



ETAT DE FRIBOURG  
STAAT FREIBURG

**Service des ponts et chaussées SPC**  
**Tiefbauamt TBA**

Section lacs et cours d'eau  
Sektion Gewässer

Rue des Chanoines 17, 1701 Fribourg

T +41 26 305 37 37, F +41 26 305 37 38  
[www.fr.ch/spc](http://www.fr.ch/spc)

—

Fribourg, le 15 décembre 2014

Planifications stratégiques cantonales

# **Planification stratégique de l'assainissement des cours d'eau**

## **Rapport final**

## **Sarine – Grandes installations**

—

Direction de l'aménagement, de l'environnement et des constructions **DAEC**  
Raumplanungs-, Umwelt- und Baudirektion **RUBD**

### **Valeur du présent rapport**

Le présent rapport est un rapport technique traitant conjointement de l'assainissement des éclusées, du charriage et de la migration piscicole mais uniquement sur la Sarine.

Il sert de complément technique aux rapports finaux d'assainissement du charriage, des éclusées et de la migration piscicole, qui traitent séparément de ces trois domaines, mais sur l'entier du canton.

### **Editeur**

Service des ponts et chaussées, section Lacs et cours d'eau (SPC)

Le SPC est un service de la Direction de l'aménagement, de l'environnement et des constructions (DAEC)

### **Auteur**

BG Ingénieurs Conseils SA, avec la participation de Pronat Conseil SA

### **Groupe d'accompagnement**

Christophe Joerin, SPC

Jean-Claude Raemy, SPC

Benoît Maillard, SPC

Jacques Maradan, SPC

Regula Binggeli, SPN

Marc Dousse, SdE

Elise Folly, SEn

Jean-Daniel Wicky, SFF

Johann Ruffieux, Groupe E

Bertrand Rey, Groupe E

Judith Monney, AWA Bern

ONG, la Frayère : Pascal Vonlanthen

### **Référence bibliographique**

DAEC, 2014 : Planification stratégique de l'assainissement des cours d'eau. Rapport final Sarine – Grandes installations. SPC, Fribourg.



<b>Table des matières</b>		Page
<b>Introduction</b>		<b>1</b>
<b>PARTIE A : BASES TECHNIQUES - METHODOLOGIE ET RESULTATS</b>		<b>3</b>
<b>1.</b>	<b>Vue générale</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Analyses</b>	<b>5</b>
2.1	Données de base	5
2.1.1	Hydrogrammes de référence	5
2.1.2	Etat des contraintes	5
2.2	Analyse hydrologique	6
2.2.1	Synthèse hydrologique	6
2.2.2	Indicateurs HYDMOD	10
<b>3.</b>	<b>Relevés de terrain</b>	<b>11</b>
<b>4.</b>	<b>Investigations avec différents débits</b>	<b>16</b>
<b>5.</b>	<b>Modélisation</b>	<b>17</b>
5.1	Modélisation 1D	17
5.1.1	Liste des modèles HEC-RAS	17
5.1.2	Calibration	17
5.1.3	Utilisation des modèles 1D	18
5.2	Modélisation 2D	18
5.2.1	Liste des modèles 2D	18
5.2.2	Utilisation des modèles 2D	19
5.3	Comparaison entre les modèles 1D et 2D	19
5.3.1	Surfaces mises à sec	20
<b>6.</b>	<b>Calcul des indicateurs – évaluation des atteintes actuelles</b>	<b>21</b>
6.1	P1 – Poisson (SMG)	21
6.1.1	Paramètre 1 – Composition de l'ichtyofaune	21
6.1.2	Paramètre 2 – Structure de la population	22
6.1.3	Paramètre 3 – Densité des populations d'espèces indicatrices	25
6.1.4	Paramètre 4 – Déformation et anomalies	25
6.1.5	Synthèse de l'indicateur P1	25



6.2	P2 – Echouage	25
6.3	P3 – Frayères	26
6.3.1	Transport solide	27
6.4	P4 – Reproduction	28
6.5	P5 – Productivité	29
6.6	B1 – Biomasse	30
6.7	B2 – Macrozoobenthos	31
6.8	B3 – Zonation longitudinale	35
6.9	B4 – EPT	36
<b>7.</b>	<b>Calcul des indicateurs de l'écluse en fonction des variables de dimensionnement</b>	<b>39</b>
7.1	Indicateur P2.1 : Surfaces mises à sec	40
7.2	Indicateur P2.2 : Vitesse de descente	41
7.3	Indicateur P3 : Frayères	41
<b>8.</b>	<b>Objectifs d'assainissement des éclusées</b>	<b>42</b>



<b>PARTIE B : EVALUATION DES ETUDES DE VARIANTES</b>	<b>45</b>
<b>9. Synthèse des études de variantes</b>	<b>46</b>
<b>10. Evaluation de la performance des mesures</b>	<b>46</b>
10.1 Eclusées	46
10.2 Charriage	47
10.3 Migration piscicole	48
<b>11. Analyse multicritère</b>	<b>48</b>
11.1 Démarche	48
11.2 Résultats de l'évaluation des variantes "éclusées"	48
11.2.1 Lessoc	49
11.2.2 Hauterive	50
11.2.3 Oelberg	51
11.2.4 Schiffenen	52
11.2.5 Synthèse des variantes "éclusées"	53
11.3 Résultats de l'évaluation des variantes "charriage"	54
11.3.1 Lessoc	54
11.3.2 Rossens	55
11.3.3 Maigrauge	55
11.3.4 Schiffenen	56
11.4 Résultats de l'évaluation des variantes "migration piscicole"	56
11.4.1 Schiffenen	57
11.4.2 Rossens	57
11.4.3 Lessoc	59
<b>12. Priorisation par domaine</b>	<b>61</b>
12.1 Priorisation des mesures éclusées	61
12.2 Priorisation des mesures charriage	62
12.3 Priorisation des mesures migration piscicole	62
<b>13. Priorisation par installation</b>	<b>63</b>



<b>PARTIE C : SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS</b>	<b>65</b>
<b>14. Définition des tronçons et des priorités</b>	<b>66</b>
<b>15. Potentiel écologique</b>	<b>69</b>
<b>16. Gravité de l'atteinte – éclusée</b>	<b>70</b>
<b>17. Gravité de l'atteinte - charriage</b>	<b>73</b>
<b>18. Nécessité de l'assainissement migration piscicole</b>	<b>74</b>
<b>19. Liste définitive des centrales hydroélectriques à assainir</b>	<b>75</b>
<b>20. Objectifs d'assainissement</b>	<b>76</b>
20.1 Généralités	76
20.2 Objectifs d'assainissement charriage	76
20.3 Objectifs d'assainissement éclusées	77
<b>21. Planification des mesures d'assainissement</b>	<b>78</b>
21.1 Etude des mesures d'assainissement	78
21.2 Priorisation	78
21.3 Délais	79
<b>22. Coordinations</b>	<b>80</b>
22.1 Coordination intercantonale	80
22.2 Coordination avec la revitalisation	80
22.3 Coordination avec assainissement LEaux Art. 80	81
22.4 Coordination avec la protection contre les crues	81



## Liste des Annexes

- 1 Bibliographie
- 2 Rapport CASIMIR (sje – Ecohydraulic Engineering GmbH)
- 3 Hydrogrammes-types
- 4 Carte des contraintes
- 5 Synthèse hydrologique
- 6 HYDMOD – état actuel
- 7 Résultats des modèles 1D : Indicateurs de l'éclusee en fonction des variables de dimensionnement
  - 7.1 Surfaces mises à sec
  - 7.2 Frayères
- 8 Comparaison des résultats 1D / 2D
  - 8.1 Surfaces mises à sec
- 9 Liste faunistique de l'indicateur B2
- 10 Objectifs d'assainissement des éclusées
- 11 Assainissement des éclusées de Lessoc – ppt de présentation au GT "RF Sarine – grandes installations" du 1.9.14, Groupe E.
- 12 Efficacité des mesures éclusées : profil en long de ratio d'éclusee ( $Q_e/Q_p$ ) et des vitesses de descente
- 13 Grilles d'évaluation des analyses multicritères
- 14 Analyse multicritères des variantes d'assainissement des éclusées
  - 14.1 Fiches par variantes
  - 14.2 Synthèse
- 15 Analyse multicritères des variantes d'assainissement du charriage
  - 15.1 Fiches par variantes
  - 15.2 Synthèse des variantes
- 16 Analyse multicritères des variantes d'assainissement de la migration piscicole
  - 16.1 Fiches par variantes
  - 16.2 Synthèse des variantes
- 17 Priorisation par installation



- 18 Etude de variantes Eclusées Hauterive + Oelberg, Rapport CSD FR0428.100 du 12.9.14
- 19 Etude de variantes Eclusee Schiffenen, Rapport BG : 7170.06-RN021
- 20 Définition des tronçons, objectifs et priorités de la Sarine
- 21 Carte des tronçons de la Sarine
- 22 Schéma présentant les interactions entre les paramètres physiques et les différents indicateurs des éclusées et du charriage



## Introduction

Dans le cadre de l'élaboration des rapports finaux (RF) de la planification stratégique de renaturation des eaux, le canton de Fribourg a décidé d'analyser spécifiquement la Sarine, en y étudiant de manière conjointe les domaines de l'assainissement du charriage, des éclusées et de la migration piscicole.

Pour accompagner ce projet, un groupe de travail (GT) "RF Sarine – Grandes installations" a été créé au sens des services cantonaux chargés de ces études. Le propriétaire des ouvrages hydroélectriques sur la Sarine (Groupe E) ainsi que le canton de Berne (pour la problématique de Schiffenfen) ont également été associés à ce groupe de travail.

Le présent rapport contient les résultats des études et investigations menés sur la Sarine durant l'année 2014 pour finaliser les rapports finaux de la planification stratégique de renaturation des eaux. Ce rapport est constitué en 3 parties :

### **Partie A : Bases techniques : méthodologie et résultats**

Cette partie contient la description des investigations menées : travaux de terrains; synthèse hydrologique, modélisations, ...) ainsi que le calcul des indicateurs de l'évaluation approfondies des éclusées.

### **Partie B : Evaluation des études de variantes**

Cette partie contient une évaluation multicritères des différentes études de variantes d'assainissement menées dans les domaines des éclusées, du charriage et de la migration piscicole. Cette évaluation a également pour but de fournir des bases de décision pour effectuer une priorisation de l'assainissement par domaine et par installation.

### **Partie C : Synthèse**

Cette partie contient une synthèse des principaux résultats des études menées sur la Sarine : définition des tronçons et des priorités, gravité de l'atteinte, liste définitive des centrales à assainir, objectifs d'assainissement, potentiel écologique, planification des mesures, coordination.

Ce rapport ne constitue pas en lui-même un rapport final de la planification stratégique de renaturation des eaux mais doit être considéré **comme une annexe commune aux trois rapports finaux : RF éclusées, RF charriage et RF migration piscicole.**

Le graphique ci-dessous présente l'ensemble des études et rapports liés à la planification stratégique de renaturation des eaux du canton de Fribourg :

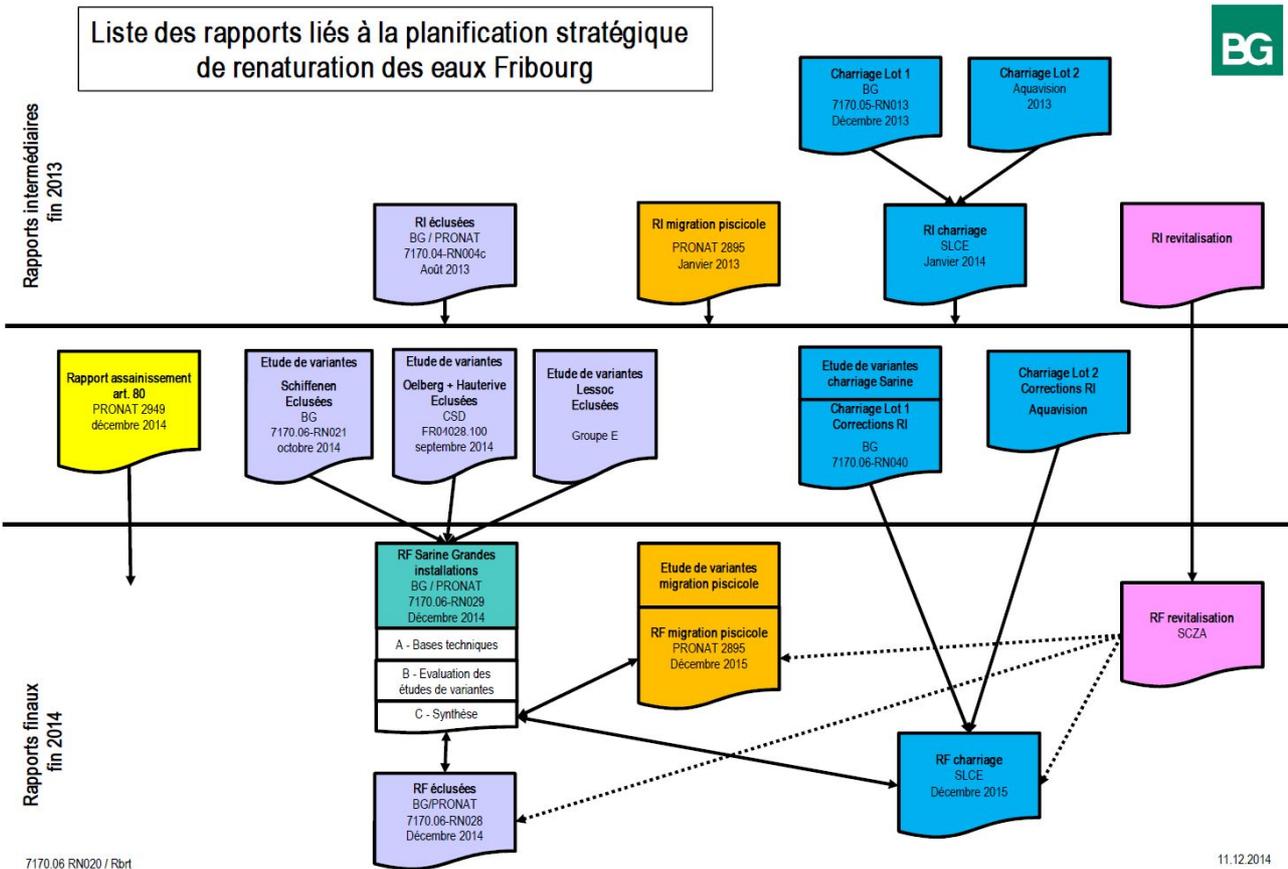


Figure 1 : Liste des études liées à la planification stratégique de renaturation des eaux du canton de Fribourg



## **PARTIE A : BASES TECHNIQUES - METHODOLOGIE ET RESULTATS**



## 1. Vue générale

La carte ci-dessous présente la vue générale de la Sarine sur territoire fribourgeois et de ces aménagements. On y voit également les 8 tronçons de la Sarine délimités pour les besoins de cette étude :

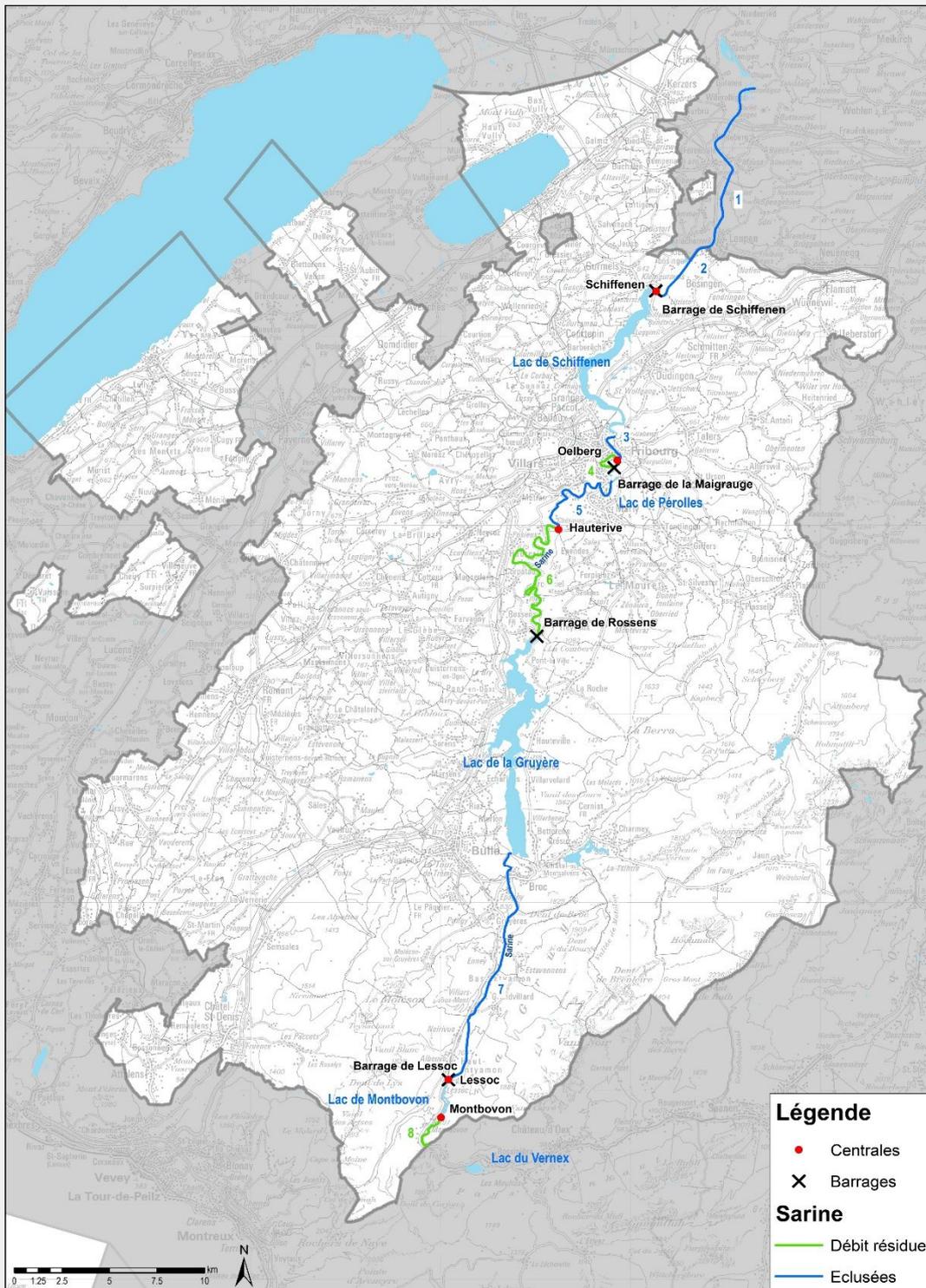


Figure 2 : Carte générale des aménagements et des tronçons



## 2. Analyses

### 2.1 Données de base

#### 2.1.1 Hydrogrammes de référence

L'objectif est de créer pour chaque installation des hydrogrammes-type permettant de modéliser l'état actuel. On retrouve une certaine régularité dans les phases de turbinage des aménagements, mais les cycles d'écluses peuvent tout de même varier de manière assez importante :

- En fonction de la saison
- En fonction du jour de la semaine
- En fonction d'autres paramètres, plus ou moins aléatoires (niveau de remplissage des retenues, opérateur,...).

Les hydrogrammes-types ont été construits sur la base des hydrogrammes de références fournis par le Groupe E ainsi que sur la base des séries de débits turbinés (2010-2012). Ils n'intègrent pas systématiquement des paliers entre la mise en service ou l'arrêt de chaque groupe de turbines.

Le Groupe E nous a également communiqué les paliers (pas de temps de 15 min) pratiqués usuellement pour la mise en service ou l'arrêt des différents groupes. Ces paliers reflètent mieux l'état actuel de fonctionnement des installations mais ne correspondent pas à une obligation légale. Il faut donc utiliser ces paliers avec prudence car ils pourraient être modifiés dans le futur.

S'il s'avère que la mise en œuvre de ces paliers usuels est importante pour assurer l'efficacité d'une mesure d'assainissement, il faudrait que ces paliers deviennent une obligation légale, qui ferait partie intégrante de la mesure, sous la forme d'une mesure d'exploitation.

Les hydrogrammes-types sont présentés dans **l'annexe 3**.

#### 2.1.2 Etat des contraintes

Avant d'implanter des mesures d'assainissement le long de la Sarine, un inventaire de contraintes a été réalisé. L'objectif est de représenter graphiquement diverses contraintes qui peuvent influencer la faisabilité des mesures d'assainissement afin d'en tenir compte dès la conception des mesures.

Les contraintes prises en compte sont les suivantes :

- Inventaires fédéraux
- Inventaires régionaux
- Inventaires locaux
- Secteurs de protection des eaux
- Sites pollués
- Corridors à faune
- ISOS: Catégorie de protection
- Périmètres archéologiques
- Tronçon espèce ou espèces prioritaires nationales

Le tableau ci-dessous résume les contraintes les plus importantes recensées à proximité des ouvrages :

	aval Lessoc Tronçon 7	aval Rossens Tronçon 6	aval Hauterive Tronçon 5	Maigrauge - Oelberg Tronçon 4	aval Oelberg Tronçon 3	aval Schiffenen Tronçon 1-2
<b>Inventaires fédéraux</b>						
● Sites batraciens imp. nationale	à prox.					
■ Sites batraciens imp. nationale		x				x
■ Réserve d'oiseaux d'eau et de migrateurs	à prox.		à prox.			
■ Zones alluviales imp. nationale	x	x	x			à prox.
■ Prairies sèches imp. nationale	à prox.					
■ Bas-marais imp. nationale						à prox.
■ Hauts-marais imp. nationale						
■ IFP						à prox.
■ RAMSAR						à prox.
■ Réserves forestières		à prox.				
<b>Inventaires régionaux</b>						
▲ Sites batraciens imp. régionale	à prox.	à prox.	à prox.	x		x
■ Salamandre tachetée		à prox.				
■ Zones alluviales imp. régionale						
■ Prairies sèches imp. Régionale						
■ Bas-marais imp. régionale						
■ Réserves naturelles cantonale	à prox.		à prox.			
<b>Inventaires locaux</b>						
■ Zones de protection nature imp. locale	x	x	x		à prox.	x
■ Zones de protection paysage imp. locale	à prox.		à prox.	x	x	x
<b>Protection des eaux</b>						
● Sondes géothermiques	à prox.		à prox.	à prox.	à prox.	à prox.
● Stations d'épuration	à prox.	à prox.	à prox.		à prox.	à prox.
<b>Secteurs de protection des eaux</b>						
■ Au	x	x	x	x	x	x
■ B	x	à prox.	à prox.			à prox.
■ S0		à prox.	à prox.			à prox.
■ S1	à prox.	à prox.				
■ S2	à prox.	à prox.				
■ S3	à prox.					
■ SA	x					
<b>Sites pollués (état 08.04.2014)</b>						
■ Sites de stockage	x	à prox.	x		à prox.	à prox.
■ Aires d'exploitation	x		x	x	x	à prox.
<b>Corridors à faune</b>						
■ imp. locale	x	à prox.	à prox.		à prox.	à prox.
■ imp. supra-régionale		x				à prox.
■ imp. régionale						
<b>ISOS: Catégorie de protection Evaluation selon l'ISOS</b>						
■ PÉRIM. construit de catégorie 1		à prox.		à prox.	x	
■ PÉRIM. construit de catégorie 2					à prox.	
■ PÉRIM. construit de catégorie 3			à prox.	à prox.		
■ PÉRIM. environnant de catégorie 1	à prox.	à prox.	à prox.	x	x	
■ PÉRIM. environnant de catégorie 2	x				x	
■ PÉRIM. sans catégorie	à prox.	x				
■ IVS importance régionale						à prox.
<b>Périmètres archéologiques</b>						
■ PÉRIM. de protection		à prox.	x			
■ PÉRIM. recensé	à prox.	x	x	x	à prox.	à prox.

x Contrainte dans la zone d'intervention  
à prox. Contrainte à proximité ou à l'aval de la zone d'intervention

Figure 3 : Tableau des principales contraintes

Les cartes de contraintes sont présentées dans l'annexe 4.

## 2.2 Analyse hydrologique

### 2.2.1 Synthèse hydrologique

#### 2.2.1.1 Objectif

Dans le cadre de cette étude, il n'est pas prévu de faire une étude hydrologique complète de la Sarine et de ses affluents mais de faire la synthèse des données hydrologiques existantes. L'objectif est de caractériser l'état hydrologique actuel ainsi que l'état hydrologique naturel.

Les valeurs qui seront utiles dans le cadre des projets de renaturations sont les suivantes :

- Le débit d'étiage ( $Q_{347}$ )
- Le débit moyen annuel ( $Q_{moy}$ )
- Le débit des crues fréquentes, de temps de retour de 1,2 et 5 ans ( $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_5$ )
- Le débit des crues plus rares, de temps de retour de 10 et 100 ans ( $Q_{10}$  et  $Q_{100}$ )

### 2.2.1.2 Méthodologie

Les valeurs hydrologiques ont été déterminées le long de la Sarine aux endroits suivants :

Tronçon	Point	Position
1	1	En aval de la Singine, au droit de la station de mesure OFEV 2215
2	2	Au pied du barrage de Schiffenen
3	3	En amont du Gottéron, au droit de la station de mesure OFEV 2119
4	4	Au pied du barrage de la Maigrauge
5	5	Immédiatement en aval de la restitution d'Hauterive (amont Gérine)
6	6	Au pied du barrage de Rossens
7	7.1	En aval de la Trême, au droit de la station de mesure OFEV 2160
7	7.2	Au pied du barrage de Lessoc
8	8	Au pied du barrage de Rossinière

Tableau 1 : Points de détermination hydrologique

Les principales sources d'informations hydrologiques sont les suivantes :

- Statistiques actuelles des 3 stations de mesure OFEV à disposition le long de la Sarine. (Broc, Fribourg et Laupen).
- Statistiques à l'état naturel (avant construction du barrage) des stations OFEV 2119 (Fribourg) et 2160 (Broc)
- Diverses informations du Groupe E : fiches d'installations, données historiques de turbinage, données de déversements des barrages.

