



Hunziker, Zarn & Partner

Ingenieurbüro für Fluss- und Wasserbau



Direction générale de l'environnement
Division Ressources en eau et économie hydraulique

Planifications stratégiques "Renaturation des Eaux"
module charriage



Rapport final canton de Vaud



Hunziker, Zarn & Partner

Ingenieurbüro für Fluss- und Wasserbau



Direction générale de l'environnement
Division Ressources en eau et économie hydraulique

Planifications stratégiques "Renaturation des Eaux"
module charriage

Rapport final
canton de Vaud

Version	-	a	b
Document	7697.01/RN017	7697.01/RN017a	
Date	10 octobre 2014	11 novembre 2014	
Elaboration	Gabrielle Schwab Rouge Vincent Haebler Stéphane Zbinden Olivier Stauffer	Gabrielle Schwab Rouge Vincent Haebler Stéphane Zbinden Olivier Stauffer	
Visa	Khalid Essyad	Khalid Essyad	
Collaboration	Antoine Magnollay Roni Hunziker	Antoine Magnollay Roni Hunziker	
Distribution	DGE-EAU DGE BIODIV-inspection de la pêche	DGE-EAU DGE BIODIV-inspection de la pêche	

© BG&HZP

BG Ingénieurs Conseils SA

Avenue de Cour 61 - Case postale 241 - CH-1001 Lausanne

T +41 58 424 11 11 **F** +41 58 424 11 22 **E** lausanne@bg-21.com **W** www.bg-21.com **TVA** CHE-116.329.587



Table des matières

Préambule – cadre du projet	15
1.1 Les planifications cantonales	15
2. Introduction	17
2.1 Objectif du mandat	17
2.2 Description du groupement - charriage	17
2.3 Description des partenariats	17
2.3.1 Bureau de biologiste	17
2.3.2 Autres synergies	18
2.3.3 Consultation des exploitants	18
3. Priorisation des cours d'eau cibles	19
3.1 Examen préliminaire	19
3.2 Périmètre du projet	21
3.2.1 Cours d'eau de priorité 1	22
3.2.2 Cours d'eau de priorité 2 et 3	22
PARTIE A – planification stratégique de revitalisation des cours d'eau module charriage 23	
4. Rappel théorique	24
4.1 Qu'est-ce que le charriage ?	24
4.2 Fonction d'équilibre –régime de charriage	25
4.3 Régime de charriage et revitalisation	26
4.4 Formules de transport solide	28
4.4.1 Capacité de transport - méthodes préconisées par l'OFEV	28
5. Méthodologie	30
5.1 Démarche générale	30
5.2 Relevé des installations potentiellement significatives	31
5.3 Influence des installations sur le bilan sédimentaire	32
5.3.1 Déficit en sédiment	33
5.3.2 Prélèvement en eau et rejet	33
5.3.3 Modification de la géométrie	34
5.4 Type d'installations	35
5.4.1 Centrales hydroélectriques	35
5.4.2 Dépotoir	36
5.4.3 Gravière / extraction de gravier	36
5.4.4 Aménagement de cours d'eau	37



5.4.5	Autres installations	37
5.5	Appréciation des installations	38
5.5.1	Critères pour la détermination d'une atteinte	38
5.6	Potentiel écologique	39
5.7	Impact sur les eaux souterraines	40
5.8	Importance des installations pour la protection contre les crues	40
5.9	Interprétations de situations types	41
5.9.1	Affirmation 1 – grossissement de granulométrie après extraction	41
5.9.2	Affirmations 2 et 3 – grossissement de granulométrie après chenalisation	41
5.9.3	Affirmation 4 – grossissement de granulométrie après rejet d'eau claire	42
5.9.4	Affirmation 5 – atteinte limités temporairement	43
5.10	Démarche pour identifier les installations à assainir	44
5.10.1	Nécessité d'assainissement selon l'OFEV	44
5.10.2	Propositions d'assainissement	44
5.11	Méthodologie d'évaluation des mesures	45
5.11.1	Analyse de l'efficacité de la mesure	45
5.11.2	Critères d'évaluation principaux	46
5.11.3	Critères d'évaluation secondaire	46
5.11.4	Potentiel de valorisation	46
5.11.5	Proportionnalité des coûts	47
5.11.6	Priorisation des mesures	47
6.	Inventaire de toutes les installations susceptibles d'influencer le régime de charriage	48
6.1	Centrales hydroélectriques	48
6.2	Dépotoirs à alluvions	49
6.3	Carrières et gravières	50
6.4	Installation sur canton voisin ayant un impact sur sol vaudois	50
7.	Avançon	51
7.1	Description du BV	51
7.2	Description du cours d'eau	52
7.2.1	Courbe des débits classés	53
7.2.2	Granulométrie	53
7.2.3	Profil en long topographique	54
7.2.4	Morphologie historique et actuelle	55
7.3	Estimation de la charge solide	57
7.3.1	Estimation du débit de charriage actuel	57
7.3.2	Estimation du débit de charriage nécessaire	57



7.3.3	Établissement du profil en long de charriage - Bilan de transport solide	57
7.4	Description des tronçons avec atteinte	58
7.5	Rôle des installations pour la protection contre les crues	61
7.6	Impact sur les eaux souterraines	61
7.7	Potentiel écologique	61
7.8	Atteinte à la faune et à la flore	61
7.8.1	Tronçon 1	61
7.8.2	Tronçon 2	62
7.9	Nécessité d'assainissement	62
7.10	Synergie avec d'autres modules des planifications / opportunités	62
7.11	Mesure d'assainissement	63
7.11.1	Mesures envisageables	63
7.11.2	Evaluation des mesures	63
7.11.3	Propositions de mesures d'assainissement	64
7.11.4	Délai d'assainissement	65
8.	Grande Eau	66
8.1	Description du BV	66
8.2	Description du cours d'eau	67
8.2.1	Courbe des débits classés	68
8.2.2	Granulométrie	68
8.2.3	Profil en long topographique	69
8.2.4	Morphologie historique et actuelle	69
8.3	Estimation de la charge solide	71
8.3.1	Estimation du débit de charriage actuel	71
8.3.2	Estimation du débit de charriage nécessaire	71
8.3.3	Etablissement du profil en long de charriage - Bilan de transport solide	71
8.4	Description des tronçons avec atteinte	72
8.5	Rôle des installations pour la protection contre les crues	74
8.6	Impact sur les eaux souterraines	74
8.7	Potentiel écologique	74
8.8	Atteinte à la faune et à la flore	75
8.8.1	Tronçon 1	75
8.8.2	Tronçon 2	75
8.9	Nécessité d'assainissement	75
8.10	Synergie avec d'autres modules des planifications / opportunités	76
8.11	Mesure d'assainissement	76
8.11.1	Mesures envisageables	76



Planification cantonale assainissement de cours d'eau - module charriage

6/203

8.11.2	Evaluation des mesures	77
8.11.3	Proposition de mesures	78
9.	Hongrin (partie VD)	79
9.1	Description du BV	79
9.2	Description du cours d'eau	80
9.2.1	Courbe des débits classés	83
9.2.2	Granulométrie	84
9.2.3	Profil en long topographique	84
9.2.4	Morphologie historique et actuelle	85
9.3	Estimation de la charge solide	85
9.3.1	Estimation du débit de charriage naturel	85
9.3.2	Estimation du débit de charriage actuel	85
9.3.3	Estimation du débit de charriage nécessaire	86
9.3.4	Établissement du profil en long de charriage - Bilan de transport solide	86
9.4	Description des tronçons avec atteinte	87
9.5	Rôle des installations pour la protection contre les crues	88
9.6	Impact sur les eaux souterraines	88
9.7	Potentiel écologique	88
9.8	Atteinte à la faune et à la flore	89
9.9	Nécessité d'assainissement	89
9.10	Synergie avec d'autres modules des planifications / opportunités	89
9.11	Mesure d'assainissement	90
9.11.1	Mesures envisageables	90
9.11.2	Evaluation des mesures	90
9.11.3	Proposition de mesure d'assainissement	91
9.11.4	Délai d'assainissement	91
10.	Rhône (partie VD)	92
10.1	Description du BV	92
10.2	Description du cours d'eau (canton de Vaud)	93
10.2.1	Historique des corrections du Rhône	93
10.2.2	Courbe des débits classés	96
10.2.3	Granulométrie	96
10.2.4	Profil en long topographique	97
10.2.5	Morphologie historique et actuelle	97
10.3	Estimation de la charge solide	100
10.3.1	Estimation du débit de charriage naturel	100
10.3.2	Estimation du débit de charriage actuel	100



Planification cantonale assainissement de cours d'eau - module charriage

7/203

10.3.3	Estimation du débit de charriage futur (R3)	100
10.3.4	Estimation du débit de charriage de référence	100
10.3.5	Etablissement du profil en long de charriage	101
10.4	Description des tronçons avec atteinte	101
10.4.1	Atteinte état futur (R3)	101
10.4.2	Atteinte état actuel	103
10.5	Rôle des installations pour la protection contre les crues	103
10.6	Impact sur les eaux souterraines	104
10.7	Potentiel écologique	104
10.8	Atteinte à la faune et à la flore	104
10.9	Nécessité d'assainissement	105
10.10	Synergie avec d'autres modules des planifications / opportunité	105
10.11	Mesure d'assainissement	105
11.	Sarine (partie VD)	106
11.1	Description du BV	106
11.2	Description du cours d'eau	107
11.2.1	Courbe de débits classés	108
11.2.2	Granulométrie	108
11.2.3	Profil en long topographique	110
11.2.4	Morphologie historique et actuelle	110
11.3	Estimation de la charge solide	112
11.3.1	Estimation de la charge solide - état naturel (sans installation)	112
11.3.2	Estimation de la charge solide – état actuel (avec installation)	113
11.3.3	Estimation du débit de charriage nécessaire	114
11.3.4	Etablissement du profil en long de charriage - Bilan de transport solide	116
11.4	Description des tronçons avec atteintes	117
11.5	Rôle des installations pour la protection contre les crues	118
11.6	Impact sur les eaux souterraines	118
11.7	Potentiel écologique	118
11.8	Atteinte à la faune et à la flore	119
11.8.1	Partie située en amont du lac du Vernex	119
11.8.2	Partie située en aval du lac du Vernex	119
11.9	Nécessité d'assainir	120
11.10	Synergie avec d'autres modules des planifications/ opportunité	120
11.11	Mesure d'assainissement	120
11.11.1	Mesures envisageables	120
11.11.2	Evaluation des mesures	122



Planification cantonale assainissement de cours d'eau - module charriage

8/203

11.11.3	Proposition de mesure d'assainissement	123
11.11.4	Délai d'assainissement	123
12.	Broye (partie VD)	124
12.1	Description du BV	124
12.2	Description du cours d'eau	125
12.2.1	Courbes de débits classés	125
12.2.2	Courbes granulométriques	126
12.2.3	Profil en long topographique	127
12.2.4	Morphologie historique et actuel	128
12.3	Estimation de la charge solide	129
12.3.1	Estimation de la charge solide naturelle (sans installation)	129
12.3.2	Estimation de la charge solide actuelle (avec installation)	129
12.3.3	Estimation du débit de charriage nécessaire	131
12.3.4	Quantification de l'impact des installations	131
12.3.5	Etablissement du profil en long de charriage - Bilan de transport solide	132
12.4	Description des tronçons avec atteintes	133
12.5	Rôle des installations pour la protection contre les crues	133
12.6	Impact sur les eaux souterraines	134
12.7	Potentiel écologique	134
12.8	Atteinte à la faune et à la flore	134
12.9	Nécessité d'assainir	134
12.10	Synergie avec d'autres modules des planifications/ opportunité	134
12.11	Mesure d'assainissement	134
12.11.1	Proposition de mesure d'assainissement	134
13.	Arnon	135
13.1	Description du BV	135
13.2	Description du cours d'eau	136
13.2.1	Courbe de débits classés	136
13.2.2	Granulométrie	137
13.2.3	Profil en long topographique	137
13.2.4	Morphologie historique et actuel	138
13.3	Estimation de la charge solide	139
13.3.1	Estimation de la charge solide actuelle (avec installation)	139
13.3.2	Estimation de la charge solide naturelle (sans installation)	139
13.3.3	Estimation du débit de charriage nécessaire	140
13.3.4	Quantification de l'impact des installations	140
13.3.5	Etablissement du profil en long de charriage - Bilan de transport solide	140



Planification cantonale assainissement de cours d'eau - module charriage

9/203

13.4	Description des tronçons avec atteintes	141
13.5	Rôle des installations pour la protection contre les crues	142
13.6	Impact sur les eaux souterraines	142
13.7	Potentiel écologique	142
13.8	Atteinte à la faune et à la flore	142
13.9	Nécessité d'assainir	142
13.10	Synergie avec d'autres modules des planifications/ opportunité	143
13.11	Mesure d'assainissement	143
13.11.1	Proposition de mesure d'assainissement	143
14.	Orbe-Thielle	144
14.1	Description du BV	144
14.2	Description du cours d'eau	145
14.2.1	Courbe de débits classés	145
14.2.2	Granulométrie	146
14.2.3	Profil en long topographique	148
14.2.4	Morphologie historique et actuel	149
14.3	Estimation de la charge solide	150
14.3.1	Estimation de la charge solide à l'état naturel (sans installation)	150
14.3.2	Estimation de la charge solide à l'état actuel (avec installation)	150
14.3.3	Estimation du débit de charriage nécessaire	151
14.3.4	Etablissement du profil en long de charriage - Bilan de transport solide	152
14.4	Description des tronçons avec atteintes	153
14.5	Rôle des installations pour la protection contre les crues	154
14.6	Impact sur les eaux souterraines	154
14.7	Potentiel écologique	154
14.8	Atteinte faune-flore	155
14.9	Nécessité d'assainissement	156
14.10	Synergie avec d'autres modules des planifications/ opportunité	156
14.11	Mesure d'assainissement	157
14.11.1	Mesures envisageables	157
14.11.2	Evaluation des mesures	160
14.11.3	Proposition de mesure d'assainissement	164
14.11.4	Délai d'assainissement	164



15.	Venoge	165
15.1	Description du BV	165
15.2	Description du cours d'eau	166
15.2.1	Courbe de débits classés	166
15.2.2	Granulométrie	167
15.2.3	Profil en long topographique	167
15.2.4	Morphologie historique et actuelle	168
15.3	Estimation de la charge solide	169
15.3.1	Estimation de la charge solide à l'état naturel (sans installation)	170
15.3.2	Estimation de la charge solide à l'état actuel (avec installation)	170
15.3.3	Estimation du débit de charriage nécessaire	171
15.3.4	Etablissement du profil en long de charriage - Bilan de transport solide	172
15.4	Description des tronçons avec atteintes	173
15.5	Rôle des installations pour la protection contre les crues	174
15.6	Impact sur les eaux souterraines	174
15.7	Potentiel écologique	174
15.8	Atteinte à la faune et à la flore	174
15.9	Nécessité d'assainir	174
15.10	Synergie avec d'autres modules des planifications/ opportunité	174
15.11	Mesure d'assainissement	175
15.11.1	Proposition de mesure d'assainissement	175
16.	Aubonne	176
16.1	Description du BV	176
16.2	Description du cours d'eau	176
16.2.1	Courbe de débits classés	178
16.2.2	Granulométrie	178
16.2.3	Profil en long topographique	180
16.2.4	Morphologie historique et actuelle	180
16.3	Estimation de la charge solide	182
16.3.1	Estimation de la charge solide état naturel (sans installation)	182
16.3.2	Estimation de la charge solide actuel (avec installation)	182
16.3.3	Estimation du débit de charriage nécessaire	183
16.3.4	Etablissement du profil en long de charriage - Bilan de transport solide	184
16.4	Description des tronçons avec atteintes	185
16.4.1	Situation sans entretien	185
16.4.2	Description des tronçons avec atteintes en situation assainie	186



