tube crépiné [m]	dp.terrain		
		Dépotoire	dp.terrain		
Diamètre int. tubage (")	4.5	Remarques			

Echantillonnage		Purge	
<b>NOM ECHANTILLON</b>			
Type de pompe	12 Volts Inox	Volume colonne d'eau [l]	
		Purge théor. de 3x volume [l]	
		Purge réalisée [l]	
Tuyau, matériel	Teflon	Niveau statique (réf.)	4.49 6.50
Prélèvement	par pompage	Profondeur moy. pompe [m]	dp.terrain 5.30
		Débit moyen [l/min]	

and piém

**Programme d'analyse**

Laboratoire Wessling: analyse selon annexe 1 OSites, respectant directive OFEV

Ammonium	1 flacon PE 1l	congélateur
----------	----------------	-------------

**Laboratoire EMPA**

PCB 7 congénères	1 flacons en verre 2.5l	au frais
------------------	-------------------------	----------

Réserve	2 flacons en verre 1l	au frais
	1 flacons en PE 1l	congélateur

SONDAGE <b>F01-16</b>	
NOM ECHANTILLON	

Date, heure :  
Niveau statique :

Date	Heure	Prél (oui/non)	Niveau s/pt réf. [m]	m s (dp. référence)					
				Débit [l/min]	Vol. pompé	T° [°C]	K (25°C) [µS/cm]	pH	O2 [mg/l]
13.09.16	15:55		4.47	0.25					
	16:08					16.6	385		
Purge à faire le 14.09									
14.09.	13:09	-	4.4						
14.09	16:09		3.37						
	16:12		3.32	0					
	16:14		3.31			18.3	413		78%
	16:16		3.30			18.3	413		81%
	16:18		3.2			18.3	413		81%
Prélevé	16:21	oui (3)	3.27			14.6			82%
16.09	20:55		3.24	0		14.6	430		sonde chyl
	22:58			1		14.2	473		sonde mil
	23:09					13.9	484		
	23:02					13.9	482		
	23:05	oui (2)	3.28	1		18.9	479	7.61	7.30 (16%)
18.09	9:50		3.63	0			382		sonde (100%)
	9:51			1		14.1	453		
	9:52					16.2	481		
	9:53					15.4	421		
	9:59					15.6	429		
02.1	10:26	oui (3)	3.89			15.6	428	7.62	7.63 (83.2%) trouble
	10:38			1		14.8	450		7.48
	10:41					15	442		7.41
	10:44					15.4	480		7.51
	10:46	oui (4)				15.5	429		7.58

SONDAGE				F61-16						
NOM ECHANTILLON										
Date, heure :				m s (dp. référence)						
Niveau statique :										
Date	Heure	Prél (oui/non)	Niveau s\pt réf. (m)	Débit (l/min)	Vol. pompé (l)	T° (°C)	K (25°C) (µS/cm)	pH	O <sub>2</sub> (mg/l)	Remarques (turb., couleur, odeur, etc.)
15.09.16	15 <sup>03</sup>		3,26							
	15 <sup>06</sup>	-		1-2		14,9	505		6,7	clair
	15 <sup>10</sup>	-		"		15,4	470		7,27	"
	15 <sup>13</sup>	-		"		15,7	444		7,66	"
	15 <sup>15</sup>	-		"		15,3	441		7,74	"
	15 <sup>18</sup>	-		"		15,5	447		7,66	"
	15 <sup>19</sup>	oui(5)	3,29			15,6	454		7,6	"
16.09.2016	9:54		4,23	0						
	9:55	-		2		14	421		7,46	sableuse
	10,01	-		"		14,1	471		7,6	"
	10,05	-		"		14,2	500		7,74	leg. sableuse
	10,09	-	4,23	"		14,3	523		7,72	"
	10,10	-		"		14,3	545		7,84	
	10,14	-				14,4	556		7,48	clair
12.09.16	10,16	(6)	4,24			14,3	563		7,33	clair
16.09	19:30									clair
	19:42					13,9	630			
	19:43					14	640			
	18:48	(7)				14,2	646		7,62	



**SONDAGE**  
**NOM ET CHANTILLON**

*12121*

Date, heure :

Niveau stratigraphique :

m x (sp. référence)

Date	Heure	Prof (cm/m)	Niveau strat. (m)	(pH)	Vol. (ml)	T° (°C)	K (25°C) (pH/cm)	pH	Ca (mg/l)	Remarques (color, odeur, etc.)
<i>11/01</i>	<i>11h00</i>		<i>12121</i>							
	<i>11h15</i>									
	<i>11h30</i>									
	<i>11h45</i>									
	<i>12h00</i>									
	<i>12h15</i>									
	<i>12h30</i>									
	<i>12h45</i>									
	<i>13h00</i>									
	<i>13h15</i>									
	<i>13h30</i>									
	<i>13h45</i>									
	<i>14h00</i>									
	<i>14h15</i>									
	<i>14h30</i>									
	<i>14h45</i>									
	<i>15h00</i>									
	<i>15h15</i>									
	<i>15h30</i>									
	<i>15h45</i>									
	<i>16h00</i>									
	<i>16h15</i>									
	<i>16h30</i>									
	<i>16h45</i>									
	<i>17h00</i>									
	<i>17h15</i>									
	<i>17h30</i>									
	<i>17h45</i>									
	<i>18h00</i>									
	<i>18h15</i>									
	<i>18h30</i>									
	<i>18h45</i>									
	<i>19h00</i>									
	<i>19h15</i>									
	<i>19h30</i>									
	<i>19h45</i>									
	<i>20h00</i>									
	<i>20h15</i>									
	<i>20h30</i>									
	<i>20h45</i>									
	<i>21h00</i>									
	<i>21h15</i>									
	<i>21h30</i>									
	<i>21h45</i>									
	<i>22h00</i>									
	<i>22h15</i>									
	<i>22h30</i>									
	<i>22h45</i>									
	<i>23h00</i>									
	<i>23h15</i>									
	<i>23h30</i>									
	<i>23h45</i>									
	<i>00h00</i>									
	<i>00h15</i>									
	<i>00h30</i>									
	<i>00h45</i>									
	<i>01h00</i>									
	<i>01h15</i>									
	<i>01h30</i>									
	<i>01h45</i>									
	<i>02h00</i>									
	<i>02h15</i>									
	<i>02h30</i>									
	<i>02h45</i>									
	<i>03h00</i>									
	<i>03h15</i>									
	<i>03h30</i>									
	<i>03h45</i>									
	<i>04h00</i>									
	<i>04h15</i>									
	<i>04h30</i>									
	<i>04h45</i>									
	<i>05h00</i>									
	<i>05h15</i>									
	<i>05h30</i>									
	<i>05h45</i>									
	<i>06h00</i>									
	<i>06h15</i>									
	<i>06h30</i>									
	<i>06h45</i>									
	<i>07h00</i>									
	<i>07h15</i>									
	<i>07h30</i>									
	<i>07h45</i>									
	<i>08h00</i>									
	<i>08h15</i>									
	<i>08h30</i>									
	<i>08h45</i>									
	<i>09h00</i>									
	<i>09h15</i>									
	<i>09h30</i>									
	<i>09h45</i>									
	<i>10h00</i>									
	<i>10h15</i>									
	<i>10h30</i>									
	<i>10h45</i>									
	<i>11h00</i>									
	<i>11h15</i>									
	<i>11h30</i>									
	<i>11h45</i>									
	<i>12h00</i>									

*WCA*

*12121*



## PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES

N° et nom Projet	FR2706.916.600
Bureau d'étude, responsable	CSD Ingénieurs SA, Chantemerle 37 Granges-Paccot. 1701 Fribourg
Maître d'ouvrage	Consortium la Pila

<b>Contexte général de l'échantillonnage</b>	
Date / heure échantillonnage	
Conditions météorologiques	
Laboratoire d'analyse	EMAP/Wessling SA
Transport des échantillons	transport par Poste/Wessling SA
Stockage des échantillons	Date :                      Livraison des échantillons. Date:

<b>Données générales sur le point d'eau</b>		<b>Piezomètre / Sondage</b>	
Nom / N° point d'eau	<b>Piezo-bleu-D-16</b>	Coordonnées	576123.4    180027.3
Lieu / commune		<i>Référence pour niveaux d'eau</i>	
Type	Piézo/forage	Cote terrain	569.28
Type sondage	0.00 m.s.m	Cote tube de protection	570.12
Type tubage	PE	Différence [m]	
Diamètre int. tubage (")	4.5	Tube aveugle [m]	dp.terrain
		Tube crépiné [m]	dp.terrain    2-5
		Tube aveugle " [m]	dp.terrain
		Tube crépiné [m]	dp.terrain
		Dépotoire	dp.terrain
		Remarques	

<b>Echantillonnage</b>		<b>Purge</b>	
<b>NOM ECHANTILLON</b>			
Type de pompe	12 Volts Inox	Volume colonne d'eau [l]	
		Purge théor. de 3x volume [l]	
		Purge réalisée [l]	
Tuyau, matériel	Teflon	Niveau statique (réf.)	4.64
Prélèvement	par pompage	Profondeur moy. pompe [m]	dp.terrain    5
		Débit moyen [l/min]	

4.64  
5  
6.5m

### Programme d'analyse

Laboratoire Wessling: analyse selon annexe 1 OSites, respectant directive OFEV

Ammonium	1 flacon PE 1l	congélateur
----------	----------------	-------------

### Laboratoire EMPA

PCB 7 congénères	1 flacons en verre 2.5l	au frais
------------------	-------------------------	----------

Réserve	2 flacons en verre 1l	au frais
	1 flacons en PE 1l	congélateur

SONDAGE				Fiezo bleu - 16					
NOM ECHANTILLON									
Date, heure :				m s (dp. référence)					
Niveau statique :									
Date	Heure	Prél (oui/non)	Niveau s/pt réf. [m]	Débit [l/min]	Vol. pompé	T° [°C]	K (25°C) [µS/cm]	pH	O2 [mg/l]
13.07.11	7h23			6		13.8	192		
	7h36					12.7	138		
	7h48					12.2	72.7		
	7h58					12.1	72.3		
	8h05	oui (6)				12.4	72.7	7.65	5.71 / 58%
14.07	7h39		3.33	1		13.4	172		3.0
	7h49		3.52	2.2		12.7	100		4.0
	7h55		3.57			13.0	102		
	8h00	oui (7)				12.2	120		
14.09	10h30		3.33	0		12.2	606	sonde	CH45
	10h32			21.5		12.5	633		
	10h34					12.1	665		
	10h35						662		
	10h36	oui (8)				12.5	664	7.37	8.41 (65.5%) clair
15.09	4h30		3.57	0	0		610	sonde	sonde CH45
	4h31			2		12.3	665		
	4h32					12.2	666		
	4h33					12.2	668		
	4h35	oui (3)		2		12.3	665	7.19	7.66 mg/l (77.5%) clair
15.9	10h59		3.74	6		13.3	639		
	11h04					12.7	632		
	11h06	oui (4)				12.1	658		

troupe C - 2000



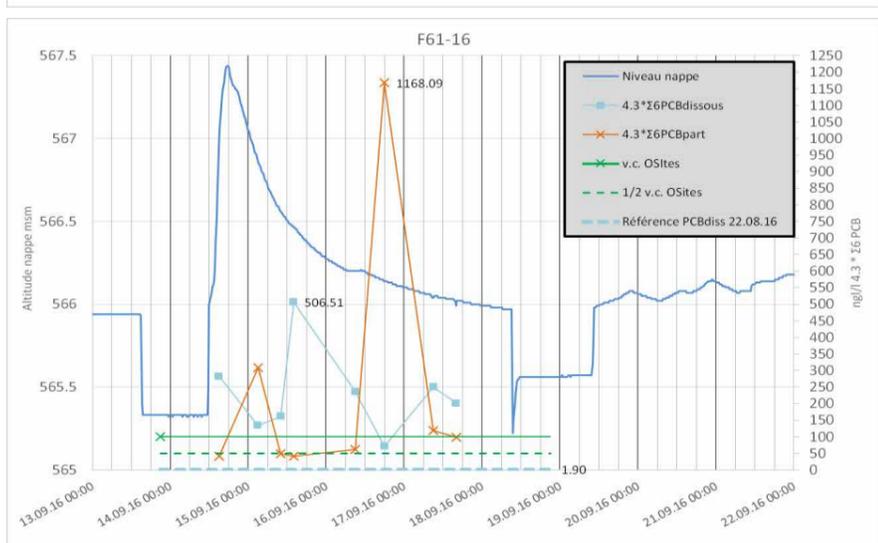
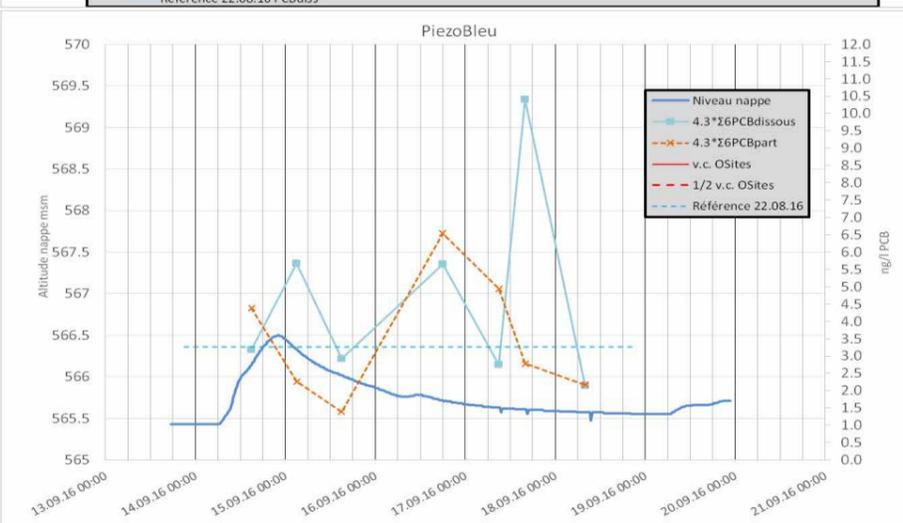
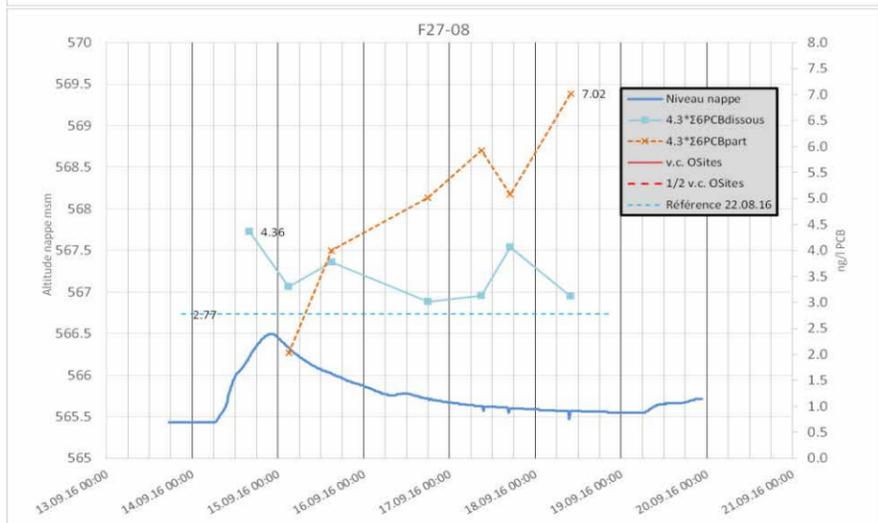
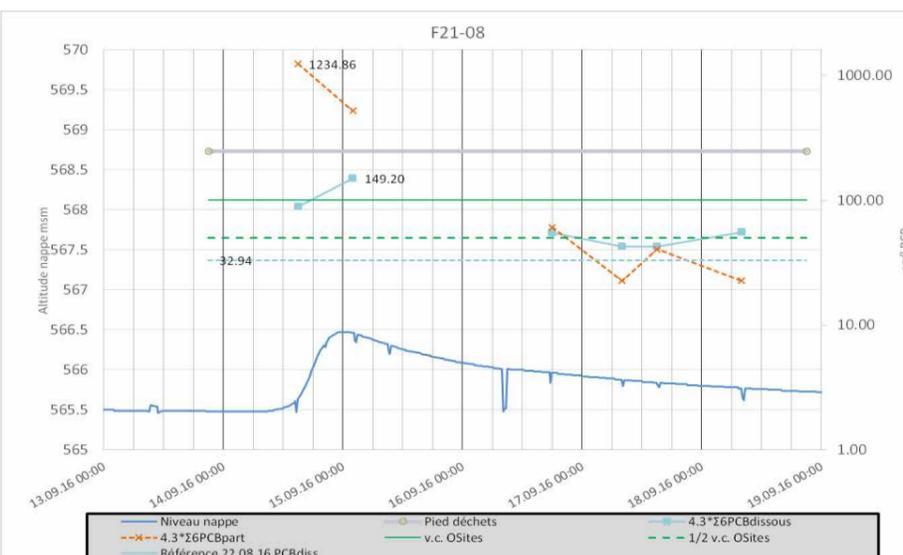
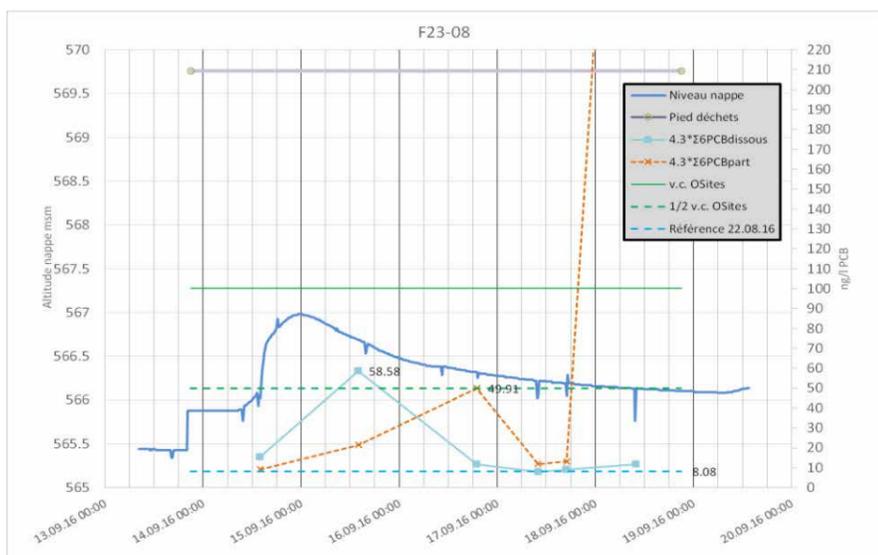
Handwritten text at the top of the page, possibly a title or header, written in a cursive script. The text is partially obscured by a horizontal line and appears to be written in brown ink on aged paper.





**Annexe 3.3.3 – 3b**

**Graphiques PCB dissous et particulaires durant la crue**



**Annexe 3.3.3 – 3c**

**Résultats d'analyses Wessling  
Campagne d'échantillonnage des eaux souterraines  
durant la crue**

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Alexandra Fröhlich  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-03878-16  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 05.09.2016**

## Rapport no. ULS16-004761-1

### Pila - mesures complémentaires FR2706.916.600 Hauterive FR



S SCHWEIZERISCHER PRÜFSTELLENDIENST  
T SERVICE SUISSE D'ESSAI  
S SERVIZIO DI PROVA IN SVIZZERA  
S SWISS TESTING SERVICE

ISO/IEC 17025:2005 - STS Nr. 092

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS16-004761-1  
Lyss, le 05.09.2016

Désignation d'échantillon N° d'échantillon	Unité	LQ	Blanc-C-CC 16-134842-02	Blanc-S-CC 16-134842-03	Blanc-R-CC 16-134842-04	Blanc-B-CC 16-134842-05
---	-------	----	----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------

**Substances organiques moyennement et peu volatiles**

*PCB (7 congénères)*

PCB n° 28	µg/l E/L	0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,049
PCB n° 52	µg/l E/L	0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,4
PCB n° 101	µg/l E/L	0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,14
PCB n° 118	µg/l E/L	0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,051
PCB n° 153	µg/l E/L	0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,025
PCB n° 138	µg/l E/L	0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,028
PCB n° 180	µg/l E/L	0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0
<b>Somme des 7 PCB</b>	<b>µg/l E/L</b>		-/-	-/-	-/-	<b>0,69</b>
<b>Somme des 6 PCB (x4,3)</b>	<b>µg/l E/L</b>		-/-	-/-	-/-	<b>2,7</b>
<b>Somme des 6 PCB</b>	<b>µg/l E/L</b>		-/-	-/-	-/-	<b>0,64</b>

Rapport no. ULS16-004761-1  
Lyss, le 05.09.2016

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-134842-02	16-134842-03	16-134842-04	16-134842-05
Date de réception:	26.08.2016	26.08.2016	26.08.2016	26.08.2016
<b>Désignation</b>	<b>Blanc-C-CC</b>	<b>Blanc-S-CC</b>	<b>Blanc-R-CC</b>	<b>Blanc-B-CC</b>
Type d'échantillons:	Eau souterraine	Eau souterraine	Eau souterraine	Eau souterraine
Prélèvement:	22.08.2016	22.08.2016	22.08.2016	22.08.2016
Prélèvement par:	CSD INGENIEURS	CSD INGENIEURS	CSD INGENIEURS	CSD INGENIEURS
Début des analyses:	26.08.2016	26.08.2016	26.08.2016	26.08.2016
Fin des analyses:	05.09.2016	05.09.2016	05.09.2016	05.09.2016

## Méthodes

### Paramètres

PCB sur eau / lixiviat

### Norme

DIN EN ISO 6468

### Laboratoire

Umweltanalytik Altenberge (D)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Monsieur Sébastien Paratte  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-04250-16  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 26.09.2016**

## Rapport no. ULS16-005194-1

### Décharge de la Pila FR2706.916



S SCHWEIZERISCHER PRÜFSTELLENDIENST  
T SERVICE SUISSE D'ESSAI  
S SERVIZIO DI PROVA IN SVIZZERA  
S SWISS TESTING SERVICE

ISO/IEC 17025:2005 - STS Nr. 092

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS16-005194-1  
Lyss, le 26.09.2016

Désignation d'échantillon			Piezo-bleu-D-16- 1	F61-16-1	F27-08-1	F23-08-1	F21-08-1
N° d'échantillon	Unité	LQ	16-146914-01	16-146914-02	16-146914-03	16-146914-04	16-146914-05

Cations, anions et éléments non métalliques

*Ammonium selon OFEV E-1*

Ammonium (NH <sub>4</sub> )	mg/l E/L	0,01	0,03	0,02	0,02	0,36	0,02
-----------------------------	----------	------	------	------	------	------	------

Rapport no. ULS16-005194-1  
Lyss, le 26.09.2016

Désignation d'échantillon			Piezo-bleu-D-16-3	F61-16-3	F27-08-3	F21-08-3	Piezo-bleu-D-16-5
N° d'échantillon	Unité	LQ	16-146914-06	16-146914-07	16-146914-08	16-146914-09	16-146914-10

Cations, anions et éléments non métalliques

*Ammonium selon OFEV E-1*

Ammonium (NH <sub>4</sub> )	mg/l E/L	0,01	0,04	0,02	0,01	0,02	0,02
-----------------------------	----------	------	------	------	------	------	------

Rapport no. ULS16-005194-1  
Lyss, le 26.09.2016

Désignation d'échantillon			F61-16-5	F27-08-5	F23-08-5
N° d'échantillon	Unité	LQ	16-146914-11	16-146914-12	16-146914-13

Cations, anions et éléments non métalliques

*Ammonium selon OFEV E-1*

Ammonium (NH <sub>4</sub> )	mg/l E/L	0,01	0,02	0,02	1,1
-----------------------------	----------	------	------	------	-----

Rapport no. ULS16-005194-1  
Lyss, le 26.09.2016

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-146914-01	16-146914-02	16-146914-03	16-146914-04	16-146914-05
Date de réception:	16.09.2016	16.09.2016	16.09.2016	16.09.2016	16.09.2016
Désignation	<b>Piezo-bleu-D-16-1</b>	<b>F61-16-1</b>	<b>F27-08-1</b>	<b>F23-08-1</b>	<b>F21-08-1</b>
Type d'échantillons:	Eau souterraine	Eau souterraine	Eau souterraine	Eau souterraine	Eau souterraine
Prélèvement par:	CSD SA	CSD SA	CSD SA	CSD SA	CSD SA
Début des analyses:	16.09.2016	16.09.2016	16.09.2016	16.09.2016	16.09.2016
Fin des analyses:	26.09.2016	26.09.2016	26.09.2016	26.09.2016	26.09.2016
Echantillon-n°	16-146914-06	16-146914-07	16-146914-08	16-146914-09	16-146914-10
Date de réception:	16.09.2016	16.09.2016	16.09.2016	16.09.2016	16.09.2016
Désignation	<b>Piezo-bleu-D-16-3</b>	<b>F61-16-3</b>	<b>F27-08-3</b>	<b>F21-08-3</b>	<b>Piezo-bleu-D-16-5</b>
Type d'échantillons:	Eau souterraine	Eau souterraine	Eau souterraine	Eau souterraine	Eau souterraine
Prélèvement par:	CSD SA	CSD SA	CSD SA	CSD SA	CSD SA
Début des analyses:	16.09.2016	16.09.2016	16.09.2016	16.09.2016	16.09.2016
Fin des analyses:	26.09.2016	26.09.2016	26.09.2016	26.09.2016	26.09.2016
Echantillon-n°	16-146914-11	16-146914-12	16-146914-13		
Date de réception:	16.09.2016	16.09.2016	16.09.2016		
Désignation	<b>F61-16-5</b>	<b>F27-08-5</b>	<b>F23-08-5</b>		
Type d'échantillons:	Eau souterraine	Eau souterraine	Eau souterraine		
Prélèvement par:	CSD SA	CSD SA	CSD SA		
Début des analyses:	16.09.2016	16.09.2016	16.09.2016		
Fin des analyses:	26.09.2016	26.09.2016	26.09.2016		

## Méthodes

**Paramètres**  
Ammonium sur eau / lixiviat

**Norme**  
DIN 38406 E5-1<sup>A</sup>

**Laboratoire**  
Laboratorien Lyss CH (CH)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE  
CSD INGENIEURS SA  
Monsieur Sébastien Paratte  
Chantemerle 37 - Granges Paccot  
1701 Fribourg

Commande n°.: ULS-04278-16  
Interlocuteur: I. Lehning  
Ligne directe: +41 32 387 67 56  
E-Mail: Isabelle.Lehning@wessling.ch

**Lyss, le 30.09.2016**

## Rapport no. ULS16-005317-1

### Décharge de la Pila, Hauterive (FR)



S SCHWEIZERISCHER PRÜFSTELLENDIENST  
T SERVICE SUISSE D'ESSAI  
S SERVIZIO DI PROVA IN SVIZZERA  
S SWISS TESTING SERVICE

ISO/IEC 17025:2005 - STS Nr. 092

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS16-005317-1  
Lyss, le 30.09.2016

Désignation d'échantillon			Piezo-bleu-D-16 - 7	F61-16 - 7	F27-08 - 7	F23-08 - 7	F21-08 - 7
N° d'échantillon	Unité	LQ	16-148125-01	16-148125-02	16-148125-03	16-148125-04	16-148125-05

**Kationen, Anionen und Nichtmetalle**

***Ammonium nach BAFU W-1***

Ammonium (NH <sub>4</sub> )	mg/l W/E	0.01	0.01	<0,01	0.01	1.7	0.01
-----------------------------	----------	------	------	-------	------	-----	------

Rapport no. ULS16-005317-1  
Lyss, le 30.09.2016

Désignation d'échantillon			Piezo-bleu-D-16 - 8	F61-16 - 8	F27-08 - 8	F23-08 - 8	F21-08 - 8
N° d'échantillon	Unité	LQ	16-148125-06	16-148125-07	16-148125-08	16-148125-09	16-148125-10

**Kationen, Anionen und Nichtmetalle**

***Ammonium nach BAFU W-1***

Ammonium (NH <sub>4</sub> )	mg/l W/E	0.01	0.01	0.01	0.01	1.6	0.01
-----------------------------	----------	------	------	------	------	-----	------

Rapport no. ULS16-005317-1  
Lyss, le 30.09.2016

Désignation d'échantillon			Piezo-bleu-D-16 - g	F61-16 - 9	F27-08 - 9	F23-08 - 9	F21-08 - 9
N° d'échantillon	Unité	LQ	16-148125-11	16-148125-12	16-148125-13	16-148125-14	16-148125-15

**Kationen, Anionen und Nichtmetalle**

***Ammonium nach BAFU W-1***

Ammonium (NH <sub>4</sub> )	mg/l W/E	0.01	0.01	0.01	0.01	1.7	0.01
-----------------------------	----------	------	------	------	------	-----	------

Rapport no. ULS16-005317-1  
Lyss, le 30.09.2016

Désignation d'échantillon			Piezo-bleu-D-16 - 10	F27-08 - 10	F23-08 - 10	F21-08 - 10
N° d'échantillon	Unité	LQ	16-148125-16	16-148125-17	16-148125-18	16-148125-19

**Kationen, Anionen und Nichtmetalle**

***Ammonium nach BAFU W-1***

Ammonium (NH <sub>4</sub> )	mg/l W/E	0.01	0.01	0.01	1.4	0.02
-----------------------------	----------	------	------	------	-----	------

Rapport no. ULS16-005317-1  
Lyss, le 30.09.2016

## Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	16-148125-01	16-148125-02	16-148125-03	16-148125-04	16-148125-05
Date de réception:	19.09.2016	19.09.2016	19.09.2016	19.09.2016	19.09.2016
<b>Désignation</b>	<b>Piezo-bleu-D-16 - 7</b>	<b>F61-16 - 7</b>	<b>F27-08 - 7</b>	<b>F23-08 - 7</b>	<b>F21-08 - 7</b>
Type d'échantillons:	Eau souterraine	Eau souterraine	Eau souterraine	Eau souterraine	Eau souterraine
Prélèvement:	16.09.2016	16.09.2016	16.09.2016	16.09.2016	16.09.2016
Prélèvement par:	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg
Début des analyses:	19.09.2016	19.09.2016	19.09.2016	19.09.2016	19.09.2016
Fin des analyses:	30.09.2016	30.09.2016	30.09.2016	30.09.2016	30.09.2016
Echantillon-n°	16-148125-06	16-148125-07	16-148125-08	16-148125-09	16-148125-10
Date de réception:	19.09.2016	19.09.2016	19.09.2016	19.09.2016	19.09.2016
<b>Désignation</b>	<b>Piezo-bleu-D-16 - 8</b>	<b>F61-16 - 8</b>	<b>F27-08 - 8</b>	<b>F23-08 - 8</b>	<b>F21-08 - 8</b>
Type d'échantillons:	Eau souterraine	Eau souterraine	Eau souterraine	Eau souterraine	Eau souterraine
Prélèvement:	17.09.2016	17.09.2016	17.09.2016	16.09.2016	17.09.2016
Prélèvement par:	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg
Début des analyses:	19.09.2016	19.09.2016	19.09.2016	19.09.2016	19.09.2016
Fin des analyses:	30.09.2016	30.09.2016	30.09.2016	30.09.2016	30.09.2016
Echantillon-n°	16-148125-11	16-148125-12	16-148125-13	16-148125-14	16-148125-15
Date de réception:	19.09.2016	19.09.2016	19.09.2016	19.09.2016	19.09.2016
<b>Désignation</b>	<b>Piezo-bleu-D-16 - 9</b>	<b>F61-16 - 9</b>	<b>F27-08 - 9</b>	<b>F23-08 - 9</b>	<b>F21-08 - 9</b>
Type d'échantillons:	Eau souterraine	Eau souterraine	Eau souterraine	Eau souterraine	Eau souterraine
Prélèvement:	17.09.2016	17.09.2016	17.09.2016	17.09.2016	17.09.2016
Prélèvement par:	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg
Début des analyses:	19.09.2016	19.09.2016	19.09.2016	19.09.2016	19.09.2016
Fin des analyses:	30.09.2016	30.09.2016	30.09.2016	30.09.2016	30.09.2016
Echantillon-n°	16-148125-16	16-148125-17	16-148125-18	16-148125-19	
Date de réception:	19.09.2016	19.09.2016	19.09.2016	19.09.2016	
<b>Désignation</b>	<b>Piezo-bleu-D-16 - 10</b>	<b>F27-08 - 10</b>	<b>F23-08 - 10</b>	<b>F21-08 - 10</b>	
Type d'échantillons:	Eau souterraine	Eau souterraine	Eau souterraine	Eau souterraine	
Prélèvement:	18.09.2016	18.09.2016	18.09.2016	18.09.2016	
Prélèvement par:	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg	CSD Fribourg	
Début des analyses:	19.09.2016	19.09.2016	19.09.2016	19.09.2016	
Fin des analyses:	30.09.2016	30.09.2016	30.09.2016	30.09.2016	

## Méthodes

**Paramètres**  
Ammonium sur eau / lixiviat

**Norme**  
DIN 38406 E5-1<sup>A</sup>

**Laboratoire**  
Laboratoire Lyss CH (CH)

MB = matière brute  
MS = matière sèche  
LQ = limite de quantification  
E/L = eau / lixiviat

---

Heinrich Kalt  
Directeur, Dr. rer. nat

**Annexe 3.3.3 – 3d**

**Résultat EMPA**

**Campagne d'échantillonnage des eaux souterraines  
durant la crue**

Frau Alexandra Fröhlicher  
CSD Ingenieurs SA  
Chantemerle 37 – Granges-Paccot  
Case postale 384  
CH-1701 Fribourg

## Empa-Prüfbericht 5214013674

<b>Prüfauftrag:</b>	<b>Bestimmung von Indikator-PCB in Wasser-, Grundwasser- und Passivsammlerproben</b>
Prüfobjekte:	Grundwasserproben aus der Deponie La Pila Wasserproben aus der Saane und Gérine Passivsammlerproben aus der Deponie La Pila
Kundenreferenz:	Alexandra Fröhlicher
Ihr Auftrag vom:	2016
Eingang der Prüfobjekte:	26. August bis 30. September 2016
Ausführung der Prüfung:	2. September bis 17. Oktober 2016
Anzahl Seiten:	- 30 -
Bemerkungen:	Die Resultate wurden als Exceldatei dem Auftraggeber übermittelt
Beilagen:	Rechnung

Wir forschen und prüfen für Sie

---

Dübendorf, 18. Oktober 2016

Prüfleiter:

M. Zennegg

Abteilungsleiter  
Advanced Analytical Technologies

Dr. D. Bleiner

## 1 Prüfobjekte

Die in den Tabellen 1 bis 4 aufgeführten Wasserproben wurden der Empa, Abteilung Advanced Analytical Technologies, per Post zugestellt

Tabelle 1: Prüfobjekte angeliefert am 26.08.2016

Probenbezeichnung:	Probenart:	Datum Probenahme:	Uprobttes Wasservolumen:
F10-08	Grundwasser La Pila	25.08.16	5 x 2.5l Glasflasche
F27-D16	Grundwasser La Pila	24.08.16	2 x 1l Glasflasche
Plazo Bleu	Grundwasser La Pila	24.08.16	2 x 1L Glasflasche
F61-16	Grundwasser La Pila	22.08.16	2 x 1l Glasflasche
F23-08	Grundwasser La Pila	24.08.16	2 x 1L Glasflasche
F21-08	Grundwasser La Pila	22.08.16	2 x 1L Glasflasche

Tabelle 2: Prüfobjekte angeliefert am 16.09.2016

Probenbezeichnung:	Probenart:	Datum Probenahme:	Uprobttes Wasservolumen:
Pont Hauterive - 2	Wasser der Saane	14.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
Pascerolle Gémme - 2	Wasser der Saane	14.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
Pont Péroilles - 2	Wasser der Saane	14.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
Pont Hauterive - 4	Wasser der Saane	14.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
Pascerolle Gémme - 4	Wasser der Saane	14.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
Pont Péroilles - 4	Wasser der Saane	14.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
Pont Hauterive - 6	Wasser der Saane	14.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
Pascerolle Gémme - 6	Wasser der Saane	14.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
Pont Péroilles - 6	Wasser der Saane	15.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
Pont Hauterive - 8	Wasser der Saane	15.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
Pascerolle Gémme - 8	Wasser der Saane	15.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
Pont Péroilles - 8	Wasser der Saane	15.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
Plazo-bleu-D-16 - 1	Grundwasser La Pila	14.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
F61-16 - 1	Grundwasser La Pila	14.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
F27-08 - 1	Grundwasser La Pila	14.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
F23-08 - 1	Grundwasser La Pila	14.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
F21-08 - 1	Grundwasser La Pila	14.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
Plazo-bleu-D-16 - 3	Grundwasser La Pila	15.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
F61-16 - 3	Grundwasser La Pila	15.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
F27-08 - 3	Grundwasser La Pila	15.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
F23-08 - 3	Grundwasser La Pila	15.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
F21-08 - 3	Grundwasser La Pila	15.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche

Tabella 3: Prüfobjekte eingehend am 21.09.2016

Probenbezeichnung:	Probenart:	Datum Probenahme:	Probetes Wasservolumen:
Ploze-bluu-D-16 - 7	Grundwasser La Pila	16.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
F61-16 - 7	Grundwasser La Pila	16.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
F27-08 - 7	Grundwasser La Pila	16.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
F23-08 - 7	Grundwasser La Pila	16.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
F21-08 - 7	Grundwasser La Pila	16.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
Ploze-bluu D 16 - 8	Grundwasser La Pila	17.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
F61-16 - 8	Grundwasser La Pila	17.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
F27-08 - 8	Grundwasser La Pila	17.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
F23-08 - 8	Grundwasser La Pila	17.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
F21-08 - 8	Grundwasser La Pila	17.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
Ploze-bluu D 16 - 9	Grundwasser La Pila	17.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
F61-16 - 9	Grundwasser La Pila	17.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
F27-08 - 9	Grundwasser La Pila	17.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
F23-08 - 9	Grundwasser La Pila	17.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
F21-08 - 9	Grundwasser La Pila	17.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
Ploze-bluu-D-16 - 10	Grundwasser La Pila	18.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
F61-16 - 10	Grundwasser La Pila	18.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
F23-08 - 10	Grundwasser La Pila	18.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
F21-08 - 10	Grundwasser La Pila	18.09.16	1 x 2.5 l Glasflasche
Passerelle G6rino Composito 2	Composito Tr6b- stoffe	14.09.16	Plastikfassol mit Schlamm

Tabella 4: Prüfobjekte eingehend am 29.09.2016

Probenbezeichnung	Probenart	Datum Probenahme	
Ploze-bluu-D-16	Grundwasser La Pila	27.09.16	1 x Passivsammler
F61-16	Grundwasser La Pila	27.09.16	1 x Passivsammler
F27-08	Grundwasser La Pila	27.09.16	1 x Passivsammler
F23-08	Grundwasser La Pila	27.09.16	1 x Passivsammler
F21-08	Grundwasser La Pila	27.09.16	1 x Passivsammler

## 2 Prüfverfahren

### 2.1 Prüfverfahren für PCB Wasserproben (gelöste Phase)

Die Wasserproben wurden durch einen vorgewogenen Glasfaserfilter (0.45 µm RC55) filtriert. Der Filter mit den partikulären Rückständen wurde bei Raumtemperatur im Exsikkator über Nuchl getrocknet (bis Gewichtskonstanz).

Das klare Filtrat wurde mit einer Mischung von 10 <sup>13</sup>C<sub>12</sub> isotopenmarkierten PCB (Cambridge Isotope Laboratories) versetzt und gut geschüttelt.

Das Wasser wurde anschliessend mittels einer Pumpe durch eine vorkonditionierte SPE Kartusche (Phenomenex 500 mg Strata-XL 100µ Polymer: Reversed Phase) gesogen. Der Volumestrom lag bei ca. 5 ml/min.

Die Kartusche wurde anschliessend durch Applikation von Vakuum kurz getrocknet (exakt 30 s). Danach erfolgte die Elution der PCB durch spülen der SPE Kartusche mit 6 ml. n-Hexan (Tropfgeschwindigkeit).

Das Eluentmittel wurde unter Begasung mit Stickstoff bei Raumtemperatur bis auf ca. 30 µl reduziert. Anschliessend wurden die Extrakte mit dem Recoverystandard (<sup>13</sup>C<sub>12</sub> PCB 70) zur Bestimmung der Wiederfindungsrate versetzt.

Die quantitative Analyse der polychlorierten Biphenyle wurde mittels Gaschromatographie-Massenspektrometrie durchgeführt (HRGC/HRMS). Die Quantifizierung erfolgte durch Vergleich mit den Isotopenmarkierten Standards (Isotopenverdünnungsanalyse).

### 2.2 Prüfverfahren für PCB Wasserproben (partikuläre Phase)

Der Filter mit dem Rückstandem wurde nach dem Trocknen gewogen und die Partikelmasse bestimmt.

Nach Zugabe einer Mischung von 10 <sup>13</sup>C<sub>12</sub> isotopenmarkierten PCB (Cambridge Isotope Laboratories) wurde der Filter mit n-Hexan für 6 Stunden in einer Soxhletapparatur extrahiert (Minisoxhlet mit schnellem Extraktionszyklus).

Nach beendeter Extraktion wurde der Extrakt bis auf ca. 0.5 ml. am Rotationsverdampfer bei 40 – 50°C eingedunstet (Vakuum 300 mbar).

Nach quantitativem Transfer in 0.5 mL Mini Vials wurde unter Stickstoffbegasung bei Raumtemperatur das Volumen bis auf ca. 30 µl. reduziert.

Die mesoxhletierten Probeextrakte wurden mit dem Recoverystandard (<sup>13</sup>C<sub>12</sub> PCB 70) zur Bestimmung der Wiederfindungsrate versetzt.

Die quantitative Analyse der polychlorierten Biphenyle wurde mittels Gaschromatographie-Massenspektrometrie durchgeführt (HRGC/HRMS). Die Quantifizierung erfolgte durch Vergleich mit den Isotopenmarkierten Standards (Isotopenverdünnungsanalyse).

### 2.3 Prüfverfahren für PCB in PDMS Passivsammlern

Die PDMS Passivsammler wurden nach Zugabe einer Mischung von 10 <sup>13</sup>C<sub>12</sub>-isotopenmarkierten PCB (Cambridge Isotope Laboratories) mit Methanol während 16 Stunden basis extrahiert (Soxhletextraktion).

Anschliessend wurde das Lösemittel am Rotationsverdampfer bei 50°C und 300 mbar bis auf ca. 0.5 ml. eingedunstet.

Die praktisch farblosen bis leicht grünen Extrakte wurden quantitativ, durch mehrmaliges Nachspülen mit 1 bis 2 ml. n-Hexan, in ein 10 ml. Savant Zentrifugenglas überführt.

Nach Verdünnung mit Reinstwasser im Verhältnis 1:1 wurde auf einem Vortexmixer kräftig geschüttelt und dreimal mit n-Hexan extrahiert. Zur besseren Phasentrennung wurde die Suspension für einige Minuten bei 5'000 rpm zentrifugiert.

Die klar überstehende n-Hexanphase wurde vorsichtig in einem 10 mL Spitzkolben abpipettiert und das Volumen am Rotationsverdampfer bei 50°C und 300 mbar bis auf ca. 0.5 mL reduziert.

Der vorgereinigte n-Hexanextrakt wurde chromatographisch an 0.8 µg aktiviertem Kieselsigel gereinigt (Mini Kleinsäulente). Die Elution erfolgte mit 10 ml. n-Hexan.

Das Lösemittel wurde am Rotationsverdampfer bei 50°C und 300 mbar bis auf ca. 0,5 mL eingedunstet.

Nach quantitativem Transfer in 0,5 mL Mini Vials wurde unter Stickstoffbeugung bei Raumtemperatur das Volumen bis auf ca. 30 µL reduziert.

Die nitrosubstituierten Polychlorierten Biphenyle wurden mit dem Referenzstandard (<sup>13</sup>C<sub>12</sub>-PCB 70) zur Bestimmung der Wiederfindungsrate versetzt.

Die quantitative Analyse der polychlorierten Biphenyle wurde mittels Gaschromatographie/Massenspektrometrie durchgeführt (HRGC/HRMS). Die Quantifizierung erfolgte durch Vergleich mit den isotonenmarkierten Standards (Isotopenverdünnungsanalyse).

## 2.4 Referenzmaterialien

Kalibrationsstandard: Mischung der PCB 77, 81, 105, 114, 118, 123, 126, 156, 157, 167, 169, 189 (C W110 01, Accu Standards Inc.)  
 Mischung der PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180 (AE 00059, Accu Standards Inc.)

Wiederfindungsstandard: <sup>13</sup>C<sub>12</sub>-PCB 70 (LC-4914, Cambridge Isotope Laboratories)

Interner Standard: Mischung der <sup>13</sup>C<sub>12</sub>-isotopenmarkierten PCB 77, 81, 105, 114, 118, 123, 126, 156, 157, 167, 169, 180 (EC 4937, Cambridge Isotope Laboratories)  
 Mischung der <sup>13</sup>C<sub>12</sub>-isotopenmarkierten PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180 (LC 4058, Cambridge Isotope Laboratories)

## 2.5 Prüfmittel

Gaschromatograph: Thermo Finnigan Trace GC Ultra mit Thermo Scientific TriPlus Autosampler  
 Kapillarsäule: 25m x 0.22 mm, 50E HT8, Filmdicke 0.25 µm  
 Massenspektrometer: doppelfokussierendes Massenspektrometer Finnigan MAT 95, ausgestattet mit Systemsteuerungs- und Applikationssoftware Xcalibur 1.4.

## 2.6 Prüfbedingungen

Traggas: Helium, 100 kPa  
 Injektion: 3 µL splitless  
 Temperaturprogramm: 100 °C (1 min), 20 °C min<sup>-1</sup> bis 200 °C, 5 °C min<sup>-1</sup> bis 300 °C  
 Quellentemperatur: 220 °C  
 Ionisierung: Elektronenstoss (EI), Detektion der positiven Ionen  
 Elektronenenergie: 70 eV  
 Massenauflösung: m/Au = 8'000 (10 % T<sub>01</sub>)  
 Frazionendetektion: Es wurden jeweils die m/z Werte der beiden häufigsten Isotopenkombinationen der nativen und <sup>13</sup>C<sub>12</sub> markierten PCB im Molekularioncluster registriert (siehe Tabelle 2).

Tabelle 5: Defekteste Massen der nativen und <sup>13</sup>C<sub>12</sub> markierten PCB

PCB	nativ		<sup>13</sup> C <sub>12</sub> -labeliert	
	m/z	m/z	m/z	m/z
TuCB	255.9613	257.9583	268.0021	269.9991
TetraCB	289.9223	291.9148	301.9626	303.9597
PentaCB	325.8806	327.8776	337.9207	339.9178
HexaCB	359.8416	361.8386	371.8817	373.8789
HeptaCB	393.8025	395.7996	405.8428	407.8398

### 3 Resultate

Die Resultate in den folgenden Tabellen wurden auf zwei signifikante Stellen gerundet. Die Summenwerte wurden erst nach der Berechnung auf zwei signifikante Stellen gerundet.

Tabelle 6: i-PCB in der Grundwasserprobe F19-08.

Externe Bez.:	Piezo F19-08 25.08.2016 gelöst	Piezo F19-08 25.08.2016 partikulär	Piezo F19-08 Summe aus gelöst und partikulär	Piezo F19-08 25.08.2016 unfiltriert flüssig- flüssig-Extraktion
Interne Bez:	22916 ng/L	23816 ng/L	22916+23816 ng/L	23016 ng/L
<b>PCB 28</b>	3.1	0.93	4.1	5.1
<b>PCB 52</b>	5.1	1.2	6.3	7.6
<b>PCB 101</b>	1.1	1.0	2.1	2.5
<b>PCB 118</b>	0.67	1.6	2.2	2.6
<b>PCB 138</b>	0.18	0.40	0.58	0.63
<b>PCB 153</b>	0.24	0.41	0.65	0.73
<b>PCB 180</b>	0.050	0.16	0.21	0.20
<b>Summe 6:</b>	<b>9.8</b>	<b>4.2</b>	<b>14</b>	<b>17</b>
<b>Summe 7:</b>	<b>10</b>	<b>5.7</b>	<b>16</b>	<b>19</b>
Partikelmasse nach Filtration 0.45 µm in g in Klammern das fil- trierte Wasservolumen:		0.0456 (10L)		
SPE Kartusche nach Filtration 0.45 µm.	45.6 mg grau bis dunkelgraue Partikel auf dem Filter (extra- hiziert im Soxhlet mit n- Hexan). Diese stam- men von 10 Liter Wasser. Also nur 4.56 mg/L.	Summe der SPE Kartu- sche (gelöst) und der extrahierten Partikel auf dem Filter (partikulär).	Flüssig-flüssig-Extraktion von 2.5 Liter der 12.5 Liter Mischprobe (unfiltriert). 3x mit 100 mL Dichlormethan und 1x mit 200 mL n- Hexan. Erfasst gelöst und partikulär gebundene PCB.	

Tabelle 7: : i-PCB in der Grundwasserprobe F19-08 vom 25.08.16 und Blindwert für partikuläre Methode

Externe Bez.:	Piezo F19-08 partikulär 25.08.2016	Blindwert 1 Soxhletextraktion Filter nur zum Vergleich mit F19-08 partikulär	Blindwert 2 Soxhletextraktion Filter nur zum Vergleich mit F19-08 partikulär	Blindwert 1 Soxhletextraktion Filter nur zum Vergleich mit F19-08 partikulär	Blindwert 2 Soxhletextraktion Filter nur zum Vergleich mit F19-08 partikulär
Interne Bez.:	23816	23616	23716	23616	23716
	ng/g	ng/L	ng/L	ng/g	ng/g
PCB 28	200	0.056	0.035	12	7.7
PCB 52	270	0.11	0.073	25	16
PCB 101	230	0.084	0.070	18	15
PCB 118	340	0.017	0.022	3.8	4.8
PCB 138	88	0.013	0.015	2.8	3.3
PCB 153	89	0.020	0.024	4.3	5.2
PCB 180	35	0.0031	0.0043	0.69	0.94
<b>Summe 6:</b>	<b>910</b>	<b>0.29</b>	<b>0.22</b>	<b>63</b>	<b>48</b>
<b>Summe 7:</b>	<b>1300</b>	<b>0.31</b>	<b>0.24</b>	<b>67</b>	<b>53</b>
	Für ein Gramm Partikel wären rund 220 Liter Wasser von F19-08 am 25.08.2016 nötig gewesen.	Methodenblindwert für die Soxhletextraktion von 0.45 µm Filtern mit 25 mL n-Hexan. Berechnet auf ein Probenvolumen von 10 Liter.	Methodenblindwert für die Soxhletextraktion von 0.45 µm Filtern mit 25 mL n-Hexan. Berechnet auf ein Probenvolumen von 10 Liter.	Methodenblindwert für die Soxhletextraktion von 0.45 µm Filtern mit 25 mL n-Hexan. Berechnet auf eine Probenmenge von 45.6 mg Partikel.	Methodenblindwert für die Soxhletextraktion von 0.45 µm Filtern mit 25 mL n-Hexan. Berechnet auf eine Probenmenge von 45.6 mg Partikel.

Tabelle 8: i-PCB in den Grundwasserproben vom 22.08. bis zum 24.08.16

Externe Bez.:	Piezo F61-16 22.08.2016 gelöst	Piezo F21-08 22.08.2016 gelöst	Piezo Bleu 24.08.2016 gelöst	Piezo F23-08 24.08.2016 gelöst	Piezo F27-16 24.08.2016 gelöst
Interne Bez:	23116	23216	23316	23416	23516
	ng/L	ng/L	ng/L	ng/g	ng/g
PCB 28	0.037	1.2	0.065	0.24	0.063
PCB 52	0.12	4.5	0.24	1.0	0.25
PCB 101	0.13	1.3	0.21	0.29	0.14
PCB 118	0.069	0.50	0.13	0.14	0.072
PCB 138	0.055	0.22	0.087	0.11	0.071
PCB 153	0.082	0.34	0.12	0.17	0.094
PCB 180	0.022	0.053	0.026	0.033	0.027
<b>Summe 6:</b>	<b>0.44</b>	<b>7.7</b>	<b>0.76</b>	<b>1.9</b>	<b>0.64</b>
<b>Summe 7:</b>	<b>0.51</b>	<b>8.2</b>	<b>0.89</b>	<b>2.0</b>	<b>0.72</b>
Partikelmas- se nach Filtration 0,45 µm in g in Klammern das filtrierte Wasservolu- men:	0.0069 (2.2L)	0.0619 (2.1L)	0.0039 (2.1L)	0.0149 (2.2L)	Keine Partikel auswägbar (2.1L)
	SPE Kartusche nach Filtration 0,45 µm. Auf dem Filter nur ein geringer hellgelb-beiger Belag.	SPE Kartusche nach Filtration 0,45 µm. Auf dem Filter waren deutlich mehr Partikel sichtbar (dunkelgrau).	SPE Kartusche nach Filtration 0,45 µm. Auf dem Filter waren praktisch keine Partikel sicht- bar nur ein leicht hellgrauer Belag.	SPE Kartusche nach Filtration 0,45 µm. Auf dem Filter waren geringe Mengen hellbraun- beige Partikel sicht- bar.	SPE Kartusche nach Filtration 0,45 µm. Auf dem Filter war nur ein Hauch einer hellgrauen Schicht sichtbar.

Tabelle 9: i-PCB in den Wasserproben Pont Hauterive (gelöst) in ng/L.

Externe Bez.:	Pont Hauterive – 2 gelöst	Pont Hauterive – 4 gelöst	Pont Hauterive – 6 gelöst	Pont Hauterive – 8 gelöst
Datum Probe- nahme:	14.09.2016	14.09.2016	14.09.2016	15.09.2016
Interne Bez:	29516g ng/L	29316g ng/L	28816g ng/L	28716g ng/L
PCB 28	0.065	0.056	0.20	0.14
PCB 52	0.095	0.13	0.52	0.24
PCB 101	0.088	0.14	0.35	0.13
PCB 118	0.047	0.072	0.23	0.06
PCB 138	0.047	0.061	0.13	0.07
PCB 153	0.060	0.10	0.19	0.10
PCB 180	0.022	0.047	0.056	0.026
<b>Summe 6:</b>	<b>0.38</b>	<b>0.54</b>	<b>1.4</b>	<b>0.71</b>
<b>Summe 7:</b>	<b>0.42</b>	<b>0.61</b>	<b>1.7</b>	<b>0.77</b>
Σ7 Faktor Abstand zu Blindwert:	1.0	2.2	6.0	2.8

Tabelle 10: i-PCB in den Wasserproben Pont Hauterive (partikulär) in ng/L.

Externe Bez.:	Pont Hauterive – 2 partikulär	Pont Hauterive – 4 partikulär	Pont Hauterive – 6 partikulär	Pont Hauterive – 8 partikulär
Datum Probe- nahme:	14.09.2016	14.09.2016	14.09.2016	15.09.2016
Interne Bez:	29516p ng/L	29316p ng/L	28816p ng/L	28716p ng/L
PCB 28	0.12	0.12	0.19	0.087
PCB 52	0.13	0.16	0.19	0.092
PCB 101	0.17	0.26	0.53	0.080
PCB 118	0.098	0.26	0.29	0.036
PCB 138	0.24	0.48	0.41	0.037
PCB 153	0.16	0.30	0.62	0.071
PCB 180	0.077	0.15	0.11	0.013
<b>Summe 6:</b>	<b>0.89</b>	<b>1.5</b>	<b>2.1</b>	<b>0.38</b>
<b>Summe 7:</b>	<b>0.98</b>	<b>1.7</b>	<b>2.3</b>	<b>0.42</b>
Σ7 Faktor Abstand zu Blindwert:	2.3	4.1	5.5	1.0
Partikelmasse gesamt [g]:	0.5249	0.5201	0.1745	0.0363
Volumen gesamt [L]:	2.784	2.862	2.813	2.830
Partikel/Liter:	0.1885	0.1817	0.0620	0.013
Bemerkungen:	F1 hellbeiger Belag F2 grauer Belag	F1 hellbeiger Belag F2 grauer Belag	F1 gelblich F2 brauner Belag	F1 gelblich F2 brauner Belag
	Rot < 0.5 x Blindwert	Orange 2.5 – 5 x Blindwert	Grün > 5 x Blindwert	

Der Methodenblindwert für gelöste und partikulär gebundene PCB ist nicht identisch, er hängt von der verwendeten Methode ab.

Tabelle 11: i-PCB in den Wasserproben Pont Hauterive (partikulär) in ng/g.

Externe Bez.:	Pont Hauterive – 2 partikulär	Pont Hauterive – 4 partikulär	Pont Hauterive – 6 partikulär	Pont Hauterive – 8 partikulär
Datum Probe- nahme:	14.09.2016	14.09.2016	14.09.2016	15.09.2016
Interne Bez:	29516p	29316p	28816p	28716p
	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g
PCB 28	0.65	0.66	3.0	6.8
PCB 52	0.67	0.91	3.1	7.2
PCB 101	0.88	1.4	8.5	6.2
PCB 118	0.52	1.4	4.7	2.8
PCB 138	1.3	2.6	6.5	2.9
PCB 153	0.84	1.7	10	5.5
PCB 180	0.41	0.81	1.9	1.0
<b>Summe 6:</b>	<b>4.7</b>	<b>8.1</b>	<b>33</b>	<b>30</b>
<b>Summe 7:</b>	<b>5.2</b>	<b>9.5</b>	<b>38</b>	<b>32</b>
Σ7 Faktor Abstand zu Blindwert:	<b>2.3</b>	<b>4.1</b>	<b>5.5</b>	<b>1.0</b>
Partikelmasse gesamt [g]:	0.5249	0.5201	0.1745	0.0363
Volumen gesamt [L]:	2.784	2.862	2.813	2.830
Partikel/Liter:	0.1885	0.1817	0.0620	0.013
Bemerkungen:	F1 hellbeiger Belag F2 grauer Belag	F1 hellbeiger Belag F2 grauer Belag	F1 gelblich F2 brauner Belag	F1 gelblich F2 brauner Belag
	Rot > 2.5 x Blindwert	Orange 2.5 – 5 x Blindwert	Grün > 5 x Blindwert	

Der Methodenblindwert für gelöste und partikulär gebundene PCB ist nicht identisch, er hängt von der verwendeten Methode ab.

Tabelle 12: i-PCB in den Wasserproben Passerelle Gérine (gelöst) in ng/L.

	Passerelle Gérine – 2	Passerelle Gérine – 3	Passerelle Gérine – 4	Passerelle Gérine – 6	Passerelle Gérine – 8
Externe Bez.:	gelöst	gelöst	gelöst	gelöst	gelöst
Datum Probe- nahme:	14.09.2016	14.09.2016	14.09.2016	15.09.2016	15.09.2016
Interne Bez:	29416g	27716g	29216g	29016g	28616g
	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L
PCB 28	0.11	0.15	0.045	0.42	0.14
PCB 52	0.27	0.12	0.062	0.14	0.29
PCB 101	0.22	0.12	0.063	0.13	0.35
PCB 118	0.11	0.062	0.043	0.10	0.38
PCB 138	0.055	0.060	0.052	0.087	0.15
PCB 153	0.084	0.081	0.061	0.12	0.25
PCB 180	0.013	0.031	0.026	0.042	0.022
<b>Summe 6:</b>	<b>0.76</b>	<b>0.56</b>	<b>0.31</b>	<b>0.94</b>	<b>1.2</b>
<b>Summe 7:</b>	<b>0.87</b>	<b>0.62</b>	<b>0.35</b>	<b>1.0</b>	<b>1.6</b>
Σ7 Faktor Abstand zu Blindwert:	3.1	2.2	1.3	3.7	5.7

Tabelle 13: i-PCB in den Wasserproben Passerelle Gérine (partikulär) in ng/L.

	Passerelle Gérine – 2	Passerelle Gérine – 3	Passerelle Gérine – 4	Passerelle Gérine – 6	Passerelle Gérine – 8
Externe Bez.:	partikulär	partikulär	partikulär	partikulär	partikulär
Datum Probe- nahme:	14.09.2016	14.09.2016	14.09.2016	15.09.2016	15.09.2016
Interne Bez:	29416p	27716p	29216p	29016p	28616p
	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L
PCB 28	0.11	0.09	0.15	0.056	0.072
PCB 52	0.11	0.13	0.23	0.076	0.081
PCB 101	0.28	0.13	0.27	0.088	0.085
PCB 118	0.14	0.10	0.24	0.075	0.041
PCB 138	0.42	0.15	0.35	0.070	0.037
PCB 153	0.24	0.18	0.24	0.079	0.070
PCB 180	0.094	0.064	0.092	0.023	0.013
<b>Summe 6:</b>	<b>1.3</b>	<b>0.74</b>	<b>1.3</b>	<b>0.39</b>	<b>0.36</b>
<b>Summe 7:</b>	<b>1.4</b>	<b>0.84</b>	<b>1.6</b>	<b>0.47</b>	<b>0.40</b>
Σ7 Faktor Abstand zu Blindwert:	3.3	2.0	3.7	1.1	0.95
Partikelmasse gesamt [g]:	0.3617	0.3534	0.5008	0.1181	0.0319
Volumen gesamt [L]:	2.887	2.8460	2.810	2.817	2.873
Partikel/Liter:	0.1253	0.1242	0.1782	0.0419	0.0111
Bemerkungen:	grauer Belag	F1 gelblich relativ wenig F2 braun relativ viel Material	F1 hellbeiger Belag F2 grauer Belag	F1 gelblicher Belag F2 brauner Belag	F1 gelblicher Belag F2 brauner Belag
K <sub>ij</sub> > 2.0 x Blindwert	Orange 2.0 – 5 x Blindwert	Grün > 5 x Blind- wert			

Der Methodenblindwert für gelöste und partikulär gebundene PCB ist nicht identisch, er hängt von der verwendeten Methode ab.

Tabelle 14: i-PCB in den Wasserproben Passerelle Gérine (partikulär) in ng/g.

Externe Bez.:	Passerelle Gérine – 2 partikulär	Passerelle Gérine – 3 partikulär	Passerelle Gérine – 4 partikulär	Passerelle Gérine – 6 partikulär	Passerelle Gérine – 8 partikulär
Datum Probe- nahme:	14.09.2016	14.09.2016	14.09.2016	15.09.2016	15.09.2016
Interne Bez:	29416p	27716p	29216p	29016p	28616p
	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g
PCB 28	0.84	0.75	0.84	1.3	6.5
PCB 52	0.90	1.0	1.3	1.8	7.3
PCB 101	2.3	1.1	1.5	2.1	7.7
PCB 118	1.1	0.80	1.4	1.8	3.7
PCB 138	3.4	1.2	2.0	1.7	3.4
PCB 153	1.9	1.4	1.4	1.9	6.3
PCB 180	0.75	0.52	0.52	0.55	1.2
<b>Summe 6:</b>	<b>10</b>	<b>6.0</b>	<b>7.5</b>	<b>8.3</b>	<b>32</b>
<b>Summe 7:</b>	<b>11</b>	<b>6.8</b>	<b>8.8</b>	<b>11</b>	<b>36</b>
$\Sigma 7$ Faktor Abstand zu Blindwert:	<b>3.3</b>	<b>2.0</b>	<b>3.7</b>	<b>1.1</b>	<b>0.98</b>
Partikelmasse gesamt [g]:	0.3617	0.3534	0.5008	0.1181	0.0319
Volumen gesamt [L]:	2.887	2.8460	2.810	2.817	2.873
Partikel/Liter:	0.1253	0.1242	0.1782	0.0419	0.0111
Bemerkungen:	grauer Belag	F1 gelblich relativ wenig F2 braun relativ viel Material	F1 hellbeiger Belag F2 grauer Belag	F1 gelblicher Belag F2 brauner Belag	F1 gelblicher Belag F2 brauner Belag
Rot < 2.0 x Blindwert	Orange 2.5 – 5 x Blindwert	Grün > 5 x Blind- wert			

Der Methodenblindwert für gelöste und partikulär gebundene PCB ist nicht identisch, er hängt von der verwendeten Methode ab.

Tabelle 15: I-PCB in den Wasserproben Pont Pérolles (gelöst) in ng/L.

Externe Bez.:	Pont Pérolles – 2 gelöst	Pont Pérolles – 4 gelöst	Pont Pérolles – 6 gelöst	Pont Pérolles – 8 gelöst
Datum Probe- nahme:	14.09.2016	14.09.2016	15.09.2016	15.09.2016
Interne Bez:	29616g	29116g	28916g	28516g
	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L
PCB 28	0.061	0.059	0.14	0.48
PCB 52	0.086	0.12	0.23	2.0
PCB 101	0.074	0.14	0.19	1.7
PCB 118	0.044	0.11	0.11	1.5
PCB 138	0.063	0.095	0.11	0.38
PCB 153	0.063	0.15	0.18	0.68
PCB 180	0.018	0.043	0.058	0.056
<b>Summe 6:</b>	<b>0.36</b>	<b>0.61</b>	<b>0.90</b>	<b>5.3</b>
<b>Summe 7:</b>	<b>0.41</b>	<b>0.72</b>	<b>1.0</b>	<b>6.8</b>
Σ7 Faktor Abstand zu Blindwert:	<b>1.5</b>	<b>2.6</b>	<b>3.6</b>	<b>24</b>

Tabelle 16: I-PCB in den Wasserproben Pont Pérolles (partikulär) in ng/L.

Externe Bez.:	Pont Pérolles – 2 partikulär	Pont Pérolles – 4 partikulär	Pont Pérolles – 6 partikulär	Pont Pérolles – 8 partikulär
Datum Probe- nahme:	14.09.2016	14.09.2016	15.09.2016	15.09.2016
Interne Bez:	29616p	29116p	28916p	28516p
	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L
PCB 28	0.35	0.20	0.16	0.14
PCB 52	0.46	0.40	0.26	0.30
PCB 101	0.38	0.44	0.36	0.27
PCB 118	0.27	0.41	0.25	0.19
PCB 138	0.44	0.35	0.29	0.11
PCB 153	0.31	0.39	0.35	0.17
PCB 180	0.12	0.095	0.075	0.028
<b>Summe 6:</b>	<b>2.1</b>	<b>1.9</b>	<b>1.5</b>	<b>1.0</b>
<b>Summe 7:</b>	<b>2.3</b>	<b>2.3</b>	<b>1.8</b>	<b>1.2</b>
Σ7 Faktor Abstand zu Blindwert:	<b>5.5</b>	<b>5.4</b>	<b>4.1</b>	<b>2.9</b>
Partikelmasse gesamt [g]:	0.2737	0.4924	0.1917	0.0467
Volumen gesamt [L]:	1.231	2.836	2.875	2.922
Partikel/Liter:	0.2223	0.1736	0.067	0.0160
Bemerkungen:	brauner Belag	F1 hellbeiger Belag F2 grauer Belag	F1 gelblicher Belag F2 brauner Belag	3 Filter mit etwas leicht bräunlichem Belag
	Rot < 2 x Blindwert	Orange 2.5 – 5 x Blindwert	Grün > 5 x Blindwert	

Der Methodenblindwert für gelöste und partikulär gebundene PCB ist nicht identisch, er hängt von der verwendeten Methode ab.

Tabelle 17: I-PCB in den Wasserproben Pont Pérolles (partikulär) in ng/g.

Externe Bez.:	Pont Pérolles – 2 partikulär	Pont Pérolles – 4 partikulär	Pont Pérolles – 6 partikulär	Pont Pérolles – 8 partikulär
Datum Probe- nahme:	14.09.2016	14.09.2016	15.09.2016	15.09.2016
Interne Bez:	29616p	29116p	28916p	28516p
	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g
PCB 28	1.6	1.2	2.5	9.0
PCB 52	2.1	2.3	3.9	19
PCB 101	1.7	2.5	5.4	17
PCB 118	1.2	2.4	3.8	12
PCB 138	2.0	2.0	4.4	7.0
PCB 153	1.4	2.2	5.2	10
PCB 180	0.55	0.55	1.1	1.7
<b>Summe 6:</b>	<b>9.2</b>	<b>11</b>	<b>23</b>	<b>64</b>
<b>Summe 7:</b>	<b>10</b>	<b>13</b>	<b>26</b>	<b>76</b>
17 Faktor Abstand zu Blindwert:	<b>5.5</b>	<b>5.4</b>	<b>4.1</b>	<b>2.9</b>
Partikelmasse gesamt (g):	0.2737	0.4924	0.1917	0.0467
Volumen gesamt (L):	1.231	2.836	2.875	2.922
Partikel/Liter:	0.2223	0.1736	0.067	0.0160
Bemerkungen:	brauner Belag	F1 hellbeiger Belag F2 grauer Belag	F1 gelblicher Belag F2 brauner Belag	3 Filter mit etwas leicht bräunlichem Belag
	Rot > 2.5 x Blindwert	Orange 2.5 – 5 x Blind- wert	Grün > 5 x Blindwert	

Der Methodenblindwert für gelöste und partikulär gebundene PCB ist nicht identisch, er hängt von der verwendeten Methode ab.



Tabelle 19: i-PCB in den Grundwasserproben Piezo Bleu D16 (partikulär) in ng/L.

Externe Bez.:	Piezo Bleu D16-1 partikulär	Piezo Bleu D16-3 partikulär	Piezo Bleu D16-5 partikulär	Piezo Bleu D16-7 partikulär	Piezo Bleu D16-8 partikulär	Piezo Bleu D16-9 partikulär	Piezo Bleu D16-10 partikulär
Datum Probenahme:	14.09.2016	15.09.2016	15.09.2016	16.09.2016	17.09.2016	17.09.2016	18.09.2016
Interne Bez.:	28216p	27516p	27616p	31616p	30716p	30016p	29816p
PCB 28	ng/L 0.18	ng/L 0.06	ng/L 0.048	ng/L 0.37	ng/L 0.39	ng/L 0.097	ng/L 0.10
PCB 52	0.25	0.11	0.076	0.43	0.35	0.15	0.12
PCB 101	0.22	0.13	0.072	0.30	0.21	0.15	0.11
PCB 118	0.29	0.10	0.055	0.23	0.07	0.13	0.081
PCB 138	0.14	0.09	0.053	0.23	0.12	0.14	0.090
PCB 153	0.16	0.12	0.065	0.16	0.060	0.086	0.062
PCB 180	0.050	0.021	0.011	0.035	0.015	0.021	0.018
<b>Summe 6:</b>	<b>1.0</b>	<b>0.53</b>	<b>0.32</b>	<b>1.5</b>	<b>1.1</b>	<b>0.65</b>	<b>0.50</b>
<b>Summe 7:</b>	<b>1.3</b>	<b>0.53</b>	<b>0.38</b>	<b>1.7</b>	<b>1.2</b>	<b>0.78</b>	<b>0.59</b>
Z7 Faktor Abstand zu Blindwert:	3.1	1.5	0.90	4.1	2.9	1.8	1.4
Partikelmasse gesamt [g]:	0.0096	0.0022	0.0040	0.0057	0.0064	0.0011	0.0071
Volumen gesamt [l]:	2.751	2.807	2.807	2.218	2.177	2.250	2.247
Partikel/Liter:	0.0035	0.00078	0.0014	0.00257	0.0029	0.00049	0.0032
Bemerkungen:	wenig hellbrauner Belag	sehr wenig hellbeiger bis weisser Belag	sehr wenig hellbeiger bis weisser Belag	sehr wenig hellbeige Partikel	sehr wenig hellbeiger Belag	sehr wenige hellbeige Partikel	wenig hellbeige Partikel
Farb <5 x Standard Blindwert	Orange 2.5 - 5 x Blindwert	Grün >5 x Blindwert					

Tabelle 20: i-PCB in den Grundwasserproben Piezo Bleu D16 (partikulär) in ng/g.

Externe Bez.:	Piezo Bleu D16-1	Piezo Bleu D16-3	Piezo Bleu D16-5	Piezo Bleu D16-7	Piezo Bleu D16-8	Piezo Bleu D16-9	Piezo Bleu D16-10
Datum Probenahme:	14.09.2016	15.09.2016	15.09.2016	16.09.2016	17.09.2016	17.09.2016	18.09.2016
Interne Bez.:	26216p	27516p	27616p	31616p	30716p	30016p	29816p
	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L
PCB 28	53	70	34	144	133	199	32
PCB 52	73	139	53	166	121	303	40
PCB 101	64	168	51	118	72	306	35
PCB 118	82	134	39	89	23	269	26
PCB 138	41	110	37	88	40	296	28
PCB 153	47	157	45	62	21	175	20
PCB 180	14	26	7.6	13	5.1	43	5.5
<b>Summe 6:</b>	<b>290</b>	<b>676</b>	<b>236</b>	<b>590</b>	<b>390</b>	<b>1308</b>	<b>160</b>
<b>Summe 7:</b>	<b>370</b>	<b>806</b>	<b>278</b>	<b>681</b>	<b>414</b>	<b>1506</b>	<b>190</b>
I7 Faktor Abstand zu Blindwert:	3.1	1.5	0.96	4.1	2.9	1.2	1.4
Partikelmasse gesamt [g]:	0.0096	0.0022	0.0043	0.0057	0.0064	0.0011	0.0071
Volumen gesamt [L]:	2.751	2.807	2.807	2.218	2.177	2.250	2.247
Partikel/Liter:	0.0035	0.00078	0.0014	0.00257	0.0029	0.00049	0.0032
Bemerkungen:	wenig hellbrauner Belag	sehr wenig hellbeiger bis weisser Belag	sehr wenig hellbeiger bis weisser Belag	sehr wenig hellbeige Partikel	sehr wenig hellbeiger Belag	sehr wenige hellbeige Partikel	wenig hellbeige Partikel
Farbe (5 x Blindwert)	Orange 2.5 - 5 x Blindwert	Grün > 5 x Blindwert					

Tabelle 21: i-PCB in den Grundwasserproben Piezo F61-16 (gelöst) in ng/L.

Externe Bez.:	Piezo F61-16-1 gelöst	Piezo F61-16-3 gelöst	Piezo F61-16-4 gelöst	Piezo F61-16-5 gelöst	Piezo F61-16-6 gelöst	Piezo F61-16-7 gelöst	Piezo F61-16-8 gelöst	Piezo F61-16-9 gelöst
Datum Probe- nahme:	14.09.2016	15.09.2016	15.09.2016	15.09.2016	15.09.2016	15.09.2016	17.09.2016	17.09.2016
Interne Bez.:	28416g	27816g	32816g	27416g	32916g	31516g	30916g	29916g
	ng/L							
PCB 28	10	4.2	5.3	12	7.4	2.0	6.8	6.1
PCB 52	36	16	20	50	29	9.6	32	25
PCB 101	14	6.0	8.6	37	13	3.0	14	12
PCB 118	10	4.8	7.3	26	6.6	1.9	6.9	6.7
PCB 138	1.7	0.70	1.3	6.3	1.8	0.72	1.7	1.3
PCB 153	3.5	1.3	2.5	12	3.0	1.2	3.4	2.6
PCB 180	0.17	0.10	0.17	0.76	0.51	0.18	0.16	0.09
<b>Summe 6:</b>	<b>66</b>	<b>31</b>	<b>38</b>	<b>120</b>	<b>55</b>	<b>17</b>	<b>58</b>	<b>47</b>
<b>Summe 7:</b>	<b>76</b>	<b>36</b>	<b>45</b>	<b>140</b>	<b>62</b>	<b>19</b>	<b>65</b>	<b>53</b>
17 Faktor Abstand zu Blindwert:	270	130	166	510	220	66	230	190

Tabelle 22: i-PCB in den Grundwasserproben Piezo F61-16 (partikulär) in ng/L.

Externe Bez:	Piezo F61-16-1 partikulär	Piezo F61-16-3 partikulär	Piezo F61-16-4 partikulär	Piezo F61-16-5 partikulär	Piezo F61-16-6 partikulär	Piezo F61-16-7 partikulär	Piezo F61-16-8 partikulär	Piezo F61-16-9 partikulär
Datum Probe- nahme:	14.09.2016	15.09.2016	15.09.2016	15.09.2016	15.09.2016	16.09.2016	17.09.2016	17.09.2016
Interne Bez:	28416p	27816p	32816g	27416p	32916g	31516p	30916p	29916p
PCB 28	ng/L 0.30	ng/L 5.2	ng/L 1.4	ng/L 0.18	ng/L 1.4	ng/L 8.4	ng/L 0.93	ng/L 0.60
PCB 52	1.4	22	2.0	2.2	2.9	76	6.7	4.7
PCB 101	2.8	19	3.1	3.0	4.8	64	8.5	7.9
PCB 118	3.7	17	4.0	2.6	5.1	62	7.5	7.4
PCB 138	1.7	8.2	1.4	1.3	1.8	65	6.9	6.2
PCB 153	2.9	15	2.8	2.5	2.9	47	3.6	3.1
PCB 180	0.49	2.9	0.57	0.25	0.32	12	0.78	0.59
<b>Summe 6:</b>	<b>9.6</b>	<b>72</b>	<b>11</b>	<b>9.5</b>	<b>14</b>	<b>270</b>	<b>27</b>	<b>23</b>
<b>Summe 7:</b>	<b>13</b>	<b>89</b>	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>19</b>	<b>330</b>	<b>35</b>	<b>30</b>
IT Faktor Abstand zu Blindwert:	32	210	36	29	46	790	83	72
Partikelmasse gesamt [g]:	0.0011	0.3163	0.0032	0.0014	0.0039	0.204	0.0072	0.0013
Volumen gesamt [L]:	2.418	2.877	0.619	2.854	2.871	2.282	2.273	2.272
Partikel/Liter:	0.00045	0.1099	0.0039	0.00049	0.00136	0.089	0.00317	0.00057
Bemerkungen:	beide Filter mit wenig leicht bräun- lichem Belag	relativ viel brauner Belag	sehr wenig hell- beiger Belag	wenig schwach beiger Belag	sehr wenig hell- beiger Belag	braune Partikel	sehr wenig hell- braune Partikel	wenig hellbeige Partikel
Farb- & Blind- wert	Orange 2.5 - 5 x Blindwert	Grün >5 x Blind- wert						



Tabelle 24: i-PCB in den Grundwasserproben Piezo F27-08 (gelöst) in ng/L.

Externe Bez.:	Piezo F27-08-1	Piezo F27-08-3	Piezo F27-08-5	Piezo F27-08-7	Piezo F27-08-8	Piezo F27-08-9	Piezo F27-08-10
Datum Probe- nahme:	14.09.2016	15.09.2016	15.09.2016	16.09.2016	17.09.2016	17.09.2016	18.09.2016
Interne Bez.:	28316g	27116g	27216g	31216g	30616g	30216g	30416g
	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L
PCB 28	0.12	0.15	0.13	0.07	0.13	0.11	0.074
PCB 52	0.40	0.21	0.21	0.26	0.32	0.36	0.28
PCB 101	0.23	0.19	0.20	0.16	0.15	0.21	0.16
PCB 118	0.13	0.10	0.17	0.10	0.082	0.14	0.11
PCB 138	0.10	0.090	0.13	0.086	0.049	0.086	0.079
PCB 153	0.12	0.11	0.15	0.11	0.076	0.14	0.11
PCB 180	0.045	0.030	0.056	0.019	0.010	0.033	0.024
<b>Summe 6:</b>	<b>1.0</b>	<b>0.77</b>	<b>0.88</b>	<b>0.70</b>	<b>0.73</b>	<b>0.94</b>	<b>0.72</b>
<b>Summe 7:</b>	<b>1.1</b>	<b>0.87</b>	<b>1.0</b>	<b>0.80</b>	<b>0.81</b>	<b>1.1</b>	<b>0.84</b>
E7 Faktor Abstand zu Blindwert:	4.1	3.1	3.7	2.9	2.9	3.9	3.0
Farb->0 x Blindwert	Orange	2.5 - 5 x Blindwert	Grün	>5 x Blindwert			

Tabelle 25: i-PCB in den Grundwasserproben Piezo F27-06 (partikulär) in ng/L

Externe Bez.:	Piezo F27-08-1 partikulär	Piezo F27-08-3 partikulär	Piezo F27-08-5 partikulär	Piezo F27-08-7 partikulär	Piezo F27-08-8 partikulär	Piezo F27-08-9 partikulär	Piezo F27-08-10 partikulär
Datum Probenahme:	14.09.2016	15.09.2016	15.09.2016	16.09.2016	17.09.2016	17.09.2016	18.09.2016
Interne Bez.:	28316p	27116p	27216p	31216p	30616p	30216p	30416p
PCB 28	ng/L 0.35	ng/L 0.10	ng/L 0.14	ng/L 0.44	ng/L 0.45	ng/L 0.36	ng/L 0.43
PCB 52	0.83	0.14	0.27	0.35	0.44	0.31	0.40
PCB 101	0.88	0.10	0.19	0.18	0.25	0.20	0.29
PCB 118	1.25	0.049	0.28	0.09	0.093	0.11	0.21
PCB 138	0.65	0.042	0.12	0.11	0.15	0.19	0.27
PCB 153	1.0	0.078	0.17	0.059	0.074	0.10	0.16
PCB 180	0.19	0.020	0.046	0.021	0.023	0.026	0.076
<b>Summe 6:</b>	<b>3.9</b>	<b>0.57</b>	<b>0.93</b>	<b>1.2</b>	<b>1.4</b>	<b>1.2</b>	<b>1.6</b>
<b>Summe 7:</b>	<b>5.2</b>	<b>0.52</b>	<b>1.2</b>	<b>1.3</b>	<b>1.5</b>	<b>1.3</b>	<b>1.8</b>
E7 Faktor Abstand zu Blindwert:	12	1.2	2.9	3.0	3.5	3.1	4.4
Partikelmasse gesamt [g]:	0.4575	0.0064	0.1044	0.0204	0.0254	0.0157	0.036
Volumen gesamt [L]:	2.558	2.702	2.892	2.227	2.258	2.241	2.234
Partikel/Liter:	0.1789	0.0024	0.0361	0.00916	0.0112	0.0070	0.0161
Bemerkungen:	viel brauner Belag Orange 2.5 - 5 x Blindwert	leicht grauer Belag Grün >5 x Blindwert	grauer Belag	hellbraune Partikel	wenig hellbeige Partikel	wenig hellbeige Partikel	wenig hellbeige Partikel

Tabelle 26: i-PCB in den Grundwasserproben Piezo F27-06 (partikulär) in ng/g.

Externe Bez.:	Piezo F27-08-1 partikulär	Piezo F27-08-3 partikulär	Piezo F27-08-5 partikulär	Piezo F27-08-7 partikulär	Piezo F27-08-8 partikulär	Piezo F27-08-9 partikulär	Piezo F27-08-10 partikulär
Datum Probenahme:	14.09.2016	15.09.2016	15.09.2016	16.09.2016	17.09.2016	17.09.2016	18.09.2016
Interne Bez.:	28316p	27116p	27216p	31216p	30616p	30216p	30416p
PCB 28	ng/g 2.0	ng/g 41	ng/g 3.8	ng/g 48	ng/g 40	ng/g 51	ng/g 27
PCB 52	4.6	57	7.4	39	39	44	25
PCB 101	4.9	41	5.2	20	22	28	18
PCB 118	7.0	21	7.7	10	8	16	13
PCB 138	3.6	118	3.5	12	13	27	17
PCB 153	5.6	33	4.6	6.4	6.6	14	10
PCB 180	1.1	8.6	1.3	2.3	2.0	3.7	4.7
<b>Summe 6:</b>	<b>22</b>	<b>200</b>	<b>26</b>	<b>130</b>	<b>120</b>	<b>170</b>	<b>100</b>
<b>Summe 7:</b>	<b>29</b>	<b>220</b>	<b>33</b>	<b>140</b>	<b>130</b>	<b>180</b>	<b>110</b>
I7 Faktor Abstand zu Blindwert:	12	1.2	2.9	3.0	3.5	3.1	4.4
Partikelmasse gesamt [g]:	0.4575	0.0064	0.1044	0.0204	0.0254	0.0157	0.036
Volumen gesamt [l]:	2.558	2.702	2.892	2.227	2.258	2.241	2.234
Partikel/Liter:	0.1789	0.0024	0.0361	0.00916	0.0112	0.0070	0.0161
Bemerkungen:	viel brauner Belag	leicht grauer Belag	grauer Belag	hellbraune Partikel	wenig hellbeige Partikel	wenig hellbeige Partikel	wenig hellbeige Partikel
Farbe (5 x Blindwert)	Orange 2.5 - 5 x Blindwert	Grün > 5 x Blindwert					

Tabelle 27: i-PCB in den Grundwasserproben Piezo F23-08 (gelöst) in ng/L.

Externe Bez.:	Piezo F23-08-1 gelöst	Piezo F23-08-5 gelöst	Piezo F23-08-7 gelöst	Piezo F23-08-8 gelöst	Piezo F23-08-9 gelöst	Piezo F23-08-10 gelöst
Datum Probe- nahme:	14.09.2016	15.09.2016	16.09.2016	17.09.2016	17.09.2016	18.09.2016
Interne Bez.:	28016g ng/L	27316g ng/L	31416g ng/L	30816g ng/L	31016g ng/L	30316g ng/L
PCB 28	0.88	1.4	0.44	0.41	0.42	0.49
PCB 52	1.8	4.8	1.6	1.10	1.18	1.6
PCB 101	0.50	3.9	0.36	0.14	0.27	0.31
PCB 118	0.24	3.3	0.16	0.063	0.16	0.13
PCB 138	0.14	1.5	0.13	0.057	0.091	0.11
PCB 153	0.23	1.7	0.19	0.091	0.14	0.19
PCB 180	0.035	0.26	0.043	0.017	0.028	0.035
<b>Summe 6:</b>	<b>3.6</b>	<b>14</b>	<b>2.7</b>	<b>1.8</b>	<b>2.1</b>	<b>2.7</b>
<b>Summe 7:</b>	<b>3.8</b>	<b>17</b>	<b>2.9</b>	<b>1.9</b>	<b>2.3</b>	<b>2.9</b>
17 Faktor Abstand zu Blindwert:	14	61	10	6.7	8.2	10

Tabelle 28: i-PCB in den Grundwasserproben Piezo F23-08 (partikulär) in ng/L.

Externe Bez.:	Piezo F23-08-1 partikulär	Piezo F23-08-5 partikulär	Piezo F23-08-7 partikulär	Piezo F23-08-8 partikulär	Piezo F23-08-9 partikulär	Piezo F23-08-10 partikulär
Datum Probe- nahme:	14.09.2016	15.09.2016	16.09.2016	17.09.2016	17.09.2016	18.09.2016
Interne Bez.:	28016p ng/L	27316p ng/L	31416p ng/L	30816p ng/L	31016p ng/L	30316p ng/L
PCB 28	0.60	1.3	3.2	0.95	1.1	36
PCB 52	0.73	2.1	4.8	1.1	1.1	49
PCB 101	0.22	0.43	1.1	0.27	0.31	9.2
PCB 118	0.23	0.46	0.88	0.15	0.18	8.9
PCB 138	0.19	0.39	1.3	0.23	0.27	14
PCB 153	0.24	0.51	0.77	0.14	0.16	9.1
PCB 180	0.14	0.29	0.55	0.11	0.12	10
<b>Summe 6:</b>	<b>2.1</b>	<b>5.0</b>	<b>12</b>	<b>2.8</b>	<b>3.1</b>	<b>126</b>
<b>Summe 7:</b>	<b>2.3</b>	<b>5.5</b>	<b>12</b>	<b>2.9</b>	<b>3.2</b>	<b>135</b>
17 Faktor Abstand zu Blindwert:	5.5	13	30	6.9	7.7	320
Partikelmasse gesamt [g]:	0.0428	0.1236	0.6814	0.0487	0.0388	6.095
Volumen gesamt [L]:	2.542	2.852	2.281	2.278	2.275	2.279
Partikel/Liter:	0.0168	0.043	0.2987	0.0214	0.0171	2.674
Bemerkungen:	leicht bräunli- cher Belag	brauner Belag	Brauner sandi- ger Belag viele Partikel	braune Partikel	braune Partikel	sehr viele etwas größere Partikel (sandiges Material)
PCB 180 > Blindwert	Orange 2.5 - 5 x Blindwert	Grün > 5 x Blindwert				

Tabelle 29: I-PCB in den Grundwasserproben Piezo F23-08 (partikulär) in ng/g.

Externe Bez.:	Piezo F23-08-1 partikulär	Piezo F23-08-5 partikulär	Piezo F23-08-7 partikulär	Piezo F23-08-8 partikulär	Piezo F23-08-9 partikulär	Piezo F23-08-10 partikulär
Datum Probe- nahme:	14.09.2016	15.09.2016	16.09.2016	17.09.2016	17.09.2016	18.09.2016
Interne Bez.:	28016p	27316p	31416p	30816p	31016p	30316p
	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g
PCB 28	35	31	11	44	62	13
PCB 52	44	47	16	49	66	18
PCB 101	13	10	4	13	18	3.4
PCB 118	14	11	3.0	7	11	3.3
PCB 138	11	9.1	4.2	11	16	5.2
PCB 153	14	12	2.6	6.7	10	3.4
PCB 180	8.1	6.7	1.8	5.2	7.1	3.7
<b>Summe 6:</b>	<b>130</b>	<b>120</b>	<b>39</b>	<b>130</b>	<b>180</b>	<b>47</b>
<b>Summe 7:</b>	<b>140</b>	<b>130</b>	<b>42</b>	<b>140</b>	<b>190</b>	<b>51</b>
$\Sigma$ Faktor Abstand zu Blindwert:	<b>5.5</b>	<b>13</b>	<b>30</b>	<b>6.9</b>	<b>7.7</b>	<b>320</b>
Partikelmasse gesamt [g]:	0.0428	0.1236	0.6814	0.0487	0.0388	6.095
Volumen gesamt [L]:	2.542	2.852	2.281	2.278	2.275	2.279
Partikel/Liter:	0.0168	0.043	0.2987	0.0214	0.0171	2.674
Bemerkungen:	leicht bräunli- cher Belag	brauner Belag	Brauner sandi- ger Belag viele Partikel	braune Partikel	braune Partikel	sehr viele etwas größere Partikel (sandiges Material)
Rot -> 5 x Blindwert	Orange 2.5 - 5 x Blindwert	Grün -> 5 x Blindwert				

Tabelle 30: i-PCB in den Grundwasserproben Piezo F21-08 (gelöst) in ng/L.

Externe Bez.:	Piezo F21-08-1 gelöst	Piezo F21-08-3 gelöst	Piezo F21-08-7 gelöst	Piezo F21-08-8 gelöst	Piezo F21-08-9 gelöst	Piezo F21-08-10 gelöst
Datum Probe- nahme:	14.09.2016	15.09.2016	16.09.2016	17.09.2016	17.09.2016	18.09.2016
Interne Bez:	28116g	27916g	31116g	30516g	30116g	31316g
	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L
PCB 28	5.2	9.3	2.8	2.0	2.0	2.4
PCB 52	12	19	7.1	5.8	6.1	7.4
PCB 101	2.8	4.8	1.9	1.3	1.3	2.0
PCB 118	1.1	1.8	0.92	0.53	0.49	0.85
PCB 138	0.41	0.61	0.35	0.26	0.19	0.40
PCB 153	0.66	1.0	0.61	0.46	0.35	0.72
PCB 180	0.075	0.079	0.066	0.069	0.042	0.076
<b>Summe 6:</b>	<b>21</b>	<b>35</b>	<b>13</b>	<b>9.9</b>	<b>9.9</b>	<b>13</b>
<b>Summe 7:</b>	<b>22</b>	<b>36</b>	<b>14</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>14</b>
Σ7 Faktor Abstand zu Blindwert:	<b>78</b>	<b>130</b>	<b>49</b>	<b>37</b>	<b>37</b>	<b>50</b>

Tabelle 31: i-PCB in den Grundwasserproben Piezo F21-08 (partikulär) in ng/L.

Externe Bez.:	Piezo F21-08-1 partikulär	Piezo F21-08-3 partikulär	Piezo F21-08-7 partikulär	Piezo F21-08-8 partikulär	Piezo F21-08-9 partikulär	Piezo F21-08-10 partikulär
Datum Probe- nahme:	14.09.2016	15.09.2016	16.09.2016	17.09.2016	17.09.2016	18.09.2016
Interne Bez:	28116p	27916p	31116p	30516p	30116p	31316p
	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L
PCB 28	93	31	4.5	1.6	2.5	1.5
PCB 52	97	45	4.8	1.8	3.3	1.9
PCB 101	49	20	2.1	0.84	1.7	0.86
PCB 118	47	18	2.1	0.84	1.8	0.74
PCB 138	17	9.2	1.4	0.60	1.1	0.53
PCB 153	25	13	0.86	0.33	0.63	0.30
PCB 180	6.2	3.1	0.34	0.13	0.25	0.12
<b>Summe 6:</b>	<b>290</b>	<b>120</b>	<b>14</b>	<b>5.3</b>	<b>9.4</b>	<b>5.3</b>
<b>Summe 7:</b>	<b>330</b>	<b>140</b>	<b>16</b>	<b>6.1</b>	<b>11</b>	<b>6.0</b>
Σ7 Faktor Abstand zu Blindwert:	<b>790</b>	<b>330</b>	<b>38</b>	<b>14</b>	<b>27</b>	<b>14</b>
Partikelmasse gesamt [g]:	0.671	0.2823	0.0209	0.0079	0.0119	0.0084
Volumen gesamt [L]:	2.589	2.867	2.273	2.269	2.272	2.531
Partikel/Liter:	0.259	0.098	0.0092	0.00348	0.0052	0.00332
Bemerkungen:	viel schwarzer Belag	viel schwarzer Belag	braune Partikel	sehr wenig hellbeige Parti- kel	wenig hellbeige Partikel	sehr wenig hellbraune Partikel
Rp = 2.0 x Blindwert	Orange 2.5 – 6 x Blindwert	Grün >5 x Blindwert				

Tabelle 32: i-PCB in den Grundwasserproben Piezo F21-08 (partikulär) in ng/g.