### 2.2.1.3 Comparaison entre l'état naturel et l'état actuel

Les informations statistiques disponibles à l'état naturel et à l'état actuel sur les stations de mesures OFEV de Broc et Fribourg permettent d'avoir une bonne image de l'influence des aménagements sur les débits de crue de la Sarine :

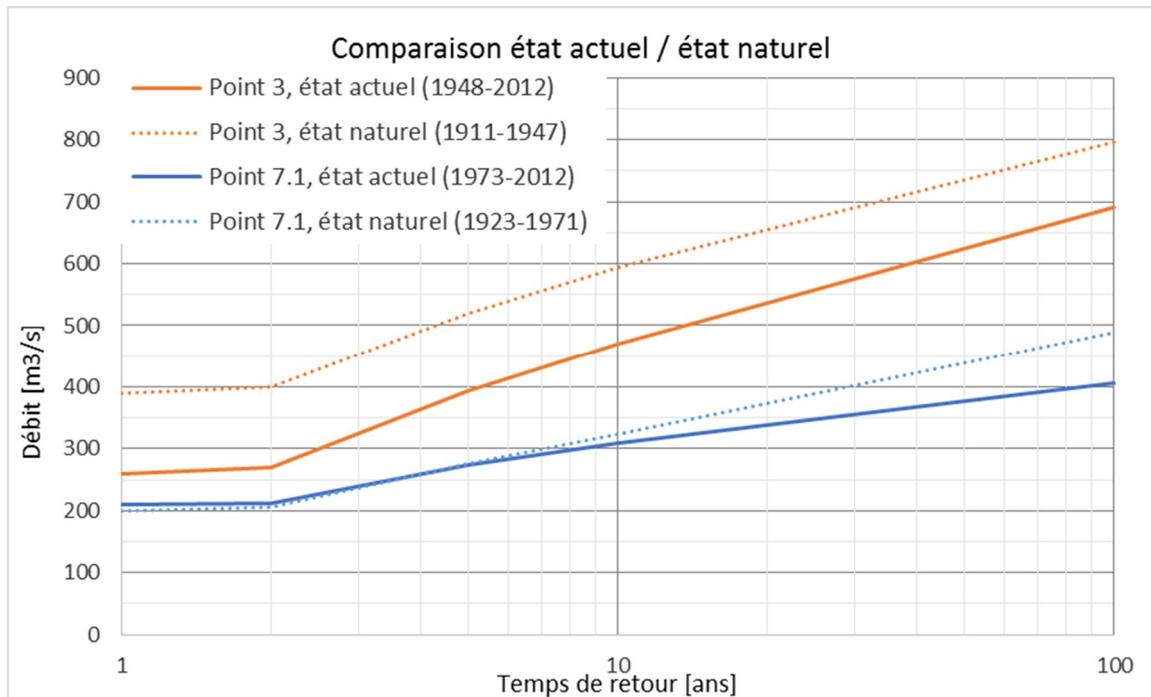


Figure 4 : Comparaison entre les débits de crues état actuel /état naturel [79], [80], [79b], [80b]

On voit que les débits de crues sont fortement modifiés en aval du barrage de Rossens (tronçon 3). Par contre, l'effet du barrage de Lessoc sur les crues dans le tronçon 7 est plus faible, voire nulle.



Les tableaux ci-dessous résument les différents débits (actuels et naturels) déterminés le long de la Sarine :

Etat actuel							
Point	Q347	Qmoy	Q1	Q2	Q5	Q10	Q100
	[m <sup>3</sup> /s]						
8	0.35	0.96	179	182	202	216	264
7.2	2.5	15	195	203	247	280	390
7.1	4.9	23	210	212	273	309	407
6	2.5	3.7	54	55	176	274	582
5	2.8	34	129	132	251	349	635
4	4.0	4.7	161	171	294	372	670
3	4.0	41	260	270	393	471	691
2	5.4	44	272	278	410	510	842
1	9.3	53.1	350	356	511	626	1045

Tableau 2 : Débits de la Sarine – état actuel

Etat naturel							
Point	Q347	Qmoy	Q1	Q2	Q5	Q10	Q100
	[m <sup>3</sup> /s]						
8	3.2	13.5	174	177	213	240	330
7.2	3.7	15	185	196	249	294	471
7.1	5.3	25	200	205	275	323	488
6	7.6	34.2	334	343	463	537	741
5	7.6	34.2	334	343	463	537	741
4	10.1	42.1	390	399	519	593	797
3	10.1	42.1	390	399	519	593	797
2	16	44	402	407	536	632	948
1	18	53.1	480	485	637	748	1151

Tableau 3 : Débits de la Sarine – état naturel

Le tableau ci-dessous présente les valeurs d'étiage des principaux affluents :

Affluent	BV [km <sup>2</sup> ]	Q <sub>347</sub> [l/s]	Qspec [l/s/km <sup>2</sup> ]
Marive	11.2	82	7.3
Tâna	19.1	139	7.3
Trême	30	220	7.3
Gérine	80	500	6.3
Glâne	194	700	3.6
Gottéron	44	300	6.8
Singine	439	2500	5.7

Tableau 4 : Débits d'étiage des affluents

L'annexe 5 présente le détail des méthodes de calculs utilisés.

## 2.2.2 Indicateurs HYDMOD

### 2.2.2.1 Introduction

Le module «Hydrologie – régime d'écoulement» au niveau R (région), ou HYDMOD-R<sup>1</sup>, représente la méthode mise au point dans le cadre du système modulaire gradué pour décrire les conditions hydrologiques d'une région en y relevant les atteintes liées à la gestion des eaux et en évaluant leurs effets sur le régime d'écoulement. Il donne comme résultat une indication de l'état hydrologique du réseau hydrographique d'un bassin versant en se référant aux différents tronçons de cours d'eau.

Dans le cadre des projets d'assainissement des cours d'eau, il nous semble pertinent de prendre en compte plusieurs paramètres du régime hydrologique à savoir :

- Les éclusées (domaine spécifique des planifications stratégiques), mais également :
- Le débit moyen
- Les étiages
- Les crues

L'objectif de ce chapitre est de donner un classement de l'état actuel des tronçons de la Sarine selon ces différents indicateurs.

Ces indicateurs seront également utilisés pour évaluer et comparer les variantes d'assainissement.

### 2.2.2.2 Méthodologie

La méthodologie est conforme aux recommandations d'HYDMOD<sup>2</sup>.

L'annexe 6 détaille les résultats obtenus.

### 2.2.2.3 Résultats

Le tableau ci-dessous résume les différents indicateurs hydrologiques de HYDMOD le long de la Sarine :

<sup>1</sup> Méthode d'analyse et d'appréciation des cours d'eau, Hydrologie – régime d'écoulement, OFEV 2011

<sup>2</sup> Méthode d'analyse et d'appréciation des cours d'eau, Hydrologie – régime d'écoulement, OFEV 2011



	HYDMOD Débit moyen	HYDMOD Etiage	HYDMOD Crues	HYDMOD Eclusée
Tronçon 8	Classe 5	Classe 5	?	--
Tronçon 7.2	Classe 1	Classe 1	?	Classe 5
Tronçon 7.1	Classe 1	Classe 1	Classe 2	Classe 4
Tronçon 6	Classe 5	Classe 4	?	--
Tronçon 5	Classe 1	Classe 3	?	Classe 5
Tronçon 4	Classe 5	Classe 3	?	--
Tronçon 3	Classe 1	Classe 3	Classe 5	Classe 5
Tronçon 2	Classe 1	Classe 4	?	Classe 5
Tronçon 1	Classe 1	Classe 3	Classe 3	Classe 5

Tableau 5 : Indicateurs hydrologiques HYDMOD

### 3. Relevés de terrain

Des évaluations approfondies ont été nécessaires pour les centrales hydroélectriques et les tronçons de cours d'eau n'ayant pas pu être éliminés de la procédure à un stade précoce ou ayant été classés parmi les installations devant manifestement être assainies. Ces évaluations permettent de déterminer quelles installations et quels tronçons provoquent ou subissent des atteintes graves au sens de l'art. 41e OEaux. Dès lors, différents relevés de terrain ont du être réalisés en 2013 et 2014 afin de compléter les données à disposition pour évaluer les indicateurs de l'évaluation approfondie (au sens de l'aide à l'exécution de l'OFEV de 2012) pour les installations suivantes :

- Lessoc ;
- Hauterive ;
- Oelberg.

A l'aide de l'évaluation sommaire, l'installation de Schiffenen a été classée en 2013, dans le rapport intermédiaire, comme provoquant une atteinte grave sur le cours d'eau. Cette décision avait été acceptée par le groupe de travail et le propriétaire (et exploitant) de l'installation.

#### 3.1 Relevés géométriques

La démarche des relevés géométriques pour les modèles 2D figure en annexe 2 dans le rapport de SJE. Les secteurs pour la modélisation 2D ont été choisis afin d'être le plus représentatif possible des tronçons à étudier.

Les relevés géométriques sur les tronçons influencés en aval des installations étudiées ont été réalisés avec un grand niveau de détails. En effet, l'objectif de ces relevés était de réaliser, sur des secteurs représentatifs du linéaire influencé, des simulations 2D afin de pouvoir les utiliser comme modèle prédictif d'un état futur. Les relevés de terrain (hauteur d'eau, profils, vitesse, cartographie des mésohabitats, etc.) ont été complétés par un vol de drone (Lessoc 1 et 2) et un vol lidar (entre Rossens et Oelberg).

### 3.2 Module poisson du SMG indicateurs P1 - Pêches électriques

Le système modulaire gradué (SMG) de la Confédération, qui définit des méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau, comprend un module « Poissons », qui permet d'évaluer la communauté piscicole à l'aide de quatre paramètres :

- Composition de l'ichtyofaune et dominance des espèces,
- Structure de la population des espèces indicatrices,
- Densité des populations d'espèces indicatrices,
- Déformations et anomalies.

Dès lors afin de pouvoir déterminer l'influence des installations le long de la Sarine sur les aspects piscicoles, des pêches électriques ont été réalisées en 2014 par PRONAT en collaboration avec le Service des forêts et de la faune (SFF). Ces pêches ont été effectuées en 3 bandes à l'aide de 2 appareils mobiles (à l'exception de la pêche sur la Tana où seule une bande a été réalisée):

- Une bande en rive droite,
- Une bande médiane,
- Une bande en rive gauche.

Les poissons capturés ont été déterminés, mesurés et examinés directement sur place. La présence d'éventuelles anomalies ou déformations a été répertoriée. Les résultats ont ensuite été analysés selon la méthode du SMG à l'aide de l'outil « Fishassess » de l'OFEV.

Les stations pêchées sont présentées dans le tableau ci-dessous

Date	Cours d'eau	Station	Coordonnées départ	Longueur [m]	Largeur [m]
03.09.2014	Sarine	Ölberg	570'929 / 184'136	80	40
03.09.2014	Sarine	Hauterive	576'045 / 180'868	100	30
11.09.2014	Sarine	Lessoc 1	571'855 / 154365	100	10
11.09.2014	Sarine	Lessoc 2	573'325 / 157'386	100	25
11.09.2014	La Tana	Tana (gravière)	572'445 / 154'986	100	4

Tableau 6 : Stations d'études pour les pêches électriques selon SMG.

### 3.3 Indicateurs P2 - Echouage

Afin de compléter et d'affiner les résultats des modèles 2D (présentés ci-après) pour l'échouage, des observations de l'échouage des poissons a été réalisés sur les différents secteurs d'étude sur la Sarine à plusieurs reprises lors des différentes campagnes de terrain entre octobre 2013 et septembre 2014. Au mois d'avril et au mois de mai, une campagne a été réalisée sur environ 150-200 mètres:

- En aval de Lessoc (Lessoc 1 et 2) ;
- En aval de Hauterive (en amont de la confluence avec la Gérine) ;
- En aval de Oelberg ;

### Indicateurs P3 – Frayères - Essais boîtes Vibert

L'indicateur P3 de l'aide à l'exécution recommande pour évaluer cet indicateur des calculs hydrauliques bidimensionnels (voir chapitre suivant). Afin de compléter ces résultats et d'entente avec le SFF, des essais avec des boîtes « Vibert » ont été réalisés lors de la période de reproduction de la truite de rivière soit entre décembre 2013 et avril 2014. Des boîtes Bolliger (2 boîtes) et Vibert (1 boîtes) ont été déposées dans les sédiments le 14 décembre 2014 sur la Petite-Sarine (station de référence) et sur 4 secteurs en aval de Lessoc (voir tableau ci-dessous). Ces boîtes contenaient 1'000 œufs de truite de rivière fécondés (provenance de la pisciculture Bossy, Belfaux).

Cours d'eau	Station	Coordonnées	Nombre d'œufs
Sarine	Confluence Niclemen	571'414 / 152'631	3'000
Sarine	Villars-sous-Mont	571'863 / 154'363	3'000
Sarine	Saussivue	573'356 / 158'438	3'000
Sarine	Aval du Pont qui Branle	573'709 / 159'296	3'000
Sarine	Petite-Sarine	575'625 / 179'673	3'000

Tableau 7 : Station d'études pour les investigations avec les boîtes Vibert.

Une fois les boîtes déposées dans le lit de la Sarine, des contrôles ont été effectués par PRONAT et les gardes faunes:

- 26.12.2013 (contrôle visuel);
- 22.02.2014 (contrôle visuel et dépose de nouvelle boîte en stade oeillet);
- 02.04.2014 (contrôle final et récupération des boîtes fin).

Les boîtes ont été ouvertes après l'évolution des œufs en stade oeillet et les œufs contenant des alevins « vivants » ont été comptés (voir figure ci-dessous).

De plus, afin de vérifier les essais, des boîtes contenant des œufs en stade œillet ont été déposées le 22.02.2014 à Villars-sous-Mont, Saussivue et dans la Petite-Sarine. L'ensemble des boîtes a été récupéré en avril 2014.



Frayère artificielle avec boîte Vibert



Boîte Bolliger avec œufs en stade oeillet

Figure 5 : Illustrations des investigations avec les boîtes Vibert/Bolliger

Parallèlement à ces investigations, des graviers et galets mélangés (tailles entre 1 et 5 cm) et marqués ont été déposés sur 2 stations (Niclemen et Pont qui Branle):

- Couche entre 10-15 cm de profondeurs - marquage rouge
- Couche entre 5-10 cm de profondeurs - marquage vert
- Couche à la surface du substrat entre 0-5 cm de profondeurs – marquage bleu



Figure 6 : Illustrations des investigations avec les graviers marqués.

L'objectif de ces marquages est de contrôler la stabilité du substrat favorable au frai de la truite de rivière lors des variations engendrées par les éclusées.

### 3.4 Reproduction de l'ichtyofaune – Indicateur P4

Le succès de la reproduction de la truite de rivière a fait l'objet de relevés au moyen d'une pêche électrique des juvéniles réalisée à proximité des habitats susceptibles de convenir aux alevins, selon la méthode dite du «kick sampling» (pêche par points). Ces pêches ont été réalisées par PRONAT et le SFF au printemps 2014 sur les stations en aval de Lessoc, en aval de Hauterive et en aval d'Oelberg (Tableau 8). Les pêches ont été effectuées par points sur les 2 rives (gauche et droite) à l'aide d'un appareil mobile.

Date	Cours d'eau	Station	Coordonnées départ	Longueur [m]	Rive	Nombre de points pêchés
08.05.2014	Sarine	Lessoc 1	571'524 / 153'940	50	Gauche	31
08.05.2014	Sarine	Lessoc 1	571'509 / 153'847	40	Droite	21
08.05.2014	Sarine	Lessoc 2	573'332 / 157'499	60	Gauche	30
08.05.2014	Sarine	Lessoc 2	573'341 / 157'406	50	Droite	30
10.05.2014	Sarine	Hauterive	576'112 / 180'943	90	Gauche	15
10.05.2014	Sarine	Hauterive	576'099 / 180'888	170	Droite	15
10.05.2014	Sarine	Ölberg	578'911 / 184'232	120	Gauche	15
10.05.2014	Sarine	Ölberg	578'941 / 184253	160	Droite	15

Tableau 8 : Stations d'études pour les pêches électriques ponctuelles des juvéniles

Le nombre de points pêchés par secteur était variable en fonction de la présence d'habitats favorables aux alevins, mais soit au total pour:

- Lessoc 1, 52 points;
- Lessoc 2, 60 points;
- Hauterive, 30 points;
- Oelberg, 30 points.

La distance à la rive, la profondeur, le substrat ainsi que la vitesse ont de plus été relevés à titre indicatif directement sur le terrain.

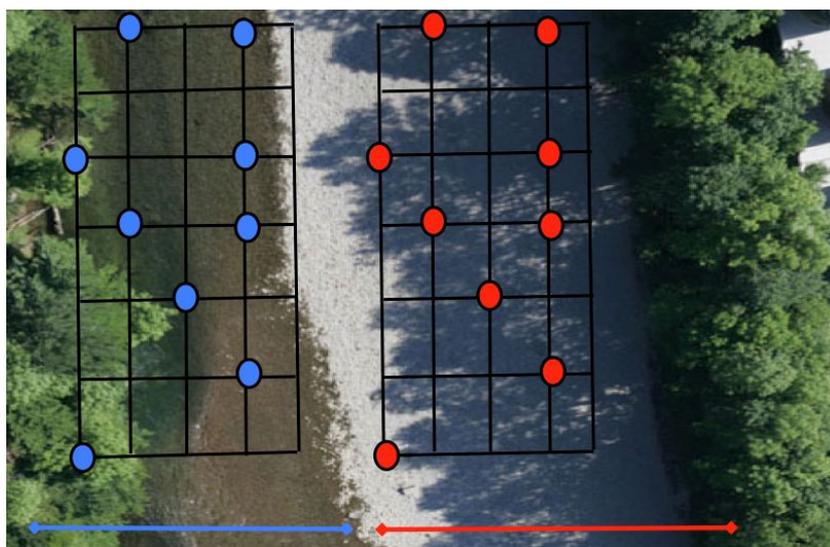
### 3.5 Module Macrozoobenthos du SMG – Indicateur B2

Le système modulaire gradué d'analyse et d'appréciation des cours d'eau comprend entre autres une méthode uniformisée pour évaluer le macrozoobenthos au niveau R (région). Cette méthode base l'appréciation sur l'indice IBCH, une version de l'IBGN (indice biologique global normalisé) français adaptée aux conditions suisses. Le macrozoobenthos fait l'objet d'un prélèvement semi-quantitatif au filet kicknet, puis l'échantillon est analysé en laboratoire au terme d'une procédure définie. Les invertébrés (macroinvertébrés) sont déterminés jusqu'au niveau de la famille ou du groupe taxonomique suivant. L'appréciation se fonde, d'une part, sur le nombre des familles ou des groupes d'invertébrés identifiés et, d'autre part, sur la présence de certaines familles ou de certains groupes indicateurs. Des relevés ont été effectués en avril 2014 (période favorable pour cette altitude, voir méthode de l'OFEV pour les détails).

Date	Cours d'eau	Station	Coordonnées
16.04.2014	Sarine	Lessoc 1	571'474 / 153'340
16.04.2014	Sarine	Lessoc 2	573'328 / 157'490
17.04.2014	Sarine	Aval Hauterive	575'967 / 180'792
17.04.2014	Sarine	Aval Oelberg	578'890 / 184'243
16.04.2014	Tana	Aval Gravière	572'458 / 154'974
16.04.2014	Tana	Restitution	573'083 / 153'879

Tableau 9 : Station d'études pour les investigations IBCH.

En complément à ces relevés et afin de vérifier l'effet du marnage journalier (débit d'écluse), des prélèvements ont été effectués à la même date dans les secteurs de la Sarine soumis au marnage (figure ci-dessous) lors de l'abaissement du niveau des eaux (phase de descente de l'écluse en coordination avec le Groupe E).



IBCH standard selon SMG Echantillonnage dans zone de marnage

Figure 7 : Illustrations des investigations invertébrés benthique dans la zone de marnage.

Au total sur chaque station 2 prélèvements ont été réalisés: IBCH standard et relevés dans le zone de marnage.

#### 4. Investigations avec différents débits

Des investigations avec différents débits ont été organisées dans la Sarine pour évaluer l'effet des variations du débit sur les niveaux d'eau dans le lit mineur et les effets sur le lit majeur.

Ces investigations devaient permettre de caler les différents modèles 1D et 2D pour les habitats piscicoles, l'échouage et les frayères ainsi que de montrer l'influence des débits sur les zones alluviales. Le tableau ci-dessous résume les différents débits utilisés:

Station	Débits [m <sup>3</sup> /s]	Date	Type de relevés
Aval de Lessoc	1.5	08-09.05. 2014	Topographie, paramètres physiques, niveaux d'eau et habitats
	2.5	15.05.2014	Niveaux d'eau vitesse de montée
	5	15.05.2014	Niveaux d'eau vitesse de montée
	24	15.05.2014	Niveaux d'eau vitesse de montée
	40	15.05.2014	Niveaux d'eau vitesse de montée
Aval Hauterive	2.5	10.05.2014	Topographie, paramètres physiques, niveaux d'eau et habitats
	3.5	15.05.2014	Niveaux d'eau vitesse de montée
	50	15.05.2014	Niveaux d'eau vitesse de montée
	75	15.05.2014	Niveaux d'eau vitesse de montée
Aval de Oelberg	4	10.05.2014	Topographie, paramètres physiques, niveaux d'eau et habitats
	16	10.05.2014	Niveaux d'eau vitesse de montée
	56	10.05.2014	Niveaux d'eau vitesse de montée

Tableau 10 : Programme des investigations avec plusieurs débits.

Ces investigations ont servi de base pour une modélisation 2D (modèle CASiMiR) permettant de définir les objectifs hydrauliques et biologiques des mesures d'assainissement. Lors de ces essais, différents types de relevés ont été réalisés:

- Profils en travers et profils linéaires (campagne du 8 au 10 mai 2014) ;
- Mesure des débits à l'aide d'un appareil de mesure au sel à 3 sondes (campagne du 8 au 10 mai 2014) ;
- Cartographie des « méso-habitats » (campagne du 8 au 10 mai 2014) ;
- Mesures des hauteurs d'eau dans le lit mineur et sur les berges (campagne du 8 au 10 mai 2014 et du 15 mai 2014) ;
- Mesures des vitesses d'écoulement (flow tracker, campagne du 8 au 10 mai 2014) ;
- Mesures des vitesses de montée et de descente de l'écluse (campagne du 15 mai 2014).



## 5. Modélisation

### 5.1 Modélisation 1D

#### 5.1.1 Liste des modèles HEC-RAS

N° modèle	Cours d'eau	N° tronçon	Tronçon	Date relevés topo
1	Sarine	7	Lessoc-Lac de Gruyère	2009
1b	Sarine	7	Lessoc-Lac de Gruyère	1976
2	Sarine	5-6	Rossens – Lac de Pérolles	2006
3	Sarine	3-4	Maigrage - Lac de Schiffenen	2006
4	Sarine	1-2	Schiffenen - Aar	2006

Tableau 11 : Liste des modèles 1D (HEC-RAS)

#### 5.1.2 Calibration

N° modèle	Cours d'eau	N° tronçon	Méthode de calibration
1	Sarine	7	Débit à la station OFEV 2160 (Broc) (série complète)
1b	Sarine	7	Reprise des rugosités du modèle n°1
2	Sarine	5-6	Vitesse de monté d'éclusee (essai de dotation 15.05.2014)
3	Sarine	3-4	Débit à la station OFEV 2119 (Fribourg) (série complète)
4	Sarine	1-2	Débit à la station OFEV 2215 (Laupen) (série complète)

Tableau 12 : calibration de modèles 1D

### 5.1.3 Utilisation des modèles 1D

N° modèle	Partie d'étude	Utilisation	Résultats
1 + 1b	Assainissement selon Art. 80 LEaux	Détermination du déficit hydraulique dans les ZA	Rapport Art. 80
1 à 4	Assainissement des éclusées	Evaluation des indicateurs P2 et P3 à l'état actuel	Chapitre 6.2 et 6.3
1 à 4	Assainissement des éclusées	Prédiction de la valeur des indicateurs P2 et P3 en fonction des variables de dimensionnement (Qe/Qp et Vd)	Chapitre 7
1 à 4	Assainissement des éclusées	Routage des éclusées-type (input des modèles 2D)	Dans le rapport 2D (voir <b>annexe 2</b> )
1 à 4	Assainissement des éclusées	Déterminer des objectifs d'assainissement des éclusées	Chapitre 8
1 à 4	Assainissement des éclusées	Evaluation l'efficacité des variantes d'assainissement	Voir PARTIE B du rapport
1 à 4	Assainissement du charriage	Définition des objectifs "charriage" et conception de mesures d'assainissement	RF charriage

Tableau 13 : Utilisation des modèles 1D

## 5.2 Modélisation 2D

Plusieurs modélisations 2D ont été réalisées sur quatre secteurs de la Sarine à l'aide du logiciel CASiMiR. Ce logiciel avait déjà été utilisé par le passé en aval de Schiffenen [37] et [38].

Le détail des études concernant la modélisation 2D se trouve dans un rapport séparé, présenté dans l'**annexe 2**.