Planification cantonale assainissement de cours d'eau - module charriage

11/203

16.5	Rôle des installations pour la protection contre les crues	187
16.6	Impact sur les eaux souterraines	187
16.7	Potentiel écologique	187
16.8	Atteinte faune et flore	188
16.9	Nécessité d'assainissement	188
16.10	Synergie avec d'autres modules des planifications/ opportunité	189
16.11	Mesure d'assainissement	189
16.11.1	Mesures envisageables	189
16.11.2	Evaluation des mesures	190
16.11.3	Proposition de mesure d'assainissement	191
16.11.4	Délai d'assainissement	191
17.	Synthèse	192
17.1	Liste des installations nécessitant un assainissement	193
17.2	Liste des installations provoquant une atteinte ne nécessitant pas d'assainissement	194
17.3	Liste des installations situées dans un canton limitrophe provoquant une atteinte sur sol vaudois	195
17.4	Liste des installations pour les cours d'eau de priorité 2 et 3 étudiés sommairement	196
17.4.1	Installations ne nécessitant pas d'assainissement	196
17.5	Mesures proposées	197
17.6	Potentiel de valorisation	199
17.7	Proportionnalité des coûts	201



PARTIE B - potentiel écologique

1. Introduction	1
2. Liste des cours d'eau à étudier	3
3. L'Avançon	4
3.1 Généralités	4
3.2 Tronçon extraction graviers Solalex - prise d'eau de la centrale de la Peuffeyre	5
3.3 Tronçon prise d'eau les Pars - centrale de la Peuffeyre	6
3.4 Tronçon prise d'eau centrale Sublin - embouchure dans le Rhône	7
4. La Grande Eau	8
4.1 Généralités	8
4.2 Tronçon gravière du Jorat - rampe en amont du pont de la Tine	8
4.3 Tronçon rampe du pont de la Tine - amont centrale des Farettes	12
4.4 Tronçon amont centrale des Farettes - embouchure Rhône	13
5. L'Hongrin	15
5.1 Généralités	15
5.2 Lac artificiel de l'Hongrin	16
5.3 Tronçon aval barrage de l'Hongrin - confluence Sarine	17
6. Le Rhône	19
6.1 Généralités	19
6.2 Tronçon Lavey-les-Bains - Lac Léman	19
7. La Sarine (partie VD)	23
7.1 Généralités	23
7.2 La Sarine vaudoise	23
8. La Broye (partie VD)	28
8.1 Généralités	28
8.2 Tronçon amont Moudon - lac de Morat	28
9. L'Arnon	31
9.1 Généralités	31
9.2 Tronçon dépotoir Fiez - embouchure lac de Neuchâtel	31
10. L'Orbe - la Thielle	33
10.1 Généralités	33
10.2 Tronçon résurgences Vallorbe - barrage des Moulinets	33
10.3 Tronçon barrage des Moulinets - lac de Neuchâtel	40
11. La Venoge	44
11.1 Généralités	44
11.2 Tronçon confluence Veyron - confluence Senoge	45
11.3 Tronçon confluence Senoge - Embouchure Léman	46
12. L'Aubonne	48
12.1 Généralités	48
12.2 Tronçon barrage - embouchure lac Léman	48



Annexes

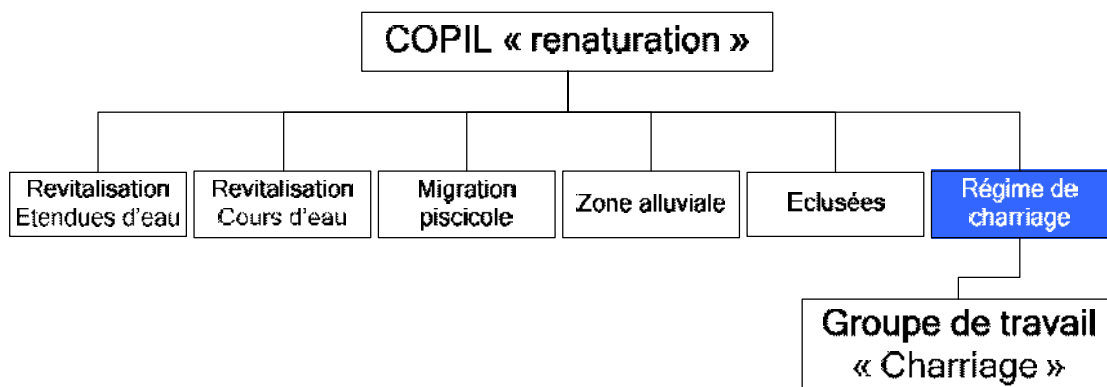
1. Carte des cours d'eau cible
2. Carte d'évaluation par cours d'eau
3. Carte d'évaluation synthétique pour tout le canton
4. Carte d'évaluation du potentiel écologique pour tout le canton
5. Profil de charriage par cours d'eau
6. Fiches de synthèse par installation
7. Analyse des cours d'eau de priorité 2 et 3
8. Liste des mesures envisageables par installation générant une atteinte
9. Evaluation des mesures par installation à assainir



Les bureaux BG, Hunziker Zarn et GREN ont été mandatés par la DGE – Ressources en eau et économie hydraulique (pilote) pour réaliser cette étude. Celles-ci s'intègrent dans les réflexions élargies pilotées et coordonnées, pour le canton de Vaud, par le COPIL « renaturation » (figure ci-dessous) composé des personnes suivantes:

M. Philippe Hohl	Pilote du groupe DGE – Chef de la division Ressources en eau et économie hydraulique
M. Frédéric Hofmann	DGE-Biodiversité et paysage – Conservateur de la pêche et des milieux aquatiques
M. Olivier Stauffer	DGE – Ingénieur de la division Ressources en eau et économie hydraulique
M. Bernard Perret	SAGR – Responsable du domaine du développement rural et des contributions
M. Philippe Vioget	DGE – Division protection des eaux
M. Guy Gilliland	SDT – Améliorations foncières
M. Jean Rosset	DGE-Forêt – Conservateur des forêts

L'étude spécifique de la thématique « assainissement du régime de charriage » a été menée et suivie par le groupe de travail « Charriage » (figure ci-dessous) formé de M. Frédéric Hofmann (DGE-DIRNA-BIODIV) et dirigé par M. Philippe Hohl et M. Olivier Stauffer (DGE-DIRNA-EAU), avec la collaboration de M. Antoine Magnollay, Mme Gabrielle Schwab Rouge (Bureau BG, mandataire pilote), M. Roni Hunziker, M. Vincent Haebler (Bureau Hunziker, Zarn & Partner, mandataire) et M. Stéphane Zbinden (Bureau GREN, mandataire).



Préambule – cadre du projet

1.1 Les planifications cantonales

Dans le cadre de la nouvelle loi sur l'eau (LEaux) et son ordonnance (OEaux), l'assainissement des cours d'eau atteints est défini comme une priorité.

Selon la nouvelle loi sur l'eau entrée en vigueur en début 2011, les cantons doivent revitaliser leurs eaux et planifier les mesures nécessaires à cette revitalisation (art. 38a LEaux). Pour mettre en application cet article de loi, la confédération a mandaté les cantons pour établir leur stratégie cantonale d'ici à fin 2014. Les planifications stratégiques sont subdivisées en quatre modules réalisés en parallèle, à savoir: les revitalisations de cours d'eau, les atteintes à la migration piscicole, les atteintes au régime de charriage, et les éclusées. Seul le module "charriage" est traité dans ce présent document.

Concernant le régime de charriage, les cours d'eau subissant des atteintes graves doivent être assainis (art. 43a LEaux, et art. 42a OEaux). Les atteintes répertoriées peuvent concerner la faune, la flore, le biotope, le régime hydrogéologique, ou encore la protection contre les crues. Les installations responsables de ces atteintes doivent être identifiées puis catégorisées comme suit: centrale hydroélectrique, dépotoir, aménagement de cours d'eau, site d'extraction de gravier.

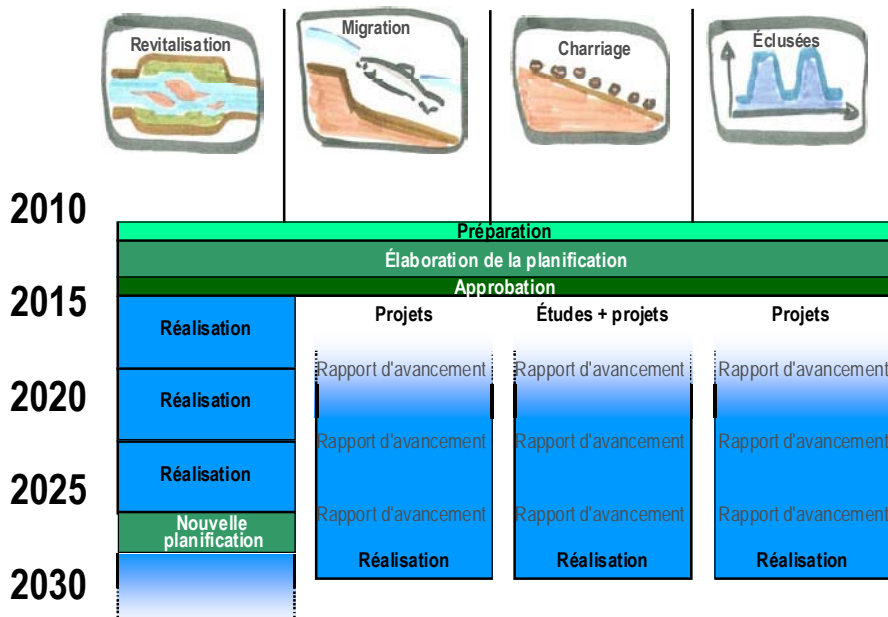


Figure 1: Planification cantonale - selon la LEaux¹

L'objectif de cette planification est donc de prioriser les mesures d'assainissement, de manière à revaloriser les milieux à fort potentiel écologique, en réduisant les atteintes fortes au cours d'eau, tout en gardant à l'esprit la proportionnalité des mesures proposées par rapport aux gains créés.

Deux types de projets sont distingués : les projets d'assainissement à la dégradation de la morphologie propre des cours d'eau, regroupés sous l'appellation « revitalisation » (traités dans le module "revitalisation"), et les projets d'assainissement des installations (traités dans les trois autres modules).

¹ Mandat planification Valais –K. Essyad et V. Sturm, BG ingénieurs Conseils, 2012



Les projets de revitalisation ayant été considérés comme prioritaire selon la planification cantonale seront en grande partie subventionnés par le fond de la confédération, qui alloue une enveloppe de 40 MCHF par an à cette problématique. Selon un premier diagnostic, l'objectif serait de revitaliser 4'000 km sur les 15'000 km de cours d'eau considérés comme en mauvais état sur l'ensemble de la Suisse, dans les 80 ans à venir.

Les projets d'assainissement des installations sont subventionnés par Swissgrid², et indirectement par les consommateurs d'électricité hydraulique, par le biais d'une taxe sur le kWh. L'enveloppe financière serait de l'ordre de quelques 50 MCHF par an.

Ainsi ces planifications cantonales sont bien délimitées dans le temps et dans leur cadre de financement – quoique les limites exactes et les contours projets ne soient pas encore clairement établis.

² Gestionnaire du réseau de transport d'électricité en Suisse



2. Introduction

2.1 Objectif du mandat

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la planification stratégique de l'assainissement du régime de charriage du canton de Vaud, qui elle fait partie des planifications renaturation (voir chapitre 1).

Le présent rapport correspond au rapport final des planifications "assainissement aux atteintes au régime de charriage" pour le canton de Vaud, défini dans le cahier des charges établi en juin 2014. Il se base en grande partie sur le rapport intermédiaire réalisé en décembre 2013. Les objectifs de l'étude sont les suivants :

- Etablir l'état de référence du régime de charriage actuel du cours d'eau : la charge solide, la capacité de transport. → § 7.3, 8.3, 9.3 et suivants
- Déterminer le régime naturel de charriage du cours d'eau. → § 7.3, 8.3, 9.3 et suivants
- Qualifier et quantifier de l'effet des installations du cours d'eau. § 7.3, 8.3, 9.3 et suivants et § 7.4, 8.4 et suivants
- Proposer de mesures d'assainissement adéquates. → § 7.10, 8.10 et suivants.

Ce rapport est structuré sur la base de l'aide à l'exécution de l'OFEV³, et vise à répondre aux questions qui y sont explicités.

2.2 Description du groupement - charriage

Le projet de planification des revitalisations du module charriage est structuré comme suit :

- Les bureaux BG Ingénieurs Conseils (pilote) et Hunziker, Zarn & Partner (HZP) sont en charge de l'analyse sur le charriage en tant que tel. Leurs résultats sont décrits dans la partie A du rapport.

2.3 Description des partenariats

2.3.1 Bureau de biologiste

Le bureau GRE^N, dans le cadre d'un mandat indépendant établit l'évaluation du potentiel écologique, et l'atteinte faune flore. Le potentiel de valorisation est documenté dans les fiches d'évaluation mis à l'annexe 9. Les principaux résultats sont résumés comme suit :

- Potentiel écologique → § 7.8, 8.8 et suivants
- Atteinte faune / flore → § 7.9, 8.9 et suivants

Les résultats complets sont décrits dans la partie B du rapport. Les introductions décrivant les bassins versants des cours d'eau étudiés (§ 7.1, 8.1 et suivant) ont été reprises du rapport partie B.

³ « Un module de l'aide à l'exécution Renaturation des eaux », OFEV, 2012



2.3.2 Autres synergies

Dans le but d'identifier les synergies, des rencontres en bilatérales ont été réalisées avec une personne référente sur les autres modules d'assainissement. A savoir :

- Eclusée: rencontre en bilatéral BG – e-Dric
- Migration piscicole: rencontre entre BG et Frédéric Hoffman (DGE EAU)
- Revitalisation: rencontre entre BG et Olivier Stauffer (DGE EAU)

Le service cantonal des eaux souterraines a été rencontré pour les questions d'interaction entre le charriage et les nappes souterraines, par l'intermédiaire de Madame Anne Pichon.

Des interviews des chefs de secteurs ont été menées lorsque le besoin était identifié, entre autres pour les questions de protections contre les crues et de gestion des dépotoirs et correction fluviales.

2.3.3 Consultation des exploitants

Les exploitants ont également été consultés à plusieurs reprises, pour discuter des variantes étudiées et valoriser la connaissance technique sur leur exploitation hydroélectrique.