Externe Bez.:	Piezo F21-08-1 partikulär	Piezo F21-08-3 partikulär	Piezo F21-08-7 partikulär	Piezo F21-08-8 partikulär	Piezo F21-08-9 partikulär	Piezo F21-08-10 partikulär
Datum Probe- nahme:	14.09.2016	15.09.2016	16.09.2016	17.09.2016	17.09.2016	18.09.2016
Interne Bez.:	28116p	27916p	31116p	30516p	30116p	31316p
	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g
PCB 28	359	311	490	450	485	460
PCB 52	374	461	525	520	622	583
PCB 101	190	204	234	240	325	259
PCB 118	182	179	230	240	341	222
PCB 138	66	93	158	170	203	159
PCB 153	95	132	93	94	119	91
PCB 180	24	32	37	37	48	35
<b>Summe 6:</b>	<b>1100</b>	<b>12000</b>	<b>1500</b>	<b>1500</b>	<b>1800</b>	<b>1600</b>
<b>Summe 7:</b>	<b>1300</b>	<b>1400</b>	<b>1800</b>	<b>1800</b>	<b>2100</b>	<b>1800</b>
Σ7 Faktor Abstand zu Blindwert:	790	330	36	14	27	14
Partikelmasse gesamt [g]:	0.671	0.2823	0.0209	0.0079	0.0119	0.0084
Volumen gesamt [L]:	2.589	2.867	2.273	2.269	2.272	2.531
Partikel/Liter:	0.259	0.098	0.0092	0.00348	0.0052	0.00332
Bemerkungen:	viel schwarzer Belag	viel schwarzer Belag	braune Partikel	sehr wenig hellbeige Parti- kel	wenig hellbeige Partikel	sehr wenig hellbraune Partikel
	Rot > 5 x Blindwert	Orange 2.5 - 5 x Blindwert	Grün > 5 x Blindwert			

Tabelle 33: i-PCB in der Composite Probe 2 der Passerelle Gérine in ng/g.

Externe Bez.:	Passerelle Gérine Composite 2
Datum Probe- nahme:	
Interne Bez.:	29716
	ng/g
PCB 28	0.21
PCB 52	0.73
PCB 101	1.09
PCB 118	1.17
PCB 138	1.32
PCB 153	1.49
PCB 180	0.51
<b>Summe 6:</b>	<b>5.3</b>
<b>Summe 7:</b>	<b>6.5</b>
Partikelmasse gesamt [g]:	33.7
Volumen gesamt [L]:	300
Partikel/Liter:	0.112
Bemerkungen:	Waren es 300 Liter Wasser?

In der Tabelle 34 sind die Resultate von vier **Methodenblindwerten für die gelöste Phase** aufgeführt. Für die Bestimmung wurde Reinstwasser verwendet, welches wie eine Probe behandelt wurde. D.h. 2.5 Liter Wasser wurden durch einen vorgereinigten 0.45 µm RC55 Filter filtriert. Das Filtrat wurde anschliessend mit dem internen Standard versetzt und über die SPE Kartusche geleitet. Quantitative Bestimmung der PCB wie oben beschrieben. Der Mittelwert wurde verwendet um den Abstand des i-PCB Summenwertes ( $\Sigma$ 7 i-PCB) der Proben (gelöste Phase) vom Blindwert zu berechnen.

Tabelle 34: i-PCB Methodenblindwert (n=4) für die **gelöste Phase** in ng/L.

	Blindwert mit Reinstwasser 1	Blindwert mit Reinstwasser 2	Blindwert mit Reinstwasser 3	Blindwert mit Reinstwasser 4	Mittelwert n=4
	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L
PCB 28	0.027	0.026	0.033	0.029	0.029
PCB 52	0.097	0.054	0.077	0.054	0.070
PCB 101	0.074	0.046	0.061	0.053	0.058
PCB 118	0.036	0.017	0.031	0.026	0.027
PCB 138	0.049	0.016	0.036	0.020	0.030
PCB 153	0.063	0.025	0.040	0.035	0.041
PCB 180	0.045	0.0074	0.023	0.021	0.024
<b>Summe 6:</b>	<b>0.35</b>	<b>0.17</b>	<b>0.27</b>	<b>0.21</b>	<b>0.25</b>
<b>Summe 7:</b>	<b>0.39</b>	<b>0.19</b>	<b>0.30</b>	<b>0.24</b>	<b>0.28</b>

In der Tabelle 35 ist der **Methodenblindwert für die partikuläre Phase** aufgeführt. Hierzu wurde ein vorgereinigter 0.45 µm RC55 Filter, nach Zugabe der internen Standards, in einer vorgereinigten Minisoxhlet-hülse mit n-Hexan während sechs Stunden extrahiert. Quantitative Bestimmung der PCB wie oben beschrieben. Für die Berechnung ausgedrückt als **ng/L** wurde das Durchschnittliche Filtrationsvolumen aller Proben verwendet. Um den Abstand des i-PCB Summenwertes ( $\Sigma$ 7 i-PCB) der Proben, ausgedrückt als ng/L, vom Blindwert zu berechnen wurde der aufgeführte Summenwert verwendet. Für die Berechnung des Anteils des Methodenblindwertes als **ng/g** müssen die in der Tabelle 35 aufgeführten Konzentrationen durch die **Partikelmasse in g/L**, der jeweiligen individuellen Probe, dividiert werden. Da die Partikelmassen der einzelnen Proben stark schwanken, von wenigen mg/L zu mehreren 100 mg/L, kann nicht mit einer durchschnittlichen Partikelmasse/L gerechnet werden. Die Daten sind nicht aufgeführt wurden jedoch in Form einer Excel-Datei per E-Mail übermittelt.

Tabelle 35: i-PCB Methodenblindwert (n=4) für die **partikuläre Phase** in ng/L.

	Blindwert partikuläre Phase
	ng/L
PCB 28	0.031
PCB 52	0.077
PCB 101	0.074
PCB 118	0.070
PCB 138	0.075
PCB 153	0.068
PCB 180	0.027
<b>Summe 6:</b>	<b>0.35</b>
<b>Summe 7:</b>	<b>0.42</b>

Tabelle 36: i-PCB in den Passivsammlerproben in ng/kg (exponiert in den Piezometern vom 13.09. bis zum 27.09.2016).

Externe Bez.:	Passiv- sammler Piezo-bleu- D16	Passiv- sammler F61-16	Passiv- sammler F27-08	Passiv- sammler F23-08	Passiv- sammler F21-08	Passiv- sammler Blindwert
Datum Probe- nahme:						
Interne Bez.:	31716	31816	31916	32016	32116	22216
PCB 28	24	590	11	380	820	13
PCB 52	180	5500	60	1400	3100	27
PCB 101	240	3700	54	200	1500	27
PCB 118	430	7600	71	230	1400	10
PCB 138	400	3600	45	160	590	11
PCB 153	300	5900	63	210	900	14
PCB 180	82	1600	14	74	150	5.1
<b>Summe 6:</b>	1200	21000	250	2400	7100	97
<b>Summe 7:</b>	1700	29000	310	2600	8500	107
Σ7 Faktor Abstand zu Blindwert:	16	270	3.0	25	79	
Rot > 0.5 x Blindwert	Orange 2.5 – 5 x Blindwert	Grün > 5 x Blindwert				

Da die Elimination der Performance Reference Compounds (PRC) bei den Mono- und Dichlor-PCB geringer als 20% ausfiel und bei den höherchlorierten PRC nicht vorhanden war, ist eine Standortkorrektur via PRC nicht möglich. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Sammelraten in den fünf untersuchten Piezometern etwa gleich hoch war.

## 4 Allgemeine Angaben

### 4.1 Verwendete Abkürzungen

PCB	Polychlorierte Biphenyle
TuCB	Tetrachlorbiphenyl
TetraCB	Tetrachlorbiphenyl
PentaCB	Pentachlorbiphenyl
HexaCB	Hexachlorbiphenyl
HeptaCB	Heptachlorbiphenyl
ng	Nanogramm ( $1 \text{ ng} = 1 \times 10^{-9} \text{ g} = 0.000'000'001 \text{ g}$ )
pg	Pikogramm ( $1 \text{ pg} = 1 \times 10^{-12} \text{ g} = 0.000'000'000'001 \text{ g}$ )
PRC	Performance Reference Compounds (werden vor der Verwendung auf die Passivsammler geladen)

### 4.2 Messunsicherheit

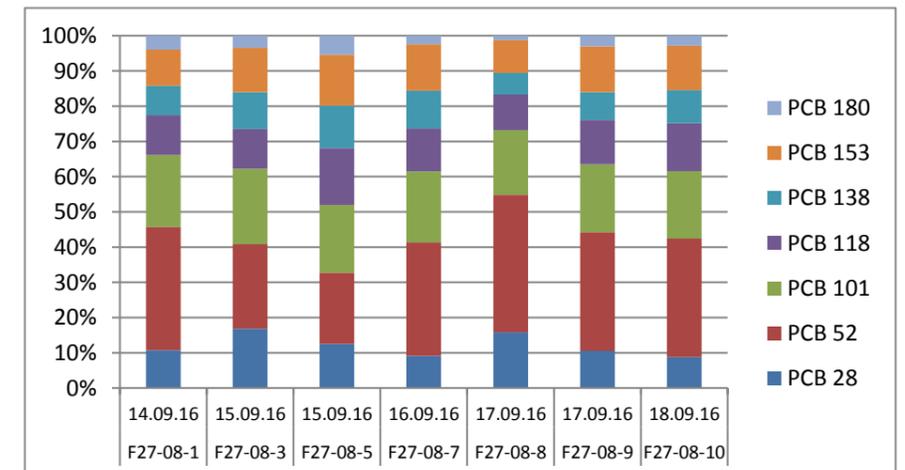
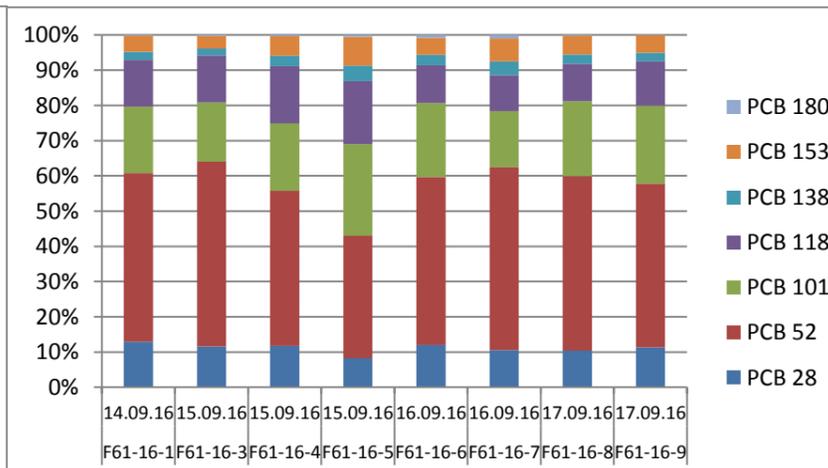
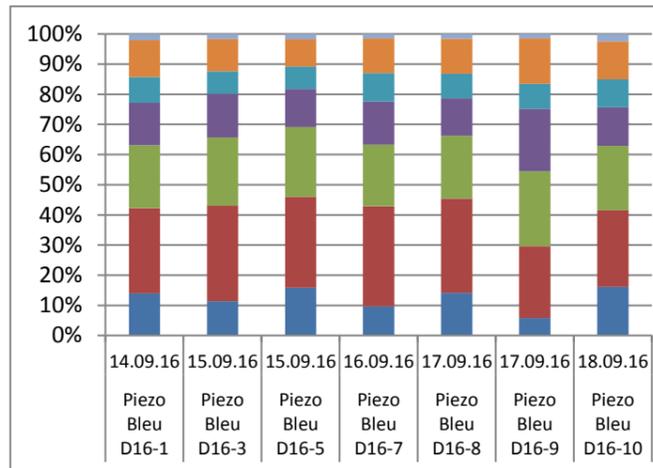
Nach unseren Erfahrungen beträgt die Messunsicherheit für die Bestimmung der PCB ca. 20 % (Proben ohne nicht chlorierte PCB).

**Annexe 3.3.3 – 3e**

**Résultat EMPA  
Synthèse de la campagne d'échantillonnage durant la  
crue**

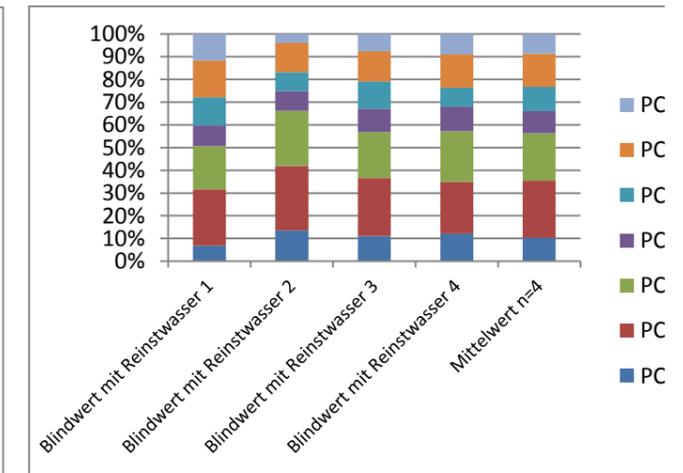
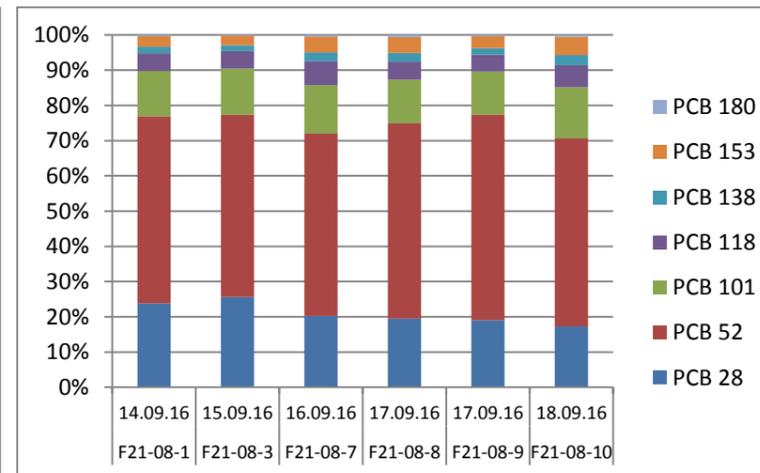
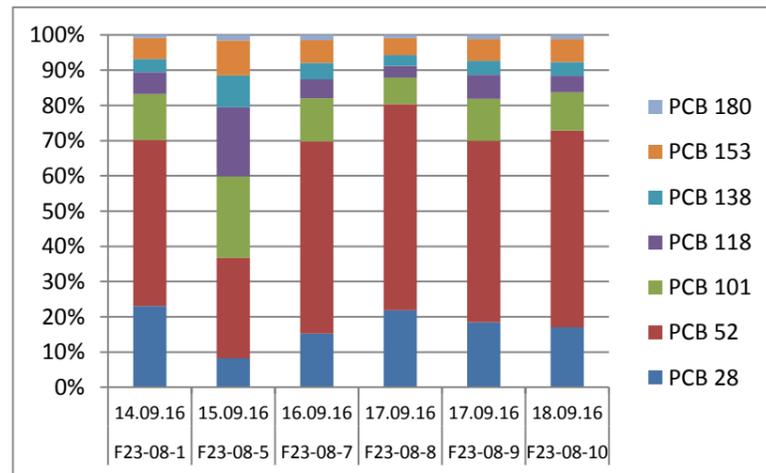
Externe Bez.:	Piezo Bleu D16-1	Piezo Bleu D16-3	Piezo Bleu D16-5	Piezo Bleu D16-7	Piezo Bleu D16-8	Piezo Bleu D16-9	Piezo Bleu D16-10	F61-16-1	F61-16-3	F61-16-4	F61-16-5	F61-16-6	F61-16-7	F61-16-8	F61-16-9	F27-08-1
Datum Probenahme	14.09.16	15.09.16	15.09.16	16.09.16	17.09.16	17.09.16	18.09.16	14.09.16	15.09.16	15.09.16	15.09.16	16.09.16	16.09.16	17.09.16	17.09.16	14.09.16
Interne Bez.:	28216g	27516g	27616g	31616g	30716g	30016g	29816g	28416g	27816g	32816g	27416g	32916g	31516g	30916g	29916g	28316g
ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L
<b>PCB 28</b>	0.12	0.17	0.12	0.15	0.10	0.18	0.092	10	4.2	5.3	12	7.4	2.0	6.8	6.1	0.12
<b>PCB 52</b>	0.24	0.49	0.23	0.51	0.23	0.73	0.15	36	19	20	50	29	9.6	32	25	0.40
<b>PCB 101</b>	0.18	0.35	0.18	0.31	0.15	0.76	0.12	14	6.0	8.6	37	13	3.0	14	12	0.23
<b>PCB 118</b>	0.12	0.22	0.10	0.22	0.091	0.63	0.073	10	4.8	7.3	26	6.6	1.9	6.9	6.7	0.13
<b>PCB 138</b>	0.074	0.11	0.06	0.14	0.059	0.25	0.052	1.7	0.70	1.3	6.3	1.8	0.72	1.7	1.3	0.10
<b>PCB 153</b>	0.11	0.17	0.070	0.18	0.085	0.46	0.072	3.5	1.3	2.5	12	3.0	1.2	3.4	2.6	0.12
<b>PCB 180</b>	0.017	0.025	0.013	0.023	0.012	0.046	0.014	0.17	0.10	0.17	0.76	0.51	0.18	0.16	0.09	0.045
<b>Summe 6:</b>	0.74	1.32	0.68	1.31	0.64	2.42	0.50	66	31	38	118	55	17	58	47	1.01
<b>Summe 7:</b>	<b>0.86</b>	<b>1.5</b>	<b>0.78</b>	<b>1.5</b>	<b>0.73</b>	<b>3.1</b>	<b>0.57</b>	<b>76</b>	<b>36</b>	<b>45</b>	<b>143</b>	<b>62</b>	<b>19</b>	<b>65</b>	<b>53</b>	<b>1.1</b>
<b>Abstand zu Blindwert</b>	3.1	5.5	2.8	5.5	2.6	10.9	2.0	271	129	161	514	220	66	233	192	4.1

rot <2.5 x Blindwert  
 orange 2.5 bis 5 x Blindwert  
 grün >5 x Blindwert



Externe Bez.:	F27-08-3	F27-08-5	F27-08-7	F27-08-8	F27-08-9	F27-08-10	F23-08-1	F23-08-5	F23-08-7	F23-08-8	F23-08-9	F23-08-10	F21-08-1	F21-08-3	F21-08-7	F21-08-8	F21-08-9	F21-08-10	Reinstwasse r 1	Reinstwasse r 2	Reinstwasse r 3	
	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L
atum Probenahme	15.09.16	15.09.16	16.09.16	17.09.16	17.09.16	18.09.16	14.09.16	15.09.16	16.09.16	17.09.16	17.09.16	18.09.16	14.09.16	15.09.16	16.09.16	17.09.16	17.09.16	17.09.16	18.09.16			
Interne Bez:	27116g	27216g	31216g	30616g	30216g	30416g	28016g	27316g	31416g	30816g	31016g	30316g	28116g	27916g	31116g	30516g	30116g	31316g				
<b>PCB 28</b>	0.15	0.13	0.07	0.13	0.11	0.074	0.88	1.4	0.44	0.41	0.42	0.49	5.2	9.3	2.8	2.0	2.0	2.4	0.027	0.026	0.033	
<b>PCB 52</b>	0.21	0.21	0.26	0.32	0.36	0.28	1.8	4.8	1.6	1.10	1.18	1.6	12	19	7.1	5.8	6.1	7.4	0.097	0.054	0.077	
<b>PCB 101</b>	0.19	0.20	0.16	0.15	0.21	0.16	0.50	3.9	0.36	0.14	0.27	0.31	2.8	4.8	1.9	1.3	1.3	2.0	0.074	0.046	0.061	
<b>PCB 118</b>	0.10	0.17	0.10	0.082	0.14	0.11	0.24	3.3	0.16	0.063	0.16	0.13	1.1	1.8	0.92	0.53	0.49	0.85	0.036	0.017	0.031	
<b>PCB 138</b>	0.090	0.13	0.086	0.049	0.086	0.079	0.14	1.5	0.13	0.057	0.091	0.11	0.41	0.61	0.35	0.26	0.19	0.40	0.049	0.016	0.036	
<b>PCB 153</b>	0.11	0.15	0.11	0.076	0.14	0.11	0.23	1.7	0.19	0.091	0.14	0.19	0.66	1.0	0.61	0.46	0.35	0.72	0.063	0.025	0.040	
<b>PCB 180</b>	0.030	0.056	0.019	0.010	0.033	0.024	0.035	0.26	0.043	0.017	0.028	0.035	0.075	0.079	0.066	0.069	0.042	0.076	0.045	0.0074	0.023	
<b>Summe 6:</b>	0.77	0.88	0.70	0.73	0.94	0.72	3.6	14	2.7	1.8	2.1	2.7	21	35	13	9.9	9.9	13	0.35	0.17	0.27	
<b>Summe 7:</b>	<b>0.87</b>	<b>1.0</b>	<b>0.80</b>	<b>0.81</b>	<b>1.1</b>	<b>0.84</b>	<b>3.8</b>	<b>17</b>	<b>2.9</b>	<b>1.9</b>	<b>2.3</b>	<b>2.9</b>	<b>22</b>	<b>36</b>	<b>14</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>14</b>	<b>0.39</b>	<b>0.19</b>	<b>0.30</b>	
<b>Abstand zu Blind</b>	3.1	3.7	2.9	2.9	3.9	3.0	14	61	10	6.7	8.2	10	78	131	49	37	37	50				

rot <2.5 x Blindwert  
 orange 2.5 bis 5 x Blindwert  
 grün >5 x Blindwert



Externe Bez.:	Reinstwasse	Mittelwert
Datum Probenahme	r 4	n=4
Interne Bez:	ng/L	ng/L
<b>PCB 28</b>	0.029	<b>0.029</b>
<b>PCB 52</b>	0.054	<b>0.070</b>
<b>PCB 101</b>	0.053	<b>0.058</b>
<b>PCB 118</b>	0.026	<b>0.027</b>
<b>PCB 138</b>	0.020	<b>0.030</b>
<b>PCB 153</b>	0.035	<b>0.041</b>
<b>PCB 180</b>	0.021	<b>0.024</b>
<b>Summe 6:</b>	0.21	<b>0.25</b>
<b>Summe 7:</b>	0.24	<b>0.28</b>
<b>Abstand zu Blind</b>		

rot <2.5 x Blindwert

gelb 2.5 bis 5 x Blindwert

grün >5 x Blindwert

B 180
B 153
B 138
B 118
B 101
B 52
B 28

Externe Bez.:	Piezo Bleu D16-1	Piezo Bleu D16-3	Piezo Bleu D16-5	Piezo Bleu D16-7	Piezo Bleu D16-8	Piezo Bleu D16-9	Piezo Bleu D16-10	F61-16-1	F61-16-3	F61-16-4	F61-16-5	F61-16-6
Datum Probenahme:	14.09.16	15.09.16	15.09.16	16.09.16	17.09.16	17.09.16	18.09.16	14.09.16	15.09.16	15.09.16	15.09.16	16.09.16
Interne Bez.:	28216p	27516p	27616p	31616p	30716p	30016p	29816p	28416p	27816p	32816p	27416p	32916p
ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L
<b>PCB 28</b>	0.18	0.06	0.048	0.37	0.39	0.097	0.10	0.30	5.2	1.4	0.18	1.35
<b>PCB 52</b>	0.25	0.11	0.076	0.43	0.35	0.15	0.12	1.4	21.7	2.0	2.2	2.9
<b>PCB 101</b>	0.22	0.13	0.072	0.30	0.21	0.15	0.11	2.8	19.1	3.1	3.0	4.8
<b>PCB 118</b>	0.29	0.10	0.055	0.23	0.068	0.13	0.081	3.7	17.3	4.0	2.6	5.1
<b>PCB 138</b>	0.14	0.09	0.053	0.23	0.12	0.14	0.090	1.7	8.2	1.4	1.3	1.8
<b>PCB 153</b>	0.16	0.12	0.065	0.16	0.060	0.086	0.062	2.9	14.8	2.8	2.5	2.9
<b>PCB 180</b>	0.050	0.021	0.011	0.035	0.015	0.021	0.018	0.49	2.9	0.57	0.25	0.32
<b>Summe 6:</b>	1.02	0.53	0.32	1.52	1.148	0.65	0.50	9.645	71.96	11	9.47	14
<b>Summe 7:</b>	<b>1.3</b>	<b>0.63</b>	<b>0.38</b>	<b>1.7</b>	<b>1.2</b>	<b>0.78</b>	<b>0.59</b>	<b>13</b>	<b>89</b>	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>19</b>
Abstand zu Blindwert:	3.1	1.5	0.90	4.1	2.9	1.8	1.4	32	211	36	29	46
Partikelmasse gesamt [g]:	0.0096	0.0022	0.0040	0.0057	0.0064	0.0011	0.0071	0.0011	0.3163	0.0032	0.0014	0.0039
Volumen gesamt [L]:	2.751	2.807	2.807	2.218	2.177	2.250	2.247	2.418	2.877	0.819	2.854	2.871
Partikel/Liter:	0.0035	0.00078	0.0014	0.00257	0.0029	0.00049	0.0032	0.00045	0.1099	0.0039	0.00049	0.00136
Bemerkungen:	wenig hellbrauner Belag	sehr wenig hellbeiger bis weisser Belag	sehr wenig hellbeiger bis weisser Belag	sehr wenig hellbeige Partikel	sehr wenig hellbeiger Belag	sehr wenige hellbeige Partikel	wenig hellbeige Partikel	beide Filter mit wenig leicht bräunlichem Belag	relativ viel baruner Belag	sehr wenig hellbeiger Belag	wenig schwach beiger Belag	sehr wenig hellbeiger Belag
<b>Rot &lt;2.5 x Blindwert</b>												
<b>Orange 2.5 bis 5 x Blindwert</b>												
<b>Grün &gt;5 x Blindwert</b>												
	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g
PCB 28	53	70	34	144	133	199	32	651	47	350	358	991
PCB 52	73	139	53	166	121	303	40	3179	198	503	4571	2169
PCB 101	64	168	51	118	72	306	35	6178	174	793	6175	3566
PCB 118	82	134	39	89	23	269	26	8175	157	1012	5260	3735
PCB 138	41	110	37	88	40	296	28	3679	75	361	2553	1352
PCB 153	47	157	45	62	21	175	20	6447	135	726	5150	2159
PCB 180	14	26	7.6	13	5.1	43	5.5	1068	27	146	504	233
<b>Summe 6:</b>	291.67	670.81	227.41	591.48	390.62	1322.86	159.48	21202	655	2878	19311	10470
<b>Summe 7:</b>	<b>374</b>	<b>804</b>	<b>266</b>	<b>681</b>	<b>414</b>	<b>1592</b>	<b>185.2</b>	<b>29376</b>	<b>812</b>	<b>3890</b>	<b>24571</b>	<b>14205</b>
Abstand zu Blindwert:	3.089	1.492	0.897	4.139	2.878	1.842	1.385	31.624	211.228	35.965	28.523	46
<b>Blindwert auf Proben-Masse berechnet</b>												
PCB 28	8.83	39.33	22	12	10	63	10	68	0.28	8	63	23
PCB 52	22.10	98.40	54	30	26	158	24	170	0.70	20	157	57
PCB 101	21.25	94.63	52	29	25	152	23	163	0.67	19	151	55
PCB 118	20.03	89.17	49	27	24	143	22	154	0.64	18	142	51
PCB 138	21.47	95.57	53	29	25	153	24	165	0.68	19	153	55
PCB 153	19.59	87.21	48	27	23	140	22	150	0.62	17	139	50
PCB 180	7.83	34.85	19	11	9	56	9	60	0.25	7.0	56	20
<b>Summe 7:</b>	<b>121</b>	<b>539</b>	<b>297</b>	<b>164</b>	<b>144</b>	<b>864</b>	<b>134</b>	<b>929</b>	<b>3.8</b>	<b>108</b>	<b>861</b>	<b>311</b>

Externe Bez.:	F61-16-7	F61-16-8	F61-16-9	F27-08-1	F27-08-3	F27-08-5	F27-08-7	F27-08-8	F27-08-9	F27-08-10	F23-08-1	F23-08-5	F23-08-7	F23-08-8	F23-08-9	F23-08-10	F21-08-1	F21-08-3
Datum Probenahme:	16.09.2016	17.09.2016	17.09.2016	14.09.2016	15.09.16	15.09.16	16.09.16	17.09.16	17.09.16	18.09.16	14.09.16	15.09.16	16.09.16	17.09.16	17.09.16	18.09.16	14.09.16	15.09.16
Interne Bez.:	31516p	30916p	29916p	28316p	27116p	27216p	31216p	30616p	30216p	30416p	28016p	27316p	31416p	30816p	31016p	30316p	28116p	27916p
ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L
<b>PCB 28</b>	8.4	0.93	0.60	0.35	0.10	0.14	0.44	0.45	0.36	0.43	0.60	1.33	3.16	0.95	1.06	36	93	31
<b>PCB 52</b>	76	6.7	4.7	0.83	0.14	0.27	0.35	0.44	0.31	0.40	0.73	2.05	4.76	1.05	1.13	49	97	45
<b>PCB 101</b>	64	8.5	7.9	0.88	0.10	0.19	0.18	0.25	0.20	0.29	0.22	0.43	1.11	0.27	0.31	9.2	49	20
<b>PCB 118</b>	62	7.5	7.4	1.25	0.049	0.28	0.09	0.093	0.11	0.21	0.23	0.46	0.88	0.15	0.18	8.9	47	18
<b>PCB 138</b>	65	6.9	6.2	0.65	0.042	0.12	0.11	0.15	0.19	0.27	0.19	0.39	1.26	0.23	0.27	14	17	9.2
<b>PCB 153</b>	47	3.6	3.1	1.0	0.078	0.17	0.059	0.074	0.10	0.16	0.24	0.51	0.77	0.14	0.16	9.1	25	13
<b>PCB 180</b>	12	0.78	0.59	0.19	0.020	0.046	0.021	0.023	0.026	0.076	0.14	0.29	0.55	0.11	0.12	10	6.2	3.1
<b>Summe 6:</b>	272	27.499	23.05	3.90	0.47	0.93	1.17	1.38	1.18	1.63	2.11	5.00	11.61	2.75	3.06	126	287	121
<b>Summe 7:</b>	<b>334</b>	<b>35</b>	<b>30</b>	<b>5.2</b>	<b>0.52</b>	<b>1.2</b>	<b>1.3</b>	<b>1.5</b>	<b>1.3</b>	<b>1.8</b>	<b>2.3</b>	<b>5.5</b>	<b>12</b>	<b>2.9</b>	<b>3.2</b>	<b>135</b>	<b>334</b>	<b>139</b>
Abstand zu Blindwert:	791	83	72	12	1.2	2.9	3.0	3.5	3.1	4.4	5.5	13	30	6.9	7.7	320	791	329
Partikelmasse gesamt [g]:	0.204	0.0072	0.0013	0.4575	0.0064	0.1044	0.0204	0.0254	0.0157	0.036	0.0428	0.1236	0.6814	0.0487	0.0388	6.095	0.671	0.2823
Volumen gesamt [L]:	2.282	2.273	2.272	2.558	2.702	2.892	2.227	2.258	2.241	2.234	2.542	2.852	2.281	2.278	2.275	2.279	2.589	2.867
Partikel/Liter:	0.089	0.00317	0.00057	0.1789	0.0024	0.0361	0.00916	0.0112	0.0070	0.0161	0.0168	0.043	0.2987	0.0214	0.0171	2.674	0.259	0.098
Bemerkungen:	braune Partikel	sehr wenig hellbraune Partikel	wenig hellbeige Partikel	viel brauner Belag	leicht grauer Belag	hellbraun rauer Belag	hellbraune Partikel	wenig hellbeige Partikel	wenig hellbeige Partikel	wenig hellbeige Partikel	leicht bräunlicher Belag	hellbrauner Belag	Brauner sandiger Belag viele Partikel	braune Partikel	braune Partikel	etwas größere Partikel (sandige)	viel schwarze r Belag	viel schwarze r Belag

Rot <2.5 x Blindwert
Orange 2.5 bis 5 x Blindwert
Grün >5 x Blindwert

	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g
<b>PCB 28</b>	94	293	1046	2.0	40.8	3.8	48	40	51	27	35	31	11	44	62	13	359	311
<b>PCB 52</b>	849	2124	8129	4.6	57.1	7.4	39	39	44	25	44	47	16	49	66	18	374	461
<b>PCB 101</b>	712	2693	13750	4.9	41.4	5.2	20	22	28	18	13	10	4	13	18	3.4	190	204
<b>PCB 118</b>	698	2362	12886	7.0	20.6	7.7	10	8	16	13	14	11	3.0	7	11	3.3	182	179
<b>PCB 138</b>	728	2191	10894	3.6	17.7	3.5	12	13	27	17	11	9.1	4.2	11	16	5.2	66	93
<b>PCB 153</b>	520	1133	5431	5.6	33.0	4.6	6.4	6.6	14	10	14	12	2.6	6.7	10	3.4	95	132
<b>PCB 180</b>	136	247	1030	1.1	8.6	1.3	2.3	2.0	3.7	4.7	8.1	6.7	1.8	5.2	7.1	3.7	24	32
<b>Summe 6:</b>	3039	8681	40280	21.83	199	26	127	122	169	101	126	115	39	129	179	47	1108	1233
<b>Summe 7:</b>	<b>3737</b>	<b>11043</b>	<b>53167</b>	<b>29</b>	<b>219</b>	<b>33</b>	<b>137</b>	<b>131</b>	<b>184</b>	<b>114</b>	<b>139</b>	<b>126</b>	<b>42</b>	<b>136</b>	<b>190</b>	<b>51</b>	<b>1290</b>	<b>1411</b>
Abstand zu Blindwert:	791	82.780	71.989	12.194	1.229	2.856	2.972	3.481	3.059	4.357	5.542	12.929	29.556	6.864	7.666	320.135	791.274	328.878
<b>Blindwert auf Proben-Masse berechnet</b>																		
<b>PCB 28</b>	0.34	10	54	0.17	13	0.85	3.4	2.7	4.4	1.9	1.8	0.71	0.10	1.4	1.8	0.012	0.12	0.31
<b>PCB 52</b>	0.86	24	135	0.43	33	2.1	8.4	6.9	11	4.8	4.6	1.8	0.26	3.6	4.5	0.029	0.30	0.78
<b>PCB 101</b>	0.83	23	130	0.41	31	2.1	8.1	6.6	11	4.6	4.4	1.7	0.25	3.5	4.3	0.028	0.29	0.75
<b>PCB 118</b>	0.78	22	122	0.39	30	1.9	7.6	6.2	10	4.3	4.2	1.6	0.23	3.3	4.1	0.026	0.27	0.71
<b>PCB 138</b>	0.84	24	131	0.42	32	2.1	8.2	6.7	11	4.6	4.4	1.7	0.25	3.5	4.4	0.028	0.29	0.76
<b>PCB 153</b>	0.76	22	119	0.38	29	1.9	7.5	6.1	9.8	4.2	4.1	1.6	0.23	3.2	4.0	0.026	0.26	0.69
<b>PCB 180</b>	0.31	8.6	48	0.15	12	0.76	3.0	2.4	3.9	1.7	1.6	0.63	0.09	1.3	1.6	0.010	0.11	0.28
<b>Summe 7:</b>	<b>4.7</b>	<b>133</b>	<b>739</b>	<b>2.4</b>	<b>178</b>	<b>12</b>	<b>46</b>	<b>38</b>	<b>60</b>	<b>26</b>	<b>25</b>	<b>10</b>	<b>1.4</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>0.16</b>	<b>1.6</b>	<b>4.3</b>

Externe Bez.:	F21-08-7	F21-08-8	F21-08-9	F21-08-10	Blindwert
Datum Probenahme:	16.09.16	17.09.16	17.09.16	18.09.16	
Interne Bez:	31116p	30516p	30116p	31316p	32216
<b>ng/L</b>	<b>ng/L</b>	<b>ng/L</b>	<b>ng/L</b>	<b>ng/L</b>	<b>ng/L</b>
<b>PCB 28</b>	4.5	1.6	2.5	1.5	0.031
<b>PCB 52</b>	4.8	1.8	3.3	1.9	0.077
<b>PCB 101</b>	2.1	0.84	1.7	0.86	0.074
<b>PCB 118</b>	2.1	0.84	1.8	0.74	0.070
<b>PCB 138</b>	1.4	0.60	1.1	0.53	0.075
<b>PCB 153</b>	0.86	0.33	0.63	0.30	0.068
<b>PCB 180</b>	0.34	0.13	0.25	0.12	0.027
<b>Summe6:</b>	14.13	5.27	9.44	5.26	0.35
<b>Summe 7:</b>	<b>16</b>	<b>6.1</b>	<b>11</b>	<b>6.0</b>	<b>0.42</b>
Abstand zu Blindwert:	38	14	27	14	1.0
Partikelmasse gesamt [g]:	0.0209	0.0079	0.0119	0.0084	
Volumen gesamt [L]:	2.273	2.269	2.272	2.531	
Partikel/Liter:	0.0092	0.00348	0.0052	0.00332	

Bemerkungen:

	sehr	sehr		
	wenig	wenig	wenig	
	braune	hellbeige	hellbeige	hellbraun
	Partikel	Partikel	Partikel	e Partikel

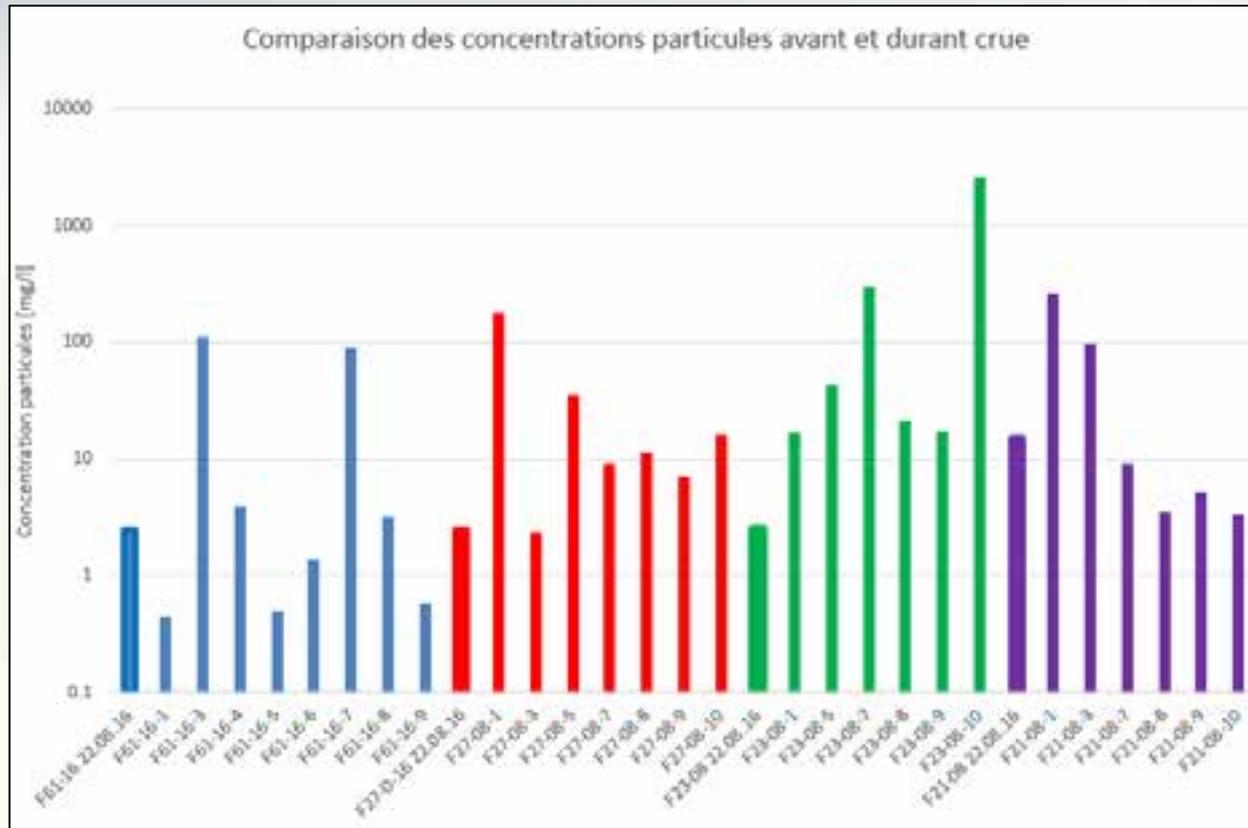
Rot <2.5 x Blindwert
Orange 2.5 bis 5 x Blindwert
Grün >5 x Blindwert

	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g
PCB 28	490	448	485	460
PCB 52	525	520	622	583
PCB 101	234	241	325	259
PCB 118	230	241	341	222
PCB 138	158	173	203	159
PCB 153	93	94	119	91
PCB 180	37	37	48	35
<b>Summe 6:</b>	1537	1514	1803	1586
<b>Summe 7:</b>	<b>1767</b>	<b>1755</b>	<b>2144</b>	<b>1808</b>
Abstand zu Blindwert:	38.448	14.457	26.573	14.200
<b>Blindwert auf Proben-Masse berechnet</b>				
PCB 28	3.4	8.9	5.9	9.3
PCB 52	8.4	22	15	23
PCB 101	8.1	21	14	22
PCB 118	7.6	20	13	21
PCB 138	8.1	22	14	23
PCB 153	7.4	20	13	21
PCB 180	3.0	7.8	5.2	8.2
<b>Summe 7:</b>	<b>46</b>	<b>121</b>	<b>81</b>	<b>127</b>

### **Annexe 3.3.3 – 3f**

## **Graphique des teneurs en PCB particulières avant et durant la crue dans les eaux souterraines**

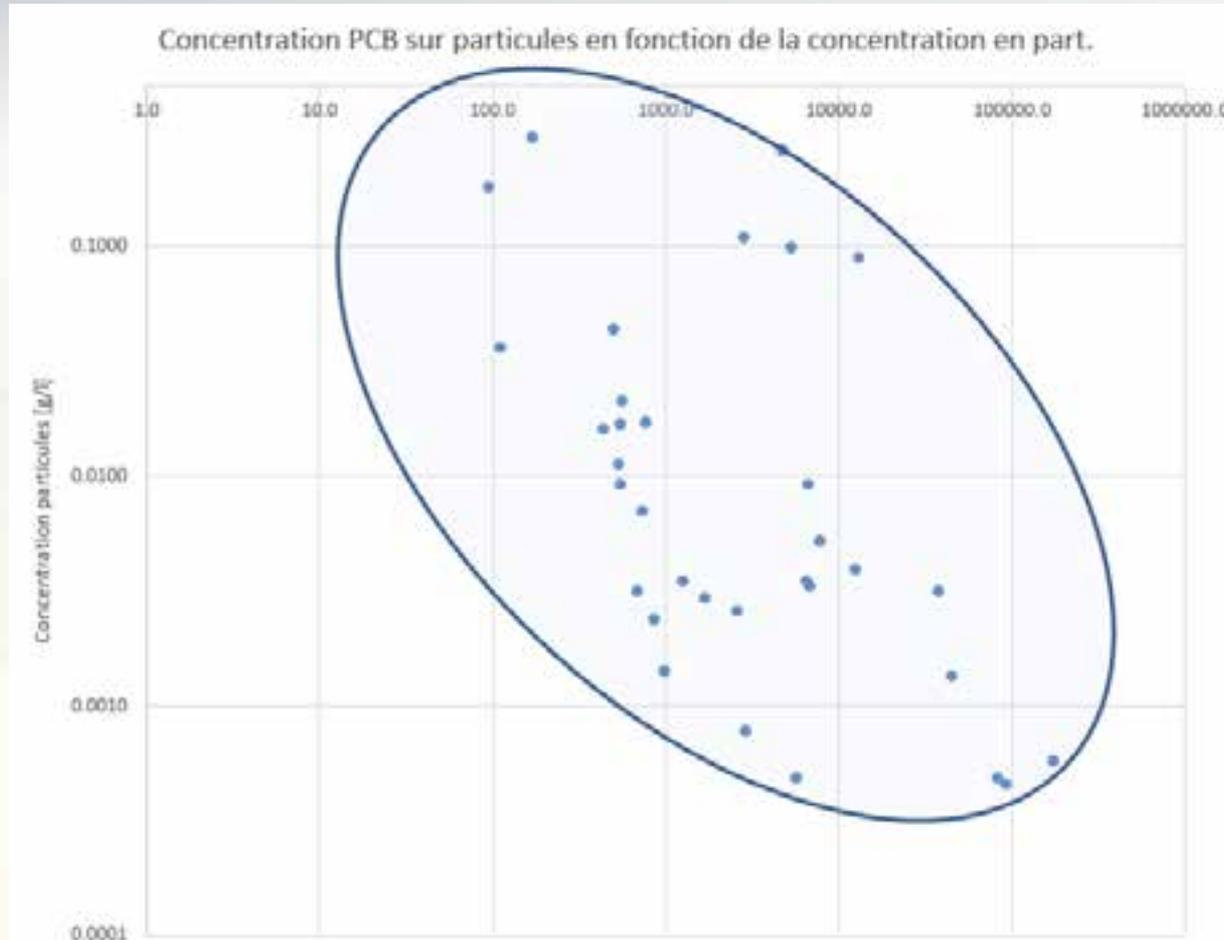
## 6.3 Particules dans l'eau souterraine: avant-pendant crue



- **Augmentation générale (mais pas pour tous les piézos) de la concentration en particules dans les échantillons durant la crue**

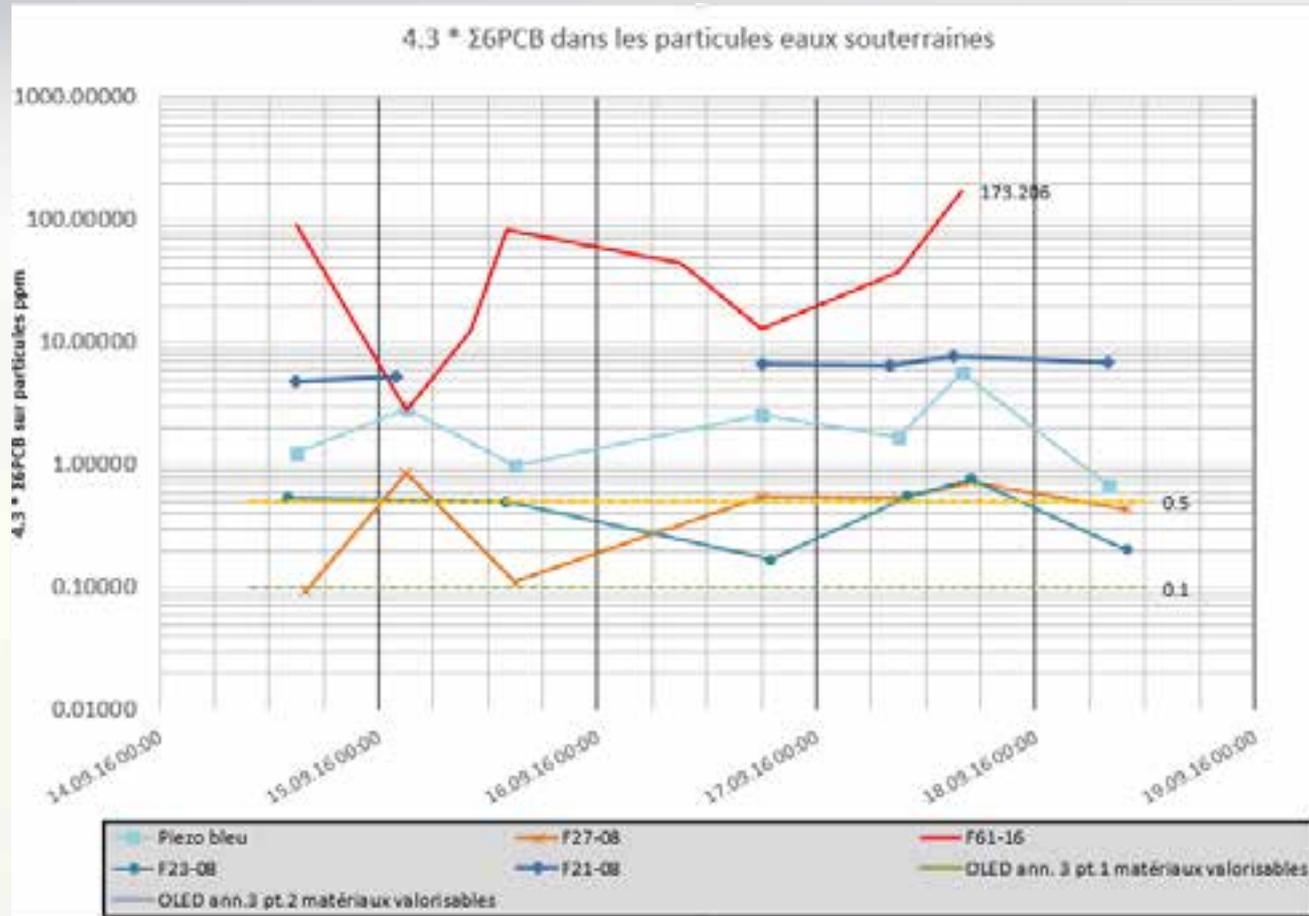
→ **Libération de fines de la zone non saturée**

## 6.3 PCB sur particules <-> conc. particules



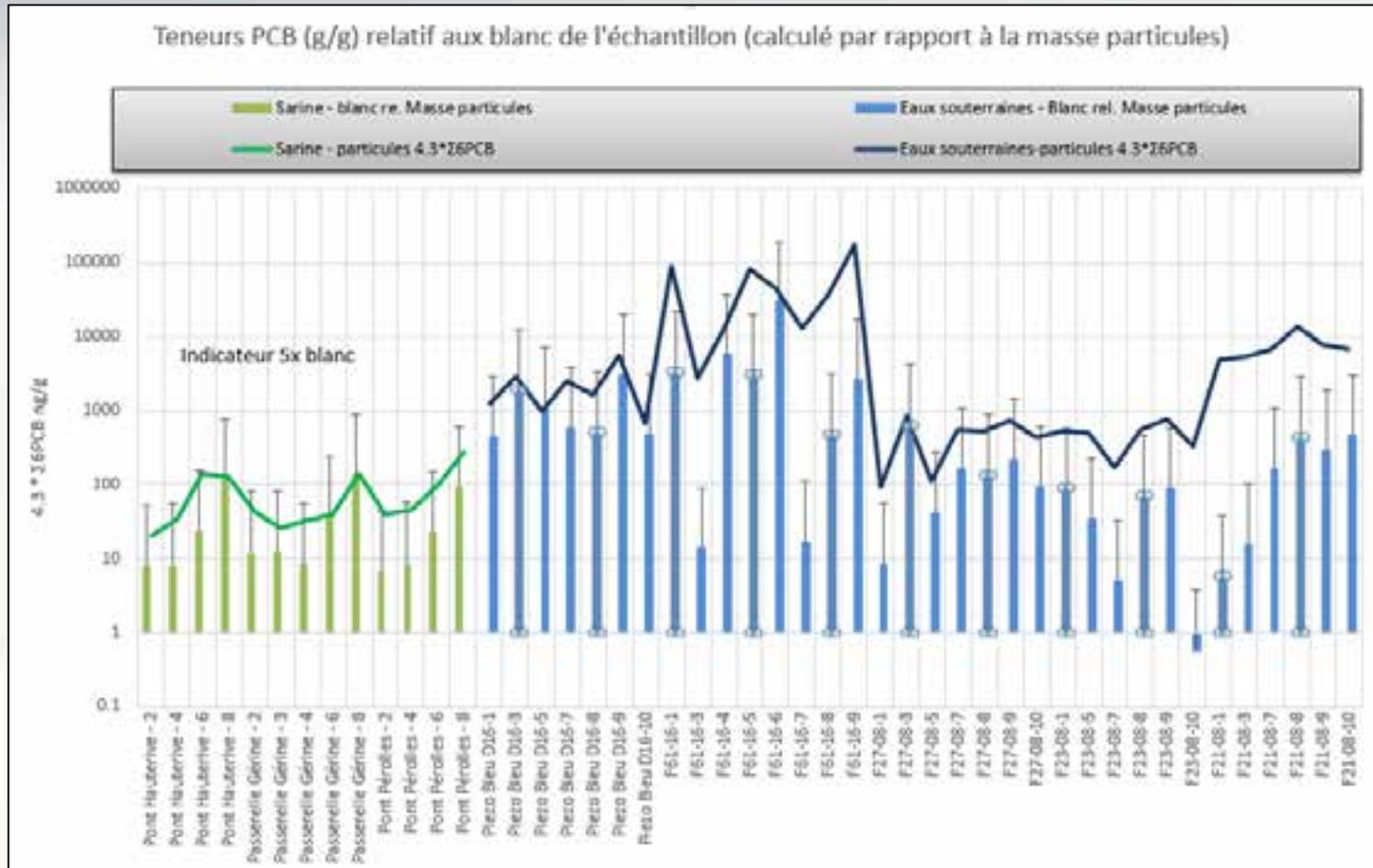
**Tendance: diminution de la concentration PCB sur les particules avec augmentation de MES dans l'échantillon**

## 6.3 PCB sur les particules



**Constats: teneurs PCB >> 0.1 mg/kg**

## 6.3 PCB sur les particules – compte tenu du blanc



**Les teneurs PCB sr les particules sont rarement > 5x blanc (calculé individuellement par échantillon et par masse de particules dans les échantillons)**

**Teneurs «fiables» : Eaux souterraines F23-08, F61-16, F21-08**

## **Annexe 4**

### **Calcul des stocks et flux de PCB dans la Sarine**

DÉCHARGE DE LA PILA  
SUITE DES DÉMARCHES EN RELATION AVEC  
LE PROJET D'ASSAINISSEMENT - MESURES  
COMPLÉMENTAIRES

ANNEXE CHAPITRE 4 - CALCULS DES STOCKS ET FLUX DE PCB DANS  
LA SARINE

Fribourg, le 25.05.2018  
FR2706.917



## TABLE DES MATIÈRES

<b>1.</b>	<b>CALCUL STOCK PCB LIT SARINE (SÉDIMENTS ET DÉCHETS)</b>	<b>5</b>
1.1	Masse sédiment et de condensateurs	6
1.2	Concentrations PCB sédiments	10
<b>2.</b>	<b>FLUX PCB DISSOUS</b>	<b>12</b>
2.1	Volumes d'eau	14
2.2	Concentrations PCB dissous	14
<b>3.</b>	<b>FLUX PCB MES</b>	<b>15</b>
3.1	Masse MES	16
3.2	Concentration PCB MES	19

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Paramètres utilisés pour le calcul des masses de sédiments et de condensateurs sur les différents tronçons et dans les différentes fractions	6
Tableau 2	Statistiques liées aux concentrations en PCB dans les sédiments des différents secteurs et des différentes fractions	10
Tableau 3 :	Feuille de calcul du stock sédiment pour la couche 0-15 cm (Figure 4.2 et Tableau 4.1 du rapport principal)	11
Tableau 4	Flux de PCB dissous et données utilisées pour les calculs A) en temps normal pour l'année 2016 et B) en temps normal entre 2010 et 2015	12
Tableau 5	Flux de PCB dissous et données utilisées pour les calculs en temps de crue	13
Tableau 6	Masses de MES calculées pour des intervalles de temps correspondants aux durée d'exposition des boîtes MES, à l'aide de trois calibration NTU-mg/L	18

## LISTE DES FIGURES

Figure 1-1	Schéma représentant les étapes principales de calcul du stock PCB lit Sarine	5
Figure 1-2	Mise en évidence (couleur bleue) des surfaces incluses dans le calcul de masse de sédiment, pour le tronçon Pila-Gérine et pour les couches profondes (15-75 cm)	7
Figure 1-3	Pourcentages de masse de la fraction inférieure à 2 mm par rapport aux sédiments bruts, pour 14 échantillons ayant fait l'objet d'une analyse de granulométrie	8
Figure 1-4	Mise en évidence (couleur jaune) des surfaces où des condensateurs ont été observés en 2016 (A) et autres surfaces soupçonnées contenir des condensateurs (B)	9

Figure 2-1	Schéma résumant les étapes principales de calcul des flux de PCB dissous dans la Sarine	12
Figure 3-1	Schéma illustrant les étapes principales de calcul du flux PCB-MES	16

## 1. Calcul du stock de PCB dans le lit de la Sarine (sédiments et déchets)

L'approche retenue pour estimer le stock de PCB présent dans le lit la Sarine est la suivante :

1. Évaluation de la masse de sédiments et de condensateurs présente sur les trois secteurs d'étude du cours d'eau (Pila-Gérine, Gérine-Lac, Lac Pérolles) et pour les fractions de sédiments supérieures et inférieures à 2 mm
2. Estimation de la masse de PCB en appliquant les concentrations mesurées aux différents secteurs et aux différentes fractions.

Les étapes de calcul sont présentées sur le schéma suivant et développées dans les chapitres suivants.

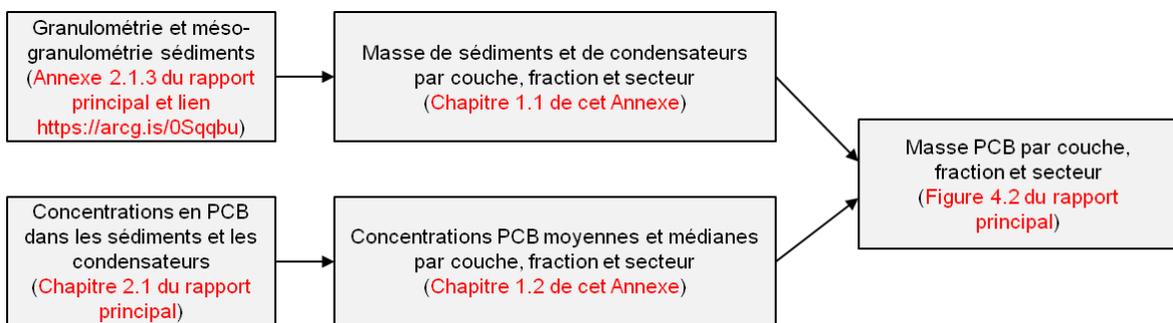


Figure 1-1 Schéma représentant les étapes principales de calcul du stock PCB lit Sarine

D'abord, une masse de PCB est calculée en utilisant une concentration moyenne de PCB dans les sédiments. Les autres paramètres (superficie des couches profondes [m<sup>2</sup>], pourcentage de masse correspondant à la fraction < 2 mm, masse volumique des sédiments [kg/m<sup>3</sup>]) varient, ce qui permet d'obtenir une valeur minimale et maximale. Ensuite, un autre stock PCB est calculé en utilisant une concentration médiane de PCB dans les sédiments. Les autres paramètres varient aussi, ce qui permet à nouveau d'obtenir une valeur minimale et maximale.

Finalement, une moyenne des deux stocks calculés (l'un avec la concentration médiane, l'autre avec la concentration moyenne en PCB) est calculée. Les valeurs minimums et maximums moyennes de ces stocks sont aussi calculées. Ces masses de PCB sont estimées dans chaque fraction (< et > 2 mm ; condensateurs), couche (0-15 ; > 15 cm) et secteur (Pila-Gérine, Gérine-Lac, Lac). Les masses de PCB sont ensuite regroupées par secteur, en additionnant toutes les couches et fractions de ce secteur (en incluant la fraction « condensateur » sur le tronçon Pila-Gérine).

Une partie du PCB présent dans le lit de la Sarine ne provient pas de la décharge, mais de d'autres sources (ex. atmosphériques, dissous et particulaire de l'amont, etc.). Afin de rendre compte du PCB provenant de la décharge uniquement, toutes les masses de PCB associées à des concentrations (moyennes ou médianes) inférieures à 0.043 mg/kg somme 6 x 4.3 ont été omises. Pour rappel, la valeur 0.043 se réfère selon l'OFEV(2010) à la limite supérieure de sédiments jugés « faiblement pollués ». Les concentrations (médiane ou moyenne) sont inférieures à 0.043 mg/kg dans les couches de surface (0-15 cm) du secteur Gérine-Lac, ainsi que les fractions fines < 2 mm du Lac de Pérolles. Les masses de PCB « provenant probablement de la décharge » ont donc été estimées en excluant ces secteurs/fractions, dans l'hypothèse que leur source est indépendante de la Pila.

## 1.1 Masse sédiment et de condensateurs

La masse de sédiment a été estimée en multipliant un volume (superficie x profondeur, m<sup>3</sup>) par une masse volumique (kg/m<sup>3</sup>). Toutes les masses de sédiments, de même que les paramètres ayant servi aux calculs de celles-ci, sont résumés dans le tableau suivant.

Tableau 1 Paramètres utilisés pour le calcul des masses de sédiments et de condensateurs sur les différents tronçons et dans les différentes fractions

Secteur	Paramètre	Fraction, couche			
		< 2 mm, 0-15 cm	< 2 mm, > 15 cm	> 2 mm, 0-15 cm	> 2 mm, > 15 cm
Pila-Gérine	Superficie (m <sup>2</sup> )	62'695	10'676-14'611	62'695	10'676-14'611
	Profondeur (m)	0.15	0.60	0.15	0.60
	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> ) <sup>1, 2</sup>	1'550-1'820	1'550-1'820	1'550-1'820	1'550-1'820
	%Masse fraction/masse totale	10-30	10-30	70-90	70-90
	Masse sédiment (kg)	3.3E+06	2.9E+06	1.3E+07	1.1E+07
	± Masse sédiment (kg)	1.8E+06	1.9E+06	2.6E+06	3.7E+06
Gérine-Pérolles	Superficie (m <sup>2</sup> )	186'291	-	186'291	-
	Profondeur (m)	0.15	-	0.15	-
	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	1'550-1'820	1'550-1'820	1'550-1'820	1'550-1'820
	%Masse fraction/masse totale	10-30	10-30	70-90	70-90
	Masse sédiment (kg)	9.8E+06	-	3.8E+07	-
	± Masse sédiment (kg)	5.5E+06	-	7.7E+06	-
Pérolles	Superficie (m <sup>2</sup> )	265'551	261'048-265'551	265'551	261'048-265'551
	Profondeur (m)	0.15	1.05	0.15	1.05
	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	1'460-1'600	1'460-1'600	1'460-1'600	1'460-1'600
	%Masse fraction/masse totale	80-100	80-100	0-20	0-20
	Masse sédiment (kg)	5.5E+07	3.8E+08	6.4E+06	4.7E+07
	± Masse sédiment (kg)	8.6E+06	6.3E+07	6.4E+06	4.3E+07

1 <http://www.sgtuffiere.ch/FR/sables-et-graviers-tuffiere-sa.html>

2 [https://fr.wikipedia.org/wiki/Masse\\_volumique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Masse_volumique)

La superficie des secteurs a été estimée manuellement avec l'outil mesure d'ArcGIS, à partir du contour des berges. Pour le secteur Pila-Gérine et pour les couches sédimentaires profondes (>15 cm), seuls les « bancs latéraux de sable ou de cailloux » illustrées ci-dessous ont été considérées, puisqu'aucune carotte cryogénique n'était disponible au milieu du cours d'eau.

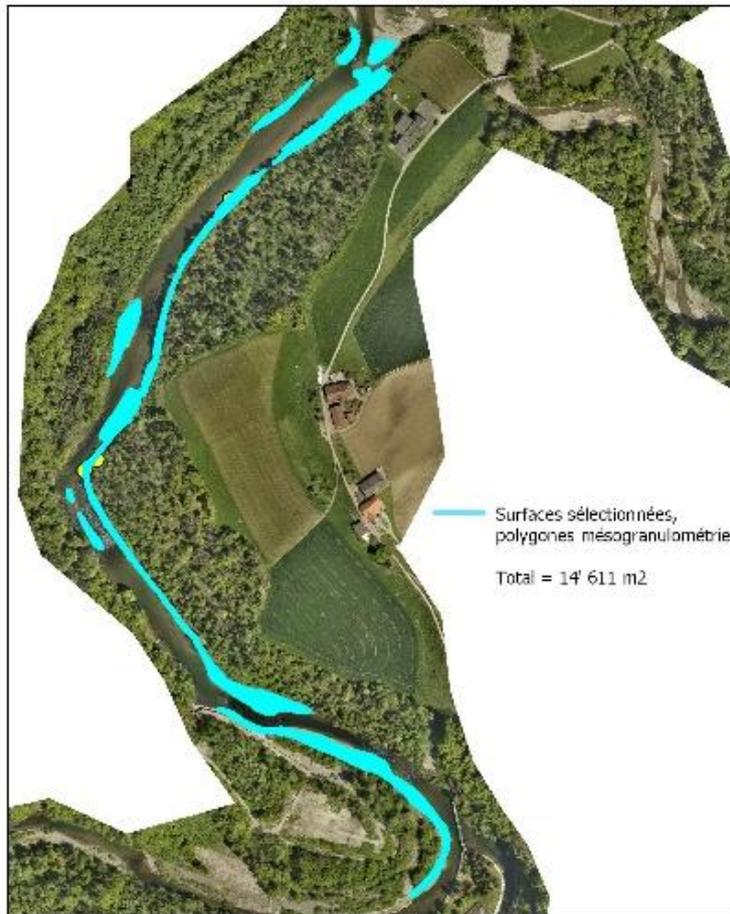


Figure 1-2 Mise en évidence (couleur bleue) des surfaces incluses dans le calcul de masse de sédiment, pour le tronçon Pila-Gérine et pour les couches profondes (15-75 cm)

C'est pourquoi la superficie de la couche de surface 0-15 cm (62'695 m<sup>2</sup>) est supérieure à la superficie de la couche profonde (10'676-14'611 m<sup>2</sup>), dans le secteur Pila-Gérine (voir Tableau 1).

La profondeur considérée « sur les bancs » du secteur Pila-Gérine est la moyenne échantillonnée par carottage cryogénique, c'est-à-dire 75 cm. Pour le secteur Gérine-Pérolles, seule la couche 0-15 cm est considérée, puisqu'aucune carotte cryogénique n'est disponible. Pour le secteur Lac Pérolles, la moyenne des profondeurs maximales atteinte lors des carottages cryogéniques est considérée, c'est-à-dire 120 cm. Les masses volumiques sont tirées de sources externes (références en lien Web) pour les sables et les graviers.

Une masse volumique de type « graviers » (1'550-1'820 kg/m<sup>3</sup>) est appliqué aux sédiments des secteurs Pila-Gérine et Gérine-Lac, alors qu'une masse volumique de type « sables » (1'460-1'600 kg/m<sup>3</sup>) est appliquée aux sédiments du secteur Lac Pérolles. Cette attribution est confirmée par une cartographie de la granulométrie du lit de la Sarine pour le secteur à l'étude (mésogranulométrie), dont les résultats figurent en ligne via le lien Web suivant : <https://arcg.is/0Sqqbu>. La mésogranulométrie a permis d'attribuer des surfaces à l'un des quatre types de sédiments suivants: 1) les sédiments fins < 2 mm 2) les graviers fins 2 mm- 2 cm 3) les galets 2 – 100 cm et 4) la molasse et les blocs > 100 cm. Les surfaces ont été définies à l'aide d'un iPhone 6S équipé d'un GPS-track et d'ArcGIS Collector. Le géoréférencement était assuré par les satellites américains GPS et les satellites russes du système GLONASS, avec une incertitude d'environ 5 mètres. Seules les surfaces de type 1, 2 et 4 ont été relevées sur le terrain. Le reste de la surface a été attribuée au type 3. Le type 1 (< 2 mm) est largement

dominant dans le Lac, alors que le type 3 (galets 2-100 cm) est largement dominant sur les secteurs Pila-Gérine et Gérine-Lac.

Le paramètre « %Masse fraction/masse totale » correspond au pourcentage de masse d'une fraction (< ou > 2 mm) par rapport à la masse totale de sédiments bruts. Ces pourcentages ont été appliqués aux masses totales, afin de déterminer des masses de sédiment < et > 2 mm lesquelles ont fait l'objet d'analyse PCB séparées. Les valeurs %Masse fraction/masse totale sont basées sur 14 analyses granulométriques, dont l'emplacement figure sur un carte Web en ligne : <https://arcg.is/0Sqqu> (points oranges, G# 1 à 14). Les échantillons G# sont des sédiments de surface (0-15 cm), prélevés en plusieurs points avec une pelle et sur une surface de 10 m<sup>2</sup>. chaque échantillon est d'au moins 10 kg. Sur le terrain, les gros cailloux ont été écartés, mais leur poids a été noté afin d'obtenir une image complète de la granulométrie. Les échantillons ont été envoyés au laboratoire EUB à Berne, lequel s'est occupé de sécher l'échantillon et d'effectuer une analyse granulométrique complète de type USCS. Les proportions de matériaux fins <2mm, %Masse fraction/masse totale, sont comprises entre 10% et 30% dans les secteurs Pila-Gérine et Gérine-Lac (mésogranulométrie type 3) ; alors que dans le secteur Lac Pérolles (mésogranulométrie type 1) elles sont comprises entre 80% et 100%. Les résultats individuels (%Masse fraction/masse totale) des points G#1 à 14 se trouvent en Annexe 2.1.3 (Sédiments résumé des mesures) du rapport principal et sont illustrés à la figure suivante.

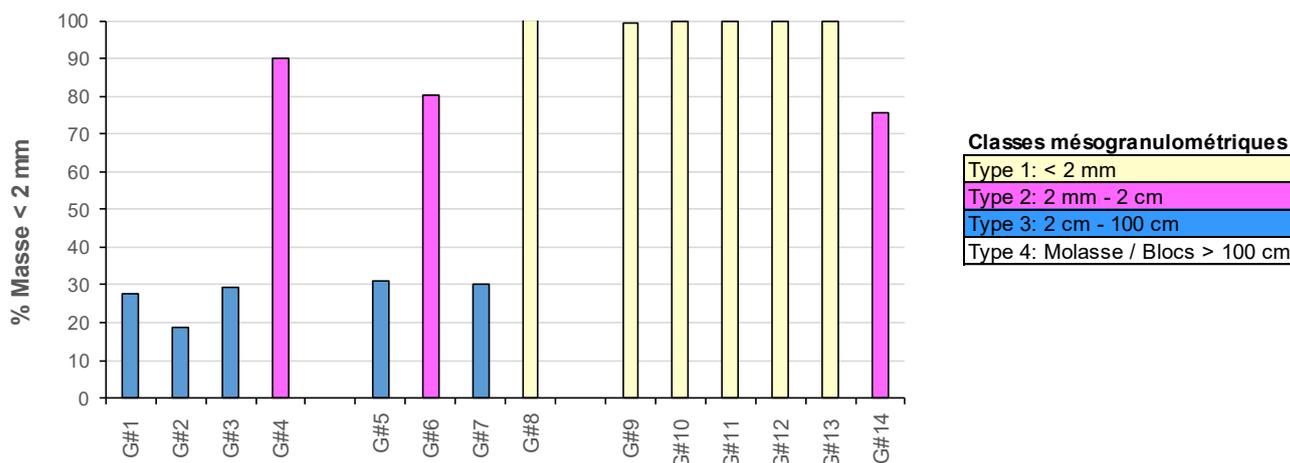


Figure 1-3 Pourcentages de masse de la fraction inférieure à 2 mm par rapport aux sédiments bruts, pour 14 échantillons ayant fait l'objet d'une analyse de granulométrie

La masse de condensateurs collectés en 2016 sur le secteur Pila-Gérine, dans le cadre des échantillonnages sédiments et gammars, est d'environ 550 g sans séchage (estimée à environ 500 g sec). La surface sur laquelle les condensateurs ont été retrouvés en 2016 est estimée à 1'757 m<sup>2</sup> (Outil mesure sur ArcGIS). La superficie totale risquant contenir des condensateurs sur le secteur Pila-Gérine est cependant nettement plus grande. Elle est estimée, sur la base d'observations de condensateurs ou de morceaux de condensateurs en 2016 et dans les années précédentes, à 18'502 m<sup>2</sup> (1'757 + 16'745 m<sup>2</sup>). Les figures ci-dessous illustrent les surfaces « échantillonnées » et celles « soupçonnées » contenir des condensateurs.

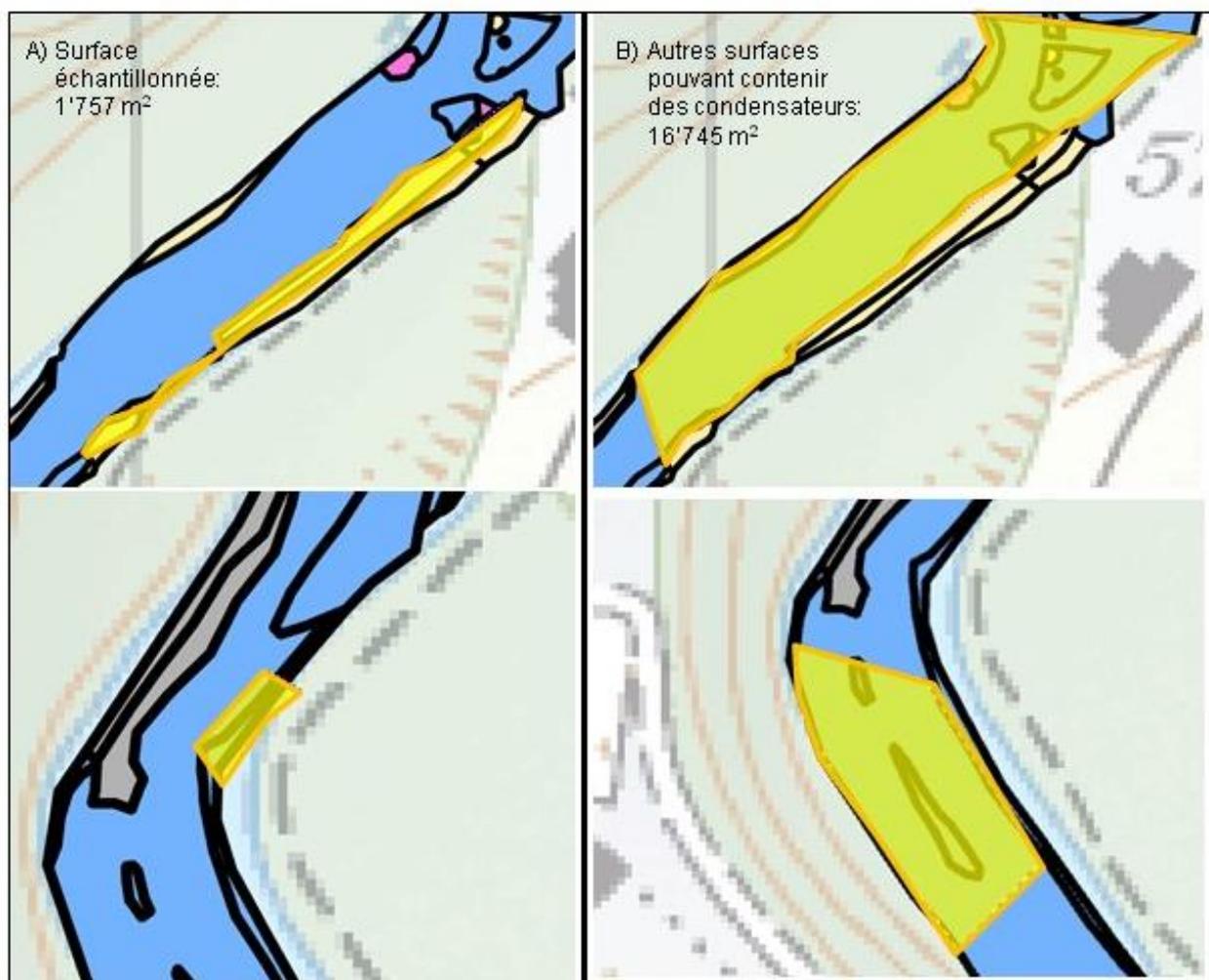


Figure 1-4 Mise en évidence (couleur jaune) des surfaces où des condensateurs ont été observés en 2016 (A) et autres surfaces soupçonnées contenir des condensateurs (B)

La densité de condensateurs retrouvés en 2016 (550 g sur 1'757 m<sup>2</sup>) a donc été extrapolée sur une surface de 18'502 m<sup>2</sup>, ce qui donne une masse de condensateur égale à 5.3 kg. Cette masse correspond aux condensateurs visibles. Pour rendre compte des condensateurs « non visibles » se trouvant enfouis dans les sédiments de 0 à 75 cm, un certain facteur est appliqué. Ce facteur (x 37.5) correspond à la profondeur de sédiment considérée (75 cm), divisée par le diamètre typique d'un condensateur retrouvé dans la Sarine (2 cm). La masse totale de condensateurs compris dans la couche sédimentaire 0-75 cm du secteur Pila-Gérine est donc estimée à 197 kg (5.3 x 37.5). Cette masse de condensateur (2.0x10<sup>2</sup> kg) est de 4 à 6 ordres de grandeur inférieurs aux masses de sédiments (entre 1x10<sup>6</sup> et 1x10<sup>8</sup> kg). Sur les secteurs Gérine-Pérolles et Lac Pérolles, la masse de condensateur est supposée égale à 0, puisqu'aucun condensateur entier n'a été observé en 2016.

## 1.2 Concentrations PCB sédiments

Les concentrations analysées dans les différentes fractions et couches sédimentaires sont résumées dans le tableau suivant. Les méthodes d'échantillonnage liées à ces sédiments se trouvent dans le chapitre 2.1 du rapport principal.

Tableau 2 Statistiques liées aux concentrations en PCB dans les sédiments des différents secteurs et des différentes fractions

Secteur	Paramètre	Fraction, couche			
		< 2 mm, 0-15 cm	< 2 mm, > 15 cm	> 2 mm, 0-15 cm	> 2 mm, > 15 cm
Pila-Gérine	Nbre de mesure	27	6	11	4
	Conc. MIN-MAX (mg/kg)	0.007 - 3.419	0.090 - 5.981	0.007 - 12.896	0.044 - 11.537
	Conc. moyenne	0.4	2.0	1	3
	Conc. médiane	0.2	1.3	0.1	0.28
Gérine-Pérolles	Nbre de mesure	19	-	4	-
	Conc. MIN-MAX (mg/kg)	0.000* - 0.033	-	0.000* - 0.030	-
	Conc. moyenne	0.006	-	0.01	-
	Conc. médiane	0.004	-	0.009	-
Pérolles	Nbre de mesure	26	8	7	6
	Conc. MIN-MAX (mg/kg)	0.000* - 0.232	0.004 - 0.093	0.002 - 0.561	0.008 - 0.638
	Conc. moyenne	0.03	0.044	0.1	0.267
	Conc. médiane	0.02	0.039	0.05	0.132

\*inférieure à la limite de détection (< LQ) c'est-à-dire 0.0004 mg/kg

Dans le secteur Gérine-Pérolles, aucune carotte cryogénique n'a permis de déterminer des concentrations PCB en profondeur. Le nombre de mesure dans la fraction < 2 mm est toujours supérieur au nombre de mesure dans la fraction > 2 mm, pour une même couche et un même secteur. Aussi, le nombre de mesure dans la couche 0-15 cm est toujours supérieur au nombre de mesure dans la couche > 15 cm, pour une même fraction et un même secteur.

Les concentrations minimums et maximums (Conc. MIN-MAX) permettent d'illustrer la gamme des valeurs possibles. Les écarts les plus importants se retrouvent sur le secteur Pila-Gérine. Par exemple dans les fractions > 2 mm du secteur Pila-Gérine, l'ordre de grandeur de la concentration minimum ( $1 \times 10^{-2}$  mg/kg) est trois fois moindre que l'ordre de grandeur de la concentration maximum ( $1 \times 10^1$  mg/kg).

Les concentrations moyenne et médiane sont toutes deux utilisées pour calculer des masses de PCB. Les masses de PCB obtenues avec les concentrations moyenne et médiane sont ensuite regroupées en une masse de PCB moyenne, minimum et maximum dans chaque fraction (< et > 2 mm ; condensateurs), couche (0-15 ; > 15 cm) et secteur (Pila-Gérine, Gérine-Lac, Lac).

Les concentrations minimum et maximum appliquées aux condensateurs sont de 20'900 et 92'600 mg/kg, respectivement. Ces concentrations ont été déterminées en 2008 par CSD, en analysant des petits condensateurs se trouvant sur la décharge.

La feuille de calcul suivante présente le détail du calcul des stocks sédiments pour la couche 0-15 centimètres de profondeur.

**FRACTION FINE < 2 mm**

**Calculs stock surface (0-15cm), fraction fine < 2 mm. Découpage manuel, Conc. PCB moyennes, G#1 avec < 2 mm entre 80 et 100%**

Segment	Découpage manuel		Volume sédiment (m3)	Masses volumiques (kg/m3)				Masse totale sédiment (kg)				% Masse < 2 mm				Masse < 2 mm sédiment (kg)				Masse PCB (kg) < 2 mm						
	Surface m2	Concentrations PCB moy Somme 6 x 4.3 (mg/kg)		Volume sédim	Volume sédim	0/4 mm diam, Sables Wiki		32/45 mm dia Gravier BA		MIN kg G1	MAX kg G1	MIN kg G3	MAX kg G3	Type G1	Type G1	Type G3	Type G3	Type G1	Type G1	Type G3	Type G3	TypeG1+G3	TypeG1+G3	TOTAL	TOTAL	
Pila-Gérine	62'695	0.4	0	9'404	1460	1600	1550	1820	0	0	14'576'492	17'115'622	0.80	1.00	0.10	0.30	0	0	1'457'649	5'134'687	1'457'649	5'134'687	1'457'649	5'134'687	1	2
Gérine-Lac	186'291	0.006	0	27'944	1460	1600	1550	1820	0	0	43'312'705	50'857'498	0.80	1.00	0.10	0.30	0	0	4'331'270	15'257'249	4'331'270	15'257'249	4'331'270	15'257'249	0.03	0.10
Lac	265'551	0.03	39'833	0	1460	1600	1550	1820	58'155'669	63'732'240	0	0	0.80	1.00	0.10	0.30	46'524'535	63'732'240	0	0	46'524'535	63'732'240	46'524'535	63'732'240	1.58	2.17
Total																							2	4		

**Calculs stock surface (0-15cm), fraction fine < 2 mm. Découpage manuel, Conc. PCB médianes, G#1 avec < 2 mm entre 80 et 100%**

Segment	Découpage manuel		Volume sédiment (m3)	Masses volumiques (kg/m3)				Masse totale sédiment (kg)				% Masse < 2 mm				Masse < 2 mm sédiment (kg)				Masse PCB (kg) < 2 mm						
	Surface m2	Concentrations PCB med Somme 6 x 4.3 (mg/kg)		Volume sédim	Volume sédim	0/4 mm diam, Sables Wiki		32/45 mm dia Gravier BA		MIN kg G1	MAX kg G1	MIN kg G3	MAX kg G3	Type G1	Type G1	Type G3	Type G3	Type G1	Type G1	Type G3	Type G3	TypeG1+G3	TypeG1+G3	TOTAL	TOTAL	
Pila-Gérine	62'695	0.2	0	9'404	1460	1600	1550	1820	0	0	14'576'492	17'115'622	0.80	1.00	0.10	0.30	0	0	1'457'649	5'134'687	1'457'649	5'134'687	1'457'649	5'134'687	0.3	1
Gérine-Lac	186'291	0.004	0	27'944	1460	1600	1550	1820	0	0	43'312'705	50'857'498	0.80	1.00	0.10	0.30	0	0	4'331'270	15'257'249	4'331'270	15'257'249	4'331'270	15'257'249	0.02	0.07
Lac	265'551	0.02	39'833	0	1460	1600	1550	1820	58'155'669	63'732'240	0	0	0.80	1.00	0.10	0.30	46'524'535	63'732'240	0	0	46'524'535	63'732'240	46'524'535	63'732'240	0.85	1.16
Total																							1	2		

Synthèse stock PCB de la fraction < 2 mm 0-15 cm [kg]						
	< 2 mm	MOY	MIN	MAX	± NEG	± POS
Tous secteur	3	1	1	4	1	2
Pila-Gérine	1.1	0.3	0.3	2	0.7	1.1
Gérine-Lac	0.05	0.02	0.02	0.10	0.03	0.04
Lac Pérolles	1.4	0.8	0.8	2	0.6	0.7

**Calculs stock surface (0-15cm), refus > 2 mm. Découpage manuel, Conc. PCB moyennes avec 12.8 ppm, G#1 avec < 2 mm entre 80 et 100%**

Segment	Découpage manuel		Volume sédiment (m3)	Masses volumiques (kg/m3)				Masse totale sédiment (kg)				% Masse > 2 mm				Masse > 2 mm sédiment (kg)				Masse PCB (kg) < 2 mm						
	Surface m2	Concentrations PCB moy Somme 6 x 4.3 (mg/kg)		Volume sédim	Volume sédim	0/4 mm diam, Sables Wiki		32/45 mm dia Gravier BA		MIN kg G1	MAX kg G1	MIN kg G3	MAX kg G3	Type G1	Type G1	Type G3	Type G3	Type G1	Type G1	Type G3	Type G3	TypeG1+G3	TypeG1+G3	TOTAL	TOTAL	
Pila-Gérine	62'695	1	0	9'404	1460	1600	1550	1820	0	0	14'576'492	17'115'622	0.00	0.20	0.70	0.90	0	0	10'203'544	15'404'060	10'203'544	15'404'060	10'203'544	15'404'060	14	21
Gérine-Lac	186'291	0.01	0	27'944	1460	1600	1550	1820	0	0	43'312'705	50'857'498	0.00	0.20	0.70	0.90	0	0	30'318'893	45'771'748	30'318'893	45'771'748	30'318'893	45'771'748	0.36	0.54
Lac	265'551	0.1	39'833	0	1460	1600	1550	1820	58'155'669	63'732'240	0	0	0.00	0.20	0.70	0.90	0	12'746'448	0	0	0	12'746'448	0	12'746'448	0.00	1.80
Total																							14	23		

**Calculs stock surface (0-15cm), refus > 2 mm. Découpage manuel, Conc. PCB médianes, avec 12.8 ppm, G#1 avec < 2 mm entre 80 et 100%**

Segment	Découpage manuel		Volume sédiment (m3)	Masses volumiques (kg/m3)				Masse totale sédiment (kg)				% Masse > 2 mm				Masse > 2 mm sédiment (kg)				Masse PCB (kg) < 2 mm						
	Surface m2	Concentrations PCB med Somme 6 x 4.3 (mg/kg)		Volume sédim	Volume sédim	0/4 mm diam, Sables Wiki		32/45 mm dia Gravier BA		MIN kg G1	MAX kg G1	MIN kg G3	MAX kg G3	Type G1	Type G1	Type G3	Type G3	Type G1	Type G1	Type G3	Type G3	TypeG1+G3	TypeG1+G3	TOTAL	TOTAL	
Pila-Gérine	62'695	0.1	0	9'404	1460	1600	1550	1820	0	0	14'576'492	17'115'622	0.00	0.20	0.70	0.90	0	0	10'203'544	15'404'060	10'203'544	15'404'060	10'203'544	15'404'060	1	1
Gérine-Lac	186'291	0.009	0	27'944	1460	1600	1550	1820	0	0	43'312'705	50'857'498	0.00	0.20	0.70	0.90	0	0	30'318'893	45'771'748	30'318'893	45'771'748	30'318'893	45'771'748	0.27	0.40
Lac	265'551	0.05	39'833	0	1460	1600	1550	1820	58'155'669	63'732'240	0	0	0.00	0.20	0.70	0.90	0	12'746'448	0	0	0	12'746'448	0	12'746'448	0.00	0.61
Total																							1	2		

Synthèse stock PCB de la fraction > 2 mm 0-15 cm [kg]						
	> 2 mm	MOY	MIN	MAX	± NEG	± POS
Tout le secteur	10	1	1	23	9	13
Pila-Gérine	9	1	1	21	8	12
Gérine-Lac	0.4	0	0	1	0.1	0.1
Lac	0.6	0	0	2	0.6	1.2

Tableau 3 : Feuille de calcul du stock sédiment pour la couche 0-15 cm (Figure 4.2 et Tableau 4.1 du rapport principal)

## 2. Flux PCB dissous

L'approche pour calculer un flux PCB dissous dans la Sarine consiste à multiplier un volume d'eau (L) transitant annuellement, par une concentration en PCB (ng/L) moyenne annuelle dérivée des capteurs passifs (temps normal) ou d'échantillons ponctuels (crue artificielle). Les grandes étapes de calcul sont résumées dans le schéma suivant et seront développées dans les chapitres suivants.

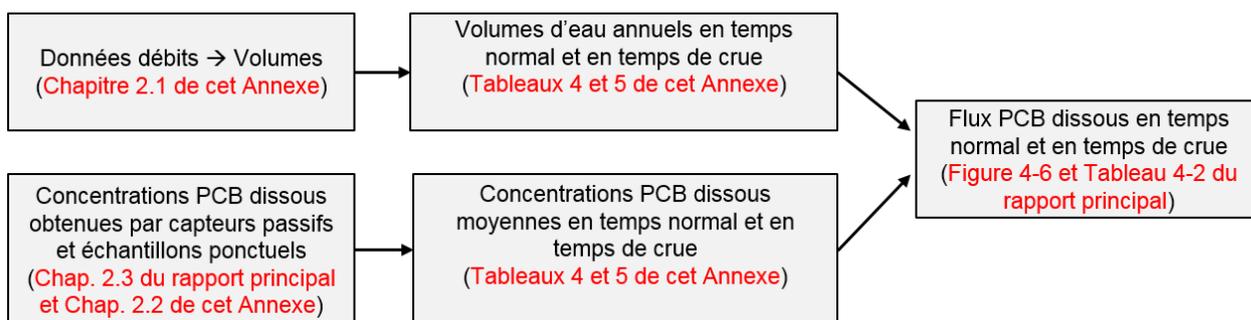


Figure 2-1 Schéma résumant les étapes principales de calcul des flux de PCB dissous dans la Sarine

En temps normal pour l'année 2016, il est possible de calculer des flux dissous aux points Amont Pila, Aval (capteurs Aval Pila 1, Aval Pila 2 et Passerelle), Gérine, Glâne et Pont de Pérolles (capteur Creux du Loup, voir Figure 2-22 du rapport principal). Pour l'année 2016, les concentrations sont corrigées selon les facteurs déterminés par l'EMPA à l'aide des capteurs passifs marquées avec les PCR (voir chapitre 2.2 ci-dessous). Les données de la campagne de mesures de novembre 2015 avec les capteurs passifs ont été intégrées pour le calcul des flux « 2016 ».

Entre 2010 et 2016 en temps normal, il est aussi possible de déterminer des flux, mais seulement aux points Amont et Aval (capteurs Aval Pila 1, Aval Pila 2 et Passerelle). Les flux dissous estimés en temps normal, de même que les données ayant servies aux calculs, se trouvent dans les tableaux ci-dessous.

Tableau 4 Flux de PCB dissous et données utilisées pour les calculs A) en temps normal pour l'année 2016 et B) en temps normal entre 2010 et 2016

A)

Secteur	Volume annuel (L/a)	Nbr de données concentration (ng/L)	Nbre de campagne d'exposition	Conc. moy (ng/L)	Écart type conc. moy (ng/L)	Flux somme 6 x 4.3 (g/a)	Écart type flux somme 6 x 4.3 (g/a)
Amont	1.2E+12	8	4	0.5	0.3	640	390
Aval	1.2E+12	20	4	0.8	0.2	970	640
Gérine	7.0E+10	4	2	0.3	0.3	30	20
Glâne	1.6E+11	6	3	4.2	1.1	670	310
Pérolles	1.7E+12	6	3	1.3	0.3	2'090	880

B)

Secteur	Année	Volume annuel (L/a)	Nbr de données concentration (ng/L)	Nbre de campagne d'exposition	Conc. moy somme 6 (ng/L) non-corrigées	Écart type conc. moy somme 6 (ng/L)	Flux somme 6 x 4.3 (g/a)	Écart type flux somme 6 x 4.3 (g/a)
Amont	2010	8.64E+11	3	3	0.035	0.006	130	20
	2012	1.09E+12	2	1	0.057	0.012	270	60
	2013	1.20E+12	6	3	0.053	0.049	270	250
	2014	1.02E+12	6	3	0.032	0.007	140	30
	2015	9.25E+11	6	3	0.039	0.013	160	50
	2016	1.22E+12	6	3	0.038	0.010	200	50
Aval	2010	8.64E+11	3	2	0.76	0.19	2'800	700
	2012	1.09E+12	6	1	0.44	0.07	2'100	300
	2013	1.20E+12	18	3	0.27	0.08	1'400	400
	2014	1.02E+12	18	3	0.22	0.06	1'000	200
	2015	9.25E+11	18	3	0.12	0.05	500	200
	2016	1.22E+12	14	3	0.10	0.03	500	200

Pour le point « Aval », tous les résultats de capteurs passifs disponibles entre la Pila et la Passerelle sont considérés. Cela correspond aux sites Aval Pila 1, Aval Pila 2 et Amont Passerelle (voir Figure 2-22 du rapport principal). Pour le point « Pérolles », le capteur passif considérée est celui indiqué « Creux du Loup ».