### 5.2.1 Liste des modèles 2D

N° modèle	Secteur	Cours d'eau	N° tronçon	Hydrogrammes-types modélisés pour l'état actuel
1	Lessoc 1	Sarine	7	Hiver Eté
2	Oelberg	Sarine	5	Eclusée chronique Eclusée aigue
3	Hauterive	Sarine	3	Hiver Samedi Hiver
4	Schiffenen US1	Sarine	1	Eclusée aigue

Tableau 14 : Liste des modèles 2D CASiMiR



## 5.2.2 Utilisation des modèles 2D

N° modèle	Partie d'étude	Utilisation	Résultats
1 + 3	Assainissement selon Art. 80 LEaux	Détermination du déficit hydraulique dans les ZA	Rapport Art. 80
1 à 4	Assainissement des éclusées	Evaluation des indicateurs P2 et P3 à l'état actuel	Chapitre 6.2 et 6.3
4	Assainissement des éclusées	Evaluation de l'efficacité de la variante "grand bassin"	Annexe 2

Tableau 15 : Utilisation des modèles 2D

## 5.3 Comparaison entre les modèles 1D et 2D

L'impact des éclusées le long de la Sarine a été étudiée à l'aide de deux types de modélisation : les modèles unidimensionnels (1D) et bidimensionnels (2D). Le tableau ci-dessous résume les avantages et inconvénients de ces deux approches :

Modèles	Avantages	Inconvénients
Modèles 1D	<ul style="list-style-type: none"><li>• Evaluation des indicateurs sur l'ensemble du linéaire du cours d'eau</li><li>• Calcul rapide, permettant de comparer l'efficacité de plusieurs variantes d'assainissement</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Définition grossière de la géométrie (profils en travers)</li><li>• Calculs hydrauliques peu précis, surtout lorsque le cours d'eau est complexe (bras secondaires, ...)</li></ul>
Modèles 2D	<ul style="list-style-type: none"><li>• Définition fine de la géométrie (relevés détaillés)</li><li>• Bonne prise en compte de l'hydraulique 2D, surtout lorsque le lit est complexe.</li><li>• Vision locale des secteurs</li><li>• Calibration du modèle sur la base de mesures in-situ</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Evaluation locale des indicateurs : le secteur modélisé n'est pas forcément représentatif de l'ensemble du tronçon</li><li>• Calcul lourd, limitant le nombre de variante qu'il est possible d'évaluer.</li></ul>

Les chapitres ci-dessous présentent la comparaison des résultats de ces deux types de modélisation.



### 5.3.1 Surfaces mises à sec

L'annexe 8.1 montre la comparaison 1D/2D pour les surfaces mises à sec.

1) Lessoc :

- a. **Localement** (dans le secteur 2D Lessoc 1), le modèle 1D surestime les surfaces mises à sec pour tous les ratios  $Q_e/Q_p$  modélisés. Ce résultat est facilement explicable car la zone étudiée comprend un bras secondaire, que le modèle 1D ne sait pas modéliser correctement (le modèle 1D remplit le bras secondaire "par le bas", sans tenir compte du moment où le bras est activé).
- b. **Globalement**, sur l'ensemble du tronçon 7, les surfaces mises à sec pour un ratio  $Q_e/Q_p$  donné sont plus basses que dans le secteur 2D Lessoc 1. Ce résultat est logique, puisque le secteur 2D Lessoc 1 n'est pas représentatif de l'ensemble du tronçon : certains tronçons sont plus rectilignes et uniformes que dans le secteur 2D étudié.
- c. **Conclusion** : la cohérence entre les deux modèles est assez bonne; la forme générale des courbes est cohérente. Il est possible de se fier aux résultats globaux du modèle 1D tout en restant conscient que le modèle surestime un peu les surfaces mises à sec, surtout dans les zones où le lit est complexe. On observe une chute rapide de la surface mise à sec lorsque le ratio  $Q_e/Q_p$  descend en dessous de 2-4. Au contraire, lorsque le ratio  $Q_e/Q_p$  dépasse 10, la surface mise à sec ne varie plus beaucoup.

2) Hauterive :

- a. **Localement** (dans le secteur 2D Hauterive) le modèle 1D sous-estime un peu les surfaces mises à sec.
- b. **Globalement**, sur l'ensemble du tronçon 5 Hauterive, les surfaces mises à sec pour un ratio  $Q_e/Q_p$  donné sont comparable à celle obtenues dans le secteur 2D. Le secteur 2D est représentatif de l'ensemble du tronçon.
- c. **Conclusion** : la cohérence entre les deux modèles est assez bonne; la forme générale des courbes est cohérente. Il est possible de se fier aux résultats globaux du modèle 1D. Comme sur le tronçon de Lessoc, on observe une chute rapide de la surface mise à sec lorsque le ratio  $Q_e/Q_p$  descend en dessous de 2-4. Pour les ratios  $Q_e/Q_p$  supérieurs à 10, la surface mise à sec ne varie plus beaucoup.

3) Oelberg :

- a. **Localement** (dans le secteur 2D Oelberg) le modèle 1D est très cohérent avec le modèle 2D.
- b. **Globalement**, sur l'ensemble du tronçon 3 Oelberg, les surfaces mises à sec sont largement supérieures à celles calculées sur le secteur 2D. Après analyse des résultats, il est apparu que l'aval du tronçon est fortement influencé par le lac de Schiffenen et que le modèle 1D surestime de manière globale les surfaces mises à sec.
- c. **Conclusion** : Dans ce secteur, les surfaces calculées avec le modèle 2D sont plus fiables que celles calculées avec le modèle 1D.

4) Schiffenen :

- a. **Localement** (dans le secteur 2D Schiffenen US1), le modèle 1D sous-estime un peu les surfaces mises à sec.
- b. **Globalement**, sur l'ensemble des tronçons 1 et 2, les surfaces mises à sec pour un ratio  $Q_e/Q_p$  donné sont comparable à celle obtenues dans le secteur 2D. Le secteur 2D est représentatif de l'ensemble du tronçon.
- c. **Conclusion** la cohérence entre les deux modèles est assez bonne; la forme générale des courbes est cohérente. Il est possible de se fier aux résultats globaux du modèle 1D. Comme sur le tronçon de Schiffenen, on observe une chute rapide de la surface



mise à sec lorsque le ratio  $Q_e/Q_p$  descend en dessous de 3 - 5. Pour les ratios  $Q_e/Q_p$  supérieurs à 10, la surface mise à sec ne varie plus beaucoup.

## 6. Calcul des indicateurs – évaluation des atteintes actuelles

### 6.1 P1 – Poisson (SMG)

L'évaluation de l'indicateur P1 – Poisson a été faite conformément au module Poissons du SMG (Schager et Peter, 2004).

Chacun des paramètres de l'évaluation possède plusieurs critères qui sont notés entre 0 et 4.

La note générale attribuée à un tronçon, qui représente lui-même un secteur de cours d'eau, correspond à la somme de la note obtenue pour chaque paramètre.

Pour évaluer l'état de l'ichtyofaune sur une station donnée, le module Poissons du SMG prévoit une échelle de notation comprenant cinq classes :

Classe	Etat écologique
1	Très bon
2	Bon
3	Moyen
4	Médiocre
5	Mauvais

Tableau 16 : Classe d'état écologique de l'indicateur P1.

#### 6.1.1 Paramètre 1 – Composition de l'ichtyofaune

La composition de l'ichtyofaune au sein des différentes zones piscicoles varie en fonction des éco-régions. L'écart par rapport à la composition potentielle de l'ichtyofaune, l'absence de certaines espèces et en particulier de l'espèce caractéristique d'une zone, est un des critères pour caractériser la composition piscicole du tronçon étudié. La zone piscicole est définie en fonction des conditions naturelles qui régnaient avant les aménagements.

La dominance relative des espèces est un indicateur de la qualité (caractère naturel) de la communauté piscicole qui occupe une aire donnée. Un décalage dans le sens d'une dominance des espèces indifférentes ou exotiques est le signe indubitable d'une perturbation de l'écosystème.

Les résultats de la composition de l'ichtyofaune sont présentés dans les figures ci-dessous par tronçons étudiés.

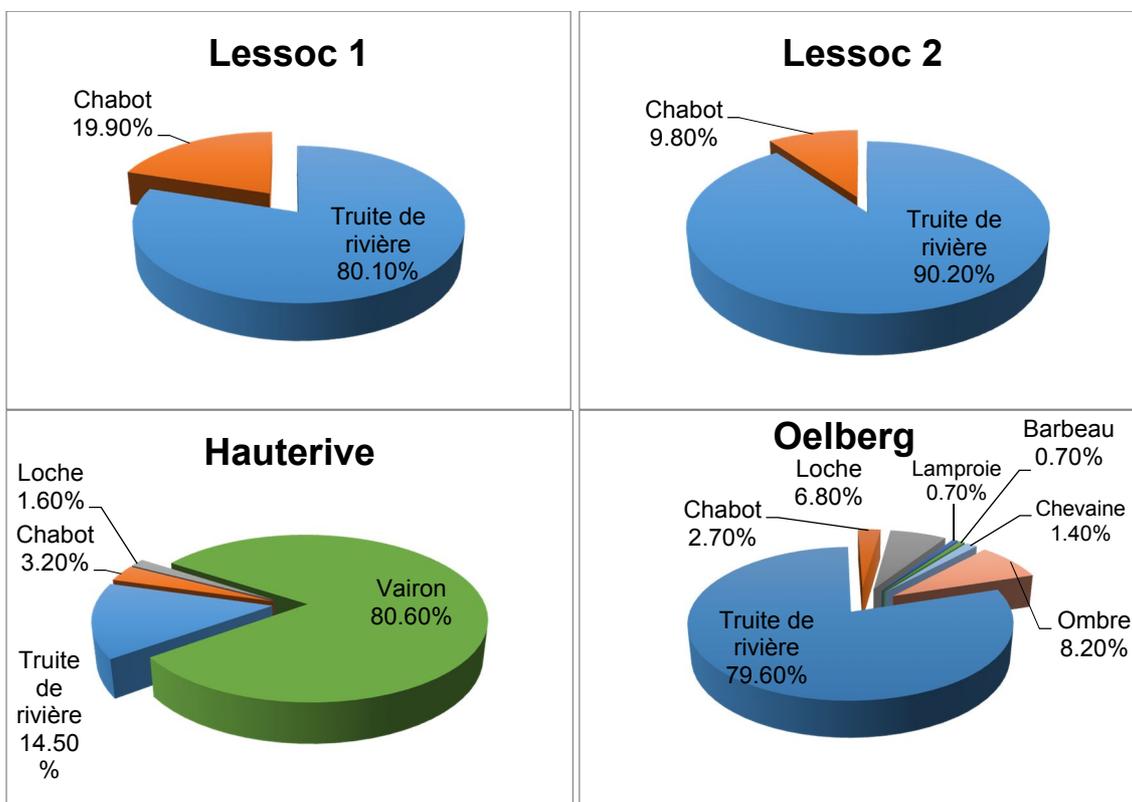


Figure 8 : Illustrations de la composition de l'ichtyofaune par tronçon de la Sarine (en pourcentage relatif)

Les stations de Lessoc 1 et 2 ainsi que d'Oelberg sont dominées par la truite de rivière (*Salmo trutta fario*), classée comme **espèce indicatrice**. La station d'Hauterive est dominée par les vairons (*Phoxinus phoxinus*), espèce dite **tolérante**.

La composition de l'ichtyofaune est classée comme **non typique** pour l'ensemble de ces stations étudiées en raison de la réduction massive de la diversité et de la présence d'espèces non typique. Le tableau ci-dessous donne la moyenne de ces évaluations par tronçon.

	Lessoc 1	Lessoc 2	Hauterive	Oelberg
Composition ichtyofaune	Moyenne	Moyenne	Faible	Moyenne

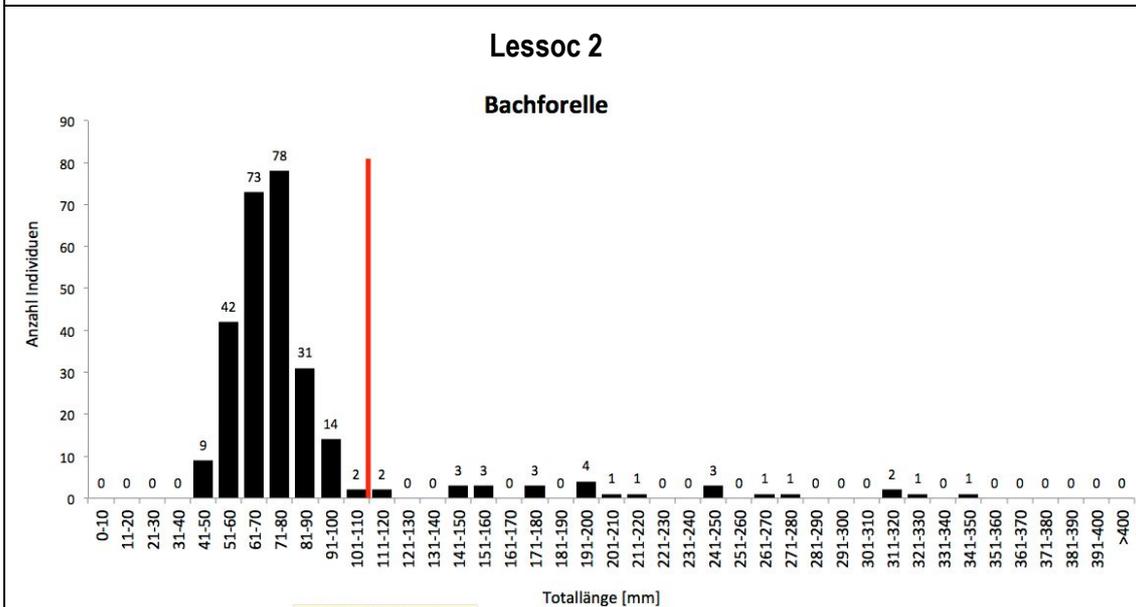
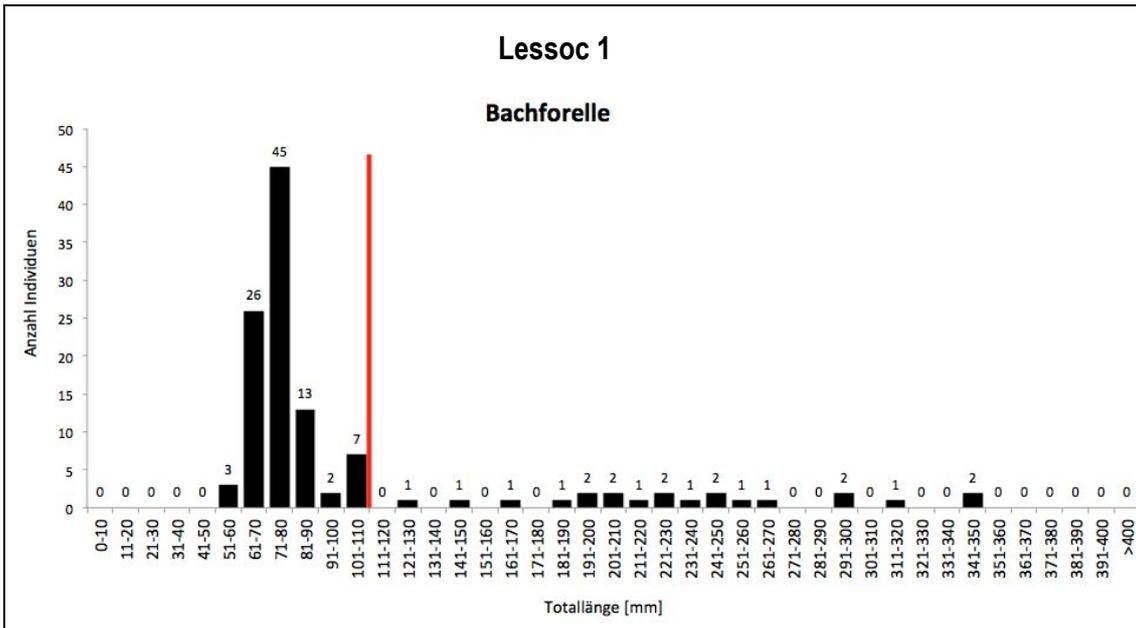
Tableau 17 : Synthèse des résultats du paramètre 1 par tronçon.

### 6.1.2 Paramètre 2 – Structure de la population

La structure de la population d'une espèce qui indique l'abondance des différentes classes d'âge et la densité des poissons 0+ sert d'indicateur du succès de la reproduction naturelle.

Les objectifs de qualité de la truite fario sont définis en tenant compte du rapport entre poissons 0+ et poissons >0+ ainsi que de la densité des poissons 0+ (voir méthode du SMG).

Les résultats de la structure de la population de la truite fario sont présentés dans les figures ci-dessous par tronçons étudiés. La répartition de la structure des populations des autres espèces n'est pas représentée ci-après mais a été évaluée avec l'outil du SMG.



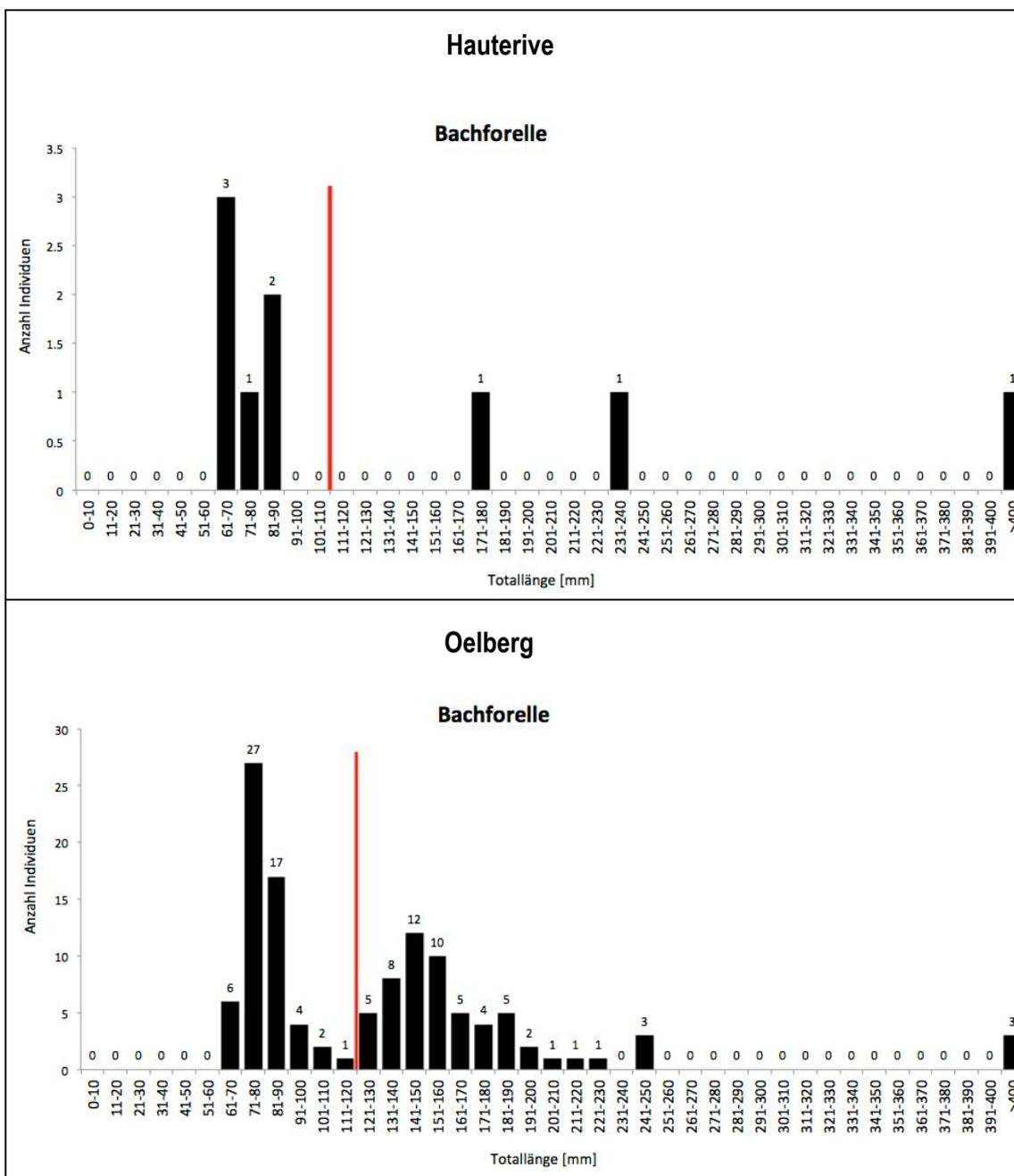


Figure 9 : Structure de la population de truite fario par tronçon classée selon la taille en mm et le nombre d'individu. La ligne rouge représente la limite des 0+.

Pour les stations de **Lessoc 1 et 2** :

- Le rapport entre 0+ et >0+ est jugé comme excellent pour la truite fario;
- La densité des 0+ est jugée comme moyenne pour la truite fario;
- La structure de la population des autres espèces est excellente.

Pour la station de **Hauterive**:

- Le rapport entre 0+ et >0+ est jugé comme excellent pour la truite fario;
- La densité des 0+ est jugée comme très faible pour la truite fario;
- La structure de la population des autres espèces est excellente.



Pour la station d'**Oelberg**:

- Le rapport entre 0<sup>+</sup> et >0<sup>+</sup> est jugé comme moyenne pour la truite fario;
- La densité des 0<sup>+</sup> est jugée comme très faible pour la truite fario;
- La structure de la population des autres espèces est moyenne.

### 6.1.3 Paramètre 3 – Densité des populations d'espèces indicatrices

La densité de poissons ou de population est définie ici comme le nombre de poissons capturés dans un seul passage de pêche expérimentale et rapporté à l'unité de surface d'un hectare. Cette évaluation se base sur les données disponibles dans la littérature pour la truite fario et pour toutes les autres espèces indicatrices sur un avis d'expert. Étant donné que pour des raisons climatiques et morphologiques la productivité des cours d'eau varie fortement en fonction des régions géographiques, l'évaluation de la densité de truites fario doit être effectuée écorégion par écorégion. La synthèse des résultats obtenus figure dans le tableau ci-dessous.

	Lessoc 1	Lessoc 2	Hauterive	Oelberg
Densité des populations	Moyenne	Moyenne	Faible	Faible

Tableau 18 : Synthèse des résultats par station pour la densité des populations (truite fario et autres espèces).

### 6.1.4 Paramètre 4 – Déformation et anomalies

Grâce à ce paramètre, l'état de santé des poissons (de toutes les espèces présentes) est pris en compte dans l'évaluation. Ce paramètre englobe de manière indirecte des aspects de qualité des eaux et rend compte du problème du repeuplement.

Pour les stations de Lessoc 1 et 2 ainsi qu'un d'Oelberg, ce paramètre est jugé comme **excellent** puisqu'aucune déformation n'a été répertoriée (< 1% des poissons).

Pour la station de Hauterive, ce paramètre est jugé comme **moyen** puisque des déformations ou anomalies ont été retrouvées de manière répétées (1-5% des poissons).

### 6.1.5 Synthèse de l'indicateur P1

Le tableau suivant synthétise l'ensemble des résultats et évaluation de l'indicateurs P1.

	Lessoc 1	Lessoc 2	Hauterive	Oelberg
1. Composition ichtyofaune	Moyenne	Moyenne	Faible	Moyenne
2. Structure population	Bonne	Bonne	Moyenne	Bonne
3. Densité des populations	Moyenne	Moyenne	Faible	Faible
4. Déformation / anomalies	Excellent	Excellent	Excellent	Moyenne
Evaluation	Bon	Bon	Médiocre	Moyen

Tableau 19 : Synthèse des résultats par station pour l'indicateur P1.

## 6.2 P2 – Echouage

L'évaluation de l'indicateur P2 – échouage a été faite en se basant sur plusieurs critères :

- Pourcentage des surfaces de lit mises à sec : évaluation approximative sur l'ensemble du tronçon (1D) et évaluation précise dans les secteurs 2D.
- Vitesse de descente lors d'une éclusée : évaluation approximative sur l'ensemble du tronçon (1D) et évaluation précise dans les secteurs 2D.
- Nombre de poissons échoués / 100 m : pas d'évaluation systématique sur le terrain. L'évaluation se base sur des observations effectuées dans le cadre d'autres études après l'abaissement du niveau d'eau sur les tronçons concernés. En cas d'observations de poissons échoués, le critère est évalué comme « moyen-mauvais », et en l'absence d'observation, le critère est évalué comme « bon ».

Si deux des trois critères témoignent d'un état moyen à mauvais (rouge), l'indicateur P2 doit être considéré comme étant rouge.  
L'évaluation a été faite sur la base des l'hydrogrammes-type définis dans l'**annexe 3** (éclusee aigue).

Tronçon	Secteur	% de surfaces mises à sec	Vitesse de descente moyenne [cm/min]	Observation d'échouage	P2 - Echouage
7 - Lessoc	Secteur 2D Lessoc 1 (2D)	Moyen - mauvais	Moyen - mauvais	oui	moyen-mauvais
	Ensemble du tronçon (1D)	Moyen - mauvais	Moyen - mauvais		
5 -Hauterive	Secteur 2D Hauterive	Moyen - mauvais	Moyen - mauvais	oui	moyen-mauvais
	Ensemble du tronçon (1D)	Moyen - mauvais	Moyen - mauvais		
3 - Oelberg	Secteur 2D Oelberg	Bon	Moyen - mauvais	non	bon
	Ensemble du tronçon (1D)	Moyen - mauvais	Moyen - mauvais		
2-Schiffenen	Ensemble du tronçon (1D)	Moyen - mauvais	Moyen - mauvais		moyen-mauvais
1-Laupen	Secteur 2D Schiffenen US1	Moyen - mauvais	Moyen - mauvais	oui	moyen-mauvais
	Ensemble du tronçon (1D)	Moyen - mauvais	Moyen - mauvais		

Tableau 20 : Indicateur P2 –Echouage

L'évaluation des hydrogrammes-type correspondants aux éclusées chroniques aboutit à la même évaluation du critère P2.