La première rencontre avait pour objet de présenter les conclusions des atteintes au cours d'eau causées par les installations concernées. Ces rencontres ont eu lieu en début juin, à savoir :

- Romande Energie le 3.6.2014, 08:15
- VO Energie le 3.6.2014, 09:45
- FMHL, le 12.6.2014, 09:00
- Groupe E et canton de Fribourg, le 12.06.2014, 10:30

Sur cette base, les mandataires ont réfléchi de leur côté aux pistes de mesure, en interviewant en bilatéral les exploitants si besoin concernant les aspects techniques et de fonctionnement des installations. Les propositions de mesures ont été transmises pour consultation le 5 septembre à chaque exploitant.

Chaque exploitant a été rencontré à une 2^e occasion. Cette séance avait pour objet de présenter et discuter des pistes de mesures proposées. Ainsi chaque exploitant a pu proposer des adaptations ou des sous-variantes aux mesures envisagées par les mandataires. Ces rencontres ont eu lieu entre mi et fin septembre, à savoir :

- Romande Energie le 11.09.2014
- Alpic (représentant FMHL), le 12.09.2014
- SEFA, le 17.09.2014
- Groupe E, le 19.09.2014
- VO Energie, le 23.09.2014

Les rapports finaux ont été adaptés suite à ces rencontres. La version définitive a été envoyée pour consultation le 26.09.2014, en invitant les exploitants à communiquer les éventuelles corrections supplémentaires par retour de courrier.

Ainsi les différents partenaires du projet ont pu être intégrés à la démarche, pour aboutir à ce présent rapport.

3. Priorisation des cours d'eau cibles

3.1 Examen préliminaire

Dans un premier temps, toutes les installations pouvant perturber le régime de charriage ont été analysées par un groupe de travail interdisciplinaire de la direction générale de l'environnement (DGE), composé des personnes suivantes :

- d'ingénieurs de la division Ressource en eau et économie hydraulique (DGE-EAU),
- des voyers des eaux assurant l'entretien des cours d'eau (DGE-EAU),
- du conservateur de la pêche et des gardes-pêche (DGE-BIODIV),
- ainsi que de représentants de la division Protection des eaux (DGE-PRE).

Le diagnostic préliminaire, basé sur les plans à disposition, a mis en évidence les éléments suivants:

- Au total, 87 dépotoirs ont été recensés. Leur mode d'exploitation, leur volume d'extraction, leur rôle ont été analysés en détails. Seules les installations ayant un impact probable sur le régime de charriage ont été conservées pour la suite de l'étude.
- 7 barrages sont présents sur le territoire cantonal
- 7 points de prélèvements sont exploités (extraction de graviers)

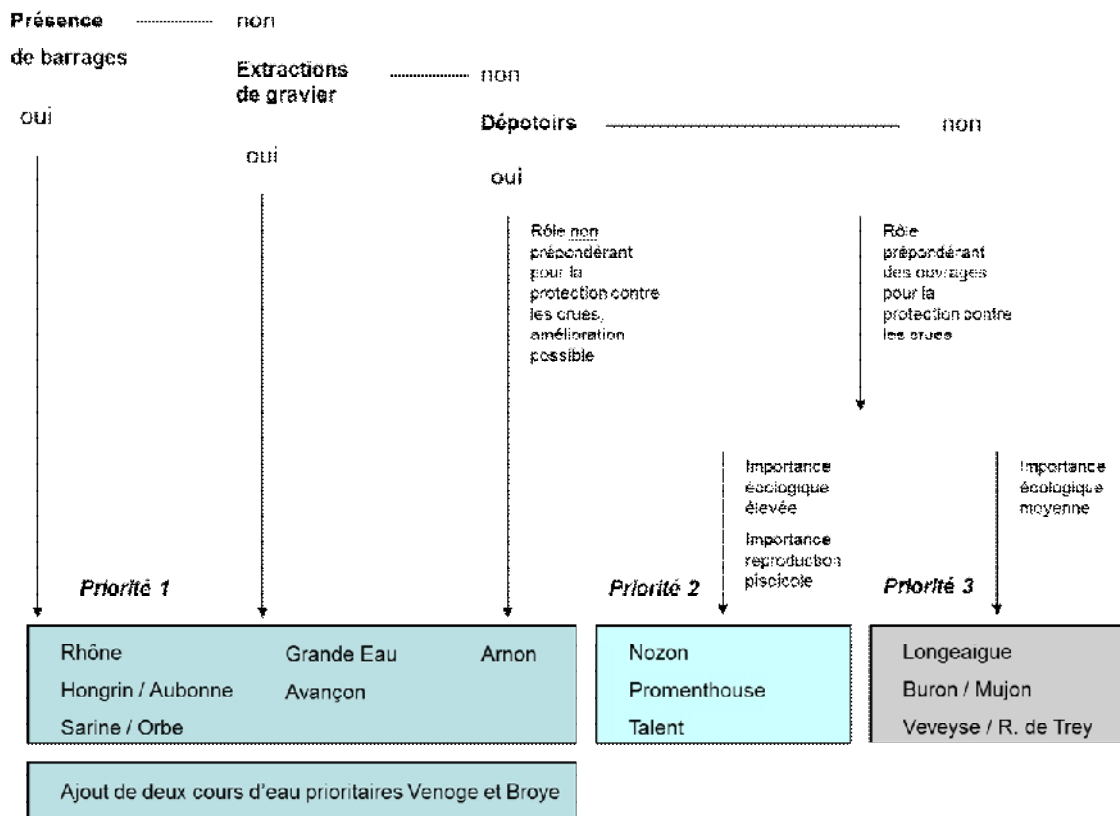


Figure 2: Schéma de la méthodologie appliquée pour identifier les priorités



Sur la base de ce qui précède, et compte tenu des enjeux liés à la protection contre les crues (événements d'inondation, gestion des matériaux, ouvrage de protection), la valeur écologique (réseau écologique cantonal, importance dans le réseau hydrographique), ainsi que l'importance pour la reproduction piscicole (inventaire piscicole actualisé, inventaire de macrofaune benthique, granulométrie du fonds du lit, taux de reproduction naturelle), la DGE a choisi de retenir dans ce module de planification 3 catégories de cours d'eau avec un régime de charriage potentiellement perturbé :

- **Priorité 1** : Cours d'eau accueillant des installations d'importance. L'ensemble des barrages et des sites d'extraction susceptibles de perturber significativement le régime de charriage ont été pris en compte. La Broye et la Venoge font partie des cours d'eau prioritaires au niveau cantonal et en vue de leur gestion et des futurs projets de revitalisation, un besoin de connaissances détaillées complémentaires a été jugé indispensable. Concernant l'Arnon, les dépotoirs ne remplissent pas de rôles de protection contre les crues mais ont potentiellement un impact négatif sur la reproduction piscicole.
- **Priorité 2** : Cours d'eau en partie canalisés accueillant des dépotoirs susceptibles de perturber le régime de charriage. Besoin de connaissances ponctuelles complémentaires sur le charriage. Impact négatif probable du charriage pour la reproduction piscicole. La Promenthouse, le Talent et le Nozon (état après travaux de revitalisation) présentent une importance écologique élevée.
- **Priorité 3** : Cours d'eau en partie canalisés accueillant des dépotoirs pouvant modérément perturber le régime de charriage. Besoin de connaissances ponctuelles sur le charriage.

Il a été décidé d'étudier en détail les cours d'eau de catégorie 1. Ces derniers présentent potentiellement des atteintes graves. Le solde des cours d'eau, à savoir les priorités 2 et 3 sont traités succinctement et font l'objet de fiches descriptives synthétiques, annexées au présent rapport. Des informations sur le charriage sont récoltées et des mesures simples d'assainissement sont définies afin d'améliorer la situation malgré l'absence d'obligation d'assainir.

3.2 Périmètre du projet

Un groupe interdisciplinaire du canton a catégorisé les cours d'eau en 3 niveaux de priorité en fonction de la perturbation du régime de charriage attendu. Cette étude traite en détail des cours d'eau de première priorité (voir liste ci-dessous). Les cours d'eau de priorité 2 et 3 sont documentés à l'aide de fiches synthétiques, mises en annexe (annexe 7).

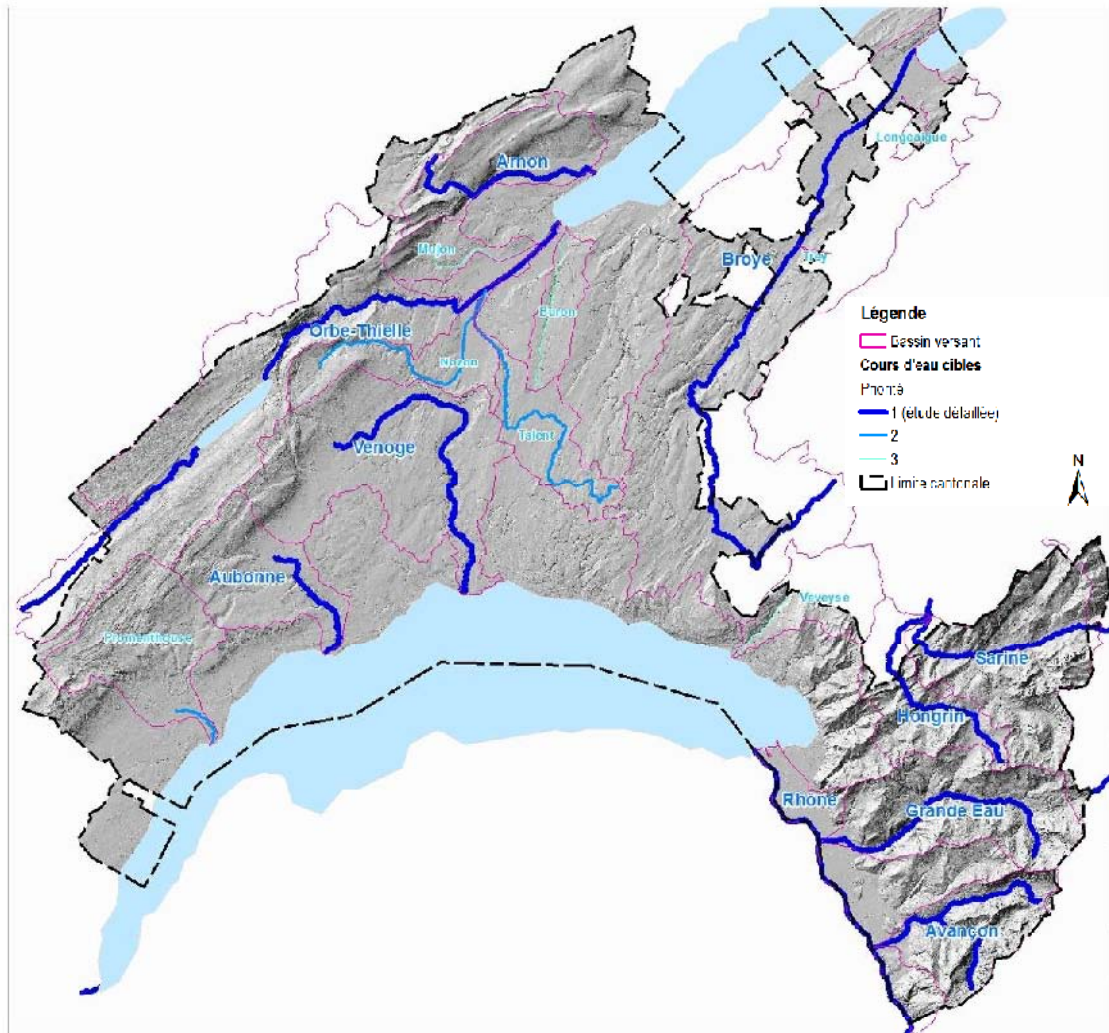


Figure 3: carte globale des cours d'eau cibles et les bassins versants associés



3.2.1 Cours d'eau de priorité 1

Les cours d'eau de 1^{ère} priorité sont les suivants:

1. Avançon (y compris l'Avançon de Nant et l'Avançon d'Anzeinde)
2. Grande Eau
3. Rhône (partie VD)
4. Hongrin (partie VD)
5. Broye (partie VD)
6. Venoge
7. Orbe-Thielle
8. Arnon
9. Sarine
10. Aubonne

3.2.2 Cours d'eau de priorité 2 et 3

Les cours d'eau retenus de 2^{ème} priorité sont les suivants :

11. Nozon
12. Promenthouse
13. Talent

Les cours d'eau identifiés comme de priorité 3 sont les suivants:

14. Longeaigue
15. Mujon
16. Veveyse
17. Ruisseau du Trey
18. Buron



**PARTIE A – planification stratégique de revitalisation des cours
d'eau
module charriage**

4. Rappel théorique

4.1 Qu'est-ce que le charriage ?

Le transport de sédiments dans un cours d'eau peut se faire de différentes manières. Le premier mécanisme de transport est le transport en suspension. Si les particules ne sont jamais en contact avec le sol, on parle alors de suspension intrinsèque. Ce mécanisme concerne les particules très fines (jusqu'à un diamètre de 1mm). Si les particules touchent très occasionnellement le fond, et se déplacent par bonds successifs, on parle de transport par suspension. Si les particules sont principalement en contact avec le sol, et se déplacent en roulant ou par des petits bonds à proximité du fond, on parle alors de transport par charriage (cf. Figure 4a). Dans notre cas, on s'intéresse au transport qui vient modifier la morphologie du cours d'eau, soit au charriage (diamètre moyen à partir de 1cm).

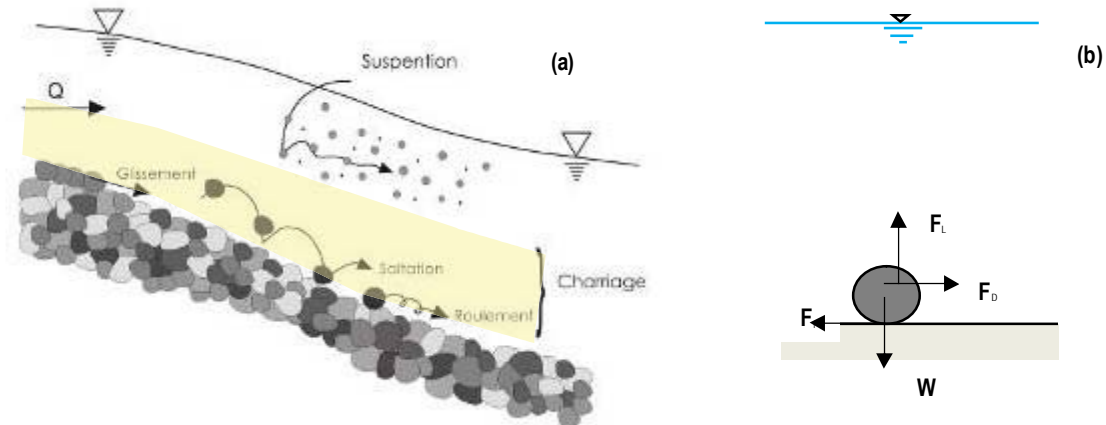


Figure 4: (a) Schéma des différents types de transport solide, (b) description de forces en jeu

La mise en mouvement peut être résumée par différentes approches. Si on regarde l'équilibre des forces qui s'exercent sur une particule, on voit qu'il faut que l'écoulement génère une force d'entraînement assez grande pour mettre en mouvement une particule (cf. Figure 4b). Cette mise en mouvement par l'écoulement peut être interprétée comme une force de frottement, c'est l'approche de Shields-Yalin. Les équations de Meyer-Peter Müller et de Smart&Jäggi s'appuient sur cette approche. Le critère de Shields θ_{cr} (tension adimensionnelle de frottement) définit que les forces tractrices (frottement) doivent être supérieures aux poids spécifiques. Ce critère varie entre 0.03 et 0.06 en fonction des conditions hydrauliques et de sédiment, en général on considère cette variable égale à 0.047.