En temps de crue c'est-à-dire pendant la crue artificielle de septembre 2016, les flux sont déterminés aux points Amont, Aval et Pérolles seulement. Les flux dissous estimés en temps de crue, de même que les données ayant servies aux calculs, se trouvent dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5 Flux de PCB dissous et données utilisées pour les calculs en temps de crue

Secteur	Volume (L) pendant crue	Nbr de données concentration (ng/L)	Conc. moy (ng/L)	Écart type conc. moy (ng/L)	Flux somme 6 x 4.3 (g/a)	Écart type flux somme 6 x 4.3 (g/a)
Amont	1.13E+10	4	3.3	2.0	37	23
Aval	1.13E+10	5	3.2	1.5	37	17
Gérine	-	-	-	-	-	-
Glâne	-	-	-	-	-	-
Pérolles	1.02E+10	4	7.7	10.1	79	103

Dans le rapport principal, les flux calculés durant la crue artificielle sont arrondis comme suit :

Secteur	Crue 14-15.09.2017 g/24h, 6i x 4.:	
		±
Sarine Amont	40	20
Sarine Aval	40	20
Gérine	-	-
Glâne	-	-
Pérolles	80	100

## 2.1 Volumes d'eau

Les données de débit ( $m^3/s$ ) sont fournies par Groupe E avec un pas de temps « heure » aux points suivants : Rossens (déversement, dotation), Hauterive (turbiné) et Maigrauge/Pérolles (déversement, dotation et turbiné à Oelberg). Cela permet d'estimer les débits de la Sarine aux points Amont (Rossens déversement + dotation), Aval Pila (débit Amont + Hauterive turbiné) et Pérolles (Maigrauge déversement + Maigrauge dotation + Oelberg turbiné). Les données de débits pour la Glâne et la Gérine sont tirées du site Web <http://fribourg.swissrivers.ch/appSite/index/site/fribourg>. Ces données débits sont disponibles avec un pas de temps « heure » aux points Marly (Gérine, débits simulés) et Matran (Glané, débits mesurés).

Les données débit ( $m^3/s$ ) sont transformées en unités L/s, puis intégrées (somme) sur une heure pour donner des valeurs en L/h. Les volumes L/h sont ensuite intégrés sur une année complète (L/a), sauf pendant la crue où le volume est intégré entre le 14.09.2016 à 6 :00 AM jusqu'au 15.09.2016 à 6 :00 AM.

Pour une même période, les volumes d'eau aux sites Amont et Aval sont égaux (Tableaux 2-1 et 2-2). Les capteurs Amont et Aval sont effectivement soumis aux mêmes débits d'eau en temps normal, étant donné leur position à l'aval de la centrale Hauterive. En temps de crue (crue de septembre 2016), les volumes Amont et Aval sont aussi égaux, puisque le débit à Hauterive est égal à 0 et que toute l'eau provient de l'amont de la décharge.

Les volumes annuels transitant aux points Amont, Aval et Pérolles en temps normal sont de l'ordre du  $1 \times 10^{12}$  L/a (Tableau 2-1). Pendant la crue artificielle, les volumes transitant à ces points sont plutôt de l'ordre du  $1 \times 10^{10}$  L soit environ 1% du volume annuel (Tableau 2-2). Dans la Gérine en 2016, le volume annuel transitant ( $7 \times 10^{10}$  L/a) est de un à deux ordres de grandeur inférieur au volume annuel transitant dans la Sarine (Aval  $1 \times 10^{12}$  L/a). Dans la Glâne en 2016, le volume annuel transitant ( $2 \times 10^{11}$  L/a) est environ un ordre de grandeur inférieur au volume annuel Sarine Aval ( $1 \times 10^{12}$  L/a).

## 2.2 Concentrations PCB dissous

Pour calculer les flux de 2016 en temps normal, les concentrations issues des capteurs passifs (unités ng PCB /kg PDMS) ont été corrigées. La correction sert à comparer les sites d'échantillonnage entre eux, malgré des conditions d'échantillonnage (vitesses de courant, température, etc.) variables. Les facteurs de correction appliqués ont été établis par l'EMPA basés sur la vitesse d'écoulement et la cinétique d'adsorption des PDMS (voir également l'Annexe 7.1.1 de la publication de l'OFEV *Mesure des PCB et des dioxines dans les cours d'eau 2016*). Dès la campagne de mai 2016, qui comprenait l'ensemble des sites de mesure, l'EMPA a défini des facteurs de correction basés sur la perte de composés dans les capteurs marqués avec les PRC. Ces facteurs sont compris entre 0.9 et 6.0 et figurent en Annexe 2.3.3.1 - 2 (PCB dissous Conversion des unités ng kg<sup>-1</sup> PDMS (mesures EMPA) en unités ng L<sup>-1</sup>) du rapport principal.

Pour calculer les flux de 2010 à 2016, il n'a pas été nécessaire de corriger les concentrations puisque les sites sont comparables en termes de conditions d'échantillonnage (vitesse écoulement, température). C'est ce qu'avaient montrés les essais à l'aide de capteurs passifs marqués avec des composés de référence (PRC), lors de deux campagnes en 2015. Les résultats, présentés dans le rapport « CSD FR2706.916, *Décharge de la Pila - Surveillance et monitoring des eaux souterraines selon OSites & Monitoring de la Sarine (Pronat) 2015*, 29.03.2016 », montraient qu'une correction des mesures n'était a priori pas nécessaire, pour les 5 sites suivis dès 2012 sur la Sarine.

Dans tous les cas (en 2016 comme de 2010 à 2016), les concentrations en unités ng/kg PDMS ont dû être transformées en unités ng/L à l'aide de des taux d'échantillonnage (L/jour). Les taux d'échantillonnage appliqués sont établis par l'EMPA, sur la base d'une expérience dans le Kriesbach (Dübendorf, Zürich). Des capteurs passifs ont été exposés dans le Kriesbach pendant deux respectivement quatre semaines sur quatre stations. La température de l'eau ainsi que la vitesse du

courant ont été mesurées 3 à 4 fois par semaine à chaque station. Pendant ce temps, 9 échantillons d'eau ont été analysés en PCB. Le taux d'échantillonnage en litre/jour a été calculé au moyen de la fonction suivante :

$$R_s = m / C_w * t$$

Avec :  $R_s$  : taux d'échantillonnage en litre/jour (L/j)  
 $m$  : quantité de PCB sur le capteur (par ex. ng)  
 $C_w$  : concentration dans l'eau (par ex. ng/litre)  
 $t$  : temps d'exposition en jour

Les taux d'échantillonnage déterminés sur la base de ces expériences ont été utilisés pour calculer des concentrations en PCB réalistes à partir de l'analyse des capteurs passifs. Le rapport de l'EMPA mentionne que « Les taux d'échantillonnage calculés pour des vitesses de courant entre 0.23 m/s et 1 m/s sont situés dans un domaine relativement étroit de 8 à 19 L/j. Les taux d'échantillonnage moyens pour une vitesse de courant de 0.5 m/s sont situés entre 11 et 13 L/j. Pour une vitesse de courant de 1 m/s, ils se situent entre 15 et 18 L/j. ». Ainsi, les taux d'échantillonnage dans le cadre de cette étude sont supposés varier entre 8 et 18 L/jour aux sites Amont, Aval, Gérine, Glâne, Invua et Lac Pérolles (sites 2016). Entre 2010 et 2015, il est supposé que les sites subissent des vitesses d'écoulement similaires (1 m/s). On considère donc que le taux d'échantillonnage est de 18 L/jour.

En somme, pour calculer les flux 2016 en temps normal, les concentrations « corrigées » utilisées ont été obtenues de la manière suivante :

1. en multipliant la concentration somme des 6 i-PCB ng/kg PDMS par un facteur de correction
2. en appliquant un taux d'échantillonnage de 8, 12, 16 et 18 L/jour et 3) en prenant la moyenne et l'écart type de ces différentes concentrations en somme des 6 i-PCB x 4.3 ng/L.

Il est à noter que les campagnes de Novembre 2015, de Mai 2016, d'Août 2016 et de Novembre 2016 ont été utilisées pour calculer les flux de 2016 en temps normal.

Toutes les concentrations corrigées et mesurées en temps normal en 2016 sont du même ordre de grandeur ( $1 \times 10^0$  mg/L), malgré des concentrations relativement élevées dans la Glâne (4 ng/L) et au Lac de Pérolles (1.3 ng/L, Tableau 2-1-A). Le ratio des concentrations corrigées Aval/Pérolles ( $1.3/0.8=1.6\sim 2$ ) en 2016 en temps normal est semblable au ratio des concentrations non-corrigées Aval/Pérolles ( $7.7/3.2=2.4\sim 2$ ) en temps de crue. Cela démontre que les facteurs de corrections appliqués sont réalistes, puisque des ratios semblables sont obtenus avec deux méthodologies distinctes (capteurs passifs, et échantillon ponctuel de volume 2.5 L).

En ce qui concerne les concentrations non-corrigées, elles sont toutes du même ordre de grandeur de 2010 à 2016 et sur un même site (Tableau 2-1-B). Au site Amont, elles sont de l'ordre de  $1 \times 10^{-2}$  ng/L alors qu'au site Aval, elles sont de l'ordre de  $1 \times 10^{-1}$  ng/L. Une progression temporelle est perceptible entre 2010 et 2016, au site Aval. Les concentrations non-corrigées sur ce site passent de 0.78 ng/L en 2010 à 0.10 ng/L en 2016, soit une diminution d'un facteur environ 8.

### 3. Flux PCB MES

L'approche utilisée est la suivante :

1. estimer une masse de MES transitant mensuellement dans la Sarine aux points Amont, Passerelle et Pérolles
2. mesurer une concentration en PCB dans les MES transitant mensuellement aux mêmes points
3. multiplier les masses par des concentrations pour obtenir des flux « PCB MES » mensuels, lesquels sont transformés en flux annuels par la suite.

Les grandes étapes de calcul sont résumées dans le schéma suivant et seront développées dans les chapitres suivants.

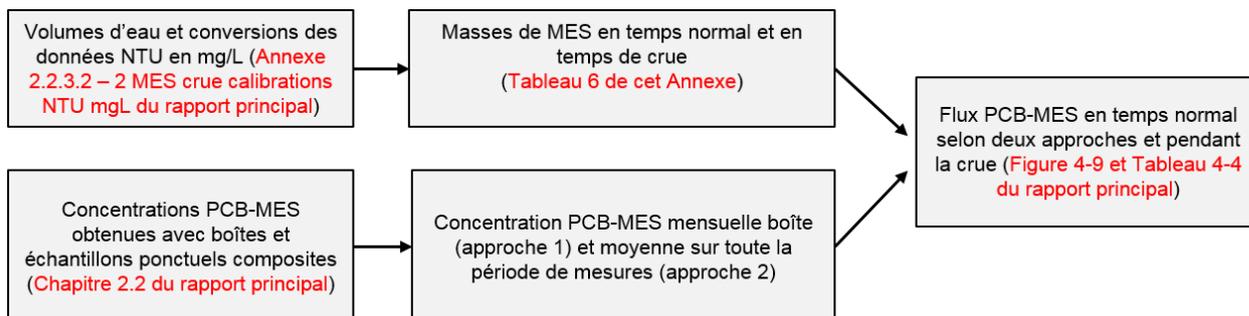


Figure 3-1 Schéma illustrant les étapes principales de calcul du flux PCB-MES

Pour obtenir des masses de MES, des données de turbidité (unités NTU) mesurées quasiment en continu (toutes les 10 minutes) dans la Sarine sont utilisées. Cette approche permet d'intégrer la variabilité temporelle des masses de MES, un facteur important pour estimer des flux MES-PCB transitant dans une rivière<sup>1</sup>.

Pour obtenir un flux PCB-MES annuel en temps normal, deux approches sont utilisées :

- La première approche (**Approche 1**) consiste à faire la somme des flux PCB-MES mensuels obtenus entre Juin 2016 et Avril 2017 inclusivement (11 mois) et de la multiplier par 12/11.
- La deuxième approche (**Approche 2**) consiste à faire la somme des masses mensuelles de MES (de Juin 2016 à Avril 2017), de la multiplier par la moyenne des concentrations sur la même période et d'ensuite multiplier le tout par 12/11.

Il s'agit donc dans un cas de moyenniser les flux mensuels de PCB (approche 1) et dans l'autre cas de moyenniser les masses de MES (approche 2).

Les flux mensuels de PCB-MES considérés dans l'approche 1 étant très variables d'une période à une autre (dû aux concentrations variables, voir Figure 2-15 du rapport principal), l'approche 2 permet de compenser cela en étant plus intégrative et représentative d'une année entière.

Pour obtenir un flux PCB-MES annuel en temps de crue, la masse de MES transitant sur la durée de la crue (environ 24 heures) est multipliée par la concentration moyenne des échantillons ponctuels échantillonnés pendant la crue. Les flux PCB-MES de la crue artificielle sont exprimés en unités g/a, afin de les comparer directement aux flux PCB-MES en temps normal. En exprimant ainsi (g/a) les flux PCB-MES de la crue, il est supposé qu'aucun autre événement « crue majeure » n'influence considérablement les flux entre Juin 2016 et Avril 2017.

### 3.1 Masse MES

La masse de MES transitant mensuellement est estimée à partir des données de turbidité [NTU] obtenues aux points Amont, Passerelle et Pérolles. Les données de turbidité sont disponibles aux 3 stations pour la période allant du 10.05.2016 au 12.04.2017, avec une fréquence de mesure de 10 minutes. Une moyenne des mesures de turbidité est effectuée avec un pas de temps d'une heure. Cela permet d'aligner les données de turbidité avec les données débits (m<sup>3</sup>/s) fournies par Groupe E, disponibles avec un pas de temps d'une heure. Une fois les données de turbidité et débits alignées

<sup>1</sup> Marina Launay, Flux de matières en suspension, de mercure et de PCB particulaire dans le Rhône, du Léman à la Méditerranée, Génie chimie, Université Claude Bernard – Lyon I, 2014, <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01128294/document>

(mêmes date et heure) avec un même pas de temps (heure) fixe, les données de turbidité sont converties en mg/L et les données débits ( $m^3/s$ ) sont exprimées en unités litres par heure (L/h). Les volumes (L/h) peuvent ensuite être multipliés par des concentrations en MES (mg/L) pour donner des masses de MES par heure (mg/h). Les masses MES sont ensuite intégrées (additionnées) sur la durée d'exposition des boîtes MES, correspondant environ à un mois (mg ou kg/mois) en temps normal. Pendant la crue, les masses MES sont additionnées sur la durée approximative de la crue, c'est-à-dire entre 6 :00 AM le 14.09.2016 et 6 :00 AM le 15.09.2016.

Les masses de MES estimées à chaque station et pour chaque période figurent dans le tableau suivant. Les relations permettant de convertir les NTU en mg/L sont détaillés dans l'Annexe 2.2.3.2 - 2 (MES crue calibrations NTU mgL) et figurent sous le tableau.

Tableau 6 Masses de MES calculées pour des intervalles de temps correspondants aux durée d'exposition des boîtes MES, à l'aide de trois calibration NTU-mg/L

<b>Hauterive</b>					
Période	Début	Fin	Masse MES (1) kg	Masse MES (2) kg	Masse MES (3) kg
Juin 2016	10.05.2016	22.06.2016	8.85E+05	1.27E+06	1.32E+06
Juillet 2016	22.06.2016	21.07.2016	8.77E+05	1.08E+06	9.99E+05
Août 2016	21.07.2016	19.08.2016	1.52E+06	1.59E+06	1.41E+06
Septembre 2016	19.08.2016	13.09.2016	1.26E+06	1.34E+06	1.21E+06
Octobre 2016	13.09.2016	18.10.2016	2.22E+06	2.50E+06	2.32E+06
Novembre 2016	18.10.2016	12.11.2016	3.91E+05	5.54E+05	5.51E+05
Décembre 2016	12.11.2016	13.12.2016	2.21E+05	3.17E+05	3.28E+05
Janvier 2017	13.12.2016	01.01.2017			
Crue Sept.2016	14.09.2016; 06:00	15.09.2016; 06:00	2.17E+06	2.42E+06	2.24E+06

<b>Passerelle</b>					
Période	Début	Fin	Masse MES (1) kg	Masse MES (2) kg	Masse MES (3) kg
Juin 2016	10.05.2016	22.06.2016	5.24E+06	7.54E+06	5.96E+06
Juillet 2016	22.06.2016	21.07.2016	1.26E+06	1.81E+06	1.43E+06
Août 2016	21.07.2016	19.08.2016	9.86E+05	1.32E+06	9.64E+05
Septembre 2016	19.08.2016	13.09.2016	3.76E+05	5.38E+05	4.25E+05
Octobre 2016	13.09.2016	18.10.2016	1.36E+06	1.96E+06	1.54E+06
Novembre 2016	18.10.2016	12.11.2016	1.01E+06	1.44E+06	1.12E+06
Décembre 2016	12.11.2016	13.12.2016	4.53E+06	6.49E+06	5.12E+06
Janvier 2017	13.12.2016	01.01.2017			
Crue Sept.2016	14.09.2016; 06:00	15.09.2016; 06:00	1.09E+06	1.57E+06	1.24E+06

<b>Pérolles</b>					
Période	Début	Fin	Masse MES (1) kg	Masse MES (2) kg	Masse MES (3) kg
Juin 2016	10.05.2016	22.06.2016	7.78E+07	8.89E+07	6.05E+07
Juillet 2016	22.06.2016	21.07.2016	2.14E+07	2.83E+07	2.09E+07
Août 2016	21.07.2016	19.08.2016	1.92E+06	2.70E+06	2.85E+06
Septembre 2016	19.08.2016	13.09.2016	6.55E+05	9.43E+05	1.04E+06
Octobre 2016	13.09.2016	18.10.2016	1.53E+06	2.21E+06	2.38E+06
Novembre 2016	18.10.2016	12.11.2016	3.13E+06	4.26E+06	4.19E+06
Décembre 2016	12.11.2016	13.12.2016	1.25E+07	1.71E+07	1.50E+07
Janvier 2017	13.12.2016	01.01.2017			
Crue Sept.2016	14.09.2016; 06:00	15.09.2016; 06:00	9.57E+05	1.38E+06	1.47E+06

(1): courbe mg/L=NTU\*0.9985 avec soustractions (> 400 mg/L égal à 400 mg/L)

(2): courbe mg/L= NTU\*1.437, avec soustractions (> 400 mg/L égal à 400 mg/L)

(3) courbes propres à chaque station pendant la crue

(3.1 Hauterive) mg/L=1.4904NTU, corrections > 350 mg/L = à 350 mg/L

(3.2 Passerelle) mg/L=1.1373NTU, corrections > 200 mg/L = à 200 mg/L

(3.3 Pérolles) mg/L=1-584NTU, correction > 250 mg/L = à 250 mg/L

À chaque station (Amont, Passerelle, Pérolles), 3 relations sont appliquées et donc 3 valeurs de mg/L par heure sont obtenues. Pour les relations 1 et 2 issues d'échantillons du site Passerelle, toutes les valeurs mg/L obtenues et supérieures à 400 mg/L (maximum mesuré pendant la crue artificielle de septembre 2016) sont corrigées pour être égales à 400 mg/L. Pour la relation 3 issue d'échantillons spécifiques au site, la correction des valeurs mg/L s'effectue selon la valeur maximale observée pendant la crue sur le site. Cette valeur maximale est de 350 mg/L au site Amont, 200 mg/L au site Passerelle et 250 mg/L au site Pérolles. Toute valeur mg/L dépassant le maximum observé est corrigée pour être égale au maximum.

Les masses de MES obtenues sur un même site, avec 3 calibrations différentes, sont du même ordre de grandeur. Cela démontre une bonne robustesse des résultats. Pour un même mois et une même courbe de calibration, les masses de MES au site Pérolles sont de 1 à 2 ordres de grandeur supérieures aux masses de MES des sites Amont et Passerelle.

## 3.2 Concentration PCB MES

Les concentrations en PCB mesurées dans les boîtes MES (mg/kg somme 6 x 4.3) décrites précédemment dans le chapitre 2.2 du rapport principal sont celles utilisées pour le calcul du flux en temps normal. Des valeurs en temps normal sont disponibles entre Juin 2016 et Avril 2017 y compris. Ces concentrations sont généralement du même ordre de grandeur indépendamment du site de prélèvement (Amont, Passerelle, Pérolles), bien que les concentrations soient relativement élevées au site Passerelle.

En temps de crue, les concentrations utilisées sont celles obtenues à l'aide d'échantillons MES composites obtenus pendant la crue artificielle de septembre 2016 (chapitre 2.2 du rapport principal). Pour rappel, les concentrations obtenues dans les composites sont de 0.010 mg/kg à la station Amont, 0.015 mg/kg à la station Passerelle (composite 1) et 0.021 mg/kg à la station Pérolles.

## **Annexe 5.3**

### **Rapport du modèle hydrogéologique de la décharge**



DÉCHARGE LA PILA  
SUITE DES DÉMARCHES EN RELATION AVEC  
LE PROJET D'ASSAINISSEMENT - MESURES  
COMPLÉMENTAIRES

ANNEXE 5.3 - MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE

Fribourg, le 09.06.2017  
FR2706.917.600

**CSD INGENIEURS SA**

Chantemerle 37 - Granges-Paccot

Case postale 384

CH-1701 Fribourg

t +41 26 460 74 74

f +41 26 460 74 79

e [fribourg@csd.ch](mailto:fribourg@csd.ch)

[www.csd.ch](http://www.csd.ch)



**TABLE DES MATIÈRES**

<b>1.</b>	<b>INTRODUCTION ET OBJECTIFS</b>	<b>8</b>
<b>2.</b>	<b>TRAVAUX RÉALISÉS</b>	<b>8</b>
2.1	Toit de la molasse et crête molassique à l'extrémité Est	9
2.2	Direction des écoulements des eaux	10
2.3	Conductivité hydraulique	12
2.4	Colmatage du lit de la rivière au niveau de la Pila	12
<b>3.</b>	<b>MODÈLE CONCEPTUEL</b>	<b>13</b>
3.1	Géologie	13
3.1.1	Substratum molassique	13
3.1.2	Graviers de la Tuffière	13
3.1.3	Alluvions d'accompagnement de la Sarine	13
3.1.4	Déchets	14
3.2	Hydraulique	14
3.2.1	Conditions hydraulique de la Sarine	14
3.3	Hydrogéologie	16
3.3.1	Fonctionnement hydrogéologique « naturel »	16
3.3.2	Éléments hydrogéologiques artificiels	17
<b>4.</b>	<b>MODÈLE NUMÉRIQUE</b>	<b>17</b>
4.1	Type de modèle	17
4.2	Extension géographique	17
4.2.1	Contact avec la Sarine	18
1.1.1	Contact avec la molasse	18
4.3	Maillage	18
4.4	Conditions limites	19
4.4.1	Flux amont – flux de transfert du 2 <sup>ème</sup> ordre	19
4.4.2	Ligne d'eau Sarine – Limite de Cauchy	19
4.4.3	Puits 20	
4.4.4	Recharge	20
4.5	Conditions initiales	21
4.6	Calibration	21
4.6.1	Concept de calibration	21
4.6.2	Conditions initiales	22
4.6.3	Conditions aux limites	22
4.6.4	Observations	22
4.6.5	Paramètres calibrés	23
4.6.6	Résultats	24
4.6.6.1	Reproduction des séries temporelles	24

4.6.6.2	Distribution des paramètres calibrés	26
4.6.7	Discussion	26
4.6.7.1	Minimisation de la charge dans certains piézomètres	26
4.6.7.2	Hétérogénéité du champ de conductivité	26
4.7	Synthèse	27
<b>5.</b>	<b>SIMULATIONS</b>	<b>27</b>
5.1	Scénarios	27
5.1.1	Scénario « semaine normale »	27
5.1.2	Scénario « semaine turbinage continu »	27
5.1.3	Scénario « crue » et « semaine normale – 3j »	28
5.2	Flux d'eau considérés	28
5.3	Concentrations en PCB considérées	29
5.4	Synthèse	30
<b>6.</b>	<b>RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION</b>	<b>31</b>
6.1	Flux hydraulique	31
6.1.1	Estimation de l'efficacité du système de palplanches	31
6.1.2	Bilan des flux du modèle 2016 et comparaison avec le modèle 2008	31
6.1.3	Comparaison entre semaine normale et semaine turbinage continu	32
6.1.4	Comparaison entre l'état 2016 et l'état 0	32
6.1.5	Zones d'infiltration et d'exfiltration de la décharge vers les Sarine.	33
6.2	Flux de PCB	35
6.2.1	Flux de PCB en situation normale pour l'état 2016 et l'état 0, sans palplanches	35
6.2.2	Comparaison entre une semaine normale et la crue 2016	36
<b>7.</b>	<b>CRITIQUES ET LIMITATIONS DU MODÈLE</b>	<b>37</b>
7.1.1	Estimation de flux	37
7.1.2	Estimation de charge	37
<b>8.</b>	<b>INCERTITUDES ET PISTES D'AMÉLIORATIONS</b>	<b>37</b>
<b>9.</b>	<b>CONCLUSIONS</b>	<b>38</b>
<b>10.</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>39</b>

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1:	synthèse de la conductivité hydraulique	12
Tableau 4.1:	Liste des observations	22
Tableau 4.2:	Zones du modèle définies dans le contexte de la calibration	24
Tableau 4.3:	Calibrage de la conductivité	24
Tableau 4.4:	Calibrage de la porosité efficace	24

Tableau 4.5: <i>Calibrage joint des coefficients de transfert (<math>T_{in}=T_{out}</math>)</i>	24
Tableau 4.6: Analyse qualitative de la reproduction des séries temporelles de charge	25
Tableau 5.1 : Concentrations prises en compte pour le calcul des flux de PCB somme 6 * 4.3 [ng/L]	30
Tableau 5.2 : synthèse des simulations réalisées.	30
Tableau 6.1: Bilan des flux entrants	31
Tableau 6.2 : Flux sortant par mètres pour chaque segment.	35
Tableau 6.3 : Flux sortant de PCB. Comparaison entre une « semaine normale » et une « semaine de turbinage continu ».	36
Tableau 6.4 : Flux de PCB. Comparaison entre période normale et crue. *ZB correspond à la somme des segments segF61, segPB et segF27.	37

## LISTE DES FIGURES

Figure 2.1 : modélisation du toit de la molasse. Exagération verticale 2x.	9
Figure 2.2 : Carte piézométrique en situation de turbinage	11
Figure 2.3 : Carte piézométrique en temps de crue.	11
Figure 3.1 : Carte des isohypses du toit de la molasse ; les traits noirs représentent le tracé des coupes de la Figure 3.2	13
Figure 3.2 : Coupes géologiques schématisées	14
Figure 3.3 : Photo aérienne présentant la situation de la décharge par rapport à la centrale de Hauterive ; photo extraite de Google	15
Figure 3.4 : Variation du niveau de la Sarine à l'aval de la centrale, situation « normale », antérieure à 2016.	15
Figure 3.5 : variation du niveau de la Sarine à l'aval de la centrale. Janvier à juin 2016	16
Figure 3.6 : Coupe hydrogéologique illustrant le fonctionnement du système	17
Figure 4.1 : Illustration de la position des berges en hautes et basses eaux (lignes rouges)	18
Figure 4.2 : maillage du modèle.	19
Figure 4.3 : Conditions limites du modèle	20
Figure 4.4 : <i>Disponibilité des données et période de calibration</i>	21
Figure 4.5 : Géométrie du modèle, zones, observations et points pilotes	23
Figure 4.6 : <i>Exemple de bonne reproduction relative et absolue</i>	25
Figure 5.1: segments de répartition des flux et emplacement des piézomètres correspondants	28
Figure 5.2 : Parcours des particules depuis les piézomètres en 42 jours, scénario « semaine type ». Les particules d'eau font des allers-retours entre la décharge et la berge non polluée, avant de se retrouver définitivement dans la Sarine. La particule est donc comptabilisée plusieurs fois dans le flux sortant total.	29
Figure 6.1 : Flux sortant d'une semaine normale par rapport à une semaine de turbinage quasiment constant. Cette dernière a été calculée sur le flux sortant total de la situation de janvier à février 2016, divisée par le nombre de semaines.	32

Figure 6.2 : Comparaison du flux sortant entre l'état 2016 et état 0. A gauche, comparaison pour une semaine normale, à droite comparaison d'une semaine à turbinage quasi continu.	33
Figure 6.3: Flux entrant semaine normale état 0. En jaune le flux allant de Sarine à la décharge et en bleu le flux sortant de la décharge vers la Sarine.	34
Figure 6.4: flux à la fin de semaine d'une semaine normale (basses eaux) à l'état 0. En jaune le flux allant de Sarine à la décharge et en bleu le flux sortant de la décharge vers la Sarine.	34

## **ANNEXES**

ANNEXE A	Emplacement des essais au pénétromètre, des forages et l'interpolation du toit de la molasse	41
ANNEXE B	Log forages F60-16, F61-16, F62-16	42
ANNEXE C	Emplacement des sondes de mesures automatiques	43
ANNEXE D	Cartes Piezométriques	44
ANNEXE E	Essais de dilution	45
ANNEXE F	Rapport E-Dric [2]	46
ANNEXE G	Graphiques de comparaison entre les charges observées et mesurées	47
ANNEXE H	Cartes de distribution des valeurs calibrées	48

## PRÉAMBULE

CSD confirme par la présente avoir exécuté son mandat avec la diligence requise. Les résultats et conclusions sont basés sur l'état actuel des connaissances tel qu'exposé dans le rapport et ont été obtenus conformément aux règles reconnues de la branche.

CSD se fonde sur les prémisses que :

- le mandant ou les tiers désignés par lui ont fourni des informations et des documents exacts et complets en vue de l'exécution du mandat,
- les résultats de son travail ne seront pas utilisés de manière partielle,
- sans avoir été réexaminés, les résultats de son travail ne seront pas utilisés pour un but autre que celui convenu ou pour un autre objet ni transposés à des circonstances modifiées.

Dans la mesure où ces conditions ne seraient pas remplies, CSD déclinera toute responsabilité envers le mandant pour les dommages qui pourraient en résulter.

Si un tiers utilise les résultats du travail ou s'il fonde des décisions sur ceux-ci, CSD décline toute responsabilité pour les dommages directs et indirects qui pourraient en résulter.

## 1. Introduction et objectifs

En 2008-2009, une première modélisation des écoulements des eaux souterraines avaient été réalisée [5]. Celle-ci avait permis :

- D'évaluer les flux d'eau souterraine aux limites du domaine ;
- De préciser les conditions hydrogéologiques non appréhendable intuitivement du fait de la complexité du système ;
- D'évaluer les quantités de polluants s'exfiltrant dans la Sarine

Depuis 2008, des travaux ont été réalisés sur le site (captage du flux amont, installation de palplanche et pompages des eaux souterraines), qui ont modifié les flux d'eau souterraine et de polluants. De plus, de nombreuses nouvelles investigations ont été réalisées, qui ont amené une meilleure connaissance du site. En 2016 a été générée une crue artificielle d'un débit de 250 m<sup>3</sup>/s durant laquelle la décharge a été monitorée, ceci afin de connaître l'impact d'une telle crue sur la décharge.

L'ensemble de ces éléments a été exploité dans différents rapports mais n'a pas fait l'objet d'une synthèse globale ni d'une mise à jour du modèle conceptuel d'exportation des PCB par les eaux souterraines. L'analyse, l'exploitation et la mise à jour du modèle avec ces données doit permettre d'évaluer l'impact des variantes d'assainissement sur la qualité des eaux souterraines selon les objectifs définis dans la détermination du Service de l'environnement (SEn) du 2 avril 2015.

Ainsi, les objectifs poursuivis par la mise à jour du modèle numérique ont été les suivants :

- Affiner les estimations des flux sortants de PCB de la décharge vers la Sarine en situation « normale ».
- Déterminer l'impact de la crue 2016 sur les flux sortants de PCB de la décharge vers la Sarine.
- Evaluer l'impact des variantes d'assainissement sur la qualité des eaux souterraines et l'exportation de PCB vers la Sarine via ce vecteur.
- Avant la crue, les premières versions du modèle adapté ont permis d'optimiser l'emplacement et des points de mesures actifs durant la crue 2016.

## 2. Travaux réalisés

Afin de pouvoir modéliser l'exportation des PCB à l'aide du modèle numérique, il a été nécessaire auparavant de préciser le modèle conceptuel des écoulements. Ainsi, les informations acquises depuis 2008 (captage du flux amont, installation de palplanche et pompages des eaux souterraines) ont été intégrées.

De nombreuses investigations complémentaires ont été réalisées en 2016, afin de combler au mieux les faiblesses du modèle de 2008 et pour estimer l'impact de la crue artificielle de 2016 sur l'exportation de flux de PCB. Les travaux réalisés afin d'améliorer le modèle sont résumés de ce chapitre.

## 2.1 Toit de la molasse et crête molassique à l'extrémité Est

- Données de bases* Les données de 2008 du toit de la molasse ont pu être complétées par les données des essais au pénétromètre et des nouveaux forages réalisés depuis 2008.
- Essais au pénétromètre* 26 essais au pénétromètre à l'extrémité Est à l'intérieur du méandre ont été réalisés entre le 02-04.05.2016 afin de déterminer de manière plus précise l'extension de la crête molassique amont et pour ainsi mieux quantifier un éventuel flux provenant de la petite Sarine, tel que supposé dans les précédentes version du modèle conceptuel.
- Les essais au pénétromètre ont montré que la crête molassique plongeait gentiment d'ouest en est, sans qu'un « creux » le long de ce profil n'ait été détecté (ANNEXE A ).
- Forages* De nombreux forages ont été réalisés depuis 2008. L'emplacement de l'ensemble des forages dont les données ont été utilisées pour l'interpolation du toit de la molasse est présenté à l'ANNEXE A .
- Méthode d'interpolation* La méthode « voisins naturels » a été utilisée comme méthode d'interpolation pour définir le toit de la molasse.
- La carte du toit de la molasse se trouve à la Figure 2.1 en 3D et à l'ANNEXE A en 2D.

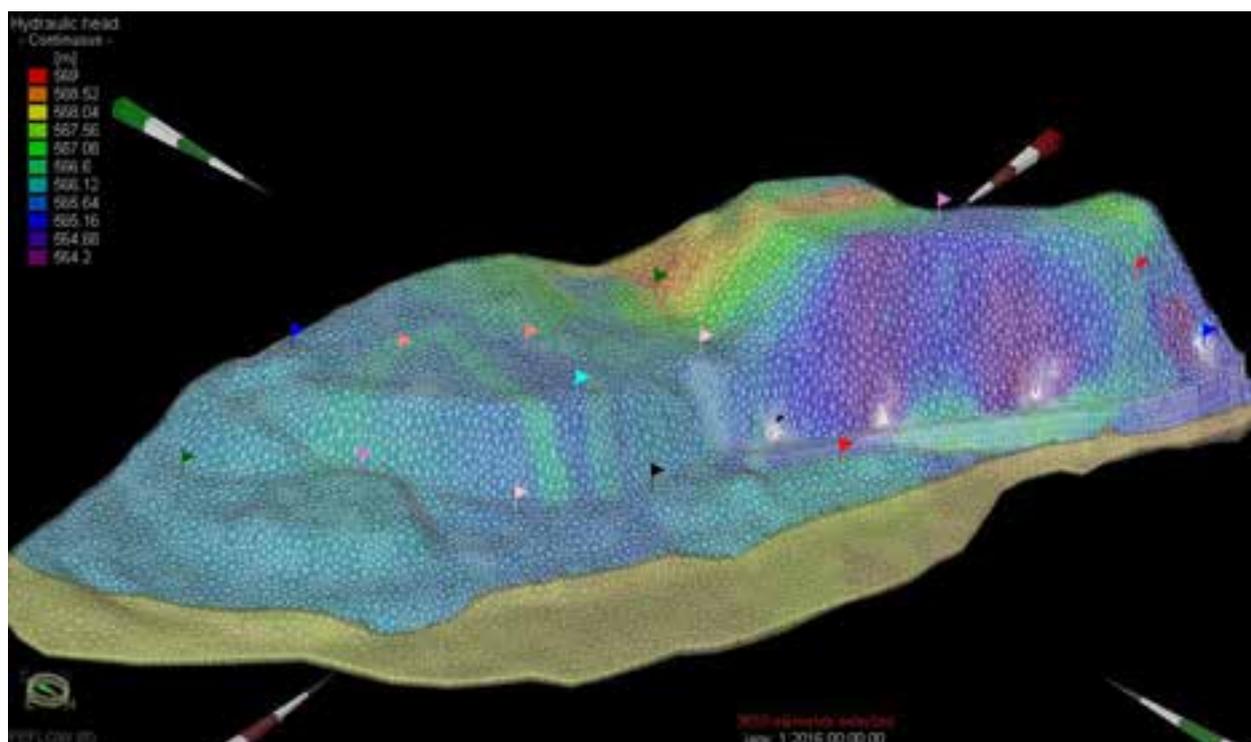


Figure 2.1 : modélisation du toit de la molasse. Exagération verticale 2x.

## 2.2 Direction des écoulements des eaux

<i>Methodologie</i>	Afin de préciser la direction globale des eaux souterraines en temps normal et durant la crue artificielle de septembre 2016, 3 piézomètres complémentaires ont été réalisés en 2016 à l'aval immédiat de la zone basse à l'est du site (F60-16, F61-16 et F62-16) et 15 sondes piézométriques ont été installées dans des piézomètres déjà existants.
<i>Logs des nouveaux forages et emplacement des sondes</i>	ANNEXE B : logs des forages F60-16, F61-16, F62-16 ANNEXE C : emplacement des sondes de mesures pression, de température, de conductivité électrique et de turbidité
<i>Cartes piézométriques</i>	Les directions des écoulements ont pu être définies de manière précise et sont illustrées par des cartes piézométriques réalisées à différents instants : en situation normale (avec et sans turbinage), durant et après la crue. Lorsque disponibles, des données de relevés manuels ont été intégrées aux données des sondes automatiques. Deux cartes piézométriques sont reprises ci-dessous (Figure 2.2 et Figure 2.3), alors que l'ensemble des cartes réalisées, montrant de façon pertinente l'impact de la crue sur les eaux souterraines de la décharge, figurent à ANNEXE D. Les cartes montrent clairement une recharge de la nappe par le flux amont, bien qu'une partie de celui-ci soit captée depuis 2012, ainsi qu'un flux entrant depuis la Sarine, plus ou moins important selon la hauteur du cours d'eau et l'emplacement le long de la berge. D'après les cartes piézométriques, il semblerait que la zone entre le piézomètre F60-16 et Piézo-bleu corresponde à une zone d'infiltration des eaux de la Sarine dans la décharge alors qu'entre le piézomètre F27-07 et les palplanches se trouve une zone exfiltration. En période de crue, un flux entrant important provenant du sud-est au niveau du F61-16 est constaté dès les premières heures de la crue.

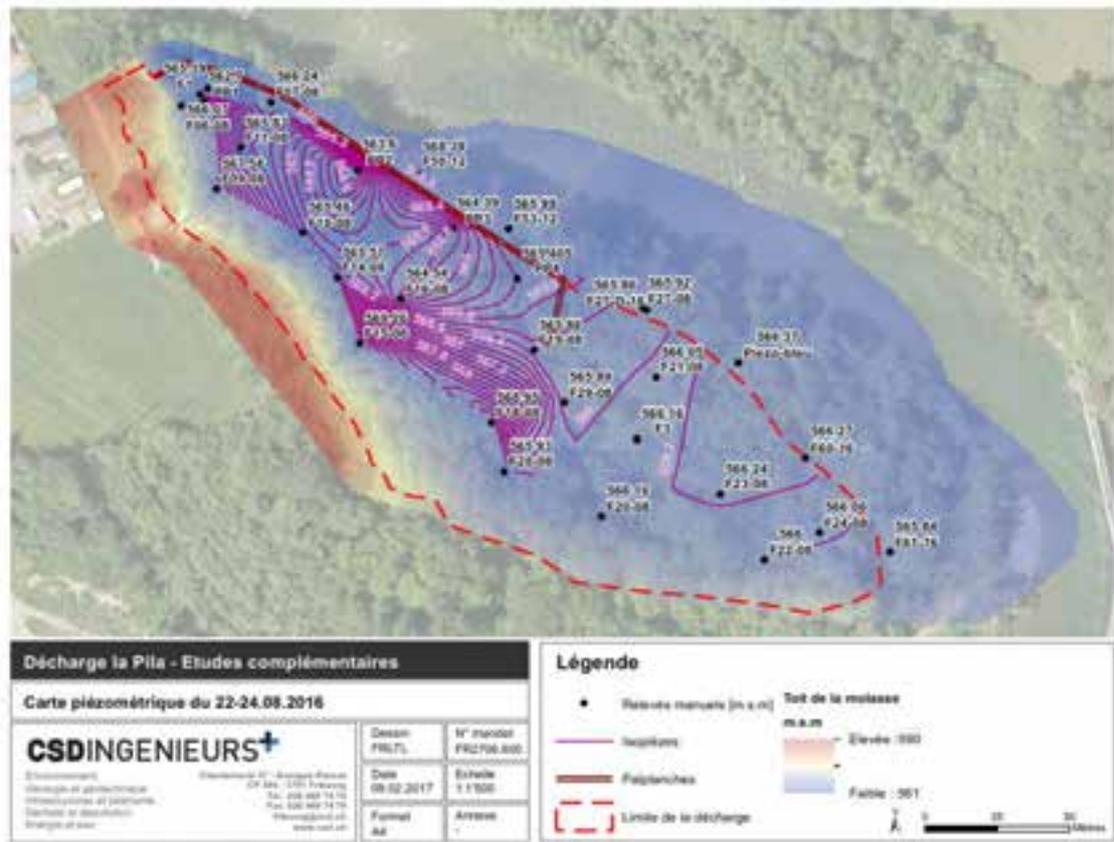


Figure 2.2 : Carte piézométrique en situation de turbinage

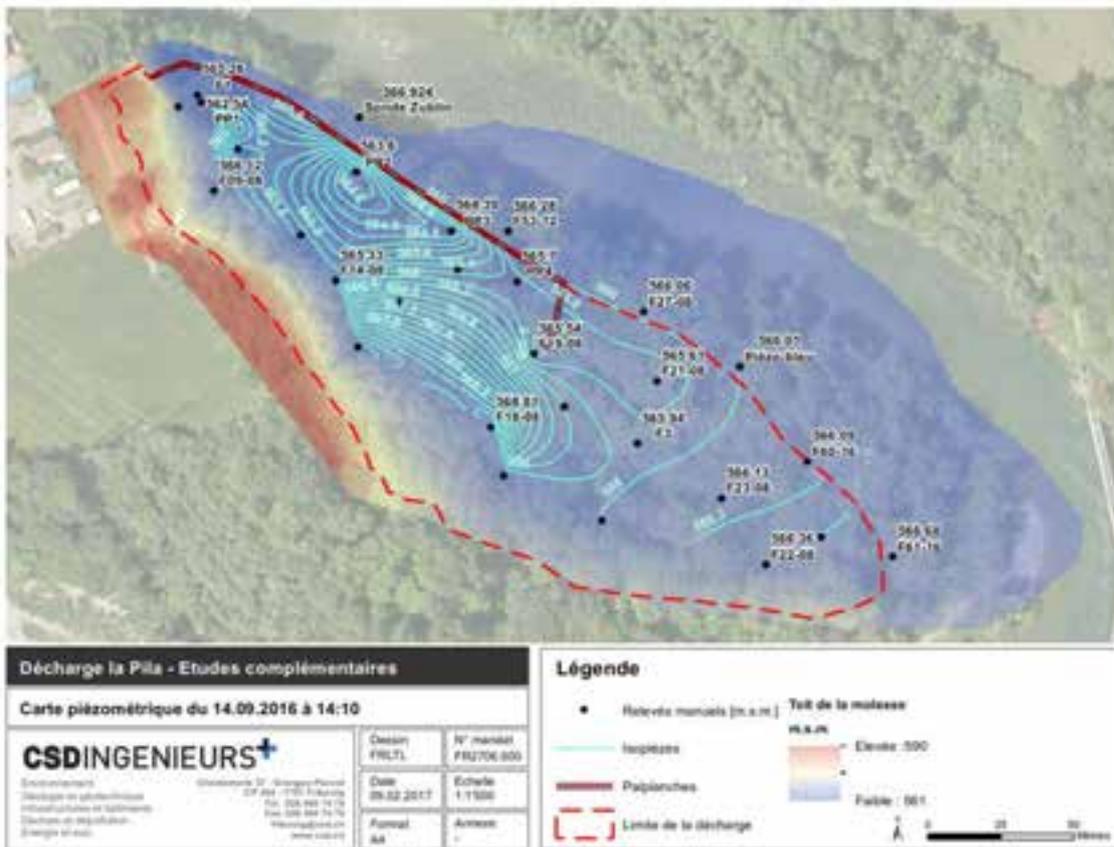


Figure 2.3 : Carte piézométrique en temps de crue.

## 2.3 Conductivité hydraulique

*Essais de dilution* Deux essais de dilution à la sulforhodamine-B ont été réalisés le 18 et 19 juillet 2016 afin de préciser le champ de conductivité hydraulique dans la zone basse, dans les piézomètres F23-08 et Piézo-bleu.

*Résultats essais de dilution* ANNEXE E : résultats des essais de dilution.

Les résultats des essais de dilution donnent les flux suivants :

F23-08 :  $7 \times 10^{-6}$  m/s

Piézo-bleu D-16<sup>1</sup> :  $5.5 \times 10^{-6}$  m/s. En appliquant un gradient de 4 ‰ au F23-08 et de 3 ‰ au Piézo Bleu, on obtient les conductivités hydrauliques indiquées dans le Tableau 2.1.

*Données antérieures* Des essais de traçages et des essais de pompage avec été réalisés lors de précédentes investigations. Une synthèse des résultats se trouve dans le Tableau 2.1

Tableau 2.1: synthèse de la conductivité hydraulique

Forage	F05-08	F2-08P	F23-08	F25-08	F30-08	Piezo-bleu	Piezo-bleu-D-16
Cond. hydrau (m/s)	5.4E-04	9.0E-05	1.7E-03	1.2E-03	9.0E-05	2.2E-03	2.0E-03

## 2.4 Colmatage du lit de la rivière au niveau de la Pila

*Methodologies* Une méthode développée par le CHYN a été utilisée afin d'estimer le colmatage de la Sarine au droit des berges la Pila [3]. Cette méthode se base sur l'analyse des séries temporelles du niveau de la rivière et des niveaux piézométriques avoisinant la rivière. Les piézomètres F47-12, F48-12, F50-12 et F53-12 ont été utilisées pour l'estimation du colmatage.

*Résultats CHYN* Le colmatage au niveau de F47-12 et F48-12 est considéré comme **faible**. Au niveau du F50-12 et F53-12, les résultats sont fortement bruités. Il est possible que dans cette partie, le colmatage soit plus fort ou que l'analyse du signal soit fortement perturbée par les valeurs dans le piézomètre qui sont relativement élevées comparées à celles de la rivière. De plus, cette méthode présente ses limites lorsque la largeur du lit varie entre hautes et basses eaux, ce qui est le cas au niveau de ces deux piézomètres.

<sup>1</sup> Pour le monitoring de la crue, le piézomètre Piézo-bleu a été dédoublé : le nom Piezo-bleu-D-16 a été attribué au doublon.

### 3. Modèle conceptuel

#### 3.1 Géologie

L'essentiel de ce chapitre est repris de [5]

##### 3.1.1 Substratum molassique

Le substratum rocheux est constitué par des grès appartenant à la molasse burdigalienne. Du point de vue hydrogéologique, le contraste de perméabilité entre les alluvions de la Sarine ( $\sim 10^{-3}$  m/s) et les grès burdigaliens ( $\sim 10^{-6}$  m/s) nous permettent de définir le toit de la molasse comme substratum « imperméable » du système. A ce titre, une carte des isohypses du toit de la molasse a été réalisée de façon à pouvoir introduire sa morphologie dans le modèle numérique. Pour ce faire, l'ensemble des sondages et la morphologie du lit de la Sarine déterminée par le bureau de géomètres Geosud SA ont été utilisés. En effet, la molasse affleure en grande partie au fond de la Sarine.

Comme il avait été montré dans le rapport d'investigation de détail [6], la carte du substratum présentée dans la Figure 3.1 ci-dessous montre un talus molassique au sud-ouest de la décharge puis une morphologie plus plane et horizontale en direction de la Sarine (cf. chapitre 2.1).



Figure 3.1 : Carte des isohypses du toit de la molasse ; les traits noirs représentent le tracé des coupes de la Figure 3.2

##### 3.1.2 Graviers de la Tuffière

En haut et sur le flanc du talus molassique se sont déposés les graviers de la Tuffière comme en témoigne les coupes géologiques du rapport d'investigation de détail (CSD, 2008).

##### 3.1.3 Alluvions d'accompagnement de la Sarine

Le dernier dépôt correspond aux alluvions récentes d'accompagnement de la Sarine. Elles sont essentiellement constituées de graviers sableux et se développent directement sur le substratum

molassique. Il est probable que les graviers de la Tuffière et les alluvions récentes soit en contact par endroits.

### 3.1.4 Déchets

Un « paléosol » est présent entre les alluvions récentes et les déchets, comme en témoigne les deux coupes schématiques montrées dans la Figure 3.2 ci-dessous. Les déchets reposent soit contre le flanc molassique soit contre les graviers de la Tuffière. Leur composition est largement détaillée dans l'investigation de détail (CSD, 2008).

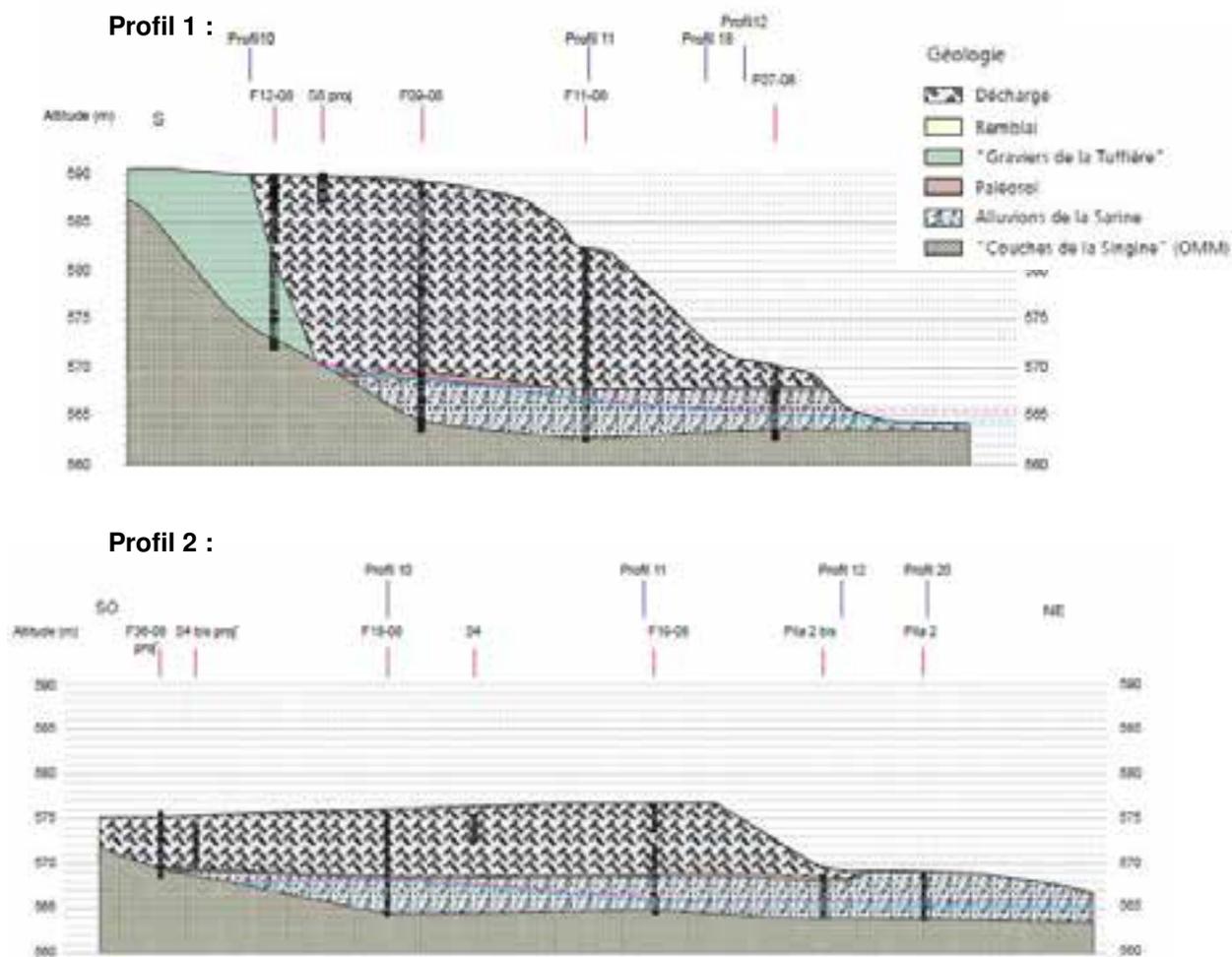


Figure 3.2 : Coupes géologiques schématiques

## 3.2 Hydraulique

### 3.2.1 Conditions hydraulique de la Sarine

La décharge se trouve dans un méandre de la Sarine comme le montre la Figure 3.3 ci-après. La centrale hydroélectrique de Hauterive se trouve à la pointe de ce méandre et influe sur les variations du niveau de la rivière. En effet, les niveaux à l'aval de la centrale subissent des variations liées à la production électrique.



Figure 3.3 : Photo aérienne présentant la situation de la décharge par rapport à la centrale de Hauterive ; photo extraite de Google

Le niveau de la Sarine est clairement influencé par le turbinage de la centrale, où le niveau de la rivière est environ 1.20 m supérieur en haute eaux qu'en basses eaux.

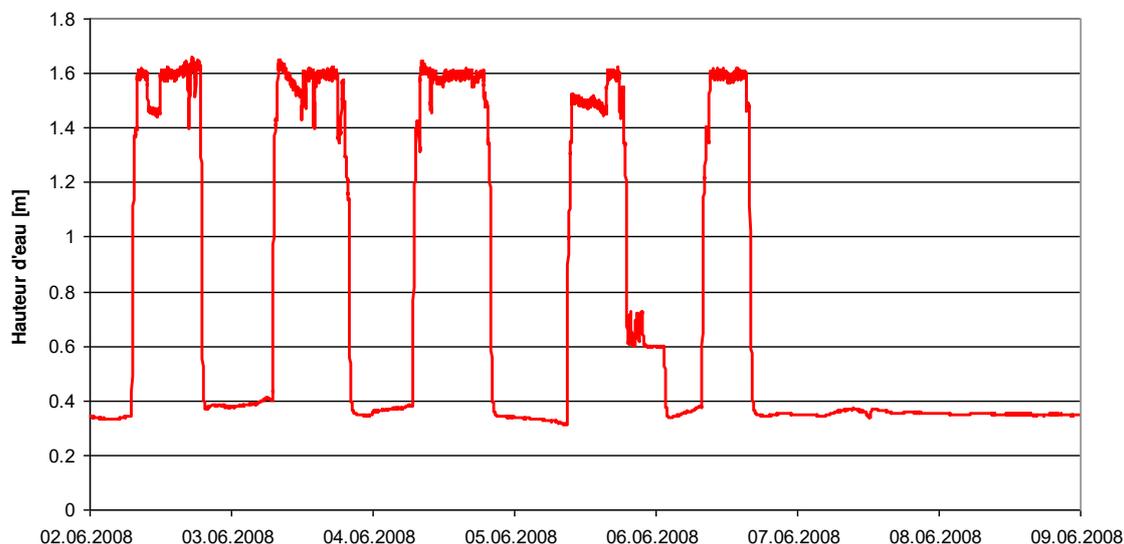


Figure 3.4 : Variation du niveau de la Sarine à l'aval de la centrale, situation « normale », antérieure à 2016.

Jusqu'en 2015, l'usine produisait de l'électricité lorsque la consommation était élevée (journées et soirées) et ne produisait pas ou peu le reste du temps (nuits et week-ends, Figure 3.4). Depuis 2016, à la faveur des exigences du marché, Groupe E turbine à l'usine électrique d'une manière d'Hauterive plus irrégulière qu'auparavant et la production d'électricité tend à être nettement plus élevée, avec des situations de basses eaux nettement moins fréquentes (Figure 3.5).

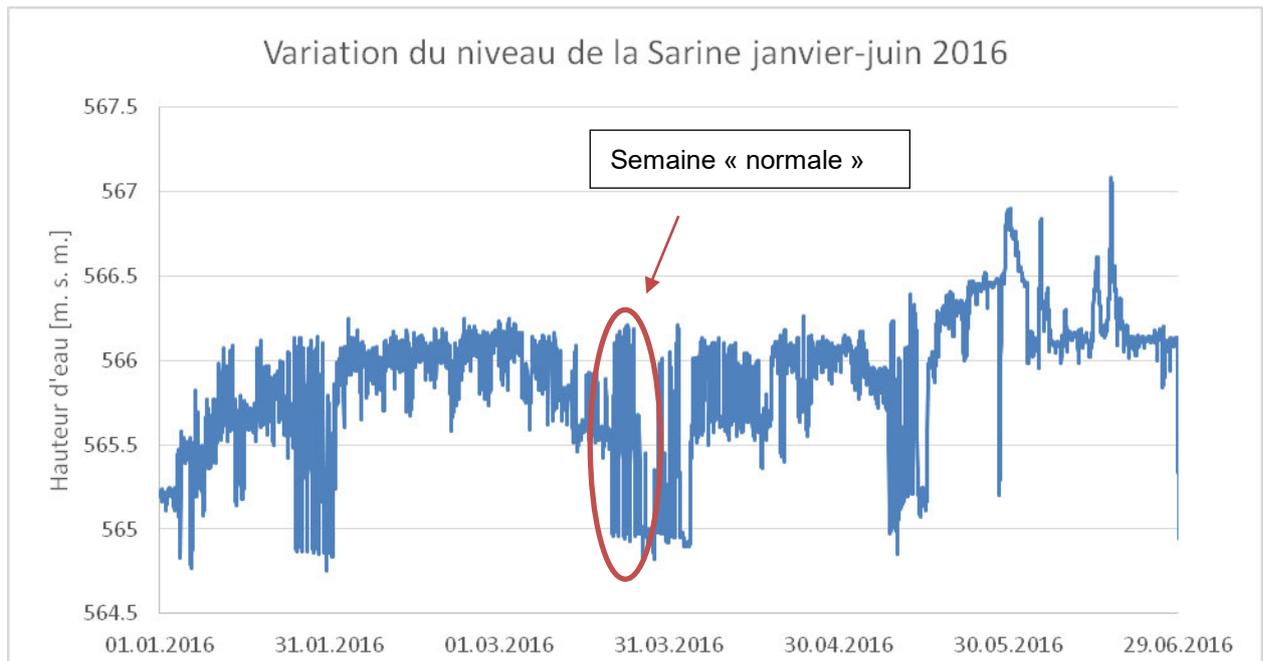


Figure 3.5 : variation du niveau de la Sarine à l'aval de la centrale. Janvier à juin 2016

Le niveau à l'amont de la centrale peut être supposé, sauf événement exceptionnel, quasi constant et ne subit que des variations saisonnières (débits de dotation de 2.5-3.5 m<sup>3</sup>/s en respectivement hiver et été, imposés au barrage de Rossens).

Le Groupe E fournit le débit turbiné à la centrale moyenné sur ¼ h. Le niveau de la Sarine à l'aval de la décharge est mesuré en continu par une sonde pression, avec un pas de temps de 15 min.

### 3.3 Hydrogéologie

#### 3.3.1 Fonctionnement hydrogéologique « naturel »

Une nappe phréatique se développe dans les alluvions récentes de la Sarine. La coupe hydrogéologique montrée dans la Figure 3.6 ci-dessous résume les différents points montrés dans ce paragraphe.

Du fait de la différence de perméabilité entre les grès burdigaliens (10<sup>-6</sup> m/s) et les alluvions récentes (10<sup>-3</sup> m/s), **le substratum molassique** peut être considéré comme peu perméable et forme donc la **limite inférieure du système** (1). Le talus molassique présent au sud-ouest du site forme également la limite latérale du système ; il a également été montré que le prolongement de ce talus vers le sud-est forme une crête molassique qui empêchait les communications entre l'amont du méandre et la nappe phréatique en dehors des périodes de crue (chapitre 2.1 et 2.2).

La nappe phréatique est en **contact hydraulique avec la Sarine** (2) au niveau de la bordure nord-du site. De ce fait, les variations du niveau de cette dernière influence directement les variations piézométriques de la nappe phréatique (chapitre 2.2 et cartes piézométriques ANNEXE D .)

Les graviers fluvioglaciers de la Tuffière en amont du talus molassique sont le siège d'un **écoulement d'eau pelliculaire qui se déverse dans les alluvions récentes** (3) soit de manière directe ou alors via les déchets lorsque ceux-ci reposent directement sur la molasse.

En dernier lieu, **une part des précipitations recharge la nappe phréatique** (4).

## Profil 1 :

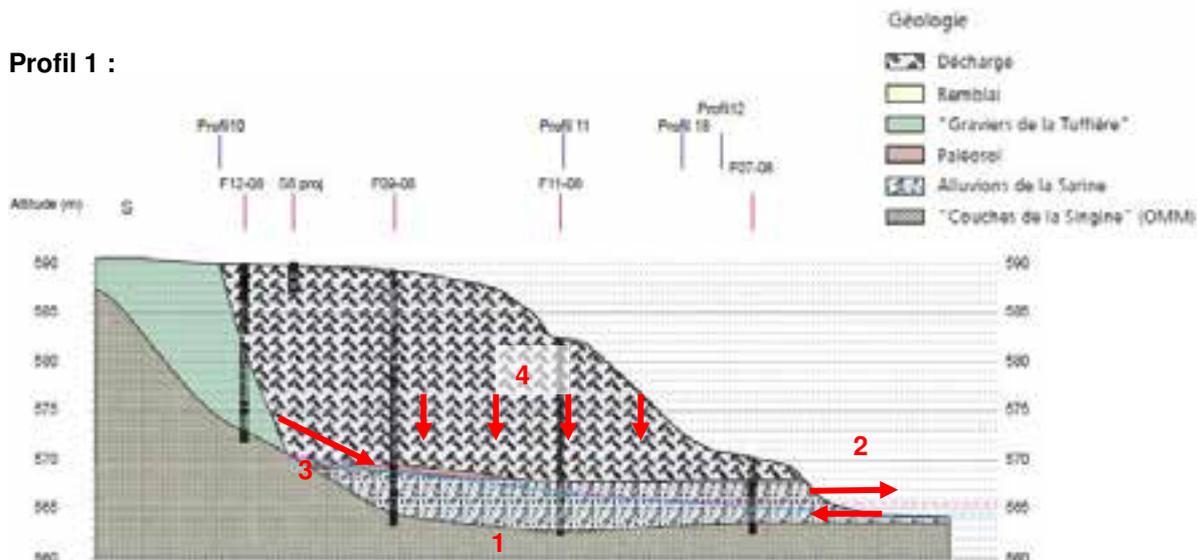


Figure 3.6 : Coupe hydrogéologique illustrant le fonctionnement du système

### 3.3.2 Éléments hydrogéologiques artificiels

Entre 2011 et 2013 des éléments exécutés dans le cadre des mesures préliminaires à l'assainissement modifient les écoulements souterrains du site de la Pila :

- Exécution d'un confinement périphérique partiel le long des berges à l'aide d'un rideau de palplanches d'une longueur totale de 190 mètres.
- Réalisation de 4 puits de pompage à l'intérieur du rideau de palplanches afin de maintenir la nappe à un niveau inférieur à celui de la Sarine de sorte que le gradient hydraulique soit orienté vers la décharge et empêche ainsi l'exportation de polluants, ceci en appui au confinement physique périphérique.
- Quatre drains subhorizontaux de 20 à 50 mètres de long sont en service pour l'interception du flux amont. Les eaux captées sont récoltées dans une chambre de contrôle et rejetées dans la Sarine. Le débit moyen capté est d'environ 50 l/min.

## 4. Modèle numérique

Le modèle utilisé pour la modélisation numérique est le logiciel Feflow V7.0 Standard (Wasy GmbH, Berlin).

### 4.1 Type de modèle

La faible épaisseur saturée associée à la présence d'une seule formation lithologique aquifère nous amène à réaliser un modèle 2D en milieu saturé. Les variations des niveaux d'eau avec le temps rendent l'utilisation du mode transitoire incontournable.

### 4.2 Extension géographique

L'extension horizontale du modèle est conditionnée par la limite spatiale des alluvions récentes saturées. Il s'agit ainsi de définir d'une part la ligne de la berge bordant le domaine au nord-est vers la

Sarine et d'autre part le contact entre les alluvions saturées et la remontée du substratum molassique au sud-est :

## 4.2.1 Contact avec la Sarine

Du fait des variations du niveau de la Sarine et de la morphologie de ses berges, la limite stricte de la nappe phréatique varie depuis une berge en basses eaux jusqu'à une berge en hautes eaux. La Figure 4.1 ci-dessous illustre les deux lignes correspondant à ces deux berges ; elles ont été définies en croisant la ligne d'eau de la Sarine en basses et hautes eaux avec la topographie de la zone de berges relevée par le bureau de géomètre Geosud SA. Notons que l'augmentation de la distance entre les deux lignes correspond à un banc de graviers sec en basses eaux et inondé en hautes eaux.

Le modèle prend en compte cette particularité en noyant ou dénoyant le banc de gravier selon le niveau de la Sarine.



Figure 4.1 : Illustration de la position des berges en hautes et basses eaux (lignes rouges)

## 1.1.1 Contact avec la molasse

La limite sud-ouest (flux amont) a été définie en croisant la carte piézométrique du 22 aout 2016 avec le toit de la molasse. L'intersection de la surface piézométrique avec le toit de la molasse fournit une ligne représentant la limite de l'aquifère. La surface modélisée est d'environ 31'100 m<sup>2</sup>.

## 4.3 Maillage

Le maillage utilisé a été généré par la méthode du « triangle meshing », qui permet de générer un maillage triangulaire régulier, essentiel pour la modélisation du transport. Le maillage a été affiné à l'emplacement des palplanches et des puits. Le modèle comporte 19845 éléments et 10137 nœuds.

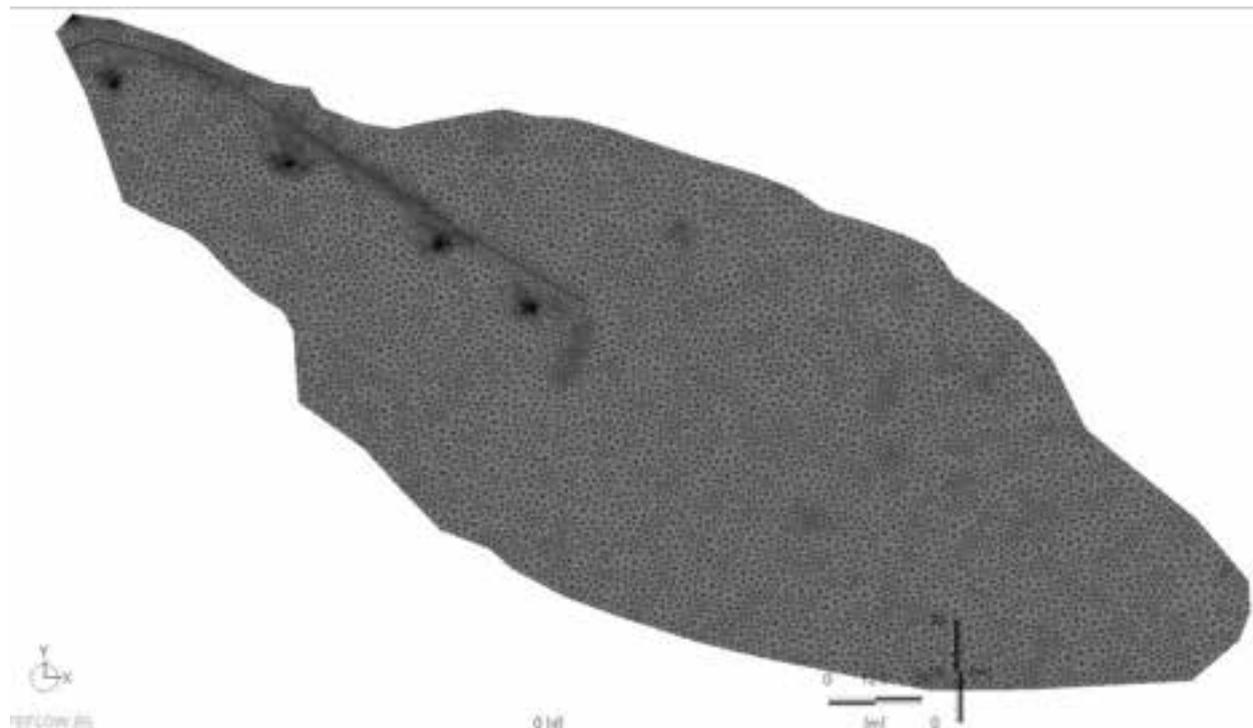


Figure 4.2 : maillage du modèle.

## 4.4 Conditions limites

### 4.4.1 Flux amont – flux de transfert du 2<sup>ième</sup> ordre

Un flux de transfert du 2<sup>ième</sup> ordre constant a été attribué à la condition limite « flux amont ». Il a été déterminé à partir de l'étude du bassin versant, de la piézométrie sur le talus molassique, des résultats de calibration du modèle numérique 2009 [5] et de l'estimation du captage d'une partie du flux amont [4].

Étant donnée la grande incertitude liée à ce paramètre et par mesure de simplification du modèle, il a été décidé mettre un flux constant, bien qu'en la réalité il peut être observé que celui-ci soit variable.

L'estimation a été faite sur la période de calibration (août-septembre 2017), soit en basses eaux hydrologiques. Les différentes méthodes de calculs permettent d'estimer le flux amont qui n'est pas intercepté et qui entre encore dans la décharge à environ 40 m<sup>3</sup>/semaine.

Pour ce modèle, il a été considéré que le flux amont s'étalait sur une longueur de 140 m. Ainsi, le flux de transfert attribué par nœuds est de 0.05 m<sup>2</sup>/jour (Figure 4.3).

### 4.4.2 Ligne d'eau Sarine – Limite de Cauchy

La ligne d'eau de la Sarine a été générée à l'aide du programme HEC-RAS. La modélisation a été réalisée par E-DRIC [2] (ANNEXE F ), et s'est basée sur les données de débits de Groupe E. Les données modélisées ont été comparées aux mesures d'une sonde pression appelée « sonde Zublin » située dans la Sarine à l'aval de la décharge. Les valeurs obtenues du modèle ont été corrigées par rapport aux mesures de cette sonde.

Un flux du troisième ordre a été attribué à la berge entre la Sarine et la décharge (correspondant au banc de graviers sec en basses eaux et inondé en hautes eaux (cf. chapitre 4.2.1), en régime transitoire (Figure 4.3). Cette condition traduit la hauteur d'eau en mètres sur mer de la surface libre, à laquelle s'ajoute un coefficient de colmatage du bord du lit.

Afin de pouvoir simuler cette partie qui peut temporairement être dénoyé, il a fallu contraindre le flux de transfert en ajoutant une charge minimale qui correspond à la topographie.

## 4.4.3 Puits

Nous disposons du débit et de la charge aux 4 puits de pompage au quart d'heure. Le débit, avec un pas de temps horaire, a été utilisé, en régime transitoire. Le modèle a dû être contraint en ces points par les charges mesurées (Figure 4.3).

## 4.4.4 Recharge

Une infiltration de 1000 mm/an par an a été considérée dans le modèle. Cette valeur est plutôt élevée pour la région. Néanmoins, elle se justifie en partie par les précipitations importantes ayant eu lieu au printemps 2016, qui correspond à la période qui précède la calibration et validation du modèle. D'autre part, cette valeur peut refléter un apport d'eau n'ayant pas été considéré dans le modèle conceptuel (limité en ce qui concerne les entrées d'eaux dans l'aquifère), tel que des flux au travers de la molasse via des chenaux ou des sillons.

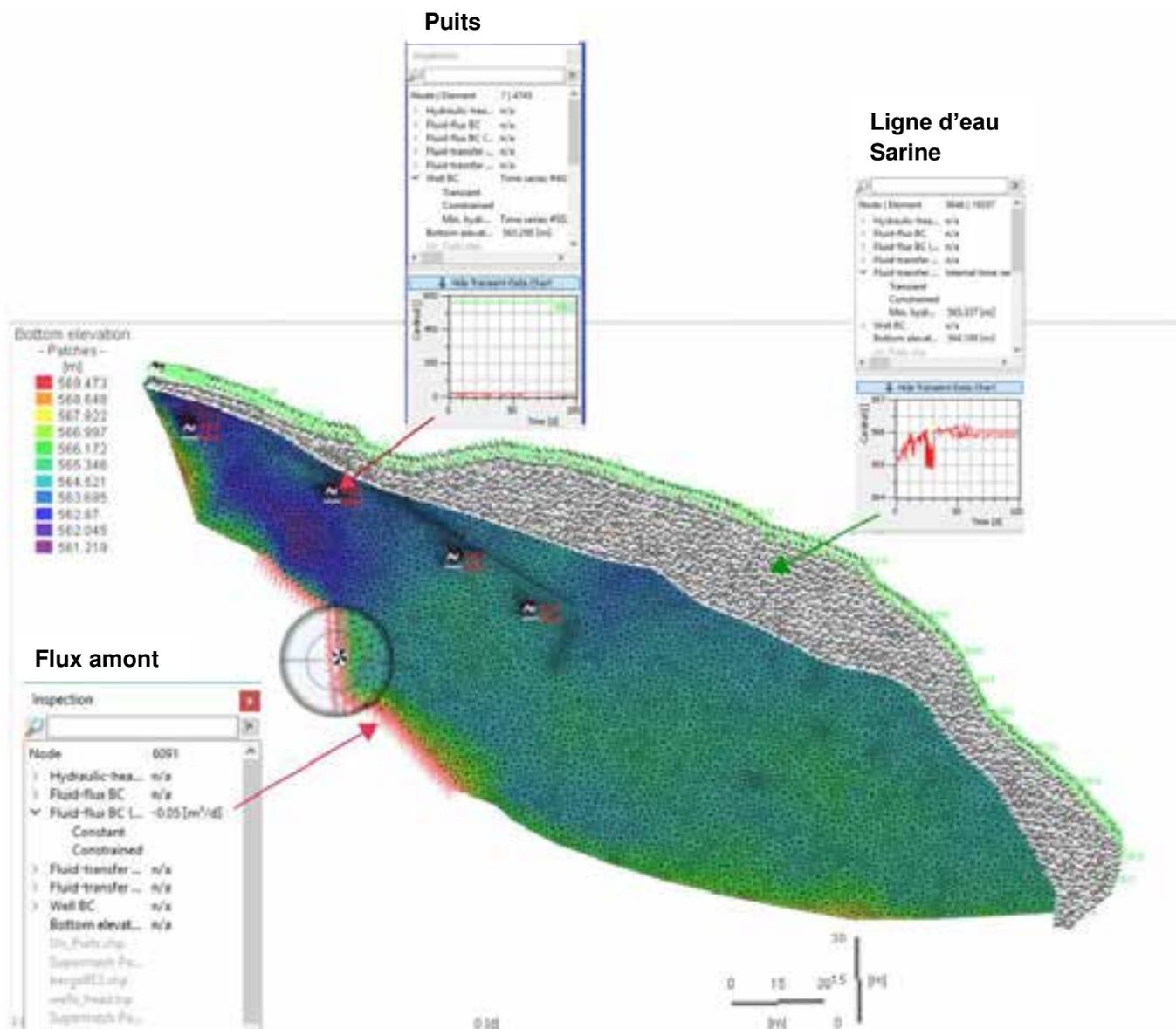


Figure 4.3 : Conditions limites du modèle

## 4.5 Conditions initiales

Les conditions initiales de charge ont été inter-/extrapolées (méthode des distances inverses) à partir des valeurs de charge aux piézomètres mesurées le 22 août 2016 (date et heure du début de la simulation).

## 4.6 Calibration

Le modèle hydrogéologique 2D transitoire de la décharge de la Pila a été calibré à l'aide du logiciel FePEST, couplant le logiciel de calibration PEST (Watermark Numerical Computing) avec le logiciel de modélisation hydrogéologique FEFLOW (WASY).

### 4.6.1 Concept de calibration

Le modèle hydrogéologique a été calibré sur la base de mesures piézométriques continues acquises au cours de l'année 2016. Il a été directement calibré en mode transitoire en raison du caractère fortement dynamique du système simulé. En effet, en raison des variations quasi incessantes du niveau de la Sarine, il est peu vraisemblable qu'une situation d'équilibre, justifiant la calibration du modèle en mode permanent, ait été atteinte au cours de l'année 2016.

La période de calibration a été choisie selon plusieurs critères :

- La disponibilité des mesures,
- L'absence de précipitations importantes,
- L'occurrence d'une crue de la Sarine,
- Et le temps de calcul.

L'absence de précipitations durant les semaines simulées importantes supporte l'hypothèse simplificatrice du modèle selon laquelle le flux amont demeure constant.

L'occurrence d'une crue de la Sarine est souhaitable dans la mesure où l'un des objectifs principaux du modèle est de simuler une crue centennale de la Sarine.

La période de calibration choisie s'étend du 12 au 20 septembre 2016 (Figure 4.4, ligne turquoise). La simulation démarre toutefois 4 jours plus tôt le 8 septembre 2016, de sorte que les conditions initiales décrites au paragraphe suivant n'influence pas trop la calibration des paramètres.

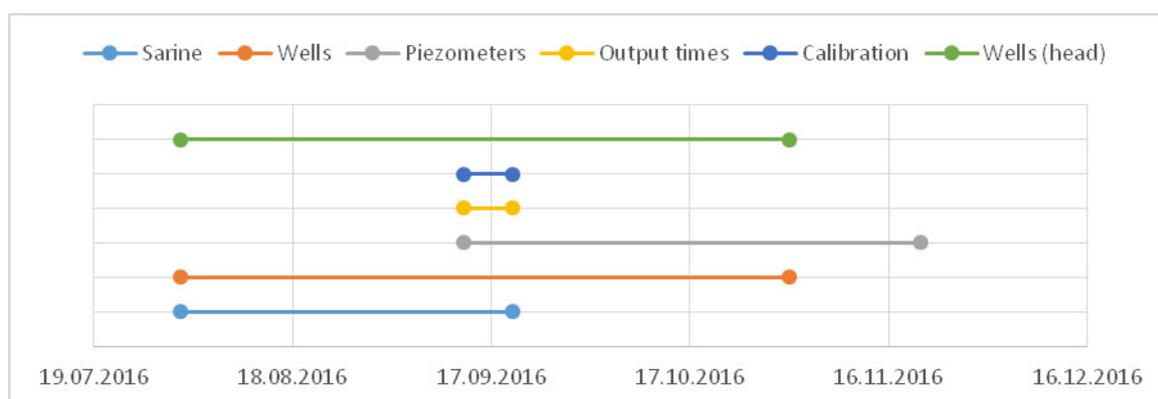


Figure 4.4 : Disponibilité des données et période de calibration

## 4.6.2 Conditions initiales

Les conditions initiales de charge ont été inter-/extrapolées (méthode des distances inverses) à partir des valeurs de charge aux piézomètres mesurées le 8 septembre 2016 à 0h00 (date et heure du début de la simulation).

## 4.6.3 Conditions aux limites

Les conditions aux limites du modèle sont de 4 types :

1. Flux amont,
2. Transfert rivière-eaux souterraines,
3. Puits,
4. Et recharge (infiltration d'une partie des précipitations dans la nappe).

Le modèle conceptuel suppose que seul le transfert avec la rivière et le débit des puits sont variables avec le temps. Cette hypothèse est notamment supportée par le fait que la variation du niveau de la rivière est le facteur prédominant qui détermine le comportement de l'aquifère.

Pour rappel, le niveau de la rivière est calculé à partir du débit au moyen du logiciel HEC-RAS.

## 4.6.4 Observations

Le processus de calibration consiste à ajuster certains paramètres du modèle dans l'objectif de reproduire au plus près des observations. Dans le cas présent, ces observations consistent en des mesures horaires du niveau de la nappe phréatique dans 15 piézomètres et 4 puits (Tableau 4.1 et Figure 4.5).

La fonction objective consiste en la somme des différences au carré entre les valeurs mesurées et les valeurs simulées. En plus des valeurs absolues de charge, des valeurs statistiques (charge minimale, maximale, moyenne, amplitude maximale et variance) sont prises en compte dans le calcul de la fonction objective.

Les différentes observations sont pondérées de sorte qu'au début de la calibration chacune contribue de façon équivalente à la fonction objective calculée par PEST.

Tableau 4.1: Liste des observations

Nom	Type
F1	piézomètre
F3	
F09-08	
F11-08	
F14-08	
F18-08	
F19-08	
F21-08	
F22-08	
F23-08	
F27-08	
F53-12	
F60-16	
F61-16	
Piezobleu	

Nom	Type
PP1	puits
PP2	
PP3	
PP4	

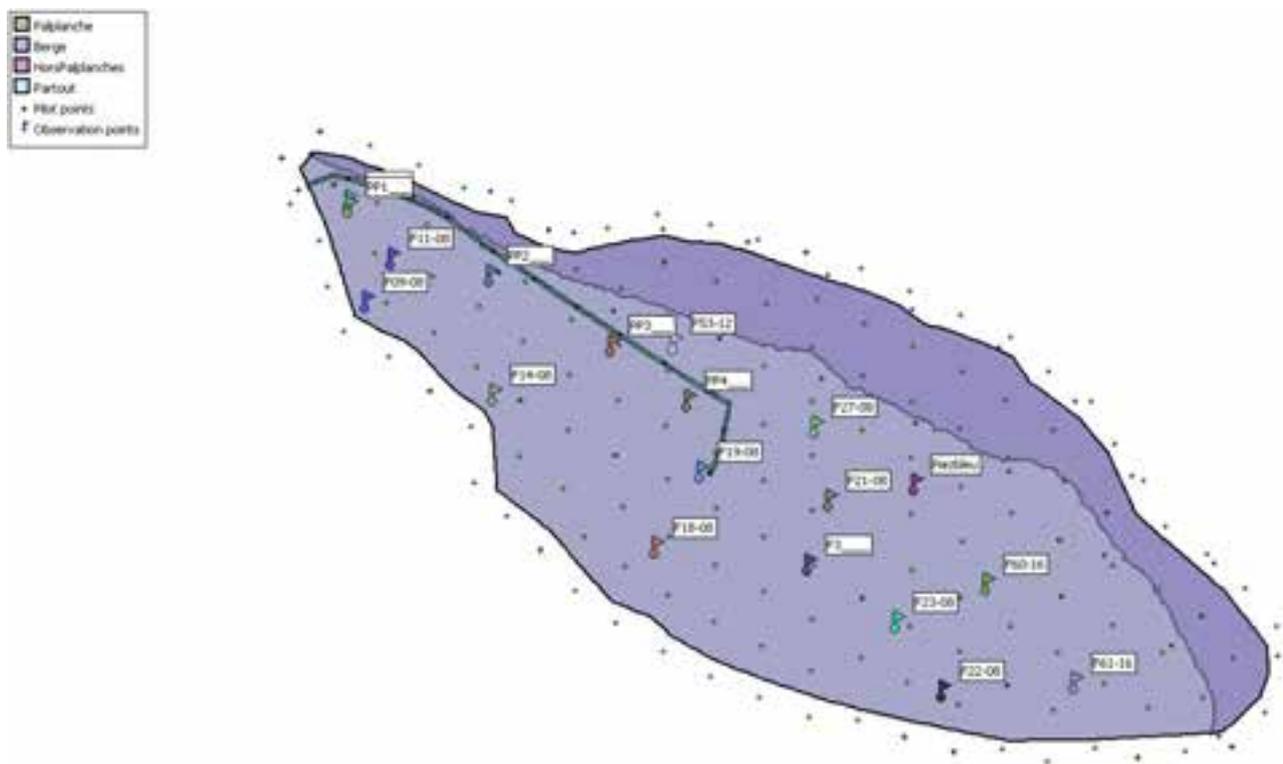


Figure 4.5 : Géométrie du modèle, zones, observations et points pilotes

#### 4.6.5 Paramètres calibrés

La méthode des points pilotes a été utilisée pour paramétrer/calibrer le modèle. Cette méthode consiste à interpoler (méthode du krigeage) les paramètres à partir de valeurs attribuées ponctuellement (points pilotes) sur l'entier ou dans des zones prédéfinies du modèle.

La méthode des points pilotes garantit une transition continue (lisse) des paramètres à l'intérieur d'une zone et une transition discontinue des paramètres aux contacts entre différentes zones définies dans le Tableau 4.2.

Les paramètres calibrés sont :

- La conductivité
- La porosité efficace
- Les coefficients de transfert

La conductivité est supposée isotrope. En d'autres termes l'hypothèse est faite que l'hétérogénéité des paramètres induite par la méthode des points pilotes est suffisante pour décrire les potentiels chemins d'écoulement préférentiels induisant une anisotropie de la conductivité potentielle à plus large échelle.

Les Tableau 4.3, Tableau 4.4 et Tableau 4.5 donnent les valeurs initiales, minimales et maximales attribuées aux différents paramètres dans les différentes zones du modèle, ainsi que le nombre de points pilotes utilisés. Mise à part la distribution initiale de la conductivité qui a été interpolée/extrapolée à partir de valeurs de conductivité mesurées, les distributions initiales des autres paramètres sont uniformes.

Les valeurs initiales et limites d'ajustement des paramètres ont été fixées sur la base des connaissances géologique du site.

Tableau 4.2: Zones du modèle définies dans le contexte de la calibration

Nom	Description
Partout	Ensemble du domaine
Palplanches	Bande de faible conductivité représentant le rideau de palplanches
Hors palplanche	Ensemble du domaine sans la zone Palplanches
Berge	Partie du domaine où la condition de transfert est définie

Tableau 4.3: Calibrage de la conductivité

Zone	K_init [m/s]	K_min [m/s]	K_max [m/s]	Nb pts pilotes
Palplanches	5.0E-07	1.0E-08	1.0E-06	12
Hors palplanches	variable	1.0E-05	1.0E-03	149

Tableau 4.4: Calibrage de la porosité efficace

Zone	n_init [m/s]	n_min [m/s]	n_max [m/s]	Nb pts pilotes
Partout	0.15	0.10	0.25	149

Tableau 4.5: Calibrage joint des coefficients de transfert ( $T_{in}=T_{out}$ )

Zone	T_init [m/s]	T_min [m/s]	T_max [m/s]	Nb pts pilotes
Berge	1.0E-03	1.0E-05	1.0E-02	21

## 4.6.6 Résultats

### 4.6.6.1 Reproduction des séries temporelles

Le Tableau 4.6 décrit qualitativement la reproduction des séries temporelles de charge du point de vue des variations de charge (reproduction relative) et des valeurs absolues de charges. Dans l'ensemble la reproduction des séries temporelles de charge est moyenne à bonne avec deux exceptions qui sont mauvaises. Dans ces deux cas, le comportement des piézomètres est difficilement explicable.

Tableau 4.6: Analyse qualitative de la reproduction des séries temporelles de charge

Nom	Reproduction relative	Reproduction absolue
F1	moyenne	moyenne
F3	moyenne	moyenne
F09-08	bonne	moyenne
F11-08	bonne	moyenne
F14-08	moyenne	bonne
F18-08	mauvaise	mauvaise
F19-08	bonne	bonne
F21-08	bonne	bonne
F22-08	moyenne	moyenne
F23-08	moyenne	moyenne
F27-08	bonne	bonne
F53-12	bonne	bonne
F60-16	mauvaise	mauvaise
F61-16	moyenne	mauvaise
Piezobleu	bonne	moyenne

La Figure 4.6 montre l'exemple d'une série temporelle bien reproduite. L'ensemble des graphiques des séries temporelles comparant les valeurs mesurées et les valeurs simulées figurent à ANNEXE G .

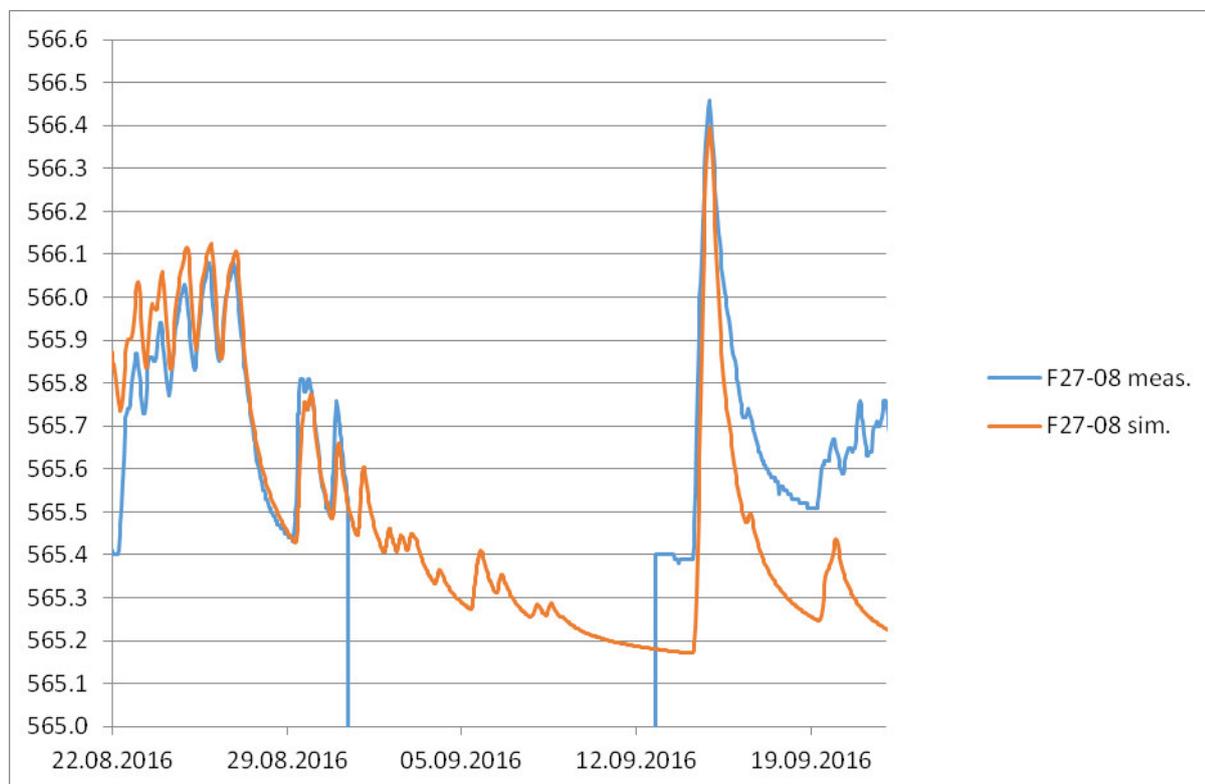


Figure 4.6 : Exemple de bonne reproduction relative et absolue

## 4.6.6.2 Distribution des paramètres calibrés

La distribution des paramètres calibrés, c'est-à-dire de la conductivité hydraulique, de la porosité et du coefficient de transfert sont illustrés à l'ANNEXE H .

## 4.6.7 Discussion

### 4.6.7.1 Minimisation de la charge dans certains piézomètres

Les variations de charge (amplitudes) sont dans l'ensemble bien reproduites par le modèle, mais les valeurs absolues de charge simulées sont, pour une part, plus basses que celles mesurées. Cette observation concerne plus particulièrement les piézomètres situés au SE du domaine d'étude. Il se peut qu'une alimentation en eau non considérée dans le modèle ait lieu le long de sillons incisés dans la Molasse par la Sarine au cours de son évolution. Une autre explication possible mais jugée toutefois moins vraisemblable, serait une recharge hétérogène de l'aquifère, plus intenses dans les zones concernées, causée par une perméabilité hétérogène de la décharge. L'estimation des charges est plus particulièrement de l'amplitude de leur variations est jugée robuste aux environs immédiats des piézomètres ayant servis à calibrer le modèle, en dehors de ces zones, l'estimation des charge doit être considérée comme approximative.

### 4.6.7.2 Hétérogénéité du champ de conductivité

L'introduction d'un champ de conductivité fortement hétérogène, variant entre  $10^{-5}$  à  $10^{-3}$  m/s, a permis de calibrer le modèle. Cette hétérogénéité n'est pas en désaccord avec la compréhension actuelle du terrain et les mesures de conductivité disponibles. Elle n'est toutefois qu'une interprétation possible et forcément simplifiée du champ de perméabilité réel. Il est d'autre part vraisemblable qu'une part de l'hétérogénéité introduite compense certaines hypothèses simplificatrices du modèle hydrogéologique, notamment en ce qui concerne :

- La distribution du flux amont, supposée uniforme et limitée à la partie NW du domaine,
- La distribution de la recharge, supposée uniforme,
- Et la distribution initiale des charges attribuée au modèle, interpolée à partir des mesures piézométriques,

De sorte que celle-ci ne reflète que partiellement la réalité. L'impact sur le calcul des flux d'une distribution approximative de la conductivité n'est pas jugé critique dans la mesure où ceux-ci sont calculés au travers de sections recoupant à la fois des zones de forte et de faible conductivité.

## 4.7 Synthèse

Le tableau ci-dessous donne une synthèse des paramètres du modèle.

Table 4.1 : Synthèse des données du modèle

Dimension	2D, transitoire
Maillage	19845 éléments et 10137 nœuds
Conditions limites	Flux amont : flux du 2 <sup>ème</sup> ordre - constant Ligne d'eau Sarine : Limite de Cauchy - transitoire Puits : puits - transitoire Infiltration : 1000 mm/an - constant
Conditions initiales	Charges hydrauliques du 22 aout 2016
Conductivité hydraulique [m/s]	Entre $10^{-5}$ et $6 \cdot 10^{-3}$ m/s
Coefficient de colmatage	$8 \cdot 10^{-4}$ et $10^{-2}$ 1/s
Porosité	Entre 10 et 25%
Coefficient d'emmagasinement	$10^{-4}$ 1/m

## 5. Simulations

### 5.1 Scénarios

A partir du modèle calibré, un certain nombre de scénarios ont été simulés, avec pour chaque scénario une simulation correspondant à l'état 2016 et à l'état 0.