### 6.3 P3 – Frayères

L'évaluation de l'indicateur P3 – frayère a été faite en se basant sur deux critères :

- Surface POTENTIELLEMENT favorables aux frayères (critère uniquement hydraulique) : évaluation approximative sur l'ensemble du tronçon (1D) et évaluation précise dans les secteurs 2D.
- Surface favorables aux frayères (critères hydraulique ET disponibilité du substrat) : évaluation uniquement dans les secteurs 2D.



Tronçon	Secteur	Surfaces potentiellement favorables	Surfaces favorables	P3 - Frayères
7 - Lessoc	Secteur 2D Lessoc 1 (2D)	excellent	mauvais	mauvais
	Ensemble du tronçon (1D)	mauvais		
5 -Hauterive	Secteur 2D Hauterive	médiocre	mauvais	mauvais
	Ensemble du tronçon (1D)	mauvais		
3 - Oelberg	Secteur 2D Oelberg	bon	mauvais	mauvais
	Ensemble du tronçon (1D)	mauvais		
2-Schiffenen	Ensemble du tronçon (1D)	mauvais		mauvais
1-Laupen	Secteur 2D Schiffenen US1	médiocre	mauvais	mauvais
	Ensemble du tronçon (1D)	mauvais		

Tableau 21 : Indicateur P3 - frayères

### 6.3.1 Transport solide

Suite aux analyses 2D, le transport solide a été vérifié sur tous les secteurs avec une analyse détaillée. L'objectif était de s'assurer de la stabilité des frayères potentielles, soit du transport potentiel des matériaux avec une granulométrie de 4 cm, lors des éclusées. A l'exception de Schiffenen, tous les secteurs (Lessoc 1, Hauterive et Oelberg) ont présenté une bonne stabilité du substrat lors de l'éclusée type. Ce résultat est vraisemblablement dû au fait que les tronçons modélisés possédaient une pente relativement faible. Les calculs de 2014 ont confirmé les résultats antérieurs obtenus sur le transport de matériaux solides lors des éclusées de Schiffenen (PRONAT, 2007).

Les modèles 1D sont plus négatifs par rapport au risque de lessivage des frayères potentielles. Ils mettent en évidence que le débit d'éclusée est susceptible de déstabiliser le substrat avec une granulométrie de 4 cm dans tous les tronçons étudiés (Lessoc, Hauterive, Oelberg et Schiffenen). La stabilité varie toutefois fortement dans chaque tronçon : elle est bonne dans les secteurs à faible pente, mais est pratiquement nulle dès que la pente augmente légèrement. L'absence de stabilité des frayères est corroborée par les résultats obtenus par la pose des boîtes Vibert et le marquage de sédiments (voir chapitre 22.1).



#### 6.4 P4 – Reproduction

Suite aux pêches électriques réalisées au printemps 2014 sur des tronçons avec des vitesses lentes (5-25 cm/s), la densité des alevins de truite de rivière est calculée et présentée par point (CPUE = capture par unité d'effort). L'aide à l'exécution de l'OFEV propose une évaluation sur la base des CPUE en 5 classes d'état.

CPUE	Etat écologique
> 1	Excellent
0.6 - 1.0	Bon
0.4 – 0.6	Moyen
0.1 – 0.4	Médiocre
< 0.1	Mauvais

Tableau 22 : Classe d'état écologique de l'indicateur P4

Le nombre des alevins de truite fario pêchés et la densité par point sont indiqués dans le tableau ci-dessous.

Stations	Linéaire [m]	Nombre de points pêchés	Truite fario (juvéniles 0+/1+)	Vairon	Chabot	Chevaine	Autres (cyprinidés)	CPUE
Lessoc 1	90	52	53	1	-	-	-	1.02
Lessoc 2	110	60	41	-	1	-	-	0.68
Hauterive	250	30	27	111	-	-	7	0.9
Ölberg	250	30	10	-	1	1	-	0.33

Tableau 23 : Résultats des pêches électriques de 2014 pour les juvéniles

Les stations de Lessoc (moyenne de Lessoc 1 et 2) et de Hauterive présentent une densité d'alevins classée comme **bonne**.

La station d'Oelberg est classée comme **médiocre**.

La Sarine n'est plus rempoissonnée, mais l'influence du rempoissonnement des affluents ne peut être exclue de ces bons résultats pour Lessoc, cependant les individus capturés étant de très petite taille, cela laisse supposer que de la reproduction naturelle est possible sur certains secteurs en aval de Lessoc.

En complément à ces relevés piscicoles, WFN a effectué en 2012 des études sur la reproduction de l'ombre (plus de 2 ans de suivi), espèce indicatrice des zones à ombre. Ces études ont montré que la reproduction est fortement atteinte sur les tronçons à éclusées (voir RF Eclusées) :

- Aucune frayère identifiée ;
- Peu d'observation de larves d'ombre ;

En revanche, sur la Sarine « non-atteinte » par les éclusées en amont de Montbovon, sur la Petite Sarine et sur le tronçon à débit résiduel en aval de la Maigrange, d'importantes frayères d'ombres ainsi que de nombreuses larves ont été observées.

## 6.5 P5 – Productivité

Le rendement annuel à l'hectare (RAH) appelé aussi capacité théorique de rendement piscicole désigne les «prises maximales au sein de populations piscicoles de composition idéale, dans des conditions d'exploitation optimales de la capacité naturelle de production. L'estimation du RAH se base sur divers paramètres tels le débit, la zone piscicole, la température, les structures spatiales et la présence (quantité et qualité) d'organismes servant de nourriture. Afin de calculer le RAH, la formule suivante a été utilisée :  $RAH = 10 \times B_{mod} \times k1 \times k2 \times k3$ . Le facteur de bonification modifié selon Vuille est établi à partir de la biomasse des invertébrés ( $g/m^2$ ) retrouvés dans les échantillons de B2 (IBCH standard) et calculée selon B1 (biomasse). Les facteurs k sont définis comme suit :

- k1 : température ;
- k2 : facteur habitat ;
- k3 : facteur de zonation piscicole.

L'aide à l'exécution de l'OFEV fourni des classes d'évaluation pour le RHA :

RAH alt. entre 500- 1'000 m	Etat écologique
$\geq 40$ kg	Excellent
$40 \text{ kg} > RAH > 30$ kg	Bon
$30 \text{ kg} > RAH > 20$ kg	Moyen
$20 \text{ kg} > RAH > 10$ kg	Médiocre
$< 10$ kg	Mauvais

Tableau 24 : Classe d'état écologique de l'indicateur P5

Dès lors le tableau suivant présente l'ensemble des résultats obtenus sur la base des relevés IBCH de 2014. Les poids des invertébrés utilisés dans les calculs de B1 ont été estimés selon des poids moyens<sup>3</sup>.

Station	B <sub>mod</sub>	K1	K2	K3	P5 – Productivité RAH
Lessoc 1	8	1	1	1	80
Lessoc 2	5.5	1	0.5	1	27.5
Aval Hauterive	10	1	0.5	1	50
Aval Ölberg	10	1	0.5	1	50

Tableau 25 : Synthèse des résultats de l'indicateur P5

A l'exception de la station Lessoc 2, le rendement annuel à l'hectare calculé par la biomasse benthique est **excellent**.

Afin d'interpréter correctement ce résultat, il faut tenir compte de la qualité de l'eau physico-chimique de l'eau de la Sarine et de la présence d'habitats favorables à la macrofaune benthique. La qualité de l'eau étant de manière générale bonne pour la plupart des paramètres, le manque de

<sup>3</sup> Le poids moyen a été déterminé par pesage de macrofaune benthique (utilisé par le canton du Valais) et selon les données du rapport Untersuchung im Hochrein 2006/2007. Maakroinvertebraten.Mürle & al. 2008.

diversité d'habitats combiné à l'éclusee, pour la station Lessoc 2, est probablement à l'origine de ce résultat moyen.

### 6.6 B1 – Biomasse

L'indicateur B1 – Biomasse a été calculée sur la base des résultats de B2 (relevés standard IBCH). Les poids des invertébrés utilisés ont été estimés selon des poids moyens. Une fois la biomasse calculée elle a été comparée à la valeur cible en fonction de l'altitude d'après la formule fournie dans l'aide à l'exécution de l'OFEV. Cette valeur cible se base sur des valeurs autrichiennes appartenant à l'écorégion des Alpes.

L'aide à l'exécution de l'OFEV fourni des classes d'évaluation pour le RHA :

Biomasse effective en % de la biomasse cible	Etat écologique
> 80 % de la biomasse cible	Excellent
> 60-80 % de la biomasse cible	Bon
> 45-60 % de la biomasse cible	Moyen
30-45 % de la biomasse cible	Médiocre
< 30 % de la biomasse cible	Mauvais

Tableau 26 : Classe d'état écologique de l'indicateur B1

Dès lors le tableau suivant présente l'ensemble des résultats obtenus sur la base des relevés IBCH de 2014.

Station	Biomasse cible [g/m <sup>2</sup> ]	Biomasse calculée [g/m <sup>2</sup> ]	% de la biomasse cible
Lessoc 1	6	57	> 80 % de la biomasse cible
Lessoc 2	7	32	> 80 % de la biomasse cible
Aval Hauterive	9	300	> 80 % de la biomasse cible
Aval Ölberg	9	249	> 80 % de la biomasse cible

Tableau 27 : Synthèse des résultats de l'indicateur B1

Les résultats présentés ci-dessus montrent une évaluation excellente de l'indicateur B1. Cependant, **en raison de la taille et de l'emplacement géographique de la Sarine**, l'indicateur biomasse tel que donné dans l'aide à l'exécution de l'OFEV ne semble pas être applicable.

## 6.7 B2 – Macrozoobenthos

Le module du macrozoobenthos niveau R du SMG fournit toutes les informations concernant les classes d'état de l'évaluation de cet indicateur.

Les évaluations sont présentées ci-dessous par secteur d'études. Les listes faunistique détaillées sont fournies à l'**annexe 9**.

Station	GI <sup>4</sup>		Diversité	Note IBCH	Evaluation
Lessoc 1	9	Perlodidae	31	17	Excellent
Lessoc 2	9	Perlodidae	25	16	Bon
Aval Hauterive	7	Glossosomatidae	24	13	Bon
Aval Ölberg	7	Leuctridae Goeridae	26	14	Bon

Tableau 28 : Synthèse des résultats de l'indicateur B2 selon la méthode IBCH

La famille des Perlodidae (plécoptère), est retenue en tant que taxons indicateurs (GI 9) pour deux stations : Lessoc 1 et Lessoc 2. La famille des Glossosomatidae (trichoptère) (GI 7) est retenue pour la station Hauterive et les familles des Leuctridae (plécoptère) et Goeridae (trichoptère) pour la station d'Oelberg. Les représentants du groupe indicateur 9 sont caractéristiques d'un cours d'eau bien oxygéné et peu pollué. Les autres groupes indicateurs présents témoignent de la constante bonne qualité de l'eau.

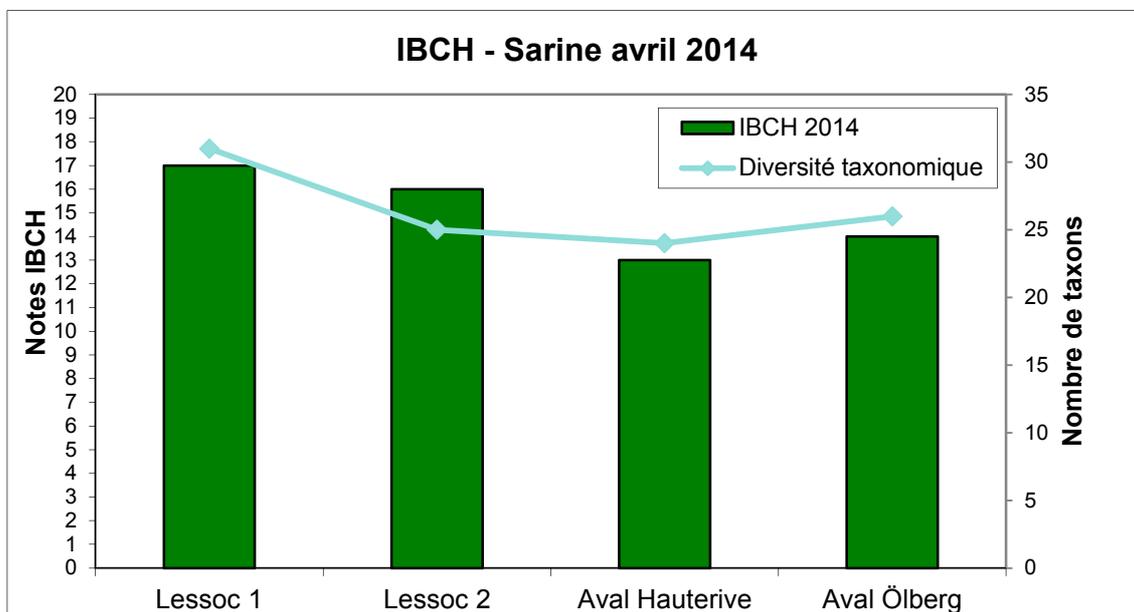


Figure 10 : Synthèse des notes IBCH et du nombre de taxon par tronçon de la Sarine

<sup>4</sup> GI correspond au groupe taxonomique indicateur.

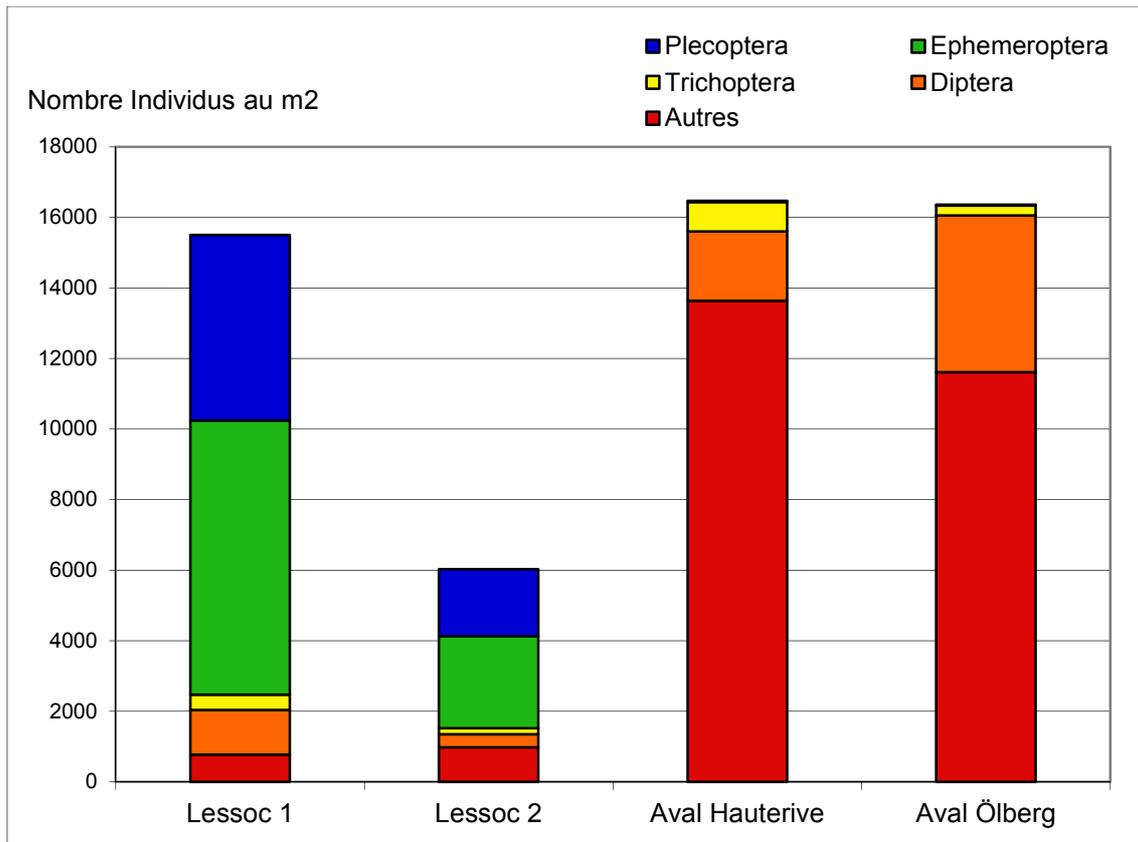


Figure 11 : Répartition des groupes taxonomiques en fonction de la densité d'individus au m<sup>2</sup>

Le nombre d'individu total pour l'ensemble des stations est important. Cela s'explique d'une part, par la saison d'échantillonnage, plus propice aux invertébrés benthiques et par la bonne qualité de l'eau de la Sarine. La station de Lessoc 2 présente le nombre d'individu le plus faible probablement à mettre en relation avec le nombre d'habitats favorables combiné au régime d'éclusée.

Les résultats présentés dans le Tableau 28, la Figure 10 et la Figure 11 mettent en évidence :

- Une bonne qualité biologique de l'eau dans les tronçons étudiés (lit mineur) ;
- La diversité est grande (> 20 taxons) ;
- La densité d'invertébrés est très bonne (>6'000 l/m<sup>2</sup>).

En parallèle à ces investigations sur le macrozoobenthos qui ne concernent que le lit mouillé, des relevés ont été effectués sur des secteurs influencés par le marnage (influence de l'éclusée appelé WWZ) lors de l'abaissement du niveau des eaux (phase de descente de l'éclusée). Les résultats sont présentés dans les tableaux et figures suivantes :

Station	GI <sup>5</sup>		Diversité	Note IBCH	Evaluation
Lessoc 1 - WWZ	7	Leuctridae	30	15	Bon
Lessoc 2 - WWZ	7	Leuctridae	20	12	Moyen
Aval Hauterive - WWZ	3	Limnephilidae	13	7	Médiocre
Aval Ölberg - WWZ	7	Goeridae	19	12	Moyen

Tableau 29 : Synthèse des résultats des prélèvements de macrozoobenthos dans la zone de marnage (WWZ = Wasserwechselzone)

Bien que la méthode appliquée ne suit pas exactement la méthodologie du module macrozoobenthos niveau R (IBCH) mais que 8 prélèvements standardisés ont été réalisés, le même système d'évaluation a été utilisé.

De manière générale, les résultats sont moins bons et montrent l'influence du régime de marnage (Tableau 29 et Figure 13) :

- Perte d'une classe d'état au minimum par tronçon (2 classes pour Hauterive) ;
- La diversité a diminué sur tous les secteurs. Les tronçons présentant les plus grandes variations entre Qe et Qp (Hauterive et Oelberg) présentent les plus grandes différences :
  - Perte de plus de 10 taxons en aval de Hauterive ;
  - Perte de 7 taxons en aval d'Oelberg.
- Les groupes indicateurs sont plus faibles. La famille des Leuctridae (plécoptère), est retenue en tant que taxons indicateurs (GI 7) pour deux stations : Lessoc 1 et Lessoc 2. La famille des Limnephilidae (trichoptère) (GI 3) est retenue pour la station Hauterive et la famille des Goeridae (trichoptère) pour la station d'Oelberg. Les représentants du groupe indicateur 9 sont peu représentés (voir absent), témoignant de l'influence du marnage.
- La densité au m<sup>2</sup> a fortement diminuée dans tous les secteurs.
- La répartition des groupes taxonomiques a aussi évolué vers la domination des « autres taxons », composés de taxons pouvant s'enfouir facilement dans les sédiments lors des basses eaux (Nemathelminthes, Oligochaeta, voir annexe 9).

<sup>5</sup> GI correspond au groupe taxonomique indicateur.

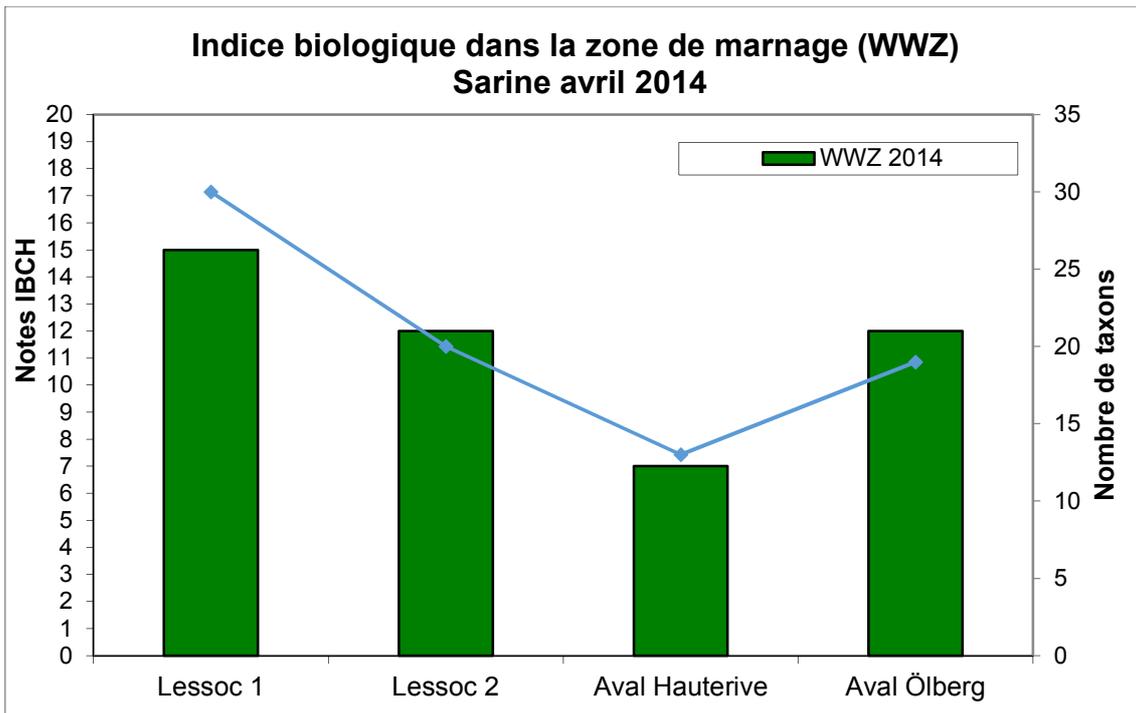


Figure 12 : Synthèse des notes et du nombre de taxon par tronçon de la Sarine pour les prélèvements dans la zone de marnage

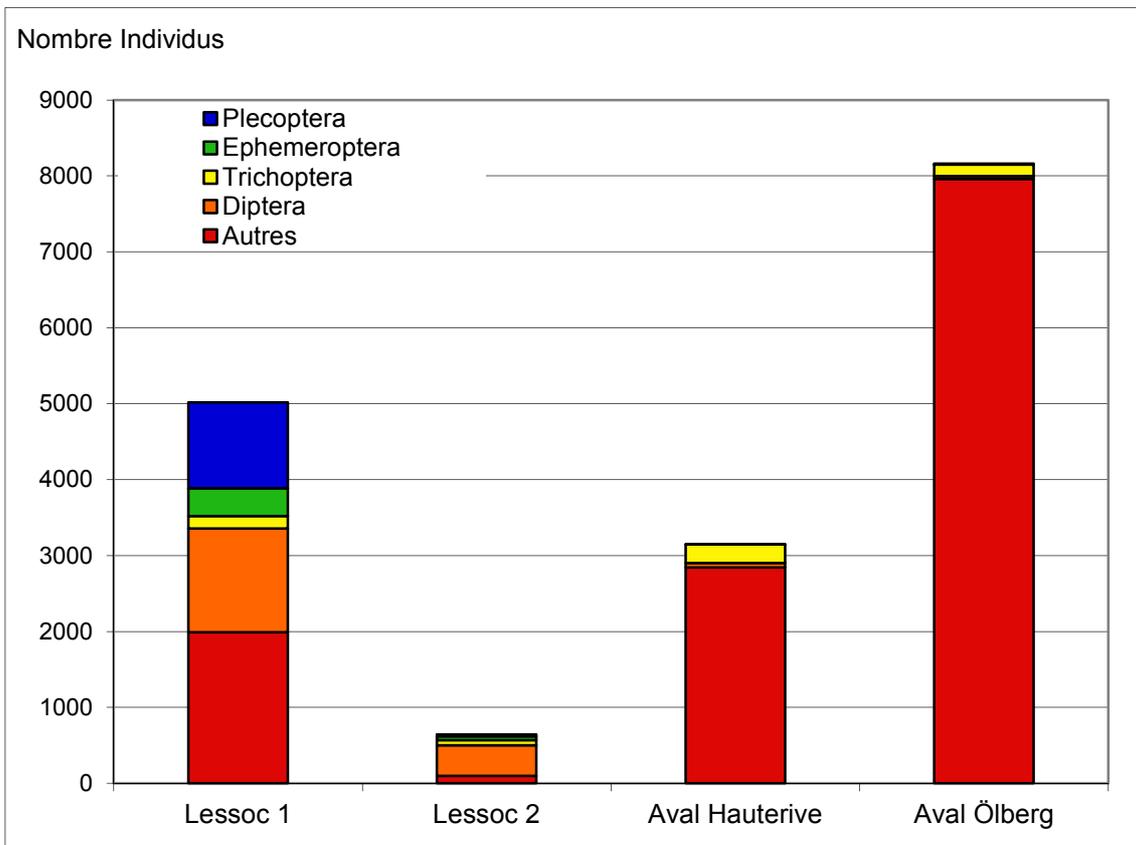


Figure 13 : Répartition des groupes taxonomiques en fonction de la densité d'individus au m<sup>2</sup>



### 6.8 B3 – Zonation longitudinale

La zonation longitudinale représente les zones biocénétiques d'un cours d'eau de sa source jusqu'à son embouchure. Le macrozoobenthos présente généralement une composition plus ou moins typique en fonction de l'emplacement de la station d'étude. Cet indicateur permet donc de vérifier que la composition de la biocénose animale est typique de la station au sens de l'art. 41e, let. b, OEaux. Lorsque l'effet des éclusées est important, la succession naturelle des zones biocénétiques peut être perturbée. En général, la composition du macrozoobenthos se décale alors vers les zones plus en amont.