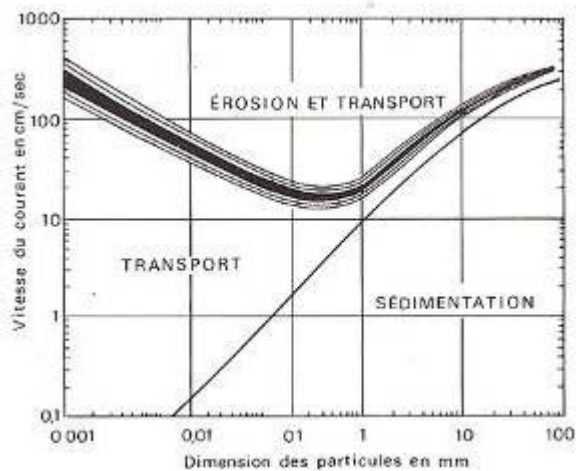


Figure 5: Diagramme de Hjulstrom décrivant les diamètres transportés en fonction des vitesses en distinguant les conditions de sédimentation de transport et d'érosion

Cette mise en mouvement peut aussi être interprétée par un bilan d'énergie : l'énergie cinétique de l'écoulement génère une vitesse de déplacement au contact de la particule. Ainsi comme le montre le diagramme de Hjulstrom, jusqu'à une certaine valeur critique, le matériau entraîné par l'amont aura tendance à sédimenter. Au-delà d'une certaine vitesse, l'écoulement aura tendance à éroder les matériaux fixes, augmentant la charge de matériaux transportés vers l'aval. Entre ces deux valeurs, les matériaux présents en amont sont transportés en même quantité à l'aval, c'est la zone de transport.

4.2 Fonction d'équilibre –régime de charriage

En observant la nature, on constate que différentes morphologies de lit de cours d'eau existent. Dans certains contextes, le lit sera en tresse, à d'autres endroits, il se développera en méandre. Notons que de telles morphologies se développent lorsque la place est suffisante, et le cours d'eau pas trop « jeune » géomorphologiquement parlant (a priori pas réalisé sur les torrents raides).

A partir de ce constat, différents théoriciens ont voulu décrire le cours d'eau dans l'idée de pouvoir prédire ces fonctions d'équilibre. Cet état d'équilibre est dépendant de 7 paramètres, dont quatre sont variables : le débit liquide Q , le débit solide Q_s , la vitesse de frottement critique u_{cr} , et le diamètre moyen des grains. L'état d'équilibre résultant donne une largeur B_r , une hauteur d'eau h_r , et une pente J_r .

En thermodynamique, un état d'équilibre est atteint lorsque qu'un minimum d'énergie est utilisé. Le cours d'eau aura donc tendance à créer une morphologie permettant de minimiser le nombre de Froude et la vitesse d'écoulement.

Le diagramme de Yalin et Da Silva permet de schématiser les différents états d'équilibre, en fonction de deux paramètres adimensionnels.

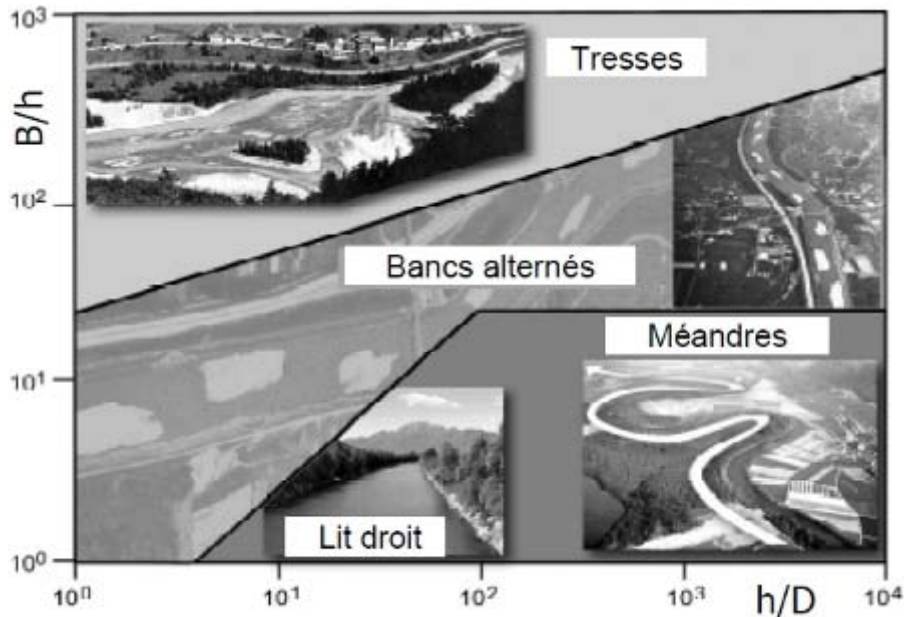


Figure 6: Diagramme de Yalin&Da Silva décrivant les morphologies types et leurs conditions de formation⁴

Cette approche de fonction d'équilibre est intéressante pour définir un état naturel ou idéal des cours d'eau étudiés. C'est une référence utile pour illustrer et mesurer l'écart entre cette référence et l'état actuel.

4.3 Régime de charriage et revitalisation

Le régime de charriage est une composante importante d'un cours d'eau naturel. C'est le moteur principal d'une morphologie fluviale dynamique. Dans un contexte idéal, sans limite spatiale et temporelle, le dynamisme morphologique permet au cours d'eau d'atteindre un état d'équilibre (dynamique) et de développer sa morphologie propre. Dans notre contexte helvétique, où la plupart des cours d'eau a été corrigée, ce genre de morphologie naturelle a majoritairement disparu. Le retour à un état naturel est difficilement réalisable étant donné la place disponible, et les enjeux sécuritaires qui en découlent, mais le retour à un état morphologique plus naturel est par contre réaliste et souhaitable.

Un transport solide altéré crée des atteintes à la morphologie du cours d'eau, et empêche le bon fonctionnement des écosystèmes riverains (milieux pionniers) et aquatiques (faune benthique et piscicole).

Les zones riveraines aux cours d'eau sont souvent riches en biodiversité florale. La succession végétale type d'une zone alluviale est fortement dépendante de cette dynamique, que ce soit par les phénomènes d'inondations fréquentes (pour les forêts à bois tendre), et par les phénomènes de rajeunissement perpétuel des milieux pionniers issus des phénomènes de mobilisations du substrat.

⁴ Morphologie fluviale J.L. Boillat, 2012, Cours CAS revitalisation module 1.2.4

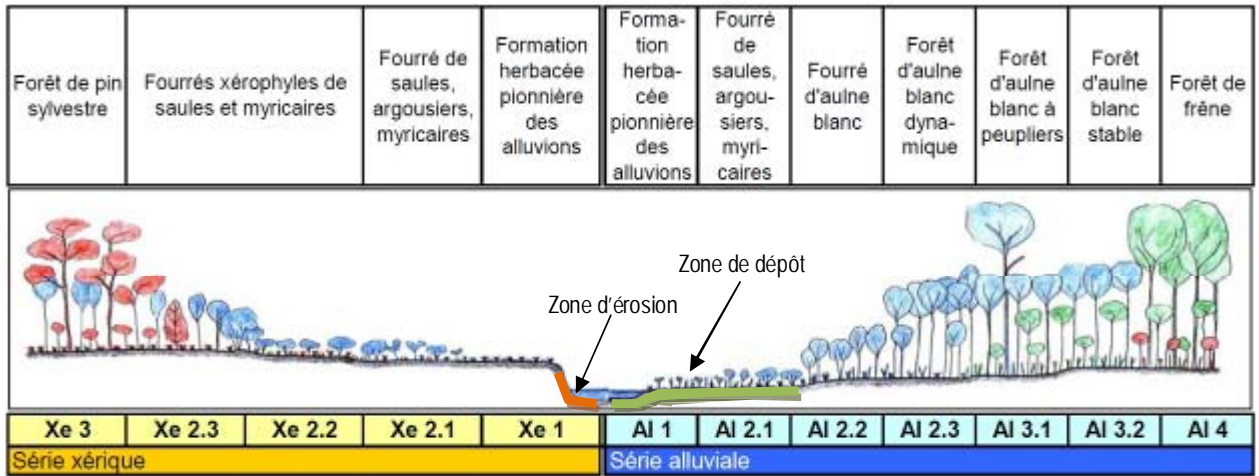


Figure 7: Profil type de succession de végétation et dynamique alluviale (5)

La faune benthique et la faune piscicole sont aussi bénéficiaires de cette dynamique : la présence d'un fond mobile génère des variations de conditions hydrauliques favorables à leur développement. En particulier pour les poissons de rivière ont besoin d'un substrat fin (sable grossier à gravier) non colmaté, pour permettre la croissance des alevins dans les secteurs de frayères.

La morphologie d'un cours d'eau est principalement formée par les crues de temps de retour 2-5ans, appelées crues morphogènes. Au-dessus, leur occurrence devient trop rare pour réellement impacter le cours d'eau (sauf pour les torrents). Au-dessous d'une certaine valeur de débit, aucun charriage ne se fait (autour d'un débit Q50j-100j : débit de la courbe de débits classé, dépassé 50 jours-100 jours par an).

Dans la même idée, les sédiments impactant réellement les milieux naturelles sont les sédiments transportés par charriage. Les sédiments trop grossiers sont rarement déplacés, mais génèrent une diversité hydraulique importante. Par contre en dessous d'un certain diamètre (sable très fin – limon), leur présence peut même être préjudiciable, par des phénomènes de colmatage en fin de crue.

⁵ Suivi environnemental des cours d'eau , C. Rouvez, Service conseil zone alluviale, 2013, Cours CAS revitalisation module 2.4.4

4.4 Formules de transport solide

De manière générale, la caractérisation du transport solide pourrait se diviser en deux étapes : l'identification de la capacité stationnelle (par une équation semi-empirique), puis le transit de l'amont à l'aval (par les lois de l'hydrodynamique). Le transit vise à savoir si un en point au temps $t=i$, il y a déposition, érosion ou transport, du volume entrant.

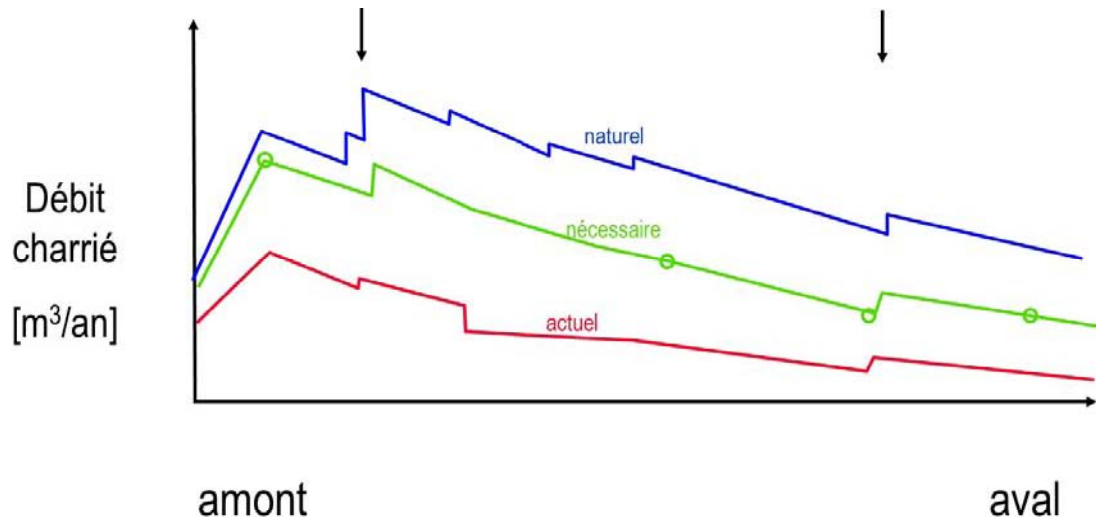


Figure 8: Bilan sédimentaire sur un cours d'eau - correspondant au résultat type attendu par le mandat⁶

Le résultat attendu par l'OFEV est présenté ci-dessus. On distingue trois états : l'état naturel, l'état actuel et l'état nécessaire. L'état naturel fait référence à la fonction de régime (équilibre naturel du cours d'eau s'il n'est pas contraint), et l'état nécessaire fait référence à un état futur intermédiaire pour lequel le transit sédimentaire serait rétabli à un niveau plus naturel (permettant de renouveler les bancs de gravier présents).

4.4.1 Capacité de transport - méthodes préconisées par l'OFEV

Dans le contexte des planifications de charriage, l'analyse est faite à grande échelle. L'objectif est de diagnostiquer les éléments suivants :

- Globalement quel est le bilan de charriage annuel du cours d'eau - à l'état actuel et pour un état idéal (ou naturel) ?
- Les installations en place génèrent-elles une atteinte ou non au régime de charriage ? Si oui, de quel ordre de grandeur

L'analyse est faite à l'échelle cantonale, sur un laps de temps court, avec à priori peu de données à disposition. Ainsi la caractérisation du charriage ne se base pas sur une modélisation détaillée du transport solide, mais bien un diagnostic du bilan de charriage à l'échelle du bassin versant

Deux équations de base ont été proposées pour caractériser la capacité de transport solide : Meyer-Peter Müller (1948) et Smart&Jäggi (1983).

Les conditions hydrauliques sont caractérisées par un calcul de hauteur uniforme à l'aide de la formule de Strickler (1923), $v=f(h,J,K_s)$.

⁶ Assainissement du régime de charriage planification stratégique, OFEV 2012, - www.bafu.admin.ch/uv-1226-f
A noter que le débit charrié actuel n'est pas nécessairement inférieur au débit naturel ou nécessaire



Une étape importante de l'analyse consiste à définir des tronçons plus ou moins homogènes, lors de visites sur le terrain. Pour définir un tronçon homogène, on se base sur la largeur, la pente, et la granulométrie du lit observé sur site.

Pour la description des équations de Meyer-Peter Müller et de Smart&Jäggi, nous nous référons au rapport d'aide de mise en œuvre réalisée par la confédération⁷.