#### État 2016

L'état 2016 correspond à l'état actuel de la décharge, c'est-à-dire avec des palplanches confinant la zone haute, le pompage aux 4 puits à l'aval immédiat de la zone haute à l'intérieur des palplanches et l'interception du flux amont.

#### État 0

L'état 0 a été défini par le consortium, il s'agit de l'état 2016 sans palplanches et des puits de pompages, mais avec l'interception du flux amont.

##### 5.1.1 Scénario « semaine normale »

Le scénario « semaine normale » correspond à la simulation d'une semaine type (antérieur à 2016, cf. chapitre 3.2), avec du turbinage en semaine et un arrêt de turbinage le week-end. La semaine du 22.08.2016, présentant un régime hydraulique « normal » de la Sarine a été choisie. Cette semaine a été simulée 10 fois de suite avec le modèle.

##### 5.1.2 Scénario « semaine turbinage continu »

Comme expliqué dans le chapitre 3.2, l'année 2016 est marquée par un turbinage quasi continu. Une simulation a été faite sur les mois de janvier et février 2016. La semaine « turbinage continu » correspond au

flux sortant total issus des simulations de la situation de janvier à février 2016, divisée par le nombre de semaines.

### 5.1.3 Scénario « crue » et « semaine normale – 3j »

La crue de 2016 a été simulée. Afin de pouvoir comparer l'impact de la crue 2016 avec une situation « normale », il a été modélisé :

- La crue de 2016 (durée de 24h) et 2 jours de basses eaux et ;
- 1 jour de turbinage et 2 jours de basses eaux correspondant à la fin de la semaine type.

## 5.2 Flux d'eau considérés

A partir de ces simulations, des flux par tronçons ont été définis (Figure 5.1). Ces flux ont été fixés par rapport à la zone d'influences des puits de pompage ou des piézomètres situés à l'aval immédiat pour lesquels les PCB ont régulièrement été analysés aux mêmes dates depuis 2012 (7 à 8 analyses). Le tronçon à l'aval du puits PP1 a été divisé F05-08 et F07-08 afin de permettre, si nécessaire, l'application de concentrations différentes dans ce secteur. Le piézomètre F61-16, réalisé dans le cadre des études complémentaires, est le seul qui n'a été analysé que 2 fois en 2016.

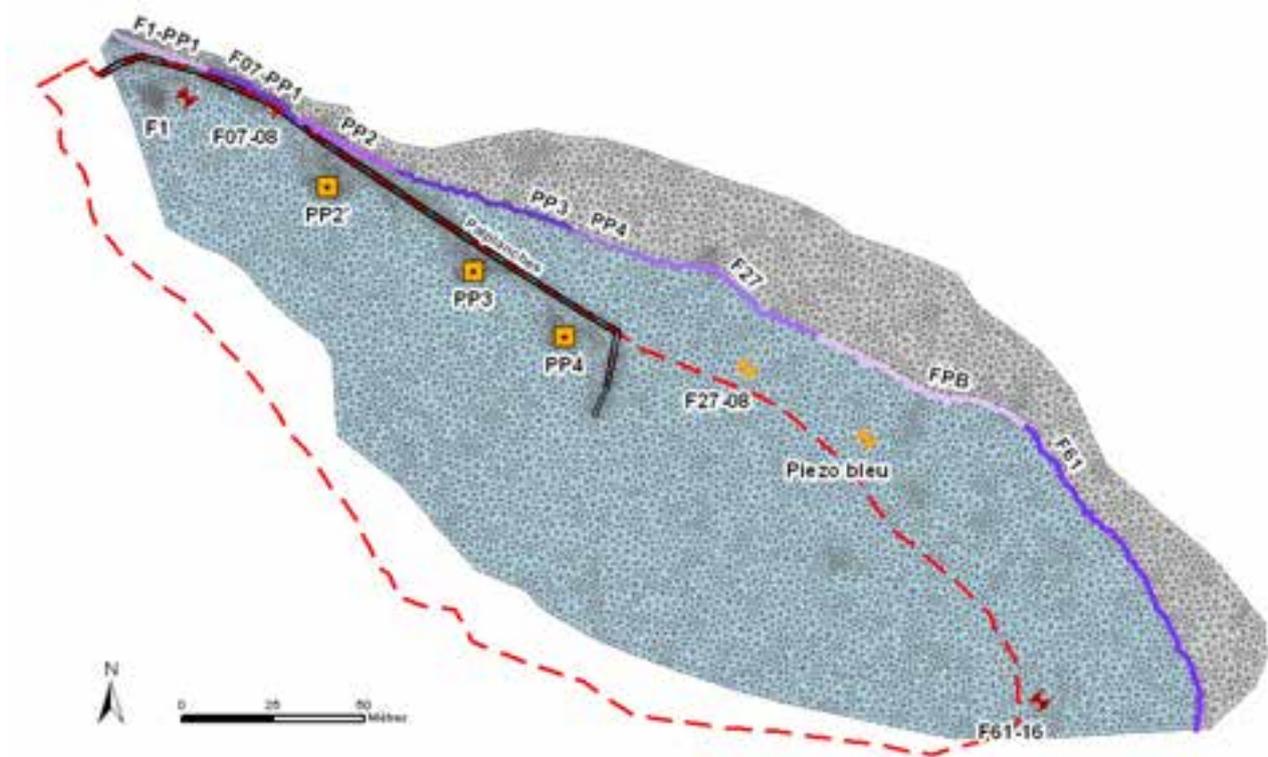


Figure 5.1: segments de répartition des flux et emplacement des piézomètres correspondants

Le flux sortant total fourni par le modèle a été pris en compte, et non la différence entre le flux entrant et le flux sortant.

Le flux sortant total correspond au cumul de l'eau qui passe au travers d'un tronçon défini sur une période donnée, même si l'eau fait des allers-retours. En effet, le modèle montre que des particules d'eau traversent plusieurs fois un tronçon en raison de l'inversion de gradient lié au marnage de la Sarine. Le flux sortant total

correspond donc au cumul de l'eau qui traverse le tronçon et un même volume d'eau peut donc être comptabilisé plusieurs fois.

La considération du flux sortant total amène donc à une surévaluation des volumes sortant de la décharge et constitue un « worst case », bien que cela soit moins représentatif de la réalité.

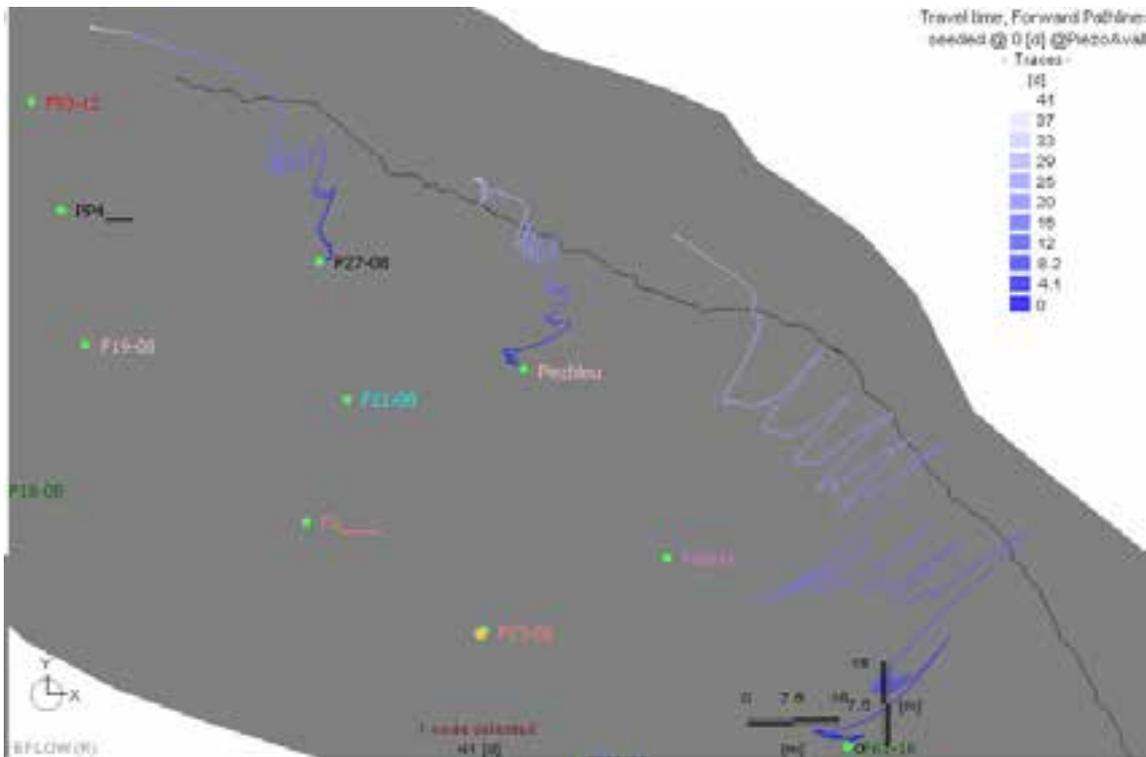


Figure 5.2 : Parcours des particules depuis les piézomètres en 42 jours, scénario « semaine type ». Les particules d'eau font des allers-retours entre la décharge et la berge non polluée, avant de se retrouver définitivement dans la Sarine. La particule est donc comptabilisée plusieurs fois dans le flux sortant total.

### 5.3 Concentrations en PCB considérées

Pour chaque scénario, deux variantes de concentrations en PCB ont été utilisées pour calculer les flux de PCB dissous exportés dans la Sarine par les eaux souterraines.

- Pour les scénarios en situation « normale », c'est-à-dire toutes les situations sauf en période de crue, une moyenne a été calculé pour toutes les analyses de 2012 à 2016 effectuées dans le cadre de la surveillance du site et prises en compte selon le Tableau 5.1. Lorsque les résultats sont inférieurs à la limite de quantification du laboratoire, les concentrations ont été considérées égales à 0. Pour le piézomètre F27-08, en dehors des essais effectués en avril-mai non considérés pour le calcul du flux, les PCB ont uniquement été détectés lors d'analyses effectuées par le laboratoire de l'EMPA avec des limites de quantifications basses (<<1 ng/L par congénère).
- Pour les scénarios en situation « normale », la variante worst case a été calculée avec les concentrations en PCB maximales mesurées durant cette même période.

Tableau 5.1 : Concentrations prises en compte pour le calcul des flux de PCB somme 6 \* 4.3 [ng/L]

Date	PP1	PP2	PP3	PP4	F27-08	Piézo bleu	F61-16
16.09.2012	95	13	82	0	0	17	na
26.10.2014	2'275	0	271	300	0	0	na
27.11.2014	3'883	0	0	194	0	0	na
14.07.2015	2'636	0	0	30	0	0	na
04.11.2015	1'552	0	0	0	0	0	na
22.08.2016	0	0	0	0	na	na	na
24.08.2016	na	na	na	na	2.8	3.3	1.9
25.08.2016	na	na	na	na	0	0	26
12.11.2016	560	280	0	0	0	0	na
<b>Moyenne</b>	<b>1'572</b>	<b>42</b>	<b>50</b>	<b>75</b>	<b>0.3</b>	<b>2.6</b>	<b>14</b>
<b>Maximum</b>	<b>3'883</b>	<b>280</b>	<b>271</b>	<b>300</b>	<b>2.8</b>	<b>17</b>	<b>26</b>

Pour les scénarios de flux durant la crue artificielle concernant la zone basse de la décharge, la moyenne a été calculée sur les analyses en PCB réalisées durant la crue de septembre 2016 (7 analyses pour F270-8 et Piézo bleu & 8 analyses pour F61-16). La variante worst case a été calculée avec les concentrations maximales analysées en PCB en chaque piézomètre durant les campagnes d'échantillonnage de la crue 2016.

Pour les scénarios de flux durant la crue artificielle concernant l'ensemble du site, les concentrations en PCB moyennes et maximales de 2012 à 2016, selon le Tableau 5.1, ont été utilisées pour les puits PP1 à PP4.

## 5.4 Synthèse

Une synthèse des simulations réalisées est listée ci-dessous

Tableau 5.2 : synthèse des simulations réalisées.

Scénario	État
Simulation semaine type (semaine type du 22 aout 2016 répétée sur 10 semaines)	État 2016
	État 0
Simulation turbinage continu (période janvier et février 2016)	État 2016
	État 0
crue 2016 (1 jour crue suivi de 2 jours basses eaux)	État 2016
	État 0
Simulation 3 jours type pour comparer avec la crue (1 jours turbinage + 2 jours basses eaux)	État 2016
	État 0

## 6. Résultats et interprétation

### 6.1 Flux hydraulique

#### 6.1.1 Estimation de l'efficacité du système de palplanches

Comme mentionné dans le chapitre 3.3.2, des palplanches ont été installées en 2012 à l'aval de la zone haute ainsi que 4 puits de pompage à l'intérieur de la zone de confinement. Le modèle 2016 « turbinage normal », état 2016, montre que ce système est efficace, avec un bilan de flux sortant-entrant équivalent à - 214 m<sup>3</sup>/semaine, donc un flux entrant nettement plus important que le flux sortant. Ce système fonctionne donc efficacement, selon les estimations du modèle.

#### 6.1.2 Bilan des flux du modèle 2016 et comparaison avec le modèle 2008

Dans chapitre suivant, le modèle de 2016, à l'état 0, en turbinage normal, a été comparé avec celui de 2008.

Deux différences majeures sont visibles entre les deux modèles. Le flux amont considéré dans le modèle de 2016 est considérablement inférieur à celui du modèle de 2008. Alors que ce flux constituait entre 18 et 24 % du flux entrant (selon la semaine considérée), celui-ci ne représente que 0.6 % dans le modèle de 2016 (Tableau 6.1).

Pour compenser ce « manque » d'eau, le flux entrant par la Sarine est nettement plus élevé dans le modèle de 2016. Alors qu'il était estimé entre 690 et 3380 m<sup>3</sup>/semaine en 2008 (selon la semaine considérée), celui-ci a été évalué à 6034 m<sup>3</sup>/semaine en 2016. L'apport supplémentaire provient principalement du nord-est de la limite Sarine-décharge, au niveau du F61-16. Cet apport important est visible sur les cartes piézométriques d'août et septembre 2016 (chapitre 2.2), mais était jusqu'avant 2016 peu connu à cause d'un manque de mesures dans cette zone avant les investigations complémentaires. Néanmoins, bien qu'une partie d'un flux amont soit capté depuis 2017, il est possiblement sous-estimé dans le modèle 2016 (chapitre 4.6.6).

Tableau 6.1: Bilan des flux entrants

	<b>Flux entrant (m<sup>3</sup>/semaine)</b>	<b>% du flux entrant</b>
<b>Flux entrant Sarine</b>	5432	90.0
<b>Flux amont</b>	37	0.6
<b>Infiltration efficace</b>	565	9.4
<b>Somme</b>	6034	100

En 2008, un flux sortant de 5110 m<sup>3</sup>/semaine avait été estimé pour une semaine de turbinage normal. Le modèle de 2016, simulé à l'état 0 pour une semaine de turbinage normale, calcul 5764 m<sup>3</sup>/semaine, soit à une différence d'environ 10% par rapport au modèle de 2008. Cette différence est très faible, alors qu'elle aurait dû être plus importante en raison du captage du flux amont actif depuis 2012 (et pris en compte dans le modèle de 2016). Cette petite différence peut être expliquée par l'importance relativement faible des flux sortants à l'aval de la zone haute (24% de flux sortants totaux) par rapport à ceux de l'aval de la zone basse.

Globalement, les deux modèles donnent des résultats d'un même ordre de grandeur.

6.1.3 Comparaison entre semaine normale et semaine turbinage continu

Comme décrit dans le chapitre 3.2.1, le turbinage en 2016 diffère fortement des années précédentes, avec un turbinage quasiment continu en début d'année. La Figure 6.2, montre l'impact sur le flux sortant total d'un turbinage constant par rapport à un turbinage type « semaine normale ».

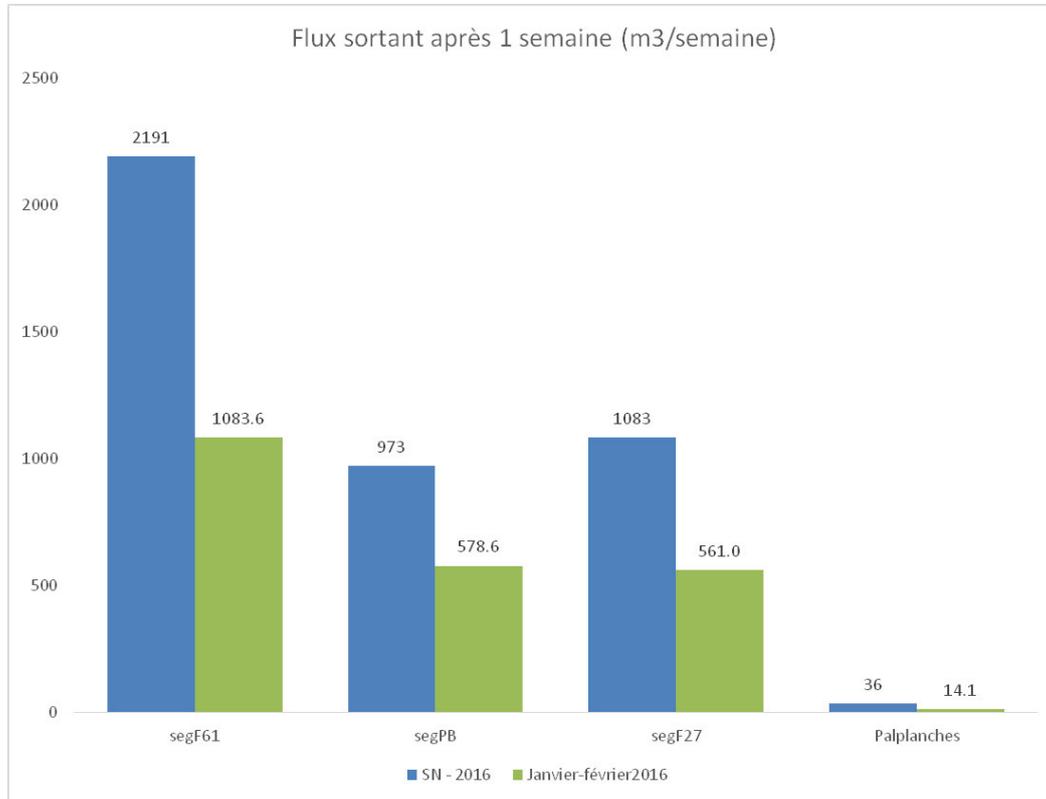


Figure 6.1 : Flux sortant d'une semaine normale par rapport à une semaine de turbinage quasiment constant. Cette dernière a été calculée sur le flux sortant total de la situation de janvier à février 2016, divisée par le nombre de semaines.

Il peut être constaté, comme déjà mentionné dans plusieurs rapports antérieurs, que le turbinage et le marnage a un effet aggravant sur l'exportation des polluants par rapport à turbinage quasi continu. En effet, en semaine normale, le flux sortant est nettement plus élevé que lors d'un turbinage quasi continu. A noter qu'à l'inverse, le turbinage et marnage a un effet positif sur l'exportation des polluants par rapport à une situation des basses eaux.

6.1.4 Comparaison entre l'état 2016 et l'état 0

Sans surprise, le modèle nous montre que sans le pompage et les palplanches, le flux sortant augmente (Figure 6.2). L'augmentation du flux sortant le long de la paroi de palplanches est très importante entre l'état 2016 et l'état 0, principalement à l'extrémité nord-est de la limite Sarine-décharge. Il passe de 36 m<sup>3</sup>/semaine à 905 m<sup>3</sup>/semaine avec un turbinage normal et de 14 m<sup>3</sup>/semaine à 413 m<sup>3</sup>/semaine pour la période janvier-février 2016.

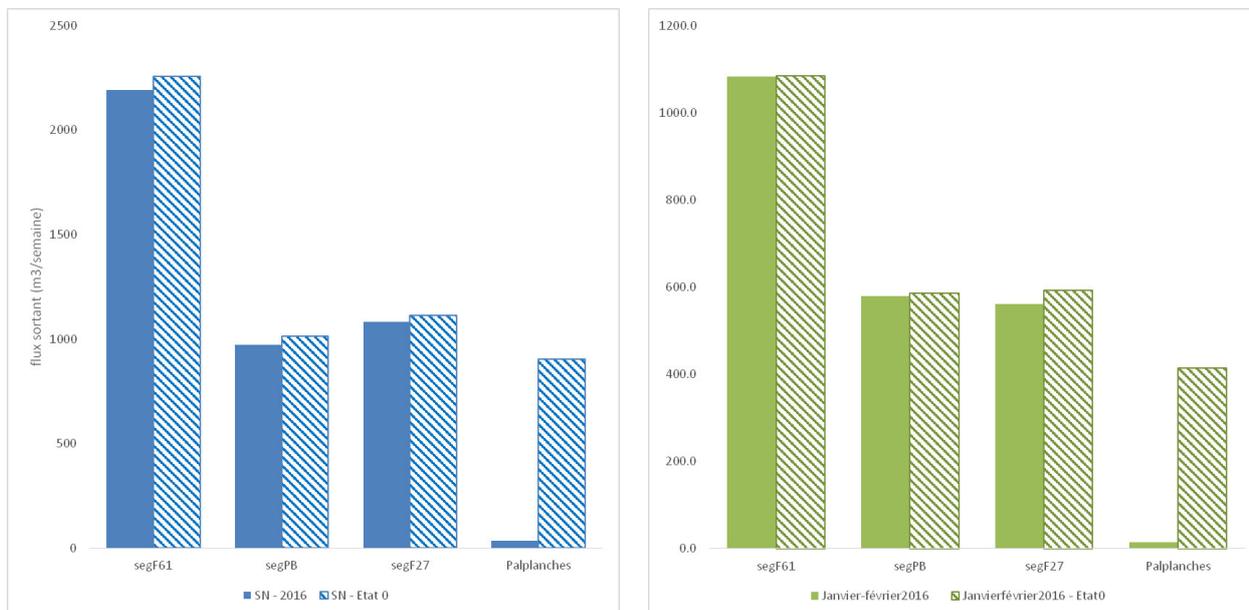


Figure 6.2 : Comparaison du flux sortant entre l'état 2016 et état 0. A gauche, comparaison pour une semaine normale, à droite comparaison d'une semaine à turbinage quasi continu.

### 6.1.5 Zones d'infiltration et d'exfiltration de la décharge vers les Sarine.

Le modèle permet d'estimer les zones d'infiltration des eaux de la Sarine dans la décharge et le zone d'exfiltration. La Figure 6.3 et la Figure 6.4 montrent les zones infiltrant de la Sarine vers les décharge (en jaune) et exfiltrant (en bleu), en respectivement période de turbinage et basses eaux. Il peut être observé que le flux entre principalement depuis le nord-ouest jusqu'au piézomètre F53-12. Le flux sortant de la décharge est plus important selon les segments, notamment pour les segments F61-16 et F27-08. Cette observation visuelle est confirmée dans le Tableau 6.2, qui montre le flux sortant par mètre selon les segments. Il peut aussi être observé que le flux sortant au niveau de F07-08 est important à l'état 0.

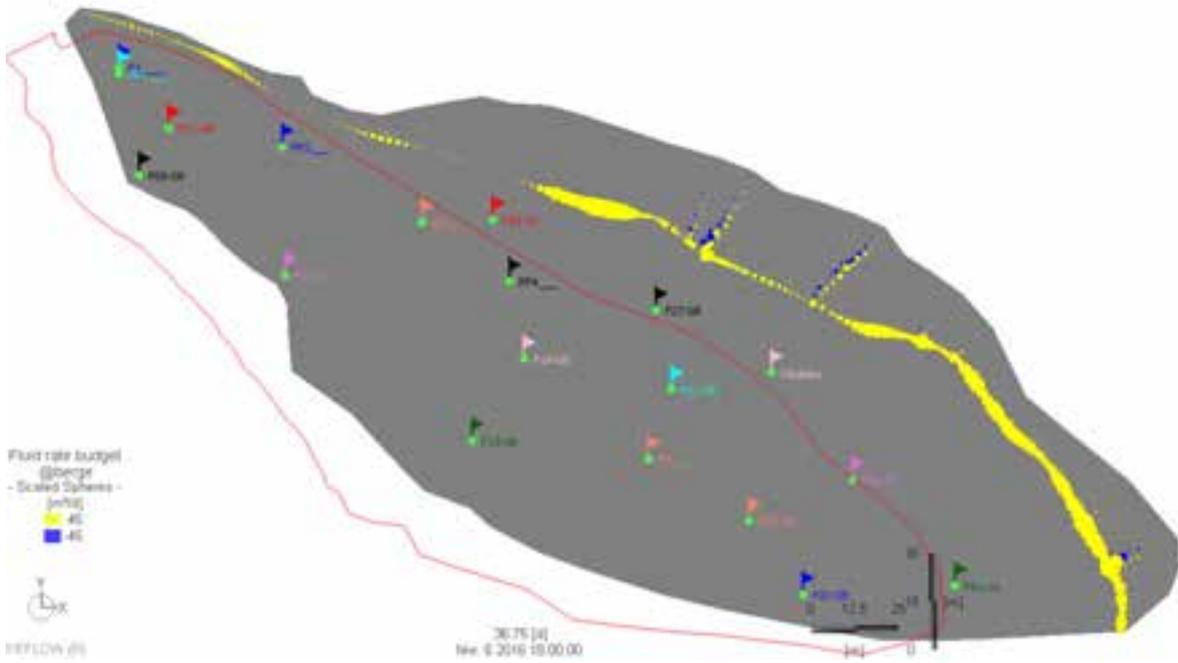


Figure 6.3: Flux entrant semaine normale état 0. En jaune le flux allant de Sarine à la décharge et en bleu le flux sortant de la décharge vers la Sarine.

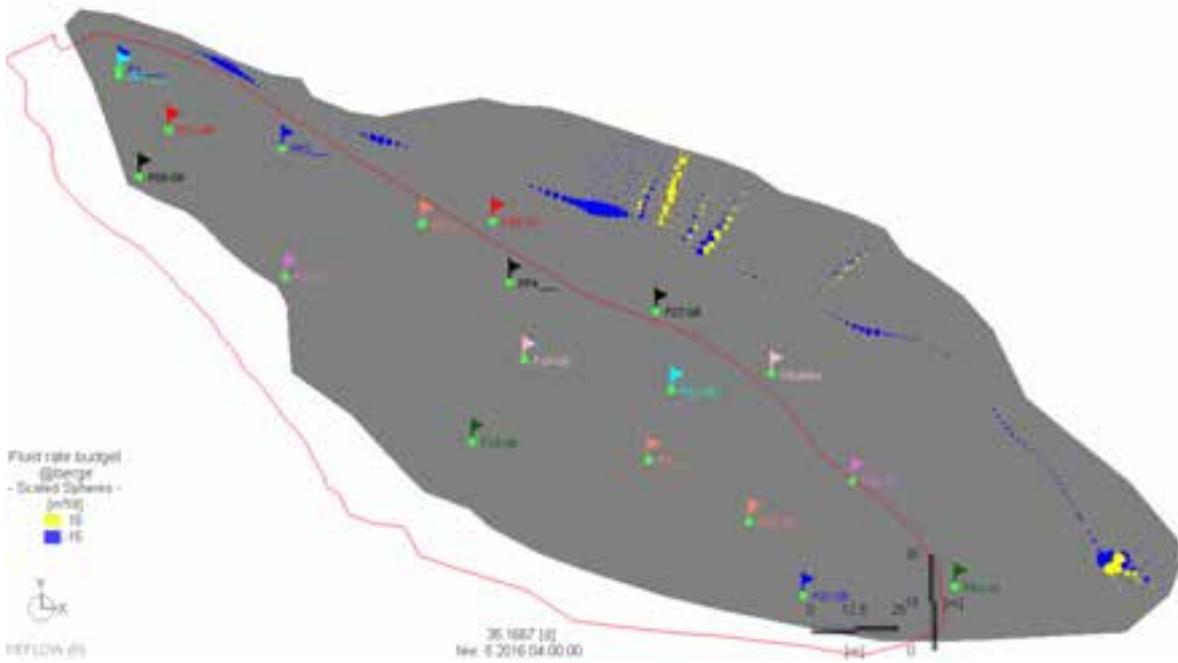


Figure 6.4: flux à la fin de semaine d'une semaine normale (basses eaux) à l'état 0. En jaune le flux allant de Sarine à la décharge et en bleu le flux sortant de la décharge vers la Sarine.

Tableau 6.2 : Flux sortant par mètres pour chaque segment.

Segment	Longueur segment (m)	Flux sortant (m <sup>3</sup> /m)			
		Etat 2016		Etat 0	
		semaine normale	turbinage continu	semaine normale	turbinage continu
segF61	103.4	21.2	10.5	21.8	10.5
segPB	69.1	14.1	8.4	14.7	8.5
segF27	63.4	17.1	8.8	17.5	9.3
PalPP4	20.3			13.9	7.9
PalPP3	54.8			4.6	2.1
PalPP2	36.5			3.7	1.9
PalF07-PP1	26.0			17.5	8.2
PalF1-PP1	29.9			8.5	4.8
Palplanches	161.6	0.2	0.1		

## 6.2 Flux de PCB

### 6.2.1 Flux de PCB en situation normale pour l'état 2016 et l'état 0, sans palplanches

Les flux de PCB dissous exportés dans la Sarine par les eaux souterraines ont été évalués dans les précédentes études. Ils avaient été évalués dans une fourchette de 40 à 500 gramme par année. Les détails de ces évaluations ne sont pas repris ici.

D'après les scénarios en situation normale, la quantité de PCB d'exfiltrant de la décharge vers la Sarine se situe entre 3 g/an (moyenne) et 7 g/an (maximum) pour l'état 2016.

Rappelons qu'en amont du calcul des flux de PCB, les flux d'eau pris en compte sont des flux sortants totaux qui constituent une surestimation de la réalité comme expliqué au chapitre 5.2.

Les concentrations en PCB utilisées sont évidemment déterminantes pour les flux de PCB. La prise en compte de nouvelles données comme le piézomètre F61-16 conduit à un nouveau flux de PCB basée sur deux échantillons ponctuels prélevés en 2016. Les données futures de la surveillance du site pourront toujours être intégrées pour mettre à jour le calcul des flux.

Le Tableau 6.3 montre que dans le cas d'une année normale, c'est-à-dire avec des semaines de types « normales », la quantité de PCB s'exfiltrant de la décharge vers la Sarine varie entre 62 et 157 g/an pour l'état 0 sans palplanches ni pompage. Plus de 90% de ce flux est dû à la concentration en PCB importante mesurée en PP1. Les flux ainsi calculés à l'aide de la nouvelle version du modèle hydrogéologique et sur la base d'analyses effectuées de 2012 à 2016 sont cohérents avec les estimations issues du modèle de 2008 qui donnait un flux total de PCB de 116 grammes par année.

Le scénario de turbinage peut également influencer les échanges d'eau entre la décharge et la Sarine et, par conséquent, les flux de PCB. La modélisation effectuée avec un turbinage en continu, présentée dans le Tableau 6.3, montre que les flux de PCB sont réduits de moitié avec un régime quasi constant de la Sarine. Concrètement, cela veut dire que les longues périodes de turbinage, destinées à produire de l'énergie de réglage du réseau électrique en continu (contrats SDL pour Swissgrid devenus importants dès 2016), tendent à diminuer l'exportation de PCB par les eaux souterraines vers la Sarine.

Tableau 6.3 : Flux sortant de PCB. Comparaison entre une « semaine normale » et une « semaine de turbinage continu ».

	Flux hydraulique (m3/semaine)				Concentration en PCB dissous 4.3Σ6PCB (ng/l)		Flux de PCB (g/semaine)							
	Etat 2016		Etat 0		moy.	max.	Etat 2016				Etat 0			
	Semaine normale	Turb. continu	Semaine normale	Turb. continu			moy.	max.	Semaine normale	Turbinage continu	Semaine normale	Turbinage continu	moy.	max.
segF61	2'191	1'084	2'256	1'084	14	26	0.03	0.06	0.02	0.03	0.03	0.06	0.02	0.03
segPB	973	579	1'014	586	3	17	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.01
segF27	1'083	561	1'112	593	0.3	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PalPP4	5	2	282	161	75	300	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.08	0.01	0.05
PalPP3	12	5	254	116	50	271	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.07	0.01	0.03
PalPP2	8	3	136	68	42	280	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.00	0.02
PalF07-PP1	6	2	457	215	1'572	3'883	0.01	0.02	0.00	0.01	0.72	1.77	0.34	0.83
PalF05-PP1	7	3	253	144	1'572	3'883	0.01	0.03	0.00	0.01	0.40	0.98	0.23	0.56
Somme [semaine]	4'284	2'238	5'764	2'967			0.1	0.1	0.0	0.1	1.2	3.0	0.6	1.5
Somme [année]	222'784	116'366	299'728	154'299			3	7	1	3	62	157	31	80

### 6.2.2 Comparaison entre une semaine normale et la crue 2016

Les flux sortants de PCB calculés à l'aide du modèle montrent qu'entre 1 journée de turbinage suivie de 2 jours de basses eaux et la crue artificielle de 2016 de 24h également suivie de 2 jours de basses eaux, sont 15x plus importants en temps de crue. Cette importante augmentation est essentiellement due à la l'augmentation du flux d'eau et de la différence des concentrations en PCB dissous mesurées au F61-16 entre l'état normal et en temps de crue, alors que les concentrations aux piézomètres F27-08 et Piézo bleu sont d'un même ordre de grandeur. Cependant, même en temps de crue, en prenant le scénario « worst-case », les flux sortants de PCB sont faibles (0.67g/3j).

À l'état 0, les flux de PCB sortants seraient environ 2x plus importants en temps de crue par rapport à la normale<sup>2</sup>. À nouveau, cette augmentation peut en partie être expliquée par les différences de teneurs analysées au point F61-16, mais pas uniquement : des teneurs en PCB élevées retrouvées à l'extrémité nord-ouest de la décharge, représenté par le puits PP1, jouent également un rôle important en raison de l'augmentation du flux d'eau en situation de crue sur le segment PalF05-PP1.

Concrètement, selon le « worst-case » scénario (état 0, teneur maximale en PCB), la crue de 2016 aurait eu comme impact un ajout de 1g supplémentaire de PCB dissous dans la Sarine par rapport à une période « normale ». Ainsi, pour l'état 2016, le flux de PCB dissous additionnel généré par la crue est d'environ 10% pour une année de turbinage normale, ce qui n'affecte pas l'ordre de grandeur du flux de PCB exporté dans la Sarine.

<sup>2</sup> Pour mémoire, les concentrations en PCB appliquées pour les calculs du cas de crue de l'état 0 sur les puits de pompage PP1 à PP4 sont identiques aux concentrations appliquées en situation normale. La configuration actuelle du site, avec palplanches, ne permet pas d'acquérir des données analytiques pour l'état 0 en situation de crue, qui représente une situation théorique, sans palplanches ni système de pompage.

Tableau 6.4 : Flux de PCB. Comparaison entre période normale et crue. \*ZB correspond à la somme des segments segF61, segPB et segF27.

	Flux hydraulique (m3/3j)				Concentration en PCB dissous 4.3∑6PCB (ng/l)				Flux de PCB (g/3j)							
	Etat 2016		Etat 0		Situation normale		Crue		Etat 2016				Etat 0			
	sem. norm. 3j	crue	sem. norm. 3j	crue	moy.	max.	moy.	max.	moy.	max.	moy.	max.	moy.	max.	moy.	max.
									semaine normale - 3j	crue						
segF61	617	1245	728	1246	14	26	230	507	0.01	0.02	0.29	0.63	0.01	0.02	0.29	0.63
segPB	326	495	373	495	3	17	5	10	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01
segF27	388	596	431	603	0.3	3	4	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PalPP4	2	3	120	161	75	300	75	300	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.01	0.05
PalPP3	5	7	136	162	50	271	50	271	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.01	0.04
PalPP2	4	5	62	84	42	280	42	280	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02
PalF07-PP1	3	3	224	269	1'572	3'883	1'572	3'883	0.00	0.01	0.01	0.01	0.35	0.87	0.42	1.04
PalF05-PP1	3	4	68	118	1'572	3'883	1'572	3'883	0.00	0.01	0.01	0.01	0.11	0.26	0.19	0.46
∑ Zone basse*	1331	2336	1532	2344					0.01	0.02	0.29	0.64	0.01	0.03	0.29	0.64
∑ totale	1348	2356	2142	3139					0.02	0.05	0.30	0.67	0.49	1.25	0.92	2.26

## 7. Critiques et limitations du modèle

Le modèle présenté dans ce rapport peut être considéré comme une représentation générale du système. Il s'agit en effet d'un contexte hydrogéologique très complexe. Les valeurs mesurées sont globalement bien simulées par le modèle, cependant il peut être constaté que les niveaux simulés ont tendance à être en dessous des valeurs mesurées, de quelques centimètres à plusieurs dizaines de centimètres.

Le flux amont représente le grand point faible de ce modèle, et pourtant déterminant pour simuler les écoulements des eaux souterraines. Bien que différentes méthodes aient été utilisées pour le calculer (chap. 4.4.1), les estimations restent grossières.

Les calculs issus des simulations de l'état 0 doivent être interprétés avec précaution. En effet, le modèle n'a pas pu être calibré ou validé avec des mesures réelles, cet état n'existant pas actuellement.

### 7.1.1 Estimation de flux

L'estimation des flux est jugée suffisamment fiable dans le cadre de cette étude, car ceux-ci sont calculés à une échelle garantissant l'échantillonnage au travers de zones à la fois à forte et faible conductivité. Le modèle n'est en l'état pas adéquat pour estimer les flux à plus petite échelle.

### 7.1.2 Estimation de charge

Étant donné le caractère hétérogène de l'aquifère, l'estimation des charges est considérée comme fiable aux environs immédiats des piézomètres ayant servis à calibrer le modèle et dont les séries temporelles ont été reproduites de manière satisfaisante. Dans les zones plus éloignées, l'estimation des charges est plus approximative. Comme précédemment mentionné, les charges ont tendance à être minimisées par le modèle. D'une manière générale les amplitudes des variations piézométriques prédites par le modèle sont plus robustes que les valeurs absolues de charge.

## 8. Incertitudes et pistes d'améliorations

Plusieurs incertitudes demeurent déjà au niveau du modèle conceptuel, notamment en ce qui concerne le flux amont :

- Comment est-il réparti ?
- Quel est son ampleur ?
- Comment varie-t-il au cours du temps ?

Les mêmes questions se posent en ce qui concerne l'infiltration.

D'une manière générale il semble manquer d'eau dans le modèle (charges globalement minimisées). D'où provient cette eau en réalité ?

Il existe d'autre part des piézomètres qui montrent un comportement qui demeure difficile à expliquer. Ce qui reflète probablement un aquifère plus complexe que celui envisagé par le modèle.

La forte hétérogénéité du champ de conductivité calibré engendre les questions suivantes :

- L'aquifère est-il réellement aussi hétérogène et pourquoi ?
- Où est-ce que le modèle conceptuel est trop simple pour reproduire les mesures ?

Il serait intéressant de formuler différentes hypothèses pour répondre à toutes ces questions, de les traduire en modèles conceptuels alternatifs et de tester ces modèles avec des simulations numériques et/ou en réalisant des investigations de terrain supplémentaires.

Malgré toutes ces incertitudes, rappelons que le facteur déterminant en ce qui concerne le comportement de l'eau dans l'aquifère est de loin l'échange avec la rivière et que celui-ci est bien compris.

## 9. Conclusions

Les investigations complémentaires réalisées en 2016 ont permis d'améliorer et de mettre à jour le modèle hydrogéologique de 2008. Notamment, les investigations par pénétromètre ont permis d'apporter des meilleures connaissances du toit de la molasse dans la partie sud-est de la décharge, essentielles pour la conception du modèle hydrogéologique. Les forages complémentaires, F61-16 et F62-16, ainsi que la mise en place de 15 sondes piézomètres dans des forages préexistants ont également contribué à améliorer significativement les conditions initiales limites du modèle.

Concrètement, ces compléments d'information ont augmenté de façon importante les échanges entre la nappe et la rivière à l'extrémité Sud-est de la décharge dans le modèle de 2016 par rapport à celui de 2008. Mise à part cela, les deux modèles donnent des ordres de grandeurs similaires, ce qui tend à confirmer que les modèles et leurs résultats sont cohérents.

Les mesures mises en place en 2012 (confinement de la zone haute, 4 puits de pompage, captage du flux amont), ont été intégrées au modèle de 2016. Les investigations complémentaires et le modèle de 2016 confirment l'effet positif de ces mesures (diminution de l'exportation de PCB dissous dans la Sarine). En effet, pour l'état 2016, le flux total de PCB dissous estimé de 3 à 7 g/an, par rapport à 62-157 g/an pour l'état 0.

La crue de 2016 a eu un effet relativement négligeable sur l'exportation de PCB dissous des eaux souterraines de la décharge vers la Sarine. En effet, pour l'état 2016, le flux de PCB dissous additionnel généré par la crue est d'environ 10% pour une année de turbinage normale. Rappelons que ces constatations sont uniquement valables pour la crue de 2016, une crue plus importante peut conduire à un flux de PCB plus important, spécialement si le niveau de la nappe de la décharge atteint les déchets.

Ce modèle a également servi d'aide pour l'étude des variantes d'assainissement.

Des incertitudes subsistent, notamment au niveau du flux amont et de l'infiltration. Des pistes d'amélioration sont proposées. Néanmoins, malgré toutes ces incertitudes, rappelons que le facteur déterminant en ce qui

concerne le comportement de l'eau dans l'aquifère est de loin l'échange avec la rivière et que celui-ci est bien compris.

En l'état actuel, le modèle peut servir d'aide à la décision, ainsi que pour déterminer l'impact d'une crue extrême (un tel scénario est actuellement en cours de calcul par groupe E et E-dric).

## 10. Bibliographie

- [1] CSD 2016. Suite des démarches en relation avec le projet d'assainissement – Rapport de synthèse et proposition de mesures complémentaires. Décharge de la Pila. FR2706.915.600
- [2] E-Dric, 2016. Petite Sarine, crue artificielle de 2016. Modélisation HEC – RAS.
- [3] Gianni Guillaume et al. 2016. Rapid identification of transience in streambed conductance by inversion of floodwave responses. AGU Publications - Water Resources Research.
- [4] CSD 2014. Complément au suivi du flux amont et des puits de pompage. Décharge de la pila. FR2706.912
- [5] CSD 2009. Modélisation hydrogéologique numérique. Décharge de la Pila. FR2706.600.80
- [6] CSD 2008. Investigation de détail. Décharge de la Pila. FR2706.300

## **COLLABORATEUR(S) CHARGÉ(S) DE L'ÉTUDE**

Léa Tallon, Hydrogéologue dipl. CHYN

Olivier Masset, Hydrogéologue dipl. CHYN

Eric Di Gioia, Géologue dipl UNIFR, Hydrogéologue dipl. CHYN

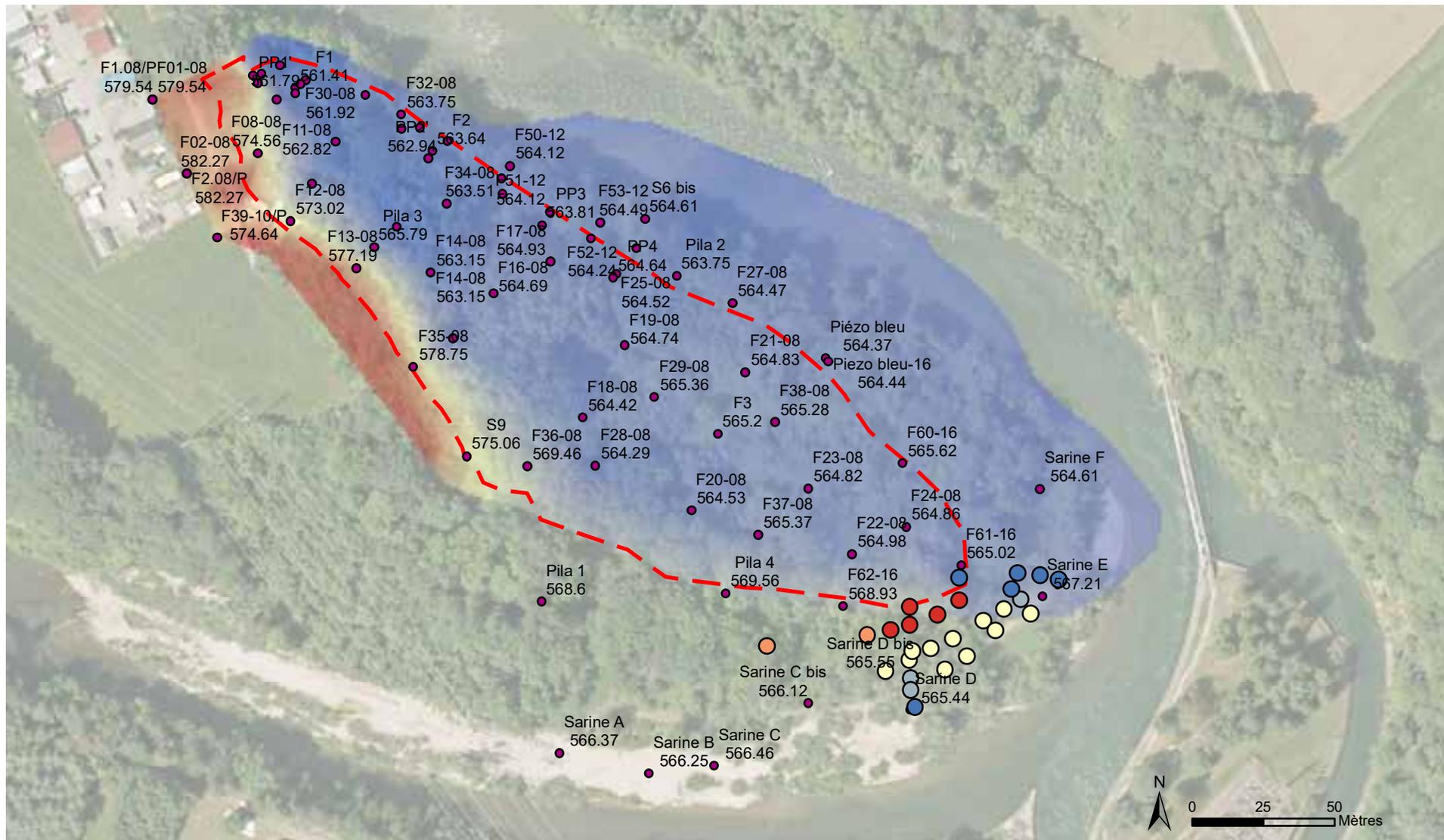
Sébastien Paratte, Ing. en Environnement EPFL

W:\Csdfr\MANDATS\2700-749\FR2706.17 Pila\Rapport études complémentaires\Annexes\5.3 ModèleHydro.doc

Pour préserver l'environnement, CSD imprime ses documents sur du papier 100 % recyclé (ISO 14001).

**ANNEXE A            EMBLACEMENT DES ESSAIS AU PÉNÉTROMÈTRE,  
DES FORAGES ET L'INTERPOLATION DU TOIT DE LA  
MOLASSE**





## Décharge la Pila - Etudes complémentaires

### Toit de la molasse

**CSDINGENIEURS+**

Environnement  
Géologie et géotechnique  
Infrastructures et bâtiments  
Déchets et dépollution  
Energie et eau

Chantemerle 37 - Granges-Paccot  
CP 384 - 1701 Fribourg  
Tél. 026 460 74 74  
Fax. 026 460 74 79  
fribourg@cstd.ch  
www.cstd.ch

Dessin FRLTL	N° mandat FR2706.600
Date 15.02.2017	Echelle 1:2'000
Format A4	Annexe -

### Essais au pénétromètre

Altitude du toit de la molasse [m.s.m.] [m.s.m]

- 564.75 - 565.40
- 565.41 - 566.20
- 566.21 - 566.91
- 566.92 - 568.50
- 568.51 - 569.41

### Interpolation du toit de la molasse

Elevée : 590  
Faible : 561

— Limite de la décharge

● Points connus du toit de la molasse



**ANNEXE B LOG FORAGES F60-16, F61-16, F62-16**



FRGFT8B8

# Reconnaitances géologiques

## COUPE DE SONDAGE 1:50

### F60 - 16

éote 6 -FGB-Gm  
 éoordonnées6 -F8'R-b SRF+'++7

de TBT m à bBT m

Vate 6RFB8BTR8  
 Maison de forage 6Polyforages Sâ

Méthode S Ø 1mm0	Echantillons EU%	ProfB1m0	Profil	Vescription lithologique	Géologie	Humidité des sols	HydroB	N <sub>SPT</sub>	q <sub>p</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	Equipement
									RTT GTT 7TT -TT -T RTT R-T GTT è us [kN/m <sup>2</sup> ]	
			RBT	Limon avec racines4bois et galetsB%run foncéB	à luvions de la Sarine	sec				plein PVé
			Limon avec galets arrondis 1ØmaxB8 cm0B%run à beigeB							
			LimonB%run foncéB							
			Limon sableux avec grave et galetsB%run clair à grisB							
			GBB	Grave sableuse avec un bloc arrondiBGrisBLâcheB	à luvions de la Sarine	humide à saturé				argille
			LimonB%run foncéB							
			SableB%eige foncéB							
			Sable avec 7] galets arrondisB%eige foncéB							
			-BT	Sable avec de plus en plus de galets arrondisB%eige foncéB	à luvions de la Sarine	humide à saturé				crépine PVé
			Sable avec de plus en plus de galets arrondisB%eige foncéB							
			FBT	GrèsBGrisUbleuB	Molasse	sec				plein PVé
			bBT							
			+BT							

FR2706.16

# Reconnaitances géologiques

## COUPE DE SONDAGE 1:50

### F61-16

Cote : 570.42 m

de 0.00 m à 6.80 m

Date : 17.06.2016

Coordonnées: 576'176 / 179'960

Maison de forage : Polyforages SA

Méthode / Ø (mm)	Echantillons EUB	Prof. (m)	Profil	Description lithologique	Géologie	Humidité des sols	Hydro.	N <sub>SPT</sub>	q <sub>p</sub> [kN/m <sup>2</sup> ] C <sub>us</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	Equipment
				Limon avec racines, bois et galets. Brun foncé.	Sol					
		1.0		Sable grossier mal trié graveleux avec galets. Gris à brun.	Alluvions de la Sarine	sec				plein PVC
		2.0		Sable moyen avec galets. Gris à brun.						
		3.0		Sable grossier avec 15 % de galets. Beige.						argile
		4.0		Limon sableux avec 15 % de galets. Brun clair.	Molasse	humide				crépine PVC
		5.0		Grave mal triée avec 40 % de galets. Gris.						
		6.0		Grès. Gris-bleu.						plein PVC
		7.0								
		8.0								
		9.0								

FR2706.16

# Reconnaitances géologiques

## COUPE DE SONDAGE 1:50

### F62-16

Cote : 571.53 m  
 Coordonnées: 576'142/ 179'937

de 0.00 m à 3.80 m

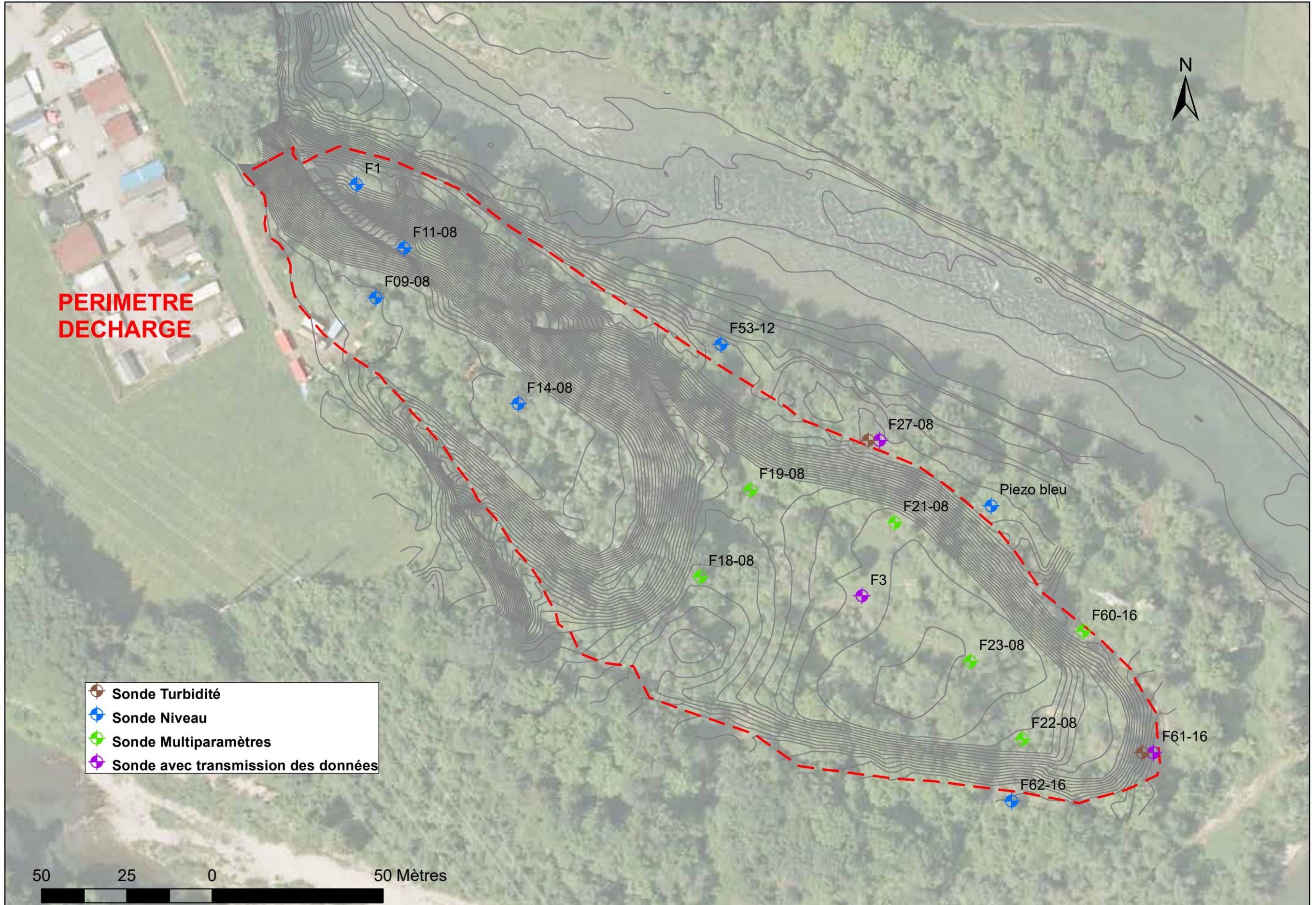
Date : 20.06.2016  
 Maison de forage : Polyforages SA

Méthode / Ø (mm)	Echantillons EUB	Prof. (m)	Profil	Description lithologique	Géologie	Humidité des sols	Hydro.	N <sub>SPT</sub>	q <sub>p</sub> [kN/m <sup>2</sup> ] 100 200 300 400 C <sub>us</sub> [kN/m <sup>2</sup> ] 50 100 150 200	Equipment
		1.0		Sable grossier avec galets. Gris foncé.	Alluvions de la Sarine	sec				plein PVC argile crépine PVC plein PVC
		2.0		Limon avec > 50 % de grave avec galets (Ø>10 cm) mal trié. Brun.						
		3.0		Sable fin limoneux avec grave et galets. Beige.						
		3.0		Grès. Gris-bleu.	Molasse					
		4.0								
		5.0								
		6.0								
		7.0								
		8.0								
		9.0								



**ANNEXE C    EMBLACEMENT DES SONDÉS DE MESURES  
AUTOMATIQUES**

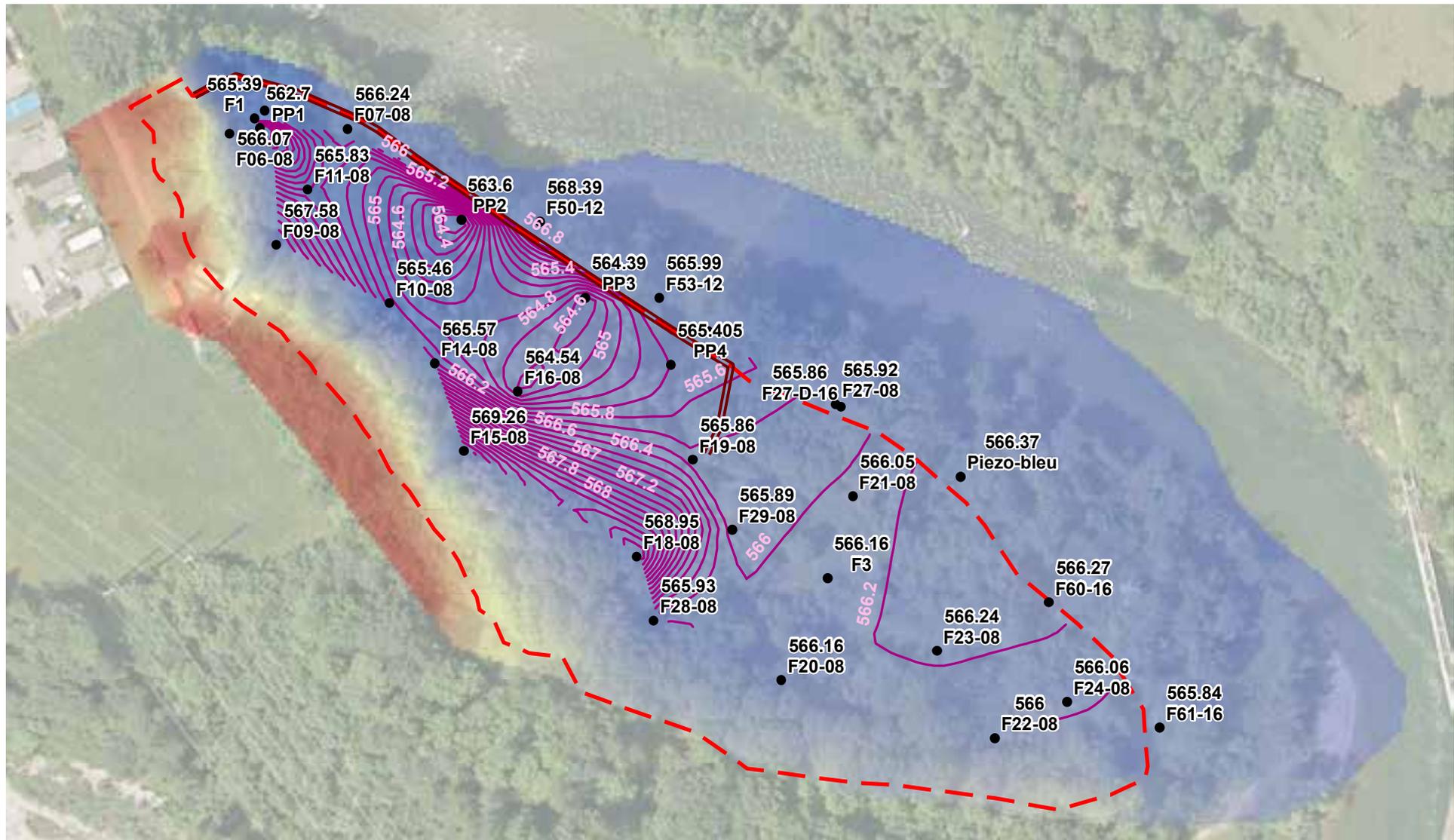






**ANNEXE D    CARTES PIEZOMÉTRIQUES**





## Décharge la Pila - Etudes complémentaires

Carte piézométrique du 22-24.08.2016

**CSDINGENIEURS+**

Environnement  
Géologie et géotechnique  
Infrastructures et bâtiments  
Déchets et dépollution  
Energie et eau

Chantemerle 37 - Granges-Paccot  
CP 384 - 1701 Fribourg  
Tél. 026 460 74 74  
Fax. 026 460 74 79  
fribourg@csd.ch  
www.csd.ch

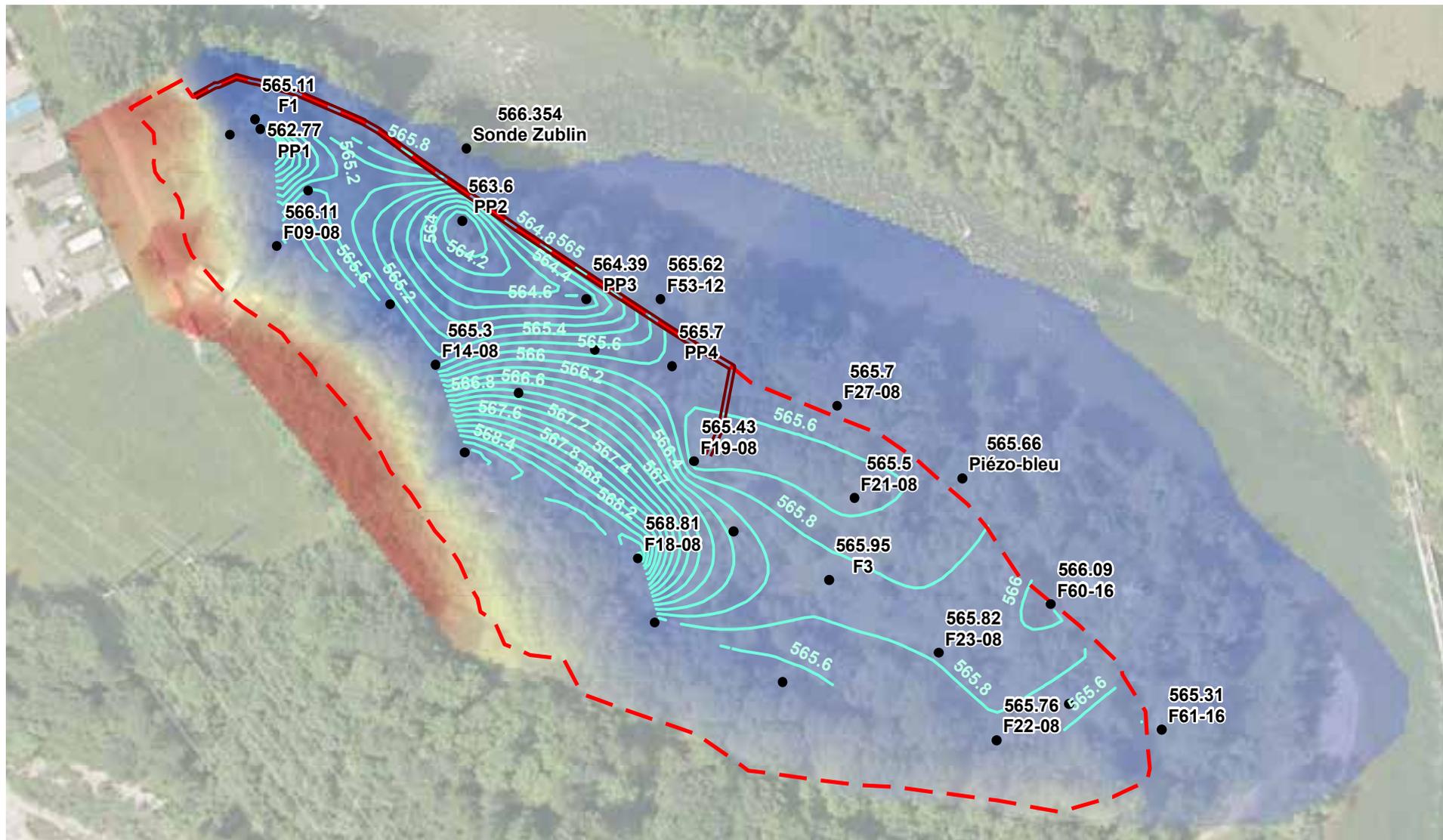
Dessin FRLTL	N° mandat FR2706.600
Date 09.02.2017	Echelle 1:1'500
Format A4	Annexe -

## Légende

- Relevés manuels [m.s.m]
  - Isopièzes
  - === Palplanches
  - - - Limite de la décharge
- Toit de la molasse**  
m.s.m
- Elevée : 590
- Faible : 561







## Décharge la Pila - Etudes complémentaires

Carte piézométrique du 14.09.2016 à 10:00

# CSDINGENIEURS+

Environnement  
Géologie et géotechnique  
Infrastructures et bâtiments  
Déchets et dépollution  
Energie et eau

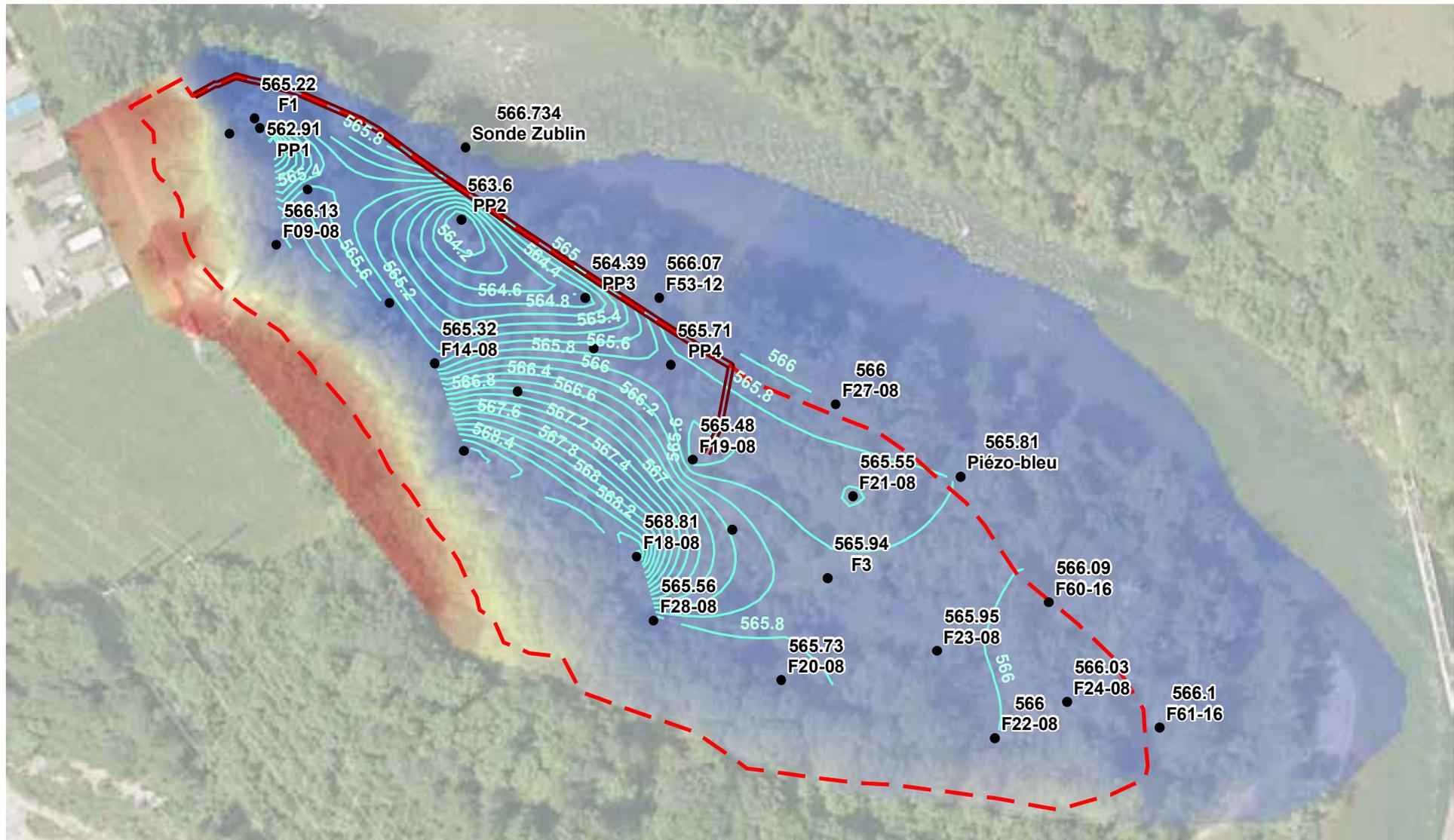
Chantemerle 37 - Granges-Paccot  
CP 384 - 1701 Fribourg  
Tél. 026 460 74 74  
Fax. 026 460 74 79  
fribourg@csd.ch  
www.csd.ch

Dessin FRLTL	N° mandat FR2706.600
Date 09.02.2017	Echelle 1:1'500
Format A4	Annexe -

## Légende

- Relevés manuels [m.s.m.]
  - Isopièzes
  - ▬ Palplanches
  - - - Limite de la décharge
- Toit de la molasse**  
m.s.m
- Elevée : 590
  - Faible : 561





## Décharge la Pila - Etudes complémentaires

Carte piézométrique du 14.09.2016 à 13:00

# CSDINGENIEURS+

Environnement  
Géologie et géotechnique  
Infrastructures et bâtiments  
Déchets et dépollution  
Energie et eau

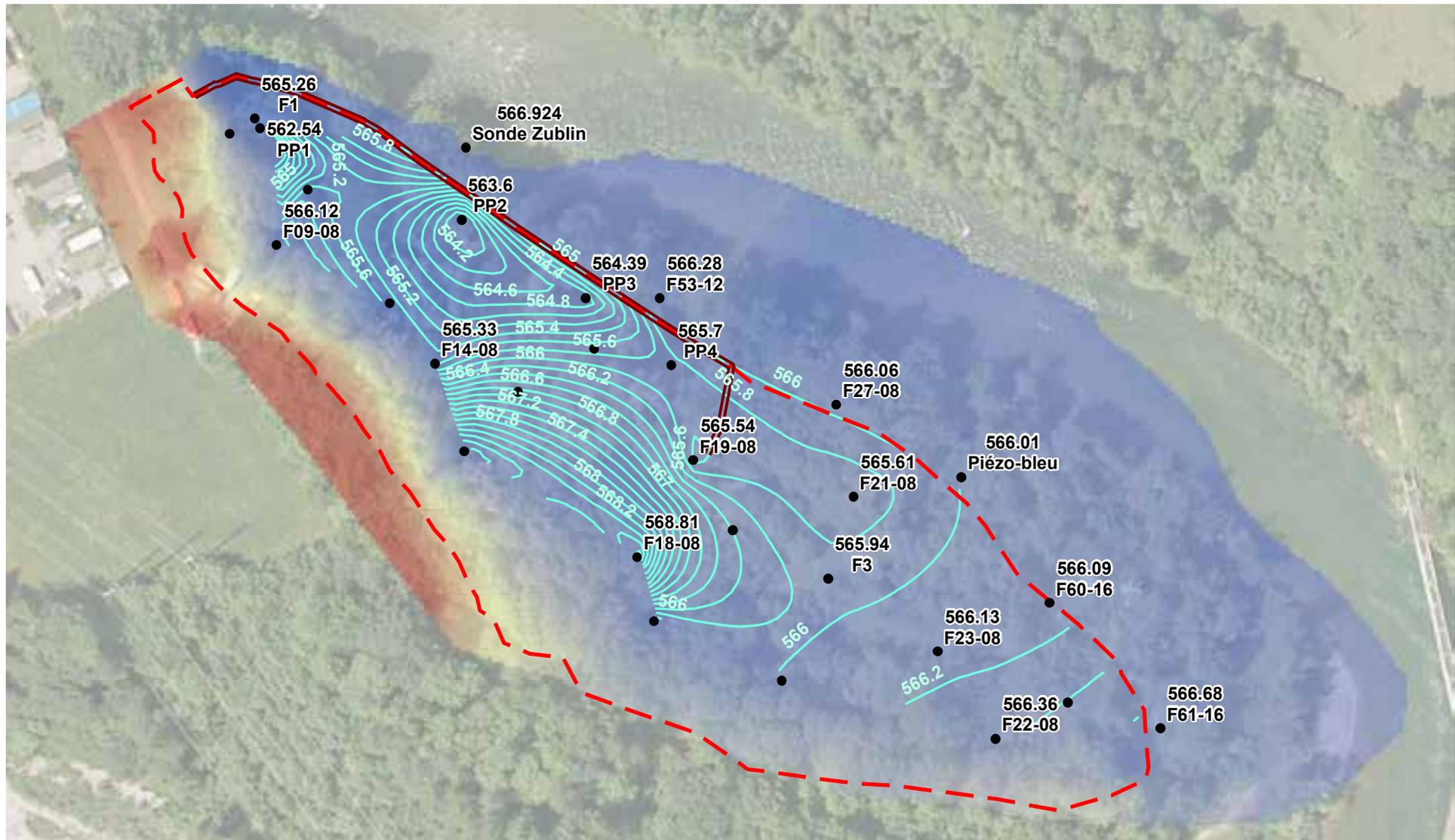
Chantemerle 37 - Granges-Paccot  
CP 384 - 1701 Fribourg  
Tél. 026 460 74 74  
Fax. 026 460 74 79  
fribourg@csd.ch  
www.csd.ch

Dessin FRLTL	N° mandat FR2706.600
Date 09.02.2017	Echelle 1:1'500
Format A4	Annexe -

## Légende

- Relevés manuels [m.s.m.]
  - Isopièzes
  - ▬ Palplanches
  - - - Limite de la décharge
- Toit de la molasse**  
m.s.m
- Elevée : 590
  - Faible : 561





## Décharge la Pila - Etudes complémentaires

Carte piézométrique du 14.09.2016 à 14:10

# CSDINGENIEURS+

Environnement  
Géologie et géotechnique  
Infrastructures et bâtiments  
Déchets et dépollution  
Energie et eau

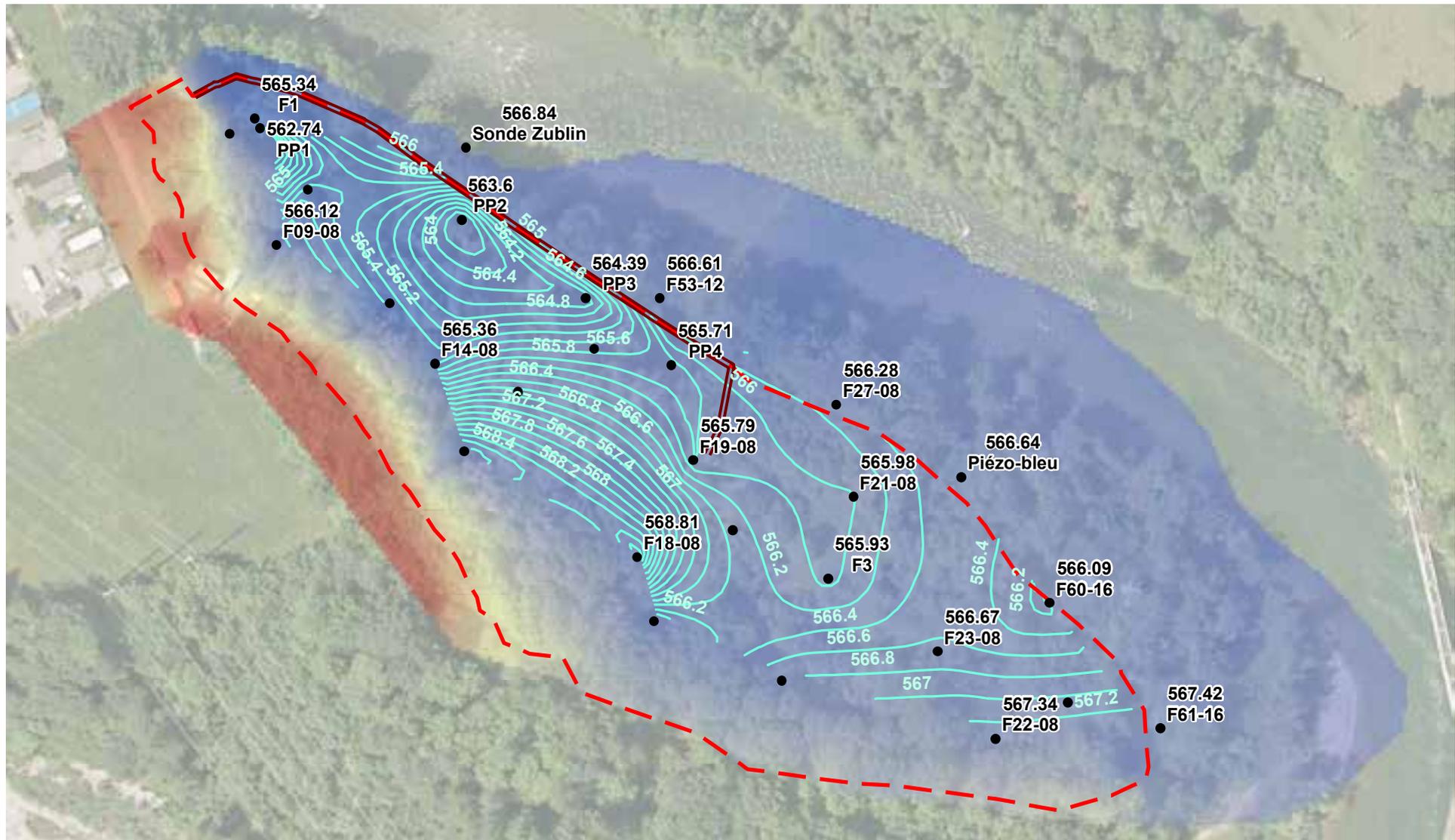
Chantemerle 37 - Granges-Paccot  
CP 384 - 1701 Fribourg  
Tél. 026 460 74 74  
Fax. 026 460 74 79  
fribourg@csd.ch  
www.csd.ch

Dessin FRLTL	N° mandat FR2706.600
Date 09.02.2017	Echelle 1:1'500
Format A4	Annexe -

## Légende

- Relevés manuels [m.s.m.]
  - Isopièzes
  - == Palplanches
  - - - Limite de la décharge
- Toit de la molasse**  
m.s.m
- Elevée : 590  
— Faible : 561





## Décharge la Pila - Etudes complémentaires

Carte piézométrique du 14.09.2016 à 17:30

# CSDINGENIEURS+

Environnement  
Géologie et géotechnique  
Infrastructures et bâtiments  
Déchets et dépollution  
Energie et eau

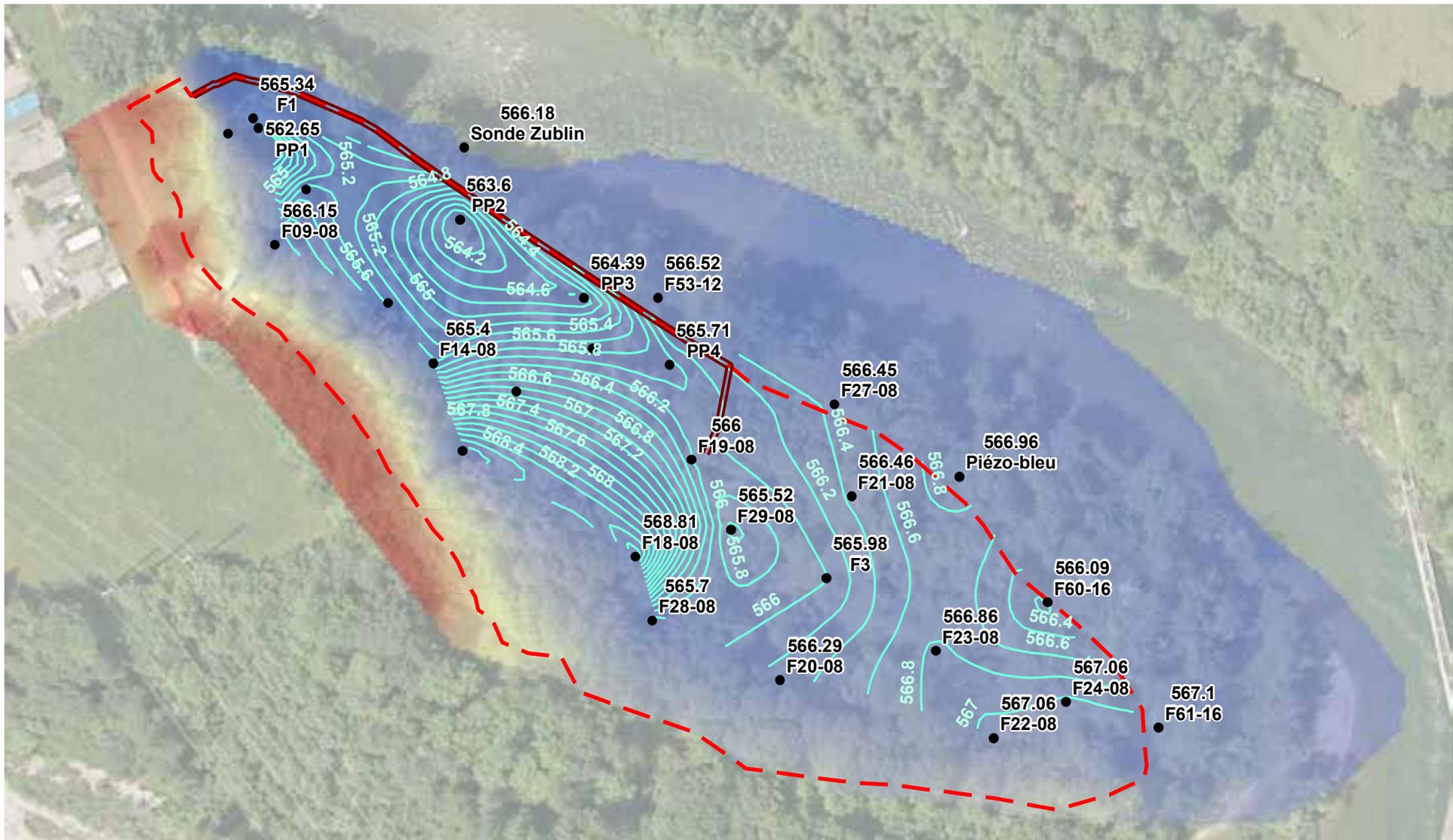
Chantemerle 37 - Granges-Paccot  
CP 384 - 1701 Fribourg  
Tél. 026 460 74 74  
Fax. 026 460 74 79  
fribourg@csd.ch  
www.csd.ch

Dessin FRLTL	N° mandat FR2706.600
Date 09.02.2017	Echelle 1:1'500
Format A4	Annexe -

## Légende

- Relevés manuels [m.s.m.]
  - Isopièzes
  - == Palplanches
  - - - Limite de la décharge
- Toit de la molasse**  
m.s.m
- Elevée : 590
- Faible : 561





## Décharge la Pila - Etudes complémentaires

Carte piézométrique du 14.09.2016 à 22:45

# CSDINGENIEURS+

Environnement  
Géologie et géotechnique  
Infrastructures et bâtiments  
Déchets et dépollution  
Energie et eau

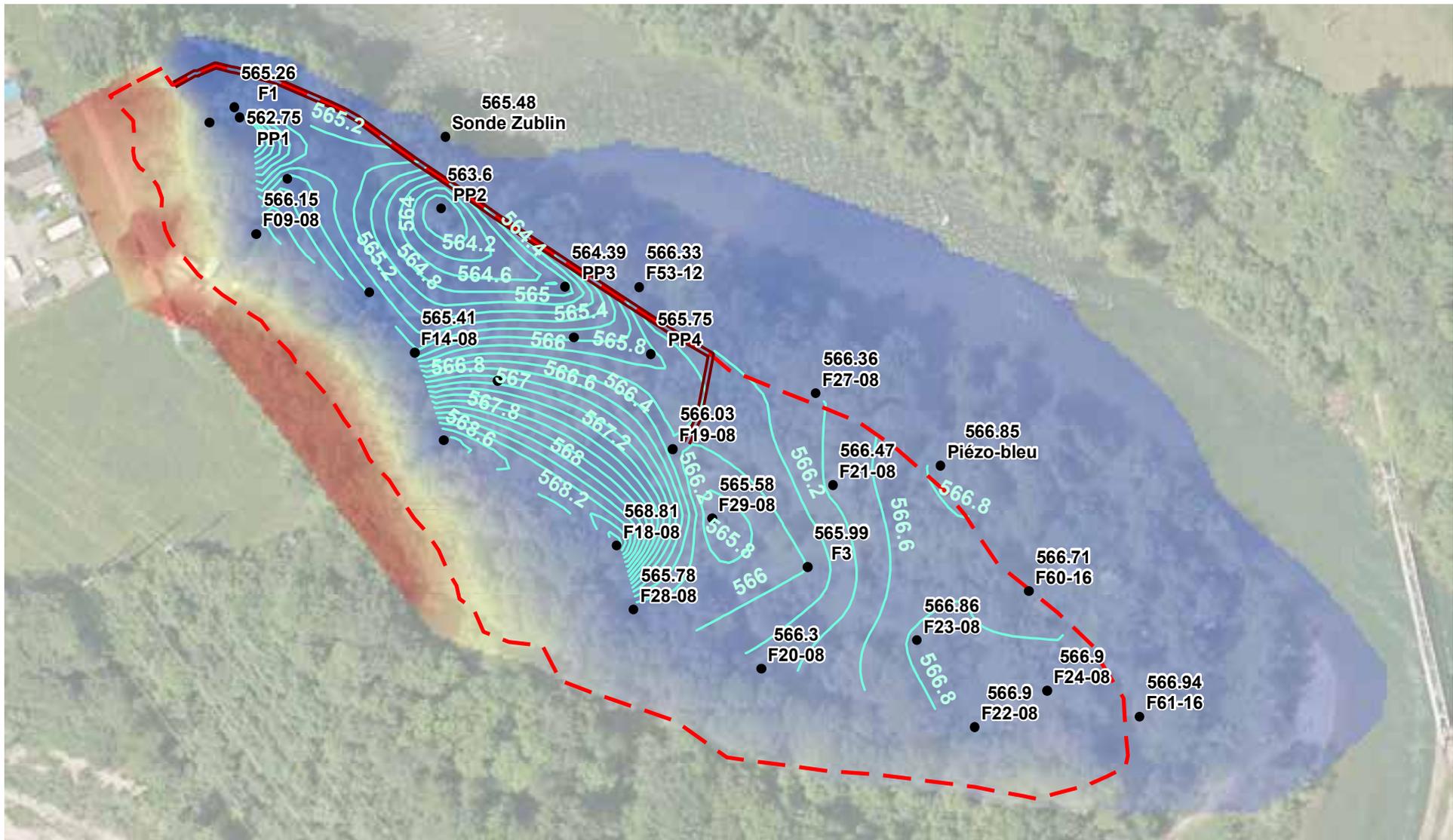
Chantemerle 37 - Granges-Paccot  
CP 384 - 1701 Fribourg  
Tél. 026 460 74 74  
Fax. 026 460 74 79  
fribourg@csd.ch  
www.csd.ch

Dessin FRLTL	N° mandat FR2706.600
Date 09.02.2017	Echelle 1:1'500
Format A4	Annexe -

## Légende

- Relevés manuels [m.s.m.]
  - Isopièzes
  - ▬▬▬ Palplanches
  - - - Limite de la décharge
- Toit de la molasse**  
m.s.m
- Elevée : 590
- Faible : 561





## Décharge la Pila - Etudes complémentaires

Carte piézométrique du 15.09.2016 à 01:15

# CSDINGENIEURS+

Environnement  
Géologie et géotechnique  
Infrastructures et bâtiments  
Déchets et dépollution  
Energie et eau

Chantemerle 37 - Granges-Paccot  
CP 384 - 1701 Fribourg  
Tél. 026 460 74 74  
Fax. 026 460 74 79  
fribourg@csd.ch  
www.csd.ch

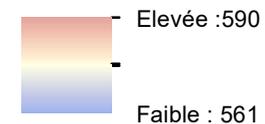
Dessin FRLTL	N° mandat FR2706.600
Date 09.02.2017	Echelle 1:1'500
Format A4	Annexe -

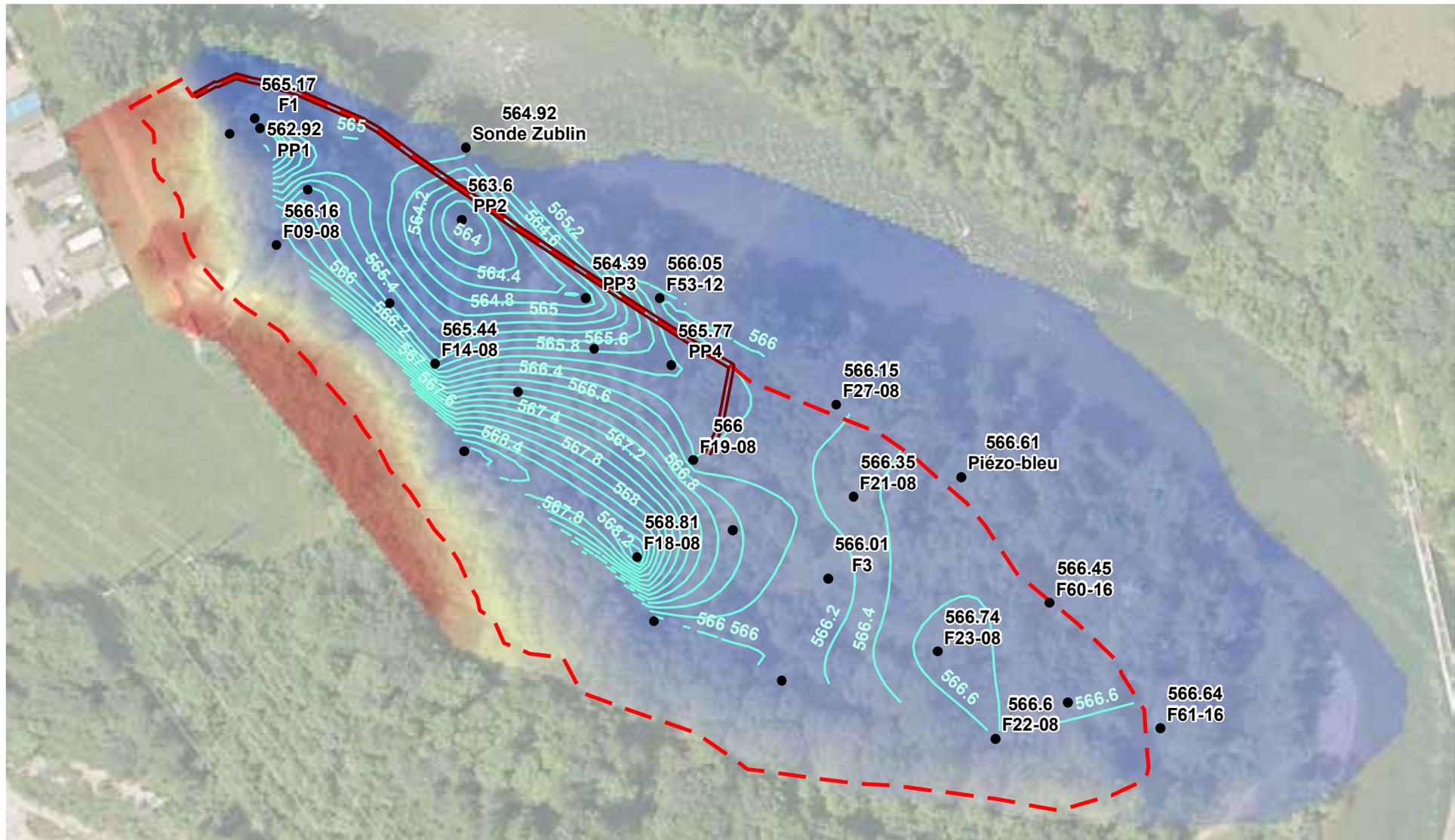
## Légende

- Relevés manuels crue [m.s.m.]
- ▬▬▬ Palplanches
- ▭▭▭ Limite de la décharge
- p\_Isopièzes

Toit de la molasse

m.s.m





## Décharge la Pila - Etudes complémentaires

Carte piézométrique du 15.09.2016 à 07:00

# CSDINGENIEURS+

Environnement  
Géologie et géotechnique  
Infrastructures et bâtiments  
Déchets et dépollution  
Energie et eau