Afin de déterminer la zonation longitudinale d'une station, il est nécessaire de déterminer les invertébrés benthiques prélevés pour l'indicateur B2 jusqu'à l'espèce au moins pour les familles bioindicatrices EPT.

Dès lors, sur la base des échantillons prélevés en 2014, le bureau Akuatik a effectué les identifications à l'espèce des EPT et le bureau Arge Ökologie a effectué les évaluations de la zonation longitudinale à l'aide du logiciel autrichien ECOPROF.

Pour procéder à l'appréciation, on détermine les écarts entre l'indice de zonation longitudinale et les zones biocénétiques définies à partir de la largeur, de la pente et, le cas échéant, de la température de l'eau (valeur cible). L'IZL est indiqué à la décimale près, tandis que les zones biocénétiques sont données par paliers.

L'aide à l'exécution de l'OFEV fourni des classes d'évaluation pour l'IZL:

Ecart par rapport à la valeur cible	Etat écologique
< 0.25 unité	Excellent
0.25 - < 0.5 unité	Bon
0.5 - < 0.75 unité	Moyen
0.75 – 1 unité	Médiocre
> 1 unité	Mauvais

Tableau 30 : Classe d'état écologique de l'indicateur B3

Les secteurs de la Sarine figurent dans les zones biocénétiques suivantes :

- Lessoc 1 et 2 : Metarhithron (zone à truite);
- Hauterive: Hyporhithon (zone à barbeau);
- Oelberg: Epipotamon (zone à barbeau).

Dès lors le tableau suivant présente l'ensemble des résultats obtenus sur la base des évaluations de l'IZL avec le logiciel ECOPROF.



Station	Valeur de référence	Valeur obtenue	Evaluation différence de IZL
Lessoc 1	4	3.39	0.61
Lessoc 2	4	3.63	0.37
Aval Hauterive	5	4.46	0.54
Aval Ölberg	6	4.25	1.75

Tableau 31 : Synthèse des résultats de l'indicateur B3

Les stations en aval de Lessoc obtiennent des valeurs moyennes et bonnes. Dès lors, afin d'obtenir une classe de qualité pour Lessoc la moyenne de la différence obtenue a été réalisée et le résultat de l'évaluation donne la classe **bonne**.

La station en aval de Hauterive est classée comme **moyenne**.

La station en aval de Ölberg est classée comme **mauvaise**.

### 6.9 B4 – EPT

Les larves des éphéméroptères, des plécoptères et des trichoptères vivant dans l'eau sont plus sensibles que nombre d'autres organismes aquatiques à divers types d'atteintes que subit la qualité de l'eau ou du cours d'eau. Ces familles représentent un bon indicateur de l'effet anthropique sur un cours mais ne sont malheureusement pas spécifiques aux effets du régime d'éclusées. A titre indicatif, l'indicateur B4 a été évalué selon l'aide à l'exécution de l'OFEV :

Nombre de famille EPT	Etat écologique
> 12	Excellent
8 - 12	Bon
5 - 7	Moyen
2 - 4	Médiocre
< 2	Mauvais

Tableau 32 : Classe d'état écologique de l'indicateur B4

Le nombre des familles EPT a été déterminé dans les échantillons semi-quantitatifs de l'indicateur B2:

Station	Ephéméroptère	Plécoptère	Trichoptères	Nombre de famille EPT
Lessoc 1	3	7	6	16
Lessoc 2	3	7	5	15
Aval Hauterive	3	0	6	9
Aval Ölberg	2	2	7	11

Tableau 33 : Synthèse des résultats de l'indicateur B4

Le nombre de famille EPT sur la base des prélèvements IBCH de 2014 **est excellent** pour les stations de Lessoc et **bon** pour Hauterive et Oelberg.

Ces bons résultats confirment encore une fois la bonne qualité des eaux de la Sarine.



## 22.1 Autre : Boîtes Vibert/Bolliger

Les investigations sur les boîtes Vibert/Bolliger ont permis de compléter les indications sur la reproduction de la truite et sur l'influence des éclusées sur les frayères en aval de Lessoc.

Les résultats sont présentés ci-dessous :

Emplacement	Nombre œufs 14.12.2013	Contrôle visuels 26.12.2013	Contrôle 22.2.2014	Récupération 2.04.2014
Confluence Niclemen	3'000 œufs	0 œufs	0 œufs	0 œufs
Villars-sous-Mont	3'000 œufs	3'000 œufs	0 œufs	0 œufs
Saussivue	3'000 œufs	3'000 œufs	65 (stade oeillet)	60 œufs
Aval du Pont qui Branle	3'000 œufs	1'000 œufs	0 œufs	0 œufs
Petite-Sarine	3'000 œufs	3'000 œufs	2 % pertes	10 % de pertes

Tableau 34 : Résultats des investigations à l'aide des boîtes Vibert/Bolliger

Parmi les 4 stations étudiées en 2013/2014 sur la Sarine en aval de Lessoc, seule la station de Saussivue a eu un résultat positif. En effet, 2% des œufs ont atteint le stade d'alevin.

En comparaison, la station sur la Petite-Sarine, située dans un tronçon non-soumis aux éclusées (débit résiduel) a permis à près de 90 % des œufs d'atteindre le stade d'alevin.

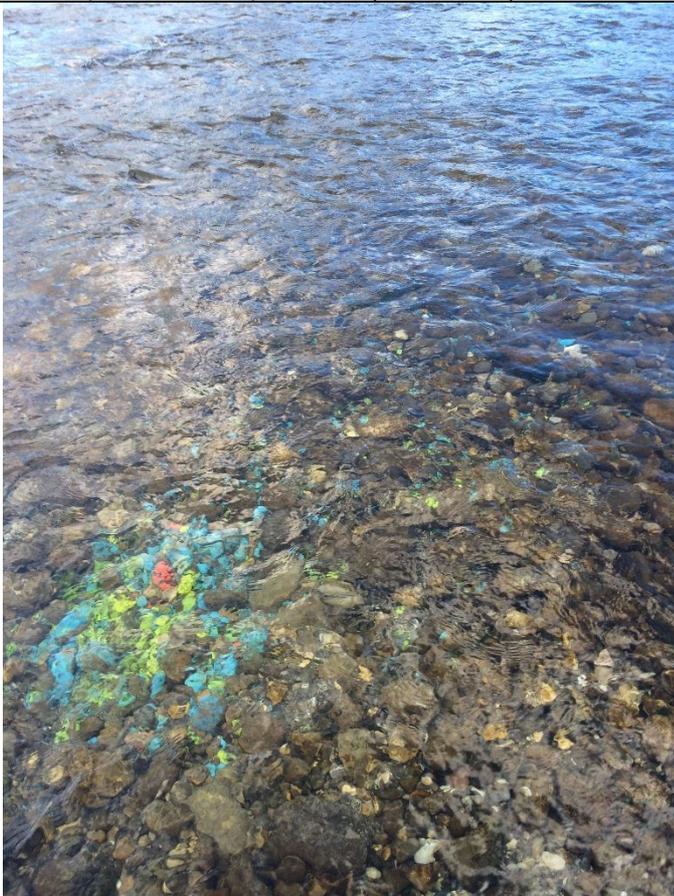
Les stations « Confluence Niclemen » et « Aval du Pont qui Branle » avaient déjà perdu les 2/3 des œufs déposés après seulement 10 jours environ. Le régime d'éclusées combiné à la petite crue en décembre (débit de pointe à broc le 25 décembre de 30 m<sup>3</sup>/s a réussi à plier les piquets métalliques servant d'attache et à mettre en mouvement les sédiments et les boîtes Vibert/Bolliger. Dès lors les œufs sont morts suite à ces perturbations.

Ce résultat montre l'influence de l'écluse sur la stabilité du substrat favorable au frai de la truite de rivière.

Pour confirmer ce résultat concernant la stabilité du substrat, les sédiments marqués (voir chapitre relevés de terrain) ont été observés lors de chaque contrôle. La figure ci-dessous met en évidence que les 2 premières couches de graviers ont été emportées avec le débit d'éclusées combiné à la petite crue de janvier 2014 (débit de pointe maximum à Broc de 75 m<sup>3</sup>/s le 4 janvier).



Graviers marqués au Pont qui Branle (14.12.2013)



Graviers marqués au Pont qui Branle (22.02.2013)

Figure 14 : Sédiments marqués sur la station du Pont qui Branle



Une autre expérience a été menée en parallèle à ces investigations. Des nouvelles boîtes contenant 1'000 œufs en stade œillet (moins sensibles aux perturbations) ont été déposées le 22 février 2014 sur les stations de Villars sous-Mont, de Saussivue et sur la Petite-Sarine.

Emplacement	Pose 22.2.2014	Récupération 2.04.2014
Villars-sous-Mont	1'000 œufs	45 œufs morts
Saussivue	1'000 œufs	25 œufs morts
Petite-Sarine	1'000 œufs	5 œufs morts

Tableau 35 : Résultats des investigations N° 2 à l'aide des boîtes Vibert/Bolliger avec des œufs en stade œillet.

Les résultats de ce 2<sup>ème</sup> test montrent que malgré le régime d'éclusées, le succès de la reproduction est possible si les œufs parviennent à atteindre le stade œillet.

Ces 2 résultats permettent de supposer que sur certains secteurs de la Sarine en aval de Lessoc la reproduction de la truite de rivière n'est pas totalement exclue mais est très faible à cause du régime d'éclusée.

## 7. Calcul des indicateurs de l'éclusée en fonction des variables de dimensionnement

Les indicateurs de l'éclusée de l'aide à l'exécution ne peuvent pas servir directement au dimensionnement des mesures d'assainissement : il n'est par exemple pas possible de dimensionner un bassin en posant comme objectif l'augmentation de 2 classes le nombre de familles d'EPT !

Les paramètres de dimensionnement sont principalement le débit d'éclusée, le débit plancher, ainsi que la vitesse de diminution du débit. D'autres paramètres peuvent aussi entrer en ligne de compte, comme la fréquence ou la saisonnalité des éclusées.

- Une modélisation permet de transformer les paramètres de dimensionnement en variables physiques dans le cours d'eau.
- Les variables physiques ne permettent pas de calculer directement une valeur pour la plupart des indicateurs de l'aide à l'exécution. Il est toutefois possible de prévoir globalement leur évolution en fonction de l'évolution des variables physiques.
- Certains indicateurs présentent l'avantage d'être calculables à partir des variables physiques. Il s'agit des indicateurs P2 (échouage) et P3 (frayères), ainsi que de l'indicateur hydrologique HYDMOD-éclusées.
- Ces trois indicateurs seront donc utilisés pour calculer l'efficacité prévisible des mesures d'assainissement.

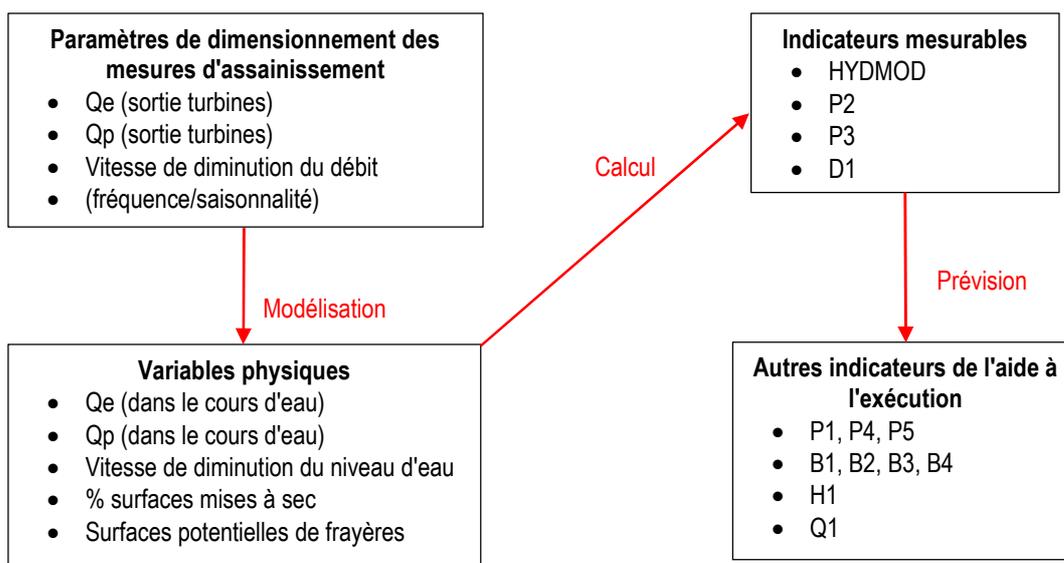


Figure 15 : Relation entre les paramètres de dimensionnement des mesures d'assainissement et les indicateurs de l'éclusee

Le calcul et la prévision de ces différents indicateurs ne dépendent toutefois pas uniquement des paramètres de l'éclusee mais également d'autres paramètres physiques en relation avec le charriage ou de la morphologie du cours d'eau.

L'annexe 22 montre un schéma décrivant les dépendances existantes entre les variables physiques et les indicateurs et les interdépendances entre les différents domaines de l'assainissement des cours d'eau.

### 7.1 Indicateur P2.1 : Surfaces mises à sec

L'annexe 7.1 montre la relation entre  $Q_e/Q_p$  (débit d'éclusee / débit plancher) et la surface mise à sec par l'éclusee sur chaque tronçon de la Sarine. Le rapport  $Q_e/Q_p$  est celui qui pourrait être mesuré à la sortie des turbines. Ces graphiques sont calculés avec les modèles 1D de la Sarine. La surface mise à sec peut varier légèrement pour un même rapport  $Q_e/Q_p$ , mais ces graphiques permettent de calculer approximativement des limites de classes pour ce paramètre.

Le tableau ci-dessous résume les résultats obtenus :

Tronçons	$Q_e/Q_p$ maximum pour avoir moins de 10% de surfaces mises à sec (critère excellent)	$Q_e/Q_p$ maximum pour avoir moins de 30% de surfaces mises à sec (critère bon)
Tronçon 7 - Lessoc	$Q_e/Q_p < 1.5 - 2$	$Q_e/Q_p < 7 - 9$
Tronçon 5 - Hauterive	$Q_e/Q_p < 1.5 - 2$	$Q_e/Q_p < 4 - 7$
Tronçon 3 - Oelberg	$Q_e/Q_p < 1.5 - 4$	$Q_e/Q_p < 10 - 18$
Tronçon 2 - Schiffenen	$Q_e/Q_p < 2$	$Q_e/Q_p < 4 - 7$
Tronçon 1 - Laupen	$Q_e/Q_p < 2$	$Q_e/Q_p < 8 - 12$

Tableau 36 : Relation entre  $Q_e/Q_p$  et surfaces mises à sec

Si une mesure d'assainissement ne réduit les éclusées que sur une partie d'un tronçon (par exemple en cas de dérivation d'une partie du tronçon), il n'est pas possible de prévoir le résultat de cet indicateur sur la base du tableau ci-dessus. Dans ce cas, une analyse plus précise doit être faite pour évaluer la valeur moyenne de l'indicateur sur l'ensemble du tronçon.

## 7.2 Indicateur P2.2 : Vitesse de descente

Sur la base du modèle 1D, une relation a été établie entre la vitesse de diminution du plan d'eau à la sortie des turbines et la vitesse moyenne de descente sur le tronçon. Cette analyse permet d'avoir une idée de l'atténuation de ce paramètre par propagation.

On constate que cette atténuation est relativement faible lorsque les valeurs en jeu sont petites : même sur un long tronçon comme Lessoc, il faut limiter une vitesse de descente de 1 cm/min à la sortie des turbines pour obtenir une vitesse moyenne de descente de 0.5 cm en moyenne sur l'ensemble du tronçon de 14 km. Cette atténuation par effet de propagation est beaucoup plus forte lorsque les vitesses de descente sont élevées (arrêt brusque d'un groupe important). On voit cet effet sur les graphes de l'annexe 12.

Tronçons	Vitesse maximum en sortie de turbine pour avoir une vitesse de diminution moyenne < 0.3 cm/min (critère excellent)	Vitesse maximum en sortie de turbine pour avoir vitesse de diminution moyenne < 0.5 cm/min (critère bon)
Tronçon 7 - Lessoc	0.6	1
Tronçon 5 - Hauterive	0.5	0.9
Tronçon 3 - Oelberg	0.4	0.6
Tronçon 2 - Schiffenen	0.6	0.9

Tableau 37 : Effet de l'atténuation des vitesses de descente de l'éclusee

## 7.3 Indicateur P3 : Frayères

L'annexe 7.1 monte la relation entre le  $Q_e/Q_p$  (débit d'éclusee / débit plancher) et la surface potentiellement favorable pour les frayères sur chaque tronçon de la Sarine. Le rapport  $Q_e/Q_p$  est celui qui pourrait être mesuré à la sortie des turbines. Ces graphiques sont calculés avec les modèles 1D de la Sarine.

Les surfaces sont considérées comme potentiellement favorables pour les frayères si elles remplissent les deux conditions suivantes :

- Hauteur d'eau minimum de 20 cm pour le débit plancher
- Stabilité du lit (granulométrie :  $d_m = 4$  cm) durant le débit d'éclusee

Ce calcul ne prend pas en compte la disponibilité effective du substrat mais uniquement l'existence de conditions hydrauliques favorables.

Les surfaces favorables pour les frayères à l'état actuel sont ensuite comparées avec les surfaces favorables à l'état naturel, qui sont celles disponibles pour le débit d'étiage naturel du cours d'eau ( $Q_{347}$ ).



Les classes ont été définies par les spécialistes en biologie aquatique de Pronat :

Pertes de surface favorable	Etat écologique
< 10 %	Excellent
10% - 20%	Bon
20% - 30%	Moyen
30% - 40%	Médiocre
< 40 %	Mauvais

Tableau 38 : Classes d'état de l'indicateur P3 - frayères

Commentaires sur les résultats :

- Il est difficile de prévoir l'indicateur P3 en fonction du ratio  $Q_e/Q_p$  : le résultat varie largement pour un même ratio d'éclusee.
- L'indicateur P3 donne des résultats nettement plus favorables si on augmente le débit plancher que si l'on réduit le débit d'éclusées.
- Pour les frayères, le manque d'eau durant le débit plancher semble plus problématique que le lessivage des frayères durant le débit d'éclusées.
- Les classes sont différentes de celles proposées dans l'aide à l'exécution en raison de la difficulté de définir le besoin en espace de frayère. La classification de cet indicateur est encore incertaine.

Au vu de ces résultats, aucune relation n'a finalement été faite entre le paramètre de dimensionnement  $Q_e/Q_p$  et l'indicateur P3.

## 8. Objectifs d'assainissement des éclusées

L'analyse effectuée au chapitre précédent a pour objectif de construire un diagramme permettant de prédire de manière assez succincte la valeur des indicateurs P2, P3 et HYDMOD en fonction des paramètres de dimensionnement  $Q_e/Q_p$  (ratio d'éclusee) et  $V_d$  (vitesse de descente); la finalité étant de poser des objectifs d'assainissement des éclusées.

L'**annexe 10** présente les graphiques obtenus sur la base des analyses du chapitre précédent.

L'**objectif-cible d'assainissement pour le ratio  $Q_e/Q_p$**  reste assez incertain et dépend de nombreux paramètres : type d'indicateur (HYDMOD, P2, P3), choix du débit plancher, morphologie du cours d'eau... Même si l'on constate certaines différences entre les tronçons, elles ne sont pas suffisamment importantes pour justifier une variation de l'objectif-cible par tronçon.

Sur la base de nos investigations, on prévoit qu'un ratio  $Q_e/Q_p$  de 5 **en amont des tronçons à éclusées** devrait permettre d'atteindre :

- Un bon état (vert) pour l'indicateur P2 –échouage en moyenne dans le tronçon.
- Un bon état (vert) de l'indicateur P3 – frayères en moyenne dans le tronçon (sous réserve de la disponibilité du substrat).
- Un état moyen (jaune) pour l'indicateur HYDMOD-éclusées en moyenne dans le tronçon

L'**objectif-cible d'assainissement pour la vitesse de descente** dépend de la longueur et de la morphologie du tronçon. Il est fixé en amont du tronçon de manière à obtenir une vitesse de diminution inférieure à 0.5 cm/min (critère bon) en moyenne sur le tronçon.

L'objectif d'assainissement général reste celui défini par l'art. 39a de la LEaux, à savoir "éliminer les atteintes graves que des variations subites et artificielles du débit d'un cours d'eau (éclusées) portent à la faune et à la flore indigènes et à leurs biotopes".

L'évaluation approfondie a montré que les atteintes subies par la Sarine s'accroissent globalement d'amont en aval. La bonne qualité de l'eau permet aux indicateurs B1-B5 de rester des plus satisfaisants en amont; mais ces indicateurs se dégradent en allant vers l'aval pour atteindre des niveaux très mauvais en aval de Schiffenen. Deux problèmes se retrouvent par contre de manière presque générale sur l'entier de la Sarine fribourgeoise : l'échouage et le manque de surfaces favorables aux frayères.

C'est donc sur ces deux problématiques qu'il faudra concentrer ces efforts dans la phase 2, tout en sachant qu'elles ne dépendent pas uniquement de l'assainissement des écluses, mais sont également très liées à deux autres domaines de l'assainissement : la morphologie (revitalisation) et le charriage.

Dans le but de préciser les valeurs permettant d'atteindre ces objectifs d'assainissement, les modèles hydrauliques de la Sarine (qui ont permis de définir le degré d'atteinte dans les tronçons) ont été réutilisés. La démarche consiste à tester différents scénarios de réduction des écluses et de calculer les valeurs prévisibles que prendront les indicateurs suivants :

- P2 : échouage - qui se décompose en 2 sous-indicateurs qui sont les surfaces mises à sec et la vitesse de descente du niveau de l'eau.
- P3 : frayère - surfaces potentiellement favorables aux frayères (sous réserve de disponibilité du substrat), ayant une profondeur d'eau adéquate et sans risque de lessivage des substrats nécessaires aux frayères)
- L'indicateur HYDMOD-écluses

Dans l'état actuel des études et investigations menées pour cette planification, ces objectifs pourraient être atteints avec les paramètres de dimensionnement (en amont du tronçon) suivants :

Installation	Objectifs-cible de dimensionnement (définis en amont du tronçon)	
	Ratio Qe/Qp	Vitesse de descente du niveau d'eau [cm/min]
Lessoc	5	1
Hauterive	5	0.9
Oelberg	5	0.6
Schiffenen	5	0.9

Tableau 39 : objectifs-cibles pour l'assainissement des écluses

Les valeurs contenues dans le tableau ci-dessus sont des objectifs-cibles préliminaires destinés à dimensionner et étudier la faisabilité des différentes mesures d'assainissement. Le respect de ces valeurs n'assure toutefois pas qu'une mesure d'assainissement choisie respectera totalement l'objectif d'assainissement défini par la loi : une analyse détaillée du projet sera nécessaire pour valider la conception et les détails de la mesure.





## **PARTIE B : EVALUATION DES ETUDES DE VA- RIANTES**

## 9. Synthèse des études de variantes

Plusieurs études de variantes d'assainissement de la Sarine ont été menées durant l'année 2014.

N°	Installation	Domaine	Auteur de l'étude	Description des variantes
1	Schiffenen	Eclusées	BG	Rapport BG : 7170.06-RN021
2	Hauterive + Oelberg	Eclusées	CSD	Rapport CSD FR0428.100 du 12.9.14
3	Lessoc	Eclusées	Groupe E	Annexe 11
4	Toutes les installations	Charriage	SLCE/BG	RF charriage : 7170.06-RN040 ?
5	Toutes les installations	Migration piscicole	PRONAT	Rétablissement de la migration piscicole en lien avec la force hydraulique à Fribourg (PRONAT, 2014)

Tableau 40 : Liste des études de variantes d'assainissement

## 10. Evaluation de la performance des mesures

### 10.1 Eclusées

La performance des mesures d'assainissement a été évaluée de la manière suivante pour chaque variante d'assainissement éclusée :

- Définition de l'hydrogramme assaini prévisible.
- Modélisation de cet hydrogramme dans le modèle 1D.
- Calcul de l'indicateur "HYDMOD éclusées" de la variante (valeur moyenne sur le tronçon)
- Calcul de l'indicateur P2.1 (surfaces mises à sec) de la variante sur le tronçon.
- Calcul de l'indicateur P2.2 (vitesse de descente) de la variante (valeur moyenne sur le tronçon).
- Calcul de l'indicateur P3 (frayères) de la variante sur le tronçon (uniquement la valeur hydraulique : on fait l'hypothèse que le substrat est disponible).
- Notation de l'**efficacité (0 à 10)** de la variante en additionnant une note attribuée à la variante en fonction du rapport  $Q_e/Q_p$  moyen sur le tronçon et une seconde note attribuée en fonction de la vitesse de descente moyenne sur le tronçon. Les notes sont données selon les barèmes suivant :

Note	$Q_e/Q_p$
5	1
4	1.5
3	5
2	10
1	25
0	50

Note	Vitesse de descente
5	0.1
4	0.33
3	0.5
2	1

Tableau 41 : Notation de l'efficacité (éclusées)

- L'objectif d'assainissement est atteint lorsque la note d'efficacité est égale ou supérieure à 6. La note de six correspond à une note de 3 pour le ratio  $Q_e/Q_p = 5$  et pour la vitesse de descente de 0.5 cm/min. Ces limites ont été établies au chapitre 8 du rapport.