⁷ Abschätzung der mittleren jährlichen Geschiebelieferung in Vorfluter, Praxishilfe, HZP & Lehman Hydrologie-Wasserbau, 2013

5. Méthodologie

Se basant sur la publication Assainissement du régime de charriage – Planification stratégique de l'OFEV (2012), les mandataires ont adapté la méthodologie proposée et ont défini la démarche suivante pour la réalisation du mandat :

5.1 Démarche générale

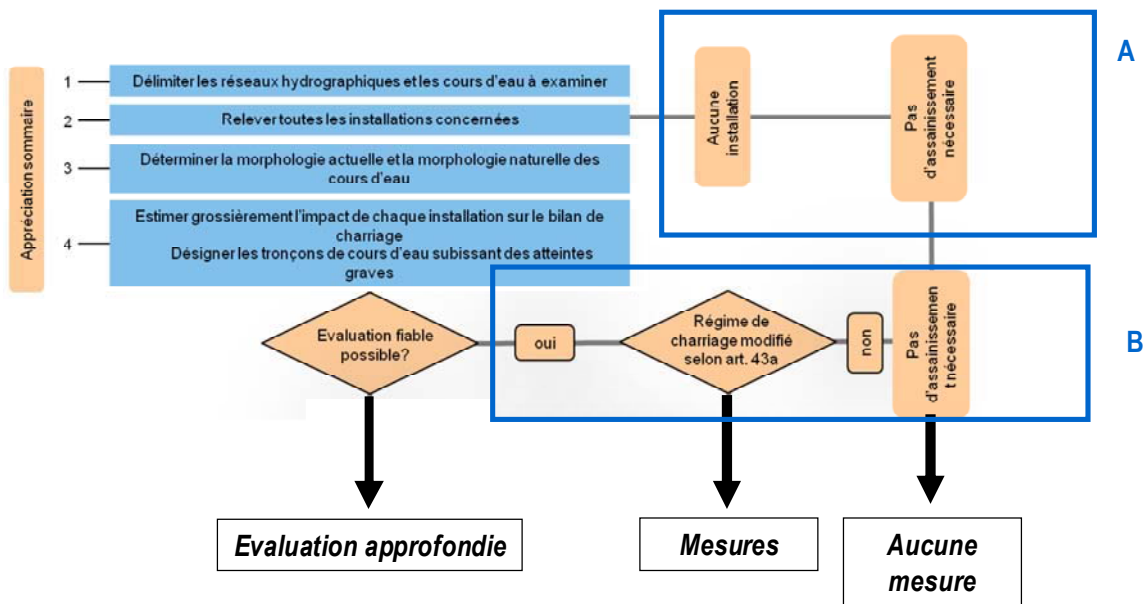


Figure 9: extrait de la méthodologie OFEV concernant le déroulement de l'étude

Les cours d'eau cibles ayant été définis au préalable par le canton, la première étape du mandat consiste à identifier les installations potentiellement significatives (étape 2 de la Figure 9). Le détail de cette étape est documenté au paragraphe 5.2.

Sur cette base, une appréciation sommaire de tout le linéaire du cours d'eau est faite. Pour l'analyse sommaire, une catégorisation des atteintes a été proposée afin de schématiser les atteintes et les réponses du cours d'eau. Cette démarche est documentée au paragraphe 5.3.

Le linéaire du cours d'eau est découpé en tronçon. Si un tronçon ne comprend aucune installations potentiellement significatives, et que son débit de charriage n'est pas perturbé par une installation se trouvant en amont, aucun assainissement n'est nécessaire (chemin A de la Figure 9).

Si l'appréciation sommaire est dite fiable (chemin B de la Figure 9), le tronçon n'est pas étudié plus en détail, et l'on peut directement passer à l'étape 10, à savoir la détermination de la nécessité d'assainissement ou non de l'installation. Si les conclusions de l'appréciation sommaire n'est pas explicite, une évaluation approfondie est menée sur le tronçon. Les installations clés et leur impact sur le régime de charriage sont de toute façon étudiés de manière approfondie.



5.2 Relevé des installations potentiellement significatives

Les installations ont été dans un premier temps classées dans deux groupes : potentiellement significatives et non significatives.

Une installation est définie comme potentiellement significative lorsqu'elle peut influencer à long terme le régime de charriage du cours d'eau cible. Les scénarios suivants sont possibles :

- Un débit est soustrait au cours d'eau, sur une courte ou longue distance (exemple : centrale hydroélectrique avec dérivation)
- Des matériaux sont soustraits au cours d'eau (exemples : extraction de gravier, dépotoir)
- Les matériaux charriés sont retenus temporairement par une installation, mais peuvent la traverser lors de purges ou d'hautes-eaux (exemple : prise d'eau avec barrage)
- Les matériaux charriés sont piégés à long terme par une installation (exemple : lac d'accumulation)
- Les apports naturels dans les affluents du cours d'eau cible sont réduits (exemple : correction des torrents latéraux réduisant les processus d'érosion)
- Les éventuels apports d'eau d'un bassin-versant externe
- Un rejet d'eau claire, qui peut rendre la granulométrie plus grossière

Tous les types d'installations ayant un rapport avec les cours d'eau ont été pris en compte pour déterminer si elles sont potentiellement significatives ou non. Les types suivants d'installations ont été jugés comme potentiellement significatifs, qu'elles se situent sur le cours d'eau cible ou sur un de ses affluents :

- Centrales hydroélectriques (au fil de l'eau ou à accumulation)
- Dépotoirs à alluvions
- Extraction de gravier (à titre de protection contre les crues ou à fins commerciales)
- Aménagement de cours d'eau visant la stabilisation de versants entiers (correction de torrent, ...)
- Aménagement de cours d'eau sur un long linéaire

Les types d'installation suivants ont été jugés comme étant non significatifs :

- Aménagements de cours d'eau ponctuels ou sur un linéaire limité (seuils, passage de pont, ...)
- Prises d'eau pour l'irrigation

Dans le cas où une installation ne peut être classée dans un des types décrit ci-dessus, elle est considérée comme potentiellement significative.

Les installations jugées non significatives n'ont dès lors plus été considérées dans la suite du mandat.

5.3 Influence des installations sur le bilan sédimentaire

Une installation peut influencer de différentes manières le bilan sédimentaire. Selon la méthodologie développée pour ce mandat, l'influence de ces installations sur le charriage a été regroupée en trois types décrits ci-dessous. Une installation peut avoir un effet sur plusieurs de ces paramètres en même temps.

1. L'influence sur la quantité de matériau disponible dans le lit (exemple : prélèvement mécanique ou arrêt de matériaux)
2. L'influence sur le débit du cours d'eau (exemple : turbinage hydro-électrique sur un tronçon)
3. L'influence sur la géométrie du lit (exemple : modification de pente par des seuils, ou rétrécissement de la largeur).

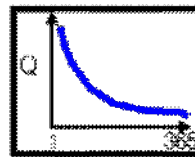


Figure 10: Icônes illustrant les différents paramètres impactant le charriage

Dans le but de trier les installations significatives de celles qui ne le sont pas (car trop petites pour générer un impact sur le charriage), des critères éliminatoires ont été définis. Une installation est retenue comme potentiellement significative, lorsqu'elle entre dans ces gammes de valeurs:

- Prélèvement en eau : de manière générale si le débit prélevé $> 0.5 \times Q_{50j}$ l'impact de l'installation est vérifiée, par l'évaluation approfondie. Effectivement, le charriage s'active à partir d'une vitesse critique. Dans la littérature, il est admis que cette mise en mouvement des sédiments commence pour le débit dépassé 50 par an. Si une installation a un débit équipé nettement inférieur à ce critère, on considère que l'installation n'a pas d'influence significative. Le cas échéant, elle est évaluée.
- Prélèvement en sédiment: lorsque le diamètre caractéristique moyen est supérieur à 1mm (dépotoir, ou extraction); ou que l'obstacle semble significatif (centrale hydroélectrique), l'impact de l'installation est évalué dans la mesure où les volumes prélevés sont potentiellement significatifs. Ce critère est utilisé implicitement par le choix des formules empiriques de transport solide. Effectivement les formules utilisées se focalisent sur la part "charriage" et non le transport solide total (charriage + suspension). C'est par ailleurs également à partir de la granulométrie type sable que les sédiments sont utiles et constitutifs des habitats pour la faune et la flore.

5.3.1 Déficit en sédiment

Un déficit en sédiment entraîne simplement une réduction du volume transité de l'amont vers l'aval. Il est typiquement provoqué par une extraction de gravier, un dépotoir ou encore par le barrage d'une usine hydroélectrique. Ce phénomène peut induire un déficit de matériau sur le tronçon aval, pouvant elle-même provoquer la formation d'une couche de pavage ou alors une érosion du lit.

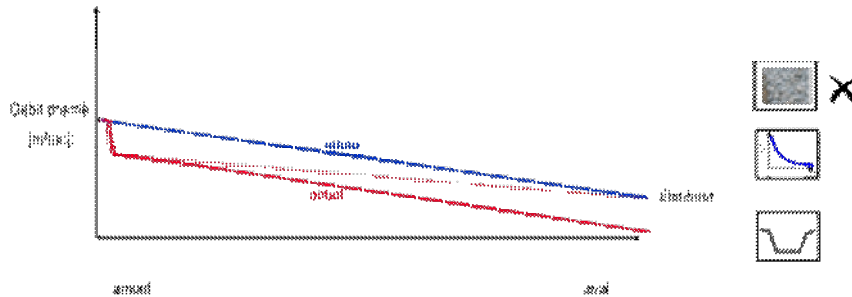


Figure 11 Diagramme de transport⁸ typique d'un déficit en sédiment

5.3.2 Prélèvement en eau et rejet

Un prélèvement en eau a pour effet une réduction de la capacité de transport sur le tronçon.

C'est la situation typique des prélèvements des usines électriques. Dans la plupart des cas, pour une installation au fil de l'eau, le débit équipé est bien inférieur au débit générant le début du transport des matériaux, l'installation est par conséquent transparente au charriage. Lors d'hautes-eaux, la centrale est mise hors service pour préserver les installations et le prélèvement désactivé. Dans un tel cas, la centrale est également transparente pour le charriage.

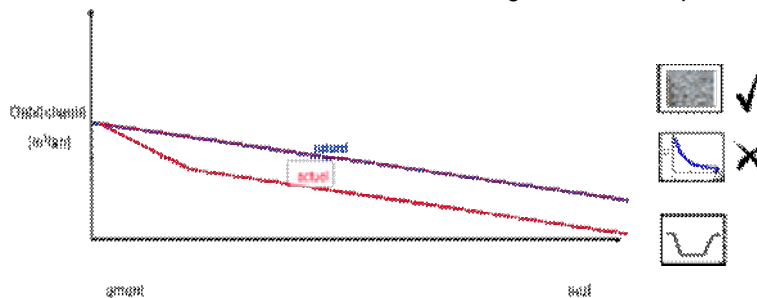


Figure 12 Diagramme de transport typique d'un prélèvement en eau

Un rejet d'eau est la plupart du temps réalisé avec de l'eau claire (ne contient pas de sédiments), qui a été prélevée en amont. Si le débit aval dépasse le débit du début du transport, un déficit en matériau est provoqué et une érosion ou une granulométrie plus grossière (couche de pavage) peuvent en être le résultat.

Dans certains cas, le débit provient tout ou en partie d'un bassin-versant externe.

⁸ Diagramme de transport : sur l'axe des "X", on voit la position kilométrique entre la source et la confluence, et l'axe des "y" représente le bilan annuel de sédiment de type "charriage" transitant dans la section; ainsi on voit l'évolution du charriage de l'amont à l'aval du cours d'eau

5.3.3 Modification de la géométrie

Une chenalisation (qui correspond à la modification de la géométrie la plus typique) entraîne une augmentation générale de la capacité de transport. Le résultat est le plus souvent une granulométrie plus grossière est un manque de structure.

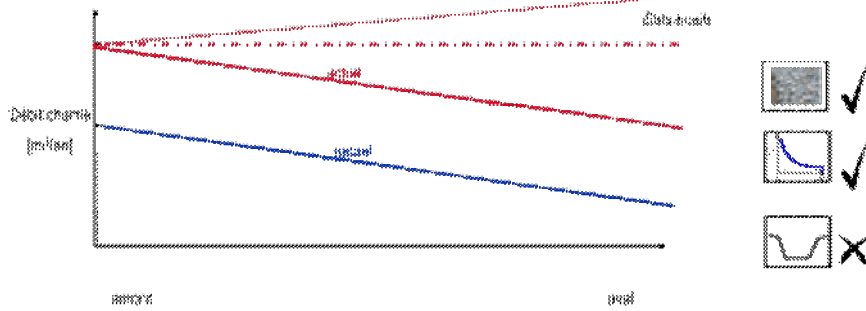


Figure 13 Diagramme de transport typique d'une chenalisation

Les ouvrages de types seuils ont un impact limité dans le temps sur le charriage, sauf s'ils permettent la stabilisation d'un versant entier (cas rencontré souvent dans les corrections de torrents) ou s'ils préviennent une érosion régressive dans le cas d'une rupture de pente.

5.4 Type d'installations

Par installation, la confédération entend les différents types d'ouvrages installés dans le lit du cours d'eau pouvant influencer le charriage. Ci-dessous sont listés les types principaux d'installations sur un cours d'eau et leur influence possible sur le régime de charriage.

5.4.1 Centrales hydroélectriques

Les installations hydro-électriques sur cours d'eau peuvent être de deux types : les installations avec lac d'accumulation, et les installations au fil de l'eau.

A priori, la présence d'un lac d'accumulation coupe le cours d'eau en deux tronçons, entre lesquels aucun transport de matériau n'a lieu, formant ainsi deux bassins sédimentologiques distincts. L'ouverture des vannes en crue et les purges peuvent tout de même générer un transit amont-aval de l'installation. Par ailleurs, une partie du débit du cours d'eau est turbinée puis restituée dans le tronçon aval. Le tronçon à débit résiduel subit également une atteinte sur son hydrologie pouvant impacter la capacité de transport. Une installation à accumulation typique du canton de Vaud est le lac de l'Hongrin.



Figure 14: gauche: installation des Grands Moulins (71-502, Venoge), droite: barrage du SEFA (17-506, Aubonne)

Une installation au fil de l'eau peut influencer de deux manières le charriage : premièrement la géométrie au droit de l'installation peut localement faire déposer les matériaux transportés (réduction de pente localement ou élargissement du lit). Deuxièmement, le débit du tronçon à débit résiduel peut diminuer la capacité de charriage. Dans la plupart des cas, la centrale est mise hors service lors des hautes eaux, c'est-à-dire lorsque le transport de matériaux a lieu, devenant ainsi transparente au charriage. Lorsque le critère de débit de mise hors service de l'installation n'est pas connu, et qu'il s'avère pertinent, il est fixé à 5 fois le débit équipé. La fréquence des purges est importante pour la détermination d'une éventuelle atteinte.

5.4.2 Dépotoir

Un dépotoir à alluvion est en général construit dans le cadre des mesures de protection contre les crues dans le but de réduire la quantité de matériaux transportés et ainsi éviter un atterrissement en aval. L'efficacité d'un tel ouvrage n'est maintenue que si le volume stocké est vidé régulièrement, et ce avant que l'ouvrage ne soit plein.



Figure 15 : Dépotoir sur la Saubrettaz en amont de Gimel (affluent de l'Aubonne)

Sur les principaux ouvrages cantonaux, le volume d'évacuation annuel moyen est connu. L'installation est ainsi prise en compte au moyen d'une simple soustraction de sédiments en un point donné. Un éventuel tri granulométrique est pris en compte sur la base des visites de terrain et documenté dans les commentaires sur l'impact des installations.