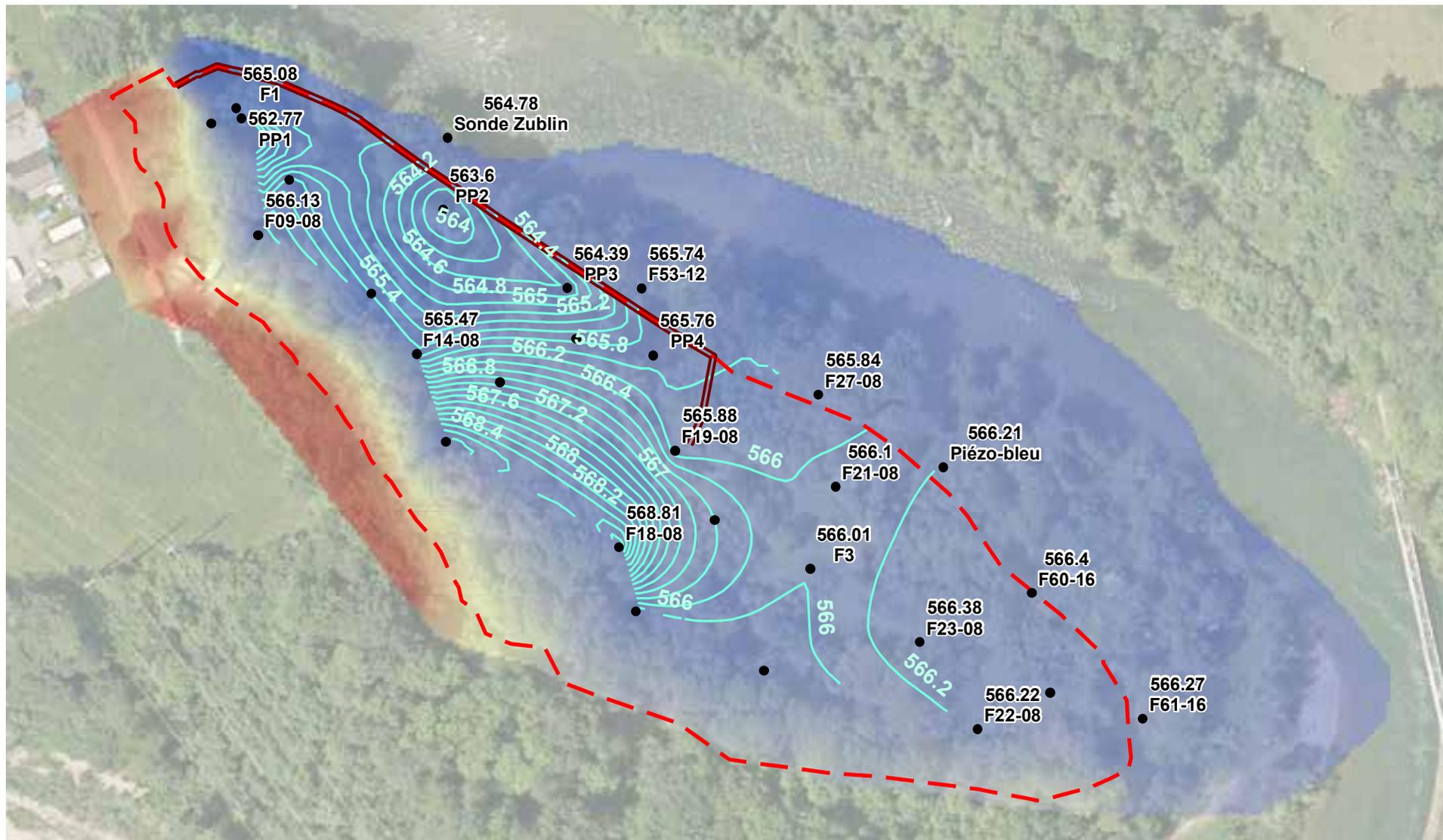
Chantemerle 37 - Granges-Paccot  
CP 384 - 1701 Fribourg  
Tél. 026 460 74 74  
Fax. 026 460 74 79  
fribourg@csd.ch  
www.csd.ch

Dessin FRLTL	N° mandat FR2706.600
Date 09.02.2017	Echelle 1:1'500
Format A4	Annexe -

## Légende

- Relevés manuels [m.s.m.]
  - Isopièzes
  - ▬ Palplanches
  - - - Limite de la décharge
- Toit de la molasse**  
m.s.m
- Elevée : 590
- Faible : 561





## Décharge la Pila - Etudes complémentaires

Carte piézométrique du 15.09.2016 à 23:00

# CSDINGENIEURS+

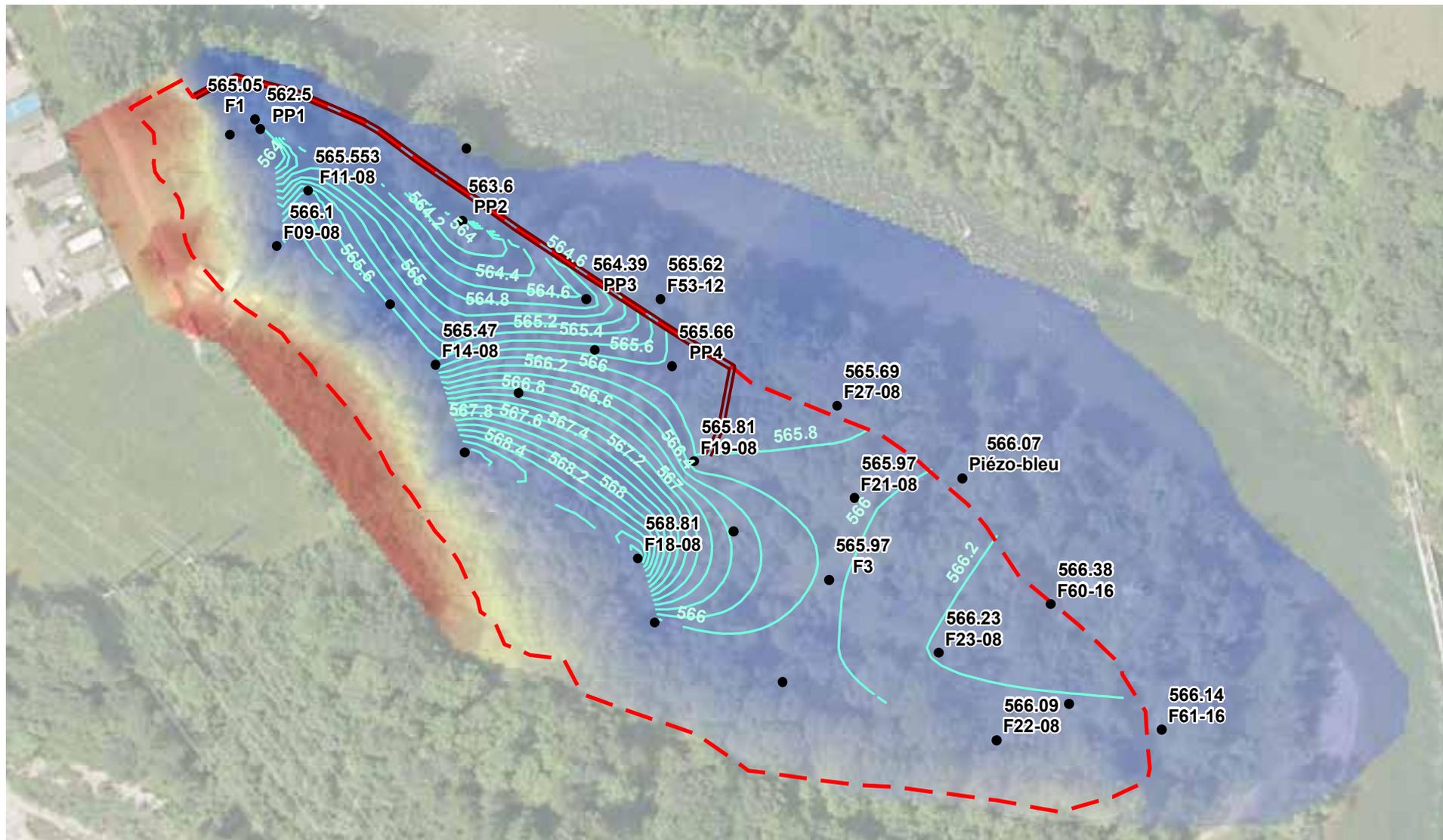
Environnement  
Géologie et géotechnique  
Infrastructures et bâtiments  
Déchets et dépollution  
Energie et eau

Chantemerle 37 - Granges-Paccot  
CP 384 - 1701 Fribourg  
Tél. 026 460 74 74  
Fax. 026 460 74 79  
fribourg@csd.ch  
www.csd.ch

Dessin FRLTL	N° mandat FR2706.600
Date 09.02.2017	Echelle 1:1'500
Format A4	Annexe -

## Légende

- Relevés manuels crue [m.s.m.]
  - ▬▬▬ Palplanches
  - ▭▭▭ Limite de la décharge
  - r\_ Isopièzes
- Toit de la molasse**  
m.s.m
- Elevée : 590  
Faible : 561
- 0 25 50 Mètres



## Décharge la Pila - Etudes complémentaires

Carte piézométrique du 16.09.2016 à 16:00

# CSDINGENIEURS+

Environnement  
Géologie et géotechnique  
Infrastructures et bâtiments  
Déchets et dépollution  
Energie et eau

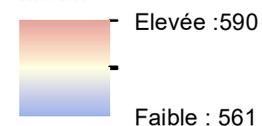
Chantemerle 37 - Granges-Paccot  
CP 384 - 1701 Fribourg  
Tél. 026 460 74 74  
Fax. 026 460 74 79  
fribourg@csd.ch  
www.csd.ch

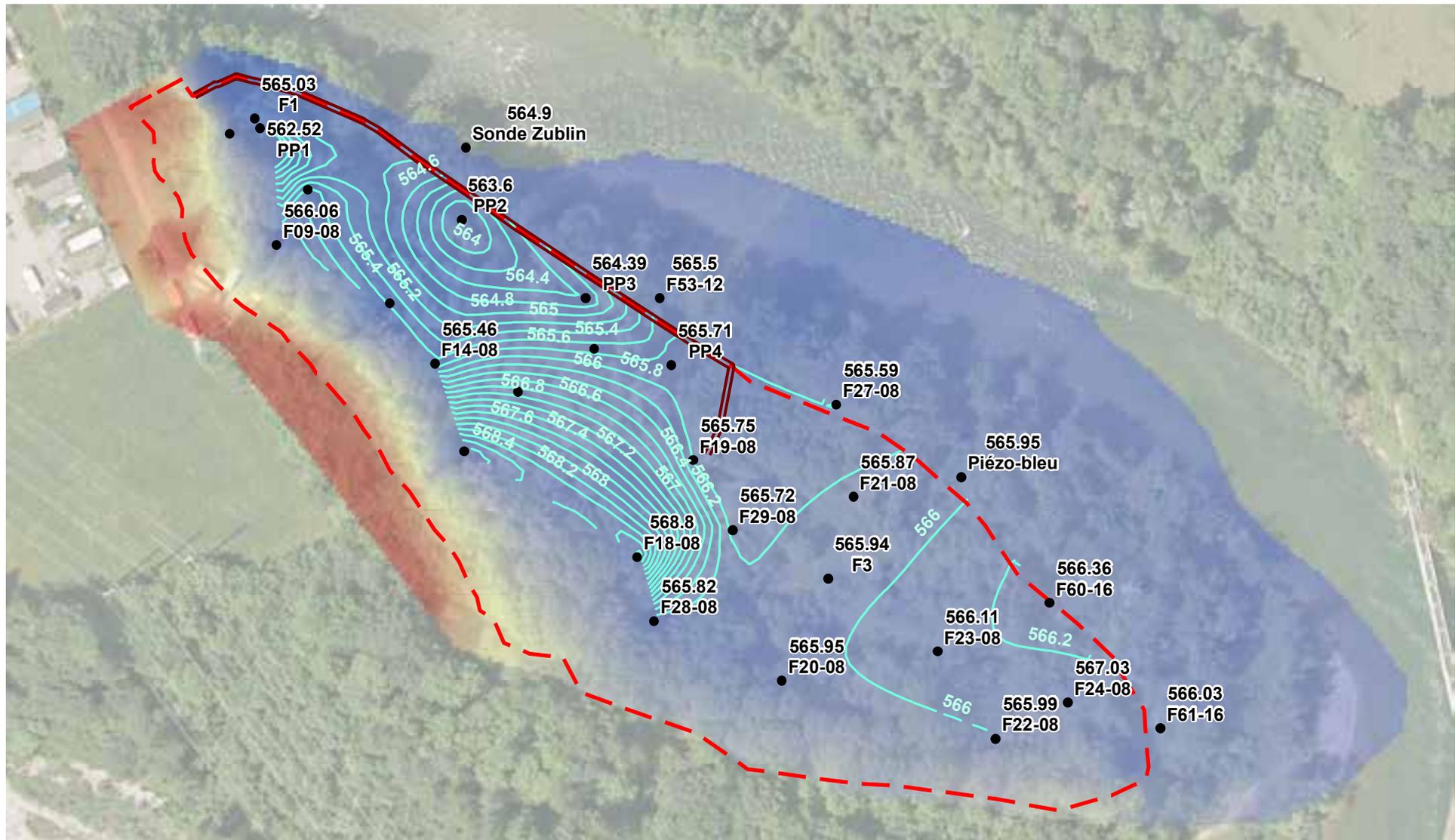
Dessin FRLTL	N° mandat FR2706.600
Date 09.02.2017	Echelle 1:1'500
Format A4	Annexe -

## Légende

- Relevés manuels [m.s.m.]
- Isopièzes
- == Palplanches
- - - Limite de la décharge

Toit de la molasse  
m.s.m





## Décharge la Pila - Etudes complémentaires

Carte piézométrique du 17.09.2016 à 09:00

# CSDINGENIEURS+

Environnement  
Géologie et géotechnique  
Infrastructures et bâtiments  
Déchets et dépollution  
Energie et eau

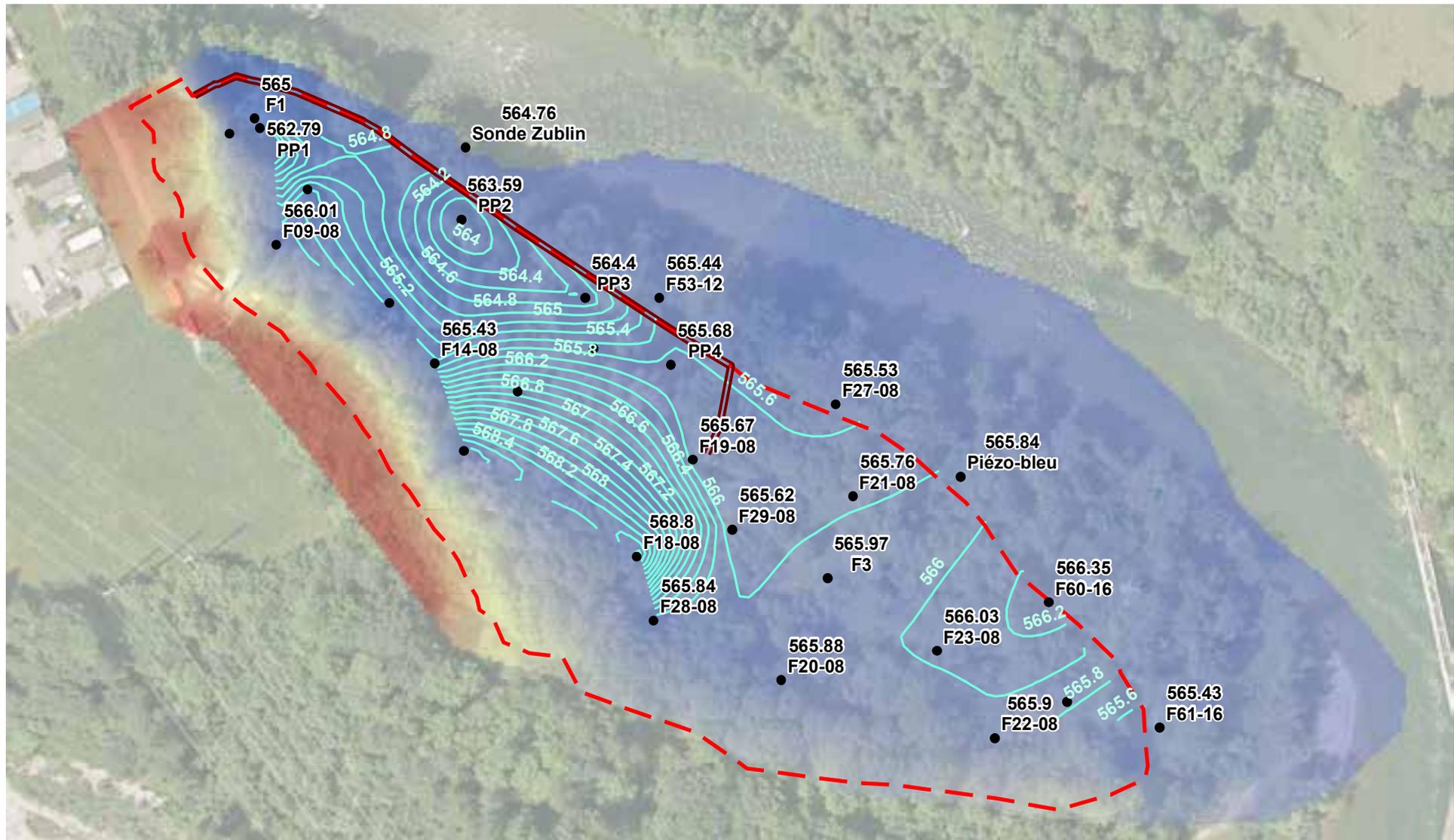
Chantemerle 37 - Granges-Paccot  
CP 384 - 1701 Fribourg  
Tél. 026 460 74 74  
Fax. 026 460 74 79  
fribourg@csd.ch  
www.csd.ch

Dessin FRLTL	N° mandat FR2706.600
Date 09.02.2017	Echelle 1:1'500
Format A4	Annexe -

## Légende

- Relevés manuels [m.s.m.]
  - Isopièzes
  - == Palplanches
  - - - Limite de la décharge
- Toit de la molasse**  
m.s.m
- Elevée : 590
  - Faible : 561





## Décharge la Pila - Etudes complémentaires

Carte piézométrique du 18.09.2016 à 10:00

# CSDINGENIEURS+

Environnement  
Géologie et géotechnique  
Infrastructures et bâtiments  
Déchets et dépollution  
Energie et eau

Chantemerle 37 - Granges-Paccot  
CP 384 - 1701 Fribourg  
Tél. 026 460 74 74  
Fax. 026 460 74 79  
fribourg@csd.ch  
www.csd.ch

Dessin FRLTL	N° mandat FR2706.600
Date 09.02.2017	Echelle 1:1'500
Format A4	Annexe -

## Légende

- Relevés manuels [m.s.m.]
  - Isopièzes
  - == Palplanches
  - - - Limite de la décharge
- Toit de la molasse**  
m.s.m
- Elevée : 590  
— Faible : 561





**ANNEXE E    ESSAIS DE DILUTION**

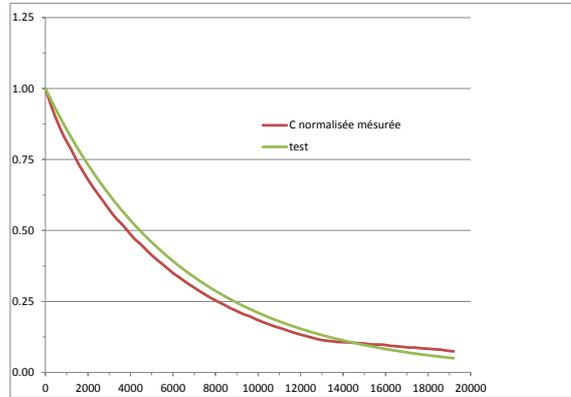


F23-08

#	Date	heure	temps (se Events	Concentration sulfurho damine B [ppb]	C normali test	Mesures manuelles
1	19.07.2016	11:20:01	phase test	0.3		
2	19.07.2016	11:25:01		0.28		
3	19.07.2016	11:30:01		0.25		
4	19.07.2016	11:35:01		0.5		
5	19.07.2016	11:40:01		0.33		
6	19.07.2016	11:45:01		0.17		
7	19.07.2016	11:50:01		0		
8	19.07.2016	11:55:01		0.43		
9	19.07.2016	12:00:00		0		
10	19.07.2016	12:05:01	0 injection €	0		
11	19.07.2016	12:10:01	300 Mélange €	839.3		805 à 12h09
12	19.07.2016	12:15:00	600	594.25	1.00	571 à 12h14
13	19.07.2016	12:20:00	900	554.91	0.93	0.95
14	19.07.2016	12:25:00	1200	521.57	0.88	0.91 534 à 12h22
15	19.07.2016	12:30:01	1500	492.66	0.83	0.87
16	19.07.2016	12:35:00	1800	469.54	0.79	0.83
17	19.07.2016	12:40:01	2100	443.21	0.74	0.79
18	19.07.2016	12:45:01	2400	420.77	0.70	0.76
19	19.07.2016	12:50:01	2700	399.62	0.67	0.72
20	19.07.2016	12:55:01	3000	380.56	0.64	0.69
21	19.07.2016	13:00:01	3300	362.77	0.61	0.66
22	19.07.2016	13:05:01	3600	344.22	0.57	0.63
23	19.07.2016	13:10:01	3900	327.46	0.54	0.60
24	19.07.2016	13:15:01	4200	314.02	0.52	0.57
25	19.07.2016	13:20:01	4500	298.59	0.50	0.54
26	19.07.2016	13:25:01	4800	283.47	0.47	0.52
27	19.07.2016	13:30:01	5100	271.96	0.45	0.50
28	19.07.2016	13:35:01	5400	258.65	0.43	0.47
29	19.07.2016	13:40:01	5700	246.22	0.41	0.45
30	19.07.2016	13:45:01	6000	235.3	0.39	0.43
31	19.07.2016	13:50:01	6300	224.49	0.37	0.41
32	19.07.2016	13:55:01	6600	213.17	0.35	0.39
33	19.07.2016	14:00:01	6900	204.26	0.33	0.37
34	19.07.2016	14:05:01	7200	194.63	0.32	0.36
35	19.07.2016	14:10:01	7500	186.01	0.30	0.34
36	19.07.2016	14:15:01	7800	177.41	0.29	0.33
37	19.07.2016	14:20:01	8100	169.23	0.28	0.31
38	19.07.2016	14:25:01	8400	161.37	0.26	0.30
39	19.07.2016	14:30:01	8700	154.43	0.25	0.28
40	19.07.2016	14:35:01	9000	147.87	0.24	0.27
41	19.07.2016	14:40:01	9300	140.75	0.23	0.26
42	19.07.2016	14:45:01	9600	134.86	0.22	0.25
43	19.07.2016	14:50:01	9900	128.49	0.21	0.23
44	19.07.2016	14:55:01	10200	124.1	0.20	0.22
45	19.07.2016	15:00:01	10500	117.87	0.19	0.21
46	19.07.2016	15:05:01	10800	112.44	0.18	0.20
47	19.07.2016	15:10:01	11100	107.63	0.17	0.19
48	19.07.2016	15:15:01	11400	102.7	0.16	0.19
49	19.07.2016	15:20:01	11700	98.91	0.16	0.18
50	19.07.2016	15:25:01	12000	94.3	0.15	0.17
51	19.07.2016	15:30:01	12300	89.98	0.14	0.16
52	19.07.2016	15:35:01	12600	86.1	0.13	0.15
53	19.07.2016	15:40:01	12900	82.66	0.13	0.15
54	19.07.2016	15:45:01	13200	79.04	0.12	0.14
55	19.07.2016	15:50:01	13500	75.71	0.12	0.13
56	19.07.2016	15:55:01	13800	73.7	0.11	0.13
57	19.07.2016	16:00:01	14100	72.21	0.11	0.12
58	19.07.2016	16:05:01	14400	70.81	0.11	0.12
59	19.07.2016	16:10:01	14700	70.37	0.11	0.11
60	19.07.2016	16:15:01	15000	69.54	0.10	0.11
61	19.07.2016	16:20:01	15300	68.41	0.10	0.10 70 à 12h22
62	19.07.2016	16:25:01	15600	67.73	0.10	0.10
63	19.07.2016	16:30:01	15900	65.83	0.10	0.09 67 à 16h30
64	19.07.2016	16:35:01	16200	65.57	0.10	0.09
65	19.07.2016	16:40:01	16500	65.15	0.10	0.08
66	19.07.2016	16:45:01	16800	63.18	0.09	0.08
67	19.07.2016	16:50:01	17100	62.06	0.09	0.08 63 à 16h50
68	19.07.2016	16:55:01	17400	60.9	0.09	0.07
69	19.07.2016	17:00:01	17700	59.36	0.09	0.07
70	19.07.2016	17:05:01	18000	59.22	0.09	0.07
71	19.07.2016	17:10:01	18300	57.66	0.08	0.06
72	19.07.2016	17:15:01	18600	56.99	0.08	0.06 58 à 17h15
73	19.07.2016	17:20:01	18900	55.77	0.08	0.06
74	19.07.2016	17:25:01	19200	54.97	0.08	0.05
75	19.07.2016	17:30:01	19500	52.92	0.08	0.05
76	19.07.2016	17:35:01	19800 STOP mes	51.49	0.07	0.05

C de base	8
vitesse de	7.00E-06
vitesse de	0.60
rayon du	0.05715

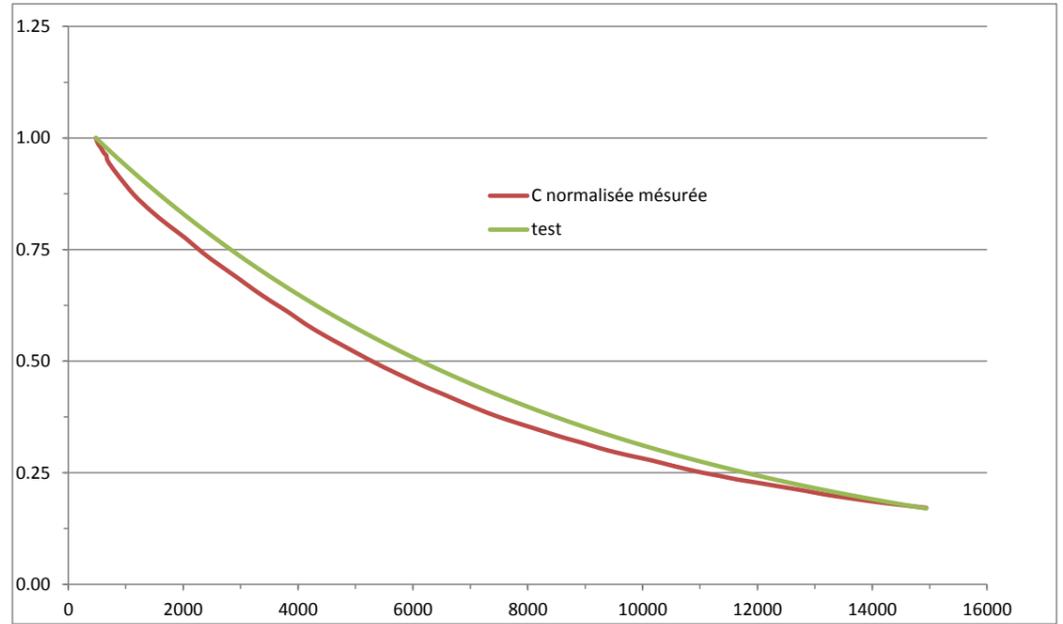
AJUSTER LA COURBE "TEST" avec le petit q de Darcy



#	Date	heure	temps (sec)	Events	Concentration sulfurhodamine B [ppb]	C normalisé série mesurée	test	Mesures manuelles
1	18.07.2016	07:50:40		phase te	1099			
2	18.07.2016	07:50:50			1101			
3	18.07.2016	07:51:00			1102			
4	18.07.2016	07:55:00			1112			
5	18.07.2016	08:01:00			823			
41	18.07.2016	10:30:01			0			
42	18.07.2016	10:30:30			0			
43	18.07.2016	10:31:00			0			
44	18.07.2016	10:31:30			0			
45	18.07.2016	10:32:00			0			
46	18.07.2016	10:32:30			0			
47	18.07.2016	10:33:00			0			
48	18.07.2016	10:33:30			0			
49	18.07.2016	10:34:00			0			
50	18.07.2016	10:34:30			0			
51	18.07.2016	10:35:00			0			
52	18.07.2016	10:35:30			0			
53	18.07.2016	10:36:00		0 injectior	0			
54	18.07.2016	10:36:30	30		0			
55	18.07.2016	10:37:00	60		0			
56	18.07.2016	10:37:30	90		0			
57	18.07.2016	10:38:00	120	fin inject	0			
58	18.07.2016	10:38:30	150		295	0.48		
59	18.07.2016	10:39:00	180		624	1.01		
60	18.07.2016	10:39:30	210		538	0.87		
61	18.07.2016	10:40:00	240		667	1.07		
62	18.07.2016	10:40:30	270		804	1.30		
63	18.07.2016	10:41:00	300		606	0.98		
64	18.07.2016	10:41:30	330		630	1.01		
65	18.07.2016	10:42:00	360		659	1.06		
66	18.07.2016	10:42:30	390		638	1.03		
67	18.07.2016	10:43:00	420		626	1.01		
68	18.07.2016	10:43:30	450		618	1.00		
69	18.07.2016	10:44:00	480	PIC hom	621	1.00	1.00	
70	18.07.2016	10:44:30	510		614	0.99	1.00	
71	18.07.2016	10:45:00	540		610	0.98	0.99	
72	18.07.2016	10:45:30	570		607	0.98	0.99	
73	18.07.2016	10:46:00	600		603	0.97	0.99	
74	18.07.2016	10:46:30	630		599	0.96	0.98	
75	18.07.2016	10:47:00	660	change	596	0.96	0.98	
76	18.07.2016	10:47:30	690		588	0.95	0.97	577 à 10h47
77	18.07.2016	10:50:00	840	change	571	0.92	0.96	
78	18.07.2016	10:55:00	1140		542	0.87	0.92	
79	18.07.2016	11:00:00	1440		519	0.84	0.89	
80	18.07.2016	11:05:00	1740		500	0.80	0.86	
81	18.07.2016	11:10:00	2040		481	0.78	0.83	
82	18.07.2016	11:15:00	2340		461	0.74	0.80	
83	18.07.2016	11:20:00	2640		443	0.71	0.77	
84	18.07.2016	11:25:00	2940		427	0.69	0.74	
85	18.07.2016	11:30:00	3240		409	0.66	0.71	
86	18.07.2016	11:35:00	3540		393	0.63	0.69	398 à 11h32
87	18.07.2016	11:40:00	3840		378	0.61	0.66	
88	18.07.2016	11:45:00	4140		362	0.58	0.64	369 à 11h43
89	18.07.2016	11:50:00	4440		347	0.56	0.62	
90	18.07.2016	11:55:00	4740		334	0.54	0.59	
91	18.07.2016	12:00:00	5040		321	0.52	0.57	
92	18.07.2016	12:05:00	5340		308	0.50	0.55	
93	18.07.2016	12:10:00	5640		296	0.48	0.53	
94	18.07.2016	12:15:00	5940		285	0.46	0.51	
95	18.07.2016	12:20:00	6240		274	0.44	0.49	
96	18.07.2016	12:25:00	6540		264	0.43	0.48	
97	18.07.2016	12:30:00	6840		254	0.41	0.46	
98	18.07.2016	12:35:00	7140		244	0.39	0.44	
99	18.07.2016	12:40:00	7440		234	0.38	0.43	
100	18.07.2016	12:45:00	7740		226	0.36	0.41	
101	18.07.2016	12:50:00	8040		219	0.35	0.40	
102	18.07.2016	12:55:00	8340		211	0.34	0.38	
103	18.07.2016	13:00:00	8640		204	0.33	0.37	
104	18.07.2016	13:05:01	8940		197	0.32	0.35	
105	18.07.2016	13:10:01	9240		190	0.31	0.34	
106	18.07.2016	13:15:01	9540		183	0.30	0.33	
107	18.07.2016	13:20:01	9840		178	0.29	0.32	
108	18.07.2016	13:25:01	10140		173	0.28	0.31	
109	18.07.2016	13:30:01	10440		167	0.27	0.30	
110	18.07.2016	13:35:01	10740		161	0.26	0.28	
111	18.07.2016	13:40:01	11040		155	0.25	0.27	
112	18.07.2016	13:45:01	11340		151	0.24	0.26	
113	18.07.2016	13:50:01	11640		146	0.24	0.25	
114	18.07.2016	13:55:01	11940		142	0.23	0.25	
115	18.07.2016	14:00:01	12240		138	0.22	0.24	
116	18.07.2016	14:05:01	12540		134	0.22	0.23	
117	18.07.2016	14:10:01	12840		130	0.21	0.22	
118	18.07.2016	14:15:01	13140		125	0.20	0.21	
119	18.07.2016	14:20:01	13440		122	0.20	0.20	
120	18.07.2016	14:25:01	13740		118	0.19	0.20	
121	18.07.2016	14:30:01	14040		115	0.19	0.19	116 à 14h30
122	18.07.2016	14:35:01	14340	STOP pu	112	0.18	0.18	

C de base [ppb]	0
vitesse de Darcy [m/s]	5.50E-06
vitesse de Darcy [m/j]	0.48
rayon du puit [m]	0.05715

AJUSTER LA COURBE "TEST" avec le petit q de Darcy



**ANNEXE F    RAPPORT E-DRIC [2]**



***PETITE SARINE***  
***CRUE ARTIFICIELLE DE 2016***

-

***MODELISATION - HEC-RAS***

-

***PREVISION DES LIGNES D'EAU A LA***

***DECHARGE DE LA PILA***



e-dric.ch  
eau énergie environnement  
Ch. du Rionzi 54  
CH-1052 LE MONT SUR LAUSANNE

[www.e-dric.ch](http://www.e-dric.ch)  
[info@e-dric.ch](mailto:info@e-dric.ch)  
Tél 021 784 33 13  
Fax 021 784 33 22  
Portable 078 679 77 88

## TABLE DES MATIERES

<b>1</b>	<b>PREAMBULE.....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>MODELISATION HYDRAULIQUE .....</b>	<b>2</b>
2.1	EXTENSION DU MODELE .....	2
2.2	GEOMETRIE .....	3
2.3	MESURES ET VERIFICATION DU CALAGE.....	4
2.4	MODIFICATION GEOMETRIQUE ET EXTENSION DU PROFIL EN RIVE DROITE .....	5
2.5	CALAGE ET ADAPTATION DE LA RUGOSITE .....	5
<b>3</b>	<b>RESULTATS.....</b>	<b>7</b>
3.1	HYDROGRAMME DE LA CRUE ARTIFICIELLE DE SEPTEMBRE 2016.....	7
3.2	SCENARIO AVEC OU SANS TURBINAGE A HAUTERIVE .....	7
3.3	LIGNE D’EAU AVEC SCENARIO DE TURBINAGE CONSTANT A 74 M <sup>3</sup> /S (CRUE DE JUILLET 2014) .....	8
3.4	LIGNE D’EAU AVEC SCENARIO DE TURBINAGE INTERROMPU .....	8
<b>4</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>10</b>

# 1 Préambule

Effets crue artificielle	Le bureau CSD Ingénieurs, ayant pour mission de suivre et d'évaluer les effets de la crue artificielle de la Petite Sarine sur la décharge de la Pila, souhaite connaître les niveaux d'eau qui seront atteints dans la rivière lors du déroulement de la crue de septembre 2016. Le bureau CSD a ainsi mandaté le bureau e-dric.ch pour réaliser les simulations hydrauliques et lui donner les prévisions des niveaux escomptés en fonction de l'hydrogramme prévu.
Niveaux d'eau Sarine	
Modèles hydrauliques existants	Plusieurs études menées par le bureau CSD sur le site de la décharge ont conduit à la modélisation hydraulique 1D et 2D du lit de la rivière. Dans le cadre de ce mandat, le modèle hydraulique 1D construit en 2008 avec le logiciel HEC-RAS 4.0 est repris et localement adapté selon la nouvelle géométrie du lit de la rivière. Il est également calé selon les hauteurs d'eau mesurées en continu depuis 2013 au droit de la décharge en aval de la centrale de Hauterive.
Simulations sur modèle 1D	Le logiciel HEC-RAS ne permet pas de tenir compte des flux transversaux non négligeables en période de hautes eaux. En raison des délais liés à ce mandat, la reprise du modèle 2D avec le logiciel Flow-2D n'est pas envisagée pour déterminer les hauteurs d'eau. Les résultats du modèle 1D sont jugés suffisants pour estimer les hauteurs d'eau moyennes de la Sarine pendant la crue.

## 2 Modélisation hydraulique

### 2.1 *Extension du modèle*

Le modèle initial comprend :

- le lit de la Sarine qui s'étend depuis l'aval de l'abbaye de Hauterive jusqu'au lac de Pérolles ;
- le petit et le grand canal de fuite de la centrale hydroélectrique de Hauterive ;
- la Gérine et la Glâne, affluents rive droite et rive gauche de la Sarine entre la centrale et la Maigrauge (cf. Figure 1).



Figure 1 : Extension du modèle 1D sur la carte nationale au 25000

## 2.2 Géométrie

Géométrie de 2006 La géométrie du lit de la rivière se base sur les profils en travers relevés par la confédération en 2006. Il se peut que la géométrie du lit ait localement été modifiée suite aux dernières crues depuis 2006. Le graphe de la Figure 2 présente le débit déversé à Rossens entre 2006 et août 2016 au pas de temps 15 minutes. A priori, 6 crues dont le débit déversé à Rossens est supérieur à 180 m<sup>3</sup>/s ont potentiellement pu localement modifier le lit de la rivière. Le débit exact au droit de la décharge doit également considérer le débit turbiné à la centrale de Hauterive.

6 crues majeures

Sonde niveau Pila A partir du 20 août 2013, les niveaux sont également mesurés à la Pila avec une fréquence de 15 minutes.

Déversements à Rossens (15min)

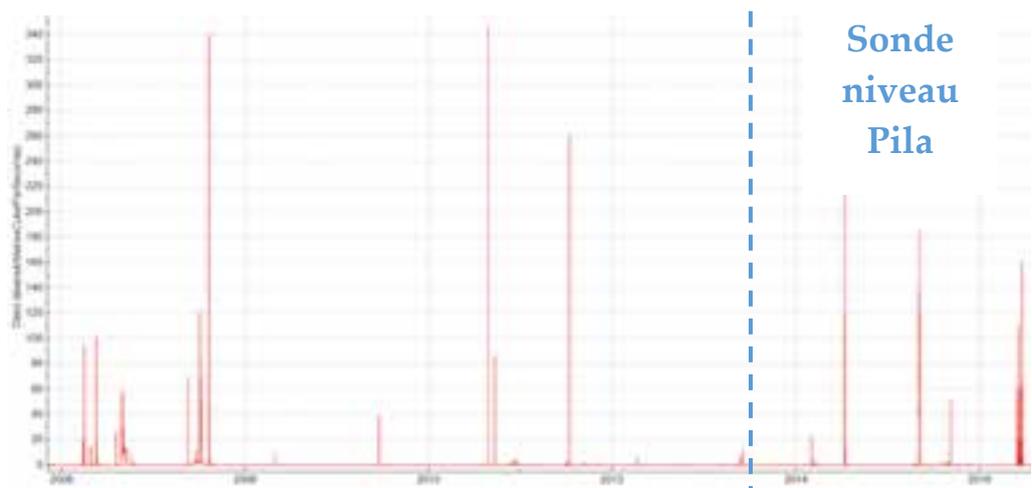


Figure 2 : Débit déversé à Rossens entre 2006 et août 2016, pas de temps 15min

Aménagements rive gauche aval Pila Des palplanches et des gabions ont été mis en place en rive gauche de la Sarine durant l'été 2012 (cf. Figure 3). La réalisation de ces aménagements modifie peu la section hydraulique disponible pour l'écoulement de la Sarine, tout du moins pour les bas débits et pour les crues inférieures à 250 m<sup>3</sup>/s.

Localisation  
aménagements



Figure 3 : Aménagements palplanche (rouge) et gabions (noir) en rive gauche de la Sarine

### 2.3 Mesures et vérification du calage

Calage initial en basses eaux

Le modèle initial est calé sur la base de bas débits mesurés entre le 15 et le 20 mai 2008. L'objectif de ce calage était de déterminer plus facilement les paramètres de rugosité du lit de la rivière à insérer ensuite dans le modèle 2D. Cet exercice n'a donc pas été réitéré dans le cadre de ce mandat.

Calage sur la crue de juillet 2014,  $Q_{devMax} = 256 \text{ m}^3/\text{s}$

selon les mesures de hauteur d'eau obtenues par la sonde disposée en aval de la centrale au droit des palplanches et disponibles depuis le 20 août 2013 (cf. Figure 3), il paraît judicieux de caler les paramètres du modèle sur la base de la crue du 13 juillet 2014 caractérisée par un débit de pointe déversé à Rossens relativement similaire à la crue artificielle projetée en septembre 2016, soit  $256 \text{ m}^3/\text{s}$ . La pointe de débit est déversée à Rossens entre 00h30 et 01h00 tandis que la hauteur d'eau maximale est enregistrée par la sonde à la Pila entre 02h30 et 02h45, soit 2h plus tard. Le débit turbiné quasi constant à la centrale est proche de  $74 \text{ m}^3/\text{s}$ , soit un débit total transitant au droit de la sonde de  $330 \text{ m}^3/\text{s}$ . La hauteur maximale enregistrée vaut  $567.45 \text{ m s.m.}$  (cf. Figure 4)

$Q_{Pila} = 330 \text{ m}^3/\text{s}$   
 $H_{max} = 567.45 \text{ m}$

Crue du 13  
juillet 2014

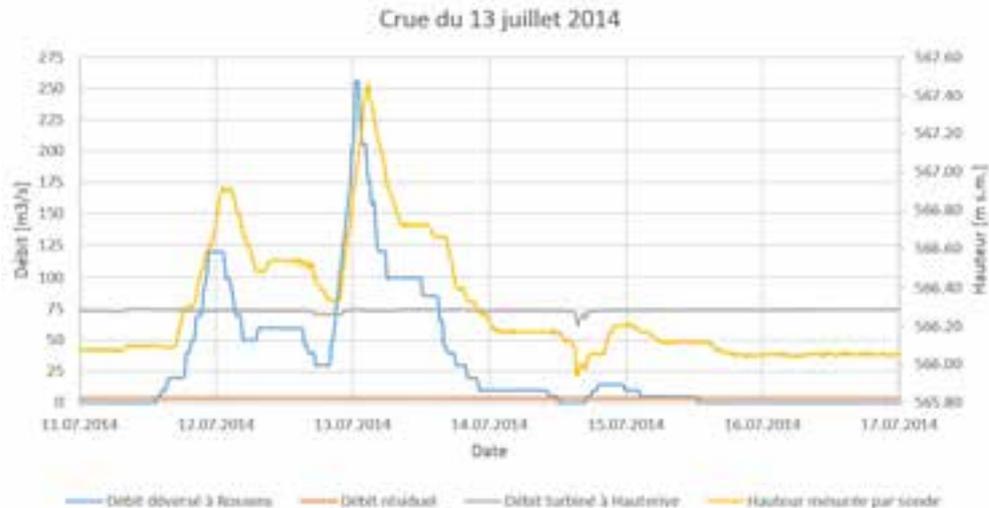


Figure 4 : Débits et hauteurs d'eau mesurés lors de la crue du 13 juillet 2014

## 2.4 Modification géométrique et extension du profil en rive droite

Hydrologie	Les premières simulations avec un débit de 256 m <sup>3</sup> /s dans la Sarine en amont ainsi que deux débits dans le petit canal de fuite de 30 m <sup>3</sup> /s et de 44 m <sup>3</sup> /s dans le plus grand (total 330 m <sup>3</sup> /s) donnent une hauteur d'eau simulée au droit de la sonde supérieure de 567.75 m s.m.. Par rapport à la hauteur d'eau mesurée de 567.45 m s.m., on constate une différence de 30 cm, soit 8% pour une hauteur d'eau de 3.60 m.
Calage initial delta = 30 cm	
Condition aval	La condition limite aval correspond au niveau du déversoir à la Maigrange, soit 553.2 m s.m.
Extension du profil en rive droite en aval de la centrale	Cette différence de niveau peut s'expliquer en partie par l'absence de la berge en rive droite dans le modèle numérique. HEC-RAS considère alors par défaut une berge verticale, ce qui tend à sous-estimer la section hydraulique pour les forts débits. Le vrai profil de cette berge a ainsi été rajouté dans le modèle à partir du MNT.
Peu d'influence des affluents	Pour la simulation de la crue de juillet 2014, les débits considérés dans la Gérine et dans la Glâne sont de respectivement 110 et 190 m <sup>3</sup> /s (débits maximisés). La confluence entre la Sarine et la Gérine se situe à environ 1 km à l'aval de l'emplacement de la sonde. La différence de hauteur d'eau simulée en considérant ou non les apports des affluents pour un débit dans la Sarine de 330 m <sup>3</sup> /s est de l'ordre de 1 à 2 cm. Cet impact est négligeable au regard de l'incertitude de la géométrie du lit de la rivière.

## 2.5 Calage et adaptation de la rugosité

Baisse pas assez significative	L'augmentation de la section hydraulique en rive droite permet de réduire la hauteur d'eau simulée de quelques centimètres pour la crue de juillet 2014 mais cette dernière reste supérieure à la hauteur mesurée par la sonde.
Rugosité initiale	Les coefficients de Strickler initialement utilisés pour considérer la rugosité du lit est de 25 m <sup>1/3</sup> /s pour le lit mineur et de 10 m <sup>1/3</sup> /s pour les berges. Ces coefficients sont utilisés respectivement pour les cours d'eau naturels présentant un lit naturel avec méandre à faible tirant d'eau et pour les zones à forte végétation.

Diminution rugosité Pour la simulation de la crue du 13 juillet 2014, il est acceptable de diminuer ce coefficient de rugosité à  $30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  pour le lit mineur et à  $20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  pour le lit majeur en rive droite. Le niveau d'eau alors simulé à l'emplacement de la sonde est de 567.48 m s.m. tandis que le niveau mesuré est de 567.45 m s.m..

Validation événement mai 2015 Afin de valider le calage pour une tranche de débit inférieur à  $255 \text{ m}^3/\text{s}$ , la crue de mai 2015 est simulée. Elle présente un débit de pointe de déversement (à pas de temps 15 min) de  $185 \text{ m}^3/\text{s}$  et un débit turbiné de  $55 \text{ m}^3/\text{s}$ , soit un débit total en aval de Hauterive de  $240 \text{ m}^3/\text{s}$ . La hauteur d'eau simulée à l'emplacement de la sonde est de 567.04 alors que la hauteur d'eau mesurée par la sonde de 566.95 m s.m. (cf. Figure 5). La différence de hauteur observée est relativement faible, soit une erreur sur la hauteur d'eau totale inférieure à 3%. Le calage du modèle est ainsi admis validé.

Crue de mai 2015

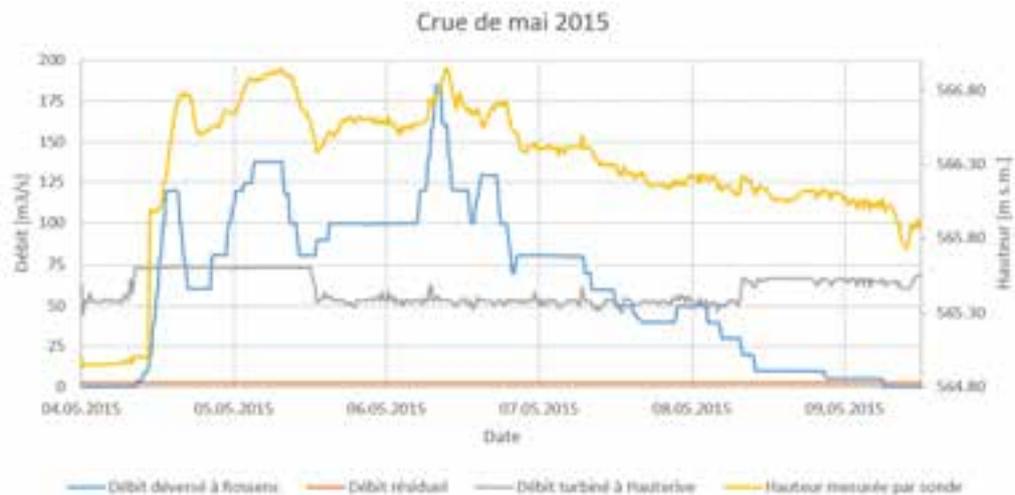


Figure 5 : Débits et hauteurs d'eau mesurés lors de la crue du 13 juillet 2014

### 3 Résultats

#### 3.1 Hydrogramme de la crue artificielle de septembre 2016

2 Plateaux  
majeurs : 255 et  
210 m<sup>3</sup>/s

La Figure 6 montre l'hydrogramme de la crue artificielle projetée en septembre 2016. Cet hydrogramme présente 2 plateaux majeurs à 255 et 210 m<sup>3</sup>/s pendant 3h puis 2h. Des paliers à 70, 130 et 170 m<sup>3</sup>/s pendant une heure sont également prévus afin d'identifier plus facilement les seuils de débit pour lesquels les sédiments sont remobilisés. Cet hydrogramme correspond au débit déversé à Rossens. Il ne comptabilise pas le débit turbiné à Hauterive qui s'additionne au débit de la Sarine au droit de la décharge de la Pila.

Hydrogramme

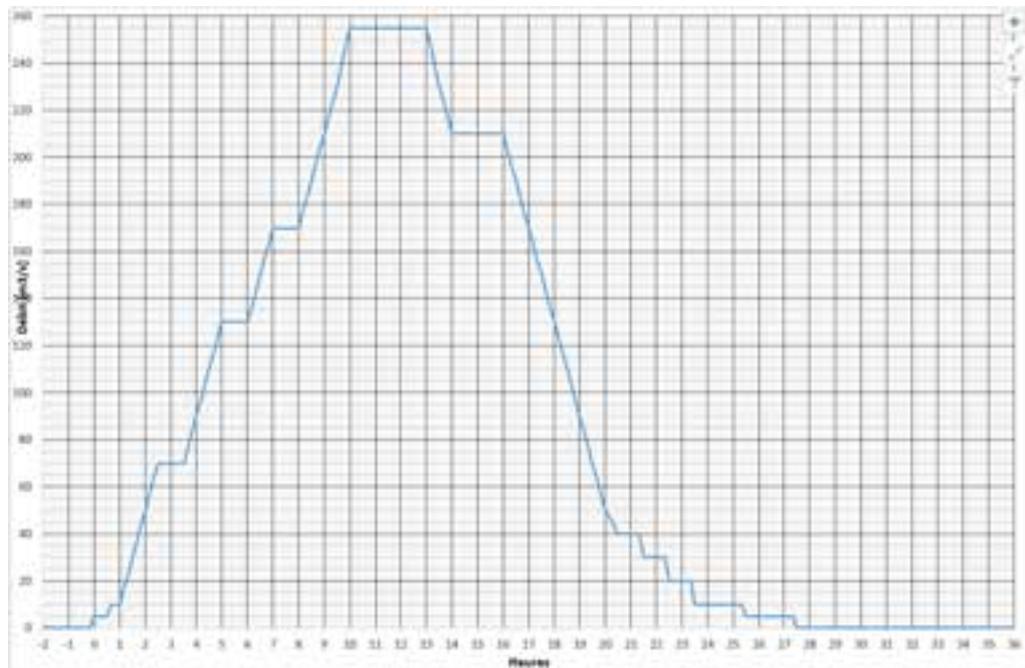


Figure 6 : Hydrogramme de la crue artificielle projetée en septembre 2016

#### 3.2 Scénario avec ou sans turbinage à Hauterive

Turbinage

Lors de la crue du 13 juillet 2014, la centrale de Hauterive a turbiné environ 75 m<sup>3</sup>/s d'eau pendant toute la période de déversement à Rossens, portant le débit total en aval de la centrale à 330 m<sup>3</sup>/s (en négligeant les apports entre le barrage de Rossens et la centrale de Hauterive). Afin de diminuer le débit et les hauteurs d'eau au droit de la décharge de la Pila lors de la crue artificielle, le turbinage à Hauterive peut être temporairement interrompu pendant toute la période de déversement ou temporairement modulé afin de ne pas dépasser un certain débit seuil associé à une certaine hauteur d'eau dans la rivière.

2 alternatives

L'impact du turbinage de Hauterive sur les hauteurs d'eau au niveau de la Pila est présenté dans les 2 paragraphes 3.3 et 3.4.

### 3.3 Ligne d'eau avec scénario de turbinage constant à 74 m<sup>3</sup>/s (crue de juillet 2014)

La Figure 7 illustre le profil en long de la ligne d'eau pour les différents paliers avec un débit de pointe déversé à 256 m<sup>3</sup>/s et un turbinage à la centrale de Hauterive de 74 m<sup>3</sup>/s.

Scénario avec turbinage

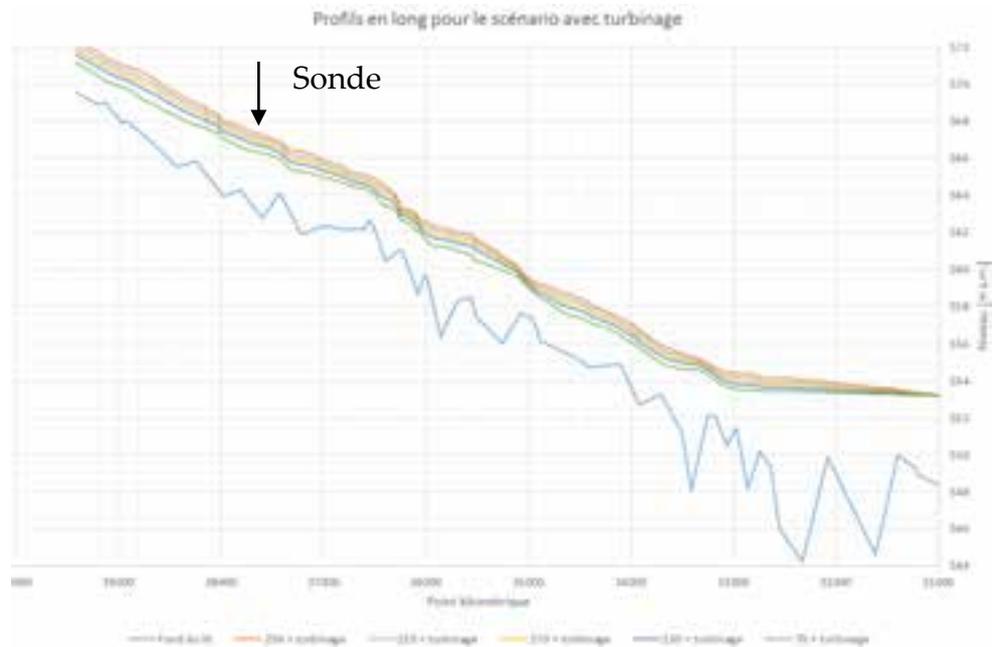


Figure 7 : Profils en long de la ligne d'eau avec scénario de turbinage

### 3.4 Ligne d'eau avec scénario de turbinage interrompu

La Figure 8 illustre le profil en long de la ligne d'eau pour les différents paliers avec un débit de pointe déversé à 256 m<sup>3</sup>/s et sans turbinage à Hauterive.

Scénario sans turbinage

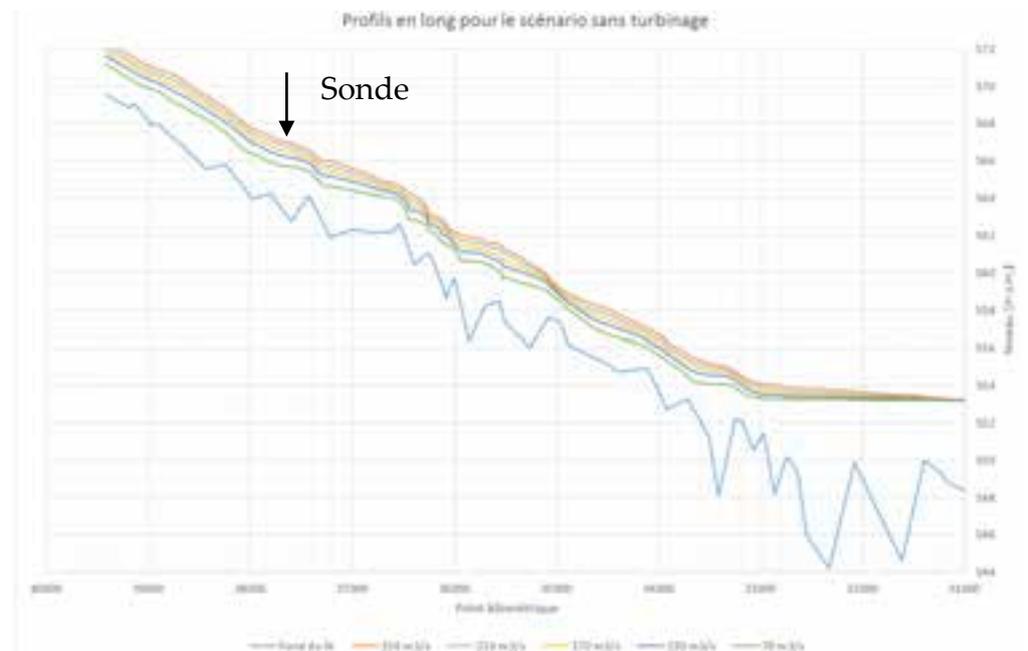


Figure 8 : Profils en long de la ligne d'eau sans turbinage

Niveaux fichier Les niveaux d'eau atteint par la Sarine aux différents profils selon les 2 scénarios simulés  
 Excel sont données dans le fichier Excel joint en annexe au rapport. Les principales sections  
 Référencement repérées pour leur distance kilométrique (mesures OFEV) sont données ci-après :

- Amont du modèle : 39'422 ;
- Restitution petit canal de fuite : 38'144.6 ;
- Restitution grand canal de fuite : 38'022.1 ;
- Sonde de mesure niveau d'eau : 37'726 ;
- Confluence avec la Gérine : 36'599 ;
- Confluence avec la Glâne : 35'560 ;
- Aval du modèle, lac de Pérolles : 30'929.

Le turbinage de Hauterive avec 74 m<sup>3</sup>/s implique les différences de niveau suivantes à la Pila (cf. Tab1))

*Tab. 1 : Niveaux d'eau simulés à la Pila pour les différents paliers et différents scénarios de turbinage*

Q [m <sup>3</sup> /s] [m <sup>3</sup> /s]	H avec turb [m s.m.]	H sans turb [m s.m.]	Différence [m]
255	567.48	567.12	0.36
210	567.26	566.88	0.38
170	567.07	566.63	0.44
130	566.85	566.31	0.54
70	566.42	565.78	0.64

## 4 Conclusion

Modèle 1D	Le modèle HEC-RAS de 2008 est repris et la géométrie adaptée de manière à déterminer la ligne d'eau de la Sarine au droit de la décharge de la Pila durant la crue artificielle de septembre 2016.
Géométrie adaptée	
Adaptation calage	La sonde mesurant le niveau d'eau en aval de la centrale permet d'adapter le calage du modèle pour les débits de crue. Le coefficient de rugosité est ainsi légèrement réduit dans le lit mineur à la valeur de $30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ . Le coefficient pour les berges reste inchangé ( $10 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ), excepté pour le lit majeur en rive droite où la géométrie du modèle a été complétée ( $20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ).
Rugosité	
Lignes d'eau calculées	Le modèle permet d'obtenir les niveaux d'eau sur l'ensemble des profils pour la crue artificielle avec un débit de pointe de déversement à Rossens de $255 \text{ m}^3/\text{s}$ . Deux scénarios sont considérés, soit un turbinage à la centrale de Hauterive de $74 \text{ m}^3/\text{s}$ (comme lors de la crue de juillet 2014), soit sans turbinage. Les différents niveaux pour les différents profils, les différents paliers de débit (70, 130, 170, 210 et $255 \text{ m}^3/\text{s}$ ) et les différents scénarios sont récapitulés dans le fichier Excel ci-joint.
Temps de parcours	Le temps de parcours de l'onde de crue entre le barrage de Rossens et la Pila sur la base des mesures est d'environ 2h.
Effet turbinage	Globalement, le turbinage induit une rehausse moyenne de 50 cm de la ligne d'eau.
Incertitudes	Il faut néanmoins considérer une certaine marge d'incertitude d'environ +/- 20cm liée à : <ul style="list-style-type: none"><li>- à la géométrie inexacte du lit (profils de 2006, interpolation entre 2 profils) ;</li><li>- à la modélisation 1D (écoulement unidirectionnelle) ;</li><li>- aux phénomènes hydrauliques mal représentés (courbes de remous associées aux 2 restitutions de la centrale dans le méandre) ;</li><li>- aux obstructions ponctuelles pouvant localement faire remonter la ligne d'eau ;</li><li>- aux erreurs de mesure (détarage de la sonde).</li></ul>

Fait au Mont-sur-Lausanne, le 15 août 2016

e-dric.ch

eau énergie environnement ingénieurs conseils

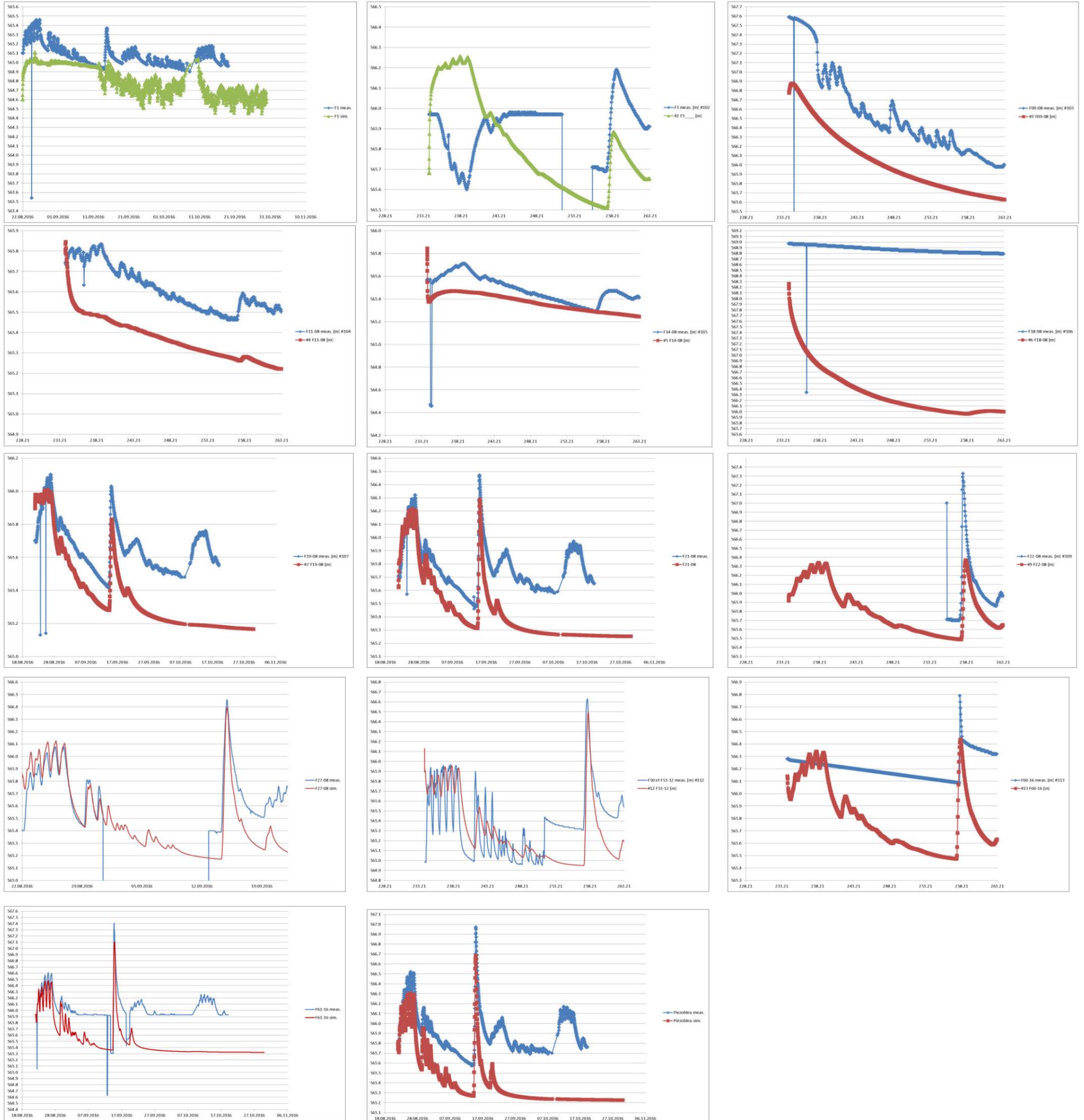
Dr Frédéric Jordan

Dr Philippe Heller



**ANNEXE G      GRAPHIQUES DE COMPARAISON ENTRE LES  
CHARGES OBSERVÉES ET MESURÉES**







**ANNEXE H    CARTES DE DISTRIBUTION DES VALEURS  
CALBRÉES**



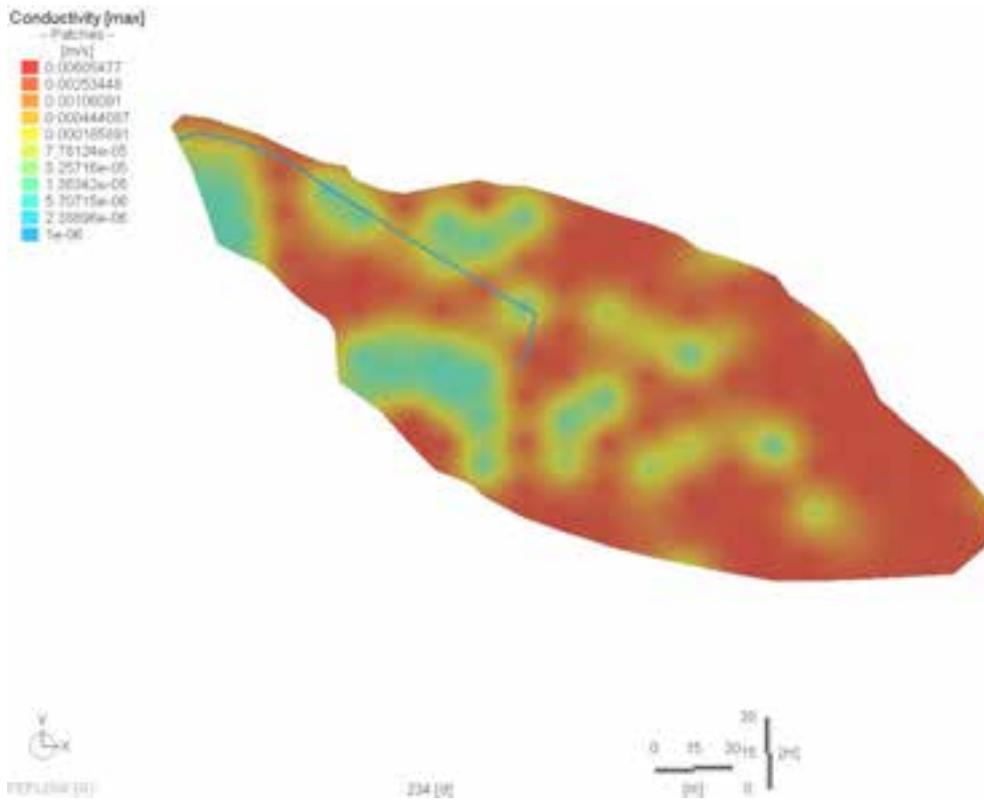


Figure 1 : *Distribution de la conductivité*

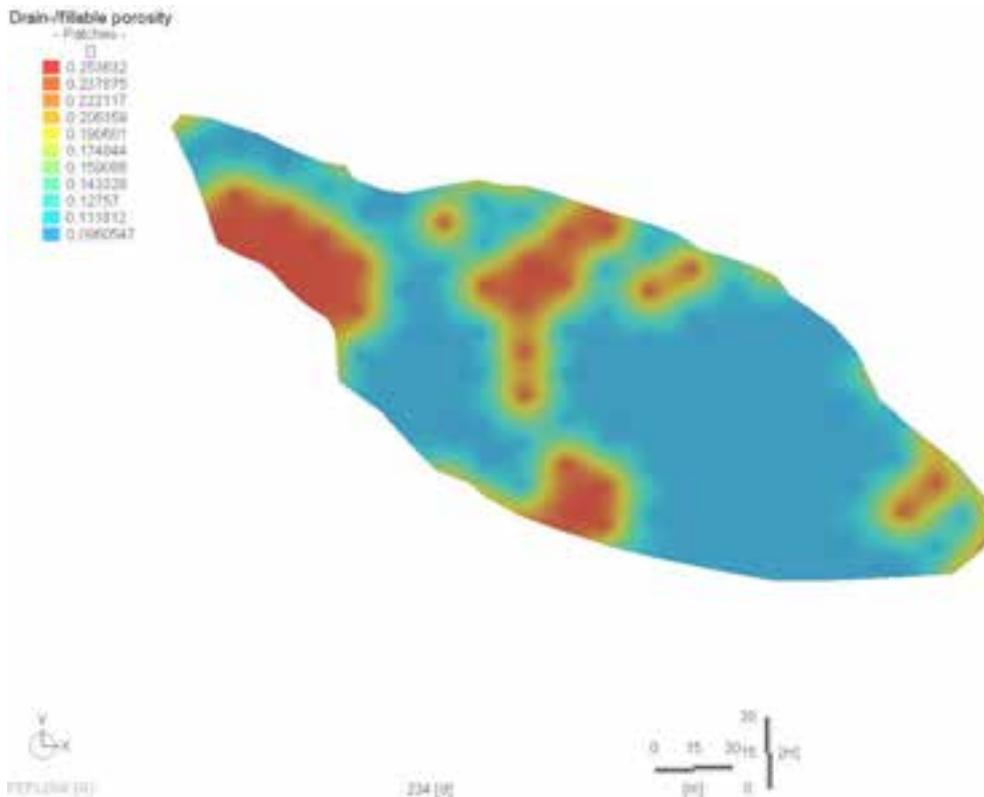


Figure 2 : *Distribution de la porosité*

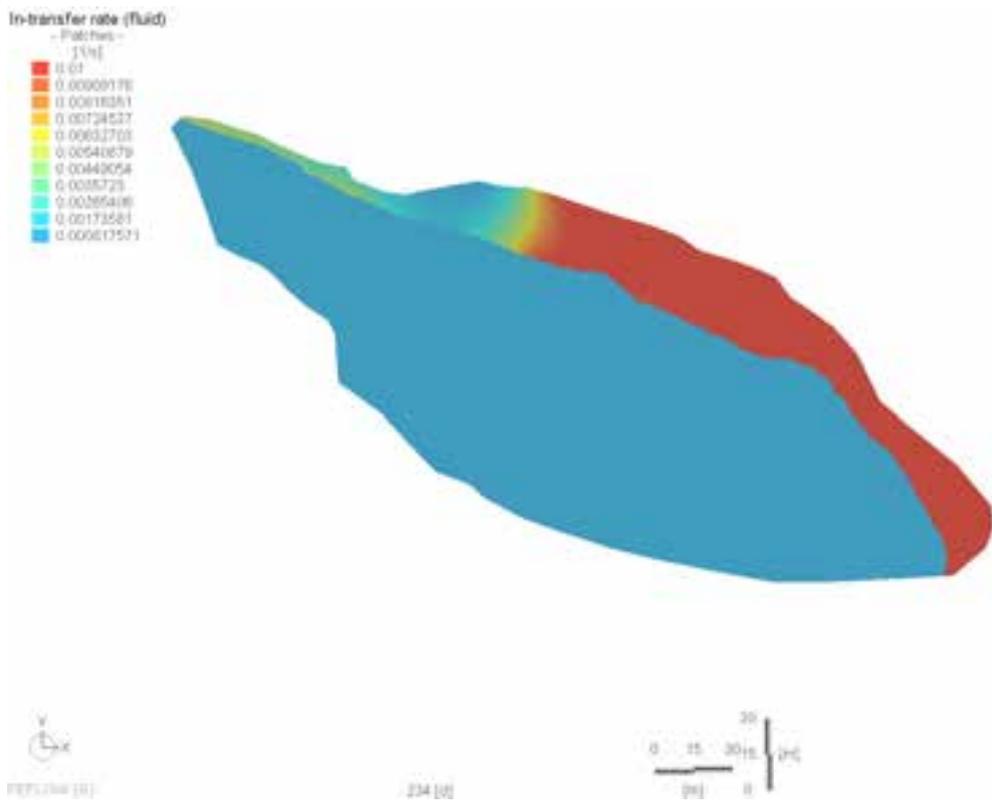


Figure.3 : Distribution du coefficient de transfert

## **Annexe 5.4**

### **Calculs des flux liés à l'érosion**

## Erosion - synthèse des résultats - calculs des flux de matière et de PCB

Ordre rapp. labo.	Réceptacle ID échant.	Date début jj.mm.aaaa	Date fin jj.mm.aaaa	Nbr jours exposition	Quantité prélevée [kg MS]	Somme PCB 6 x4.3 [mg/kg MS]	COT [% MS]	Quantité par jour [kg MS]	Concentration PCB moy. [mg/kg MS]	Flux PCB annuel /segment	Remarques		
01	E1- S01	21.04.2016	15.05.2016	24	0.09	9.3	0.89	0.004			analyse de l'eau effectuée		
02	E1- S02	15.05.2016	23.06.2016	39	0.126	64	2.6	0.003					
04	E1- S03	23.06.2016	25.07.2016	32	0.340	81	2.6	0.011					
05	E1- S04	25.07.2016	26.08.2016	32	0.088	5.8	5.3	0.003					
06	E1- S05	26.08.2016	29.09.2016	34	0.064	5.8	3.9	0.002					
07	E1- S06	29.09.2016	28.10.2016	29	0.064	3.7	5.1	0.002					
08	E1- S07	28.10.2016	24.11.2016	27	0.298	3.6	3	0.011					
10	E1- S08	24.11.2016	23.03.2017	119	0.757	0.11	1.1	0.006			10 janvier 2017 site et réceptacles gelés, février E1 gelé		
11	E1- S09	23.03.2017	27.04.2017	35	0.180	4.4	1.5	0.005					
Quantité moyenne, par année, par mètre kg								1.905					
Longueur segment E1 m								20	Quantité par année, par segment kg	38.09	19.7	<b>0.75</b>	38.09
05	E3-S01	25.07.2016	26.08.2016	32	0.985	0.66	1.2	0.031			7.8 g ajoutés par calcul fév. - mars:quantité prélevée totale > quantité envoyée au laboratoire; 2 fractions analysées		
06	E3-S02	26.08.2016	29.09.2016	34	0.705	553.9	1.5	0.021					
07	E3-S03	29.09.2016	28.10.2016	29	0.458	1.5	2.5	0.016					
08	E3-S04	28.10.2016	24.11.2016	27	0.387	0.53	1.5	0.014					
09	E3-S05	24.11.2016	15.02.2017	83	65.60	18	1.1	0.790					
10	E3-S06	15.02.2017	23.03.2017	36	85.00	11	0.7	2.361					
11	E3-S07	23.03.2017	27.04.2017	35	15.72	10	0.93	0.449					
Quantité moyenne, par année, par mètre kg								192.002			contribution condens. S02		
Longueur segment E3 m								10	Quantité par année, par segment kg	1920.02	85.1	<b>163.38</b>	152.80
03	E2-S01	25.05.2016	17.06.2016	23	0.969	0.29	2.3	0.042					
04	E2-S02	17.06.2016	25.07.2016	38	1.435	0.36	2.1	0.038					
05	E2-S03	25.07.2016	26.08.2016	32	0.278	0.65	7.1	0.009					
06	E2-S04	26.08.2016	29.09.2016	34	0.103	0.35	2.2	0.003					
07	E2-S05	29.09.2016	28.10.2016	29	0.104	0.21	3	0.004					
08	E2-S06	28.10.2016	24.11.2016	27	0.83	0.25	1.9	0.031					
09	E2-S07	24.11.2016	15.02.2017	83	1.399	0.3	0.9	0.017					
10	E2-S08	15.02.2017	23.03.2017	36	0.545	0.17	1.1	0.015					
11	E2-S09	23.03.2017	27.04.2017	35	1.200	0.41	2.1	0.034					
Quantité moyenne, par année, par mètre kg								7.796					
Longueur segment E2 m								50	Quantité par année, par segment kg	389.79	0.3	<b>0.13</b>	
06	E4-S01	08.09.2016	29.09.2016	21	0.004	<LQ	6.2	0.000					
07	E4-S02	29.09.2016	28.10.2016	29	0.004	<LQ	17	0.000					
08	E4-S03	28.10.2016	24.11.2016			na	na				pas assez de matière pour procéder aux analyses		
09	E4-S04	24.11.2016	15.02.2017			na	na						
10	E4-S05	15.02.2017	23.03.2017	146	0.006	2.8	2.3	0.00004					
11	E4-S06	23.03.2017	27.04.2017	35	0.028	2.4	2.5	0.00080					
Quantité moyenne, par année, par mètre kg								0.106					
Longueur segment E4 m								70	Quantité par année, par segment kg	7.42	1.3	<b>0.010</b>	
06	E5-S01	08.09.2016	29.09.2016	21	0.008	<LQ	3.1	0.000					
07	E5-S02	29.09.2016	28.10.2016	29	0.016	2.2	2.5	0.001					
08	E5-S03	28.10.2016	24.11.2016	27	0.209	0.54	6.1	0.008					
09	E5-S04	24.11.2016	15.02.2017	83	0.007	6.9	3.4	0.0001					
10	E5-S05	15.02.2017	23.03.2017	36	0.008	0.39	1.8	0.0002					
11	E5-S06	23.03.2017	27.04.2017	35	0.005	4.8	4.5	0.0001					
Quantité moyenne, par année, par mètre kg								0.555					
Longueur segment E5 m								80	Quantité par année, par segment kg	44.38	3.0	<b>0.13</b>	
06	E6-S01	08.09.2016	29.09.2016	21	0.020	0.51	2.1	0.001					
07	E6-S02	29.09.2016	28.10.2016	29	0.041	0.2	2.9	0.001					
08	E6-S03	28.10.2016	24.11.2016	27	0.328	1.5	2.6	0.012					
09	E6-S04	24.11.2016	15.02.2017	83	0.021	4	1.5	0.0003					
10	E6-S05	15.02.2017	23.03.2017	36	0.022	1.6	0.9	0.001					
11	E6-S06	23.03.2017	27.04.2017	35	0.023	3.1	2.5	0.001					
Quantité moyenne, par année, par mètre kg								0.975					
Longueur segment E6 m								70	Quantité par année, par segment kg	68.28	1.8	<b>0.12</b>	
<b>Longueur totale m 300</b>								<b>Quantité totale MS kg</b>	<b>2'468</b>	<b>Flux total PCB g</b>	<b>164.52</b>		

## **Annexe 5.5.1**

### **Stock de PCB antérieur**

**Estimation de la masse PCB qui a quitté la décharge entre 1960 et 2010.****Masse PCB dans les sédiments**

Masse PCB dans les 3 secteurs 92 kg  
 ± 65 kg

**Masse PCB sous forme PCB dissous et particulaire (évacué du système d'étude)**

Intervalle temps Nbr d'années  
 1960-2010 50

Flux dissous		Flux particulaire		Ratio
Aval-Amont (moyenne 2015-2016) non corrigé, mesuré		Aval-Amont 2016, mesuré		Flux part/diss
g/a	±	g/a	±	
300	200	900	200	3

En admettant le même ratio flux particulaire / dissous observé en 2015/2016:

Flux dissous		Flux particulaire		Ratio
Aval-Amont (moyenne Nov 2010 - Juin 2013) non corrigé, mesuré		Aval-Amont estimé		Flux part/diss
g/a	±	g/a	±	
2'750	700	8'250	2100	3

Masse PCB, som6x4.3

Masse PCB 1960-2010 sous forme dissous et particulaire kg 550 ± 140

**Masse PCB provenant de la décharge, évacuée du lit mouillé pendant mesures d'urgence (M 2013)**

Masse PCB, som6x4.3 kg 350

**Masse PCB provenant de la décharge, mais évacuée du secteur Pila-Gérine (M 2013-2015)**

Intervalle temps Nbr d'années  
 2013-2015 2

Masse PCB, som6x4.3 kg 12

**TOTAL**

Masse total PCB qui a quitté la décharge kg 1'004 ± 205

Masse PCB évacuée hors système (PCB dissous et particulaire) kg 550 ± 140

Masse PCB dans le lit du cours d'eau (sédiment + masse évacuée) kg 454 ± 65

## **Annexe 5.5.2**

### **Estimation du flux dû aux glissements**

## Répartition du flux PCB pour un glissement de 11.86 kg PCB / année

PCB tot (4.3Σ6PCB)		PCB solide > 2mm et condensateurs	PCB solide < 2mm + PCB part.	PCB dissous	Total
Flux glissement	[g/an]	10'565	1'245	30 - 40	11'860
Ratio des flux		89%	11%	0.3%	100%

1. Flux PCB solide > 2mm et PCB solide < 2 mm f. résultats chap. 3.2

2. Flux PCB dissous et particulaire Estimation de flux annuel de PCB sous forme dissoute et particulaire , calculé sur la base d'un glissement de 11.86 kg PCB

**Bases de calcul** Essais mise en suspension, cf. Chap. 3.2

**Hypothèses** 1 Matériaux du glissement: moyenne sur les déchets provenant des 3 zones "hot spot " mur berlinoise", zone "Est" et zone "ouest et centre"

## a) Masse PCB dans les matériaux glissés (total 22'000 m3)

	Masse PCB		
Echantil représentatif	Zone ouest + centre	Talus Berlinoise + Hotspot	Zone est
Masse PCB	[kg]	[kg]	[kg]
A1A2-w + 1 cor	4003		
A1A2w + 0.02 condensateurs			512
B2B3-w + 2.25 condensateurs		1'416	
Ratio	8	3	1

## b) Débit annuel de la Sarine.

Débit Sarine	[m3/s]	3	70
après 1 h [m3]	[m3]	10'800	252'000
après 24 h [m3]	[m3]	259'200	6'048'000
après 1 année	[m3]	94'608'000	2'207'520'000

## c) On admet que 1/50 de la masse glisse en une année dans la Sarine

masse déchets en 1	kg PCB	11.86
ou	kg déchets	44.8

## d) Essais de mise en suspension de 1 kg de condensateurs (échantillon c1-w, cf. chap. 3.2)

a) on admet une relation linéaire entre la masse de condensateur et la concentration en PCB dissous:

b) 1 condensateur pèse 50 g

c) le PCB dissous est calculé sur la base des résultats d'analyse effectués sur les échantillons prélevés après 24 h.

On admet que ces concentrations sont représentatif pour la totalité de l'année

**Calcul du flux de PCB dissous, extrapolé sur une année**

Résultats de l'essais de mise en suspension				Calcul PCB dissous pour un glissement de 11.86 PCB kg		Flux par année
	dilution	PCBdiss		Dilution		PCB dissous
	kg/l	ng/l après 1 h	ng/l après 24 h	kg/l	ng/l après 24 h	[g/an] avec conc. Après 24 h
<b>A1A2-w</b>	0.1	350	608	0.000004	0.02	2.1
<b>B2B3-w</b>	0.1	2741	14845	0.000004	0.55	52.4
<b>C1-w</b>	0.02	21348	8958	0.000004	1.67	158.2
1/50 de C1-w (=pour 1 condensateur)				0.000004	0.03	3.2
2.25/50 de c1-w (= pour 2.25 condensateurs)					0.08	7.1
<b>Moyenne en tenant compte de la contribution au flux des secteurs</b>						<b>34</b>

**Calcul PCBparticulaire****Essais mis en suspension**

Résultats de l'essais de mise en suspension				Glissement 11.86 kg dans Sarine , débit 3m3/s durant		Flux par année
	dilution	PCBparticulaire		Dilution	PCB dissous	PCB particulaire
	kg/l	ng/l après 1 h	ng/l après 24 h	kg/l	ng/l après 24 h	[g/an] avec conc. Après 24 h
A1A2-w	0.1	33376	654	0.000004	0.0	2.3
B2B3-w	0.1	2075198	18205	0.000004	0.7	64.3
C1-w	0.02	1427102	42831	0.000004	8.0	756.4
1/50 de C1-w (=pour 1 condensateur)				0.000004	0.2	15.1
2.25/50 de c1-w (= pour 2.25 condensateurs)					0.4	34.0
<b>Moyenne en tenant compte de la contribution au flux des secteurs</b>						<b>45</b>

### Modélisation sur la base d'un bilan annuel

Le modèle est un bilan annuel (variation de stock = somme des apports et des pertes).

$$DS = S(t) - S(t-1) = A - Pp - Pd$$

DS	Variation de stock
t	Pas de temps (1 année)
S(t)	Stock au temps t
S(t-1)	Stock au temps t-1
A	Apports
Pp	Pertes en profondeur / hors système d'étude
Pd	Pertes PCB sous forme dissoute / particulaire

### Pd Perte PCBdissous + PCB particulaire

#### Hypothèse:

le PCBdissous et PCB particulaire quittent le système d'étude

le PCB dissous est corrélé linéairement au stock PCB dans la couche de sédiments entre 0-15 cm. De plus le stock est important de plus la perte devient important.

en 2010, le flux annuel PCBdiss calculé sur la base d'un capteur passif situé à l'aval de la Pila était de 2.75 kg/année. La masse en PCB dans le lit mouillé de la Sarine et excavés lors des mesures urgentes était de 360 kg env.

Les ratios de 2010 et 2016 sont similaires.

#### Bases:

PCB particulaire: en 2016 le ratio PCBdissous / PCB particulaire est de 1:3

Stock PCB dans les sédiments

Flux annuel PCB dissous

#### Calcul

un facteur de perte f entre le stock PCB et la perte de PCB sous forme dissoute et particulaire est établi de la manière suivante:

$$f (PCBdiss + part) = 4 \times \frac{\text{Flux PCB dissous 2016}}{\text{Stock PCB dans sédiments}} = 0.02$$

f: facteur de perte

Données		2010	2016
<b>Tronçon Pila-Gérine</b>			
PCBdissous	kg/année	2.75	0.40
Stock PCB dans les sédiments secteur Pila-Gérine	kg	362	61
Ratio PCB diss / PCB sédiment		0.008	0.007
Ration PCBdissous / PCBpart		1:3	1:3
<b>Facteur de perte par PCBdiss et PCB part</b>			<b>0.026</b>

$$Pb = f \times (S(t) + S(t-1))$$

<b>Pp</b>	Pertes du stock PCB :
	a) Hors du système d'étude (aval Lac Pérolles)
	b) En profondeur: dans les dépôts sédimentaires > 15cm de profondeur (hors contact faune benthique)
<b>A</b>	La masse déstabilisée de 2'200 m <sup>3</sup> contient une masse de PCB de 593 kg. Des apports dans le système se répartissent sur une durée modélisée de 50 ans
<b>t</b>	Pas de temps d'une année
<b>S(t)</b>	Stock PCB dans le système au temps t
<b>S(t)</b>	Stock PCB dans le système au temps t-1

### Comparaison avec résultats 2016

S(2016)	Stock PCB dans les sédiments des secteurs Pila-Gérine, Gérine-Lac, Lac entre 0-15 cm	19 kg
Pp(2016)	Stock PCB dans les sédiments des secteurs Pila-Gérine, Gérine-Lac, Lac >15 cm	73 kg

### Estimation grossière de l'apport PCB depuis fermeture la Pila (env. 1970)

A(1968-2017)	Estimation des déchets érodés / glissés dans la Sarine depuis la fermeture de la décharge la Pila: 600 - 750 kg 300-800 kg
--------------	---

<i>Stock actuel dans les sédiments</i>	90 kg
<i>Perte PCB diss+part.</i>	200-500 kg
<i>Masse PCB évacué du lit mouillé (mesures urgentes), 2010-13</i>	360 kg
	<hr/>
	650 - 950 kg

En admettant que la masse PCB évacué lors des mesures urgentes avaient été laissée sur place on peut admettre que:

A	650-950 kg
Pd	200-500 kg
Pp	360 kg (=Pp(2016) + 80% des 360 kg évacués)
S(t)	90 kg (S(2016) + 20% des 360 kg évacués)

**Modèle n° 1**

$$DS = S(t) - S(t-1) = A - Pp - Pd \quad [\text{kg } 4.3\sum 6\text{PCB}]$$

A L'apport annuel est constant et correspond à 1/50 de la masse de PCB déstabilisé, à voire 11.86 kg PCB

Pp Perte linéaire du stock PCB (multiplication du stock totale avec une constante).

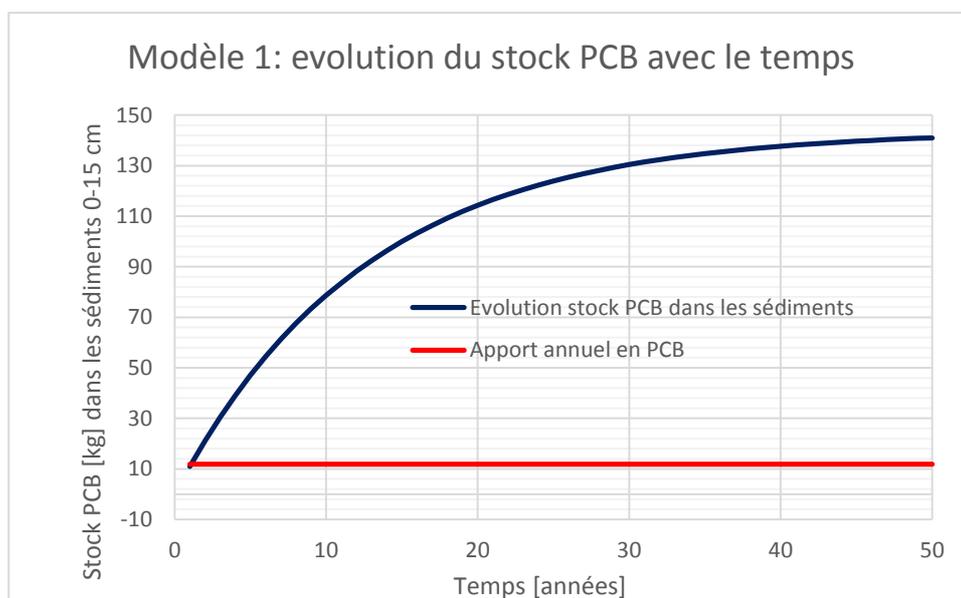
$$Pp = \text{const.} \times (A + S(t-1))$$

Pb Perte linéaire PCB dissous + PCBparticulaire au stock PCB présent dans le système

$$Pb = f \times (S(t) + S(t-1)) = 0.02$$

Année	Apport	Stock au temps t-1	Perte. Facteur	Perte stock	PCBdissous + PCBpart	Perte	Stock
t	A	S(t-1)	Pp		Pd	DS	S(t)
	[kg]	[kg]		[kg]	0.03	[kg]	[kg]
1	11.86	0.0	0.05	0.6	0.3	11.0	11.0
2	11.86	11.0	0.05	1.1	0.6	10.1	21.1
3	11.86	21.1	0.05	1.6	0.9	9.4	30.4
4	11.86	30.4	0.05	2.1	1.1	8.6	39.1
5	11.86	39.1	0.05	2.5	1.3	8.0	47.0
6	11.86	47.0	0.05	2.9	1.5	7.4	54.4
7	11.86	54.4	0.05	3.3	1.7	6.8	61.2
8	11.86	61.2	0.05	3.7	1.9	6.3	67.5
9	11.86	67.5	0.05	4.0	2.1	5.8	73.3
10	11.86	73.3	0.05	4.3	2.2	5.4	78.7
11	11.86	78.7	0.05	4.5	2.4	5.0	83.7
12	11.86	83.7	0.05	4.8	2.5	4.6	88.2
13	11.86	88.2	0.05	5.0	2.6	4.2	92.5
14	11.86	92.5	0.05	5.2	2.7	3.9	96.4
15	11.86	96.4	0.05	5.4	2.8	3.6	100.0
16	11.86	100.0	0.05	5.6	2.9	3.3	103.3
17	11.86	103.3	0.05	5.8	3.0	3.1	106.4
18	11.86	106.4	0.05	5.9	3.1	2.8	109.2
19	11.86	109.2	0.05	6.1	3.2	2.6	111.9
20	11.86	111.9	0.05	6.2	3.2	2.4	114.3
21	11.86	114.3	0.05	6.3	3.3	2.2	116.6
22	11.86	116.6	0.05	6.4	3.4	2.1	118.6
23	11.86	118.6	0.05	6.5	3.4	1.9	120.5
24	11.86	120.5	0.05	6.6	3.5	1.8	122.3
25	11.86	122.3	0.05	6.7	3.5	1.6	123.9
26	11.86	123.9	0.05	6.8	3.6	1.5	125.5
27	11.86	125.5	0.05	6.9	3.6	1.4	126.8
28	11.86	126.8	0.05	6.9	3.6	1.3	128.1
29	11.86	128.1	0.05	7.0	3.7	1.2	129.3
30	11.86	129.3	0.05	7.1	3.7	1.1	130.4
31	11.86	130.4	0.05	7.1	3.7	1.0	131.4
32	11.86	131.4	0.05	7.2	3.8	0.9	132.4

Année	Apport	Stock au temps t-1	Perte. Facteur	Perte stock	PCBdissous + PCBpart	Perte	Stock
t	A	S(t-1)	Pp		Pd	DS	S(t)
33	11.86	132.4	0.05	7.2	3.8	0.9	133.2
34	11.86	133.2	0.05	7.3	3.8	0.8	134.0
35	11.86	134.0	0.05	7.3	3.8	0.7	134.8
36	11.86	134.8	0.05	7.3	3.8	0.7	135.5
37	11.86	135.5	0.05	7.4	3.9	0.6	136.1
38	11.86	136.1	0.05	7.4	3.9	0.6	136.7
39	11.86	136.7	0.05	7.4	3.9	0.5	137.2
40	11.86	137.2	0.05	7.5	3.9	0.5	137.7
41	11.86	137.7	0.05	7.5	3.9	0.5	138.2
42	11.86	138.2	0.05	7.5	3.9	0.4	138.6
43	11.86	138.6	0.05	7.5	3.9	0.4	139.0
44	11.86	139.0	0.05	7.5	4.0	0.4	139.4
45	11.86	139.4	0.05	7.6	4.0	0.3	139.7
46	11.86	139.7	0.05	7.6	4.0	0.3	140.0
47	11.86	140.0	0.05	7.6	4.0	0.3	140.3
48	11.86	140.3	0.05	7.6	4.0	0.3	140.5
49	11.86	140.5	0.05	7.6	4.0	0.2	140.8
50	11.86	140.8	0.05	7.6	4.0	0.2	141.0
<b>Total</b>	593.09			296.52	155.55		141.0
<b>1970-2017</b>	650-950			360	200-500		90



**Modèle n° 2**

$$DS = S(t) - S(t-1) = A - Pp - Pd \quad [\text{kg } 4.3\sum 6\text{PCB}]$$

A L'apport annuel varie d'une manière aléatoire.

Pp Perte linéaire du stock PCB (multiplication du stock totale avec une constante).