## 10.2 Charriage

Les mesures de charriage sont été évaluées de la manière suivante :

- Définition de trois indicateurs : A (mobilisation du lit), B (charriage nécessaire) et C (équilibre alluvial) (La définition détaillée de ces trois indicateurs se trouve dans RF Charriage).
- La performance des mesures concernant les indicateurs A, B et C est évaluée sur la base du tableau suivant :

Eléments d'évaluation (pronostic de performance des mesures charriage)			
	Indicateur A - Mobilisation du lit	Indicateur B - Charriage nécessaire	Indicateur C - Equilibre alluvial
Très bonne	Plus d'atteinte (par intervention mécanique ou crue très importante, ...)	Plus d'atteinte (par réduction de charriage nécessaire, fourniture de gravier, ...)	Plus d'atteinte (par connexion intégrale et assurance des inondations de la ZA)
Bonne	Formations des couches actives sur pavage existante, alimenté par affluents et fourniture	Amélioration permanente ou avec performance importante	Moyenne zone d'impact de la mesure
Faible	Pas de dé-colmatage, formation des locales "couches actives" alimentés par apports des affluents	Amélioration pour un temps limité ou locale en lieu	Petite zone d'impact de la mesure
Nulle	Ni d'amélioration, ni aggravation de la situation	Ni d'amélioration, ni aggravation de la situation	Ni d'amélioration ou aggravation, aucune ZA dans tronçon
Critique	Aggravation de la situation actuelle	Aggravation de la situation actuelle	Aggravation de la situation actuelle

Tableau 42 : Notation de la performance (charriage)

### 10.3 Migration piscicole

Les mesures concernant le rétablissement de la migration piscicole (montaison / dévalaison) ont été évaluées à l'aide de 3 indicateurs de performance:

- Montaison ou Dévalaison, fonctionnement vis à vis des espèces cibles ;
- Classes d'âge ;
- Période de fonctionnement ;

Chacun des indicateurs a fait l'objet d'une évaluation sous forme de classes qui sont décrites dans le tableau ci-dessous :

Eléments d'évaluation (pronostic de performance des mesures « migration »)			
	Montaison / Dévalaison	Classe d'âge	Période de fonctionnement
Très bonne	Adapté au salmonidés et cyprinidés (à l'exception des poissons de fond)	Adultes et juvéniles	Toute l'année (> 300 jours)
Bonne	Adapté au salmonidés uniquement	Adultes ou juvéniles	150 jours
Faible	-	-	Seulement lors de déversement (crues)
Nulle	Pas assurée	Pas assurée	Pas assurée

Tableau 43 : Eléments d'évaluation des mesures « migrations »

## 11. Analyse multicritère

### 11.1 Démarche

Les variantes d'assainissement des éclusées, du charriage et de la migration piscicole ont été évaluées selon une grille de critères comprenant :

- L'efficacité /performance de la mesure (définition : voir chapitre 10)
  - L'utilité
  - Le coût
  - Le degré de gravité de l'atteinte
  - Le potentiel écologique
  - La proportionnalité des coûts
  - L'intérêt de la protection contre les crues
  - La politique énergétique
  - La faisabilité
  - Les impacts
  - L'acceptabilité
  - La coordination entre domaines de l'assainissement
- } critères selon art. 43a, al. 2, LEaux

La grille d'évaluation des différents critères est détaillée dans l'**annexe 13**.

### 11.2 Résultats de l'évaluation des variantes "éclusées"

Les fiches d'évaluation des éclusées se trouvent dans l'**annexe 14**.

Les tableaux ci-dessous représentent pour chaque installation les différentes variantes d'assainissement en fonction de leur coût et de leur efficacité. Pour rappel (voir chapitre 10.1), l'efficacité est une note entre 1 et 10 donnée en fonction du ratio d'éclusee et des vitesses de descente moyennée sur l'ensemble du tronçon impacté.

### 11.2.1 Lessoc

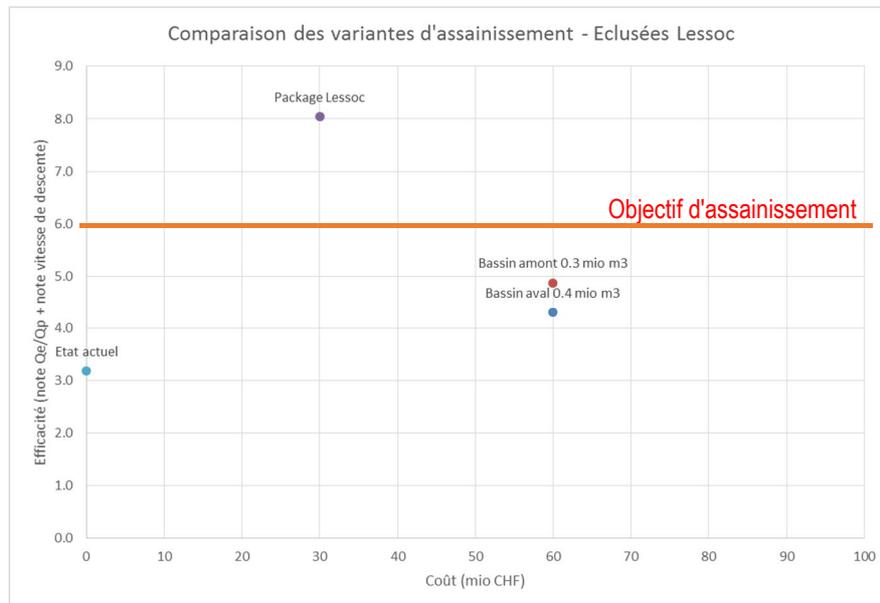


Figure 16 : Comparaison des variantes d'assainissement "éclusees" à Lessoc

- La variante "package Lessoc", comprend principalement des mesures d'exploitation et implique des modifications sur les équipements de la centrale de turbinage. Le but de cette variante est d'utiliser la retenue existante de Lessoc pour démoduler les éclusees de Montbovon. Cette variante possède une très bonne efficacité à un moindre coût est mise en avant par le Groupe E, propriétaire de l'aménagement, qui lie toutefois sa réalisation à la mise en œuvre d'autres projets (assainissement du charriage à Rossinière, décision d'assainissement selon art. 80 LEaux à Rossinière, construction d'un nouveau palier RPC en aval de Lessoc). L'analyse multicritères de cette variante est très bonne (faisabilité, impacts, ...). L'ensemble de mesures qui constituent le package devra être discuté dans la phase 2 et l'issue des discussions est incertaine.
- Les variantes de bassin sont plus chères et moins performantes. Elles nécessiteraient des mesures d'exploitation complémentaires pour atteindre l'objectif d'assainissement. Plusieurs critères de l'évaluation sont "critiques" (faisabilité, impact, proportionnalité des coûts).

## 11.2.2 Hauterive

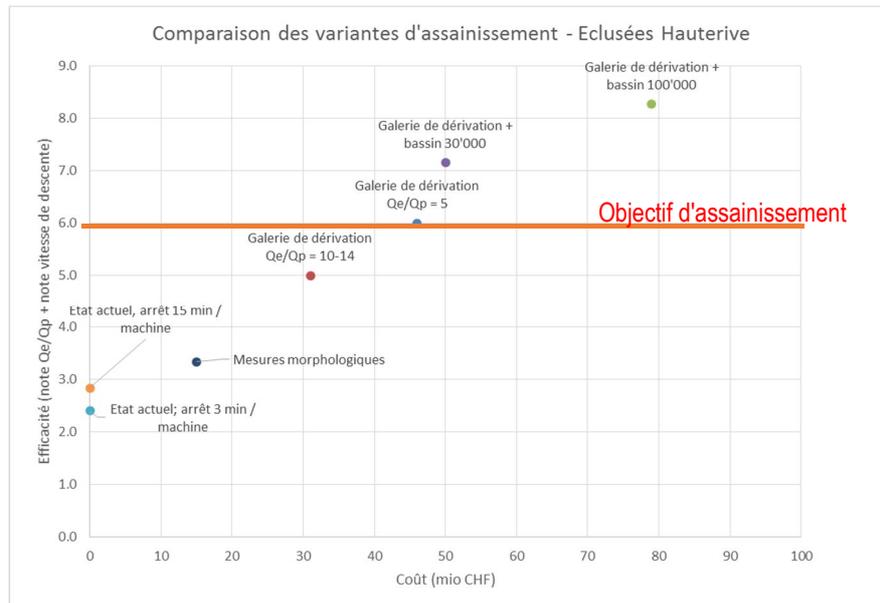


Figure 17 : Comparaison des variantes d'assainissement "éclusées" à Hauterive

- L'efficacité des mesures étudiées est globalement proportionnelle à leur coût. Les variantes comportant une galerie nécessiteront une adaptation de la concession ou un avenant à la concession. Les variantes comportant un bassin sont évaluées comme "critiques" au niveau des impacts.
- La variante "galerie de dérivation  $Q_e/Q_p = 10-14$ " possède une efficacité a priori un peu en deçà de l'objectif d'assainissement mais reste intéressante en terme de coût, de faisabilité et d'impact.
- L'assainissement des éclusées à Hauterive présenterait l'avantage de réduire également les impacts des éclusées en aval d'Oelberg. En effet, si les vitesses de montée/descente des éclusées sont réduites à Hauterive, elles le seront également à Oelberg car le lac de Pérolles ne permet pratiquement aucun stockage entre les deux installations. L'ampleur de cet effet d'assainissement indirect en aval dépend toutefois du choix de la variante d'assainissement. Elle présente également un coût, sous forme de mesures d'exploitation à Oelberg, qui est présentée sous la forme d'une variante d'assainissement à Oelberg : "mesures d'exploitation : conséquence de l'assainissement des éclusées à Hauterive" (voir ci-dessous).

### 11.2.3 Oelberg

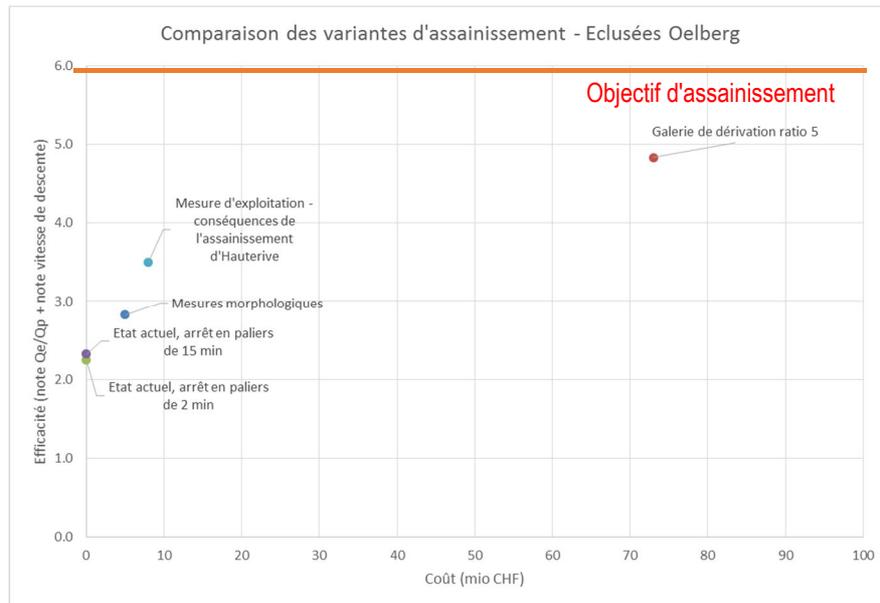


Figure 18 : Comparaison des variantes d'assainissement "éclusées" à Oelberg

- Les solutions d'assainissement propre à Oelberg sont peu nombreuses et leur efficacité est limitée. L'évaluation de la galerie de dérivation est "critique", en termes de rapport coût/utilité et de faisabilité administrative.
- Les mesures d'exploitation consécutives à un assainissement des éclusées en amont (Hauterive) pourraient présenter une solution plus intéressante.
- Il sera difficile d'atteindre l'objectif d'assainissement sur ce tronçon.

## 11.2.4 Schiffenen

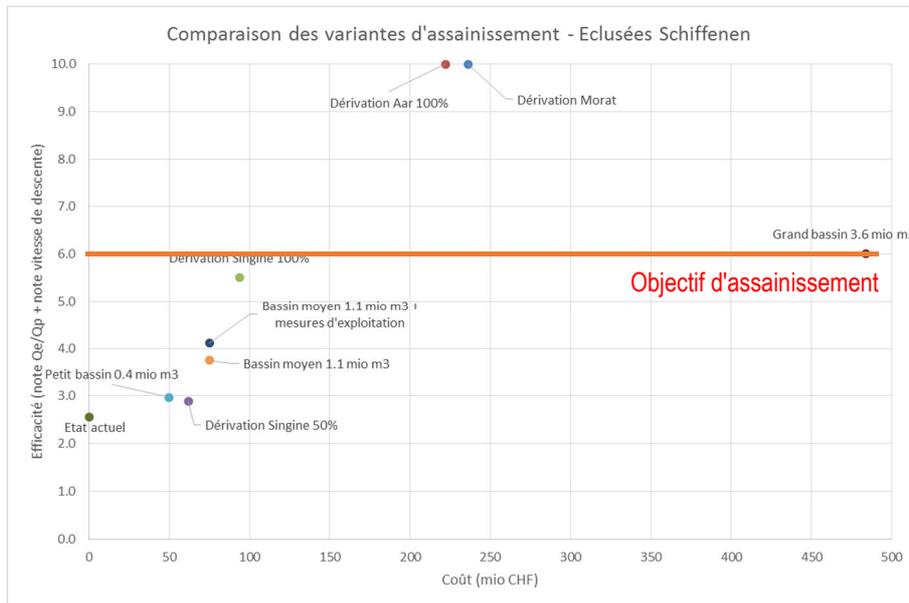


Figure 19 : Comparaison des variantes d'assainissement "éclusées" à Schiffenen

- Les variantes de dérivation sont extrêmement performantes (du point de vue de l'assainissement des éclusées) mais restent très onéreuses (> 200 mio CHF). Ces variantes sont évaluées comme étant "critiques" au niveau du potentiel écologique car elles ont un fort impact négatif sur le débit moyen du cours d'eau (évalué selon la méthode HYDMOD). Les variantes comportant une galerie nécessiteront une adaptation de la concession ou un avenant à la concession. Le coût de la dérivation vers Morat est composé de 160 mio de CHF pour la galerie auquel s'ajoute une perte pour les avaliers évaluée à 76 mio de CHF (perte cumulée sur 20 ans).
- La variante "grand bassin" est moins bonne pour un prix deux fois plus élevé.
- Il existe plusieurs solutions moins chères (50-100 mio CHF), mais qui sont aussi moins performantes en termes d'atténuation des éclusées. Elles nécessiteraient vraisemblablement la mise en œuvre de mesures complémentaires pour atteindre l'objectif d'assainissement.

### 11.2.5 Synthèse des variantes "éclusées"

Le tableau ci-dessous résume les principales variantes d'assainissement à étudier en priorité dans la seconde phase du projet :

Nom de l'aménagement	Cours d'eau	Mesures d'assainissement	Coût estimatif
Schiffenen	Sarine	Bassin d'amortissement des éclusées 1.1 mio de m <sup>3</sup> + mesures d'exploitation	70 mio CHF
		Galerie de dérivation vers le lac de Morat	236 mio CHF <sup>6</sup>
Oelberg	Sarine	Mesures d'exploitation (adaptations liées à l'assainissement de la centrale d'Hauterive) + mesures morphologique sur le lit de la Sarine	8 mio CHF
Hauterive	Sarine	Galerie de dérivation des eaux vers le lac de Pérolles + bassin d'amortissement de 30'000 m <sup>3</sup>	50 mio CHF
		Galerie de dérivation des eaux vers le lac de Pérolles $Q_e / Q_p = 5$	~ 45 mio CHF
		Galerie de dérivation des eaux vers le lac de Pérolles $Q_e / Q_p = 10 \text{ à } 14$	~ 30 mio CHF
Lessoc (+ amont)	Sarine	Mesures d'exploitation + modification des turbines (proposition de package par Groupe E)	25 - 35 mio CHF
		Bassin d'amortissement amont de 300'000 m <sup>3</sup>	60 mio CHF

Tableau 44 : Tableau récapitulatif des principales mesures d'assainissement à étudier dans la seconde phase du projet.

Les mesures d'assainissement **en rouge** n'atteignent pas les objectifs d'assainissement.

Ce tableau récapitulatif comporte des mesures d'assainissement dont l'efficacité et la faisabilité est très variable. Par exemple à Schiffenen, la variante de galerie vers le lac de Morat est très onéreuse mais présente d'autres avantages (synergie avec un nouveau palier de turbinage), qui justifie de conserver cette variante dans ce tableau de synthèse.

<sup>6</sup> Le coût de la dérivation vers Morat est composé de 160 mio de CHF pour la galerie auquel s'ajoute une perte pour les avaliers évaluée à 76 mio de CHF (perte cumulée sur 20 ans).



### 11.3 Résultats de l'évaluation des variantes "charriage"

Les fiches d'évaluation des éclusées se trouvent dans l'annexe 15.

#### 11.3.1 Lessoc

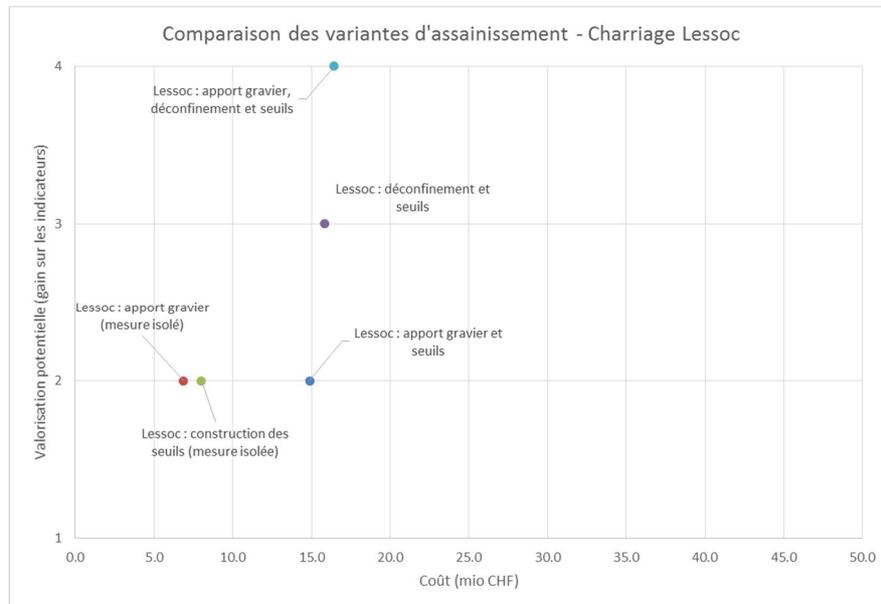


Figure 20 : Comparaison des variantes d'assainissement "charriage" à Lessoc

- Les mesures atteignent les objectifs d'assainissement.
- Le débit de charriage est la variable d'ajustement pour assurer la morphologie et la dynamique



### 11.3.2 Rossens

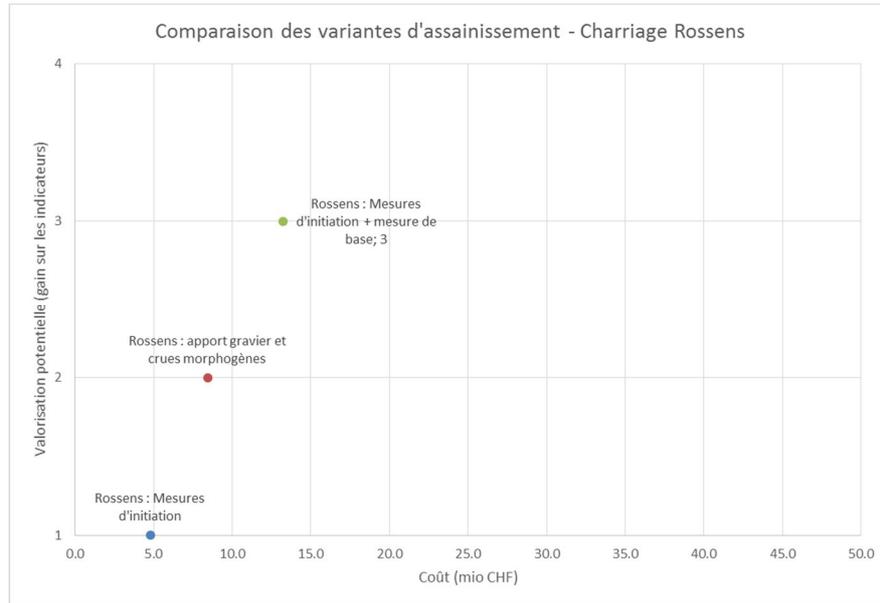


Figure 21 : Comparaison des variantes d'assainissement "charriage" à Rossens

- La mesure d'initiation n'atteint aucun objectif d'assainissement.
- Les deux autres mesures atteignent les objectifs d'assainissement.

### 11.3.3 Maigrauge

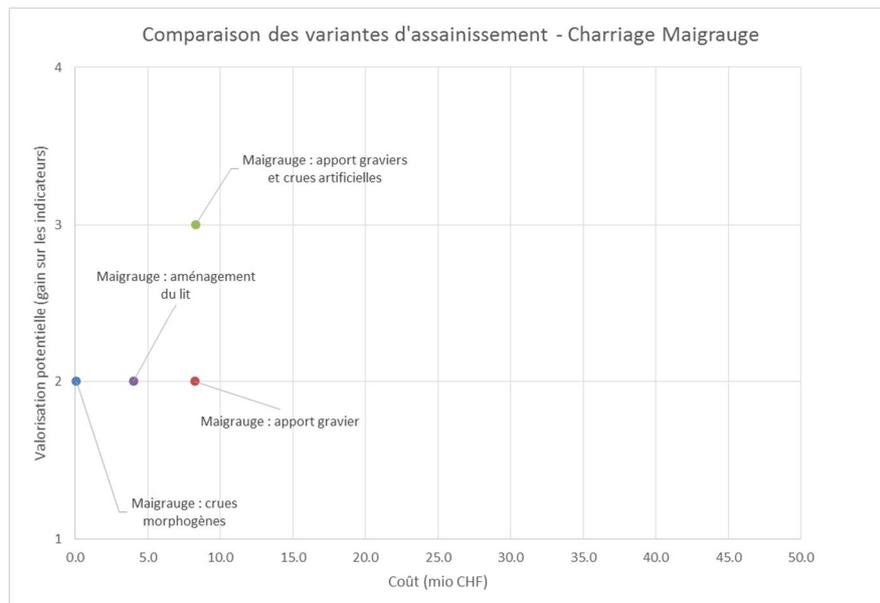


Figure 22 : Comparaison des variantes d'assainissement "charriage" à La Maigrauge

- La mesure "apport de graviers + crues" atteint les objectifs d'assainissement
- Le débit de charriage est la variable d'ajustement pour assurer la morphologie et la dynamique

### 11.3.4 Schiffenen

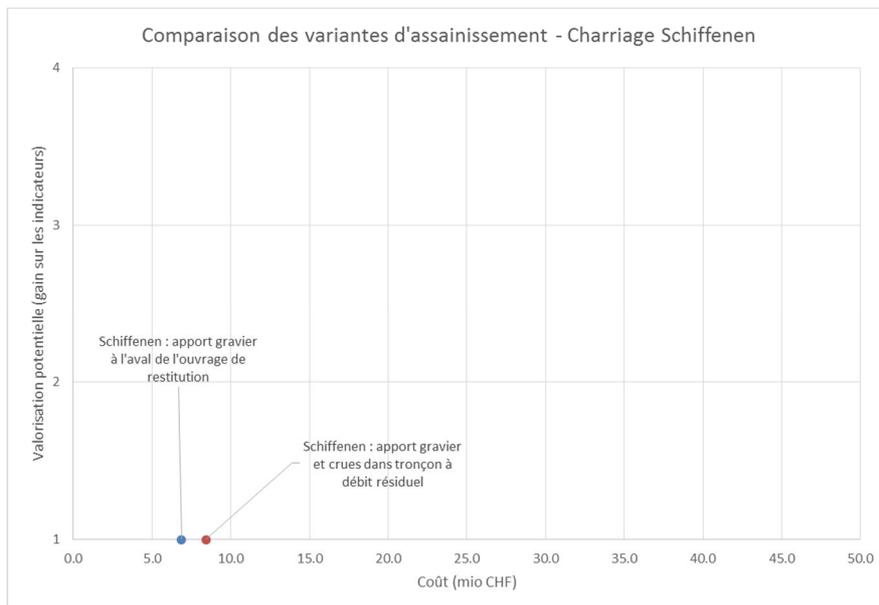


Figure 23 : Comparaison des variantes d'assainissement "charriage" à Schiffenen

- Les mesures proposées améliorent la quantité et la qualité du substrat. Ces deux indicateurs ne sont toutefois pas critiques dans ce secteur. L'indicateur critique (équilibre alluvial) ne sera pas significativement amélioré. Les mesures n'atteignent pas les objectifs d'assainissement.

### 11.4 Résultats de l'évaluation des variantes "migration piscicole"

Plusieurs variantes d'assainissement ont été étudiées en détails dans le rapport « Rétablissement de la migration piscicole en lien avec la force hydraulique » (PRONAT, 2014) pour les installations de la Sarine suivante :

- Schiffenen ;
- Rossens ;
- Lessoc.