5.4.3 Gravière / extraction de gravier

Une extraction de gravier peut avoir un but de protection contre les crues (identique à un dépotoir), un but commercial (gain de matériau de construction), le plus souvent les deux objectifs combinés.

Les gravières ont un impact clair sur le régime de charriage : une diminution mécanique de la quantité de matériau disponible et potentiellement un tri granulométrique. Les informations sur la gestion de la gravière permet d'affiner l'analyse si besoin (tris de sédiments sur place, endroit du prélèvement,...). Là aussi, l'installation est prise en compte dans les bilans de charriage comme une simple soustraction du volume annuel moyen, issu des statistiques cantonales.



Figure 16: Extraction M1 et M5 - Sarine

5.4.4 Aménagement de cours d'eau

Les aménagements de cours d'eau comprennent tous les travaux de corrections sur les cours d'eau. Il s'agit la plupart du temps d'aménagements réalisés pour assurer la protection contre les crues, gagner de la surface agricole ou à bâtir ou encore réduire les zones marécageuses et les maladies qu'elles impliquaient. Les cours d'eau ont très souvent été canalisés, stabilisés et leur largeur fortement réduite.



Figure 17: gauche : l'Orbe en aval d'Orbe, droite : l'Avançon dans la traversée de Bex

L'aménagement de torrents est le cas particulier des cours d'eau à forte pente, où le but principal est de réduire la mobilisation de matériaux.

5.4.5 Autres installations

D'autres installations particulières peuvent se retrouver sur les cours d'eau, comme par exemple :

- Bassin de rétention de crue (laminage de l'hydrogramme)
- Délestage de crue (matériaux charriés)
- Prélèvement d'eau (eau potable, irrigation, ...)

Etc.



5.5 Appréciation des installations

La détermination de l'influence d'une installation sur le régime de charriage se base sur la comparaison entre le charriage en l'état actuel et en l'état naturel.

Dans la mesure du possible, un tronçon en amont de la première installation a été défini comme tronçon de référence. En partant de ce tronçon de référence, le cours d'eau cible a été parcouru d'amont à l'aval et la morphologie, la granulométrie et le transport à travers les installations ont été estimés par tronçon sur la base de ces observations en réfléchissant en tronçon caractéristique ou tronçon limitant. L'appréciation prend par ailleurs en compte d'autres sources d'informations, comme par exemple des études de charriage existantes, des données géologiques, des avis d'experts, etc. (cf. chapitre 5.2).

Sur la base de toutes ces informations, une éventuelle atteinte du régime de charriage et son degré ont été déterminés.

5.5.1 Critères pour la détermination d'une atteinte

Les critères pour la détermination d'une atteinte d'une installation sont différents selon le type d'installation. De manière générale, il y a atteinte au régime de charriage, si son taux actuel est plus bas que le taux de charriage en l'état naturel ou alors si la granulométrie ou la morphologie du lit ne correspondent plus à un état naturel.

Les indices suivants se retrouvent fréquemment lors d'une atteinte au régime de charriage :

- Le volume de charriage est nettement inférieur au taux naturel
- Le volume de charriage est inférieur au taux à l'état nécessaire
- Il y a une tendance à l'érosion lors d'une année hydrologique normale/ sur une longue période
- Le substrat du lit est devenu plus grossier suite à un apport réduit en matériaux
- Le substrat du lit est devenu plus grossier suite à un apport d'eau claire

Le degré d'une atteinte est déterminé d'après l'influence de l'installation sur le charriage, selon les 5 niveaux suivants :

0. Aucune (réduction de quelques %)
1. Faible (réduction jusqu'à 40% du volume de charriage)
2. Notable (réduction de 40-60%)
3. Prononcée (réduction de 60-80%)
4. Très prononcée (réduction de 80-100%)

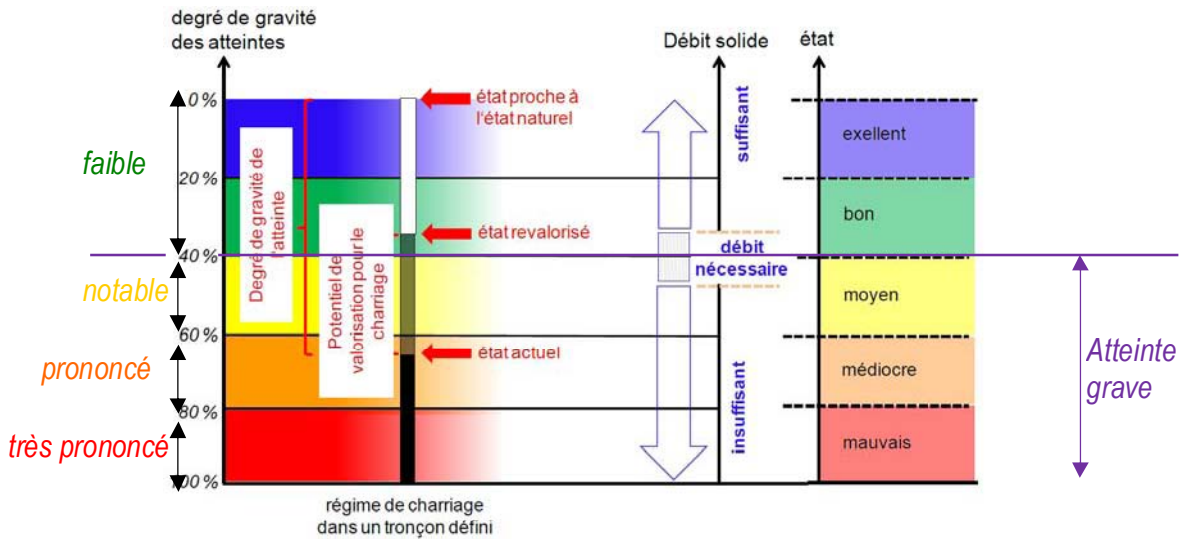


Figure 18: Degré d'atteinte selon l'OFEV, l'atteinte est qualifiée de "grave " à partir d'une réduction 40%

Ces catégories ont été définies de manière qualitative pour les tronçons à appréciation sommaire, et se basent sur des estimations de débits solides dans le cas de tronçon à évaluation approfondie. L'accumulation d'atteintes sur un même tronçon dues à plusieurs installations peut augmenter son degré. Une atteinte peut se réduire avec la distance. En général, il a été supposé qu'une atteinte due à une installation se trouve annulée (ou du moins réduite), sur la base des critères suivants:

- lorsqu'un cours d'eau latéral apporte un volume de matériaux d'un ordre de grandeur similaire à celui manquant
- si la capacité de charriage du cours d'eau en aval devient plus faible que le taux charrié en l'état actuel (tronçon limitant).

5.6 Potentiel écologique

Le potentiel écologique des cours d'eau cibles a été évalué par le bureau GREN. Pour plus de précisions sur le potentiel écologique, nous prions le lecteur de se référer à la partie B du rapport⁹, les conclusions pour chaque tronçon évalué sont rappelées dans cette partie également, pour faciliter la compréhension du diagnostic.

⁹ Diagnostic environnemental et potentiel écologique des tronçons atteints, GREN, novembre 2013



5.7 Impact sur les eaux souterraines

Si l'installation génère une atteinte à la protection des eaux souterraines, l'installation doit être assainie, selon l'art. 43 de la LEaux. Ainsi il est nécessaire d'évaluer l'impact des installations sur les eaux souterraines. Par exemple, le pavage et colmatage très important d'un tronçon peut générer une déconnexion problématique entre la nappe et le cours d'eau.

Deux démarches sont réalisées dans ce sens:

- Identification des tronçons avec un conflit potentiel, par croisement SIG entre les zones de protection et les tronçons de cours d'eau étudiés.
- Evaluation de l'impact des installations sur les eaux souterraines "à dire d'expert", par les responsables cantonaux des eaux souterraines.

Si une mesure d'assainissement risque de générer une atteinte à la nappe, ce point est aussi mis en évidence, en vue de pousser les investigations plus loin au besoin.

5.8 Importance des installations pour la protection contre les crues

Certaines installations ont un rôle de protection contre les crues, en remplissant par exemple une des fonctions suivantes :

- Empêcher un atterrissement en retenant ou en extrayant les matériaux charriés
- Laminage de l'hydrogramme de crue
- Réduction du bois flottant / réduction du risque d'embâcle
- Prévention d'une érosion de fond ou latérale.

Par principe, la protection contre les crues doit être assurée. Si une installation significative à la protection contre les crues induit une atteinte au régime de charriage, seule une optimisation de l'exploitation de l'installation permettant de réduire l'atteinte tout en maintenant l'objectif de protection, est proposée.

L'impact de chaque installations sur la protection contre les crues a été étudié, qu'il soit positif (dépotoir, extraction de gravier,...) ou négatif (exhaussement du fond en amont d'une retenue, par exemple). Si un impact existe, il est mentionné dans le paragraphe correspondant à l'installation concernée.

5.9 Interprétations de situations types

Un catalogue de situations types a été élaboré afin de se faciliter l'interprétation ultérieure des différentes installations. Ce catalogue ne couvre que les cas de figures rencontrés fréquemment sur les sites d'étude, méritant ainsi d'être thématiques.

Un regard critique sur chaque installation reste néanmoins nécessaire, afin de s'assurer que la situation correspond à la situation type et pour confirmer ou infirmer une éventuelle atteinte ou son absence.

5.9.1 Affirmation 1 – grossissement de granulométrie après extraction

Si la granulométrie devient plus grossière en aval d'une extraction de gravier, il y a atteinte. Ceci est également vrai s'il n'y a pas d'érosion de fond.



Figure 19: Grande Eau en amont des Diablerets. Photos en amont (Pk 24.0, gauche) et en aval (Pk 23.55, droite) de l'extraction de gravier M25 au lieu-dit le Jorat.

Les particules fines visibles sur la photo en amont ne le sont plus en aval, la granulométrie est donc plus grossière.

Explication : en prélevant des matériaux, un déficit est provoqué qui va lessiver les particules fines en aval, laissant une couche plus grossière.

5.9.2 Affirmations 2 et 3 – grossissement de granulométrie après chenalisation

Si la granulométrie devient plus grossière dans un tronçon corrigé (chenalisation), il n'y a pas d'atteinte au régime de charriage, pour autant que le débit de charriage soit suffisamment élevé.

Si la morphologie est plus pauvre dans un tronçon corrigé (chenalisation), il n'y a pas d'atteinte au régime de charriage, pour autant que le débit de charriage soit suffisamment élevé.



Figure 20: Grande-Eau aux Diablerets. Photos en amont du village des Diablerets (gauche, Pk 22.9) et dans le tronçon corrigé qui traverse le village (droite, Pk 22.6) avec granulométrie nettement plus grossière et absence de structures.

Explication : pour cause d'une largeur réduite du lit, la hauteur d'eau pour un débit donné augmente et la capacité de charriage également. Le gravier fin ne peut pas se déposer, est transporté à travers le tronçon et une couche de pavage se forme. De plus la largeur réduite ne laisse ni la possibilité au courant de méandrer, ni de pouvoir créer des bancs de graviers avec un lit mineur, d'où le manque de morphologie.

Ce phénomène est réversible: si la largeur du cours d'eau augmente, la granulométrie s'affine et des bancs de graviers peuvent se former (pour autant que le débit de charriage soit suffisant), comme par exemple dans l'image gauche de la Figure 21 (Pk 22.3).

Une chenalisation provoque une atteinte traitée dans le module revitalisation, pas par le module charriage (pour autant que le débit de charriage soit suffisamment élevé).

5.9.3 Affirmation 4 – grossissement de granulométrie après rejet d'eau claire

Si la granulométrie devient plus grossière suite à un rejet d'eau claire, il y a atteinte, même si le débit de charriage est suffisamment élevé et qu'aucune tendance à l'érosion n'est constatée (cette granulométrie grossière apparaîtrait aussi en l'état après assainissement).



Figure 21: Grande Eau en amont du rejet d'eau claire dans la traversée des Diablerets (gauche, Pk 22.3) et en aval du rejet de lac d'Arnon (droite, Pk 21.5). La granulométrie en amont du rejet est plus fine.

Explication : Sur les deux photos, le lit est suffisamment large pour qu'un banc de gravier soit présent. En amont du rejet (photo de gauche), des particules fines sont présentes sur le banc. En aval (photo de droite), elles ont été lessivées par le débit augmenté du rejet et ne sont plus présentes.

5.9.4 Affirmation 5 – atteinte limitée temporairement

Si une atteinte est limitée dans le temps, son degré peut être revu vers le bas.

Explication 1 : une purge peu fréquente (n'ayant lieu par exemple que pluri annuellement) va provoquer une atteinte sur le tronçon aval de par le manque de matériaux entrant. En l'absence de prélèvement dans la retenue du barrage, la totalité des matériaux déposés va être remobilisée lors de la purge et permettre à une morphologie relativement naturelle de se reformer temporairement en aval. Le débit de charriage pluriannuel au travers de l'installation étant naturel, l'atteinte constatée peut être réduite.

Explication 2 : au contraire, une purge très fréquente (ayant par exemple lieu automatiquement dès qu'une retenue de petite taille s'est un peu atterrie) va laisser passer de manière très fréquente les matériaux à travers l'installation. Le volume d'eau relâché lors de la purge étant faible, les matériaux risquent de s'accumuler juste en aval de l'installation puisque le débit de dotation est plus faible que le début du charriage. La prochaine haute-eau va permettre de remettre tous les matériaux en mouvement et ainsi recréer une morphologie naturelle.



Figure 22: droite : barrage de l'Aubonne, gauche : en aval de la prise d'eau des Pars (Pk 3'660) sur l'Avançon d'Anzeinde, où le lit est constitué sur quelques centaines de mètres de matériaux nettement plus fins qu'en amont.

Dans ces deux cas, l'atteinte disparaissant de manière périodique avant de réapparaître, son degré peut être revu vers le bas.

5.10 Démarche pour identifier les installations à assainir

5.10.1 Nécessité d'assainissement selon l'OFEV

Selon l'aide à l'exécution de l'OFEV, l'assainissement d'une installation n'est nécessaire que lorsqu'il y a atteinte grave et que le potentiel écologique est élevé (cf. Figure 23). Par atteinte grave, on entend une atteinte de degré notable ou supérieur. Un potentiel écologique moyen n'est pas considéré comme éliminatoire. Le potentiel de valorisation sert à prioriser les mesures. La méthodologie pour évaluer les mesures entre elles est décrite au § 5.11.