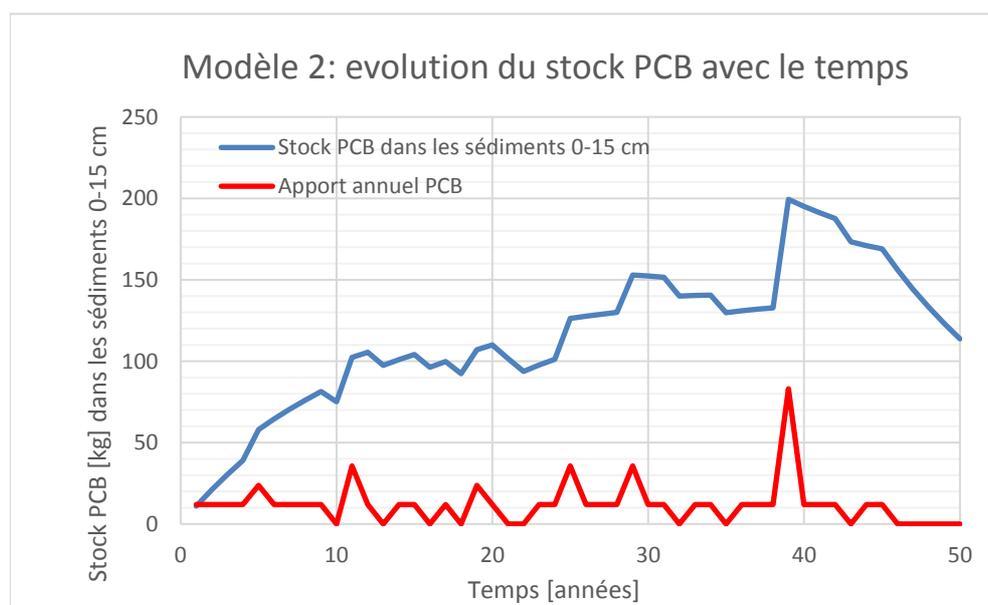
$$Pp = \text{const.} \times (A + S(t-1))$$

Pb Perte linéaire PCB dissous + PCBparticulaire au stock PCB présent dans le système

$$Pb = f \times (S(t) + S(t-1)) = 0.02$$

Année	Apport	Stock au temps t-1	Perte. Facteur	Perte stock	PCBdissous + PCBpart	Perte	Stock
t	A	S(t-1)	Pp		Pd	DS	S(t)
	[kg]	[kg]		[kg]	0.03	[kg]	[kg]
1	11.86	0.0	0.05	0.6	0.3	11.0	11.0
2	11.86	11.0	0.05	1.1	0.6	10.1	21.1
3	11.86	21.1	0.05	1.6	0.9	9.4	30.4
4	11.86	30.4	0.05	2.1	1.1	8.6	39.1
5	23.72	39.1	0.05	3.1	1.6	18.9	58.0
6	11.86	58.0	0.05	3.5	1.8	6.5	64.5
7	11.86	64.5	0.05	3.8	2.0	6.0	70.6
8	11.86	70.6	0.05	4.1	2.2	5.6	76.2
9	11.86	76.2	0.05	4.4	2.3	5.2	81.3
10	0.00	81.3	0.05	4.1	2.1	-6.2	75.1
11	35.59	75.1	0.05	5.5	2.9	27.1	102.3
12	11.86	102.3	0.05	5.7	3.0	3.2	105.4
13	0.00	105.4	0.05	5.3	2.8	-8.0	97.4
14	11.86	97.4	0.05	5.5	2.9	3.5	100.9
15	11.86	100.9	0.05	5.6	3.0	3.3	104.2
16	0.00	104.2	0.05	5.2	2.7	-7.9	96.2
17	11.86	96.2	0.05	5.4	2.8	3.6	99.9
18	0.00	99.9	0.05	5.0	2.6	-7.6	92.2
19	23.72	92.2	0.05	5.8	3.0	14.9	107.1
20	11.86	107.1	0.05	5.9	3.1	2.8	109.9
21	0.00	109.9	0.05	5.5	2.9	-8.4	101.5
22	0.00	101.5	0.05	5.1	2.7	-7.7	93.8
23	11.86	93.8	0.05	5.3	2.8	3.8	97.6
24	11.86	97.6	0.05	5.5	2.9	3.5	101.1
25	35.59	101.1	0.05	6.8	3.6	25.2	126.3
26	11.86	126.3	0.05	6.9	3.6	1.3	127.6
27	11.86	127.6	0.05	7.0	3.7	1.2	128.9
28	11.86	128.9	0.05	7.0	3.7	1.1	130.0
29	35.59	130.0	0.05	8.3	4.3	23.0	152.9
30	11.86	152.9	0.05	8.2	4.3	-0.7	152.2
31	11.86	152.2	0.05	8.2	4.3	-0.6	151.6
32	0.00	151.6	0.05	7.6	4.0	-11.6	140.0

Année	Apport	Stock au temps t-1	Perte. Facteur	Perte stock	PCBdissous + PCBpart	Perte	Stock
t	A	S(t-1)	Pp		Pd	DS	S(t)
	[kg]	[kg]		[kg]	0.03	[kg]	[kg]
33	11.86	140.0	0.05	7.6	4.0	0.3	140.3
34	11.86	140.3	0.05	7.6	4.0	0.3	140.6
35	0.00	140.6	0.05	7.0	3.7	-10.7	129.9
36	11.86	129.9	0.05	7.1	3.7	1.1	130.9
37	11.86	130.9	0.05	7.1	3.7	1.0	131.9
38	11.86	131.9	0.05	7.2	3.8	0.9	132.8
39	83.03	132.8	0.05	10.8	5.7	66.6	199.4
40	11.86	199.4	0.05	10.6	5.5	-4.2	195.1
41	11.86	195.1	0.05	10.4	5.4	-3.9	191.2
42	11.86	191.2	0.05	10.2	5.3	-3.6	187.6
43	0.00	187.6	0.05	9.4	4.9	-14.3	173.3
44	11.86	173.3	0.05	9.3	4.9	-2.3	171.1
45	11.86	171.1	0.05	9.1	4.8	-2.1	169.0
46	0.00	169.0	0.05	8.4	4.4	-12.9	156.1
47	0.00	156.1	0.05	7.8	4.1	-11.9	144.2
48	0.00	144.2	0.05	7.2	3.8	-11.0	133.2
49	0.00	133.2	0.05	6.7	3.5	-10.2	123.0
50	0.00	123.0	0.05	6.2	3.2	-9.4	113.7
<b>Total</b>	593			314.46	165		113.7
<b>1970-2017</b>	650-950			360	200-500		90



**Modèle n° 3**

$$DS = S(t) - S(t-1) = A - Pp - Pd \quad [\text{kg } 4.3\sum 6\text{PCB}]$$

A L'apport annuel varie d'une manière aléatoire. Idem modèle 2

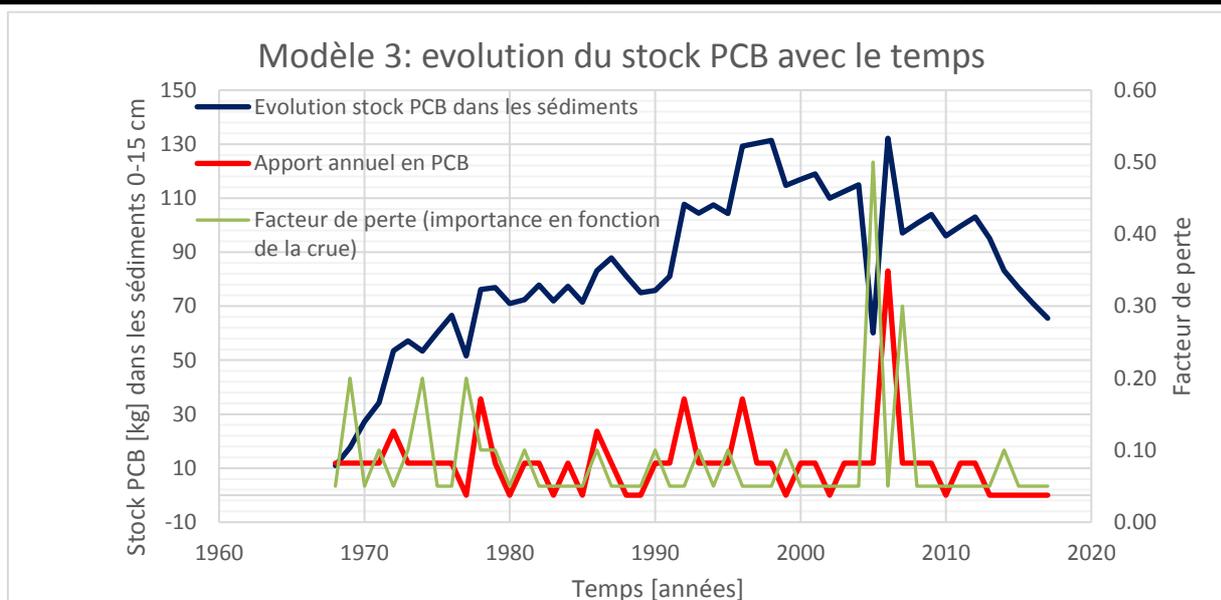
Pp Perte de PCB (en profondeur, hors du système) plus important lors de crue de temps de retour important  
Référence: crues Q5, Q10, Q30 et Q100 entre 1968 et 2017. Facteur de perte en fonction de l'importance de la crue de temps de retour x

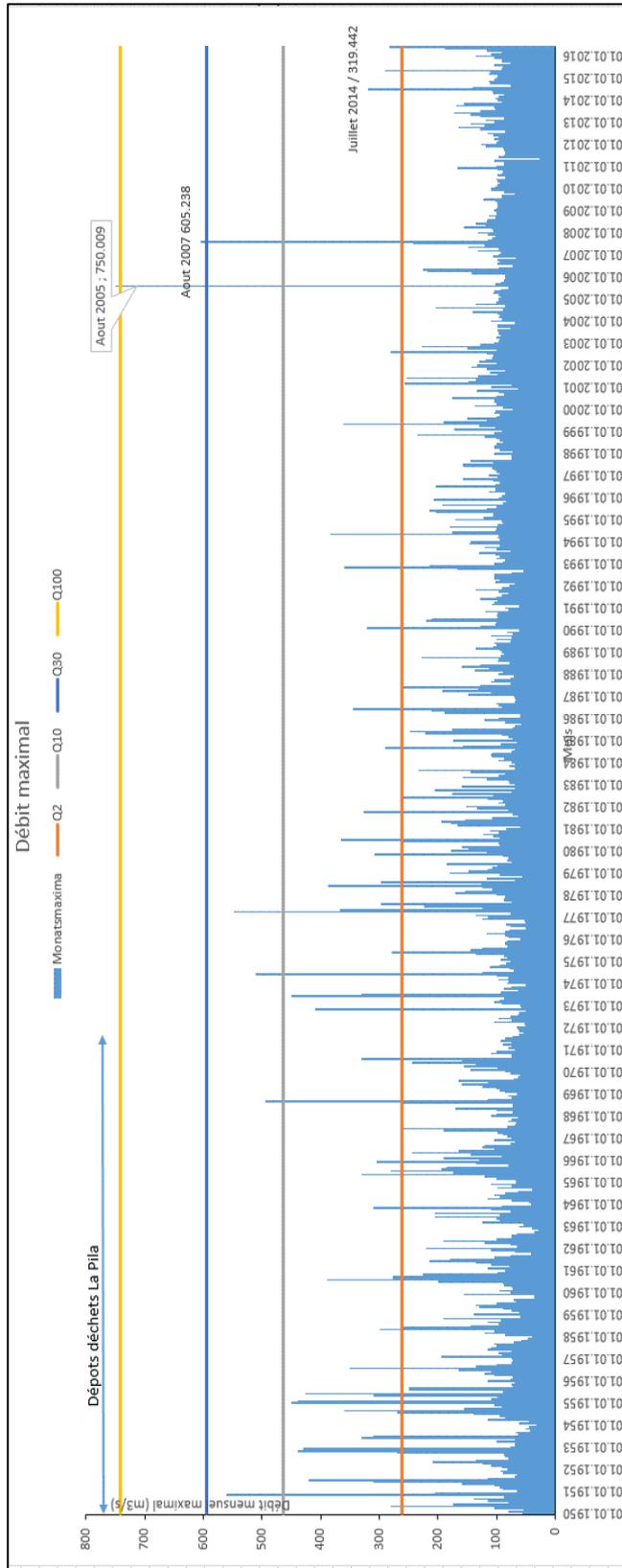
Pb Perte linéaire PCB dissous + PCBparticulaire au stock PCB présent dans le système

$$Pb = f \times (S(t) + S(t-1)) = 0.02$$

Année	Apport	Stock au temps t-1	Evènement crue	Perte. Facteur	Perte stock	PCBdiss + PCBpart	Perte	Stock
t	A	S(t-1)		Pp		Pd	DS	S(t)
	[kg]	[kg]			[kg]	0.03	[kg]	[kg]
1968	11.86	0.0		0.05	0.6	0.3	11.0	11.0
1969	11.86	11.0	Q10	0.20	4.6	0.6	6.7	17.7
1970	11.86	17.7		0.05	1.5	0.8	9.6	27.3
1971	11.86	27.3	Q5	0.10	3.9	1.0	6.9	34.2
1972	23.72	34.2		0.05	2.9	1.5	19.3	53.5
1973	11.86	53.5	Q5	0.10	6.5	1.7	3.6	57.1
1974	11.86	57.1	Q10	0.20	13.8	1.8	-3.7	53.4
1975	11.86	53.4		0.05	3.3	1.7	6.9	60.3
1976	11.86	60.3		0.05	3.6	1.9	6.4	66.6
1977	0.00	66.6	Q10	0.20	13.3	1.7	-15.1	51.6
1978	35.59	51.6	Q5	0.10	8.7	2.3	24.6	76.1
1979	11.86	76.1	Q5	0.10	8.8	2.3	0.8	76.9
1980	0.00	76.9		0.05	3.8	2.0	-5.9	71.0
1981	11.86	71.0	Q5	0.10	8.3	2.2	1.4	72.4
1982	11.86	72.4		0.05	4.2	2.2	5.4	77.9
1983	0.00	77.9		0.05	3.9	2.0	-5.9	71.9
1984	11.86	71.9		0.05	4.2	2.2	5.5	77.4
1985	0.00	77.4		0.05	3.9	2.0	-5.9	71.5
1986	23.72	71.5	Q5	0.10	9.5	2.5	11.7	83.2
1987	11.86	83.2		0.05	4.8	2.5	4.6	87.8
1988	0.00	87.8		0.05	4.4	2.3	-6.7	81.1
1989	0.00	81.1		0.05	4.1	2.1	-6.2	74.9
1990	11.86	74.9	Q5	0.10	8.7	2.3	0.9	75.8
1991	11.86	75.8		0.05	4.4	2.3	5.2	81.0
1992	35.59	81.0		0.05	5.8	3.1	26.7	107.7
1993	11.86	107.7	Q5	0.10	12.0	3.1	-3.2	104.5
1994	11.86	104.5		0.05	5.8	3.1	3.0	107.5
1995	11.86	107.5	Q5	0.10	11.9	3.1	-3.2	104.3
1996	35.59	104.3		0.05	7.0	3.7	24.9	129.2
1997	11.86	129.2		0.05	7.1	3.7	1.1	130.3

Année	Apport	Stock au temps t-1	Evènement crue	Perte. Facteur	Perte stock	PCBdiss + PCBpart	Perte	Stock
t	A	S(t-1)		Pp		Pd	DS	S(t)
	[kg]	[kg]			[kg]	0.03	[kg]	[kg]
1998	11.86	130.3		0.05	7.1	3.7	1.0	131.3
1999	0.00	131.3	Q5	0.10	13.1	3.4	-16.6	114.8
2000	11.86	114.8		0.05	6.3	3.3	2.2	117.0
2001	11.86	117.0		0.05	6.4	3.4	2.0	119.0
2002	0.00	119.0		0.05	6.0	3.1	-9.1	109.9
2003	11.86	109.9		0.05	6.1	3.2	2.6	112.5
2004	11.86	112.5		0.05	6.2	3.3	2.4	114.9
2005	11.86	114.9	Q100	0.50	63.4	3.3	-54.8	60.1
2006	83.03	60.1		0.05	7.2	3.8	72.1	132.2
2007	11.86	132.2	Q30	0.30	43.2	3.8	-35.1	97.0
2008	11.86	97.0		0.05	5.4	2.9	3.6	100.6
2009	11.86	100.6		0.05	5.6	3.0	3.3	103.9
2010	0.00	103.9		0.05	5.2	2.7	-7.9	96.0
2011	11.86	96.0		0.05	5.4	2.8	3.6	99.6
2012	11.86	99.6		0.05	5.6	2.9	3.4	103.0
2013	0.00	103.0		0.05	5.1	2.7	-7.9	95.1
2014	0.00	95.1	Q5	0.10	9.5	2.5	-12.0	83.1
2015	0.00	83.1		0.05	4.2	2.2	-6.3	76.8
2016	0.00	76.8		0.05	3.8	2.0	-5.9	70.9
2017	0.00	70.9		0.05	3.5	1.9	-5.4	65.5
<b>Total</b>	593				404	124		65.5
<b>1970-2017</b>	650-950				360	200-500		90





**1ère étape: Masse en PCB dans chaque fraction pour la totalité de la masse glissée**

<b>Base de calcul</b>	1. Volumes des déchets déstabilisés	cf. onglet "Calcul Volume"
	2. %age PCB dans les fractions <2mm et > 2mm par zone de glissement	cf. onglet "Calcul Volume"

Masse PCB dans la masse déstabilisée		Fraction granulométrique		masse PCB par fraction		
Zone de glissement	Référence	<2 mm	>2 mm	<2 mm	>2 mm	Total
		%	%	kg PCB	kg PCB	kg PCB
Zone Est	A1A2	20%	80%	65	447	512
Zone ouest + centre	A1A2 + cond.	20%	80%	47	3956	4003
Talus Berlinoise + Hotspot	B2B3, fdf2013	40%	60%	504	912	1416
<b>TOTAL</b>				<b>616</b>	<b>5315</b>	<b>5931</b>
<b>POURCENTAGE moyen de PCB par fraction</b>				<b>10%</b>	<b>90%</b>	

**2ème étape: PCB dans la masse glissée en fonction de périodes de temps de différentes durées**

<b>Hypothèse</b>	1. SEUL 10% DE LA MASSE DE DÉCHETS DESTABILISÉS GLISSENT DANS LA SARINE
	2. Les glissements sont répétitive et se répartissent d'une manière uniforme sur une durée de 50 ans

<b>Bases du calcul</b>	1. Masse PCB dans le total des déchets déstabilisés	<b>5931 kg</b>
	1. Masse PCB total dans 10% des déchets déstabilisés après Q10	<b>593 kg</b>
	2. Masse PCB dans les déchets glissée, par année:	<b>11.86 kg/année</b>
	3. %age de PCB par fraction granulométrique	cf. 1ère étape
	4. 5 périodes d'études durant lesquelles des crues de temps de retour différentes sont possibles	

**Calcul** *Masse annuelle PCB \* %age PCB par fraction*

**PCB dans 10% de la totalité de la masse déstabilisée après Q100**

Période	Durée période d'étude	PCB total	PCB dans <2mm	PCB dans >2mm
	[années]	[kg]	[kg]	[kg]
1 ans	1	12	1	11
5 ans (5 ans après gliss.)	4	47	5	43
10 ans (10 ans après gliss.)	5	59	6	53
20 ans (20 ans après gliss.)	10	119	12	106
50 ans (50 ans après gliss.)	30	356	37	319
<b>TOTAL</b>	<b>50</b>	<b>593</b>	<b>62</b>	<b>531</b>

**3ème étape: Perte PCBdissous + PCB particulaire**

<b>Hypothèse:</b>	le PCBdissous et PCB particulaire quittent le système d'étude le PCB dissous est corrélé linéairement au stock PCB dans la couche de sédiments entre 0-15 cm. De plus le stock est important de plus la perte devient important
<b>Bases</b>	Stock PCB secteur Pila-Gérine Flux annuel PCB dissous Ratio Flux PCB dissous / PCB part de 2016
<b>Calibration</b>	les données de 2016 sont comparées avec les données de 2010: 2010: flux annuel PCBdiss calculé sur la base d'un capteur passif situé à l'aval de la Pila Masse PCB dans le lit mouillé de la Sarine, excavés lors des mesures urgentes --> cf. onglet "Stock du passé"

Données		2010	2016	
<b>Tronçon Pila-Gérine</b>				
PCBdissous	kg/année	2.75	0.40	
Stock PCB dans les sédiments	kg	453	61.00	PCBdissous
Ratio PCB diss / PCB sédiment		0.006	0.007	avec PCB part
Ration PCBdissous / PCBpart		1:3	1:3	
<b>Facteur de perte par PCBdiss et PCB part</b>			<b>0.03</b>	

**4ème étape: Perte PCB dans sédiments > 15 cm de profondeur**

**Hypothèse:** Le stock PCB est différent entre 0-15 cm par rapport au stock entre 15-75 cm. Par exemple dans le secteur Pila Gérine 80 % du PCB se situe entre 15-75 cm et 20 % entre 0-15 cm. Avec chaque crue de temps de retour X des sédiments sont érodés mais aussi déposés.

2. Les pertes suivantes se présentent:

- a) perte en profondeur: les déchets sont enfouilli par des dépôts de sédiments suite à des crues
- b) perte hors du système d'étude: ouverture des vannes à la Maigrauge

Les pertes a) et b) ne sont pas quantifiable. La seule indication est le stock PCB constaté dans les sédiments dans une profondeur entre 15 - env. 75 cm cf. onglet Stock\_Sédiment : [Tableau 1](#)

	Perte en profondeur > 15 cm en	après 1 année	après 5 ans	après 10 ans	après 20 ans	après 50 ans
"Perte en profondeur pour PCB glissé dans la période d'étude"	<2mm	-5%	-20%	-30%	-50%	-50%
	> 2 mm	-2%	-20%	-35%	-50%	-50%
"Perte" en profondeur pour le stock de la période précédente	<2mm	-80%	-80%	-80%	-80%	-80%
	> 2 mm	-80%	-80%	-80%	-80%	-80%

**5ème étape: Calcul du stock PCB présent dans la couche 0-15 cm****Bases du calcul**

1. Répartition du stock PCB partant depuis la Pila:

- a) se répartie sur les 3 secteurs Pila-Gérine, Gérine-Lac et Lac
- b) le stock de la période précédente se déplace également . Par rapport à sa répartition dans la période précédente son centre se déplace à l'aval
- c) la somme de la répartition par secteur doit correspondre à la répartition du stock observé en 2016

onglet Stock\_Sédiment: [tableau 2](#)

2. Les pertes suivantes se présentent:

- a) perte par PCBdissous et PCB part. Cette perte est appliquée sur le stock PCB qui part dans la période même (et non sur le stock de la période précédente)
- b) perte en profondeur et perte hors du système d'étude
- c) perte hors du système d'étude: ouverture des vannes à la Maigrauge

cf. 3ème étape

cf. étape 4

**Calibration**

1. Répartition du stock PCB dans les 3 secteurs

onglet Stock\_Sédiment: [tableau 2](#)

2. Ratio du stock PCB entre les 3 secteurs

onglet Stock\_Sédiment: [tableau 3](#)

Fraction < 2 mm	Stock PCB partant de la Pila		Répartition PCB dans les secteurs (cursif: répartition du stock de la période précédente)				Stock PCB dans les sédiments			"Perte" du système	Ratio PCB 2016 secteurs Pila-Gérine / Gérine-Lac	Ratio PCB 2016 secteurs Pila-Gérine / Lac		
	PCB de la masse glissée	"Perte" (> 15 cm, quitte le système)	Pila Gérine	Gérine - Lac	Lac	Quitte zone étude	Pila Gérine	Gérine - Lac	Lac				Stock total	
Distribution de la masse du stock	4.3*Σ6PCB		35%	1.0%	64%						20.0	0.7		
			25%	0.5%	75%									
<b>1 an</b>	kg	1.23	-5%	33%	1%	61%	-5%	0.410	0.012	0.749				
Stock précédent	kg						0%	-	-	-				
Perte PCBdiss+PCBpart	kg	-0.03						-0.011	-0.000	-0.020				
<b>TOTAL après 1 an</b>	kg	1.14						<b>0.399</b>	<b>0.011</b>	<b>0.729</b>	1.14	-0.06	35.00	0.55
<b>5 ans</b>	kg	4.93	-20%	28%	1%	51%	-20%	1.380	0.039	2.523				
Stock précédent	kg	1.14	-80%	5%	0%	15%	-80%	0.057	0.001	0.171				
Perte PCBdiss+PCBpart	kg	-0.4						-0.145	-0.004	-0.265				
<b>TOTAL après 5 ans</b>	kg	3.76						<b>1.292</b>	<b>0.036</b>	<b>2.429</b>	3.76	-1.90	35.47	0.53
<b>10 ans</b>	kg	6.16	-30%	25%	1%	45%	-30%	1.509	0.043	2.760				
Stock précédent	kg	4	-80%	5%	0%	15%	-80%	0.188	0.004	0.563				
Perte PCBdiss+PCBpart	kg	-1						-0.198	-0.006	-0.362				
<b>TOTAL après 10 ans</b>	kg	4.50						<b>1.499</b>	<b>0.041</b>	<b>2.961</b>	4.50	-4.85	36.37	0.51
<b>20 ans</b>	kg	12.32	-50%	18%	1%	32%	-50%	2.156	0.062	3.942				
Stock précédent	kg	4	-80%	5%	0%	15%	-80%	0.225	0.004	0.675				
Perte PCBdiss+PCBpart	kg	-2						-0.565	-0.016	-1.034				
<b>TOTAL après 20 ans</b>	kg	5.44						<b>1.815</b>	<b>0.050</b>	<b>3.583</b>	5.44	-9.76	36.35	0.51
<b>50 ans</b>	kg	36.96	-50%	18%	1%	32%	-50%	6.468	0.185	11.826				
Stock précédent	kg	5	-80%	5%	0%	15%	-80%	0.272	0.005	0.817				
Perte PCBdiss+PCBpart	kg	-15						-5.089	-0.145	-9.306				
<b>TOTAL après 50 ans</b>	kg	5.03						<b>1.651</b>	<b>0.045</b>	<b>3.337</b>	5.03	-22.83	36.82	0.49

Fraction > 2 mm	Stock PCB partant de la Pila		Répartition PCB dans les secteurs (cursif: répartition du stock de la période précédente)				Stock PCB				Perte du système	Ratio PCB 2016 secteurs Pila-Gérine / Gérine-Lac	Ratio PCB 2016 secteurs Pila-Gérine / Lac	
	PCB de la masse glissée	Perte en profondeur	Pila Gérine	Gérine - Lac	Lac	Quitte zone étude	Pila Gérine	Gérine - Lac	Lac	TOTAL				
Distribution de la masse du stock	4.3*Σ6PCB		90%	2%	8%							33	13	
1 ans	kg	11	-2%	88%	2%	8%	-2%	9.38	0.21	0.83				
Stock précédent	kg			80%	1%	19%	0%	-	-	-				
Perte PCBdiss+PCBpart	kg	-0.3						-0.25	-0.01	-0.02				
<b>TOTAL après 1 ans</b>	kg	10						<b>9.13</b>	<b>0.20</b>	<b>0.81</b>	10	-0.21	45.00	11.25
5 ans	kg	43	-20%	72%	2%	6%	-20%	30.61	0.68	2.72				
Stock précédent	kg	10	-80%	16%	0%	4%	-80%	1.62	0.02	0.39				
Perte PCBdiss+PCBpart	kg	-4						-3.21	-0.07	-0.29				
<b>TOTAL après 5 ans</b>	kg	32						<b>29.02</b>	<b>0.63</b>	<b>2.82</b>	32	-16.62	46.13	10.29
10 ans	kg	53	-35%	59%	1%	5%	-35%	31.09	0.69	2.76				
Stock précédent	kg	32	-80%	16%	0%	4%	-80%	5.20	0.06	1.23				
Perte PCBdiss+PCBpart	kg	-5						-4.08	-0.09	-0.36				
<b>TOTAL après 10 ans</b>	kg	37						<b>32.21</b>	<b>0.67</b>	<b>3.64</b>	37	-44.58	48.42	8.86
20 ans	kg	106	-50%	45%	1%	4%	-50%	47.83	1.06	4.25				
Stock précédent	kg	37	-80%	16%	0%	4%	-80%	5.84	0.07	1.39				
Perte PCBdiss+PCBpart	kg	-14						-12.55	-0.28	-1.12				
<b>TOTAL après 20 ans</b>	kg	47						<b>41.13</b>	<b>0.86</b>	<b>4.52</b>	47	-82.36	47.98	9.09
50 ans	kg	319	-50%	45%	1%	4%	-50%	143.50	3.19	12.76				
Stock précédent	kg	47	-80%	16%	0%	4%	-80%	7.44	0.09	1.77				
Perte PCBdiss+PCBpart	kg	-125						-112.92	-2.51	-10.04				
<b>TOTAL après 50 ans</b>	kg	43						<b>38.02</b>	<b>0.77</b>	<b>4.49</b>	43	-196.66	49.21	8.48

6ème étape: Synthèse stock PCB dans la couche 0-15 cm

Synthèse	Glissement successif PCB	Evolution stock PCB fraction < 2mm	Evolution stock PCB > 2mm séd	Perte du système: PCBdiss + PCTpart	"Perte" en profondeur > 15 cm
	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	
1 an après glissement	12	1	10	0	0
5 ans plus tard	47	4	32	0	19
10 ans plus tard	59	5	37	5	49
20 ans plus tard	119	5	47	16	92
50 ans plus tard	356	5	43	140	219
<b>TOTAL</b>	<b>593</b>	<b>5</b>	<b>43</b>	<b>161</b>	<b>380</b>
<b>Pour comparaison 2016</b>		<b>2</b>	<b>16</b>		<b>73</b>

Stock total PCB [kg]	Pila Gérine			TOTAL
	Gérine - Lac	Lac		
	10	0.2	2	11
	30	0.7	5	36
	34	0.7	7	41
	43	0.9	8	52
	40	0.8	8	48
<b>Stock 2016 (0-15 cm)</b>	<b>16</b>	<b>0.5</b>	<b>2</b>	<b>19</b>

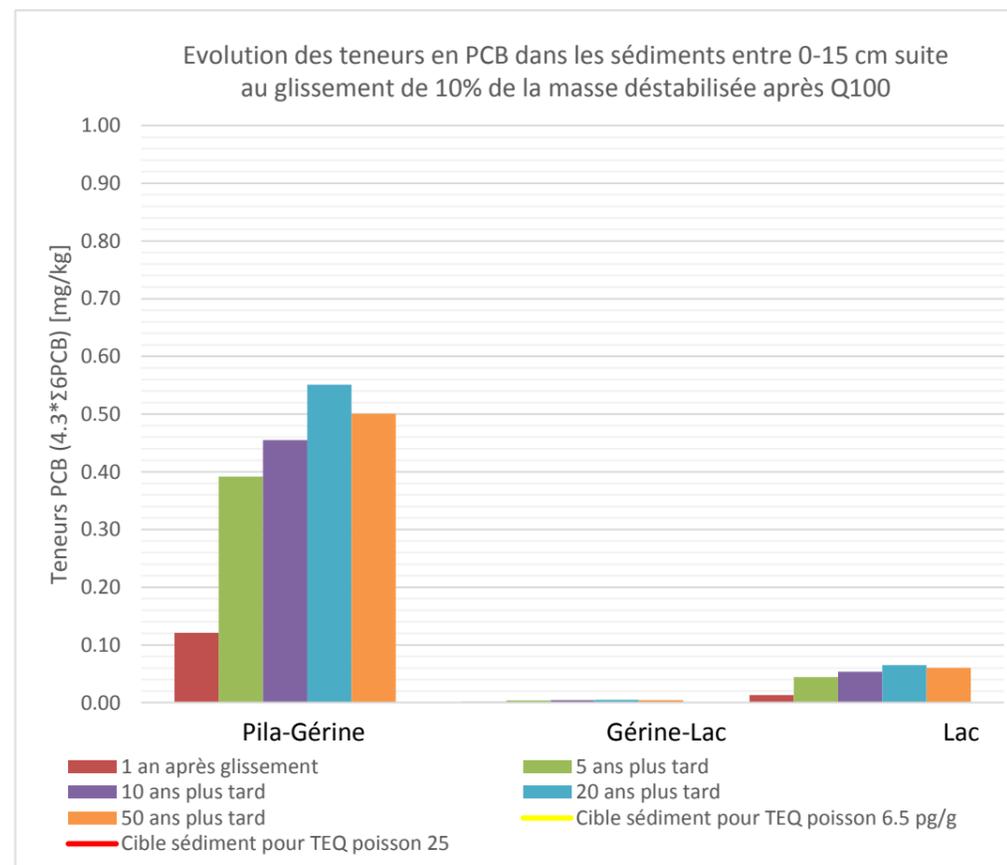
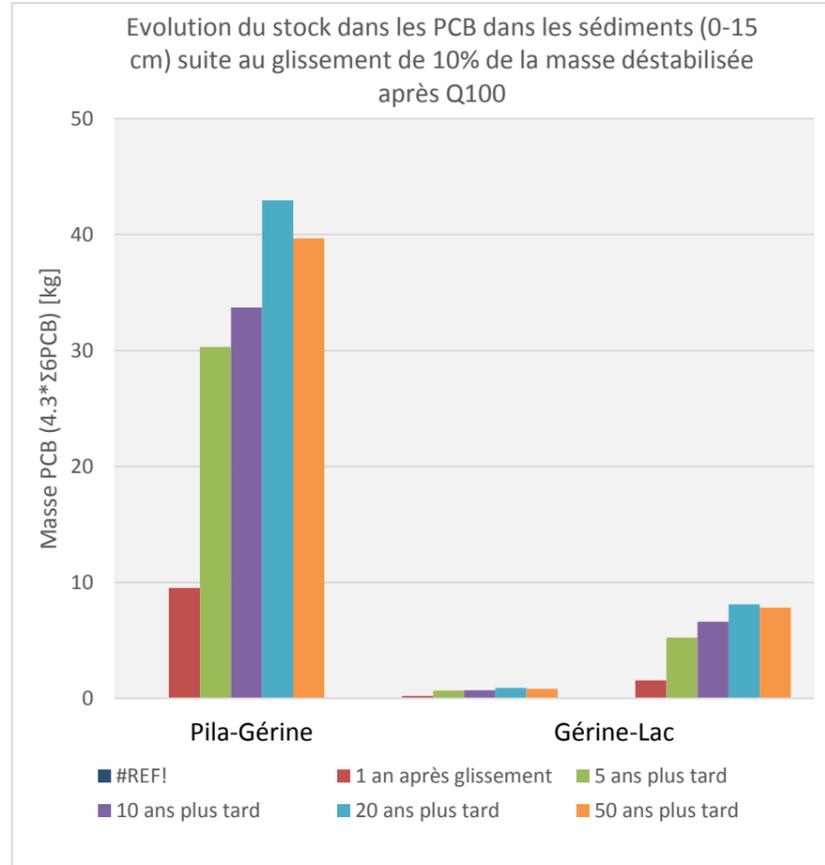
Pour comparaison		
Stock PCB	2'016	Modèle
dans la couche	19	48
dans les couches	139	380
<b>Ratio</b>	<b>0.14</b>	<b>0.13</b>

**7ème étape: Calcul de la teneur PCB dans la fraction < 2mm pour la couche 0-15 cm (biodisponible à la faune benthique)**

**Base de calcul** Masse sédiment selon onglet "Synthèse sédiment"  
 Stock PCB fraction < 2 mm : résultats étape 5

**Calcul**  $Stock\ PCB\ fraction\ < 2\ mm \times masse\ sédiment$

PCB disponible aux poissons (0-15 cm)		Pila Gérine	Gérine - Lac	Lac
<b>Masse sédiments &lt; 2mm (0-15 cm)</b>	kg	3'296'168	9'794'260	55'128'388
<b>Teneurs PCB (4.3*Σ6PCB)</b>				
1 an après glissement	mg/kg	0.12	0.0012	0.01
5 ans plus tard	mg/kg	0.39	0.0037	0.04
10 ans plus tard	mg/kg	0.45	0.0042	0.05
20 ans plus tard	mg/kg	0.55	0.0051	0.06
50 ans plus tard	mg/kg	0.50	0.0046	0.06
Teneurs 2016 fraction < 2mm (0-15 cm)	mg/kg	0.40	0.006	0.03





## **Annexe 6.3.1**

### **Matrice de corrélation et distribution des congénères**

### **6.3.1 Matrice de corrélation, distribution des congénères**

En comparant la distribution des congénères iPCB (% congénère/iPCB) dans l'eau, les sédiments, les MES, les déchets de la Pila et les poissons, il apparaît clair qu'un lien existe entre :

- les gammares et les MES
- les gammares et les sédiments
- les déchets et les gammares

Voir deux figures suivantes.

	Eaux sout PCB diss aout 16	CP Eaux Sarine amont	CP Eaux Sarine Pila Gérine	CP Eaux Sarine Gérine - Lac	CP Eaux Sarine - Lac	MES Amont Sarine dur. Année	MES Passerelle Gérine dur. Année	MES Pont Pérolles dur. Année	Sédiment Amont Pila	Sédiment Pila Gérine	Sédiments Gérine Pérolles	Sédiment Lac Pérolles	Eaux sout PCBpart crue16	Eaux sout PCBdiss crue 16	MES Sarine amont crue 16	MES Sarine aval Pila crue 16	Gammares: amont STEP	Gammares : Pila_Gérine	Gammares: Gérine - Lac	Poisson Pila Gérine	Poisson Gérine - Lac Pérolles	Poisson Lac Pérolles	Forages décharge	Dechets hotspot test lib PCBdiss	Dechets hotspot test lib PCBpart	Sarine alluvion mesure urg	Condensateur test lib PCBdiss	Condensateur test lib PCBpart
Eaux sout PCB diss aout 16	1																											
CP Eaux Sarine amont	0.79	1.00																										
CP Eaux Sarine Pila Gérine	0.94	0.92	1.00																									
CP Eaux Sarine Gérine - Lac	0.99	0.77	0.94	1.00																								
CP Eaux Sarine - Lac	1.00	0.78	0.94	1.00	1.00																							
MES Amont Sarine dur. Année	0.55	0.90	0.79	0.53	0.55	1.00																						
MES Passerelle Gérine dur. Année	0.13	0.64	0.40	0.11	0.12	0.82	1.00																					
MES Pont Pérolles dur. Année	0.45	0.71	0.67	0.47	0.47	0.88	0.82	1.00																				
Sédiment Amont Pila	-0.52	-0.16	-0.43	-0.60	-0.57	-0.01	0.41	-0.10	1.00																			
Sédiment Pila Gérine	0.18	0.51	0.41	0.20	0.20	0.72	0.88	0.93	0.12	1.00																		
Sédiments Gérine Pérolles	0.68	0.63	0.77	0.72	0.71	0.69	0.39	0.83	-0.62	0.64	1.00																	
Sédiment Lac Pérolles	0.65	0.72	0.78	0.70	0.68	0.74	0.53	0.86	-0.53	0.72	0.95	1.00																
Eaux sout PCBpart crue16	0.88	0.69	0.83	0.93	0.90	0.44	0.12	0.45	-0.68	0.26	0.73	0.79	1.00															
Eaux sout PCBdiss crue 16	1.00	0.76	0.93	1.00	1.00	0.52	0.09	0.45	-0.58	0.17	0.70	0.67	0.90	1.00														
MES Sarine amont crue 16	-0.42	0.10	-0.19	-0.44	-0.43	0.36	0.81	0.44	0.77	0.68	-0.11	0.03	-0.40	-0.46	1.00													
MES Sarine aval Pila crue 16	-0.16	0.32	0.09	-0.17	-0.16	0.59	0.92	0.73	0.50	0.90	0.27	0.40	-0.10	-0.19	0.92	1.00												
Gammares: amont STEP	-0.09	0.40	0.15	-0.10	-0.10	0.66	0.92	0.74	0.44	0.83	0.32	0.45	-0.04	-0.12	0.83	0.95	1.00											
Gammares : Pila_Gérine	0.07	0.48	0.32	0.09	0.08	0.75	0.88	0.89	0.14	0.92	0.60	0.69	0.16	0.06	0.68	0.90	0.94	1.00										
Gammares: Gérine - Lac	0.04	0.49	0.28	0.03	0.03	0.73	0.92	0.83	0.31	0.88	0.46	0.58	0.09	0.01	0.76	0.93	0.99	0.98	1.00									
Poisson Pila Gérine	-0.22	0.07	0.04	-0.20	-0.18	0.45	0.50	0.62	0.04	0.65	0.43	0.34	-0.25	-0.21	0.47	0.60	0.50	0.64	0.53	1.00								
Poisson Gérine - Lac Pérolles	-0.21	0.02	0.02	-0.20	-0.18	0.39	0.39	0.52	0.04	0.52	0.36	0.23	-0.32	-0.20	0.38	0.47	0.36	0.50	0.39	0.98	1							
Poisson Lac Pérolles	-0.34	-0.15	-0.14	-0.34	-0.32	0.22	0.24	0.34	0.08	0.35	0.19	0.04	-0.46	-0.34	0.32	0.35	0.22	0.34	0.23	0.93	0.98	1						
Forages décharge	0.88	0.86	0.88	0.85	0.86	0.69	0.48	0.60	-0.11	0.42	0.57	0.63	0.75	0.85	0.01	0.21	0.28	0.32	0.36	-0.19	-0.23	-0.39	1.00					
Dechets hotspot test lib PCBdiss	0.97	0.76	0.95	0.98	0.98	0.60	0.17	0.58	-0.60	0.30	0.81	0.75	0.87	0.98	-0.39	-0.08	-0.04	0.18	0.10	0.00	-0	-0.14	0.82	1.00				
Dechets hotspot test lib PCBpart	0.38	0.59	0.59	0.42	0.42	0.78	0.72	0.97	-0.26	0.91	0.88	0.90	0.47	0.39	0.36	0.68	0.66	0.87	0.76	0.67	0.56	0.39	0.45	0.54	1.00			
Sarine alluvion mesure urg	0.24	0.53	0.48	0.28	0.27	0.77	0.79	0.96	-0.11	0.96	0.79	0.82	0.33	0.25	0.50	0.79	0.75	0.92	0.83	0.74	0.63	0.46	0.37	0.40	0.98	1.00		
Condensateur test lib PCBdiss	0.97	0.76	0.95	0.97	0.97	0.62	0.21	0.60	-0.54	0.33	0.80	0.73	0.84	0.97	-0.34	-0.05	-0.01	0.19	0.12	0.02	0.03	-0.11	0.84	1.00	0.54	0.42	1.00	
Condensateur test lib PCBpart	0.24	0.53	0.48	0.27	0.27	0.76	0.80	0.96	-0.11	0.96	0.78	0.82	0.33	0.24	0.51	0.79	0.76	0.92	0.83	0.74	0.63	0.46	0.37	0.40	0.98	1.00	0.41	1.00

Figure 1 Aperçu de la matrice de corrélation obtenue, avec les coefficients de corrélation obtenus pour les gammares, les MES et les déchets (> 0.60) surlignés en rouge

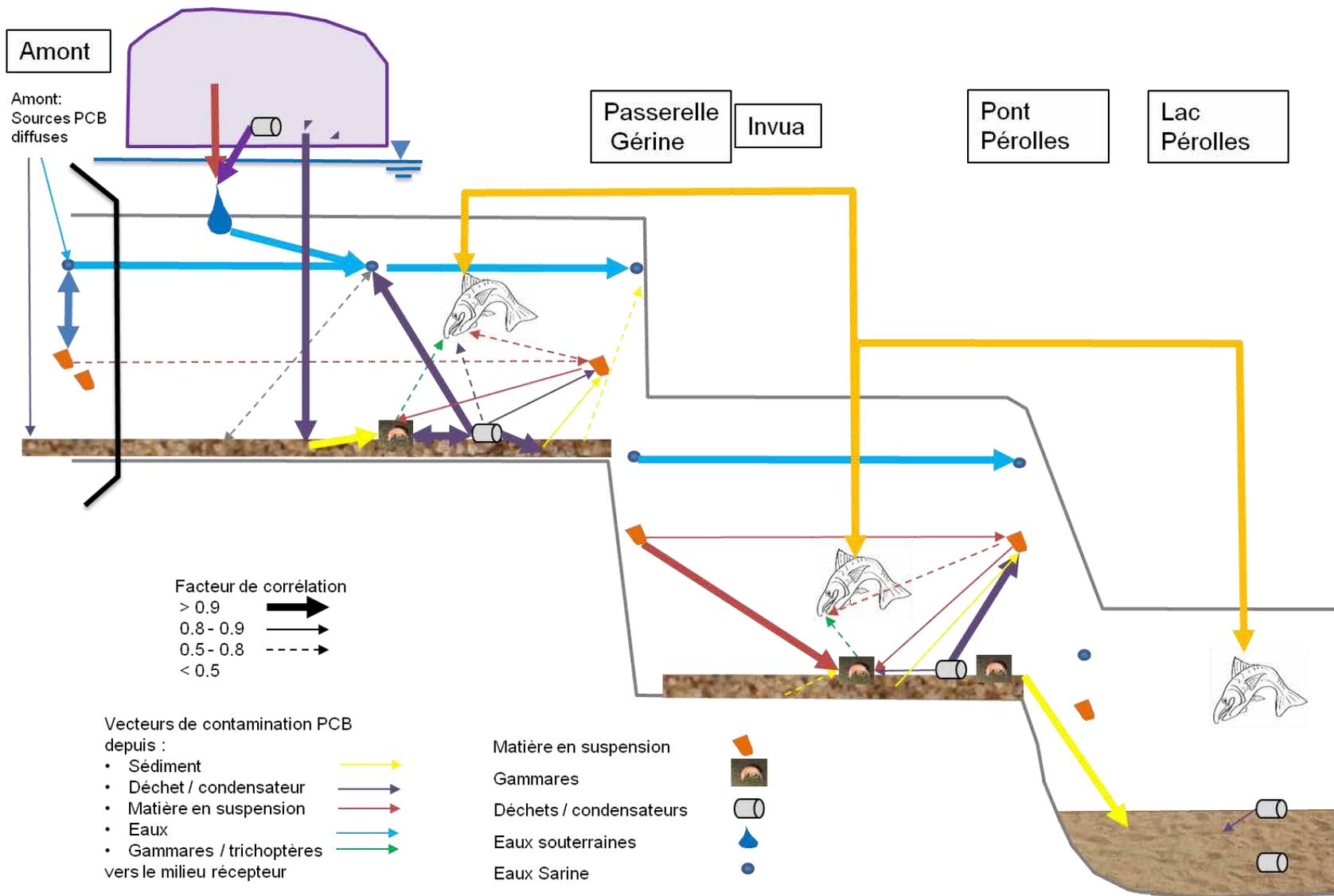


Figure 2 schéma

Distribution des congénères; tous les liens >0.5 établis dans la matrice de corrélation (page précédente) sont illustrés dans ce schéma

## **Annexe 6.3.2**

### **Détermination seuils sédiment et eau**

## ANNEXE 6.3.2 DÉTERMINATION DE SEUILS SÉDIMENT ET EAU

PILA MESURES COMPLÉMENTAIRES

Fribourg, le 20.06.2017  
FR2706.917.600



**TABLE DES MATIÈRES**

<b>1. DÉTERMINATION DE SEUILS SÉDIMENTS SELON L'APPROCHE BSAF</b>	<b>1</b>
<b>2. DÉTERMINATION DE SEUILS EAU AVEC UN FACTEUR DE BIOCONCENTRATION</b>	<b>7</b>
<b>3. RÉFÉRENCES</b>	<b>11</b>

**LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1-1	Erreur type II et efficacité globale avec cible poissons 6.5 pg/g TEQ05	4
Tableau 1-2	Seuils sédiments, erreur type II et efficacité globale pour chacun des seuils poissons (6.5 et 25 pg/g)	4
Tableau 1-3	Compilation des concentrations en PCB mesurées dans des sédiments en Suisse	5
Tableau 2-1	Seuils PCB eau, selon trois concentrations fixées dans la truite (3.3, 6-5 et 25 pg/g TEQ05)	9
Tableau 2-2	Concentrations en PCB dissous mesurées dans les cours d'eau en Suisse	9

**LISTE DES FIGURES**

Figure 1-1	Distribution des congénères dans les truites et les sédiments de la Sarine analysés en 2016	2
Figure 1-2	Corrélations entre les unités TEQ05, PCB 6i et le congénère 101, pour des échantillons de truites de la Sarine en 2016	3
Figure 1-3	Concentration PCB seuil poisson = 6.5 pg/g TEQ05 (ligne rouge horizontale) et concentration PCB seuil sédiment obtenu (=0.058 mg/kg somme iPCB x 4.3, ligne rouge verticale) en utilisant un BSAF médian (=13). Axes en échelles log.	3
Figure 1-4	Corrélation entre les unités 6 indicateurs et 7 indicateurs, dans les sédiments de la Sarine < 2 mm en 2016	6
Figure 1-5	Seuils sédiments comparés aux concentrations mesurées dans les sédiments < 2 mm de la Sarine en 2016	7
Figure 2-1	Distribution des congénères dans les truites et l'eau de la Sarine	8
Figure 2-2	Seuils eau comparés aux concentrations en PCB dissous mesurées dans la Sarine en 2016	10

**ANNEXES**

Annexe A	Données utilisées pour le calcul du BSAF et valeurs bsaf	12
----------	--	----



## 1. Détermination de seuils sédiments selon l'approche BSAF

Compte tenu du caractère central des sédiments/déchets pour expliquer la contamination actuelle et potentielle future des truites, des démarches ont été entreprises pour préciser un seuil sédiment propre à la Sarine, c'est-à-dire une concentration en PCB dans les sédiments qui serait liée à une truite consommable sans restriction (6.5 pg/g TEQ05)<sup>[1]</sup> et qui n'impliquerait pas l'interdiction de la pêche (25 pg/g TEQ05) selon le canton de Fribourg<sup>1</sup>. Ces démarches sont basées sur le *Biota Sediment Accumulation Factor* (BSAF), c'est-à-dire le ratio entre la concentration du contaminant dans le biote (Cb) versus dans les sédiments (Cs) :

$$\text{BSAF} = \text{Cb}/\text{Cs}$$

Les principaux avantages du BSAF sont :

- 1) l'usage de données analytiques relativement simples Cs et Cb
- 2) le lien direct possible entre des seuils réglementaires biote (ex. 6.5 pg/g TEQ05 pour le poisson) à une valeur de concentration dans les sédiments et vice-versa.

Son principal désavantage est justement sa simplicité, parce qu'il suppose un lien direct entre le biote et le sédiment, alors que la réalité est plus complexe. L'approche BSAF a tout de même été adoptée ici, mais ses limites d'interprétations ont été considérées et plusieurs éléments de calculs ont été repris d'études publiées visant à établir des seuils de concentration en PCB dans les sédiments. L'une de ces études concerne des barbeaux pêchés dans la rivière Rhône<sup>[2][3]</sup>, alors qu'une autre étude concerne plusieurs espèces de poissons dont la truite arc-en-ciel, pêchées dans 4 grands lacs<sup>[4]</sup>.

Il est parfois pertinent, par exemple lorsque l'on veut comparer différents sites et différentes espèces de poissons entre eux, de normaliser le Cb avec la teneur en lipide et le Cs avec le carbone organique total. Dans le cas présent cependant, puisque le site (Pila-Lac Pérolles) et l'espèce de poissons (truite) demeurent fixes, les BSAF sont calculés sans normalisation des valeurs Cb et Cs (voir exemple Bhavsar et al. 2010<sup>[4]</sup>).

Les concentrations Cb et Cs correspondent ici aux concentrations en PCB mesurées dans la truite (Cb) et les sédiments de la Sarine (Cs). Celles-ci sont disponibles pour les 6 congénères i-PCB (truites, sédiments) et pour les 12 congénères dl-PCB (truites). Un seul congénère PCB, le congénère i-PCB 101, est utilisé ici pour le calcul des BSAF (voir Babut et al. 2012<sup>[3]</sup>). L'utilisation d'un seul congénère pour le calcul du BSAF est justifiée en partie théoriquement, parce que les différents congénères ont des propriétés propres, notamment en termes de bioaccumulation d'un niveau trophique à un autre<sup>[5]</sup>. L'utilisation du congénère 101 dans le cas de la Sarine est justifié par la grande abondance relative de ce congénère, par rapport aux autres congénères i-PCB, à la fois dans les truites et les sédiments (figure ci-dessous).

---

<sup>1</sup> [http://www.fr.ch/pila/fr/pub/actualites.cfm?fuseaction\\_pre=Detail&NewsID=58212](http://www.fr.ch/pila/fr/pub/actualites.cfm?fuseaction_pre=Detail&NewsID=58212)

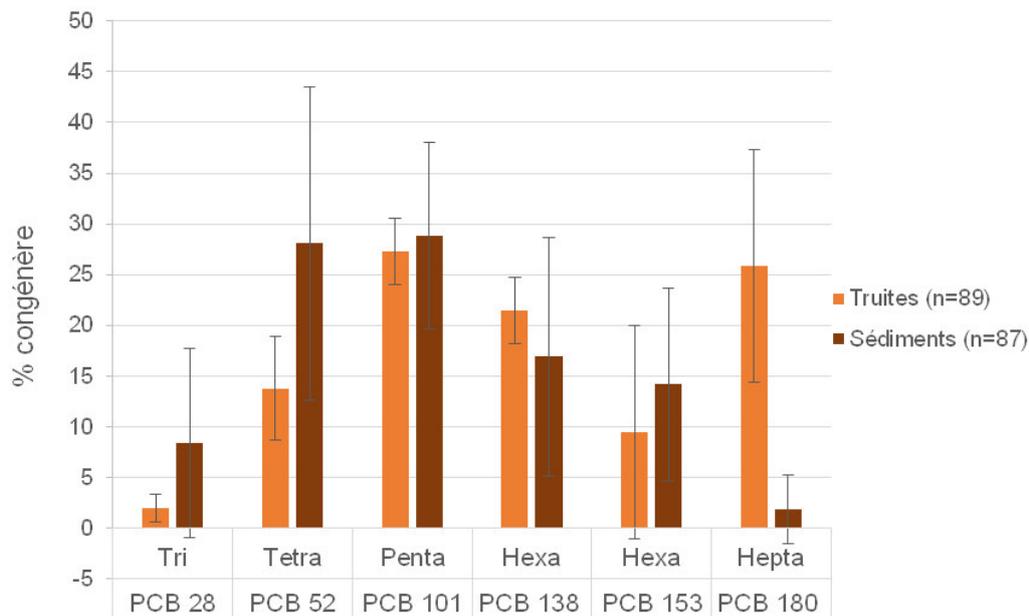


Figure 1-1 Distribution des congénères dans les truites et les sédiments de la Sarine analysés en 2016

Le choix d'association sédiment-biote pour le calcul du BSAF doit se faire avec précautions. Bukhard et al. (2009)<sup>[6]</sup> suggère d'abord d'identifier les sites-sédiments où se nourrissent les poissons, puis de considérer des intervalles de temps similaire pour les sédiments (profondeurs d'échantillonnage) et les poissons d'une même espèce et d'âges similaires. Étant donné la ressemblance des tendances de concentrations en PCB entre les tronçons (voir Figures 2-5 et 2-35 du rapport principal); 1) les truites du secteur Pila-Gérine sont associées aux sédiments du secteur Pila-Gérine, 2) les truites du secteur Gérine-Lac sont associées aux sédiments du secteur Gérine-Lac et 3) les truites du secteur Lac Pérolles sont associées aux sédiments du secteur Lac Pérolles. Tous les sédiments considérés proviennent de la couche 0-15 cm. Bien qu'aucune analyse n'ait permis de déterminer avec précision les taux de sédimentation des différents tronçons, il est assumé que ces couches 0-15 cm représentent approximativement le même intervalle de temps. Toutes les truites considérées pour le calcul du BSAF ont un âge d'environ 2 ans ou moins. Les âges ont été déterminés à partir de la scalimétrie directement, ou par une relation poids-âge (voir Figure 2-40 du rapport principal). Puisque la précision de la scalimétrie est de  $\pm 1$  an, les truites ayant un âge compris entre 0 et 3 ans ont été sélectionnées. Grâce à cette limitation de l'âge des truites, les individus qui auraient été exposés au milieu avant la fin des principaux travaux des mesures préliminaires à l'assainissement en octobre 2013<sup>2</sup> ne sont ainsi pas pris en compte.

Toutes les données de base avec le congénère 101 ayant servi à former des couples Cb(truites)-Cs(sédiments) se retrouvent en Annexe A de ce document. Le nombre total de couple possible est de 1'325. Les valeurs BSAF du premier quartile (Q1), de la médiane et du troisième quartile (Q3) sont est égales à 4, 13 et 26, respectivement. À titre de comparaison, Bhasvar et al. (2010)<sup>[4]</sup> a effectué des calculs sur la base des PCB totaux et trouvent des BSAF compris entre 3 et 20, pour la truite arc-en-ciel dans différents lacs.

Des seuils sédiments ont été déterminés, en fixant le poisson (Cb) à 6.5 pg/g et 25 pg/g TEQ05. Ces valeurs ayant des unités TEQ05, elles sont d'abord converties en somme des 6 iPCB, puis en PCB congénère 101 sur la base de corrélations obtenues à partir des données de la Sarine (voir figures suivante).

<sup>2</sup> Excavation des matériaux dans le lit mouillé de la Sarine et reconstitution d'une berge provisoire en gabions.

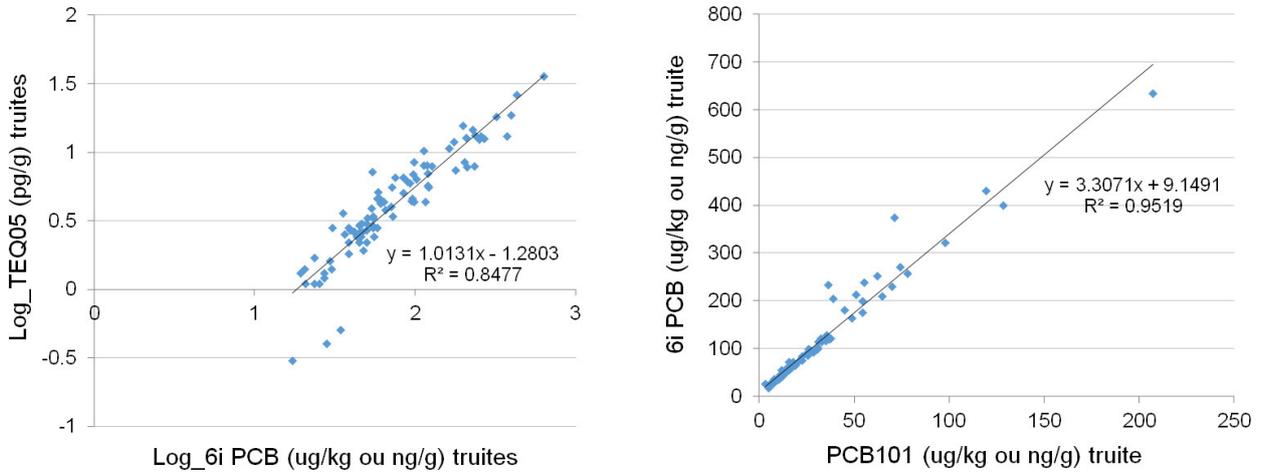


Figure 1-2 Corrélations entre les unités TEQ05, PCB 6i et le congène 101, pour des échantillons de truites de la Sarine en 2016

Le seuil sédiment peut être fixé avec la valeur BSAF Q1, médiane ou Q3. Afin de choisir la valeur BSAF la plus appropriée, les erreurs type II et les efficacités ont été estimées pour chaque valeur (voir Babut et al. 2011<sup>[2]</sup>). La figure ci-dessous montre un exemple de détermination d'erreur type II et d'efficacité, pour un seuil poisson fixé à 6.5 pg/g TEQ05 et une valeur BSAF médiane (13).

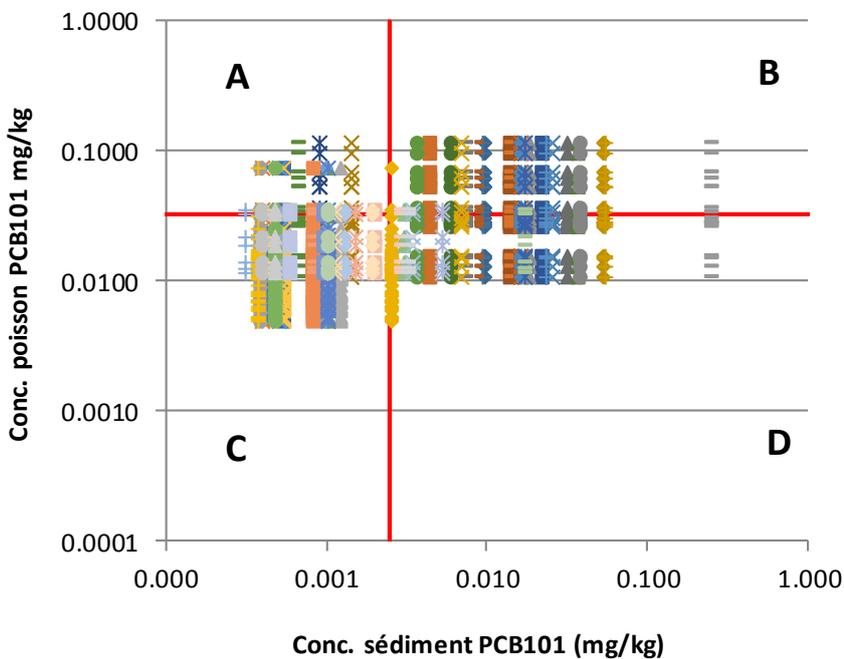


Figure 1-3 Concentration PCB seuil poisson = 6.5 pg/g TEQ05 (ligne rouge horizontale) et concentration PCB seuil sédiment obtenu (=0.058 mg/kg somme iPCB x 4.3, ligne rouge verticale) en utilisant un BSAF médian (=13). Axes en échelles log.

Les points colorés de la figure illustrent toutes les données « X = concentration PCB sédiment » et « Y = concentration PCB truite » composant les 1'325 couples de BSAF. Les lignes rouges représentent les seuils. Le seuil sédiment avec un BSAF médian équivaut à « X = 0.002 mg/kg PCB 101 ou 0.058 mg/kg somme 6 iPCB x 4.3 », alors que le seuil poissons équivaut à « Y = 6.5 pg/g TEQ05 ou 0.032 mg/kg PCB101 ». Chaque cadran du graphique (A, B, C, D) renferme des données au-dessus ou en dessous des seuils. L'erreur type II et l'efficacité globale se calculent comme ceci :

$$\text{Erreur type II \%} = A/(A+C) \times 100$$

$$\text{Efficacité globale \%} = (B+C)/(A+B+C+D) \times 100$$

Avec A, B, C et D correspondants aux nombre de données compris dans le cadran. L'erreur type II et l'efficacité globale des seuils sédiments, calculés avec un seuil poisson de 6.5 pg/g TEQ05 et des BSAF Q1, médian et Q3, sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1-1 Erreur type II et efficacité globale avec cible poissons 6.5 pg/g TEQ05

BSAF	erreur type II %	efficacité globale %
Q1	15	75
médian	12	71
Q3	11	67

Conceptuellement, l'erreur type II décrit la chance, dans le cas où le seuil sédiment est respecté (ici < 0.058 mg/kg somme 6 iPCB x 4.3), de se retrouver avec des poissons contaminés (ici > 6.5 pg/g TEQ05). L'erreur type II est relativement faible (< 20%) dans les trois cas présentés ci-dessus. En ce qui concerne l'efficacité globale, elle reflète les chances 1) d'avoir un poisson contaminé lorsque le seuil sédiment est dépassé et 2) d'avoir un poisson propre lorsque le seuil sédiment est respecté. L'efficacité globale est supérieure à 65% dans les trois cas présentés ci-dessus. Afin d'obtenir un compromis entre l'erreur de type II et l'efficacité globale, le BSAF médian est utilisé pour calculer les seuils sédiments. Les limites poissons fixées (6.5 et 25 pg/g), les seuils sédiments obtenus ainsi que l'erreur type II et l'efficacité globale pour chacun des seuils se retrouvent dans le tableau suivant.

Tableau 1-2 Seuils sédiments, erreur type II et efficacité globale pour chacun des seuils poissons (6.5 et 25 pg/g)

Seuil poisson pg/g TEQ05	Seuil sédiment mg/kg somme 6 iPCB x 4.3	Erreur Type II %	Efficacité globale %
6.5	0.058	12	71
25	0.161	17	75

Les seuils sédiments correspondent donc à 0.058 et 0.161 mg/kg, en unités somme des 6 i-PCB x 4.3. Afin de mettre en perspective ces valeurs, une compilation de concentrations en PCB dans des sédiments est présentée dans le tableau suivant.

Tableau 1-3 Compilation des concentrations en PCB mesurées dans des sédiments en Suisse

Référence	Endroit	Échantillon	Type de concentration	Unités originales	Intervalle de concentration mg/kg 6i x 4.3	Valeur max mg/kg 6 i x 4.3
Pavlova et al. (2016) <sup>[7]</sup>	Lac glaciaire Silvretta	carotte 1950-2010	mesures	6 iPCB	0.00043-0.00344	0.003
Ioza et al. (2008) <sup>[8]</sup>	Lac Thoune	carotte 1890-2010	mesures	6 iPCB	0.0056-0.0077	0.008
Schmid et al. (2010) <sup>[1]</sup>	Divers endroits en Suisse	divers	"contamination faible"	6 iPCB	0.0043-0.043	0.043
Zennegg et al. (2016) <sup>[9]</sup>	Rivière Aare	< 0.063 mm	mesures	6 iPCB	0.005-0.056	0.056
Bhavsar et al. (2010) <sup>[4]</sup>	4 grands lacs	surface 0-3 cm	seuil consommation poissons (4 espèces)	PCB totaux	0.001-0.060	0.060
Fluck et al. (2014) <sup>[10]</sup>	-	-	seuil d'effet faune benthique (TEC)	PCB totaux	0.0598	0.060
Zennegg et al. (2016) <sup>[9]</sup>	Rivière Birse	-	mesures	6 iPCB	0.015-0.077	0.077
Babut et al. (2012) <sup>[3]</sup>	Bassin Rhône-Méditerranée	-	seuil poissons (barbeau) réglementaire	somme 7	0.087	0.087
Pardos et al. (2003) <sup>[11]</sup>	10 cours d'eau suisses (Rhin, Limmat, Birse, etc.)	< 0.063 mm	mesures	somme 7	0.00107-0.10698	0.107
Thevenon et al. (2013) <sup>[12]</sup>	Lac Brêt	carotte 1930-2010	mesures	6 iPCB	0.0043-0.1191	0.119
Zennegg et al. (2007) <sup>[13]</sup>	Greifensee	carotte 1852-1996	mesures	6 iPCB	0.00155-0.5666	0.567
Fluck et al. (2014) <sup>[10]</sup>	-	-	seuil d'effet probable faune benthique (PEC)	PCB totaux	0.676	0.676

- non spécifié

#### Légende valeur max

	environ 33% des valeurs inférieures
	reste (environ 33%) des valeurs
	environ 33% des valeurs supérieures

Cette compilation regroupe des valeurs de concentrations mesurées dans des sédiments en Suisse, de même que des valeurs seuils tirées ou non des documents de la confédération (OFEV ou OFEFP). Les valeurs originales ont été converties en unités somme des 6 x 4.3 mg/kg. Lorsque les unités originales étaient en somme 7, une conversion (somme 7 → somme 6) dérivée des mesures dans la Sarine a été appliquée (voir figure ci-dessous).

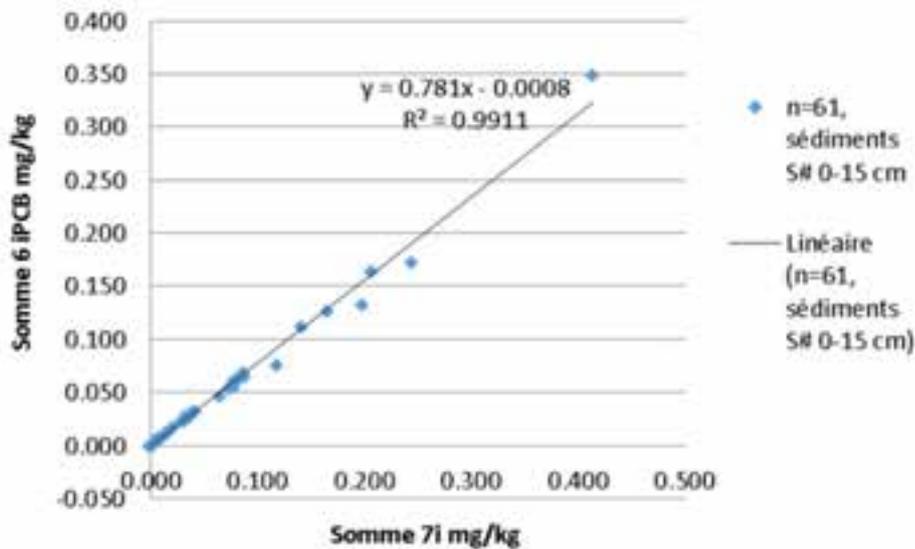


Figure 1-4 Corrélation entre les unités 6 indicateurs et 7 indicateurs, dans les sédiments de la Sarine < 2 mm en 2016

Il est assumé que les PCB totaux représentent l'équivalent des unités somme 6 x 4.3. Les valeurs maximales de concentrations ont été classées en ordre croissant et séparées conceptuellement en trois classes-couleur ; vert, jaune et rouge. Ces catégories servent uniquement de repères, pour comparer les seuils sédiments déterminés ici. Ainsi, le seuil 0.058 mg/kg se retrouve entre les catégories verte (contamination faible, mesures aux lacs glaciaire Silvretta et de Thoune) et jaune (seuil de consommation de poisson sans restriction dans 4 grands lacs, seuil d'effet sur la faune benthique). Pour sa part, le seuil sédiment 0.161 mg/kg se retrouve dans la catégorie rouge, entre deux concentrations mesurées dans des couches sédimentaires datant de 1960 à 1970, l'une dans le Lac Brêt (canton de Vaud) et l'autre dans le Lac de Greifen (canton de Zurich). Les deux seuils déterminés ici (0.058 et 0.161 mg/kg) se comparent bien au seuil sédiment déterminé dans le bassin Rhône-Méditerranée (0.087 mg/kg) afin d'assurer un barbeau réglementaire c'est-à-dire < 8 pg/g TEQ98 ou 6.5 pg/g TEQ05. Même arrondi, le seuil 0.161 mg/kg (~ 0.200 mg/kg) demeure inférieur au seuil d'effet probable sur la faune benthique (0.676 mg/kg). Le respect du seuil d'effet probable sur la faune benthique ne garantirait donc pas un poisson < 25 pg/g TEQ05 dans la Sarine.

Il faut souligner que les seuils 0.058 et 0.161 mg/kg ont été déterminés sur des sédiments tamisés, correspondant à la fraction granulométrique < 2 mm. Leur application à des fractions plus grossières, si nécessaire, passe donc par une conversion appropriée. De plus, l'efficacité globale des seuils n'est pas de 100%, mais plutôt de 71 et 75 % (voir Tableau 1-2). Comme expliqué précédemment, l'efficacité globale reflète les chances de 1) avoir un poisson supérieur à la limite fixée si le seuil sédiment est dépassé et 2) avoir un poisson respectant la limite fixés si le seuil sédiment est respecté.

La figure ci-dessous illustre les concentrations en PCB mesurées dans les sédiments de tous les tronçons en 2016 (fraction < 2 mm), comparées directement aux seuils 0.058 et 0.161 mg/kg.

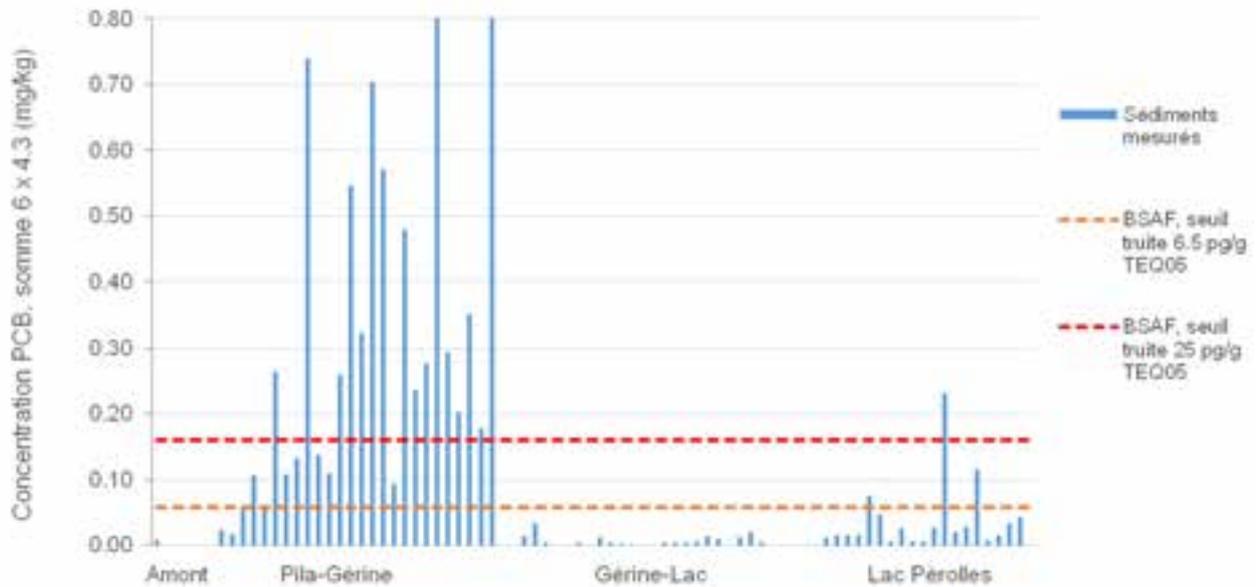


Figure 1-5 Seuils sédiments comparés aux concentrations mesurées dans les sédiments < 2 mm de la Sarine en 2016

Sur le secteur Pila-Gérine en 2016, plusieurs valeurs de concentrations en PCB dans les sédiments dépassent les seuils 0.058 et 0.161 mg/kg (92 et 62% de dépassements, respectivement).

## 2. Détermination de seuils eau avec un facteur de bioconcentration

Le facteur de bioconcentration eau→poisson utilisé est de 100'000<sup>[9]</sup>. Tout comme le  $K_{OW}$ , le taux d'évaporation et la solubilité, le facteur de bioconcentration change selon le degré de chloration des congénères<sup>[1]</sup>. Le facteur 100'000 correspond ainsi au pentachlorobiphényle incluant le congénère PCB101. Comme mentionné précédemment, le congénère 101 est le plus abondant de tous les i-PCB présents dans les poissons de la Sarine. Dans l'eau de la Sarine, le congénère 101 est le deuxième plus abondant (voir figure suivante).

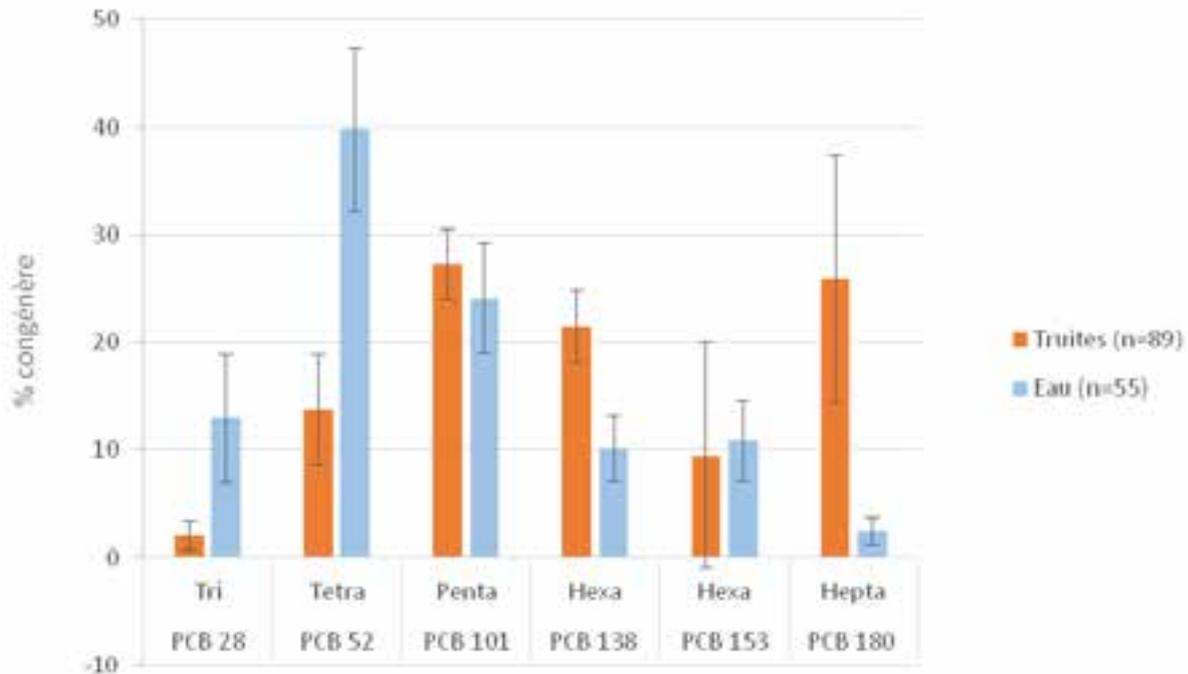


Figure 2-1 Distribution des congénères dans les truites et l'eau de la Sarine

De plus, le congénère pentachloré (Penta) se retrouve en milieu de distribution des i-PCB, en termes de degré de chloration (Tri, Tetra, **Penta**, Hexa et Hepta). Il est donc sensé d'utiliser un facteur de bioconcentration 100'000, lié au congénère pentachloré, pour simuler l'accumulation eau→poisson des i-PCB dans la Sarine.

La même approche que celle utilisée précédemment est donc employée pour déterminer des seuils « eau » propres à la Sarine, c'est-à-dire des concentrations en PCB dissous qui seraient liés à une truite consommable sans restriction (6.5 pg/g TEQ05)<sup>[1]</sup> et qui n'impliquerait pas l'interdiction de la pêche (25 pg/g TEQ05) selon le canton de Fribourg<sup>3</sup>. Un seuil poisson additionnel (4 pg/g TEQ098) est considéré pour les calculs. Cette valeur est tirée du Tableau 10 de Schmid et al. (2010)<sup>[1]</sup>, dans lequel la plage de valeurs 0 à 4 pg/g TEQ98 dans le poisson correspond entre autres aux effets toxiques suivants : la perturbation du développement embryonnaire, la mortalité accrue des embryons et des troubles de la reproduction. Or dans l'Ordonnance sur la protection des eaux (OEaux), l'Annexe 2 concernant les exigences générales liées aux eaux superficielles précise que « La qualité des eaux doit être telle que les eaux propices au frai des poissons soient conservées. ». La valeur 4 pg/g TEQ98 (3.3 pg/g TEQ05) représente donc la limite supérieure de quantité de PCB retrouvée dans le poisson, permettant de satisfaire aux exigences de l'OEaux concernant le frai des poissons. Les seuils « eau » obtenus en fixant le poisson à 3.3, 6.5 et 25 pg/g TEQ05 sont affichés dans le tableau suivant :

<sup>3</sup>[http://www.fr.ch/pila/fr/pub/actualites.cfm?fuseaction\\_pre=Detail&NewsID=58212](http://www.fr.ch/pila/fr/pub/actualites.cfm?fuseaction_pre=Detail&NewsID=58212)

Tableau 2-1 Seuils PCB eau, selon trois concentrations fixées dans la truite (3.3, 6-5 et 25 pg/g TEQ05)

Concentration en PCB fixée dans la truite			Concentration en PCB estimée dans l'eau	
pg/g TEQ05	pg/g TEQ98	pg/g somme 6 iPCB	ng/L somme 6	ng/L somme 6 x 4.3
3.3	4.0	50'000	0.5	2.2
6.5	8.0	100'000	1.0	4.3
25	31	384'615	3.8	17

Les seuils eaux sont donc estimés à 2.2, 4.3 et 17 ng/L somme des 6 x 4.3. Afin de mettre en perspective ces seuils, des données de concentrations en PCB dans des eaux de surface sont compilées dans le tableau suivant.

Tableau 2-2 Concentrations en PCB dissous mesurées dans les cours d'eau en Suisse

Référence	Endroit	Type d'échantillonnage et de concentration	Unités originales	Intervalle de conc.	Valeur max
				ng/L 6i x 4.3	ng/L 6i x 4.3
Bogdal et al. (2010) <sup>[14]</sup>	Lac Thoune	échantillons d'eau, mesures	6 iPCB	0.0688-0.344	0.34
Pavlova et al. (2016) <sup>[7]</sup>	cours d'eau, lac glaciaire Silvretta	capteurs passifs et échantillons d'eau, mesures	6 iPCB	0.043-0.43	0.43
Zennegg et al. (2016) <sup>[9]</sup> , Annexe	Birse sans contamination spécifique aux PCBs	capteurs passifs, mesures	6 iPCB	0.688-1.376	1.38
Schmid et al. (2010) <sup>[1]</sup> , page 59 VF sous-référence aux travaux de la CIPR	Rhin	grandeur indicative pour l'évaluation de la pollution des eaux	6 iPCB	2.58	2.58
Zennegg et al. (2016) <sup>[9]</sup>	Canal 2 usine Choindez K2, Arrivée d'eau	capteurs passifs, mesures	6 iPCB	15-516	516.00
Présente étude	Pila "hotspot" en 2010	capteurs passifs, mesures	-	-	565.40*

\*valeur moyenne en 2010

### Légende valeur max

	environ 33% des valeurs inférieures
	reste (environ 33%) des valeurs
	environ 33% des valeurs supérieures

Les données du tableau se réfèrent principalement à des mesures effectuées dans des cours d'eau en Suisse, à l'aide d'échantillons ponctuels d'eau ou de capteurs passifs. La seule valeur indicative (2.58 ng/L) est celle tirée de Schmid et al. (2010), laquelle se réfère aux travaux de la CIPR. En consultant le travail de

la CIPR cité dans Schmidt et al. (2010), la méthodologie liée à cette valeur de 2.58 ng/L demeure floue. Il n'en reste pas moins qu'elle se rapproche de la valeur seuil 2.2 ng/L calculée sur la base d'une truite fixée à 4 pg/gTEQ98. Les valeurs maximales rapportées dans les différentes références sont classés conceptuellement en trois catégories couleur ; vert, jaune et rouge. Ces classes ne servent que de repères pour juger des seuils calculés. Ainsi, le seuil 2.2 ng/L se retrouve dans la catégorie jaune, entre un cours d'eau affecté par une pollution aux PCBs (Birse, 1.38 ng/L) et la valeur indicative pour l'évaluation de la pollution des eaux, repris des travaux de la CIPR (2.58 ng/L). Quant aux seuils 4.3 et 17 ng/L, ils se retrouvent conceptuellement entre les catégories jaune et rouge. La catégorie rouge inclut des mesures ciblant des sources connues (hotspot) de PCB, c'est-à-dire le canal d'eau de l'usine de Choindez, de même que la zone aval immédiat de la Pila en 2010. Il est à souligner que le respect des seuils de consommation et de pêche sans restriction (4.3 et 17 ng/L) ne garantit pas le frai non-problématique des poissons, délimitée par un seuil inférieur estimé ici à 2.2 ng/L.

Le graphique ci-dessous illustre les concentrations en PCB dissous mesurées dans la Sarine entre novembre 2015 et novembre 2016, comparées directement aux seuils eau 2.2, 4.3 et 17 ng/L.

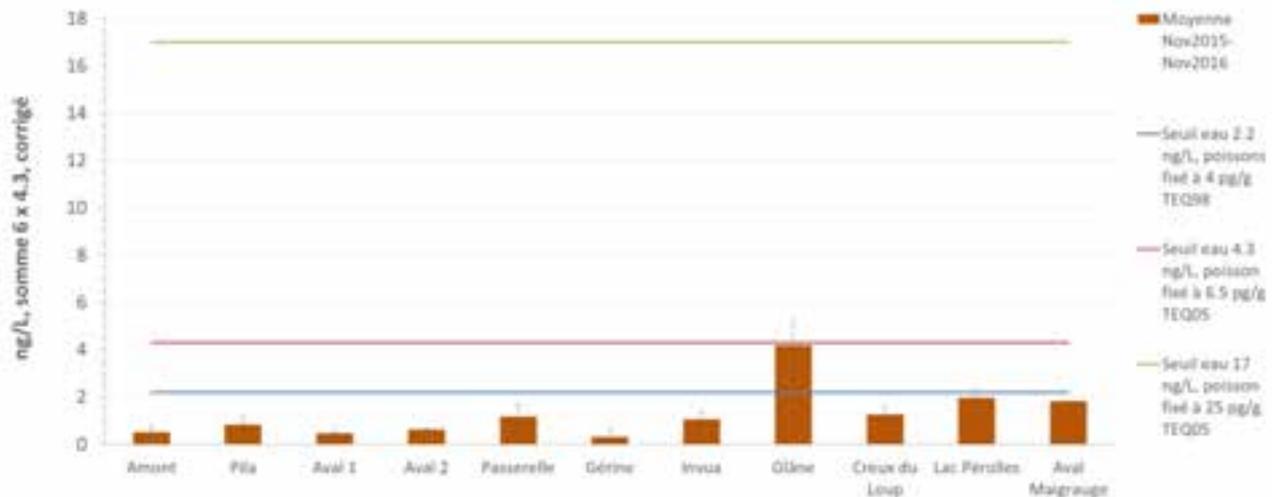


Figure 2-2 Seuils eau comparés aux concentrations en PCB dissous mesurées dans la Sarine en 2016

Le seuil 2.2 ng/L est dépassé dans la Glâne et risque d'être dépassé dans le Lac de Pérolles. Le seuil 4.3 ng/L risque d'être dépassé dans la Glâne uniquement. Quant au seuil 17 ng/L, il est largement au-dessus de toutes les concentrations en PCB dissous déterminées en 2015-2016 dans la Sarine. Il correspond à environ 4 x la concentration retrouvée dans la Glâne.

Bien toutes les concentrations en PCB dissous mesurées en 2015-2016 dans le secteur Pila-Gérine soient inférieures au seuil 4.3 ng/L, plusieurs truites contaminées (> 6.5 pg/g TEQ05) âgées entre 1 et 2 ans sont observées sur ce secteur en 2016 (7/19). Cela indique, comme mentionné précédemment, qu'une source autre que le PCB dissous affecte directement la truite dans ce secteur. Les gammares et les trichoptères, affectés par les eaux interstitielles et les sédiments pollués/déchets, représentent des vecteurs supplémentaires déterminants. Ainsi, en cas de glissement de terrain, la bioconcentration eau → poisson n'est pas écartée, mais les autres processus de contamination qui interviennent resteraient dominants.