Seules les variantes dont la faisabilité est vraisemblable ont fait l'objet d'une évaluation. En phase de travail d'autres variantes ont fait l'objet d'étude simplifiée mais n'ont pas été retenues par les mandataires et le GT (comme par exemple un cours d'eau de contournement à Schiffenen ou à Rossens pour la montaison).

Pour l'assainissement de la Maigrauge en raison du projet en cours pour l'adaptation de la dévalaison (ouvrage existant) aucune variante de détails n'a été analysée.

L'assainissement de la restitution de Hauterive ne nécessitant que l'installation d'une barrière physique, n'a pas été évalué.

Les fiches d'évaluation détaillées des variantes d'assainissement pour le rétablissement de la migration piscicole se trouvent dans l'**annexe 16**.

### 11.4.1 Schiffenen

2 variantes d'assainissement sont décrites dans le RF rétablissement de la migration et sont brièvement reprise ci-dessous :

#### 11.4.1.1 Variante 1 – Ascenseur de montaison / Canal de dévalaison

- Cette variante prévoit l'installation d'un ascenseur de montaison sur le mur du barrage ainsi que la création du cours d'eau d'amener à l'ascenseur et une rampe amovible pour garantir l'arrivée des poissons dans le lac même lors de basses eaux.
- Pour la dévalaison, elle prévoit la création en rive gauche d'un chenal de dévalaison. Ce chenal devra être adapté au régime du marnage (basses eaux/hautes eaux) du lac. Un système de guidage des poissons vers ce chenal devra aussi être installé.

Le tableau ci-dessous reprend brièvement les avantages et les inconvénients (non exhaustif) de cette variante.

Avantages	Inconvénients
Montaison garantie pour toutes les espèces cibles	Dévalaison adaptée aux salmonidés uniquement Solution à étudier pour contrer le marnage du lac (10 m)
Impact sur le paysage restreint	Coûts élevés (2.5 – 5 mio)
	Terrain nécessaire (cours d'eau d'amener et chenal de dévalaison)

Tableau 45 : Evaluation de la variante "Ascenseur de montaison / canal de dévalaison"

#### 11.4.1.2 Variante 2 – Ascenseur de montaison / Ascenseur de dévalaison

- Cette variante prévoit l'installation d'un ascenseur de montaison sur le mur du barrage ainsi que la création du cours d'eau d'amener à l'ascenseur et une rampe amovible pour garantir l'arrivée des poissons dans le lac même lors de basses eaux.
- Pour la dévalaison, elle prévoit l'utilisation de l'ascenseur. Cette variante nécessite l'installation d'un système de guidage des poissons vers une plateforme flottante de piégeage équipée d'une pompe pour amener les poissons vers l'ascenseur.

Le tableau ci-dessous reprend brièvement les avantages et les inconvénients (non exhaustif) de cette variante.

Avantages	Inconvénients
Montaison et dévalaison garanties pour toutes les espèces cibles	Impact sur le paysage avec la plateforme flottante
Adapté au situation de marnage	Coûts élevés (2.5 – 5 mio)
Terrain nécessaire uniquement pour le cours d'eau d'amener	Faisabilité technique à étudier en détails notamment en situation de gel hivernal

Tableau 46 : Evaluation de la variante "ascenseur de montaison / ascenseur de dévalaison"

Les 2 variantes atteignent les objectifs d'assainissement mais devront faire l'objet d'études plus détaillées quant à la faisabilité de la dévalaison et incluent les avancées de la recherche scientifique en matière de dévalaison.

### 11.4.2 Rossens

2 variantes d'assainissement sont décrites dans le RF rétablissement de la migration et sont brièvement reprise ci-dessous :

#### 11.4.2.1 Variante 3 – Ascenseur de montaison / Canal de dévalaison

- Cette variante prévoit l'installation d'un ascenseur de montaison sur le mur du barrage ainsi que la création du cours d'eau d'amener à l'ascenseur et une rampe amovible pour garantir l'arrivée des poissons dans le lac même lors de basses eaux.
- Pour la dévalaison, elle prévoit la création en rive gauche d'un chenal de dévalaison et éventuellement l'utilisation en rive droite de l'évacuateur de crue. Ce chenal devra être adapté au régime du marnage (basses eaux/hautes eaux) du lac. Un système de guidage des poissons vers ce chenal devra aussi être installé.

Le tableau ci-dessous reprend brièvement les avantages et les inconvénients (non exhaustif) de cette variante.

Avantages	Inconvénients
Montaison garantie pour toutes les espèces cibles	Dévalaison adaptée aux salmonidés uniquement Solution à étudier pour contrer le marnage du lac (marnage de 40 m)
	Coûts élevés (2.5 – 5 mio)
	Terrain nécessaire (cours d'eau d'améné et chenal de dévalaison)
	Impact sur le paysage (chenal cours d'au d'améné)

Tableau 47 : Evaluation de la variante "Ascenseur de montaison / canal de dévalaison"

#### 11.4.2.2 Variante 4 – Ascenseur de montaison / Ascenseur de dévalaison

- Cette variante prévoit l'installation d'un ascenseur de montaison sur le mur du barrage ainsi que la création du cours d'eau d'amener à l'ascenseur et une rampe amovible pour garantir l'arrivée des poissons dans le lac même lors de basses eaux.
- Pour la dévalaison, elle prévoit l'utilisation de l'ascenseur. Cette variante nécessite l'installation d'un système de guidage des poissons vers une plateforme flottante de piégeage équipée d'une pompe pour amener les poissons vers l'ascenseur.

Le tableau ci-dessous reprend brièvement les avantages et les inconvénients (non exhaustif) de cette variante.

Avantages	Inconvénients
Montaison et dévalaison garanties pour toutes les espèces cibles	Impact sur le paysage avec la plateforme flottante
Adapté au situation de marnage (40 m)	Coûts élevés (2.5 – 5 mio)
Terrain nécessaire uniquement pour le cours d'eau d'amener	Faisabilité technique à étudier en détails notamment en situation de gel hivernal

Tableau 48 : Evaluation de la variante "ascenseur de montaison / ascenseur de dévalaison"

Les variantes 3 et 4 atteignent les objectifs d'assainissement mais devront faire l'objet d'études plus détaillées quant à la faisabilité de la dévalaison et incluent les avancées de la recherche scientifique en matière de dévalaison.

### 11.4.3 Lessoc

3 variantes d'assainissement sont décrites dans le RF rétablissement de la migration et sont brièvement reprise ci-dessous :

#### 11.4.3.1 Variante 5 – Ruisseau de contournement / Canal de dévalaison RG et RD

- Cette variante prévoit la création d'un cours d'eau de contournement en rive gauche. Le débit d'attraction devra être positionné côté restitution des eaux.
- Pour la dévalaison, elle prévoit la création en rive gauche et en rive droite de chenaux de dévalaison. Un système de guidage des poissons vers ces chenaux devra aussi être installé.

Le tableau ci-dessous reprend brièvement les avantages et les inconvénients (non exhaustif) de cette variante.

Avantages	Inconvénients
Montaison garantie pour toutes les espèces cibles	Dévalaison adaptée aux salmonidés uniquement
Impact sur le paysage restreint	Coûts bas (200'000 – 1 mio)
	Terrain nécessaire (cours d'eau de contournement et chenaux de dévalaison)

Tableau 49 : Evaluation de la variante "ruisseau de contournement / canal de dévalaison RG et RD"

#### 11.4.3.2 Variante 6 – Ascenseur de montaison / Ascenseur de dévalaison

- Cette variante prévoit l'installation d'un ascenseur de montaison sur le mur du barrage ainsi que la création du cours d'eau d'amener à l'ascenseur et une rampe amovible pour garantir l'arrivée des poissons dans le lac même lors de basses eaux (marnage faible 4m).
- Pour la dévalaison, elle prévoit l'utilisation de l'ascenseur. Cette variante nécessite l'installation d'un système de guidage des poissons vers une plateforme flottante de piégeage équipée d'une pompe pour amener les poissons vers l'ascenseur.

Le tableau ci-dessous reprend brièvement les avantages et les inconvénients (non exhaustif) de cette variante.

Avantages	Inconvénients
Montaison et dévalaison garanties pour toutes les espèces cibles	Impact sur le paysage avec la plateforme flottante
Pas de terrain nécessaire	Coûts moyens (1 - 2.5 mio)
	Faisabilité technique à étudier en détails notamment en situation de gel hivernal

Tableau 50 : Evaluation de la variante "ascenseur de montaison /ascenseur de dévalaison"

Les variantes 5 et 6 atteignent les objectifs d'assainissement mais devront faire l'objet d'études plus détaillées quant à la faisabilité de la dévalaison et incluent les avancées de la recherche scientifique en matière de dévalaison.

#### 11.4.3.3 Variante 7 – Ascenseur de montaison / Turbine « Fishfriendly »

- Cette variante prévoit l'installation d'un ascenseur de montaison sur le mur du barrage ainsi que la création du cours d'eau d'amener à l'ascenseur et une rampe amovible pour garantir l'arrivée des poissons dans le lac même lors de basses eaux.
- Pour la dévalaison, elle prévoit le remplacement des turbines actuelles par des turbines « fishfriendly ». Malgré l'installation de ce type de turbines, un chenal de dévalaison est nécessaire.

Le tableau ci-dessous reprend brièvement les avantages et les inconvénients (non exhaustif) de cette variante.

Avantages	Inconvénients
Montaison et dévalaison garanties pour toutes les espèces cibles	Coûts élevés (2.5 – 5 mio)
Adapté au situation de marnage (4 m)	
Exploitant est favorable à cette mesure si	

Tableau 51 : Evaluation de la variante "ascenseur de montaison /turbine Fishfriendly "

La variante 7 incluant, comprenant des modifications sur les équipements de la centrale de turbinage est mise en avant par le Groupe E, propriétaire de l'aménagement, qui lie toutefois sa réalisation à la mise en œuvre d'autres projets « package » (assainissement du charriage à Rossinière, décision d'assainissement selon art. 80 LEaux à Rossinière, construction d'un nouveau palier RPC en aval de Lessoc). L'analyse multicritères de cette variante est bonne (faisabilité, impacts) malgré les coûts élevés, mais il reste des grosses incertitudes sur l'acceptabilité des mesures d'accompagnement du "package".

## 12. Priorisation par domaine

Pour chaque domaine, toutes les variantes d'assainissement ont été positionnées sur le graphique coût – utilité afin de définir une priorisation par domaine.

### 12.1 Priorisation des mesures éclusées

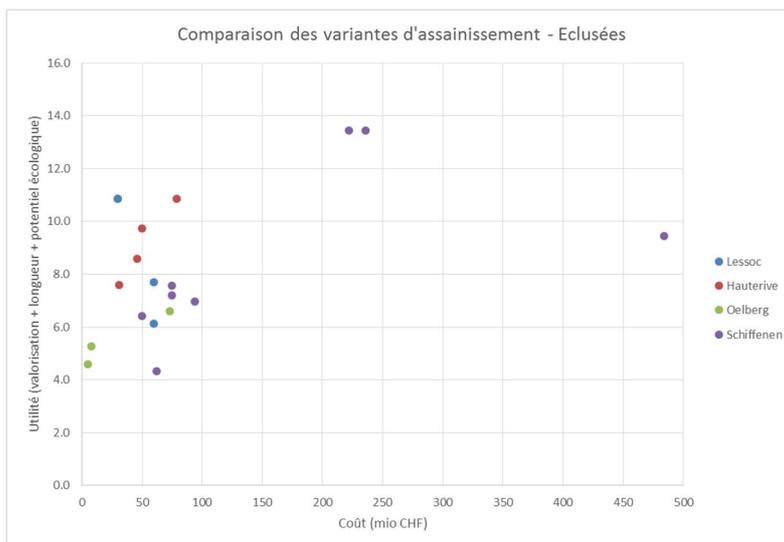


Figure 24 : Comparaison des variantes d'assainissement "éclusées"

- Les principales variantes d'assainissement des éclusées à Schiffenen (déviation et grand bassin) possèdent clairement des coûts beaucoup plus élevés que les variantes d'assainissement des autres installations.
- Le graphique ci-dessous représente les variantes dont le coût ne dépasse pas 100 mio CHF :

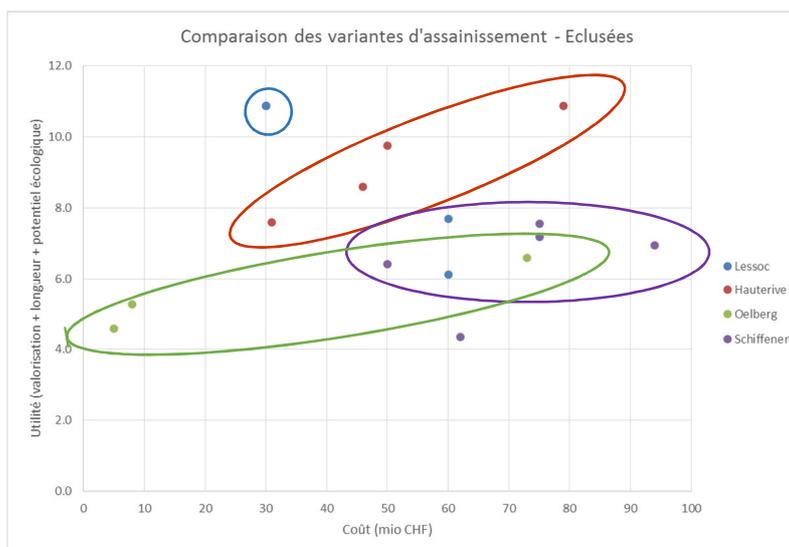


Figure 25 : Comparaison des variantes d'assainissement "éclusées"

- Sur la base de cette évaluation, la priorité d'assainissement des éclusées pourrait être la suivante : priorité 1 : Lessoc, priorité 2 : Hauterive, priorité 3 : Schiffenen, priorité 4 : Oelberg.

## 12.2 Priorisation des mesures charriage

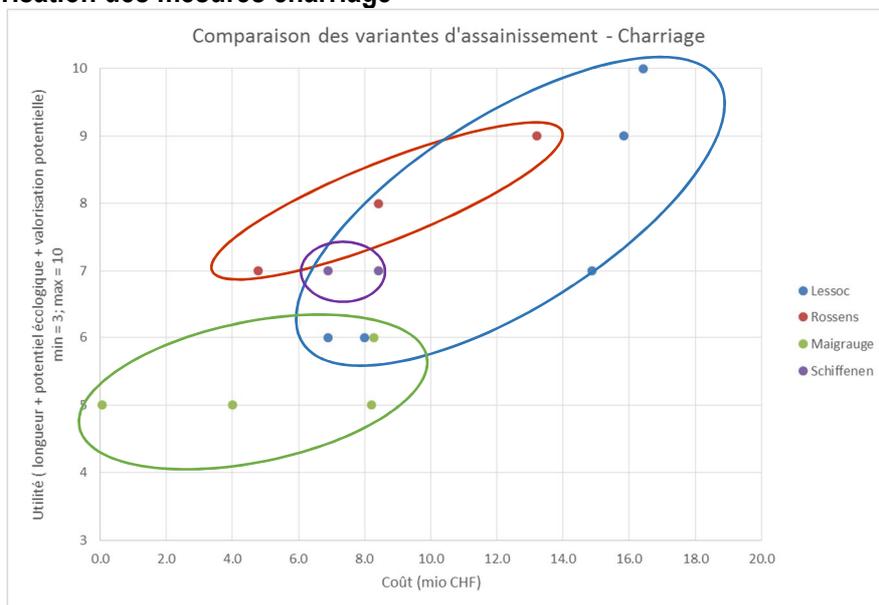


Figure 26 : Comparaison des variantes d'assainissement "charriage"

- L'utilité des variantes d'assainissement est relativement proportionnelle au coût. Il est difficile de définir une priorité d'assainissement pour le charriage sur cette base.

## 12.3 Priorisation des mesures migration piscicole

Les priorités de l'assainissement de la migration piscicole a été fixée pour l'ensemble du canton. Le détail se trouve dans le rapport RF migration piscicole. Dans ce cadre, les délais de réalisation suivants ont été fixés :

N° obstacle	N° SLCE	Dénomination de l'obstacle	Installation concernée	Délai de réalisation
FR.SAA.1	231	Barrage de Schiffenen	Schiffenen	2020
FR.SAA.2	234	Barrage de la Maigrage	Oelberg	2020
FR.ZSA.1	230-1	Restitution de Haute-rive	Hauterive	2025
FR.SAA.9	230	Barrage de Rossens	Hauterive	2030
FR.SAA.13	238	Barrage de Lessoc	Lessoc	2020

Tableau 52 : délais de réalisation de l'assainissement de la migration piscicole

La priorité principale est donnée aux ouvrages de Schiffenen, considéré comme la porte d'entrée du canton (de l'aval vers l'amont) et à la Maigrage, dont la décision d'assainissement a déjà été rendue à l'exploitant (décision anticipée).

Le barrage de Lessoc est aussi prioritaire puisque son assainissement semble a priori plus simple à réaliser (hauteur du barrage, peu de marnage, place disponible).

Pour les installations de Hauterive et de Rossens, du fait de la nécessité d'une coordination avec les autres assainissements (charriage et éclusées), le délai a été fixé à 2025 et 2030.

### 13. Priorisation par installation

Le tableau ci-dessous présente l'évaluation globale par installation selon les 5 critères d'évaluation de la loi ainsi que l'utilité. Cette évaluation regroupe les résultats des différents domaines de l'assainissement et est une aide à la décision en vue de la priorisation :

Indicateurs		Schiffenen	Oelberg	Hauterive	Lessoc
		Schiffenen	Maigrauge / Oelberg	Rossens - Hauterive	Lessoc
<b>Mesure de l'utilité</b>					
	L : Longueur du tronçon influencé par la mesure	3	1	3	3
	P : Potentiel écologique du tronçon influencé par la mesure, à l'état revalorisé	3	3	3	3
	Portée de la mesure (L+P)	6	4	6	6
	V2 : Valorisation potentielle gain sur l'efficacité	2.7	2.7	3.3	3.3
	<i>Utilité de la mesure (L + P + V)</i>	<b>8.7</b>	<b>6.7</b>	<b>9.3</b>	<b>9.3</b>
<b>A) Degré de gravité de l'atteinte (réduction de la gravité de l'atteinte dans le tronçon influencé par la mesure)</b>					
GA4	Degré de gravité de l'atteinte avant assainissement	favorable	favorable	favorable	favorable
<b>B) Axe Potentiel écologique = ( augmentation du potentiel écologique - au sens revit) des tronçons influencés par la mesure</b>					
PE7	Potentiel écologique ou importance élevée	favorable	neutre	favorable	favorable
<b>C) Proportionnalité des coûts</b>					
C1	Rapport coût / utilité	favorable	pas favorable	favorable	favorable
<b>D) Intérêt de la protection contre les crues</b>					
D1	Impact de l'ouvrage pour la protection contre les crues	favorable	neutre	neutre	favorable
<b>E) Politique énergétique</b>					
E1	Impact sur la production énergétique	favorable	neutre	neutre	favorable

Tableau 53 : Analyse de priorisation par installation

- L'utilité de l'assainissement d'Oelberg/Maigrauge obtient une note nettement moins bonne que les autres installations sur les paramètres : longueur du tronçon influencé et valorisation potentielle.
- Les trois autres installations obtiennent une bonne note pour l'utilité; la valorisation potentielle de Schiffenen est un peu moins bonne en raison de l'intérêt limité de l'assainissement du charriage en aval de cette installation. Il faut noter que la différence de note n'est pas significative.
- Pour les autres critères d'appréciation, les installations de Schiffenen et de Lessoc sont les plus intéressantes.
- Le rapport coût/utilité est peu favorable pour l'assainissement de l'installation Maigrauge/Oelberg.

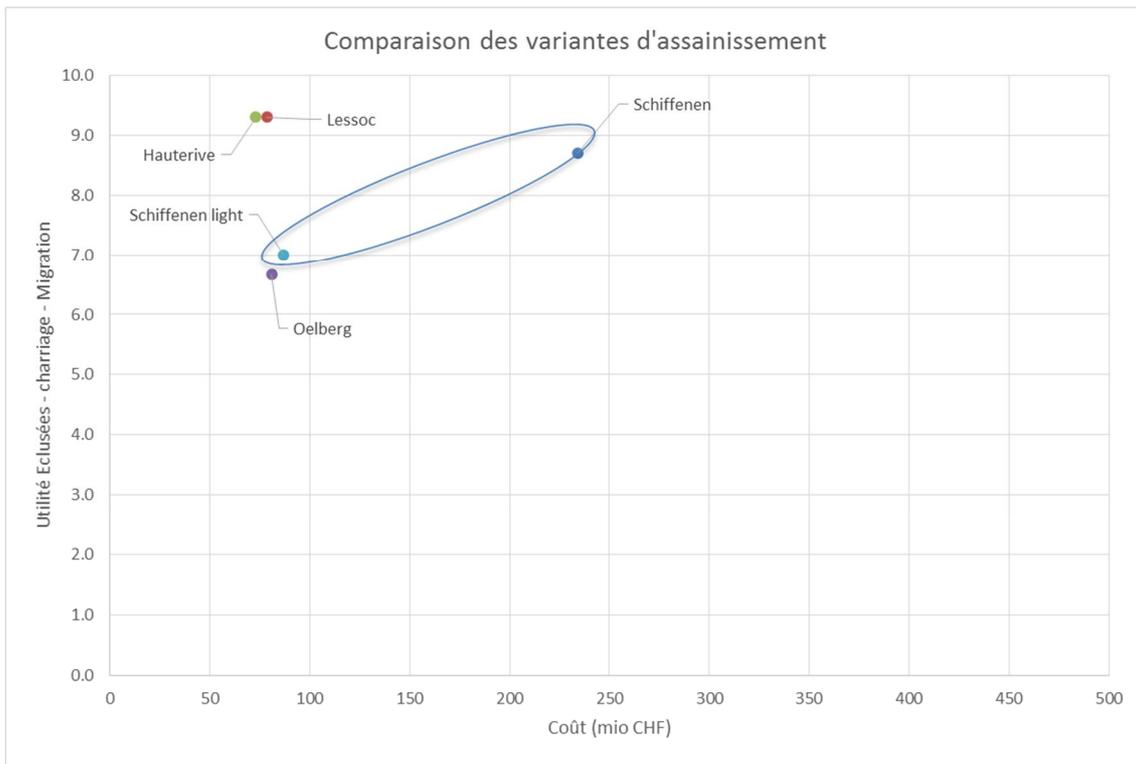


Figure 27 : Utilité globale de l'assainissement de la force hydraulique en fonction du coût global (le coût est basé sur une combinaison cohérente de mesures)

Le graphique ci-dessus présente le rapport coût/efficacité de l'assainissement des trois domaines par installation. On note que Hauterive et Lessoc ont des rapports similaires. Oelberg est clairement moins intéressant. Pour Schiffenen, les 2 points sur le graphique représentent d'une part un assainissement total des éclusées par une dérivation et d'autre part un assainissement partiel avec un "bassin moyen", on observe que globalement ces deux alternatives ont un rapport coût/efficacité similaire.



## **PARTIE C : SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS**

## 14. Définition des tronçons et des priorités

Les investigations menées en 2014 sur la Sarine pour étudier les différents domaines de l'assainissement (éclusées, charriage et migration piscicole) ont été accompagnées d'une démarche générale pour définir les objectifs et priorités pour ce cours d'eau. La démarche générale est la suivante :

- Découpage de la Sarine en 8 tronçons, entre son embouchure dans l'Aar et la frontière vaudoise.
- Définition de 5 thèmes généraux (hydraulique, charriage, morphologie, faune aquatique, espèces riveraines) associés à un objectif général, commun à l'ensemble des tronçons.
- Définition de différents sous-thèmes (propres à chaque tronçon), appréciation de leur degré d'atteinte et d'objectifs spécifiques pour chacun des sous-thèmes.
- Choix d'indicateurs permettant de mesurer l'état des sous-thèmes.
- Choix des objectifs spécifiques prioritaires dans chaque tronçon.
- Définition du niveau de priorité global de chaque tronçon.