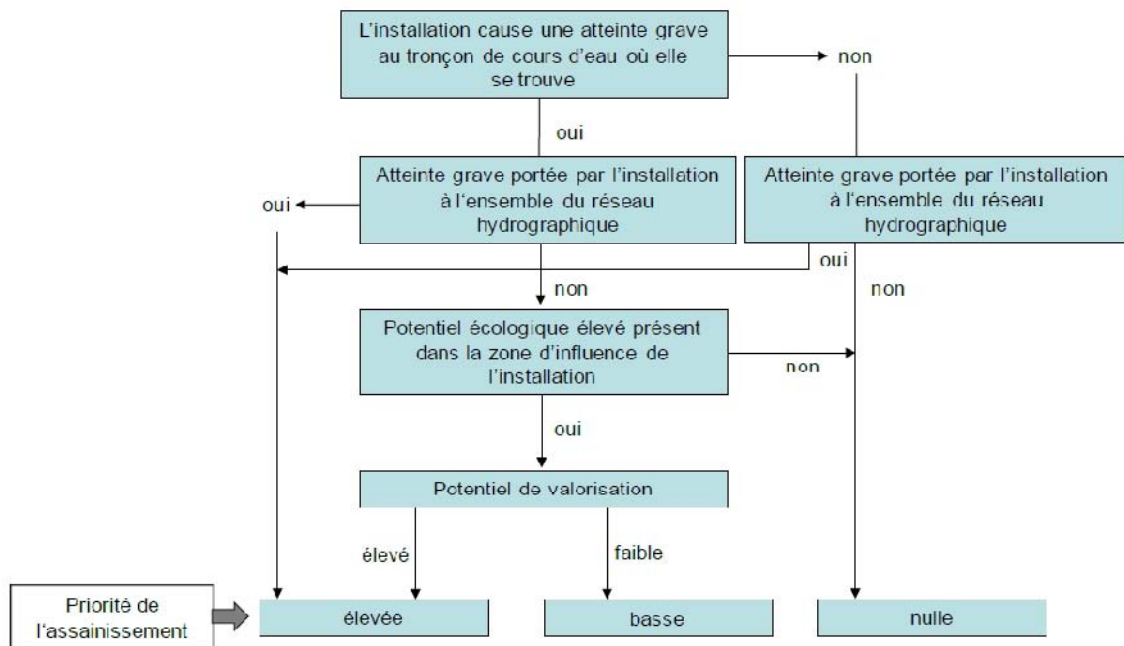


Figure 23: Démarche proposée par l'OFEV pour définir la nécessité d'assainir

5.10.2 Propositions d'assainissement

Selon les recommandations fédérales, seules les installations générant une atteinte grave dont la zone d'influence présente un potentiel écologique élevé devraient être assainies (priorité d'assainissement nulle dans le cas contraire cf. Figure 23). Le potentiel écologique est ici établi en trois classes : faible, moyen et élevé. Ainsi, le canton de Vaud a décidé d'étendre l'obligation d'assainir aux installations dont la zone d'influence présente un potentiel écologique moyen.

Dans le cas d'une atteinte faible, ou d'un potentiel écologique faible, mais présentant une mesure simple envisageable, celle-ci a également été documentée. Elles seront encouragées par le canton dans le cas d'opportunité, c'est-à-dire dans le cas où d'autres travaux sont envisagés sur l'installation et vont dans le même sens.

Pour chaque installation générant une atteinte, la faisabilité des mesures proposées dans la liste de l'aide à l'exécution ont été documentées à l'annexe 8. Pour les installations générant une atteinte nécessitant un assainissement, l'évaluation des mesures est faite (annexe 9), la méthodologie d'évaluation est présentée au chapitre 5.10.

5.11 Méthodologie d'évaluation des mesures

Les critères officiels décrits dans l'aide à l'exécution ont été utilisés, et développés sous forme de sous-critère pour faciliter leur évaluation. L'évaluation s'aligne donc sur ces 5 piliers:

- A. Degré de gravité de l'atteinte - au sens du bilan de charriage
- B. Potentiel écologique - au sens des atteintes biologique (faune et flore)
- C. Proportionnalité des coûts
- D. Intérêt pour la protection contre les crues
- E. Politique énergétique

5.11.1 Analyse de l'efficacité de la mesure

L'efficacité est évaluée selon deux axes: les pronostics de performances et la portée de la mesure.

Les pronostics de performance se basent sur 3 sous-critères (cf. Figure 24):

1. Mobilisation du lit : la mesure répond au besoin de décolmatage du substrat
2. Charriage nécessaire : la mesure répond au besoin de renouvellement des bancs ou de rééquilibrage granulométrique
3. Dynamique morphologique : pour les zones alluviales la connexion aux milieux rivulaires est étudiée

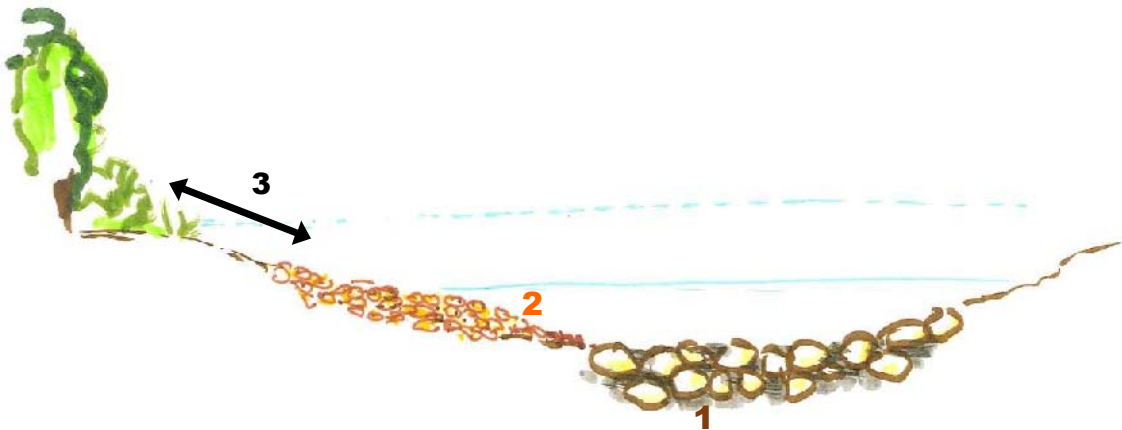


Figure 24: sous-critères utilisés pour évaluer les pronostics de performance d'une variante

La portée vise à renseigner sur la zone d'influence de la mesure, sur quelle dimension de tronçon et avec quel état écologique. Ainsi la portée se développe en 4 sous-critères:

- L: Longueur du tronçon influencé par la mesure (note de 1-3)
- B: Largeur du tronçon influencé par la mesure (pour différencier les cours d'eau entre eux) (note de 1-3)
- P : Potentiel écologique du tronçon influencé par la mesure, à l'état revalorisé (note de 1-3)
- Portée de la mesure $((L+B)/2+P)$

Cette analyse permet d'identifier les mesures ayant la meilleure efficacité. Ces critères sont factuels, ainsi une analyse semi-quantitative est réalisée.

5.11.2 Critères d'évaluation principaux

Les cinq critères d'évaluation se développent en sous-critère. Les sous-critères et la grille d'évaluation sont documentés à l'annexe 9. Cette méthodologie a l'avantage de mettre en évidence les points forts et faibles de chaque variante et de les comparer selon tous les axes de lecture.

Pour chaque variante à évaluer un tableau est renseigné en annexe, le tableau de synthèse est documenté dans les chapitres de proposition de mesure, en conclusion de chapitre par cours d'eau.

5.11.3 Critères d'évaluation secondaire

Certains critères plus généraux et de 2^e priorité sont aussi évalués dans certains cas, pour affiner la comparaison des variantes ou encore pour déterminer si un point est critique, à savoir:

- Adéquation de la mesure: vérification que la mesure répond adéquatement au besoin
- Faisabilité: intégration des critères de faisabilité au niveau fonciers, administratif, et technique
- Acceptabilité (synergie/opportunité): identification de l'acceptabilité pour les différents acteurs et des synergies possibles
- Maîtrise des coûts: détaille les coûts d'investissement et d'entretien/exploitation

5.11.4 Potentiel de valorisation

Sur la base des résultats de cette étude, le potentiel de valorisation est étudié afin d'identifier les priorités à l'assainissement. Le potentiel de valorisation s'articule en deux parties:

- le potentiel de valorisation écologique, soit le gain possible entre état actuel et l'état assaini du point de vue de l'état des milieux (sous-critère P2 de l'évaluation); critère évaluée par le bureau GREN dans un mandat indépendant.
- le potentiel de valorisation au niveau morphologie et quantité de sédiment. Il est documenté de deux manières : sur le pronostic de performance de la mesure, et sur le gain entre état actuel et état assaini du point de vue du bilan annuel de charriage (sous-critère A3 de l'évaluation).

Le potentiel de valorisation des variantes étudiées est résumé au chapitre 17.6. Le détail se trouve dans l'évaluation des mesures mis en annexe 9.

Le potentiel de valorisation écologique juge le potentiel de gain entre l'état actuel et l'état assaini, du point de vue des biocénoses. Il est jugé comme suit:

- favorable, si la majorité des fonctions du cours d'eau seront rétablies, soit pour la faune (poissons : frai, habitats, juvéniles), la flore, le biotope
- neutre, si les fonctions du cours d'eau sont partiellement rétablies
- pas favorable si les fonctions du cours d'eau ne sont pas rétablies de manière significative

Le potentiel de valorisation au niveau morphologique, correspond à la conclusion des pronostics de performances décrit au chapitre 5.11.1. Ce critère est jugé comme suit:

- Très bonne, si les indicateurs de performance sont mieux que bonne en moyenne

- Bonne, si gain d'une classe entre état actuel et état assainis sur les indicateurs de performance
- Moyenne, si gain d'une classe entre état actuel et état assainis sur un indicateur de performance critique ou clé
- Faible, si gain d'une classe entre état actuel et état assainis sur un indicateur de performance non critique ou clé

5.11.5 Proportionnalité des coûts

Dans la même idée, la proportionnalité des coûts a été évaluée, en comparant l'efficacité de la mesure (cf. 5.11.1) avec le coût de la mesure. La grille d'évaluation retenue se présente comme suit :

		Coût				
		Très bas < 0.2 MCHF	Bas 0.2 - 1 MCHF	Moyen 1 - 2.5 MCHF	Elevé 2.5-5 MCHF	Très élevé > 5 MCHF
Efficacité	Très élevée L+P+V ≥ 8.5	Favorable	Favorable	Favorable	Favorable	Neutre
	Elevée L+P+V = 7.5	Favorable	Favorable	Neutre	Neutre	Neutre
	Moyenne L+P+V = 6.5	Neutre	Neutre	Neutre	Défavorable	Défavorable
	Basse L+P+V = 5.5	Neutre	Défavorable	Défavorable	Défavorable	Critique
	Très basse L+P+V ≤ 4.5	Défavorable	Défavorable	Critique	Critique	Critique

Tableau 1: grille d'évaluation de proportionnalité des coûts

Pour les variantes retenues, la proportionnalité des coûts est résumée au chapitre 17.7.

Les coûts ont été estimés sommairement.

Pour les pertes de productions, une estimation de la production est faite en prenant les hypothèses suivantes:

- Rendement de 0.8
- Rachat à 10cts/kWh
- Calcul de la perte de production sur 20 ans

Pour les transports de sédiment, deux étapes sont détaillées:

- Achat des sédiments de l'ordre de 75CHF/m³
- Déplacement par camion de 10m³, à 40CHF/km

Pour les mesures constructives, le coût dépasse en général les 5MCHF, un ordre de grandeur a été établi.

5.11.6 Priorisation des mesures

Les variantes présentant des critères pour lesquelles l'évaluation est critique sont éliminées. Les variantes présentant de mauvaise évaluation ne sont également pas retenues pour la suite.

L'évaluation des mesures est documentée à l'annexe 9.

6. Inventaire de toutes les installations susceptibles d'influencer le régime de charriage

Les installations sont décrites sur la base de fiche, présentées en annexe (annexe 6).

6.1 Centrales hydroélectriques

Pour les cours d'eau principaux voici la liste des installations, avec intégration des critères d'importance de l'installation :

Nom CE	Position Pk	Type	Nom	n° concession	Débit équipé [m³/s]	h du seuil [m]	Qmin (Q _{jour} :Q ₅₀)	Qmax (QT 10ans)	Significatif pour l'hydrologie	Influence sur les apports en sédiments
Avançon	2555	seuil	Peter	2-502	0.0		15	29	-	-
Avançon	2981	seuil	Aigle 22	2-522	0.3		15	29	-	-
Avançon	3471	seuil	Scierie de Bex	2-520	0.8		15	29	-	-
Avançon	4080	seuil	Aigle 1	2-501	0.0		15	29	-	-
Avançon	5441	seuil	Le Bevieux	2-506	2.2		15	29	-	-
Avançon	7314	seuil	Aigle 5	2-505	2.5		15	29	-	-
Grande Eau	11176	seuil	Les Farettes	1-510	2.2		18	39	-	-
Grande Eau	18373	seuil	Pont de la Tine	10-556	1.6		18	39	-	-
Grande Eau	19699	seuil	Aigle 15	11-515	1.0		18	39	-	-
Hongrin	12360	barrage	Barrage de L'Hongrin	348-508	20.0	50	1	4	X	X
Sarine	7317	barrage	Barrage de Rossinière (Vernex)	324-501	14.0	30	22	113	X	X
Arnon	7861	seuil	Grandson 9	117-509	0.5	3.5	4	30	-	-
Orbe-Thielle	3053	barrage	Le Moulinet	271-515	22.0		16	70	X	X
Orbe-Thielle	4987	barrage	Usine du Chalet	255-536	18.5		16	70	X	X
Orbe-Thielle	10280	seuil	Centrale de Montchérand	270-518	14.1		16	70	X	-
Orbe-Thielle	15881	barrage	Barrage du Day	263-517	21.0		16	70	X	X
Orbe-Thielle	17900	seuil	Orbe 9	277-509	4.0		16	70	-	-
Orbe-Thielle	19566	seuil	UMV - Orbe 11	277-511	4.0		16	70	-	-
Venoge	9400	seuil	La Chocolaterie	166-502	0.0	1	73	62	-	-
Venoge	15900	seuil	Moulin de la Palaz	78-517	1.2	0.3	6	53	-	-
Venoge	19298	seuil	Le Moulinet	58-513	1.0	1.35	6	53	-	-
Venoge	20829	seuil	Les Grands Moulins, Cossonay	71-502	3.8	2	6	53	X	-
Venoge	21778	seuil	Le Bief d'Eclérens	71-503	0.0	0.7	6	53	-	-
Venoge	28419	seuil	Cossonay 11	56-511	1.0	0.8	5	43	(x)	-
Venoge	30134	seuil	Cossonay 31 (Romande Energie)	61-531	0.8		5	43	-	-
Venoge	36925	seuil	Cossonay 5	53-505	0.0		5	43	-	-
Venoge	37574	seuil	Cossonay 4	53-504	0.0		5	43	-	-
Venoge	39097	seuil	Cossonay 10	62-510	0.4		5	43	-	-
Aubonne	5874	seuil	Poudredrie	17-507	0.8	2	10	33	-	-
Aubonne	11587	barrage	Barrage du SEFA	17-506	10.0	13	10	33	X	X
Aubonne	15369	seuil	Source de l'Aubonne	20-501	0.0	2	10	33	-	-

Tableau 2: Liste des installations hydroélectriques sur les cours d'eau principaux

Les installations hydroélectriques sur les affluents peuvent aussi être importantes pour définir si les volumes entrant sont exempts d'atteinte:

ID Trace	Nom du cours d'eau récepteur	Nom du cours d'eau cible	Nom du cours d'eau récepteur	Km de confluence	Installation responsable	Description
3535	R. d'Aiguerose	3026	Avançon	3 210	Aiguerosse Aigle-4	Prise tyrolienne
3026	Avançon D'Anzeinde aval Les Pars	3004	Avançon		les Pars Aigle-4	
3557	Nant d'Ayerne	3027	Avançon	4 060	Ayerne Aigle-4	Prise tyrolienne
3029	Torrent de Génin	3027	Avançon	2 225	Génin Aigle-4	Prise tyrolienne
3502	L'Ivouette	3027	Avançon	1 150	Ivouette Aigle-4	Prise tyrolienne
3003	Gryonne	3004	Avançon	9 719	Peufeyre	
3181	Ayerne (T. d')	3001	Grande Eau	21 460		
3016	Bedaire (La)	3001	Grande Eau	17 770	Aigle 18 - la Bedaire	
3014	Brison (R. de)	3001	Grande Eau	17 720	Aigle 29 - R. de Brison	Débit 0.06 m³/s: faible.
3067	Raverette (La), Planzalard (R. de)	3001	Grande Eau	14 490	Aigle 15 - la Raverette et Vevey 8	
3012	Troublon (R. du)	3001	Grande Eau	13 030	Aigle 13 - le Troublon	Débit 0.01 m³/s faible.
3040	Sépey (R. du)	3001	Grande Eau	12 350	Vevey 8	
3010	Fontanney (Le)	3001	Grande Eau	4 440	Aigle 57 - Le Fontanney	Débit moyen 0.024 m³/s.
5006	La Jougnenaz	5000	Orbe	570	Le Pontet	Débit moyen 5m³/s

Tableau 3: Liste des installations hydroélectriques sur les affluents au cours d'eau cible

6.2 Dépotoirs à alluvions

Les dépotoirs sont listés ci-dessous.