### 3. Références

1. Schmid et al. Polychlorobiphényles (PCB) dans les eaux en Suisse. Données concernant la contamination des poissons et des eaux par les PCB et les dioxines: évaluation de la situation. 2010.
2. Babut M, Roy A, Lopes C, Pradelle S. Contamination des poissons d'eau douce par les PCB et d'autres contaminants persistants dans le bassin Rhône-Méditerranée. 2011.
3. Babut M, Lopes C, Pradelle S, Persat H, Badot PM. BSAFs for freshwater fish and derivation of a sediment quality guideline for PCBs in the Rhone basin, France. *J Soils Sediments* 2012;12(2):241–51.
4. Bhavsar SP et al. Estimating sediment quality thresholds to prevent restrictions on fish consumption: Application to polychlorinated biphenyls and dioxins-furans in the Canadian Great Lakes, *Integrated Environmental Assessment and Management*. 2010.
5. Walters DM, Jardine TD, Cade BS, Kidd K a., Muir DCG, Leipzig-Scott P. Trophic Magnification of Organic Chemicals: A Global Synthesis. *Environ Sci Technol* 2016;50(9):4650–8.
6. Burkhard L. Estimation of biota sediment accumulation factor (BSAF) from paired observations of chemical concentrations in biota and sediment. US Environ Prot Agency, Ecol Risk Assess Support Center, Cincinnati, OH 2009;EPA/600/R – 06/047.
7. Pavlova P a., Zennegg M, Anselmetti FS, Schmid P, Bogdal C, Steinlin C, et al. Release of PCBs from Silvretta glacier (Switzerland) investigated in lake sediments and meltwater. *Environ Sci Pollut Res* 2016;23(11):10308–16.
8. Iozza S, Müller CE, Schmid P, Bogdal C, Oehme M. Historical Profile of Chlorinated Paraffins and Polychlorinated Biphenyls in a Sediment Core From Lake Thun. *Environ Sci Technol* 2008;42(August):1045–50.
9. Zennegg M., Vermeissen E, Schmid P. Mesure des PCB et des dioxines dans les cours d'eau. Evaluation de l'adéquation de l'analyse sédimentaire et de l'échantillonnage passif en milieu aqueux pour détecter les sources d'émission. Off fédéral l'environnement - Connaiss l'environnement 2016;1639:54 p.
10. Rébecca Flück. Surveillance de la qualité des sédiments, *Aqua & Gas* No.4, pp.18-22. 2012.
11. Pardos, M; Houriet, J.-P. et Dominik J. Micropolluants dans les sédiments. *L'ENVIRONNEMENT* No 353 Prot des eaux 2003;
12. Thevenon F, Alencastro LF De, Loizeau JL, Adatte T, Grandjean D, Wildi W, et al. A high-resolution historical sediment record of nutrients, trace elements and organochlorines (DDT and PCB) deposition in a drinking water reservoir (Lake Brêt, Switzerland) points at local and regional pollutant sources. *Chemosphere* 2013;90(9):2444–52.
13. Zennegg M, Kohler M, Hartmann PC, Sturm M, Gujer E, Schmid P, et al. The historical record of PCB and PCDD/F deposition at Greifensee, a lake of the Swiss plateau, between 1848 and 1999. *Chemosphere* 2007;67(9):1754–61.
14. Bogdal C, Scheringer M, Schmid P, Bläuenstein M, Kohler M, Hungerbühler K. Levels, fluxes and time trends of persistent organic pollutants in Lake Thun, Switzerland: Combining trace analysis and multimedia modeling. *Sci Total Environ* [Internet] 2010;408(17):3654–63. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.04.038>

**ANNEXE A**

**DONNÉES UTILISÉES POUR LE CALCUL DU BSAF ET  
VALEURS BSAF**

Annexe A Données utilisées pour la calcul du BSAF (SED et TRUI) et valeurs BSAF

Pila-Gérine (PG)		<b>SED</b>	S#1	S#2	S#3	S#4	S#5	S#6	S#7	S#8	S#9	S#10	S#11	S#12	S#13	S#14	S#15
Seg	PG	PG	PG	PG	PG	PG	PG	PG	PG	PG	PG	PG	PG	PG	PG	PG	PG
PCB 101		mg/kg	0.010	0.014	0.031	0.0014	0.0009	0.0059	0.009	0.008	0.0074	0.0520	0.0220	0.036	0.025	0.016	0.0370
<b>TRUI</b>	Seg	PCB 101															
ID	ID	mg/kg															
16-50701	PG	0.026	3	2	1	19	29	4	3	3	4	1	1	1	1	2	1
16-50710	PG	0.027	3	2	1	19	30	5	3	3	4	1	1	1	1	2	1
16-68419	PG	0.037	4	3	1	26	41	6	4	4	5	1	2	1	1	2	1
16-71394	PG	0.062	7	4	2	44	69	11	7	7	8	1	3	2	2	4	2
16-71400	PG	0.035	4	3	1	25	39	6	4	4	5	1	2	1	1	2	1
16-71404	PG	0.029	3	2	1	21	32	5	3	3	4	1	1	1	1	2	1
16-71407	PG	0.016	2	1	1	11	17	3	2	2	2	0	1	0	1	1	0
16-75536	PG	0.029	3	2	1	20	32	5	3	3	4	1	1	1	1	2	1
16-75537	PG	0.120	13	9	4	85	133	20	13	14	16	2	5	3	5	7	3
16-75538	PG	0.013	1	1	0	9	15	2	1	2	2	0	1	0	1	1	0
16-75539	PG	0.015	2	1	0	11	17	3	2	2	2	0	1	0	1	1	0
16-75540	PG	0.055	6	4	2	39	61	9	6	6	7	1	2	2	2	3	1
16-75551	PG	0.070	7	5	2	50	78	12	8	8	9	1	3	2	3	4	2
16-75541	PG	0.054	6	4	2	39	60	9	6	6	7	1	2	2	2	3	1
16-75542	PG	0.031	3	2	1	22	34	5	3	4	4	1	1	1	1	2	1
16-75558	PG	0.011	1	1	0	8	12	2	1	1	1	0	0	0	0	1	0
16-75559	PG	0.098	10	7	3	70	109	17	11	12	13	2	4	3	4	6	3

Annexe A Données utilisées pour la calcul du BSAF (SED et TRUI) et valeurs BSAF

Pila-Gérine (PG)		<b>SED</b>	S#16	S#17	S#18	S#19	S#20	S#64	S#65	S#66	S#67	Cryo#1.1	Cryo#2.1	Cryo#3.1
Seg	PG	PG	PG	PG	PG	PG	PG	PG	PG	PG	PG	PG	PG	PG
	101													
	mg/kg	0.054	0.017	0.0007	0.0160	0.0043	0.018	0.007	0.017	0.004	0.0230	0.0130	0.2500	
<b>TRUI</b>	Seg	PCB 101												
ID	ID	mg/kg												
16-5070	PG	0.026	0	2	39	2	6	1	4	2	7	1	2	0
16-5071	PG	0.027	1	2	41	2	6	2	4	2	8	1	2	0
16-6841	PG	0.037	1	2	55	2	9	2	5	2	10	2	3	0
16-7139	PG	0.062	1	4	93	4	14	3	9	4	17	3	5	0
16-7140	PG	0.035	1	2	52	2	8	2	5	2	10	2	3	0
16-7140	PG	0.029	1	2	43	2	7	2	4	2	8	1	2	0
16-7140	PG	0.016	0	1	23	1	4	1	2	1	4	1	1	0
16-7553	PG	0.029	1	2	43	2	7	2	4	2	8	1	2	0
16-7553	PG	0.120	2	7	178	7	28	7	18	7	33	5	9	0
16-7553	PG	0.013	0	1	20	1	3	1	2	1	4	1	1	0
16-7553	PG	0.015	0	1	23	1	4	1	2	1	4	1	1	0
16-7554	PG	0.055	1	3	81	3	13	3	8	3	15	2	4	0
16-7555	PG	0.070	1	4	105	4	16	4	10	4	19	3	5	0
16-7554	PG	0.054	1	3	81	3	13	3	8	3	15	2	4	0
16-7554	PG	0.031	1	2	46	2	7	2	5	2	9	1	2	0
16-7555	PG	0.011	0	1	16	1	3	1	2	1	3	0	1	0
16-7555	PG	0.098	2	6	146	6	23	5	14	6	27	4	8	0

Annexe A Données utilisées pour la calcul du BSAF (SED et TRUI) et valeurs BSAF

Gérine-Lac (GL)		<b>SED</b>	S#21	S#22	S#25	S#26	S#27	S#31	S#32	S#33	S#34	S#35	S#37	S#38	S#39	S#40	S#63
		Seg	GL														
		PCB 101															
		mg/kg	0.0025	0.0005	0.0010	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0005	0.0010	0.0008	0.0012	0.0005	0.0010	0.0005
<b>TRUI</b>	Seg	PCB 101															
ID	ID	mg/kg															
16-50703	GL	0.006	2	11	6	12	15	16	16	14	12	6	7	5	11	6	13
16-68402	GL	0.021	8	40	21	42	53	55	57	49	42	21	26	18	40	21	44
16-68411	GL	0.005	2	10	5	10	13	13	14	12	10	5	6	4	10	5	11
16-68412	GL	0.016	6	29	16	31	39	41	42	36	31	16	19	13	29	16	33
16-68413	GL	0.036	14	67	36	71	89	94	96	83	71	36	44	30	67	36	74
16-68414	GL	0.074	30	140	74	149	186	196	201	173	149	76	92	62	140	74	155
16-68415	GL	0.010	4	18	10	19	24	25	26	22	19	10	12	8	18	10	20
16-68416	GL	0.014	5	26	14	27	34	36	37	32	27	14	17	11	26	14	28
16-68417	GL	0.008	3	16	8	17	21	22	23	20	17	9	10	7	16	8	18
16-68418	GL	0.012	5	22	12	23	29	31	32	27	23	12	14	10	22	12	24
16-71392	GL	0.005	2	10	5	10	13	14	14	12	10	5	6	4	10	5	11
16-71393	GL	0.015	6	28	15	30	37	39	40	35	30	15	18	12	28	15	31
16-71395	GL	0.025	10	48	25	50	63	66	68	59	50	26	31	21	48	25	53
16-71396	GL	0.014	5	26	14	27	34	36	37	32	27	14	17	11	26	14	28
16-71397	GL	0.006	3	12	6	13	16	17	17	15	13	6	8	5	12	6	13
16-71398	GL	0.011	4	20	11	21	26	28	28	24	21	11	13	9	20	11	22
16-71399	GL	0.008	3	15	8	16	20	21	22	19	16	8	10	7	15	8	17
16-71401	GL	0.006	3	12	6	13	16	17	17	15	13	7	8	5	12	6	13
16-71402	GL	0.014	6	26	14	28	35	36	37	32	28	14	17	12	26	14	29
16-71403	GL	0.007	3	14	7	14	18	19	19	17	14	7	9	6	14	7	15
16-71406	GL	0.005	2	10	5	11	13	14	14	12	11	5	7	4	10	5	11
16-71408	GL	0.019	7	35	19	37	47	49	51	44	37	19	23	16	35	19	39
16-71409	GL	0.011	4	20	11	21	27	28	29	25	21	11	13	9	20	11	22
16-71410	GL	0.007	3	13	7	14	17	18	19	16	14	7	9	6	13	7	14
16-71411	GL	0.013	5	24	13	25	32	33	34	29	25	13	16	11	24	13	26
16-71412	GL	0.015	6	27	15	29	36	38	39	34	29	15	18	12	27	15	30
16-71413	GL	0.012	5	23	12	24	30	32	33	28	24	12	15	10	23	12	25
16-71414	GL	0.017	7	32	17	33	42	44	45	39	33	17	21	14	32	17	35
16-71415	GL	0.012	5	23	12	24	30	32	33	28	24	12	15	10	23	12	25

Annexe A Données utilisées pour la calcul du BSAF (SED et TRUI) et valeurs BSAF

Gérine-Lac (GL)			SED	S#21	S#22	S#25	S#26	S#27	S#31	S#32	S#33	S#34	S#35	S#37	S#38	S#39	S#40	S#63	
			Seg	GL															
			PCB 101																
			mg/kg	0.0025	0.0005	0.0010	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0005	0.0010	0.0008	0.0012	0.0005	0.0010	0.0005	
TRUI	Seg	PCB 101																	
ID	ID	mg/kg																	
16-71418	GL	0.023	9	43	23	45	57	60	61	53	45	23	28	19	43	23	47		
16-71416	GL	0.011	4	20	11	21	27	28	29	25	21	11	13	9	20	11	22		
16-71417	GL	0.012	5	23	12	24	30	32	33	28	24	12	15	10	23	12	25		
16-71419	GL	0.015	6	29	15	31	39	41	42	36	31	16	19	13	29	15	32		
16-71420	GL	0.013	5	25	13	26	33	35	36	31	26	13	16	11	25	13	28		
16-71421	GL	0.011	5	21	11	23	28	30	31	26	23	12	14	9	21	11	24		
16-71422	GL	0.013	5	25	13	26	33	35	35	31	26	13	16	11	25	13	27		
16-71423	GL	0.014	6	27	14	29	36	38	39	34	29	15	18	12	27	14	30		
16-71530	GL	0.008	3	15	8	15	19	20	21	18	15	8	10	6	15	8	16		
16-71531	GL	0.013	5	24	13	25	31	33	34	29	25	13	16	10	24	13	26		
16-75529	GL	0.013	5	24	13	26	32	34	35	30	26	13	16	11	24	13	27		
16-75530	GL	0.011	4	21	11	22	27	29	30	25	22	11	13	9	21	11	23		
16-75533	GL	0.017	7	33	17	35	44	46	47	41	35	18	22	15	33	17	36		
16-75534	GL	0.007	3	13	7	14	17	18	19	16	14	7	9	6	13	7	14		
16-81824	GL	0.007	3	14	7	14	18	19	19	17	14	7	9	6	14	7	15		
16-81830	GL	0.032	13	61	32	65	81	85	88	75	65	33	40	27	61	32	67		
16-81835	GL	0.017	7	32	17	34	43	45	46	40	34	17	21	14	32	17	36		
16-81836	GL	0.015	6	29	15	30	38	40	41	35	30	16	19	13	29	15	32		

Annexe A Données utilisées pour la calcul du BSAF (SED et TRUI) et valeurs BSAF

Lac Pérolles (Lac)		<b>SED</b>	S#41	S#42	S#43	S#44	S#45	S#46	S#47	S#48	S#49	S#50	S#51	S#52	S#53	S#54	S#55
		Seg	Lac														
		PCB 101															
		mg/kg	0.0003	0.0008	0.0010	0.0010	0.0010	0.0030	0.0034	0.0015	0.0004	0.0005	0.0005	0.0170	0.0013	0.0020	0.0005
<b>TRUI</b>	Seg	PCB 101															
ID	ID	mg/kg															
16-75553	Lac	0.033	106	42	34	33	34	11	10	22	82	70	63	2	25	16	68
16-75552	Lac	0.013	42	17	13	13	13	4	4	9	32	27	25	1	10	6	27
16-75554	Lac	0.022	73	29	23	23	23	7	7	15	56	48	43	1	17	11	47
16-75602	Lac	0.012	38	15	12	12	12	4	3	8	30	25	23	1	9	6	25
16-75600	Lac	0.036	115	46	36	36	37	12	10	24	89	76	68	2	27	18	74
16-75567	Lac	0.014	46	18	15	15	15	5	4	10	36	31	28	1	11	7	30
16-75569	Lac	0.019	62	25	20	19	20	6	6	13	48	41	37	1	15	10	40

Lac Pérolles (Lac)		<b>SED</b>	S#56	S#57	S#58	S#59	S#60	Cryo#5.	Cryo#7.	Cryo#8.1
		Seg	Lac	Lac	Lac	Lac	Lac	Lac	Lac	Lac
		PCB 101								
		mg/kg	0.0011	0.0053	0.0010	0.0019	0.0027	0.0032	0.0019	0.0006
<b>TRUI</b>	Seg	PCB 101								
ID	ID	mg/kg								
16-75553	Lac	0.033	30	6	33	17	12	10	17	56
16-75552	Lac	0.013	12	2	13	7	5	4	7	22
16-75554	Lac	0.022	20	4	22	12	8	7	12	38
16-75602	Lac	0.012	11	2	12	6	4	4	6	20
16-75600	Lac	0.036	32	7	36	19	13	11	19	60
16-75567	Lac	0.014	13	3	14	8	5	4	8	24
16-75569	Lac	0.019	17	4	19	10	7	6	10	33

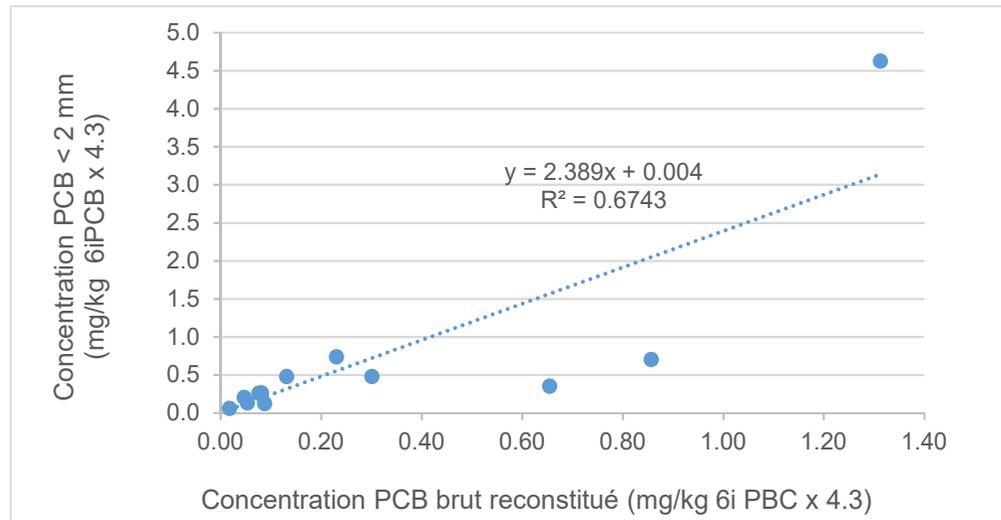
SED        Sédiment  
TRUI        Truite

## **Annexe 6.3.3**

### **Conversion des concentrations PCB sédiments < 2 mm sédiments bruts**

Annexe 6.3.3 Conversion des concentrations PCB sédiments < 2 mm à sédiments bruts

Echantillon	< 2 mm	Refus > 2 mm	Cat. Gra nulo	%Masse séd < 2 mm		Masse séd < 2 mm (total=5kg)		Masse PCB < 2 mm		Masse séd > 2 mm (total=5kg)		Masse PCB > 2 mm		Masse PCB tot		Conc. brut reconstitué			
	6i x 4.3	6i x 4.3		MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MOY	ECAR TYPE
	mg/kg	mg/kg	%	%	kg	kg	mg	mg	kg	kg	mg	mg	mg	mg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	
S#67	0.060	0.007	3	10	30	0.5	1.5	0.03	0.09	3.5	4.5	0.02	0.03	0.05	0.122	0.01	0.02	0.02	0.01
C#2 (15	0.123	0.079	3	10	30	0.5	1.5	0.06	0.18	3.5	4.5	0.28	0.36	0.34	0.540	0.07	0.11	0.09	0.03
S#2	0.264	0.036	3	10	30	0.5	1.5	0.13	0.40	3.5	4.5	0.13	0.16	0.26	0.557	0.05	0.11	0.08	0.04
S#7	0.132	0.034	3	10	30	0.5	1.5	0.07	0.20	3.5	4.5	0.12	0.15	0.18	0.350	0.04	0.07	0.05	0.02
S#10	0.739	0.103	3	10	30	0.5	1.5	0.37	1.11	3.5	4.5	0.36	0.47	0.73	1.573	0.15	0.31	0.23	0.12
S#12	0.703	0.895	3	10	30	0.5	1.5	0.35	1.05	3.5	4.5	3.13	4.03	3.48	5.081	0.70	1.02	0.9	0.2
S#13	0.480	0.256	3	10	30	0.5	1.5	0.24	0.72	3.5	4.5	0.90	1.15	1.14	1.873	0.23	0.37	0.30	0.10
S#16	1.498	12.896	3	10	30	0.5	1.5	0.75	2.25	3.5	4.5	45.13	58.03	45.88	60.278	9.18	12.06	11	2
S#66	0.202	0.008	3	10	30	0.5	1.5	0.10	0.30	3.5	4.5	0.03	0.04	0.13	0.341	0.03	0.07	0.05	0.03
Cryo#1.	0.353	0.730	3	10	30	0.5	1.5	0.18	0.53	3.5	4.5	2.56	3.29	2.73	3.815	0.55	0.76	0.65	0.15
C#1 (15	2.133	11.537	3	10	30	0.5	1.5	1.07	3.20	3.5	4.5	40.38	51.92	41.45	55.115	8.29	11.02	9.66	1.93
C#1 (30	4.627	0.484	3	10	30	0.5	1.5	2.31	6.94	3.5	4.5	1.69	2.18	4.01	9.119	0.80	1.82	1.31	0.72
S#64	0.260	0.030	3	10	30	0.5	1.5	0.13	0.39	3.5	4.5	0.11	0.14	0.24	0.525	0.05	0.11	0.08	0.04
C#3 (30	0.479	0.044	3	10	30	0.5	1.5	0.24	0.72	3.5	4.5	0.16	0.20	0.39	0.917	0.08	0.18	0.13	0.07



valeur utilisées pour la corrélation  
 valeurs non utilisées

## **Annexe 8.3.1**

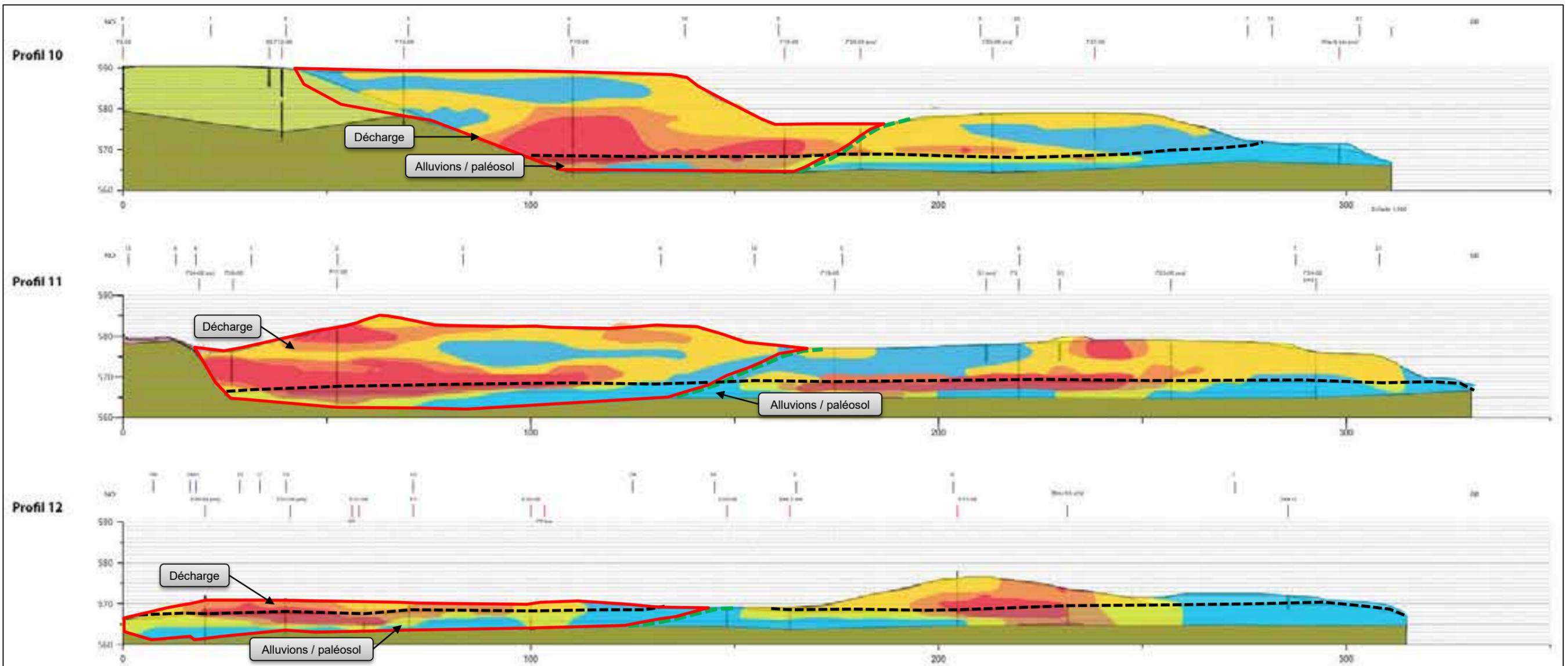
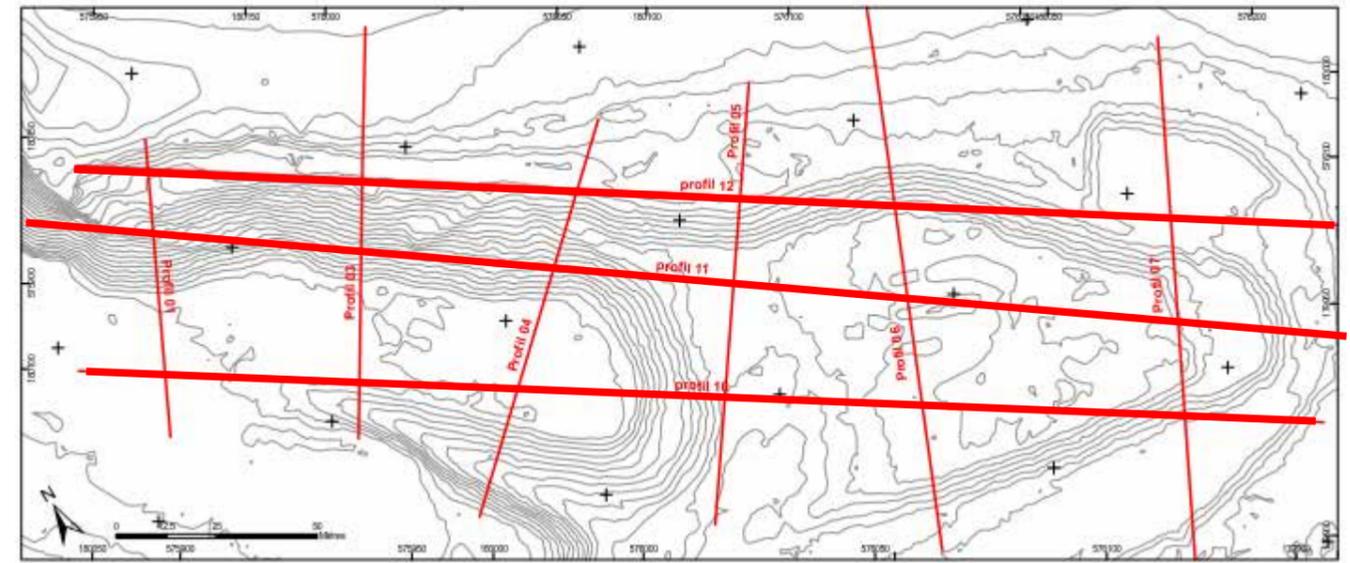
### **Variante d'assainissement – Plan de profil**

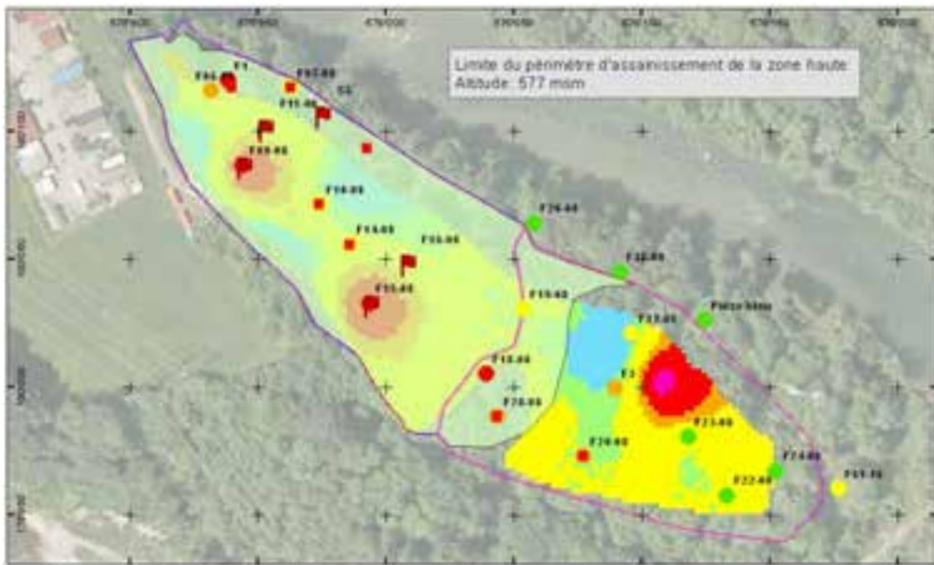
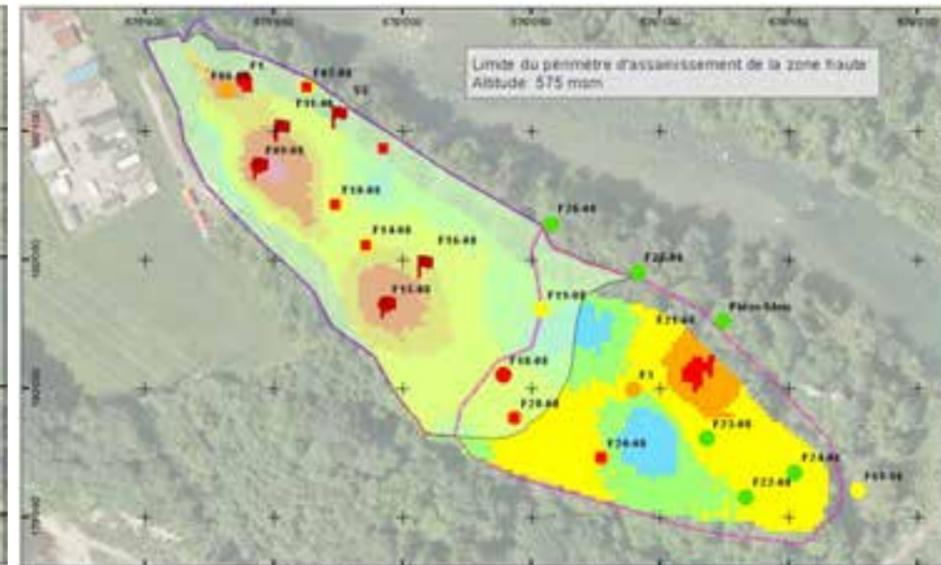
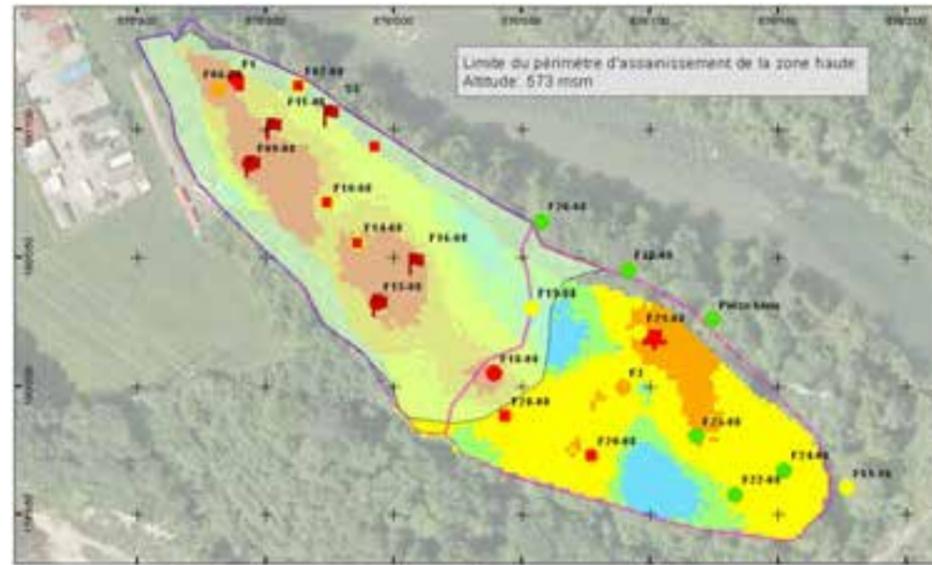
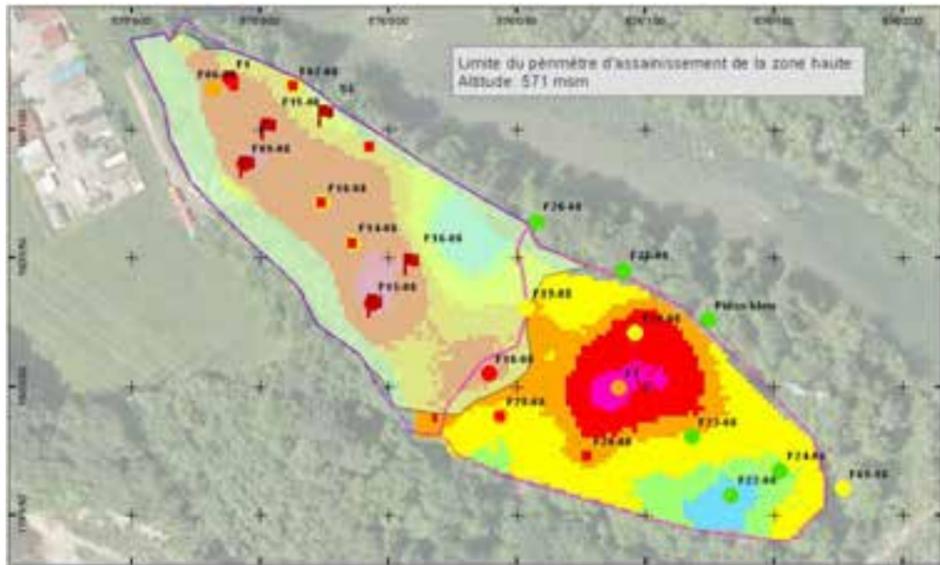
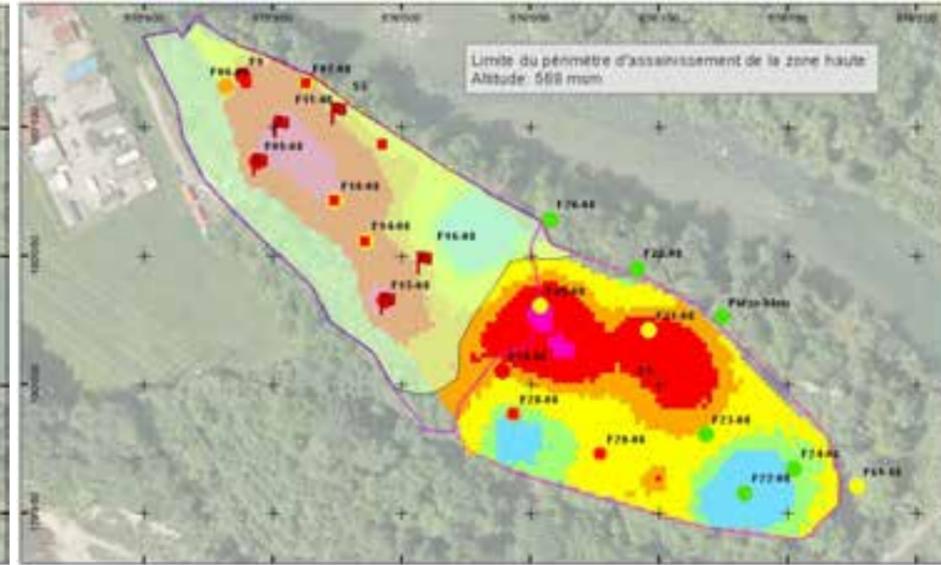
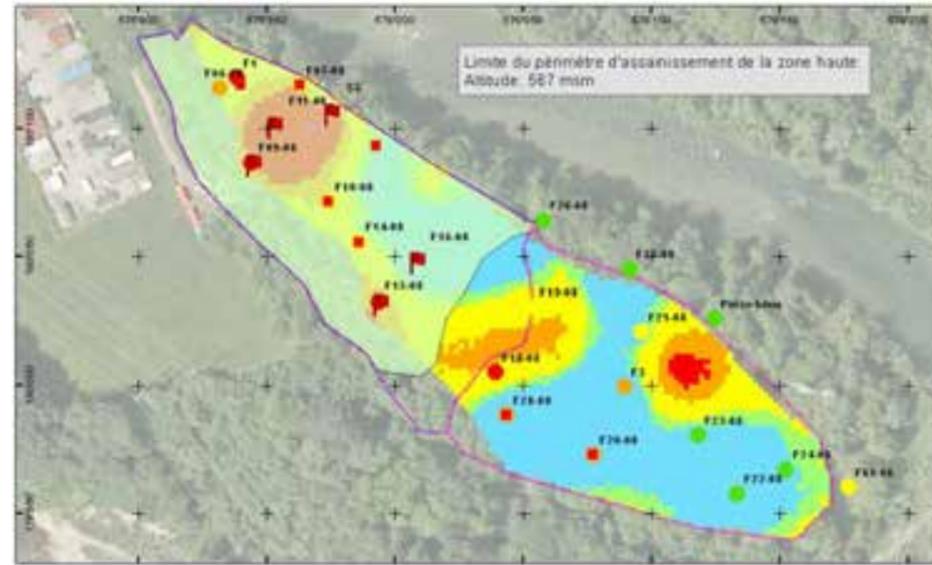
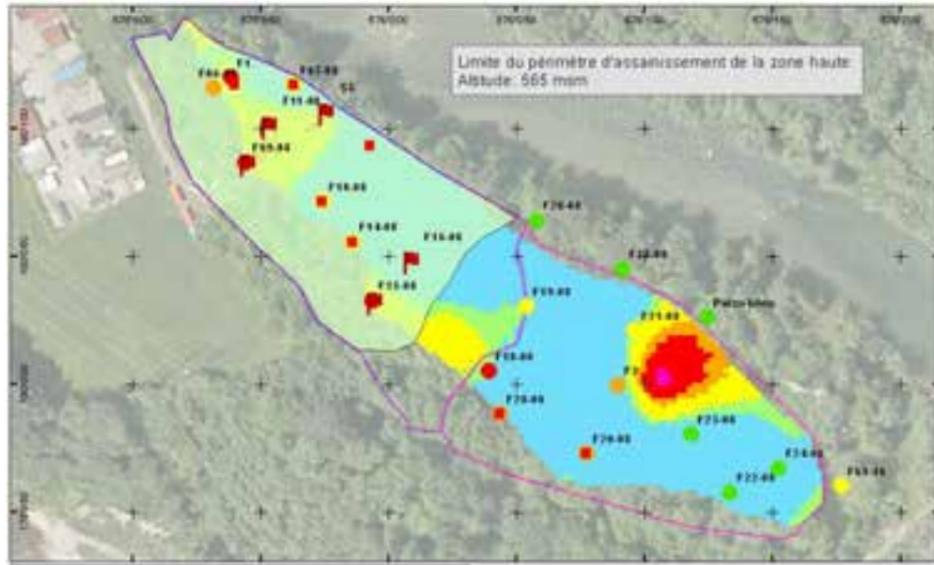


Excavation de la zone haute



Limite entre corps de la décharge et alluvions





### Zone haute assainie

— Zone haute assainie

### Périmètre du site contaminé La Pila

— Périmètre du site contaminé La Pila

### Présence huile (PCB) dans la nappe

■ Présence huile (PCB) dans la nappe

### Eaux souterraines. Campagne aout 2016

■ Ammonium (teneurs > 5 mg/l)

### Eaux souterraines. Campagne aout 2016

Teneurs en PCB (4.3° somme 6 PCB)

● < LQ (0.002 microg/l)

● 0.002-0.1 microg/l

● 0.1-1.0 microg/l

● > 1 microg/l

### Distribution spatiale des PCB (géostatistique)

Teneur total PCB (4.3° somme 6 PCB)

●  $X < 0.62$

●  $0.62 < X < 1$

●  $1 < X < 4.21$

●  $4.21 < X < 10$

●  $10 < X < 50$

●  $50 < X$

## **Annexe 9**

### **Expression des incertitudes et analyse critique des résultats**

**Analyse critique des résultats, 30.10.2017****Discussion technique sur les résultats du rapport « Mesures complémentaires » du 30.06.2017****TABLE DES MATIÈRES**

<b>1. DÉCHARGE</b>	<b>2</b>
1.1 Stock PCB dans décharge (réévaluation)	2
1.1.1 Questions, réflexions à mener	2
1.1.2 Réponses, analyse critique	2
1.2 Crue: effets sur flux dissous et MES	4
1.2.1 Questions, réflexions à mener	4
1.2.2 Réponses, analyse critique	4
1.3 Quantification lixiviation par compartiment	5
1.3.1 Questions, réflexions à mener	5
1.3.2 Réponses, analyse critique	5
1.4 Flux dissous de PCB de la décharge vers la Sarine	7
1.4.1 Questions, réflexions à mener	7
1.4.2 Réponses, analyse critique	7
1.5 Flux MES de la décharge vers la Sarine	9
1.5.1 Questions, réflexions à mener	9
1.5.2 Réponses, analyse critique	9
<b>2. SARINE</b>	<b>16</b>
2.1 Analyse question biofilm	16
2.1.1 Questions, réflexions à mener	16
2.1.2 Réponses, analyse critique	16
2.2 Objectif qualité eaux Sarine, utilisation valeur CIPR + scénarios dépassement	18
2.2.1 Questions, réflexions à mener	18
2.2.2 Réponses, analyse critique	18
2.3 Objectif qualité sédiments de la Sarine + scénarios dépassement	20
2.3.1 Questions, réflexions à mener	20
2.3.2 Réponses, analyse critique	21
2.4 Stocks de PCB dans sédiments Sarine	22
2.4.1 Questions, réflexions à mener	22
2.4.2 Réponses, analyse critique	22
2.5 Flux PCB dissous dans Sarine + Glâne (conditions normales + crue)	25
2.5.1 Questions, réflexions à mener	25
2.5.2 Réponses, analyse critique	25
2.6 Flux MES dans Sarine + Glâne (conditions normales + crue)	32
2.6.1 Questions, réflexions à mener	32
2.6.2 Réponses, analyse critique	32
<b>3. SYNTHÈSE – ÉLÉMENTS DÉTERMINANTS PAR RAPPORT AU CONTEXTE DANS LEQUEL S'INSCRIT LE SITE DE LA PILA</b>	<b>34</b>
3.1 Variables déterminantes	35

3.2	Autres variables	38
3.3	Conclusions	40

## 1. Décharge

### 1.1 Stock PCB dans décharge (réévaluation)

#### 1.1.1 Questions, réflexions à mener

Pourquoi a-t-on revu le chiffre de 20 tonnes de PCB, toujours communiqué jusqu'à maintenant, pour l'amener à 30 tonnes ? Sur quelles bases ?

#### 1.1.2 Réponses, analyse critique

L'évaluation de la masse PCB présente dans le corps de la décharge se base sur des données de sondages et d'analyses des matériaux de la décharge, datant des investigations réalisées entre 2008 à 2013 :

- [1] CSD, Décembre 2008. Décharge de la Pila – Investigation détaillée de l'ensemble du site. FR02706.300.
- [2] KIDOVA RP. Avril 2009: Modélisation géostatistique de la contamination de la décharge de la Pila. Rapport de synthèse.
- [3] KIDOVA RP. 24.06.2010 : Modélisation géostatistique de la contamination de la décharge de la Pila. Note technique.
- [4] CSD, Décembre 2010 : Décharge de la Pila – Projet d'assainissement. FR02706.900
- [5] BRGM, Novembre 2012 : Décharge de la Pila. Commune de Hauterive. Expertise des investigations et du projet d'assainissement de la décharge de la Pila et de ses environs. Rapport final. BRGM/RP-61497-FR
- [6] Eberhard, 28.01.13. Présentation. La Pila, mesures urgentes

La masse de PCB a été réévaluée sur la base des résultats et tests effectués sur les matériaux de la décharge, qui ont montré que les concentrations en PCB analysées au laboratoire peuvent être sous-estimées pour plusieurs raisons :

- Représentativité de l'échantillon : la majorité des échantillons solides analysés sont des échantillons provenant de carottes de sondages. La représentativité de l'échantillon se limite à l'extension « ponctuelle » du sondage. Le sondage ne permet pas d'évaluer la répartition horizontale des teneurs en PCB et la présence locale ou accumulée de condensateurs.
- Eberhard a évacué et traité les matériaux excavés suite aux mesures urgentes. L'évacuation de ces matériaux avait pour objectifs de tester et de valider les filières de traitement pour les matériaux les plus contaminés. Les tests ont entre autre démontré la forte hétérogénéité des matériaux. Pour l'une des catégories de matériaux, après homogénéisation (conditionnement et tri) sur le site de BAZO, la teneur moyenne (en tenant compte des teneurs en PCB dans les condensateurs) se situait autour de 490 mg/kg alors que les teneurs des échantillons prélevés sur les stocks étaient inférieures à 50 mg/kg. La qualité de l'analyse (représentativité) a nettement augmenté du fait que l'homogénéisation a permis de tenir compte de l'effet pépète lié à la présence de porteur de contaminants (condensateurs et fragments de condensateurs) très concentrés.

- Les échantillons prélevés dans le cadre de l'évaluation du risque de glissement (chap. 5.5 du rapport) à la surface de la zone haute ont montré que les teneurs en PCB sont bien plus élevées qu'estimées à partir des sondages effectués en 2008 (investigation de détail [1]). D'une part, la représentativité spatiale de ces échantillons est meilleure et, d'autre part, l'analyse des 2 fractions granulométriques < 2 mm et > 2 mm ainsi que la prise en compte de condensateurs présents dans les composites ont permis de s'approcher d'un échantillon « homogène » similaire à celui obtenu après traitement sur les installations Eberhard.

Le rapport BRGM avait également relevé que la masse totale de PCB estimée à 20 tonnes dans [1] ne tenait pas compte « de l'effet pépète liés à la présence de condensateurs purs » ;

L'ensemble de ces éléments nous a amenés à reconsidérer l'évaluation des 20 tonnes de PCB présents dans la décharge.

Pour mieux tenir compte de l'effet pépète et évaluer plus précisément la masse totale de PCB présente dans la décharge, il a été admis que la présence de condensateurs peut influencer l'ensemble des classes de contamination en PCB (0-1, 1-10, 10-50, 50-1'000, > 1'000 ppm). En admettant une concentration « centrale » pour chaque classe de contamination, celle-ci est légèrement supérieure à celle estimée dans l'étude de détail basée sur la moyenne des analyses effectives de 2008 [1].

Exemple :

Concentration moyenne pour la classe 1-10 ppm :

Etude de détail [1] : 4 ppm

Etude complémentaire, 2017 [7] : 5.5 ppm

Volume total		Masse PCB: multiplication du volume avec teneur moyenne de la catégorie. Densité: 1.8								
Catégorie	PCB [mg/kg ms]	Q0.025	Moyenne	Q0.975	Ratio moyen	Erreur sur la moyenne	Concentration	Masse PCB. Q0.025	Masse PCB. Moyenne	Masse PCB. Q0.975
		[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]			[mg/kg]	[kg]	[kg]	[kg]
1	x < 0.1	38'666	49'753	62'858	18%	24%	0.05	3	4	6
2	0.1 < x < 1	52'373	60'933	68'667	22%	13%	0.55	52	60	68
3	1 < x < 10	84'317	93'734	102'808	34%	10%	5.50	835	928	1'018
4	10 < x < 50	41'048	48'347	56'190	17%	16%	30.00	2'217	2'611	3'034
5	50 < x < 1000	14'185	20'478	28'036	7%	34%	525.00	13'405	19'352	26'494
6	1000 < x	1'746	4'353	8'090	2%	73%	1000.00	3'143	7'835	14'562
<b>total</b>		<b>232'335</b>	<b>277'598</b>	<b>326'649</b>				<b>19'654</b>	<b>30'791</b>	<b>45'182</b>

La classe 50-1'000 ppm PCB est celle qui montre les différences de masses de PCB les plus importantes. En effet les teneurs en PCB se situant à l'intérieur de cette classe de contamination sont celles qui sont les plus biaisées par la présence de condensateurs entiers ou de fragments de condensateurs.

Le tableau ci-dessus indique, pour chaque classe, un intervalle de confiance de 95% (le volume a une probabilité de 95% d'être compris entre les quantiles 2.5% et 97.5%). Cet intervalle de confiance a été repris pour le calcul de la masse en PCB. Sans informations complémentaires au sujet de la répartition spatiale des PCB il n'est pas possible de fournir des informations plus précises. Des sondages / analyses complémentaires peuvent certes améliorer les estimations, mais leur représentativité (informations ponctuelles) reste tout de même limitée face à l'importance des zones fortement polluées situées en profondeur dans la décharge.

## 1.2 Crue: effets sur flux dissous et MES

### 1.2.1 Questions, réflexions à mener

Les flux additionnels de PCB dissous par les eaux souterraines dans la Sarine ont été calculés sur la base du modèle hydrogéologique et des échantillonnages effectués durant la crue et dans les jours suivants.

Quel pourrait être l'effet d'une crue plus importante ?

### 1.2.2 Réponses, analyse critique

Concernant la crue artificielle, il faut tout d'abord mentionner que l'hydrogramme définitif, reçu le 9 août 2017 après une analyse poussée par e-dric et les Hautes Écoles, diffère sensiblement de l'hydrogramme prévu :

- Qmax à Rossens 195 au lieu de 255 m<sup>3</sup>/s soit -24%
- Volume total 9.5 au lieu de 11.5 mio m<sup>3</sup> soit -17%

La Section Lacs et cours d'eau mentionne qu'il est important d'utiliser l'hydrogramme définitif dans tous les rapports. Le rapport des études complémentaires a été établi avant la transmission de l'hydrogramme définitif et devrait théoriquement être adapté.

Pour le modèle hydrogéologique, une rapide analyse montre qu'il n'est pas nécessaire d'adapter les conditions limites du modèle suite à la modification de l'hydrogramme.

Les lignes d'eau issues du modèle établi par e-dric ont en effet dû être ajustées à l'aide des mesures réelles par les sondes dont nous disposons à l'usine d'Hauterive et à la Pila (sonde Züblin), en appliquant le gradient issu du modèle e-dric. Les corrections, plutôt faibles, sont probablement dues au fait que le modèle e-dric avait été calé sur la base de la crue de 2014, dont les débits annoncés étaient également supérieurs aux débits réels.

L'effet d'une crue plus importante peut être évalué sur la base de données concrètes définies par un hydrogramme de crue et une ligne d'eau au droit de la Pila. L'hydrogramme de crue devra être complété avec des hypothèses sur le régime de turbinage après la crue.

Du point de vue des eaux souterraines, il est ainsi possible de calculer niveaux d'eau dans la décharge et des flux d'eau de la décharge vers la Sarine, tout en ayant à l'esprit les précautions et limitations exposées à l'Annexe 5.3

Par contre, aucune valeur de concentration en PCB dans les eaux souterraines en cas de crue extrême ne sera disponible. Il n'y a pas de mesures des concentrations en PCB dans les eaux souterraines lorsque le niveau de la nappe atteint les déchets.

En première approche, nous avons estimé quel pourrait être le flux dissous additionnel de PCB produit par une crue centennale. Un premier résultat, qui n'a pas été repris dans le rapport, avait été présenté lors de la séance technique du 9 mars 2017.

On peut supposer que la totalité du PCB dissous présent dans les eaux souterraines est mobilisé lors d'une crue exceptionnelle. Ce calcul, indépendant du type de crue, donne une idée du flux potentiel de PCB dissous lors d'une crue exceptionnelle.

Les concentrations en PCB mesurées dans les piézomètres lors de la campagne d'août 2016 ont été appliquées, par secteur de décharge, au volume d'eau présent dans la nappe. La masse de PCB dissous ainsi obtenue est de 10 à 20 grammes pour l'état 0 (sans palplanches).

Ce flux de PCB dissous potentiellement relargué suite à une crue exceptionnelle pourra être recalculé selon différentes approches à l'aide du modèle hydrogéologique.

L'ordre de grandeur fourni par cette première approche, soit 10 à 20 grammes, montre une augmentation significative à court terme par rapport aux flux calculés par le modèle (0.49 – 1.25 g/3 jours, semaine normale). Par contre, le flux annuel total est peu modifié : plus 15 à 30% par rapport au flux moyen (62 – 157 g/an semaine normale). En supposant que le lessivage complet des PCB contenus dans la nappe se produise effectivement, il est aussi probable que l'on constate, dans la période suivant la crue, une diminution des flux de polluants.

Les flux ainsi estimés sont très faibles relativement aux autres phénomènes, comme l'érosion / les glissements de terrain sur la décharge et les perturbations du cours d'eau pouvant se produire en cas de crue exceptionnelle.

De nouvelles estimations pourront être effectuées en se basant sur une crue exceptionnelle modélisée et en prenant en compte des éventuelles concentrations en PCB plus élevées lorsque la nappe atteint des niveaux de déchets fortement chargés en PCB.

L'influence d'une crue sur les matières en suspension (MES) est traitée au paragraphe 1.5.

## 1.3 Quantification lixiviation par compartiment

### 1.3.1 Questions, réflexions à mener

Ce point n'a pas été développé : comment estimer l'effet des mesures d'assainissement, notamment dans le cas d'un assainissement partiel, sur les eaux souterraines ? Et leur effet sur la qualité des eaux souterraines ?

### 1.3.2 Réponses, analyse critique

Dans le programme des études complémentaires, différentes approches envisageables rappelées ci-dessous ont été présentées pour évaluer les flux de PCB (Rapport du 8 avril 2016 : Chapitre 5.2.4.1) :

*B.1 À l'aide du modèle numérique adapté (selon chap. 3.5.2).*

*B.2 Par évaluation des flux à partir de la courbe de régression obtenue entre lixiviats OTD / OSites et teneurs totales, analyses effectuées dans le cadre de l'investigation de détail et ceci pour chaque congénère. Application des polygones de Thyssen déterminés dans l'investigation de détail et/ou adaptés en fonction des variantes d'assainissement.*

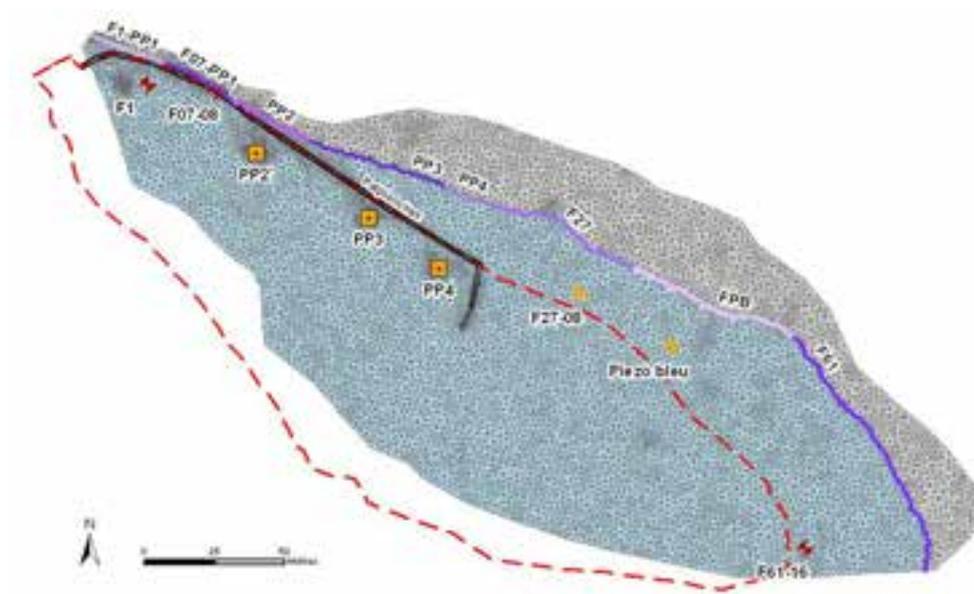
*B.3 Analyses de lixiviats selon l'OSites de matériaux solides prélevés dans des forages supplémentaires. Validation de la courbe de régression et intégration des données dans le modèle numérique et/ou polygones de Thyssen.*

*B.4 Prélèvements de lixiviats dans des forages équipés de crépines (sur l'ensemble du corps de la décharge) et de dépotoirs au fond de la décharge. Intégration des données dans le modèle numérique.*

*B.5 Analyse des PCB dans tous les piézomètres représentatifs dans le corps de la décharge et à l'aval immédiat.*

*Il est à noter que les approches B.2 à B.5 concernent uniquement les flux de PCB liés au lessivage de la décharge par les eaux pluviales.*

Les flux de PCB de la décharge vers la Sarine ont été quantifiés selon l'approche « B1 », à l'aide du modèle hydrogéologique. La répartition spatiale des flux calculés est rappelée dans la figure ci-dessous ; cela équivaut à un fractionnement de la décharge en 7 compartiments (voir Chapitres 5.3 et 7 du rapport).



Les flux de PCB sont calculés sur la base des flux d'eau calculés par le modèle et des concentrations en PCB.

Cette approche comporte certes de nombreuses hypothèses et incertitudes (voir discussion au paragraphe 1.4), mais il s'agit de l'évaluation la plus appropriée aux conditions du site. D'une part, elle prend en compte les échanges avec la Sarine, qui sont déterminants pour les flux d'eau, et, d'autre part, les concentrations mesurées aux limites de la décharge intègrent les processus de transport et de retard des PCB.

Par ailleurs, le modèle hydrogéologique n'est pas un modèle de transport des PCB et il est difficilement utilisable à plus petite échelle, par exemple à l'intérieur de la zone haute pour l'état 0 en raison de l'hétérogénéité du site et de l'impossibilité de procéder à un calage sur un état antérieur.

Les résultats obtenus ont été jugés suffisants pour atteindre l'objectif des études complémentaires. Ces résultats sont également cohérents avec les estimations antérieures (approche B5 avec données de 2008, modélisation hydrogéologique 2009).

De nouvelles évaluations sont peu susceptibles d'apporter une précision supplémentaire ou des ordres de grandeur différents, compte tenu également de la hiérarchie des flux et des effets montrée dans le cadre des études complémentaires. Le développement des approches B2 à B5, comprenant notamment la réalisation de forages, échantillonnages et analyses, n'a donc pas été poursuivi.

L'approche B5, basée l'analyses des eaux dans tous les piézomètres en service, a uniquement été appliquée pour l'estimation préliminaire du flux dissous potentiel lors d'une crue exceptionnelle (voir paragraphe 1.2)

Le chapitre 8 présente les conséquences des résultats des études complémentaires sur les variantes d'assainissement. Pour chaque scénario étudié, l'effet des mesures d'assainissement est évalué sous l'angle de la suppression des différents flux.

Dans le cas d'un assainissement partiel :

- Pour le scénario A (chapitre 8.2) « suppression du flux de PCB sous forme solide lié au glissement et à l'érosion » : les flux de PCB dissous estimés pour l'état 0 subsistent ; un risque d'augmentation des concentrations et des flux existe en cas de crue / selon les zones fortement polluées mises à ciel ouvert.
- Pour le scénario B (chapitre 8.3) « suppression des matériaux produisant un flux et des concentrations en PCB déterminants à partir de la décharge » : les flux de PCB dissous estimés pour l'état 2016 subsistent ; un risque d'augmentation des concentrations et des flux existe en cas de crue.

A ce stade, des évaluations supplémentaires peuvent toujours être effectuées et confrontées selon différentes approches, avec et sans l'aide du modèle hydrogéologique.

Quelle que soit l'approche adoptée, des incertitudes subsisteront et le flux de PCB dépendra surtout de l'état de contamination des matériaux rencontrés à proximité de la Sarine, des échanges avec la Sarine en situation normale et en cas de crue ainsi que des solutions constructives adoptées pour la sécurisation des matériaux laissés en place (en périphérie et en surface).

Il s'agira surtout d'optimiser et adapter la/les variante(s) en fonction des objectifs d'assainissement définitifs.

Dans le cadre de l'étude approfondie d'une variante ou de l'établissement d'un projet d'assainissement, des sondages et analyses seront donc dans tous les cas nécessaires notamment pour affiner la connaissance des éventuelles nouvelles limites de la décharge.

## 1.4 Flux dissous de PCB de la décharge vers la Sarine

### 1.4.1 Questions, réflexions à mener

**Le modèle hydrogéologique** a permis d'établir une émission de PCB dissous à partir de la décharge comprise entre 62 et 157 grammes /an. Comment les incertitudes liées au modèle se traduisent-elles sur ces résultats ? L'effet de la crue est estimé à 10%, que se passe-t-il en cas de crue plus importante ou en cas de crue extrême ? Comment définir le worst case à partir du modèle ? 90% du flux estimé provient du puits PP1, quel est le risque de tomber sur une autre zone similaire dans la décharge ?

**Évolution des conditions à long terme** : quels sont les éléments qui pourraient modifier les conditions d'émission des PCB à partir de la décharge à long terme ? Comment tenir compte de l'évolution des crues de la Sarine, des conditions géochimiques, de la variation du flux amont, avec un colmatage certain des drains avec le temps, ou en raison de l'évolution des précipitations (par exemple quantités beaucoup plus importantes) ? Dans quelles situations la nappe pourrait-elle toucher les déchets ? Avec quelles conséquences ?

### 1.4.2 Réponses, analyse critique

Les incertitudes et limitations du modèle hydrogéologique sont détaillées dans l'Annexe 5.3 du rapport, mais elles ne sont pas traduites en chiffres. De nombreux tests, non repris dans le rapport, ont été effectués dans le cadre de la calibration du modèle. Les paramètres et conditions limites appliqués sont tous situés dans une gamme de valeurs plausibles et ont permis la calibration du modèle. Certaines incertitudes pourraient être levées moyennant des investigations complémentaires. Cependant, des incertitudes liées à l'exploitation du modèle pour l'état 0 (avant pompage/palplanches) subsisteront puisque l'acquisition de données pour cet état antérieur n'est pas possible.

Le bilan des flux d'eau de la décharge vers la Sarine, utilisé pour calculer ensuite les flux de PCB, est établi selon un pas de temps horaire en comptant uniquement les volumes sortants. Rappelons qu'il s'agit d'une hypothèse « pessimiste » qui ne reflète pas la réalité puisque l'on compte ainsi certains volumes plusieurs fois, comme on le voit sur le parcours des particules présenté à la figure 5.2 de l'Annexe 5.3. En calculant le bilan

des flux sur des durées plus longues ou surtout en déduisant les flux entrants, les flux sortants peuvent devenir très faibles sur certains tronçons.

En temps normal, hors crue, la condition limite « Sarine » est déterminée par le mode d'exploitation de l'usine hydroélectrique. Son influence sur les flux d'eau et de PCB est bien montrée en Annexe 5.3. En admettant un turbinage continu sur l'année, les flux d'eau et de PCB sont réduits de moitié. Actuellement, la production en continu d'énergie de réglage pour le réseau électrique peut totaliser plusieurs mois par année. Dans le futur, de nouvelles conditions d'exploitation liées à l'assainissement des éclusées irait également dans le sens d'une uniformisation du turbinage.

Concernant l'influence d'une condition limite qui présente de grandes incertitudes, comme le flux amont, on peut par exemple évaluer les conséquences d'une augmentation.

Le flux amont non capté estimé pour la calibration du modèle est de 40 m<sup>3</sup>/semaine réparti sur une longueur de 140 mètres (chapitre 4.4.1 de l'Annexe 5.3). En supposant que le flux amont soit doublé, on peut calculer quel serait l'influence sur le flux de PCB. Il s'agit d'un exercice théorique dont la plausibilité reste à vérifier. L'augmentation pourrait être liée à une éventuelle sous-estimation ou à une évolution future.

En admettant que le doublement du flux amont influence uniquement le tronçon PalF05-PP1 (longueur env. 30 mètres), cela rajouterait 40 m<sup>3</sup>/sem à 253 m<sup>3</sup>/sem pour une semaine normale, soit une augmentation de 16%. Le flux annuel de PCB passerait ainsi de 62 – 157 g à 65 – 166 g, soit une augmentation d'environ 5%.

L'influence relative d'une augmentation du flux amont est donc faible et, comme expliqué dans le rapport et repris dans le tableau suivant, c'est l'échange avec la rivière qui est avant tout déterminant.

Tableau 6.1: Bilan des flux entrants

	Flux entrant (m <sup>3</sup> /semaine)	% du flux entrant
Flux entrant Sarine	5432	90.0
Flux amont	37	0.6
Infiltration efficace	565	9.4
Somme	6034	100

Par ailleurs, il convient également de relativiser l'influence des variations des conditions limites du modèle puisque les flux de PCB calculés sont produits à plus de 90% par les concentrations en PCB élevées mesurées dans le puits PP1 depuis 2012.

La découverte d'une zone similaire à PP1, ailleurs dans la décharge, pourrait théoriquement conduire à une augmentation des flux de PCB. Il existe des secteurs fortement chargés en PCB dans la décharge qui ne sont cependant pas situés dans une zone d'échange avec de la Sarine en raison de leur éloignement ; ils n'ont donc pas d'influence directe sur le flux de PCB s'écoulant dans la Sarine.

Si l'on s'intéresse d'un peu plus près au secteur représenté par PP1, on constate de très grandes différences entre les concentrations mesurées dans des puits/piézomètres relativement proches (voir chapitre 3.3.3.2 du rapport principale) montrant bien l'hétérogénéité du site. En août 2016, les concentrations en PCB sont très élevées en F1 (6.5 microg/L), « nulles » en PP1 (<LQ) et faibles en F07-08 (0.056 microg/L) alors que les autres paramètres comme la conductivité électrique ou l'ammonium montrent clairement l'influence de la décharge. Il est donc important de garder à l'esprit les conséquences possibles de cette hétérogénéité sur les résultats des calculs.

Le modèle hydrogéologique a été conçu de manière à pouvoir calculer des flux de PCB distincts sur les tronçons PalF07 et PalF1. Pour le calcul des flux, seules les concentrations des puits de pompage analysés régulièrement depuis 2012 ont été utilisées. Pour ces deux derniers tronçons une approche prudente a été considérée : les concentrations les plus élevées mesurées en PP1 ont été utilisées, malgré des concentrations historiquement plus basses en F07-08, plus proches de PP2. Grâce à cette approche, on peut considérer que le risque lié à l'hétérogénéité du site est pris en compte dans ce secteur. On peut également dire qu'elle est justifiée puisqu'il s'agit d'une zone d'échange importante à proximité de la Sarine et de concentrations élevées dans les matériaux solides en profondeur.

Nous pouvons effectuer le calcul des flux de PCB en appliquant les mêmes concentrations qu'en PP1 à tout le secteur représenté par les puits de pompage PP1 à PP4.

Cette hypothèse n'est pas plausible puisque de telles concentrations n'ont jamais été relevées dans les puits de pompage PP2 à PP4.

Il s'agit d'un worst case théorique destiné à donner une idée de l'influence des concentrations en PCB appliquées. Le flux annuel de PCB passerait ainsi de 62 – 157 g à 115 – 283 g, soit un peu moins du double.

## 1.5 Flux MES de la décharge vers la Sarine

### 1.5.1 Questions, réflexions à mener

Les flux de PCB particuliers émis depuis la décharge dans la Sarine sont estimés à zéro.

Les raisons pour lesquelles un flux particulier à partir de la décharge est écarté n'est pas convaincante (les sources scientifiques qui mettent en relation la circulation des particules par rapport à la vitesse d'écoulement de la nappe ne sont pas citées).

Quel est le risque que des particules chargées en PCB puissent tout de même s'écouler depuis la décharge dans la Sarine ? Notamment en cas de crue importante ou extrême ?

### 1.5.2 Réponses, analyse critique

#### **Données littérature (liste des contacts / documents les plus importants)**

- [1] Marre Dirk, 2004 : Untersuchungen zum Vorkommen und Transportverhalten von Partikeln in Grundwässern und Abschätzung ihrer Relevanz für den Schadstofftransport. Dissertation an der Technischen Universität Dresden.
- [2] Téléphone avec Madame Dr. Nadine Goeppert du 14.11.2016. Karlsruher Institut für Technologie. Institut für Angewandte Geowissenschaften.
- [3] Contact avec Centre d'Hydrogéologie, Dr. Daniel Hunkeler.
- [4] Förster U., Grathwohl P. : Ingenieurgeochemie. Natürlicher Abbau und Rückhalt, Stabilisierung von Massenabfällen.
- [5] CSD Ingénieurs SA, 07.07.2016: Décharge de la Pila – mesures complémentaire. Eaux souterraines : méthodes d'échantillonnage et d'analyse – étude sur l'importance des teneurs en PCB de la fraction particulaire.

Le transport de particules et de colloïdes dans un aquifère dépend de plusieurs facteurs :

- Granulométrie du massif
- Ouverture des pores
- Chemins préférentiels
- Sorption à la fraction fine
- Infiltration eaux de surface
- Caractéristiques redox du milieu aquifère
- Autres

Une abondante littérature traite du transport de polluants adsorbés sur les particules / colloïdes. Dans la majorité des cas, elle met toutefois l'accent sur le « risque de dissémination par transport particulaire » et les paramètres déterminants du transport sans entrer dans les détails de la quantification de ce transport.

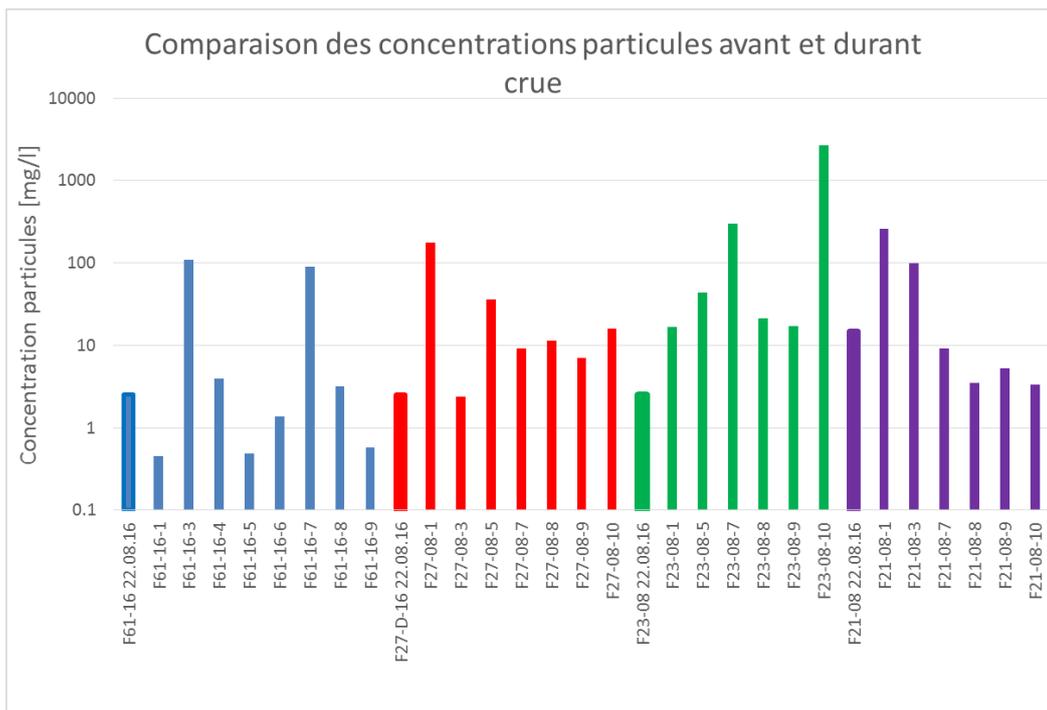
La thèse de M. Marre [1] traite en détail l'importance du transport et les critères d'un prélèvement représentatif du milieu naturel. Les résultats principaux de son travail sont résumés ci-dessous :

- Le massif filtrant d'un aquifère naturel présente un dépôt important de particules mobilisables qui peut d'un côté libérer, mais aussi adsorber un grand nombre de particules.
- Dans un aquifère non perturbé (des points de vue hydraulique et chimique), la concentration en particules est très faible ( $\ll 1$  mg/l).
- Le transport de particules est fortement dépendant d'une grande retardation de particules mais aussi d'un transport rapide à l'aide de chemins préférentiels.
- Le prélèvement d'un échantillon représentatif du milieu naturel est complexe : les essais sur le terrain ont montré que la stabilisation de la concentration en particules dépend de la durée de prélèvement et non pas du volume d'eau pompé. Le débit de pompage n'est pas déterminant d'une mobilité renforcée de particules.

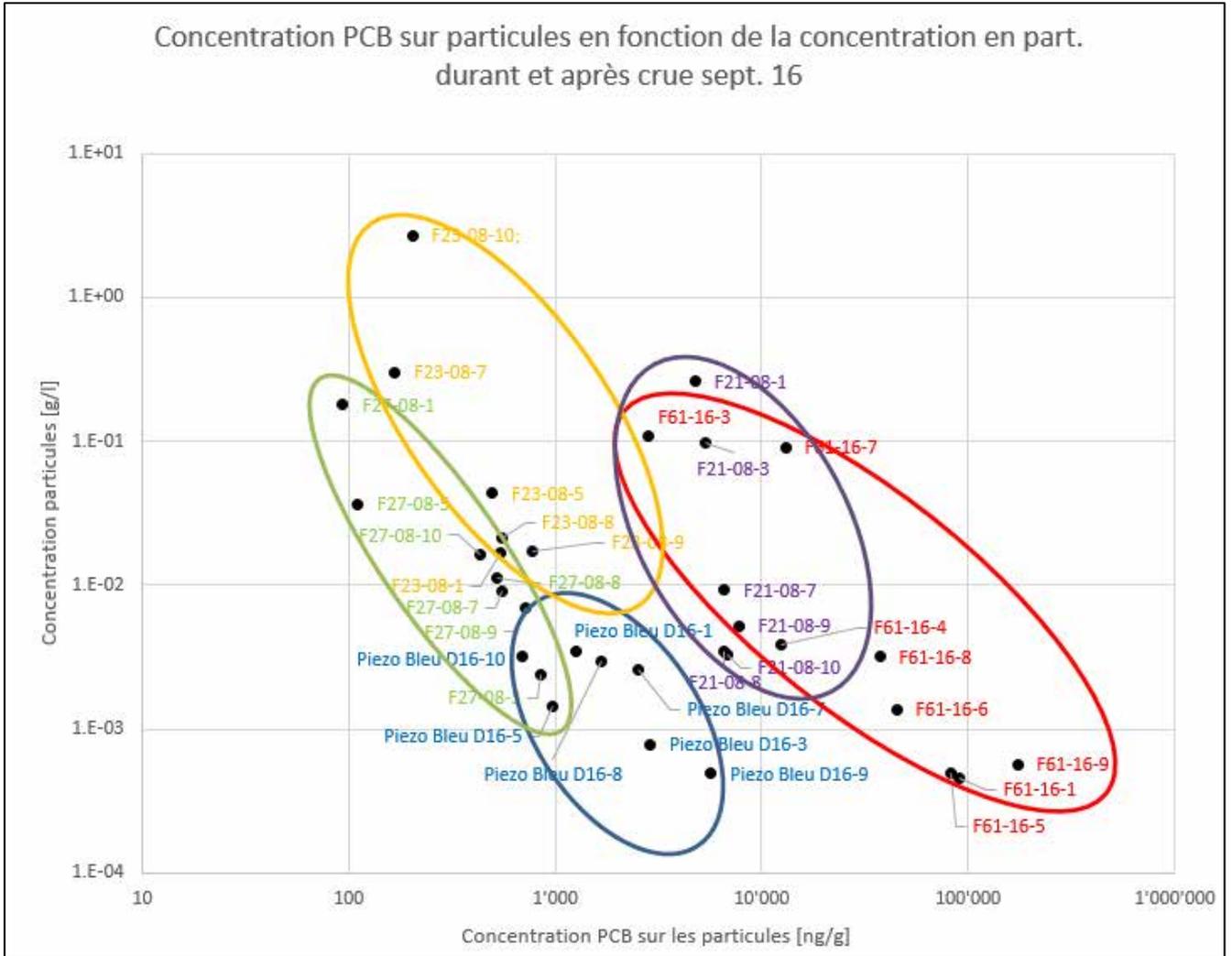
Ces résultats confirment en grande partie les informations de la littérature, comme par exemple le prélèvement selon la méthode du « low flow sampling » qui d'ailleurs a été testée et appliquée dans le cadre de l'étude complémentaire 2016/17.

Le monitoring continu de la turbidité de l'aquifère en situation non perturbée [5] a montré que la turbidité de l'eau est proche de zéro. Ceci ne semble pas être le cas en période de crue :

Non seulement le document [1] mais aussi le document [4] mentionnent l'importance de la perturbation des conditions d'écoulement sur la concentration en particules dans les eaux souterraines, comme par exemple pompage, infiltration eaux de surface, remontée abrupte de la nappe liée aux conditions opérationnelles. Cette augmentation de la turbidité a effectivement été constatée lors de la crue de septembre 2016 (la figure suivante compare les mesures effectuées durant la crue avec la concentration en particules dans les échantillons prélevés en août 2016, soit 1 mois avant la crue).



En mettant en relation les concentrations plus élevées en particules lors de la crue avec les concentrations en PCB sur les particules, on constate que la remontée rapide de la nappe a principalement mobilisé des particules faiblement contaminées de l'aquifère non saturé :



Ceci signifierait que la crue provoque une mobilisation accrue de particules mais que le flux PCB (g/m<sup>3</sup>) n'augmente pas significativement. On voit ceci typiquement au F61-16 où les concentrations en PCB sur les particules au début (F61-16-1) de la crue et 3 jours après la crue (F61-16-9) sont d'un facteur 100 plus élevées que durant la crue.

La méthodologie du « low flow sampling » a certainement réduit au mieux l'erreur due au pompage (perturbation hydraulique et chimique du milieu naturel de l'aquifère), mais elle ne peut pas éliminer entièrement. D'autres paramètres, comme une faible épaisseur de la nappe et un milieu anaérobie peuvent fortement influencer les concentrations en particules. Ces 2 paramètres ont considérablement influencé les concentrations en particules aux piézomètres F61-16 (faible épaisseur de la nappe, souvent sec), F18-08 (milieu anaérobie, précipitation importante après prélèvement). La taille des particules peut également être un indicateur d'une mobilisation de particules suite au pompage : on observe des particules relativement grandes (visibles à l'œil nu) dans les échantillons prélevés au F23-08 (sable) ou F19-08 (sable de la molasse).

Le CHYN [3] pratique le suivi de la turbidité lors de l'échantillonnage en tant qu'indicateur complémentaire aux paramètres physico-chimiques afin d'obtenir un échantillon représentatif du milieu non perturbé. Le suivi avec un turbidimètre portable mesure différentes classes de particules en fonction de leur taille, entre 0.9 – 1.5 µm. La durée de la purge jusqu'à stabilisation de la concentration en particules peut être relativement longue, comparable à celle évalué par Marre [1]. La taille des particules monitorées est cependant supérieure au filtre

appliqué au laboratoire (0.45  $\mu\text{m}$ ). La question se pose si la stabilisation des concentrations en particules concerne également les particules  $< 0.9 \mu\text{m}$ .

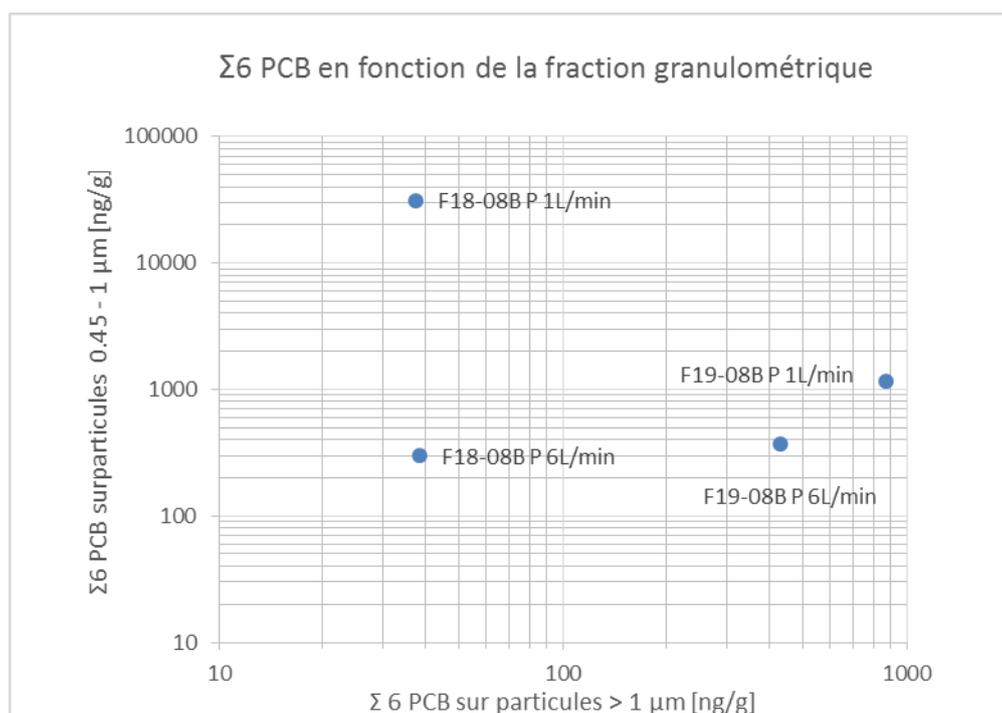
Plusieurs facteurs sont déterminants pour évaluer le risque par le transport de polluants sous forme particulaire dans les eaux souterraines:

- Type et taille (volume et surface spécifique) des particules ;
- Concentrations en particules (discutées ci-dessus).
- Distance et vitesse du transport :

Dans les échantillons prélevés lors des différentes campagnes d'échantillonnage, on peut distinguer différents types de particules :

- Particules grossières, de type sable. Principalement présentes dans les sondages où l'épaisseur de la nappe est faible et la pompe est placée à proximité du toit de la molasse.
- Particules fines de différentes couleurs : il peut s'agir de particules organiques et/ou minérales.
- Particules formées après prélèvement, liées à l'oxygénation d'une eau dépourvue d'oxygène. En règle générale hydroxydes de fer et / ou de manganèse.
- Colloïdes

La taille des particules ainsi que leurs surfaces spécifiques sont non seulement déterminantes pour l'adsorption de polluants mais aussi pour les mécanismes de transport. De manière générale, plus la surface spécifique est élevée plus la capacité d'adsorption est élevée. L'adsorption plus importante sur les fractions plus fines a pu être démontrée dans le cadre de l'étude [5] : les eaux souterraines prélevées ont été filtrées 2 x et les teneurs en PCB sur les particules ont été analysées pour les fractions granulométriques 0.45-1  $\mu\text{m}$  et  $> 1 \mu\text{m}$ . Sur la figure suivante, on peut observer des teneurs généralement plus élevées sur la fraction 0.45-1  $\mu\text{m}$ . C'est également le cas pour les particules des échantillons F18-08 qui se sont essentiellement formées par précipitation après échantillonnage.



La mobilité et la vitesse de déplacement des particules dépendent de beaucoup de facteurs liés aux caractéristiques des particules mêmes, du milieu physico-chimique et de l'aquifère. Dans le cas idéal, la vitesse de transport correspond à la vitesse d'écoulement des eaux souterraines. La distance et la vitesse peuvent être plus importantes en fonction de la présence de chemins préférentiels. Selon le modèle hydrogéologique les vitesses varient entre 0.05 m/j au cœur de la décharge à 8 m/j à proximité de la Sarine. Malgré une forte retardation des particules par le massif filtrant de l'aquifère, un transport de polluants particuliers est possible, surtout dans la zone d'échange hydraulique eaux souterraines – Sarine.

La littérature aborde la question du risque de contamination par infiltration des eaux de surface dans les eaux souterraines et, par conséquent, de la contamination des eaux souterraines par les particules chargées en polluants provenant des eaux de la rivière. Dans le cas de la Pila les eaux souterraines s'exfiltrent dans la Sarine (état zéro, avant captage du flux amont). Le colmatage du lit de la Sarine est ainsi le facteur déterminant de la retardation de particules / colloïdes.

En résumé, les études menées jusqu'à aujourd'hui ne permettent pas de quantifier précisément l'importance du transport PCB sous forme particulaire via exfiltration des eaux souterraines dans la Sarine.

Le risque pour les eaux de surface peut toutefois être évalué par l'hypothèse du « worst case » en admettant l'absence totale de retardation des particules. Les 2 tableaux ci-dessous comparent le flux PCB sous forme particulaire maximal potentiellement exfiltré par les eaux souterraines avec le flux PCB associé à la MES dans les eaux de la Sarine :

1. Etat 2016
2. Etat zéro (sans palplanches)
3. Etat crue septembre 2016

Les résultats sont résumés dans les tableaux suivants : Les tableaux complets des résultats sont insérés en fin de paragraphe.

Flux particules	Eaux souterraines	Sarine Passerelle	%age
Etat 2016, situation normale	518 ± 132 [kg/an]	2.07E+07 ± 3.87E+06 [kg/an]	0.003%
Etat zéro, situation normale	1'886 ± 304 [kg/an]	2.07E+07 ± 3.87E+06 [kg/an]	0.009%
Etat 2016, crue sept. 16	58 ± 13 [kg/3j]	1.30E+06 ± 2.46E+05 [kg/1j]	0.004%

Flux PCB MES	Eaux souterraines	Sarine Passerelle	%age
		<i>moyenne appr 1 + 2</i>	
Etat 2016, situation normale	12 ± 4 [g/a]	1275 ± 250 [g/a]	0.9%
Etat zéro, situation normale	13 ± 4 [g/a]	1275 ± 250 [g/a]	1.0%
Etat 2016, crue sept. 16	2 ± 1 [g/3j]	19 ± 4 [g/1j]	9.8%

Pendant une année « normale » (état 2016) le flux particulaire des eaux souterraines s'exfiltrant en une année dans la Sarine correspondrait à 0.003% de la masse en MES à la Passerelle (amont Gérine). Ceci correspond à 0.9% du flux PCB annuel. L'état zéro (état sans palplanche) ne se distingue guère de l'état 2016. Ceci est lié au fait que le flux principal en particules, et par conséquent le flux en PCB particulaire, provient à 95% du secteur F61-16 : la contribution au flux annuel des eaux souterraines de ce secteur est évaluée à 51% pour l'état normal (2016) et à 39% pour l'état zéro par le modèle hydrogéologique.

En cas de crue, la concentration en particules dans les eaux souterraines augmente. Elle pourrait être nettement plus importante en cas de crue extrême où le niveau de la nappe atteint le pied de la décharge. Dans

ce cas-là, non seulement des particules faiblement polluées (comme en septembre 2016) mais également des particules très chargées provenant de la décharge pourraient être mobilisées. Une crue extrême peut également avoir des effets sur le colmatage du lit de la Sarine et ainsi ouvrir des chemins préférentiels d'écoulement.

Dans une telle situation extrême, quels sont les risques pour le système Sarine liés aux particules chargées en PCB provenant des eaux souterraines ? Aucune donnée n'est disponible pour répondre définitivement à cette question. Sur la base des résultats de la crue 2016, quelques réflexions sont tout de même possibles :

- A) Une crue même extrême est de courte durée, c'est-à-dire de quelques heures. Les flux les plus importants en termes de particules et en PCB se produisent dans ces quelques heures à 1-2 jours.
- B) Dans le cas hypothétique d'une exfiltration importante d'eaux souterraines très chargées en particules fortement contaminées, ces particules sont rapidement transportées par le cours d'eau.
- C) La remontée de la nappe provoquant une mobilisation de particules est rapide et de courte durée.

Même en condition « worst case », c'est-à-dire en l'absence de retardation des particules dans les eaux souterraines, leur effet sur la Sarine n'est vraisemblablement pas plus important que lors de la crue de septembre 2016 : le flux PCB lié aux MES transportées dans la Sarine reste prépondérant. Une fois arrivées dans les eaux de surface, les particules provenant des eaux souterraines exfiltrées sont soumises aux mêmes mécanismes de transport et de sédimentation que le MES transportés par les eaux de la Sarine.

## Situation normale. Etat 2016 (avec palplanches). Segments F61, FPB, F27

Sondages	Segment considéré	Situation rel. Décharge	Masse part.	4.3Σ6PC Bpart	Masse part.	4.3Σ6PCBpart	Flux exfiltrant (état 2016 avec palplanches, alors sans sections 1-4)		Flux particules		Flux PCB annuel		
			22.08.16		17.9.16 fin crue). Zone haute: 04.11.15				22.08.16	17.9.16 fin crue). Zone haute: 04.11.15	17.9.16 fin crue). Zone haute: 04.11.15		
			[g/l]	[ng/g]	[g/l]	[ng/g]	[m3/sem]	[m3/année]	[g/an]	[g/an]	[g/an]		
F61-16	F61	aval zone basse	0.003	n.a.	0.0006	173'206	2'191	113'932	357'332	64'941	11.248		
Piezo Bleu	FPB	aval zone basse	0.002	n.a.	0.0005	5'688	973	50'596	93'964	24'792	0.141		
F27-08	F27	aval zone basse	0.000	n.a.	0.007	725	1'083	56'316	-	394'212	0.286		
PP1	PalPP1	aval zone haute			0.026	530	13	676				17'576	0.00932
PP2	PalPP2	aval zone haute			0.016	417	8	416				6'711	0.00280
PP3	PalPP3	aval zone haute			0.010	170	12	624				5'990	0.00102
PP4	PalPP4	aval zone haute			0.013	550	5	260				3'328	0.00183
<b>Somme</b>		<b>aval zone basse</b>					<b>4'247</b>	<b>220'844</b>		<b>483'945</b>	<b>12</b>		
<b>Ecart-type</b>							<b>550</b>	<b>28'604</b>		<b>165'497</b>	<b>5</b>		
<b>Somme</b>		<b>aval zone haute</b>					<b>38</b>	<b>1'976</b>		<b>33'606</b>	<b>0.01</b>		
<b>Ecart-type</b>							<b>3</b>	<b>166</b>		<b>5'445</b>	<b>0.00</b>		
<b>TOTAL somme</b>							<b>4'285</b>	<b>222'820</b>		<b>517'551</b>	<b>12</b>		
<b>Ecart-type</b>							<b>784</b>	<b>40'744</b>		<b>132'218</b>	<b>4</b>		

## Références / Hypothèses

n.a. non analysé  
 Analyses PCB particulaire Campagne du 17.09.16, env. 16h00  
 F27-08 selon rapport Empa: "Keine Partikel auswägbar"  
 PP2 Sans analyse le 04.11.15. Hypothèse: moyenne de PP1, PP3 et PP4 pour masse particules et teneur PCB sur p;  
 Sarine données du rapport "étude complémentaire" de juin 2017

## Sarine situation normale. Etat zéro (sans palplanches)

Sondages		Situation rel. Décharge	Masse part.	4.3Σ6PC Bpart	Masse part.	4.3Σ6PCBpart	Flux exfiltrant (état zéro sans palplanches)		Flux particules		Flux PCB annuel
			22.08.16		Zone basse: fin crue 17.09.16 Zone haute: 04.11.15				22.08.16	Zone basse: fin crue 17.09.16 Zone haute: 04.11.15	Zone basse: fin crue 17.09.16 Zone haute: 04.11.15
			[g/l]	[ng/g]	[g/l]	[ng/g]	[m3/sem]	[m3/année]	[g/an]	[g/an]	[g/an]
F61-16	F61	aval zone basse	0.003	n.a.	0.0006	173'206	2'256	117'312	367'933	66'868	11.58
Piezo Bleu	FPB	aval zone basse	0.002	n.a.	0.0005	5'688	1'014	52'728	97'923	25'837	0.15
F27-08	F27	aval zone basse	0.000	n.a.	0.007	725	1'112	57'824	-	404'768	0.29
PP1	PalPP1	aval zone haute			0.026	530	710	36'920		959'920	0.51
PP2	PalPP2	aval zone haute			0.016	417	136	7'072		114'095	0.05
PP3	PalPP3	aval zone haute			0.010	170	254	13'208		126'797	0.02
PP4	PalPP4	aval zone haute			0.013	550	282	14'664		187'699	0.10
<b>Somme</b>		<b>aval zone basse</b>					<b>4'382</b>	<b>227'864</b>		<b>497'473</b>	<b>12</b>
<b>Ecart-type</b>							<b>564</b>	<b>29'318</b>		<b>169'787</b>	<b>5</b>
<b>Somme</b>		<b>aval zone haute</b>					<b>1'382</b>	<b>71'864</b>		<b>1'388'511</b>	<b>1</b>
<b>Ecart-type</b>							<b>217</b>	<b>11'308</b>		<b>354'888</b>	<b>0.2</b>
<b>TOTAL somme</b>							<b>5'764</b>	<b>299'728</b>		<b>1'885'983</b>	<b>13</b>
<b>Ecart-type</b>							<b>684</b>	<b>35'566</b>		<b>303'930</b>	<b>4</b>

## Sarine crue . Etat 2016 situation normale. Evaluation sur 3 jours

n.a.		Situation rel. Décharge	Masse part.	4.3Σ6PC Bpart	Masse part. *	4.3Σ6PCBpart *	Flux exfiltrant (état 2016 avec palplanches, alors sans sections 1-4)		Flux particules		Flux PCB annuel
			22.08.16		Zone basse: moyenne crue / Zone haute: 04.11.15					Zone basse: moyenne crue / Zone haute: 04.11.15	Zone basse: moyenne crue / Zone haute: 04.11.15
			[g/l]	[ng/g]	[g/l]	[ng/g]	[m3/3j]	[m3/année]	[g/3j]	[g/3j]	
F61-16	F61	aval zone basse	0.003	n.a.	0.0260	57'252	1'245			32'370	1.85
Piezo Bleu	FPB	aval zone basse	0.002	n.a.	0.0019	2'505	495			941	0.00
Sondages	F27	aval zone basse	0.000	n.a.	0.041	476	596			24'317	0.01
PP1	PalPP1	aval zone haute			0.026	530	7			182	0.00
PP2	PalPP2	aval zone haute			0.016	417	5			81	0.00
PP3	PalPP3	aval zone haute			0.010	170	7			67	0.00
PP4	PalPP4	aval zone haute			0.013	550	3			38	0.00
<b>Somme</b>		<b>aval zone basse</b>					<b>2'336</b>			<b>57'627</b>	<b>2</b>
<b>Ecart-type</b>							<b>332</b>			<b>13'330</b>	<b>1</b>
<b>Somme</b>		<b>aval zone haute</b>					<b>22</b>			<b>368</b>	<b>0.00</b>
<b>Ecart-type</b>							<b>2</b>			<b>54</b>	<b>0.0</b>
<b>TOTAL somme</b>							<b>2'358</b>			<b>57'996</b>	<b>2</b>
<b>Ecart-type</b>							<b>440</b>			<b>12'871</b>	<b>1</b>

\* Masse particules, PCB sur particules: moyenne sur les campagnes du 14.09.16 15.00 au 17.09.16 16.00

## 2. Sarine

### 2.1 Analyse question biofilm

#### 2.1.1 Questions, réflexions à mener

Le stock de PCB lié au biofilm pourrait-il se contaminer avec les flux dissous et particulaires en provenance de la décharge ?

Comment est-ce que les PCB émis par la décharge impactent le stock présent dans la Sarine à l'aval de la décharge ? Notamment, si des PCB sont émis en périodes de basses-eaux de la Sarine, expliquer le lien avec le biofilm ?

#### 2.1.2 Réponses, analyse critique

La question du biofilm avait été abordée dans le document (Biofilm échantillonnage 2016 et proposition) annexé à la présente note et remis lors de la réunion du 10 novembre 2016. Une estimation du stock de PCB lié au biofilm avait été effectuée sur la base des analyses du BRGM. Le stock PCB associé au biofilm n'a pas été jugé pertinent au regard du stock de PCB présent dans les sédiments (< 2mm, > 2mm et condensateurs). Il a dès lors été décidé de ne pas analyser les échantillons prélevés avant la crue artificielle.

Les analyses du BRGM montrent une diminution lorsque l'on s'éloigne de la décharge. Comme rappelé dans le document annexé, « l'échantillonnage du BRGM a été effectué durant le chantier des mesures préliminaires, après la réalisation des palplanches mais avant l'extraction des matériaux pollués en contact avec l'eau de la Sarine au pied de la décharge ». Les résultats sont probablement plus influencés par les matériaux fortement pollués encore présents dans le lit de la Sarine.

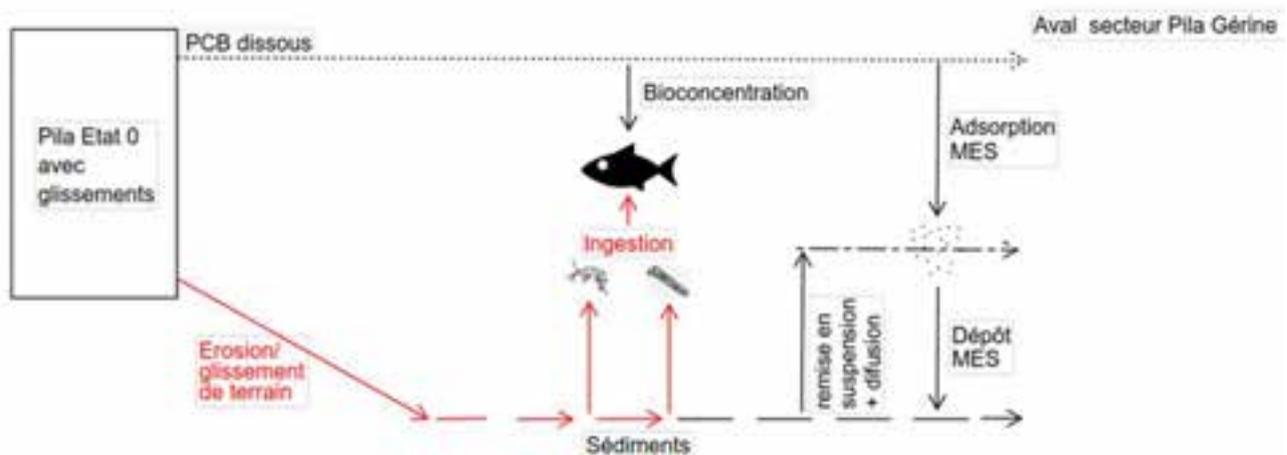
Dans le Chapitre 2.2.3.1 du rapport, une hypothèse est émise (augmentation de la production primaire avec la température, adsorption du PCB et relargage sous forme de MES) pour expliquer les concentrations en PCB mesurée dans les MES à la Passerelle.

L'absence de corrélation entre le COT et les PCB et, surtout, la présence de concentrations élevées à des périodes relativement froides montrent que la présence accrue de biofilm est insuffisante pour expliquer les concentrations en PCB à la Passerelle.

L'adsorption de PCB dissous ainsi que la déposition de PCB particulaires sont des processus qui existent, comme indiqué schématiquement dans la figure 6-7 du rapport.<sup>1</sup> Le rapport mentionne également « En ce qui concerne une possible augmentation des teneurs en PCB dans les sédiments par adsorption de PCB dissous sur les MES et déposition de ces MES sur le lit de la Sarine, elle est jugée non pertinente pour la contamination de la truite. L'une des raisons est que le flux amont de PCB dissous (400 g/a) est semblable ou supérieur aux flux de PCB dissous provenant de la décharge pour les deux états. Une autre raison provient des observations faites dans la Birse. Malgré une contamination importante en PCB dissous dans l'eau de la Birse, les sédiments sont peu affectés et présentent des concentrations en PCB relativement faibles<sup>[8]</sup>. »

---

<sup>1</sup> La deuxième partie de la figure 6-7 du rapport intitulée « Pila Etat 2016 » comporte une erreur : les processus remise en suspension et dépôt MES doivent être figurés en noir.



En admettant que ces processus soient importants et conduisent à une accumulation de PCB dans les sédiments, ils se produiraient également à l'amont de la Pila et sur le tronçon Gérine-Lac. Les concentrations très faibles mesurées dans les sédiments et la faible contamination des poissons du tronçon Pila-Gérine n'est pas compatible avec cette hypothèse.

Par ailleurs, l'augmentation progressive des flux de PCB (dissous, MES) le long du système montre que le bilan des échanges va plutôt dans le sens de la remise en suspension et de la diffusion.

Si l'on suppose tout de même qu'une contamination du biofilm et des sédiments par les flux issus de la décharge conduisant à une accumulation des PCB se produit, on peut estimer quelle est la fraction de ces flux qui pourrait effectivement s'accumuler. On peut considérer, en première approche, une tranche d'eau moyenne de 1 mètre<sup>2</sup> et un flux de PCB provenant de la décharge réparti sur toute la colonne d'eau.

Si l'on admet que l'interface dans laquelle se produit l'adsorption a une épaisseur de 2 centimètres<sup>3</sup>, seule une fraction des PCB émis sous forme dissoute et particulaire par la décharge serait accumulée.