Les figures ci-dessous illustrent cette démarche :

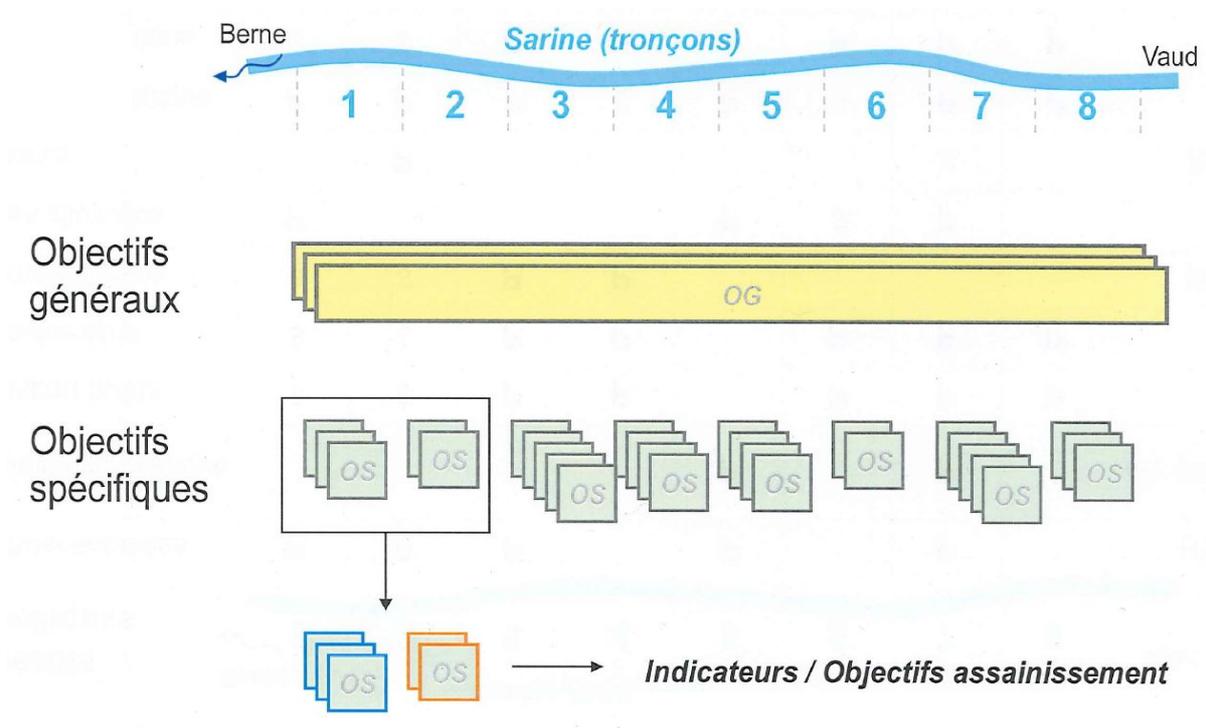


Figure 28 : Démarche d'élaboration des objectifs spécifiques

Objectifs spécifiques	Sarine (tronçons)								Indicateurs Proposés	
	Berne	1	2	3	4	5	6	7		8
Atténuer éclusées		P	P	P		P		P		HYDMOD adapté
Régime hydrologique						P		P		Art. 80 (étiage & crue)
Transport solide		S	S	P	P		P	P	P	Charrage (B)
Granulométrie		S	S	P	P		P	P	P	Charrage (A)
Écomorphologie		S	S	P	P					RF Revitalisation
Zones alluviales		P				P	S	P		Charrage (C)
Affluents			P					S		RF Revitalisation
Milieu vie aquatique		P	P	P	S	P	S	P	P	P2
Reprod. aquatique		S	S	P	P	P	P	P	P	P3
Migration aquatique			P	S	P	S	P	P	P	RF Migration
Habitats terrestres		S	S	S	S	P	P	P	S	RF Revitalisation
Réseau écologique		S	S	S	S	S	S	S	S	RF Revitalisation

P = prioritaire, S=secondaire

Le tableau ci-dessous résume ces principaux résultats :

N° tronçon	Limite amont	Limite aval	Sous-thèmes prioritaires	Priorité
1	Confluence Singine	Confluence Aare	Eclusées Zones alluviales d'importance nationale	1
2	Schiffenen	Confluence Singine	Eclusées Migration piscicole	2
3	Oelberg	Lac de Schiffenen	Eclusées Charrage Morphologie	2
4	Maigrage	Oelberg	Charrage Morphologie Migration piscicole	2
5	Hauterive	Lac de Pérolles	Eclusées Dynamique	1

			Décharge de la Pilla Zones alluviales d'importance nationale Assainissement selon Art. 80 al. 2	
6	Rossens	Hauterive	Charriage Dynamique (colmatage) Migration piscicole	1
7	Lessoc	Lac de Gruyère	Eclusées Charriage Migration piscicole Zones alluviales d'importance nationale Assainissement selon Art. 80 al. 2 Revitalisation	1
8	Frontière VD	Lac de Lessoc	Charriage Débit résiduel	2

Tableau 54 : Tronçons et thèmes prioritaires

**L'annexe 20** présente des tableaux donnant une vue d'ensemble de la Sarine et des priorités qui ont été définies par le groupe de travail "RF Sarine - Grandes installations". La localisation des tronçons de la Sarine ainsi que des diverses installations sont visibles dans **l'annexe 21**.

## 15. Potentiel écologique

Le potentiel écologique a été défini de façon unique sur l'ensemble du réseau hydrographique cantonal fribourgeois et est utilisé dans le cadre de toutes les planifications stratégiques cantonales. Il a été déterminé dans le cadre de la planification stratégique cantonale des « Revitalisations » par le Service Conseils Zone alluviale (rapport revitalisation, SZCA, 2014).

Pour rappel, l'art 33a OEaux mentionne que le potentiel écologique des eaux est déterminé en fonction de :

1. l'importance écologique des eaux dans leur état actuel;
2. l'importance écologique que les eaux pourraient revêtir après réparation des atteintes nuisibles causées par l'homme, dans une mesure impliquant des coûts proportionnés.

Cette notion mesure la valeur écologique d'un tronçon après revitalisation, c'est-à-dire après suppression de toutes les contraintes déplaçables, à des coûts proportionnés. Pour les cours d'eau naturels, l'état écologique potentiel (potentiel écologique) correspond à leur valeur écologique dans leur état actuel.

Le tableau suivant résume l'état écologique potentiel (potentiel écologique) de chaque tronçon de la Sarine réalisé par SCZA (2014) :

N° tronçon	Tronçon	Potentiel écologique
1	aval Singine	Important *
2	Schiffenen - Singine	Important
3	Oelberg - Schiffenen	Important
4	Maigrage - Oelberg	Important
5	Hauterive – Lac de Pérolles	Important
6	Rossens - Hauterive	Important
7	Lessoc – lac de Gruyère	Important
8	amont lac de Lessoc	Important

Figure 29 : Potentiel écologique selon SCZA, 2014

\* A vérifier dans le rapport du canton de Berne

Ce tableau est le résultat de l'analyse de l'ensemble des cours d'eau fribourgeois, qui fait ressortir le potentiel écologique important de la Sarine par rapport à d'autres cours d'eau de moindre importance.

## 16. Gravité de l'atteinte – éclusée

Afin de déterminer la gravité des atteintes sur les tronçons de cours d'eau soumis aux éclusées dans la Sarine, lors de la phase du rapport intermédiaire en 2013, l'appréciation sommaire n'avait permis de conclure à une atteinte grave que pour l'installation de Schiffenen.

Dès lors, une évaluation approfondie était nécessaire pour toutes les autres installations :

- Lessoc ;
- Hauterive ;
- Oelberg.

L'évaluation approfondie sert à déterminer si la faune et la flore indigènes et leurs biotopes subissent ou non des atteintes graves au sens de l'art. 39a, al. 1, LEaux. Cette évaluation est réalisée essentiellement au moyen d'indicateurs rendant compte de la taille, de la composition et de la diversité des biocénoses végétales et animales typiques de la station, conformément à l'art. 41e, let. b, OEaux (Baumann et al., 2012).

Les atteintes dues aux éclusées devront être considérées comme graves si l'évaluation approfondie de l'état actuel ou de l'état prévisible débouche sur l'un des résultats ci-après :

- au moins un indicateur révèle un mauvais état (couleur rouge), ou
- au moins deux indicateurs révèlent un état médiocre (orange), ou
- au moins trois indicateurs révèlent un état moyen (jaune), ou
- un indicateur révèle un état médiocre et deux autres indicateurs un état moyen.

Si le nombre d'indicateurs témoignant d'un état insatisfaisant ne dépasse pas les limites fixées ci-dessus, ou est nul, on n'est pas en présence d'une atteinte grave.

Etat	Atteinte
Excellent	Aucune
Bon	Faible
Moyen	Notable
Médiocre	Prononcée
Mauvais	Très prononcée

Tableau 55 : Classes d'état et couleurs utilisées dans le système modulaire gradué.

Le tableau ci-après reprend les résultats des différents indicateurs évalués au chapitre 6 à l'exception des données pour Schiffenen. Ces dernières avaient été évaluées lors du rapport intermédiaire et de l'étude « Expertise Schiffenen » (PRONAT, 2007). La gravité de l'atteinte a été acceptée par le GT et par le propriétaire de l'installation (Groupe E) à la suite du rapport intermédiaire de 2013 :

Indicateurs	Tronçon 7 Aval Lessoc	Tronçon 5 Aval Hauterive	Tronçon 3 Aval Ölberg	Tronçon 2 Aval Schiffenen
	2014	2014	2014	RI 2013
P1 - Poisson SMG	Bon	Médiocre	Moyen	Mauvais
P2 - Echouage	Mauvais	Mauvais	Bon	Mauvais
P3 - Frayères	Mauvais	Mauvais	Mauvais	Mauvais
P4 – Reproduction Ombre (2012/13)	Mauvais	Mauvais	Mauvais	Mauvais
P4 – Reproduction truite	Bon	Bon	Médiocre	Mauvais
P5 - Productivité	Excellent	Excellent	Excellent	Mauvais
B1 - Biomasse	Excellent	Excellent	Excellent	Mauvais
B2 – Macrozoobenthos	Bon	Bon	Bon	Mauvais
B3 - Zone Longitudinale	Bon	Moyen	Mauvais	-
B4 - EPT	Excellent	Bon	Bon	Mauvais
Gravité de l'atteinte	Grave	Grave	Grave	Grave

Tableau 56 : Synthèse des résultats de l'évaluation approfondie.

Suite à l'analyse approfondie, résumée ci-dessus, la gravité de l'atteinte est définie comme grave pour les installations suivantes :

- **Lessoc**, avec les indicateurs :
  - P2, P3 et P4 (pour l'ombre uniquement) classés comme mauvais ;
  - Les autres sont classés comme bon ou excellent.
- **Hauterive**, avec les indicateurs :
  - P2, P3 et P4 (pour l'ombre uniquement) classés comme mauvais ;
  - P1 classé comme médiocre ;
  - B3 classé comme moyen ;
  - Les autres sont classés comme bon ou excellent.



- **Oelberg**, avec les indicateurs :
  - P3, P4 (pour l'ombre uniquement) et B3 classés comme mauvais ;
  - P4 (pour la truite) comme médiocre ;
  - P1 classé comme moyen ;
  - Les autres sont classés comme bon ou excellent.

Pour l'installation de Schiffenen, suite à l'évaluation sommaire de 2013, l'ensemble des indicateurs sont classés comme mauvais.

## 17. Gravité de l'atteinte - charriage

Le tableau suivant correspond à la synthèse des degrés de gravité des atteintes de la planification stratégique de l'assainissement du régime de charriage. Les calculs de base et la description des mesures proposés se trouvent dans le RF Charriage, l'évaluation de la performance des mesures au chapitre 10 de ce rapport.

Cours d'eau	Tronçon	de		état actuel	
		km	a km	degré de gravité des atteintes	état du cours d'eau par rapport au charriage
Sarine	Tronçon 8	86.500	81.450	80-100%	mauvais
	<i>Lac</i>	<i>81.450</i>	<i>79.085</i>		
	Tronçon 7	79.085	74.000	80-100%	mauvais
	Tronçon 7	74.000	73.000	60-80%	médiocre
	Tronçon 7	73.000	70.500	40-60%	moyen
	Tronçon 7	70.500	67.225	20-40%	bon
	Tronçon 7	67.225	65.000	0-20%	excellent
	<i>Lac</i>	<i>65.000</i>	<i>51.550</i>		
	Tronçon 6	51.550	38.000	80-100%	mauvais
	Tronçon 5	38.000	36.000	80-100%	mauvais
	Tronçon 5	36.000	32.800	20-40%	bon
	<i>Lac</i>	<i>32.800</i>	<i>30.000</i>		
	Tronçon 4	30.000	27.650	80-100%	mauvais
	Tronçon 3	27.650	26.250	80-100%	mauvais
	<i>Lac</i>	<i>26.250</i>	<i>14.350</i>		
Tronçon 2	14.350	9.700	80-100%	mauvais	
Tronçon 1	9.700	0	40-60%	moyen	

Tableau 57: Degré de gravité des atteintes et potentiel de valorisation de régime de charriage sur la Sarine

## 18. Nécessité de l'assainissement migration piscicole

Comme décrit dans le rapport final sur le « Rétablissement de la migration piscicole en lien avec la force hydraulique dans le canton de Fribourg » (PRONAT, 2014), les installations suivantes nécessitent un assainissement de la montaison et/ou de la dévalaison :

N° obstacle	N° SLCE	Dénomination de l'obstacle	Installation concernée	Montaison	Dévalaison
FR.SAA.1	231	Barrage de Schiffenen	Schiffenen	Nécessité d'assainir	Nécessité d'assainir
FR.SAA.2	234	Barrage de la Maigrage	Oelberg	Pas de nécessité d'assainir	Nécessité d'assainir
FR.ZSA.1	230-1	Restitution de Hauterive	Hauterive	Nécessité d'assainir	Pas de nécessité d'assainir
FR.SAA.9	230	Barrage de Rossens	Hauterive	Nécessité d'assainir	Nécessité d'assainir
FR.SAA.13	238	Barrage de Lessoc	Lessoc	Nécessité d'assainir	Nécessité d'assainir

Tableau 58: Synthèse des assainissements de la migration piscicole sur les installations de la Sarine.

## 19. Liste définitive des centrales hydroélectriques à assainir

Le tableau ci-dessous présente la liste de tous les aménagements hydroélectriques situés de long de la Sarine sur le territoire du canton de Fribourg et nécessitant un assainissement :

Aménagement	Charriage	Eclusée	Migration piscicole
Restitution de Montbovon		A assainir *	
Barrage de Lessoc	A assainir	A assainir	A assainir (montaison + dévalaison)
Barrage de Rossens	A assainir		A assainir (montaison + dévalaison)
Restitution d'Hauterive		A assainir	A assainir (montaison)
Barrage de la Maigrage	A assainir		A assainir (dévalaison, en cours)
Restitution d'Oelberg		A assainir	
Barrage de Schiffenen	A assainir	A assainir	A assainir (montaison + dévalaison)

Tableau 59 : Liste définitive des centrales hydroélectriques à assainir

\* La restitution de Montbovon et le barrage de Lessoc sont conjointement responsables des éclusées dans le tronçon situé en aval de Lessoc.

## 20. Objectifs d'assainissement

### 20.1 Généralités

Pour chacune des installations et pour le charriage et les éclusées, les objectifs d'assainissement ont été définis. Ils dépendent :

- Des déficits identifiés : par exemple si pour le charriage il n'y a pas de déficit en termes de dynamique du lit, il n'y a pas d'objectif pour la dynamique.
- Sortir de l'atteinte grave pour la faune et la flore selon les aides à l'exécution.

### 20.2 Objectifs d'assainissement charriage

Les objectifs d'assainissement suivants ont été définis pour l'assainissement du charriage :

Barrage Lessoc	Déficit ?	Objectifs d'assainissement complets
Dynamique du lit (A)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Débit de charriage <math>\geq</math> 60% du débit de charriage nécessaire*</li> <li>• Qualité du charriage approprié</li> <li>• Les zones alluviales sont inondées au moins 2-3 fois par an (reconnecter des zones alluviales)</li> </ul>
Quantité du substrat (B1)	X	
Qualité du substrat (B2)	X	
Équilibre alluvial (C)	X	

Barrage Rossens	Déficit ?	Objectifs d'assainissement complets
Dynamique du lit (A)	X	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Assurer une dynamique morphologique avec au moins <b>une</b> crue par an qui soit capable de mobiliser le lit (rupture du pavage)</li> <li>• Les zones alluviales sont inondées au moins 2-3 fois par an</li> <li>• Assurer un débit de charriage à 60 % du débit de charriage nécessaire de qualité appropriée</li> </ul>
Quantité du substrat (B1)	X	
Qualité du substrat (B2)	X	
Équilibre alluvial (C)	X	

Barrage Maingrauge	Déficit ?	Objectifs d'assainissement complets
Dynamique du lit (A)	X	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Assurer une dynamique morphologique avec au moins <b>une</b> crue par an qui soit capable de mobiliser le lit (rupture du pavage)</li> <li>• Assurer des structures morphologiques en assurant un apport de charriage d'une qualité appropriée à 60 % du débit de charriage nécessaire</li> </ul>
Quantité du substrat (B1)	X	
Qualité du substrat (B2)	X	
Équilibre alluvial (C)	X	

Barrage Schiffenen	Déficit ?	Objectifs d'assainissement complets
Dynamique du lit (A)	X	<ul style="list-style-type: none"> <li>Assurer des structures et une dynamique morphologique en assurant un apport de charriage d'une qualité appropriée à 60 % du débit de charriage nécessaire</li> </ul>
Quantité du substrat (B1)	X	
Qualité du substrat (B2)	X	
Équilibre alluvial (C)	X	

### 20.3 Objectifs d'assainissement éclusées

L'objectif d'assainissement général reste celui défini par l'art. 39a de la LEaux, à savoir "éliminer les atteintes graves que des variations subites et artificielles du débit d'un cours d'eau (éclusées) portent à la faune et à la flore indigènes et à leurs biotopes".

L'évaluation approfondie a montré que les atteintes subies par la Sarine s'accroissent globalement d'amont en aval. La bonne qualité de l'eau permet aux indicateurs B1-B5 de rester des plus satisfaisants en amont; mais ces indicateurs se dégradent en allant vers l'aval pour atteindre des niveaux très mauvais en aval de Schiffenen. Deux problèmes se retrouvent par contre de manière presque générale sur l'entier de la Sarine fribourgeoise : l'échouage et le manque de surfaces favorables aux frayères.

C'est donc sur ces deux problématiques qu'il faudra concentrer ces efforts dans la phase 2, tout en sachant qu'elles ne dépendent pas uniquement de l'assainissement des éclusées, mais sont également très liées à deux autres domaines de l'assainissement : la morphologie (revitalisation) et le charriage.

Dans l'état actuel des études et investigations menées pour cette planification, ces objectifs pourraient être atteints avec les paramètres de dimensionnement suivants :

Installation	Objectifs-cible	
	Ratio $Q_e/Q_p$	Vitesse de descente du niveau d'eau [cm/min]
Lessoc	5	1
Hauterive	5	0.9
Oelberg	5	0.6
Schiffenen	5	0.9

Tableau 60 : objectifs-cibles pour l'assainissement des éclusées



## 21. Planification des mesures d'assainissement

### 21.1 Etude des mesures d'assainissement

Les mesures d'assainissement, leur ampleur, coût et faisabilité sont détaillées dans le chapitre 10 du présent rapport. A ce stade du projet, aucune mesure n'a été choisie ou au contraire écartée.

Sur la base des différentes évaluations et comparaisons de variante présentées dans au chapitre 13 du présent rapport, les priorités et délais suivants ont été fixés par le groupe de travail Sarine – Grandes installations :

### 21.2 Priorisation

#### Priorité 1 :

L'assainissement de l'installation de **Lessoc** (et indirectement de Montbovon) est placée en première priorité. Le tronçon influencé est long et possède un bon potentiel écologique, avec la présence de deux zones alluviales d'importance nationale. Pour la migration piscicole, le barrage de **Lessoc** est aussi prioritaire puisque son assainissement semble à priori plus simple à réaliser (hauteur du barrage, peu de marnage, place disponible).

L'assainissement de l'installation de **Schiffenen** est également placé en première priorité. Le tronçon influencé par l'installation est long sur la Sarine et se prolonge également dans l'Aar. C'est également la porte d'entrée du canton pour la migration piscicole (de l'aval vers l'amont).

#### Priorité 2 :

La 2<sup>e</sup> priorité est donnée à l'assainissement de l'installation de **Rossens/Hauterive**. Le tronçon influencé est long et potentiellement intéressant en raison entre autre des zones alluviales d'importance nationales. C'est par contre un secteur qui est soumis à des contraintes importantes en termes d'espace (ville de Fribourg, décharge de la Pilla, ...)

#### Priorité 3 :

La 3<sup>e</sup> priorité est donnée à l'assainissement de l'installation de **Maigrauge/Oelberg**. Le tronçon influencé est court. L'assainissement de la migration piscicole du barrage de la Maigrauge reste malgré tout une priorité car la décision d'assainissement a déjà été rendue à l'exploitant (décision anticipée).

### 21.3 Délais

Le groupe de travail "Sarine – grandes installations" a défini les délais ci-dessous pour la mise en œuvre de l'assainissement des installations hydroélectriques le long de la Sarine. Le délai de planification correspond à la fin de la conception des mesures par le détenteur. La priorisation va dans le sens de l'aide à l'exécution, qui souhaite que l'urgence des mesures soit déterminée.

Partie d'installation	Domaine	Complexité	Priorité	Délai de planification	Délai de réalisation	Coordination principale	Remarque
Lessoc	Migration piscicole	1	1	2017-2018	2020	Eclusées	
	Eclusée	1	1	2017-2018	2020	Migration	
	Charriage	1	1	2017-2018	2020	-	
Rossens	Migration piscicole	2	2	2025	2030	Eclusées	
	Charriage	1	2	2017-2018	2020	-	En lien avec la nécessité de crue artificielle Petite Sarine ; délai plus court que les autres thèmes semble réaliste.
Hauterive	Migration piscicole	2	2	2020	2025	Eclusées	
	Eclusées	2	2	2020	2025	Migration	
Maigrauge	Migration piscicole	2	3	2017-2018	2020		Décision déjà prise, délai plus court que les autres thèmes.
	Charriage	1	3	2025	2030		Synergie avec le projet de revitalisation de la Sarine en ville de Fribourg
Oelberg	Eclusées	2	3	2025	2030		Synergie avec le projet de revitalisation de la Sarine en ville de Fribourg
Schiffenen	Migration piscicole	2	1	2017-2018	2020	Eclusées	Réalisable à ce délai sous réserve de connaître déjà suffisamment la mesure éclusées
	Eclusées	2	1	2020	2025	Migration	L'assainissement des éclusées à Schiffenen est une priorité mais sa réalisation risque d'être retardée par la complexité du projet.
	Charriage	2	2	2020	2025	Eclusées	L'assainissement du charriage dépendra du choix de la variante d'assainissement des éclusées.

Tableau 61 : Délais d'assainissement des installations

Complexité : 1 = complexité faible-moyenne, 2 = complexité élevée

## 22. Coordinations

### 22.1 Coordination intercantonale

#### Canton de Berne :

L'installation de Schiffenen sise sur le canton de Fribourg a un impact sur la Sarine et l'Aar à l'aval. En effet, le rapport "Strategische Planung Schwall/Sunk im Kanton Bern" (Limnex AG, août 2014, version pour consultation) constate que les éclusées produites par la centrale de Schiffenen se propagent jusqu'au lac de Biene. La centrale hydroélectrique de Niederried-Radelfingen à l'aval de la confluence de la Sarine dans l'Aar produit au fil de l'eau. Elle n'a pas le droit d'exploiter son volume de stockage car le lac fait partie de l'inventaire fédéral des réserves d'oiseaux d'eau et de migrateurs.

Le rapport "Strategische Planung Schwall/Sunk im Kanton Bern" (Limnex AG, août 2014, version pour consultation) ne traite ni la Sarine comme cours d'eau cible (aucune information sur l'altération ou le potentiel écologique), ni la centrale Schiffenen par des raisons des circonstances particulières.

Les mesures prévues pour l'installation de Schiffenen prennent en compte les atteintes dues à l'installation sur les 2 cantons. Le canton de Berne a participé au groupe de travail grande installation de la Sarine. La coordination est donc parfaitement assurée.

#### Canton de Vaud :

Le barrage de Rossinière se situe sur le canton du Vaud. Elle crée une altération sur le canton de Fribourg pour le charriage et les éclusées.

Pour l'analyse du charriage, les analyses des deux cantons sont coordonnées entre elles. BG étant mandataire pour les 2 cantons. Pour ce qui est des éclusées, les eaux de Rossinière sont turbinées directement dans le lac de Montbonvon à l'usine du même nom. Les installations de Montbonvon (lac de Rossinière) et de Lessoc sont traitées comme une chaîne d'installation et les propositions de mesures sont conjointes.

### 22.2 Coordination avec la revitalisation

Dans le cadre de la planification stratégique des « Revitalisations » (SCZA, 2014), les tronçons de cours d'eau prioritaires à revitaliser sur les 80 prochaines années ont été identifiés. Parmi ces tronçons figurent une partie de la Sarine (voir carte en annexe du rapport final sur les revitalisations) :

- Linéaire de la Sarine en aval de Lessoc jusqu'au lac de Gruyère (Sarine Intyamon) ;
- En ville de Fribourg entre le barrage de la Maigrauge et le lac de Schiffenen ;
- En aval du barrage de Schiffenen jusqu'à la confluence avec la Singine.

De plus, certains de ces tronçons de la Sarine ont été définis avec une priorité importante soit une priorité à **10 ans** :

- En aval de Lessoc :
  - A la confluence de la Tana et sur environ 800 vers l'aval ;
  - A la confluence de la Trême ;
- En ville de Fribourg entre le barrage de la Maigrauge et le lac de Schiffenen.



**Les tronçons de la Sarine à revitaliser (priorité < 80 ans), doivent donc être assainis pour tous les domaines (éclusées, charriage et migration piscicole). L'ensemble de ces projets nécessite donc une coordination multisectorielle.**

### **22.3 Coordination avec assainissement LEaux Art. 80**

Suite au rapport d'assainissement selon LEaux Art. 80 al. 2 concernant le secteur en aval de Lessoc et en aval de la restitution de Hauterive (BG & PRONAT, décembre 2014). La nécessité d'une augmentation du débit résiduel (débit plancher de l'écluse) n'est pas nécessaire pour ces installations (Hauterive et Lessoc). Cependant, d'autres mesures sont nécessaires notamment concernant le charriage et les revitalisations. Ces mesures devront être coordonnées avec les planifications stratégiques cantonales (charriage, éclusées et revitalisations).

### **22.4 Coordination avec la protection contre les crues**

Les impacts positifs ou négatifs des mesures d'assainissement sur la protection contre les crues ont été traités dans l'analyse multicritères de variantes d'assainissement, présentée dans le chapitre 11 du rapport.