En considérant que le 2% du flux annuel émis par les eaux souterraines (moy. 62 g – max. 167 g) s'adsorbe et s'accumule sur le tronçon Pila – Gérine, le stock de PCB des sédiments n'augmenterait que de 1.2 à 3.3 g/an.

Ces chiffres sont très faibles et non déterminants si on les compare au stock présent dans les sédiments ou à la masse de PCB nécessaire à faire dépasser un seuil poisson sur le tronçon Pila-Gérine (par exemple 364 g pour un poisson à 6.5 TEQ05). Si l'on tient compte de la dynamique de la Sarine (marnage quotidien, crues), des observations faites sur le terrain (pas d'accumulation durable de biofilm et de MES sur ce tronçon) et des analyses (pas de relation entre le COT et les PCB dans les sédiments, flux PCB dissous+MES augmentent dans le système), on constate que le processus d'adsorption de PCB par le biofilm puis de relargage de celui-ci dans la Sarine ne peut pas être déterminant.

Comme évoqué en séance, on peut également émettre l'hypothèse d'une accumulation locale des PCB sur les sédiments, à proximité immédiate de la décharge lorsque les PCB dissous sont émis en basses eaux.

En théorie, un tel phénomène est probable puisque les flux sortants ne sont pas encore mélangés au cours de la Sarine. Dans le cas de la Pila, on ne trouve quasiment pas de sédiments fins susceptibles de stocker du PCB

<sup>2</sup> Variable selon les profils et surtout les conditions de turbinage ; le chiffre de 1 mètre est destiné à présenter le calcul ; le profil utilisé pour les mesures ADCP à l'amont de la Passerelle présente par exemple une profondeur moyenne de 0.75 m à 3.5 m<sup>3</sup>/s et 1.1 m à 57 m<sup>3</sup>/s.

<sup>3</sup> La valeur de 2 centimètres est certes indicative, mais elle se base sur un calcul effectué pour estimer le taux d'échantillonnage des capteurs passifs en PDMS.

à proximité immédiate de la décharge en raison de la dynamique de la Sarine. Les matériaux fins déposés en fin de chantier des mesures préliminaires ont été emportés en 1 année environ. Le cas de la Birse rappelé plus haut a également montré qu'un flux liquide influence relativement peu les sédiments.

Si l'on suppose tout de même une accumulation préférentielle à proximité immédiate de la décharge, la surface concernée reste relativement faible en regard du cours de la Sarine. L'exposition des poissons à ces sédiments ne serait là aussi très probablement pas déterminante.

## 2.2 Objectif qualité eaux Sarine, utilisation valeur CIPR + scénarios dépassement

### 2.2.1 Questions, réflexions à mener

**Facteur de bioconcentration** eau → truite de 100'000 : quelle est l'incidence de ce facteur sur les résultats et que se passe-t-il si ce facteur varie ? (par exemple +/- 20%) ce facteur est basé sur le congénère PCB 101, qu'en est-il des autres congénères, par exemple PCB 52 ou PCB 180 ? Faut-il considérer pour ceux-ci un autre facteur de bioaccumulation ? Faut-il prendre en considération une proportion des 3 congénères ? Est-ce que cela influence l'objectif de qualité des eaux ?

### 2.2.2 Réponses, analyse critique

En utilisant le log BCF (5.1) figurant dans la publication de l'OFEV, on obtient un BCF de 126'000 pour les PentaCB et non 100'000<sup>4</sup> comme utilisé dans le texte de la publication et dans le rapport des études complémentaires. En appliquant le BCF de 126'000, on obtient des concentrations dans l'eau légèrement inférieures (voir tableaux ci-dessous)

En multipliant les différents facteurs de bioconcentration par l'abondance respective des groupes de congénères dans les échantillons d'eau de la Sarine, on obtient un BCF moyen de 127'000 correspondant au BCF pour les PentaCB.

En multipliant les différents facteurs de bioconcentration par l'abondance respective des congénères 52, 101 et 180 dans les échantillons d'eau de la Sarine, on obtient un BCF moyen de 89'000 correspondant au BCF pour les PentaCB.

L'utilisation du facteur de bioconcentration moyen de 100'000 pour les PentaCB est donc justifiée.

Concentration en PCB fixée dans la truite pg/g TEQ05   pg/g TEQ98   pg/g somme 6 iPCB			PentaCB BCF 100'000	
			Concentration en PCB estimée dans l'eau ng/L somme 6	ng/L somme 6 x 4.3
3.3	4.0	50'000	0.5	2.2
6.5	8.0	100'000	1.0	4.3
25	31	384'615	3.8	17

<sup>4</sup> Le facteur de 100'000 est un BCF utilisé pour l'Aroclor 1254 (Chlorinated Compounds in the Environment, Sub Ramamoorthy, 1997)

PentaCB  
BCF 126'000

Concentration en PCB fixée dans la truite pg/g TEQ05   pg/g TEQ98   pg/g somme 6 iPCB			Concentration en PCB estimée dans l'eau ng/L somme 6   ng/L somme 6 x 4.3	
3.3	4.0	50'000	0.4	1.7
6.5	8.0	100'000	0.8	3.4
25	31	384'615	3.1	13

Le calcul d'une gamme, en appliquant différents BCF, donne les résultats suivants. La justification d'une telle approche mériterait d'être abordée avec les experts.

HeptaCB  
BCF 630'000

Concentration en PCB fixée dans la truite pg/g TEQ05   pg/g TEQ98   pg/g somme 6 iPCB			Concentration en PCB estimée dans l'eau ng/L somme 6   ng/L somme 6 x 4.3	
3.3	4.0	50'000	0.1	0.3
6.5	8.0	100'000	0.2	0.7
25	31	384'615	0.6	3

TétraCB  
BCF 40'000

Concentration en PCB fixée dans la truite pg/g TEQ05   pg/g TEQ98   pg/g somme 6 iPCB			Concentration en PCB estimée dans l'eau ng/L somme 6   ng/L somme 6 x 4.3	
3.3	4.0	50'000	1.3	5.4
6.5	8.0	100'000	2.5	10.8
25	31	384'615	9.7	42

Les conséquences sont les suivantes :

L'application du BCF le plus élevé (630'000) conduit aux concentrations les plus basses dans l'eau. Cette frontière basse est peu plausible. En admettant que ces concentrations aussi basses soient suffisantes pour contaminer le poisson par l'eau, les concentrations en PCB dans les poissons devraient être supérieures aux valeurs mesurées. Toutes les concentrations en PCB mesurées dans la Sarine à l'aide des capteurs passifs<sup>5</sup> sont supérieures ou égales à 0.3 ng/L (1 ng/L à partir d'Invua).

La contamination de base des poissons devrait ainsi être au moins égale à 3.3 pg/g TEQ05 (6.5 pg/g TEQ05 à partir d'Invua). On voit que ce n'est pas le cas, particulièrement sur le tronçon Gérine-Lac.

<sup>5</sup> Concentrations moyennes corrigées 2016 (figure 2-24 du rapport principal)

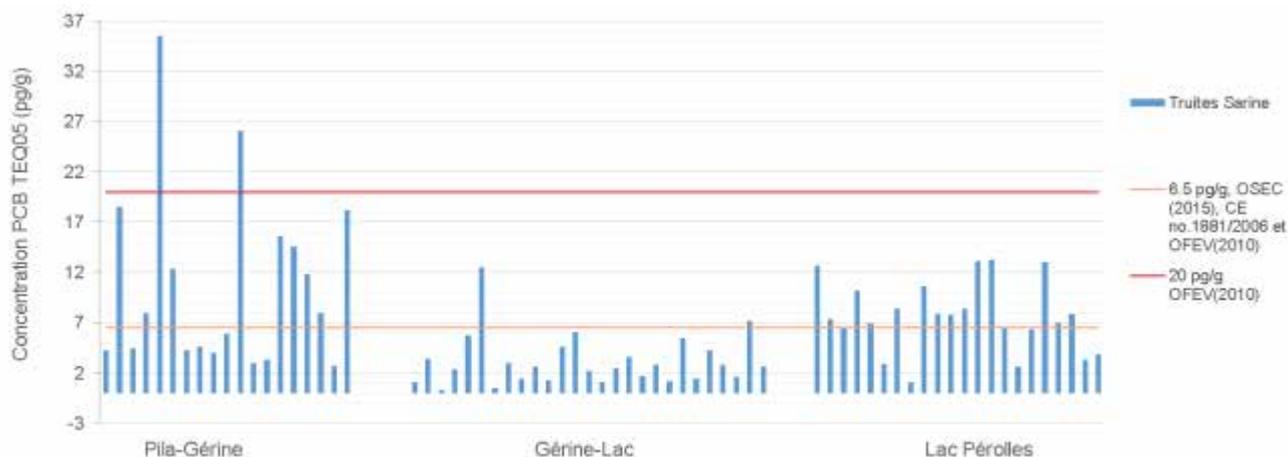


Figure 2-35 Concentration en PCB dans la chair des truites en 2016, par secteur.

L'application du BCF le plus bas (40'000), également peu plausible, donne les concentrations les plus élevées dans l'eau.

En complément du BCF moyen, on pourrait effectivement présenter une gamme de concentration basée sur différents calculs du BCF moyen (cela donnerait +11% / -27%). Cette gamme ne devrait en tout cas pas être établie avec les BCF extrêmes, qui ne sont pas plausibles.

Cette présentation se répercuterait dans le Tableau 6-5 du rapport (repris ci-dessous<sup>6</sup>) où l'on calcul les masses de PCB nécessaires pour faire passer le volume d'eau transitant annuellement dans la Sarine (tronçon Pila-Gérine) au-dessus d'un seuil. En admettant la cible poisson la plus basse et en retranchant un 27% à la masse de PCB nécessaire pour faire dépasser la cible, cette masse reste de l'ordre de 2 kilos. Cette valeur est plus de 10 fois supérieure à l'estimation des flux de PCB dissous pour l'état 0 émis par la décharge,

Cible poisson	Seuil eau	Volume trans	Masse PCB
TEQ05	6i x 4.3	PG	PG
pg/g	ng/L	L/an	g/an
3.3	2.2	1.2157E+12	2'675
6.5	4.3	1.2157E+12	5'228
25	17	1.2157E+12	20'668

## 2.3 Objectif qualité sédiments de la Sarine + scénarios dépassement

### 2.3.1 Questions, réflexions à mener

**Le calcul du BSAF**, qui permet d'établir un ratio entre la concentration de PCB dans le biote et celle contenue dans le sédiment, se base sur une truite consommable sans restriction (6.5 pg/g TEQ05). Qu'en est-il

<sup>6</sup> Le tableau a été complété par le calcul de la masse PCB pour une cible poisson à 3.3 pg/g TEQ05

si l'on considère un seuil à 3.3 pg/g TEQ05 dans la truite (par analogie avec le seuil pris en considération pour l'eau) ? Dans ce cas quel serait le seuil admissible dans les sédiments ?

## 2.3.2 Réponses, analyse critique

Les données utilisées pour déterminer le seuil sédiments selon l'approche BSAF sont présentées en Annexe A de l'Annexe 6.3.2 du rapport. Au total, 65 échantillons de sédiments (fraction < 2 mm, prof. 0-15 cm) et 71 poissons, associés par paires en fonction des secteurs, ont été utilisés pour former 1'325 couples de BSAF.

Les experts ont considéré que le jeu de données était très bon. La quantité et la qualité des données a permis de développer une approche solide telle que présentée dans le rapport.

En considérant un seuil poisson de 3.3 pg/g TEQ05, l'objectif de qualité des sédiments sera sensiblement inférieur à 0.040<sup>7</sup> mg/kg pour la somme des 6 PCB indicateurs multipliée par 4.3 sur la fraction inférieure à 2 mm des sédiments. Ce seuil a été intégré dans le tableau ci-dessous (Tableau 6-1 du rapport<sup>8</sup>).

Seuil poisson	Seuil sédiment	Erreur Type II	Efficacité globale
pg/g TEQ05	mg/kg somme 6 iPCB x 4.3	%	%
3.3	0.040		
6.5	0.058	12	71
25	0.161	17	75

Une application de ce seuil est présentée ainsi que le calcul de la masse de PCB nécessaire à produire un dépassement dans la couche 0-15 des sédiments du tronçon Pila-Gérine. Avec un seuil poisson de 3.3 pg/g TEQ05, la masse de PCB suffisante pour conduire à un dépassement sur le tronçon Pila-Gérine diminue. Le tableau 6-3 du rapport repris ci-dessous est complété avec ce nouveau calcul.

Il suffit de 243 g de PCB répartis dans la couche supérieure des sédiments du tronçon Pila-Gérine pour que la concentration en PCB dans les poissons soit de 3.3 pg/g TEQ05.

Cible poisson	Seuil < 2 mm	Seuil brut	Masse sédiment brut 0-15 cm	Masse PCB sédiment brut
TEQ05	BSAF	BSAF	PG	avec seuil brut
pg/g	mg/kg 6 x 4.3	mg/kg 6 x 4.3	kg	g, somme 6 x 4.3
3.3	0.04	0.015	16'099'970	243
6.5	0.058	0.023	16'099'970	364
25	0.161	0.066	16'099'970	1'058

Le choix d'une cible poisson plus basse renforce le caractère déterminant des apports solides de PCB dans la Sarine

Pour bien comprendre ces chiffres, il faut rappeler qu'il s'agit d'une approche théorique, considérant que les sédiments de la Sarine ne contiennent aucun PCB. Ce calcul a pour but d'établir la masse de PCB qui, ajoutée à la masse de sédiment brut sur le tronçon Pila Gérine, amènerait à un dépassement de la cible poisson. Cette

<sup>7</sup> Il s'agit d'un premier calcul qui doit encore être validé, les taux d'erreurs et l'efficacité de ce seuil n'ont pas été déterminés à ce stade

masse de PCB calculée ne peut pas être mise en relation directe et mathématique avec les rejets à partir de la décharge, mais montre la sensibilité du système aux rejets solides à partir de la décharge ou en provenance d'autres sources.

Les masses PCB indiquées ne peuvent donc pas être considérées comme les rejets solides annuels acceptables pour atteindre les seuils poissons. L'évaluation des rejets solides à partir de la décharge a été faite en établissant des hypothèses sur la distribution des flux et la dynamique de la Sarine, comme le glissement de terrain (Chapitre 5.5) ou l'exemple calculé avec l'érosion dans la Chapitre 6.3.3.2 du rapport ; elle permet de hiérarchiser les différents flux pour les états 0 et 2016 relativement à leur effet sur la Sarine.

La prise en compte et l'application de ces seuils dans le futur pose différentes questions en relation avec :

- La prise en compte des autres apports,
- Le cumul des effets,
- Le type de monitoring : fréquence et méthodes de mesures directes (eau, sédiments), fréquence et méthodes de mesures indirectes (gammames, poissons), critères de dépassement, etc.

## 2.4 Stocks de PCB dans sédiments Sarine

### 2.4.1 Questions, réflexions à mener

Le calcul du **stock de PCB dans les sédiments** compris entre la Pila et la Gérine se base sur un total de 4 échantillons prélevés entre 15 et 75 cm de profondeur et concerne une surface de plusieurs dizaines de m<sup>2</sup>. L'incertitude sur le calcul du stock est estimée à 30% : comment arrive-t-on à ce résultat ? Quelle est la précision des données en tenant compte de leur variabilité et du nombre d'échantillons analysés ?

Ne faudrait-il pas émettre une réserve sur la durée possible de la vidange (entre 30 et 100 ans) ? Ne pas mentionner de chiffres précis 36 à 114 ans ? Ou adopter une formulation du type pourrait se vider en plusieurs dizaines d'années ?

### 2.4.2 Réponses, analyse critique

Le calcul des stocks de PCB dans les sédiments est expliqué dans l'Annexe 4 et les résultats sont présentés dans le chapitre 4.2 du rapport.

Les calculs ont été effectués pour chaque fraction (< 2mm, > 2 mm) selon les différentes profondeurs échantillonnées (0-15 cm, >15 cm).

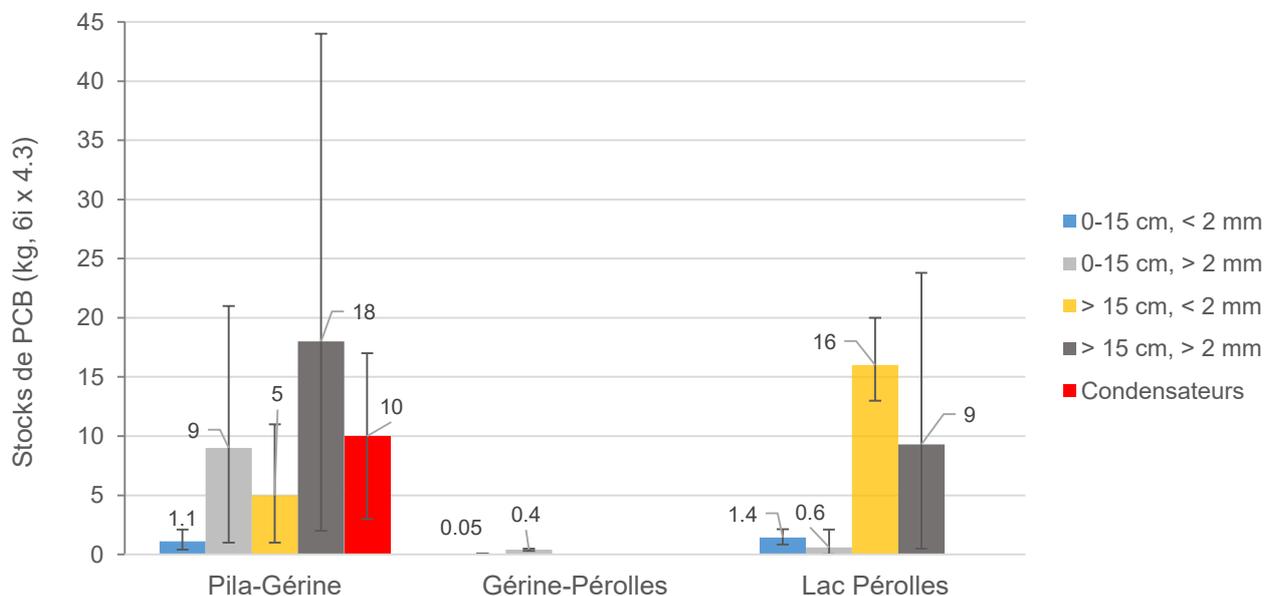
Pour chaque calcul, nous avons fait varier les paramètres suivants : surface, masse volumique et granulométrie (contribution des fractions) dans les gammes indiquées en Annexe 4. Ce procédé a permis d'obtenir une masse de sédiments minimale et maximale en fonction des différents paramètres.

Les stocks PCB ont ensuite été calculés en utilisant les concentrations moyennes et médianes établies sur la base des échantillons disponibles.

Ce procédé prend en compte la variabilité des concentrations en PCB mesurées dans les sédiments.

Pour chaque calcul, on obtient ainsi 4 résultats à partir desquels une moyenne ainsi que des valeurs min. et max. sont tirées. La feuille de calcul insérée en fin de paragraphe présente le détail du calcul des stocks

sédiments pour la couche 0-15 centimètres de profondeur. Les stocks sédiments ainsi obtenus sont résumés dans le graphique suivant. Il s'agit d'une mise à jour de la figure 4-2 du rapport<sup>9</sup>.



L'incertitude importante, énoncée dans le rapport, est bien exprimée. Les barres d'erreur reflètent la contribution des paramètres de base (superficie, granulométrie, masse volumique) dans leurs gammes respectives ainsi que la variabilité des concentrations en PCB exprimée par les moyennes et médianes des concentrations mesurées.

Pour la couche superficielle du tronçon Pila – Gérine (les deux premières colonnes du graphique), les barres d'erreur sont d'au moins 60%.

Dans le schéma de synthèse (figure 4-2 du rapport) les stocks sont exprimés par tronçon avec la somme des valeurs min. et max. de tous les résultats du tronçon correspondant.

Les concentrations en PCB mesurées dans les sédiments présentent des écarts très importants, ce qui pose la question de la représentativité des estimations, en particulier pour les calculs effectués avec un nombre limité de données (par exemple 4 analyses pour le stock >2mm >15 cm Pila-Gérine).

La variabilité des concentrations et les écarts importants mesurés sont principalement expliqués par un effet pépète. C'est la présence de déchets de condensateurs fortement concentrés en PCB dans certains échantillons qui explique principalement les concentrations les plus élevées. Cela aurait peu de sens d'utiliser ces valeurs seules pour estimer un stock sédiment extrême.

La forte influence des valeurs élevées est déjà bien exprimée dans le calcul des concentrations moyennes, en particulier pour les petites séries de données. Une autre approche consistant à utiliser les quartiles inférieurs et supérieurs des séries de données produirait d'autres résultats sans toutefois modifier les ordres de grandeur.

En augmentant le nombre d'échantillons, la probabilité de trouver une concentration élevée (effet pépète lié à la présence de déchets) augmente certes, mais l'on retrouvera probablement aussi un nombre important de concentrations basses, comme par exemple dans les fractions les plus analysées (par exemple 27 analyses pour le stock <2mm 0-15 cm Pila-Gérine).

<sup>9</sup> une erreur dans le calcul des stocks >15 cm et > 2 mm a été identifiée et corrigée dans le graphique ; les ordres de grandeur ne sont pas modifiés.

En augmentant le nombre de prélèvements, il serait nécessaire, pour autant que cela soit techniquement possible, d'échantillonner le centre du cours d'eau moins représenté. Cela augmenterait certainement le nombre d'échantillons moins chargés en PCB puisque l'on s'éloigne des zones de déposition des sédiments/déchets.

Il est également nécessaire de relativiser la valeur absolue du stock total puisque tous nos calculs de stocks sont limités par la profondeur maximale investiguée.

L'approche utilisée pour le calcul des stocks pourrait certes faire l'objet de quelques ajustements, mais les ordres de grandeurs sont peu susceptibles d'être modifiés. Il s'agit de l'une des meilleures approches possibles sur la base des données récoltées.

Par ailleurs, le niveau des stocks n'influence pas les évaluations effectuées du point de vue de la décharge puisque les effets de la décharge (Etat 0, Etat 2016, variantes d'assainissements) sont comparés entre eux en admettant des rejets dans un cours d'eau non pollué.

Concernant les calculs basés sur les diminutions des stocks, les durées calculées sont évidemment indicatives et doivent être considérées prudemment.

Il est tout à fait possible d'arrondir les résultats des calculs, par exemple : « 30 – 100 ans », « plusieurs dizaines d'années », « jusqu'à 100 ans », tout en expliquant le détail du calcul dans une note.

Cette présentation doit être adaptée au public à qui est destiné le document et au message que l'on transmet. Le rapport des études complémentaires est destiné à un public professionnel avec une connaissance préalable de nombreux domaines ainsi que du dossier de la Pila. Des arrondis et simplification (justifiés) auront plutôt leur place dans une communication à un public plus large.

**FRACTION FINE < 2 mm**

**Calculs stock surface (0-15cm), fraction fine < 2 mm. Découpage manuel, Conc. PCB moyennes, G#1 avec < 2 mm entre 80 et 100%**

Segment	Découpage manuel		Volume sédiment (m3)	Masses volumiques (kg/m3)				Masse totale sédiment (kg)				% Masse < 2 mm				Masse < 2 mm sédiment (kg)				Masse PCB (kg) < 2 mm				
	Surface m2	Concentrations PCB moy Somme 6 x 4.3 (mg/kg)		Volume sedin	Volume sedin	0/4 mm diam, Sables Wiki	32/45 mm dia Gravier BA	MIN kg G1	MAX kg G1	MIN kg G3	MAX kg G3	Type G1	Type G1	Type G3	Type G3	Type G1	Type G1	Type G3	Type G3	TypeG1+G3	TypeG1+G3	TOTAL MIN kg	TOTAL MAX kg	
Pila-Gerine	62'695	0.4	0	9'404	1460	1600	1550	1820	0	0	14'576'492	17'115'622	0.80	1.00	0.10	0.30	0	0	1'457'649	5'134'687	1'457'649	5'134'687	1	2
Gerine-Lac	186'291	0.006	0	27'944	1460	1600	1550	1820	0	0	43'312'705	50'857'498	0.80	1.00	0.10	0.30	0	0	4'331'270	15'257'249	4'331'270	15'257'249	0.03	0.10
Lac	265'551	0.03	39'833	0	1460	1600	1550	1820	58'155'669	63'732'240	0	0	0.80	1.00	0.10	0.30	46'524'535	63'732'240	0	46'524'535	63'732'240	1.58	2.17	
Total																					2	4		

**Calculs stock surface (0-15cm), fraction fine < 2 mm. Découpage manuel, Conc. PCB médianes, G#1 avec < 2 mm entre 80 et 100%**

Segment	Découpage manuel		Volume sédiment (m3)	Masses volumiques (kg/m3)				Masse totale sédiment (kg)				% Masse < 2 mm				Masse < 2 mm sédiment (kg)				Masse PCB (kg) < 2 mm				
	Surface m2	Concentrations PCB méd Somme 6 x 4.3 (mg/kg)		Volume sedin	Volume sedin	0/4 mm diam, Sables Wiki	32/45 mm dia Gravier BA	MIN kg G1	MAX kg G1	MIN kg G3	MAX kg G3	Type G1	Type G1	Type G3	Type G3	Type G1	Type G1	Type G3	Type G3	TypeG1+G3	TypeG1+G3	TOTAL MIN kg	TOTAL MAX kg	
Pila-Gerine	62'695	0.2	0	9'404	1460	1600	1550	1820	0	0	14'576'492	17'115'622	0.80	1.00	0.10	0.30	0	0	1'457'649	5'134'687	1'457'649	5'134'687	0.3	1
Gerine-Lac	186'291	0.004	0	27'944	1460	1600	1550	1820	0	0	43'312'705	50'857'498	0.80	1.00	0.10	0.30	0	0	4'331'270	15'257'249	4'331'270	15'257'249	0.02	0.07
Lac	265'551	0.02	39'833	0	1460	1600	1550	1820	58'155'669	63'732'240	0	0	0.80	1.00	0.10	0.30	46'524'535	63'732'240	0	46'524'535	63'732'240	0.85	1.16	
Total																					1	2		

**Synthèse stock PCB de la fraction < 2 mm 0-15 cm [kg]**

	< 2 mm	MOY	MIN	MAX	± NEG	± POS
Tous secteur	3	1	4	1	2	
Pila-Gérine	1.1	0.3	2	0.7	1.1	
Gérine-Lac	0.05	0.02	0.10	0.03	0.04	
Lac Pérolles	1.4	0.8	2	0.6	0.7	

**Calculs stock surface (0-15cm), refus > 2 mm. Découpage manuel, Conc. PCB moyennes avec 12.8 ppm, G#1 avec < 2 mm entre 80 et 100%**

Segment	Découpage manuel		Volume sédiment (m3)	Masses volumiques (kg/m3)				Masse totale sédiment (kg)				% Masse > 2 mm				Masse > 2 mm sédiment (kg)				Masse PCB (kg) < 2 mm				
	Surface m2	Concentrations PCB moy Somme 6 x 4.3 (mg/kg)		Volume sedin	Volume sedin	0/4 mm diam, Sables Wiki	32/45 mm dia Gravier BA	MIN kg G1	MAX kg G1	MIN kg G3	MAX kg G3	Type G1	Type G1	Type G3	Type G3	Type G1	Type G1	Type G3	Type G3	TypeG1+G3	TypeG1+G3	TOTAL MIN kg	TOTAL MAX kg	
Pila-Gerine	62'695	1	0	9'404	1460	1600	1550	1820	0	0	14'576'492	17'115'622	0.00	0.20	0.70	0.90	0	0	10'203'544	15'404'060	10'203'544	15'404'060	14	21
Gerine-Lac	186'291	0.01	0	27'944	1460	1600	1550	1820	0	0	43'312'705	50'857'498	0.00	0.20	0.70	0.90	0	0	30'318'893	45'771'748	30'318'893	45'771'748	0.36	0.54
Lac	265'551	0.1	39'833	0	1460	1600	1550	1820	58'155'669	63'732'240	0	0	0.00	0.20	0.70	0.90	0	0	12'746'448	0	0	12'746'448	0.00	1.80
Total																					14	23		

**Calculs stock surface (0-15cm), refus > 2 mm. Découpage manuel, Conc. PCB médianes, avec 12.8 ppm, G#1 avec < 2 mm entre 80 et 100%**

Segment	Découpage manuel		Volume sédiment (m3)	Masses volumiques (kg/m3)				Masse totale sédiment (kg)				% Masse > 2 mm				Masse > 2 mm sédiment (kg)				Masse PCB (kg) < 2 mm				
	Surface m2	Concentrations PCB méd Somme 6 x 4.3 (mg/kg)		Volume sedin	Volume sedin	0/4 mm diam, Sables Wiki	32/45 mm dia Gravier BA	MIN kg G1	MAX kg G1	MIN kg G3	MAX kg G3	Type G1	Type G1	Type G3	Type G3	Type G1	Type G1	Type G3	Type G3	TypeG1+G3	TypeG1+G3	TOTAL MIN kg	TOTAL MAX kg	
Pila-Gerine	62'695	0.1	0	9'404	1460	1600	1550	1820	0	0	14'576'492	17'115'622	0.00	0.20	0.70	0.90	0	0	10'203'544	15'404'060	10'203'544	15'404'060	1	1
Gerine-Lac	186'291	0.009	0	27'944	1460	1600	1550	1820	0	0	43'312'705	50'857'498	0.00	0.20	0.70	0.90	0	0	30'318'893	45'771'748	30'318'893	45'771'748	0.27	0.40
Lac	265'551	0.05	39'833	0	1460	1600	1550	1820	58'155'669	63'732'240	0	0	0.00	0.20	0.70	0.90	0	0	12'746'448	0	0	12'746'448	0.00	0.61
Total																					1	2		

**Synthèse stock PCB de la fraction > 2 mm 0-15 cm [kg]**

	> 2 mm	MOY	MIN	MAX	± NEG	± POS
Tout le secteur	10	1	23	9	13	
Pila-Gérine	9	1	21	8	12	
Gérine-Lac	0.4	0	1	0.1	0.1	
Lac	0.6	0	2	0.6	1.2	

## 2.5 Flux PCB dissous dans Sarine + Glâne (conditions normales + crue)

### 2.5.1 Questions, réflexions à mener

**Conversion des valeurs mesurées sur les capteurs passifs en valeur de concentration dans l'eau** : quel est le modèle de calcul utilisé ? Comment définit-on les 18 l/ jour ? L'adsorption des PCB sur les capteurs passifs n'étant pas linéaire, pourquoi divise-t-on la concentration par le temps d'exposition ? Comment ont été évaluées les incertitudes ? Comment ces incertitudes se transposent-elles sur le schéma des stocks et des flux ? Pourquoi ne fait-on plus référence au PRC et pourquoi n'a-t-il pas été appliqué ?

Peut-on appliquer les mêmes méthodes de calcul et de conversion pour la Glâne qui est un cours d'eau différent ? Si oui avec quelles incertitudes ?

### 2.5.2 Réponses, analyse critique

La conversion des concentrations en PCB mesurées dans les capteurs passifs en concentrations dans l'eau est brièvement décrite au chapitre 2.3.2 du rapport et se réfère aux annexes suivantes pour plus de détail : *Annexe 2.3.3.1 – 1 Capteurs passifs Rapports EMPA* et *2.3.3.2 – 2 PCB dissous Conversion des unités*.

#### Facteurs de correction

Les concentrations mesurées dans les capteurs passifs ont été corrigées afin de permettre la comparaison des sites d'échantillonnage qui présentent des conditions d'expositions différentes.

Dans le but de comparer les sites entre eux, des essais à l'aide de capteurs passifs marqués avec des composés de référence (PRC) avaient été réalisés sur deux campagnes de 2015. Les résultats sont présentés dans le rapport « CSD FR2706.916, Décharge de la Pila - Surveillance et monitoring des eaux souterraines selon OSites & Monitoring de la Sarine (Pronat) 2015, 29.03.2016 ». Ces essais avaient montré qu'une correction des mesures n'était a priori pas nécessaire, en particulier pour les 5 sites suivis dès 2012 sur la Sarine.

Sur la base de la campagne de novembre 2015, comprenant des sites additionnels, l'EMPA a établi des facteurs de correction basés sur la vitesse d'écoulement et la cinétique d'adsorption des PDMS (voir également l'Annexe 7.1.1 de la publication de l'OFEV Mesure des PCB et des dioxines dans les cours d'eau 2016).

Dès la campagne de mai 2016, comprenant l'ensemble des sites de mesure, l'EMPA a défini des facteurs de correction basés sur la perte de composés dans les capteurs marqués avec les PRC. Les facteurs de correction indiqués dans le tableau de l'Annexe 2.3.3.2 – 2 ont sont présentés dans les rapports de l'EMPA en Annexe 2.3.3.2-1.

Les concentrations « corrigées » mentionnées dans le rapport sont basées sur ces coefficients.

#### Taux d'échantillonnage L/j

L'EMPA a également réalisé une étude supplémentaire sur un cours d'eau (voir Annexe 2.3.3.2-1 : Rapport EMPA de novembre 2015). Le texte en italique ci-dessous est repris du rapport de Surveillance et monitoring 2015.

*Parallèlement à l'essai avec le marquage au PRC, l'EMPA a réalisé à ses frais une étude pour estimer le flux (taux d'échantillonnage) des PCB transitant dans les capteurs passifs en situation réelle dans le Kriesbach (Dübendorf, ZH), dans le but ensuite d'estimer le volume de PCB dans l'eau de la Sarine.*

Des capteurs passifs ont été exposés dans le Kriesbach pendant deux resp. quatre semaines sur quatre stations. La température de l'eau ainsi que la vitesse du courant ont été mesurées 3 à 4 fois par semaine à chaque station.

Pendant ce temps, 9 échantillons d'eau ont été analysés en PCB. Le taux d'échantillonnage en litre/jour a été calculé au moyen de la fonction suivante :

$$Rs = m / Cw * t$$

Avec :

- $Rs$  = taux d'échantillonnage en litre/jour
- $m$  = quantité de PCB sur le capteur (par ex. ng) •  $Cw$  = concentration dans l'eau (par ex. ng/litre)
- $t$  = temps d'exposition en jour

Les taux d'échantillonnage déterminés sur la base de ces expériences ont été utilisés pour calculer des concentrations en PCB réalistes à partir de l'analyse des capteurs passifs. Le rapport de l'EMPA mentionne que « Les taux d'échantillonnage calculés pour des vitesses de courant entre 0.23 m/s et 1 m/s sont situés dans un domaine relativement étroit de 8 à 19 L/j. Les taux d'échantillonnage moyens pour une vitesse de courant de 0.5 m/s sont situés entre 11 et 13 L/j. Pour une vitesse de courant de 1 m/s, ils se situent entre 15 et 18 L/j. » Ces résultats confirment les taux de 10 à 20 L/j utilisés auparavant et déterminés à l'aide d'autres approches.

Ces résultats ont donc été utilisés pour calculer les concentrations en PCB selon différents taux d'échantillonnage dans le tableau de l'Annexe 2.3.3.2 – 2. Ces calculs permettent de prendre en compte les variations des vitesses de courant dans la Sarine et ses affluents.

## Durées d'exposition variables des capteurs PDMS

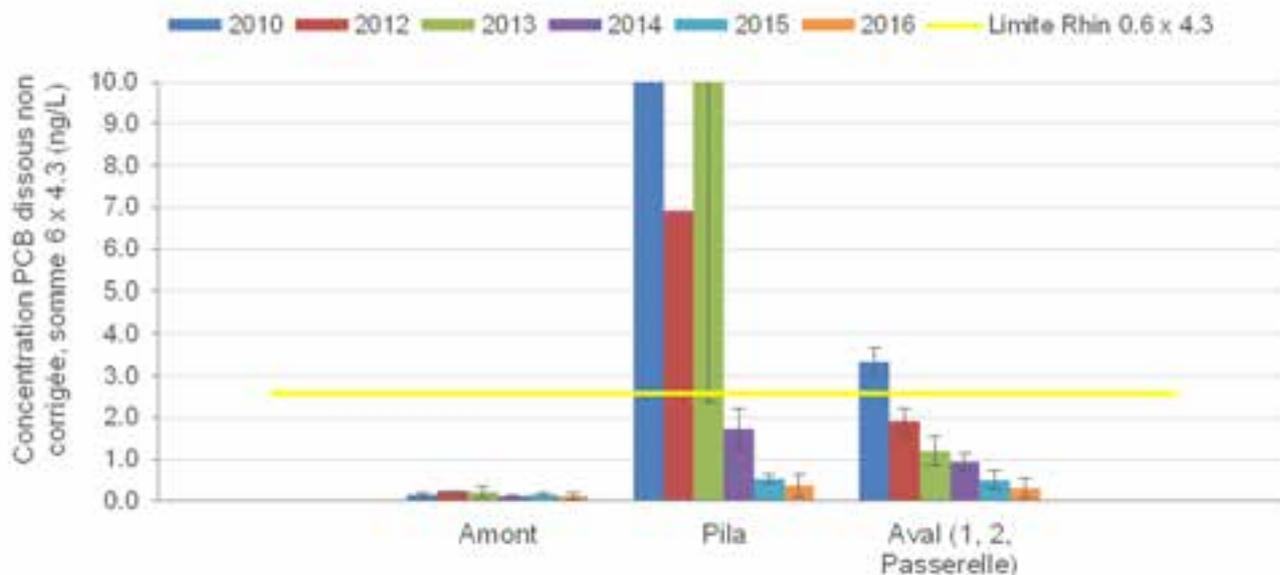
Les temps d'exposition de 2, 4 et 5 semaines utilisés pour les calculs sont compris dans la phase d'accumulation intégrative des PCB par les capteurs PDMS. Durant cette phase, l'accumulation des PCB est proportionnelle à la durée et les données peuvent être exprimées par unité de temps ; par exemple 1 jour (voir également Chapitre 4.3.3 et annexe 7.1.2-3 de la publication de l'OFEV).

L'exposition de deux séries de capteurs passifs durant 2 et 4 semaines en novembre 2015 a montré que la concentration en PCB après 4 semaines n'était pas exactement le double de la concentration après 2 semaines. Ces différences s'expliquent par des conditions d'exposition variables (vitesse d'écoulement, température, éventuel biofilm à la surface des capteurs). Comme les conditions d'exposition peuvent varier, l'application de facteurs de correction est donc justifiée.

Les variations temporelles des concentrations en PCB dans l'eau peuvent également expliquer certaines différences.

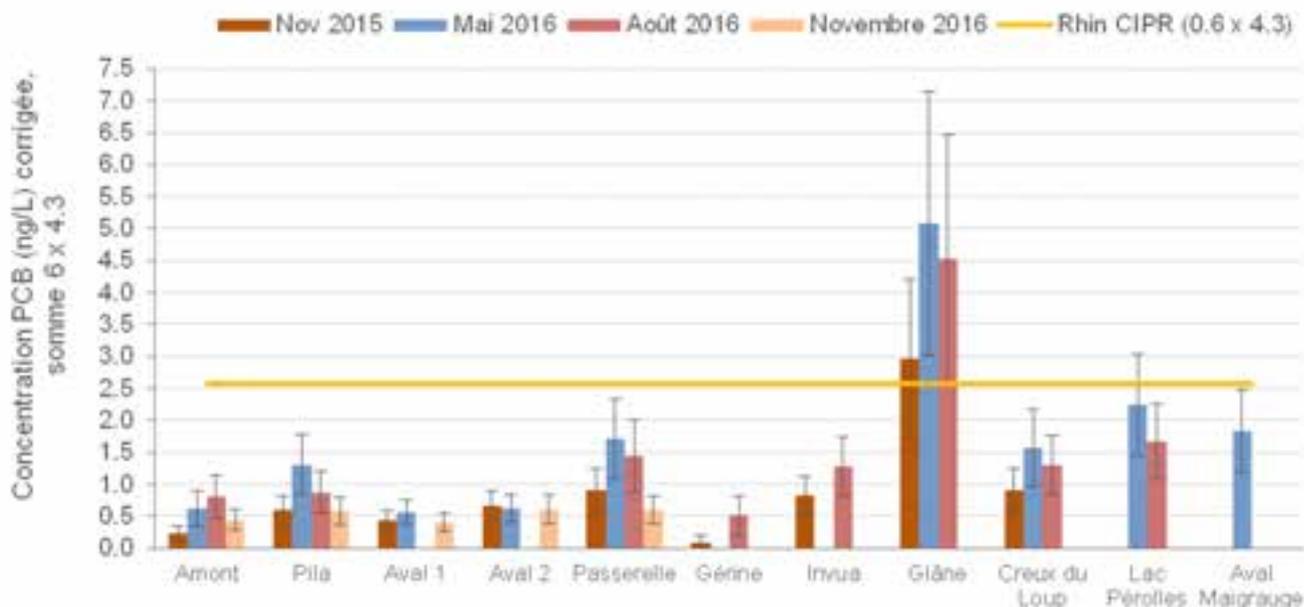
## Calcul des concentrations et prise en compte des incertitudes

Les concentrations ont été calculées et présentées de différentes manières dans les figures du rapport.



La Figure 2-20 ci-dessus montre l'évolution temporelle des concentrations en PCB de 2010 à 2016. Pour ce calcul avec des points d'échantillonnage situés dans le cours de la Sarine avec une vitesse avoisinant 1 m/s, l'utilisation de la valeur de 18 L/j a été prise en compte pour le taux d'échantillonnage. Les concentrations mesurées dans les capteurs n'ont pas été corrigées d'une part parce que, pour les années 2010 à 2014, les capteurs marqués avec des PRC n'étaient pas encore utilisés, et, d'autre part, parce que les points de mesures présentent des conditions d'exposition très proches et sont donc comparables.

Comme mentionné dans la légende, la barre d'erreur représente l'écart type sur la moyenne annuelle. En intégrant une incertitude liée au taux d'échantillonnage (voir ci-dessous) et/ou une l'incertitude de la mesures des PCB par le laboratoire (20%), les barres d'erreur pourraient être plus grandes, sans toutefois modifier les tendances montrées par les résultats.

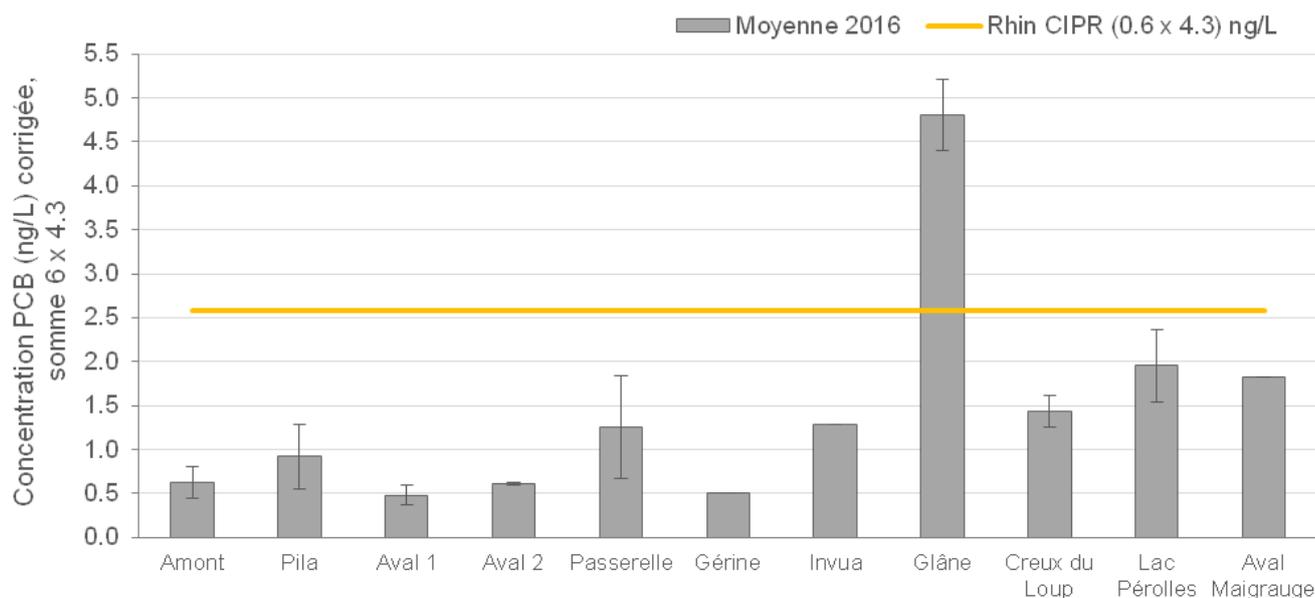


La Figure 2-23 ci-dessus montre les concentrations en PCB par campagne d'échantillonnage pour tous les sites investigués entre 2015 et 2016.

Les concentrations mesurées dans les capteurs ont été corrigées à l'aide des coefficients établis par l'EMPA (voir tableau de l'Annexe 2.3.3.2 – 2).

L'incertitude liée au taux d'échantillonnage est prise en compte en calculant, pour chaque capteur, des concentrations en PCB dans l'eau avec des taux d'échantillonnage de 8, 12, 16 et 18 L/j. Comme mentionné dans le rapport, la barre d'erreur représente l'écart-type autour de la moyenne des concentrations calculées, soit 8 valeurs par campagne lorsque 2 capteurs ont été analysés.

Cette présentation individuelle des résultats par campagne d'échantillonnage montre la variabilité saisonnière pour les sites disposant de plusieurs campagnes de mesures.



La Figure 2-24 ci-dessus présente une seule valeur pour l'année 2016 basée sur la moyenne des concentrations calculés dans la Figure 2-23.

La barre d'erreur représente l'écart-type autour des concentrations moyennes de l'année 2016. Elle rend compte de la variabilité saisonnière observée en 2016. Pour la Gérine, Invua et Aval Maigrage, une seule campagne de mesure est disponible en 2016. La valeur représentée, sans barre d'erreur, représente la concentration moyenne calculée pour les différents taux d'échantillonnage. Bien que cela ne modifie pas les ordres de grandeur, on pourrait intégrer la campagne de novembre 2015.

Les concentrations ainsi obtenues, corrigées à l'aide des PRC et prenant en compte des taux d'échantillonnage inférieurs à 18 L/j, sont supérieures aux concentrations présentées dans la Figure 2-20.

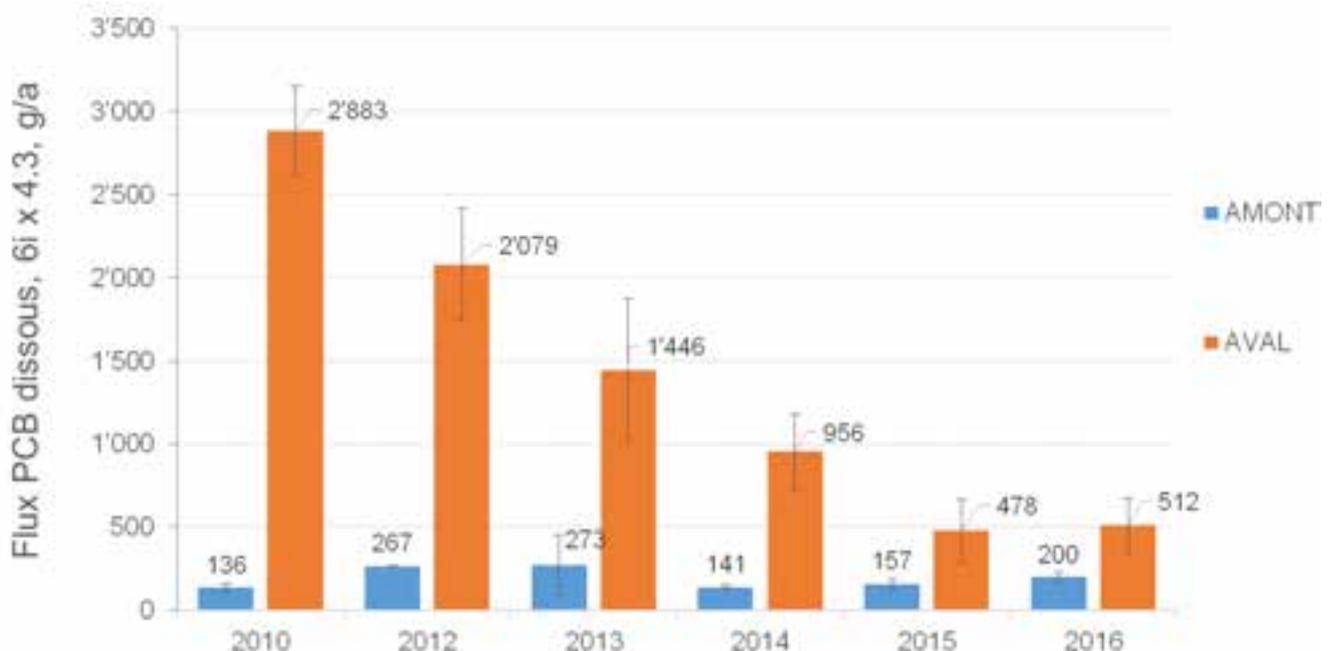
## Calcul des flux



La Figure 4-5 ci-dessus présente les flux de PCB calculés pour 5 points dans la Sarine et ses affluents en 2016. Les flux ont été déterminés sur la base des concentrations moyennes calculées selon le même principe que pour la figure 2-24 du rapport. Les données de plusieurs sites d'échantillonnage ont été agrégées pour déterminer les concentrations Aval Pila (voir Annexe 4 du rapport).

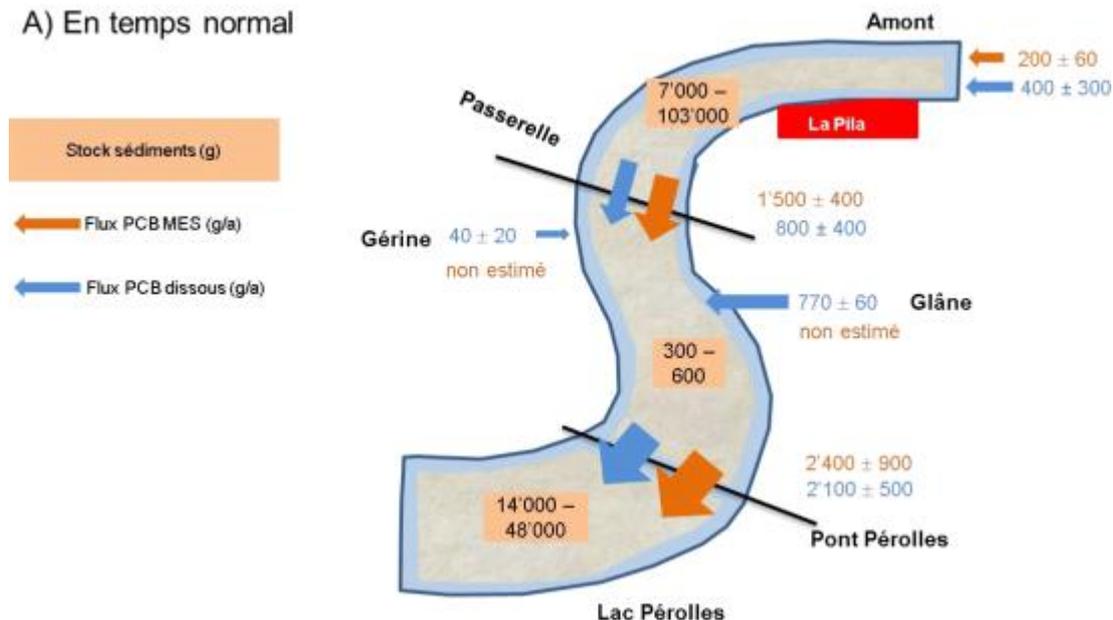
La barre d'erreur rend compte de la variation saisonnière observée en 2016 et des variations liées à l'agrégation de plusieurs points de mesures.

Pour la Glâne par exemple, cette présentation des résultats produit écart-type faible 770 +/- 60 g/an puisque le calcul est effectué à partir de 2 valeurs proches. En prenant en compte tous les calculs disponibles (basés sur les capteurs passifs corrigés avec les PRC et effectués selon les différents taux d'échantillonnages), y compris la campagne de novembre 2015, le flux annuel de la Glâne résultant est de 670 +/- 300 g/an. L'ordre de grandeur du flux ainsi calculé ne change pas. Par contre, la barre d'erreur calculée sur la base de 24 valeurs augmente sensiblement.



La Figure 4-7 ci-dessus présente les flux de PCB à l'amont et à l'aval de la décharge de 2010 à 2016. Les flux ont été déterminés sur la base des concentrations moyennes calculées selon le même principe que pour la Figure 2-20 du rapport, dans le but de comparer les flux annuels sur de 2010 à 2016. La barre d'erreur représente l'écart type sur la moyenne annuelle des concentrations calculées.

Pour chaque année, les données de débit fournies par Groupe e ont été utilisées afin de calculer le volume total d'eau transitant au droit de la Pila. L'utilisation de valeurs non corrigées et d'un taux d'échantillonnage unique de 18 L/j conduit à des flux annuels inférieurs à ceux de la figure 4-5.



La Figure 4-10 ci-dessus comprend la synthèse flux de PCB dissous calculés pour l'année 2016. Les flux ont été déterminés sur la base des concentrations moyennes calculées selon le même principe que pour la Figure 2-24 du rapport. La barre d'erreur rend-compte de la variation saisonnière observée en 2016.

Dans ce schéma, pour l'amont, le flux annuel indiqué 400 g/an est la moyenne des 2 calculs (avec et sans correction par les PRC). Les autres valeurs correspondent (arrondis) à la Figure 4-5.

Les incertitudes importantes sont bien exprimées pour certains points alors que pour la Glâne et la Gérine, l'écart-type issu du calcul est relativement petit pour les raisons expliquées plus haut.

Une mise à jour de certains calculs, comme suggéré pour la Glâne ci-dessus, pourrait être effectuée afin de mieux exprimer les incertitudes importantes. L'objectif de cette mise à jour devra être discuté avec les autorités et les experts.

Notons que, pour le cours de la Sarine, les incertitudes indiquées peuvent être nettement supérieures à l'incertitude de la mesure des PCB par le laboratoire, qui est de 20%.

Des incertitudes sur la mesure du débit existent également, de l'ordre de 10%. Cette incertitude augmente avec les débits de pointe, comme on l'a vu dans le cadre de la crue artificielle ou, par exemple, comme pour la mesure du débit de la Glâne à Matran.

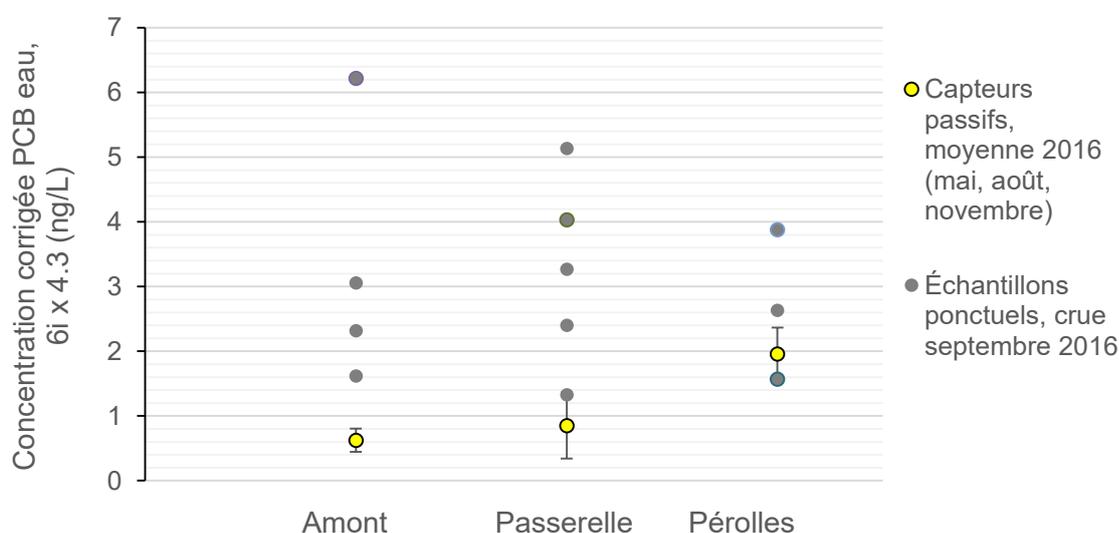
Ainsi, lorsque l'écart-type produit par les différentes hypothèses de calcul et/ou par la variabilité des données dépasse 20 à 30%, l'intégration de différents facteurs d'incertitude est peu susceptible d'améliorer la présentation des résultats.

Les méthodes appliquées pour la Sarine et ses affluents sont appropriées et permettent d'approcher des ordres de grandeur, de calculer des incertitudes et de comparer les résultats obtenus entre eux.

Les données à disposition peuvent encore être présentées ou traitées de diverses manières mais les ordres de grandeur ne seront certainement pas modifiés.

Il faut garder à l'esprit que ces résultats sont basés sur un nombre limité de campagnes d'échantillonnages, en particulier pour les points de mesures additionnels. Certains résultats pourraient être affinés moyennant des études poussées comprenant des échantillonnages et analyse supplémentaires et réguliers. Cela n'apporterait probablement pas d'éléments nouveaux déterminants dans le cadre des études complémentaires.

## Crue artificielle :



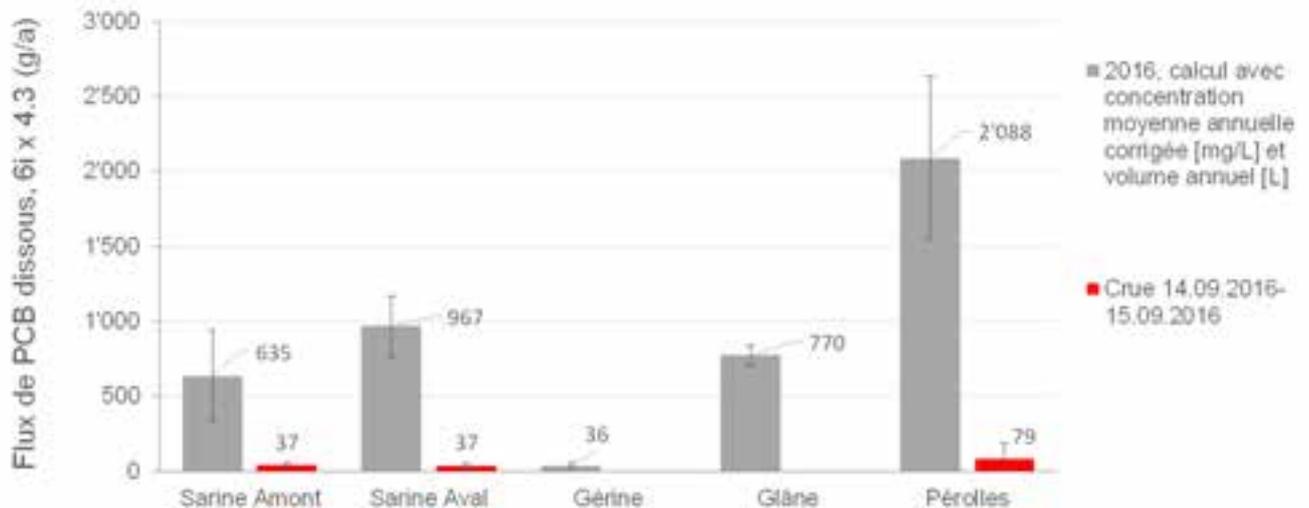
Les résultats des échantillonnages ponctuels et analyses effectués durant la crue artificielle sont présentés sur la Figure 2-25 du rapport, reprise et adaptée ci-dessus<sup>10</sup>.

Comme expliqué, la gamme des concentrations mesurées est susceptible de refléter la méthode d'échantillonnage ponctuelle, relativement à une intégration des concentrations sur 2 semaines avec les capteurs passifs.

Bien que les méthodes diffèrent pour chaque point de mesure, les concentrations moyennes mesurées ponctuellement sont toutes supérieures aux concentrations les plus élevées déterminées à l'aide des capteurs passifs.

Les flux de PCB sont calculés en multipliant les concentrations moyennes des échantillons analysés par le volume total de la crue (Figure 4-6 reprise ci-dessous, Tableau 4-2 et Figure 4-10).

<sup>10</sup> Sur la figure originale, des points étaient indiqués à 0, ils ne représentaient pas des résultats d'analyses.



Les barres d'erreur représentent un écart-type autour de la moyenne des résultats (4 à 5). Le flux ainsi calculé est indiqué à +/- 50%. Cela reflète bien l'incertitude importante liée à la variabilité des résultats.

En prenant en compte l'hydrogramme adapté, le volume déterminant pour le calcul du flux serait inférieur de 17% au volume utilisé dans nos calculs (9.5 mios m3 au lieu de 11.5 mios m3). En adaptant les résultats, l'ordre de grandeur du flux de PCB dissous calculé durant la crue ne serait pas modifié.

## 2.6 Flux MES dans Sarine + Glâne (conditions normales + crue)

### 2.6.1 Questions, réflexions à mener

Comment les incertitudes ont-elles été calculées ? L'imprécision estimée des résultats paraît faible au regard de l'importante imprécision des mesures de turbidité et des données de débit. L'analyse critique de ces résultats doit se faire en tenant compte de leur sensibilité (si une grande variabilité n'a pas d'incidence notable sur les résultats finaux, ne pas insister). Quel serait le worst case en tenant compte de toutes les incertitudes ?

Quelles est la représentativité des échantillons prélevés à l'aide de bidons en plastique pendant la crue ? Comment a-t-on évalué la précision à +/- 10% ? Analyse de sensibilité du facteur de conversion Ntu sur 3-4 échantillons ?

### 2.6.2 Réponses, analyse critique

Le chapitre 2.2.3 du rapport présente les résultats des mesures de turbidité ainsi que de l'échantillonnage et de l'analyse des PCB dans les MES en temps normal dans les boîtes et ponctuellement durant la crue. L'annexe 2.2.3.2 – 2 présente les calibrations établies pour transformer les mesures de turbidité en mg/L MES.

Le calcul des flux de PCB MES est présenté au chapitre 4.4 ainsi qu'en annexe 4.

Deux approches pour calculer les flux de PCB MES sont présentées en détail. Dans les deux cas, la quantité de MES est calculée sur la base des mesures de turbidité en continu. Au total 5 courbes de calibration ont été utilisées pour convertir les mesures de turbidité NTU en mg/L de matière en suspension. Deux courbes utilisées pour les trois stations de mesure et une courbe propre à chaque site. Ces courbes de corrélation produisent des résultats très proches et peuvent être qualifiées de robustes.

Les échantillons nécessaires à l'établissement de ces courbes ont tous été prélevés dans le cadre du suivi de la crue artificielle. Au total, 25 échantillons avec quantification des MES en laboratoire ont été utilisés.

Malgré un nombre limité de données (5 à 9 selon les courbes) ces prélèvements ont permis de disposer d'une large gamme de valeurs pour la calibration<sup>11</sup>. Ces prélèvements comprennent :

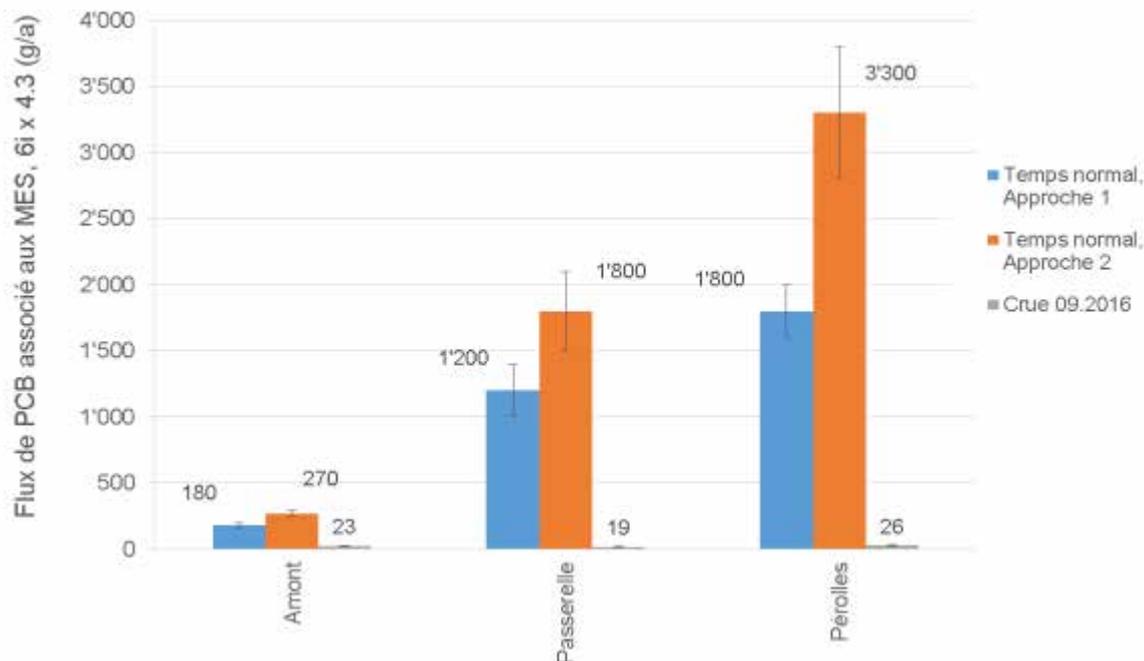
- des échantillons clairs avant l'influence de la crue qui représentent bien la situation la plus courante hors période de crue
- des échantillons nettement plus chargés, dont les résultats ont également été utilisés pour corriger les mesures des sondes

Durant la crue, les échantillons prélevés toutes les heures à la Passerelle ont été utilisés pour établir les courbes 1 et 2. Les mesures de turbidité réalisées avec une sonde portable sur les échantillons ponctuels prélevés ponctuellement à partir de la Passerelle sont très proches de résultats obtenus par la sonde de mesure en continu. Cela démonte la relative bonne représentativité des mesures effectuées par les sondes.

Cependant, les mesures effectuées par les sondes au cours de l'année ont tout de même dû être corrigées, comme mentionné plus haut et expliqué dans le rapport. À certaines périodes, les mesures de turbidité, trop élevées et peu plausibles, étaient le signe d'un encrassement des sondes. Après nettoyage des sondes les valeurs de turbidité redescendaient immédiatement.

Le calcul des flux selon les deux approches présentées dans le rapport a été effectué en considérant des concentrations en PCB mesurées dans les boîtes MES multipliées par les quantités de MES obtenues avec les 3 courbes de calibration.

Les résultats (figure 4-9 reprise ci-dessous et tableau 4-4), sont présentés avec une barre d'erreur de faible amplitude puisqu'elle montre la robustesse des courbes de calibrations NTU-MES. Par contre, les résultats des deux approches se distinguent clairement. On peut tout de même constater qu'ils sont du même ordre de grandeur.



<sup>11</sup> Quelques prélèvements ont également été effectués à d'autres périodes ; sans un suivi soutenu et planifié de la crue, il aurait toutefois été extrêmement difficile d'obtenir simultanément une telle gamme de valeurs au trois emplacements principaux

Dans le schéma de synthèse (Figure 4-10), la moyenne des deux approches et l'écart-type autour de cette moyenne sont présentés.

Comme pour les PCB dissous, les résultats pourraient être présentés différemment afin de refléter la variabilité et l'incertitude des concentrations en PCB. Pour Hauterive, en considérant l'écart-type de la série de concentrations en PCB (11 analyses) issues des boîtes, le flux annuel calculé selon l'approche 2 serait de 270 +/- 150 g.

## **Crue artificielle** (voir aussi point 2.5)

Les flux de MES durant la crue ont été calculés sur la base des mesures des sondes en continu.

Durant la crue, la sonde de la station Hauterive s'est encrassée, ce qui a produit des valeurs de turbidité trop élevées. Ce constat est confirmé par la confrontation des mesures de la sonde e-dric (plus en amont) et Passerelle. Les données ont donc été corrigées et en confrontant les résultats avec les mesures ponctuelles, il apparaît que la quantité de MES amont reste surévaluée.

Cela tend à montrer que la correction des valeurs aberrantes de cette sonde avec les valeurs maximales mesurées ponctuellement durant la crue est insuffisante.

Un traitement supplémentaire des données en temps normal / durant la crue, aboutissant à différentes présentations, reste donc possible. Il semble cependant difficile d'affiner les résultats sans traitement poussé des données ou sans réaliser de nouvelles mesures et analyses.

Une correction supplémentaire (diminution) du calcul du flux de MES amont est par exemple possible. Une correction supplémentaire (augmentation) est également possible en estimant un flux non nul (MES et PCB) arrivant par l'usine hydroélectrique.

De nombreuses questions peuvent encore être posées, mais il faut garder à l'esprit que ce type d'approche a rarement été effectué.

Par ailleurs, cela a peu de sens d'affiner le traitement des données sur le cours de la Sarine en sachant qu'il n'y a pas de mesures de la turbidité disponibles pour la Glâne et la Gérine sur la même période.

En conclusion, les résultats présentés dans le rapport sont suffisants pour effectuer des comparaisons des flux entre eux et les mettre en perspective par rapport aux flux émis par la décharge. Les quelques adaptations évoquées produiraient certes des résultats différents, mais sont peu susceptibles de modifier les ordres de grandeur.

## **3. Synthèse – Éléments déterminants par rapport au contexte dans lequel s'inscrit le site de la Pila**

L'analyse critique des différents points décrits ci-dessus met en évidence que les résultats présentés dans le rapport permettent de tirer des conclusions robustes sur les éléments déterminants pour expliquer la contamination des poissons dans la Sarine. Même si les données peuvent être entachées individuellement d'une incertitude importante, et en tenant compte du fait que la totalité des questions relatives aux mécanismes fins d'adsorption et de transfert des PCB entre les différents compartiments de la rivière ne sont pas totalement

connus, les résultats obtenus apportent une certitude suffisante permettant de se prononcer sur les objectifs à atteindre pour protéger la Sarine d'une contamination aux PCB en provenance du site de la Pila.

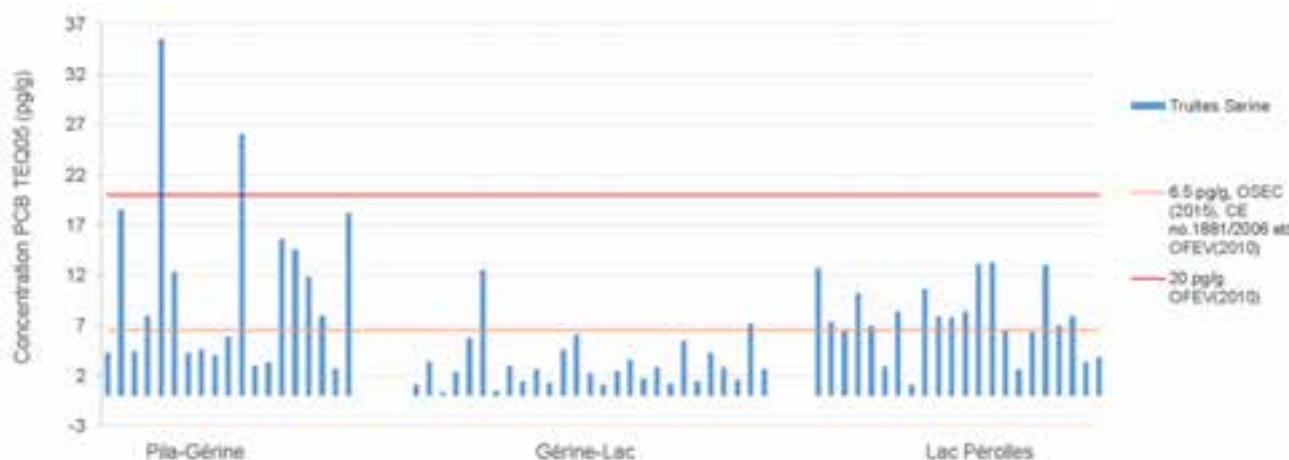
Comme dans tout système complexe, comme celui du site contaminé de la Pila, l'intervention d'une multitude de variables et les interactions entre celles-ci sont susceptibles d'influencer la situation. Toutefois, conformément au principe de Pareto : seul un petit nombre de ces variables exerce une influence majeure. Les études réalisées et l'analyse des données doivent donc permettre de mettre en évidence ces variables, peu nombreuses, mais déterminantes.

## 3.1 Variables déterminantes

Pour expliquer la contamination des poissons dans la Sarine, à l'aval du site de la Pila, la plus importante de ces variables est le stock de PCB contenu dans les sédiments de la rivière : les études ont mis en évidence le caractère déterminant de cette donnée pour expliquer la contamination du poisson.

La figure ci-dessous, reprise du rapport final remis fin juin 2017, met en évidence les concentrations TEQ05 pg/g des truites rassemblées par secteur du cours d'eau. Les valeurs limites de 6.5 pg/g (commercialisation interdite dans le cadre de la pêche professionnelle) et de 20 pg/g (interdiction de la pêche à la ligne par des particuliers) sont également indiquées.

Le tronçon dans lequel les truites dépassent le plus souvent la limite de 6.5 pg/g et exclusivement la valeur de 20 pg/g est celui du secteur Pila Gérine, dans lequel les sédiments sont les plus contaminés.



Le tableau ci-dessous met en relation le stock moyen de PCB présent dans les sédiments des différents tronçons (total et sur la tranche superficielle entre 0 et 15 cm de profondeur) et le % de poissons contaminés pêchés dans le secteur en 2016.

Tronçon de rivière	Pila Gérine	Gérine Lac	Lac de Pérolles
Stock de PCB dans sédiments total (kg) <sup>12</sup>	43	0.5	17
Stock de PCB (kg) dans la	12	0.5	2

<sup>12</sup> Les stocks sédiments ont été ajustés, selon adaptations présentées au paragraphe 2.4. Pour le tronçon Pila-Gérine, le stock sédiments de la couche 0-15 comprend 20% du stock PCB-condensateurs estimé.

tranche de sédiments 0-15			
% de poissons dépassant TEQ05 6.5 pg/g PCB	52%	7% <sup>13</sup>	63%
% de poissons dépassant TEQ05 20 pg/g PCB	10.5%	0	0

Étant donné le rôle déterminant des sédiments/ déchets contaminés présents dans la Sarine pour expliquer la contamination du poisson, les études réalisées dans le cadre des mesures complémentaires ont cherché à définir un « seuil sédiments » spécifique à la Sarine, c'est-à-dire une concentration en PCB dans les sédiments qui permettrait dans plus de 70% des cas d'obtenir une truite consommable sans restriction (6.5 pg/g TEQ05) ou qui n'impliquerait pas une interdiction de la pêche (25 pg/g TEQ05).

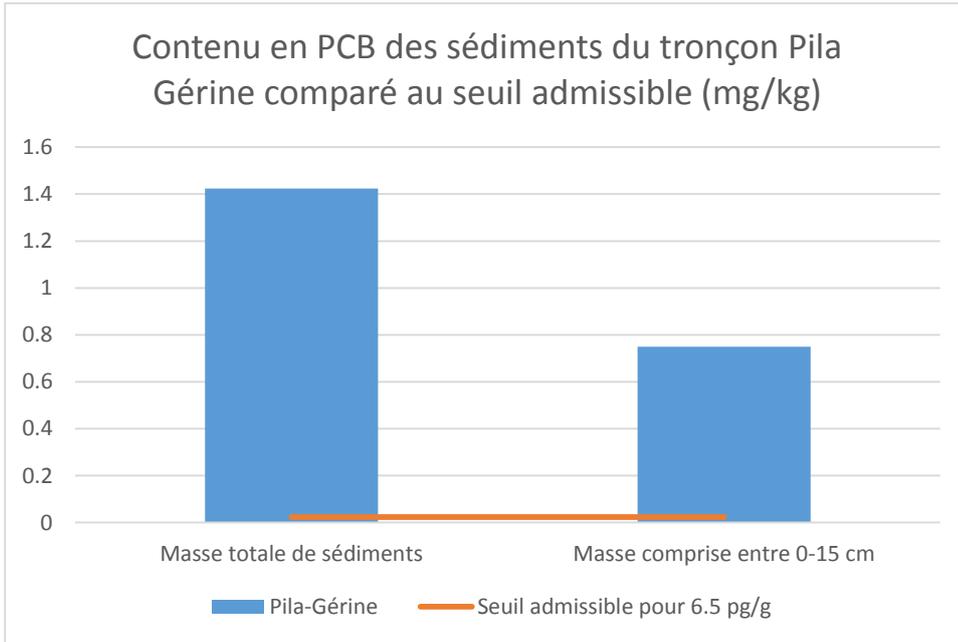
Les résultats obtenus par l'approche BSAF sont rappelés ci-dessous :

Seuil poisson	Seuil sédiment	Erreur Type II	Efficacité globale
pg/g TEQ05	mg/kg somme 6 iPCB x 4.3	%	%
6.5	0.058	12	71
25	0.161	17	75

Ces valeurs ont été définies sur la fraction < 2mm des sédiments, les valeurs à prendre en considération sur les sédiments bruts sont respectivement de 0.023 mg/kg somme iPCB x4.3 (pour un seuil poisson de 6.5 pg/g ) et de 0.066 mg/kg somme iPCB x4.3 (pour un seuil poisson de 25 pg/g).

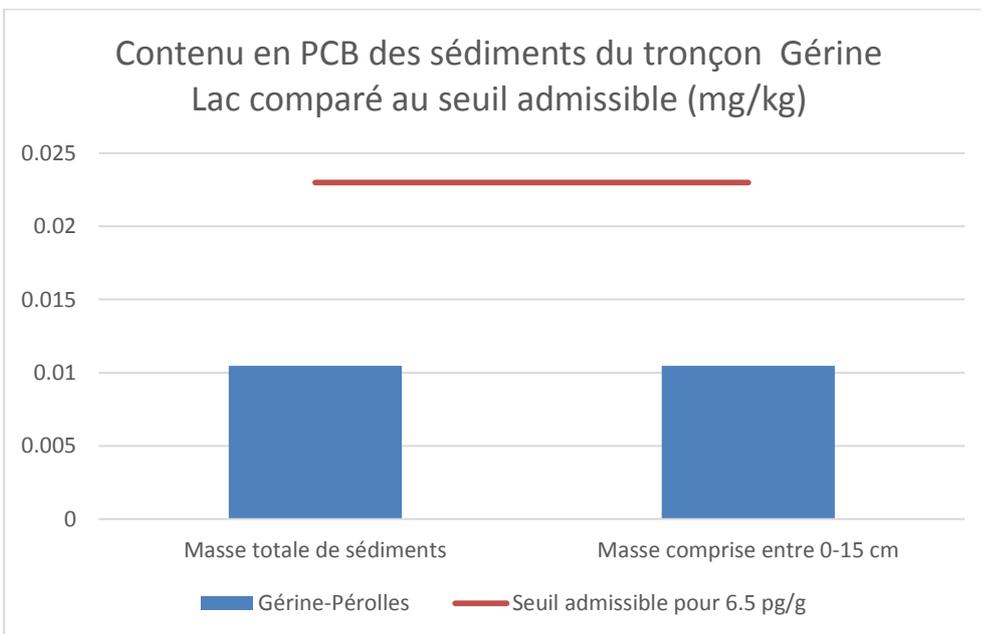
Si l'on compare ces valeurs seuils établies pour les sédiments à la situation (stock de sédiments bruts et teneur en PCB) mesurée en 2016 sur les différents tronçons, les résultats sont les suivants. Le calcul des concentrations est effectué globalement, par secteur, en prenant en compte le stock PCB moyen estimé et la masse totale de sédiments correspondante.

<sup>13</sup> Selon graphique ci-dessous, en prenant en compte le nombre total de poissons pêchés sur ce tronçon en 2016, le pourcentage de dépassements tombe à 2%.



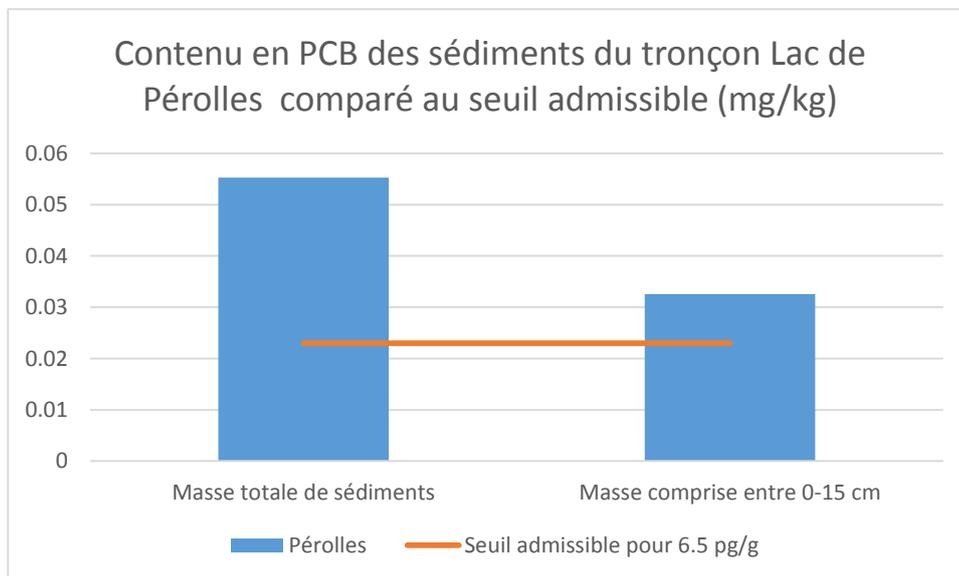
Sur le tronçon Pila Gérine, le plus fortement contaminé, les valeurs mesurées dans les sédiments en 2016 représentent entre 33 et 62 fois la valeur seuil (selon que l'on considère la tranche superficielle comprise entre 0-15 cm ou la totalité des sédiments).

Plus de 50% des poissons pêchés dans ce secteur étaient contaminés : ce résultat est plus bas, mais compatible (si l'on considère par ailleurs la taille de l'échantillon et le fait que les poissons se déplacent dans la rivière) avec les 70% d'efficacité globale qui traduisent la probabilité globale d'obtenir un poisson contaminé lorsque le seuil est dépassé.



Sur le tronçon Gérine Lac, le plus faiblement contaminé, les valeurs mesurées dans les sédiments en 2016 sont inférieures à la valeur seuil. Dans ce tronçon, moins de 7% des poissons dépassaient la valeur seuil, donc plus de 93% des poissons étaient propres ce qui est également compatible mais supérieur à l'efficacité globale de

70% qui traduit la probabilité d'avoir un poisson propre lorsque le seuil est respecté. La valeur de 7% de poissons contaminés alors que la valeur seuil dans les sédiments est respectée est également inférieure à l'erreur type II de 12% estimée par la méthode BSAF qui traduit la probabilité de trouver des poissons contaminés alors que la valeur seuil des sédiments est respectée.



Sur le tronçon Lac de Péroilles, les valeurs mesurées dans les sédiments en 2016 sont supérieures à la valeur seuil. Dans ce tronçon, plus de 60% des poissons dépassaient la valeur seuil, ce qui est compatible mais inférieur à l'efficacité globale de 70% qui traduit la probabilité d'avoir un poisson contaminé lorsque le seuil est dépassé.

Les stocks de PCB présents dans les sédiments en 2016 rapportés aux seuils BSAF définis pour les sédiments montrent des résultats cohérents avec les teneurs en PCB mesurées dans les poissons prélevés dans les différents tronçons.

## 3.2 Autres variables

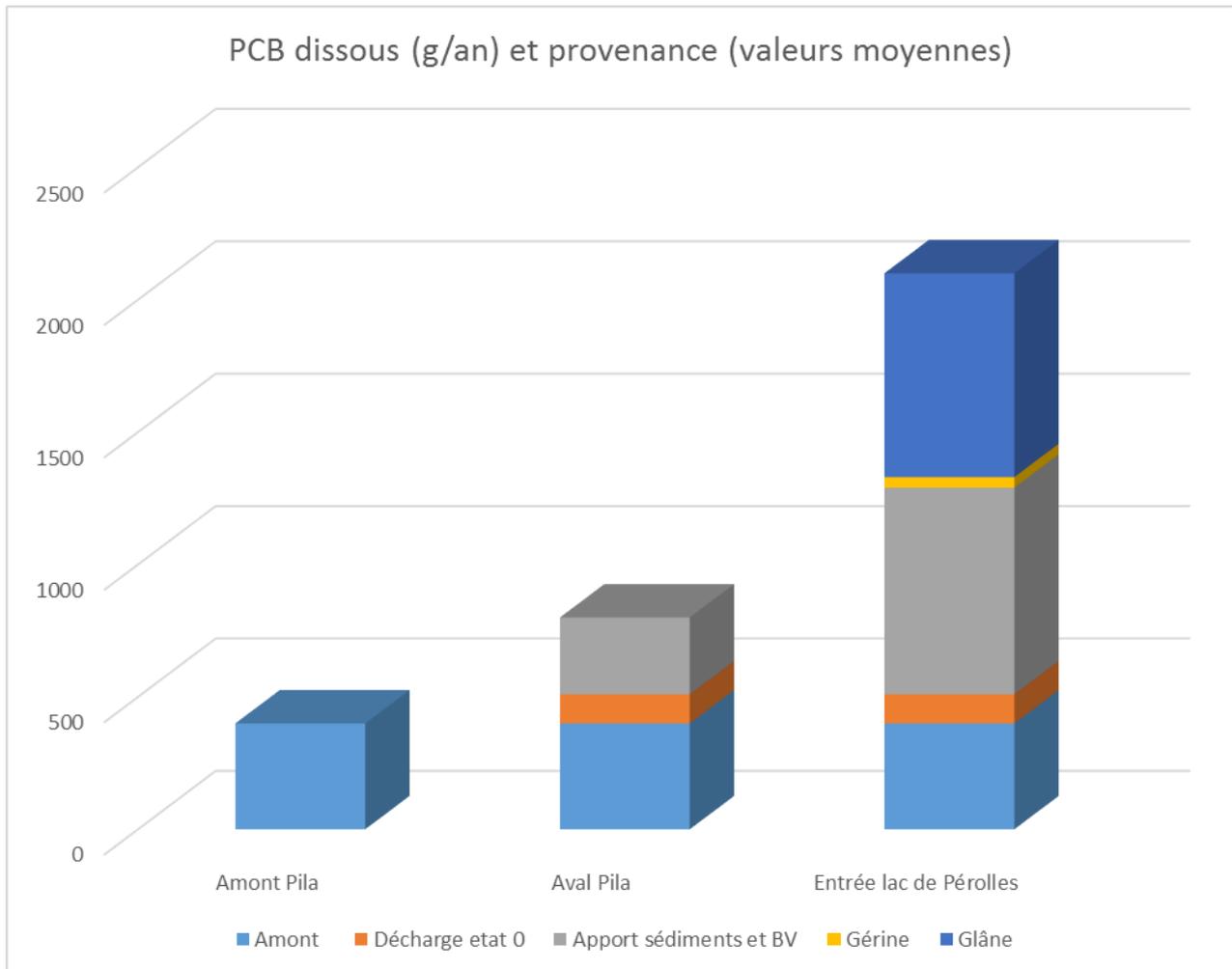
Les autres variables sont celles qui peuvent contribuer à faire varier le stock de PCB présent dans les sédiments, il s'agit :

- Des débits transitant dans la Sarine et susceptibles d'entraîner avec le temps les sédiments contaminés aux PCB hors du système. Ceux-ci dépendent en grande partie de l'exploitation hydroélectrique de la rivière.
- Des apports en PCB dissous ou adsorbés émis par le site de la décharge de la Pila.
- Des apports de PCB dissous ou adsorbés sur des matières en suspension qui traversent le système et proviennent de différentes sources, à savoir :
  - Le bassin versant depuis l'amont du site de la Pila qui draine des PCB sous forme dissoute ou adsorbée sur des matières en suspension.
  - Les sédiments contaminés et déchets présents dans la Sarine qui sont re-mobilisés par les crues ou le courant de la Sarine selon son mode d'exploitation.

- La Glâne (et la Gérine dans une très petite mesure) qui présentent également une pollution de fond.

Le graphique ci-dessous présente l'évolution de l'amont vers l'aval des apports en PCB dissous mesurés dans la Sarine aux différents points de prélèvement.

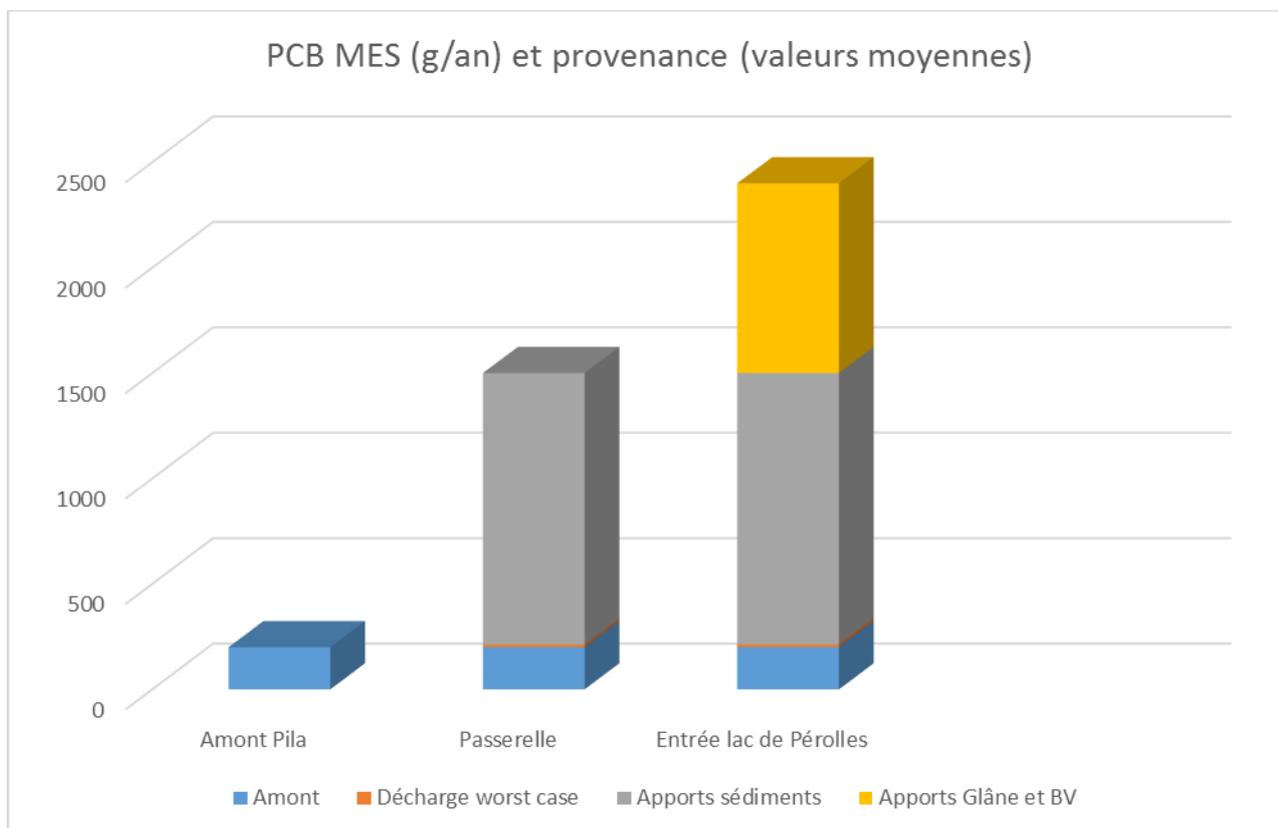
L'apport en PCB dissous de la décharge de la Pila est celui obtenu par le modèle hydrogéologique qui simule l'état 0 de la décharge, c'est à dire l'état actuel sans le confinement par les palplanches et le système de pompage.



Par rapport aux autres sources de PCB présentes dans le bassin versant et les sédiments contaminés de la rivière, l'apport direct par la décharge de la Pila représente 14% de l'apport total à l'aval du site et 5% de l'apport total à l'entrée du Lac de Pérolles. Toutes ces valeurs y compris leur cumul à l'entrée du Lac de Pérolles sont inférieures à la valeur seuil définie pour l'eau de 5'228 g/an de PCB dissous. L'apport de la Pila ne représente que 2% de ce seuil.

L'apport en PCB adsorbé sur des matières en suspension qui seraient entraînées par les eaux souterraines de la Pila a été estimé pour un worst case dans les chapitres précédents. Il est repris ci-dessous pour comparaison avec les autres sources de PCB liées à des MES présentes dans la rivière en 2016.

Par rapport aux autres sources de PCB MES présentes dans le bassin versant et les sédiments contaminés de la rivière, l'apport par la décharge de la Pila représente 0.87% de l'apport total à la Passerelle et 0.54% de l'apport total à l'entrée du Lac de Pérolles.



### 3.3 Conclusions

Seule l'évacuation progressive du stock de PCB présent dans les sédiments de la Sarine permettra d'agir sur la variable déterminante pour les poissons. Cette évacuation pourrait prendre plusieurs dizaines d'années.

L'objectif de qualité le plus faible est respecté pour l'eau et les sédiments du tronçon Gérine – Lac. Sur ce tronçon, seul le tiers des poissons (sur 48 individus considérés) dépasse 3.3 pg/g TEQ05, dont 3 au-dessus de 6.5 pg/g TEQ05. Cela montre que pour ce tronçon, la contamination des sédiments à laquelle s'ajoute l'ensemble des flux actuels, quelle qu'en soit la provenance, ne pose quasiment pas de problème à la faune piscicole.

Les émissions de PCB de la décharge de la Pila par les eaux souterraines (dissous ou MES) n'ont à elles-seules aucun effet sur le système Sarine. Elles sont inférieures à celles provenant d'autres sources dans le bassin versant et largement inférieures aux valeurs seuils déterminantes pour le poisson.

Si l'on considère le bien à protéger de la Sarine, ces résultats fournissent une base de décision robuste pour orienter les variantes d'assainissement de la décharge vers des solutions empêchant l'érosion ou l'entraînement de déchets ou de matériaux contaminés dans la rivière.