Nom CE	Position Pk	Affluent de...	Capacité totale (m³)	Extraction m³/an
Avançon	4 480		1100	200
Avançon	3 495		12000	-
Croisette	2 103	Avançon	1500	500
Avançon de Richard	4 949	Avançon	30	30
Yvorne	349	Grande Eau	1100	50
Sepey	610	Grande Eau	35	14
Torrent du Plant	445	Grande Eau	160	-
Bonne Eau	1 032	Grande Eau	13	7
Allamans	351	Sarine	120	168
Vauban	689	Broye	500	300
Trey	630	Broye	1000	100
Montauban	800	Broye	600	480
Chergeaule	369	Venoge	600	240
Arnon	5 216		600	60
Arnon	7 150		600	60
Arnon	8 025		200	50
Baumine	2 423	Arnon	10	10
Recreux	117	Arnon	46	46
Longeaigue	2 500	Arbogne	540	140
La Saubretaz	4 720	Aubonne	1100	50

Tableau 4: Liste des installations type dépotoir sur les cours d'eau cibles et affluents

6.3 Carrières et gravières

Les extractions de gravier sont listées ci-dessous.

ID Trace	Rivière	Pk	Concession	Lieu-dit	Volume
3026	Avançon d'Anzeinde	3 660		Solalex	1'000 m ³ /an
3001	La Grande Eau	23 650	M-25	le Jorat	1850 m ³ /an
3000	Le Rhône	96 194	M-3	Holcim Granulats et bétons	2'650 m ³ /an
3000	Le Rhône	77'500		Sagrave	66'800 m ³ /an
9000	La Sarine	10 340	M-1	Gravières de la Chaudanne	3'600 m ³ /an
9000	La Sarine	12 171	M-5	Gravières du Bois Bricod	

Tableau 5: Liste des installations type gravière sur les cours d'eau cibles et affluents

6.4 Installation sur canton voisin ayant un impact sur sol vaudois

Certaines installations ont un impact sur territoire vaudois mais se situe dans un autre canton. Pour ces installations, une coordination inter-cantonale a été réalisée.

Canton responsable	Cours d'eau	Type d'installation	Nom de l'installation	n° concession	Débit max [m ³ /s]	h du seuil [m]	Qmin	Qmax
Valais	Rhône	Centrale hydroélectrique au fil de l'eau	Concession Lavey	6-503	220		250	670
Fribourg	Broye		Concession la Verna					
Bern	Sarine		extractions amont					

Tableau 6: Liste des installations sur canton voisin ayant un impact sur canton de Vaud

7. Avançon

7.1 Description du BV

L'Avançon de Bex est un affluent du Rhône qui résulte de la confluence de l'Avançon d'Anzeindaz¹⁰ et de l'Avançon de Nant; ils se rejoignent près du hameau de Peuffaire, à l'altitude de 730 m.

L'Avançon d'Anzeindaz, branche principale de 10.8 km de long, prend sa source au nord de la tête Peignat et passe près d'Anzeindaz, où elle reçoit des eaux des Diablerets, puis descend en direction de Gryon.

La seconde branche, l'Avançon de Nant, prend sa source dans le Vallon de Nant au pied du Glacier des Martinets. La rivière descend vers Pont de Nant, Les Plans-sur-Bex, puis Frenières-sur-Bex où elle reçoit sur sa rive gauche les eaux de l'ivouette.

L'Avançon de Bex traverse la commune du même nom et se jette dans le Rhône, en face de Massongex. Ce cours d'eau a un caractère torrentiel et la surface totale de son bassin est d'environ 80 km².

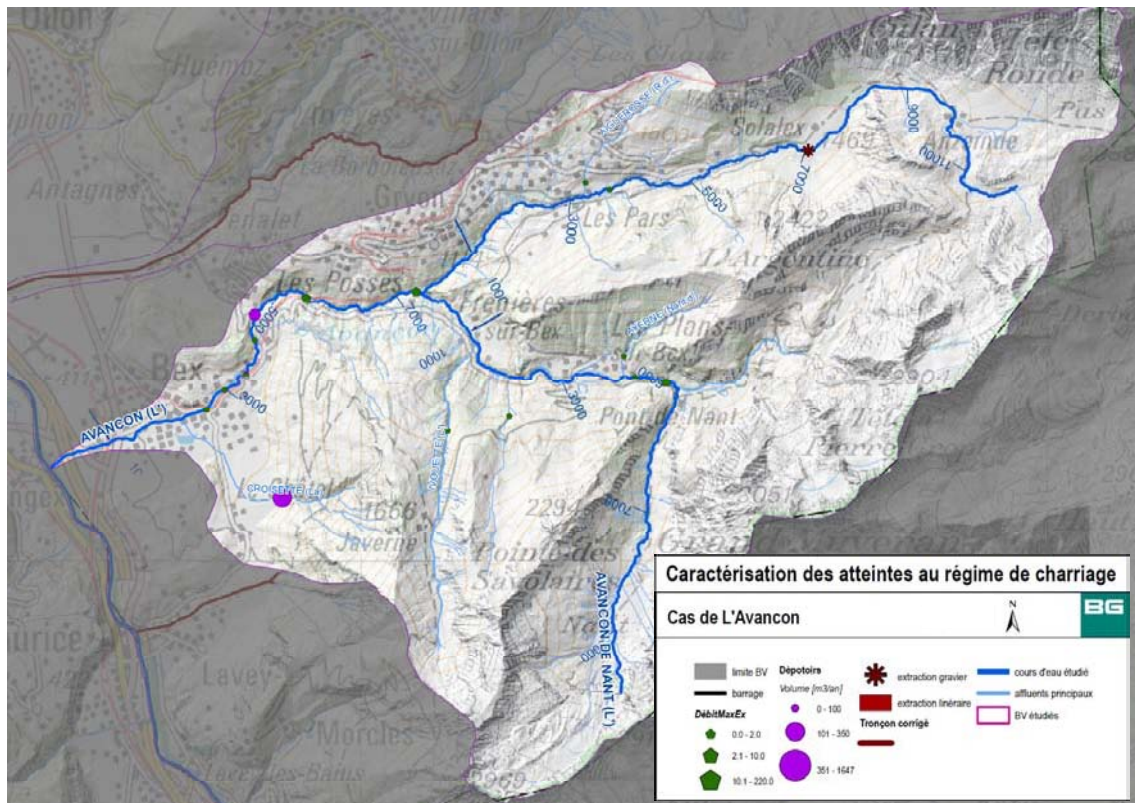


Figure 25: Carte du bassin versant de l'Avançon avec les principales installations en jeu

¹⁰ Appelé Avançon d'Anzeinde dans la base de donnée du canton



7.2 Description du cours d'eau

L'Avançon d'Anzeinde est naturel et sans installation jusqu'à la zone alluviale en de Solalex (Pk 8'200), qui a été incluse dans l'inventaire des zones alluviales d'importance nationale (numéro 303) en 2003. Des profondes modifications ont eu lieu dans cette zone alluviale en 2008 avec la construction d'un chenal pilote et de deux digues latérales. A l'extrémité aval de la zone alluviale, à Solalex (Pk 7'100, code d'installation 01-007100-5), une extraction de gravier (en moyenne 1'000 m³ par an) a lieu. Le prélèvement des Pars (Pk 3'660, code d'installation 01-003660-1) amène l'eau directement à la centrale de Peuffeyre (Pk 7'430, Avançon). Le tronçon entre les Pars et la confluence avec l'Avançon de Nant est donc un tronçon à débit résiduel. Le Ruisseau d'Aiguerosse se jette dans l'Avançon d'Anzeinde en rive droite au Pk 3'210, juste en aval de la prise d'eau des Pars. Il possède un prélèvement en eau qui alimente également l'usine de Peuffeyre. Ce prélèvement étant du type prise tyrolienne, son influence sur le charriage est négligeable. La plus grande partie des matériaux charriés dans l'Avançon d'Anzeinde provient de la partie en amont de Solalex. La partie aval n'apporte que peu de matériaux.

Le bassin-versant de l'Avançon de Nant est très actif en amont du Pont de Nant. S'y ajoute l'Avançon de Richard (Pk 4'949), qui apporte aussi un volume important en matériaux. Un volume de 100 m³ a été prélevé sur un coteau de l'Avançon de Richard, juste en amont du Pont de Nant en 2009-2010, à titre unique (dans le cadre du Syndicat des améliorations foncières des Colletels). Ce prélèvement étant peu important et exceptionnel, il n'est pas pris en compte dans cette étude. Trois affluents latéraux charrient également une quantité non négligeable de matériaux jusque dans l'Avançon de Nant et possède des prélèvements en eau pour l'usine de Peuffeyre : l'Ayerne, le Torrent de Genin et surtout l'Ivouette. Ils se jettent dans l'Avançon de Nant en rive droite au Pk 4'060, respectivement en rive gauche au Pk 2'225 et PK 1'150. Ces trois prélèvements étant du type prise tyrolienne, leurs influences sur le charriage est négligeable. Comme le bassin versant ne possède pas d'extraction de gravier, la totalité des matériaux transite jusqu'à sa confluence avec l'Avançon d'Anzeinde. Les deux prélèvements d'eau de la Chambrette (Pk 4'733) et du Mamont (Pk 4'242), ainsi que ceux sur les cours d'eau latéraux (Nant d'Ayerne, Torrent du Génin et l'Ivouette) sont transparents pour le charriage. Ces cinq prélèvements sont turbinés dans la centrale de Peuffeyre.

A l'usine hydroélectrique de la Peuffeyre (Pk 7'430) est turbinée l'eau de toutes prises d'eau citées ci-dessus, ainsi qu'un prélèvement provenant du bassin de la Gryonne (bassin versant externe). En règle générale, la totalité de l'eau turbinée est directement réinjectée dans la conduite d'amenée d'eau de l'usine hydroélectrique de Sublin (Pk 5'560), elle-même ensuite réinjectée dans la conduite de l'usine de Bévieux (Salines de Bex, Pk 4'130), et enfin utilisée par la concession Hubert (Pk 3'560). Toutes ces installations sont transparentes pour le charriage. Les prélèvements plus en aval ont tous un débit équipé bien plus faible. Au lieu-dit la Barmaz (Pk 4'507) se trouve un dépotoir, d'où sont extraits en moyenne 200m³ par année. Au niveau de la scierie (Pk 3'510), une grande zone d'épandage a été dernièrement construite (au lieu-dit Bévieux, construction 2011), permettant de déposer une grande partie des matériaux charriés à partir d'une crue T20. Le cours d'eau latéral de la Croisette (se jettant dans l'Avançon au Pk 2'170 en rive gauche) possède un dépotoir au lieu-dit Le Châtel dans lequel sont extraits 500 m³ en moyenne annuelle.

7.2.1 Courbe des débits classés

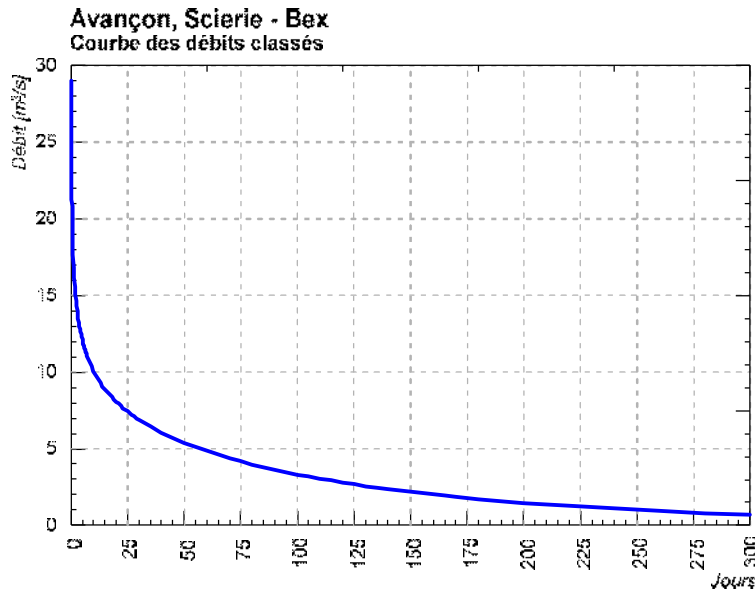


Figure 26: courbe des débits classés de l'Avançon (station de mesure Scierie, Bex) (calculée selon la méthode proposée dans « Abschätzung der mittleren jährlichen Geschiebelieferung in Vorfluter » de l'OFEV)

La gamme de débit considérée comme pertinente pour le bilan annuel du régime de charriage va du débit MHQ (crue annuelle moyenne spécifique) 3 jours par an:

$$Q_{\min} = 15 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\max} = 29 \text{ m}^3/\text{s}$$

7.2.2 Granulométrie

La granulométrie des sédiments transportés est relativement constante le long des Avançons, si ce n'est immédiatement en amont ou en aval de certaines installations (par exemple prélèvement des Pars, 01-003660-1, Pk 3'660 sur l'Avançon d'Anzeinde). La granulométrie des tronçons limitants en amont des bassins versants (Solalex et Pont-de-Nant) est légèrement plus grossière. En aval, les matériaux transportés ont un d_m d'environ 7-8 cm et un d_{90} d'environ 12-15 cm.

Il n'y a pas tendance spéciale au pavage (sauf dans le tronçon corrigé dans la plaine du Rhône) ni au colmatage (source rapport CSD, octobre 2012).

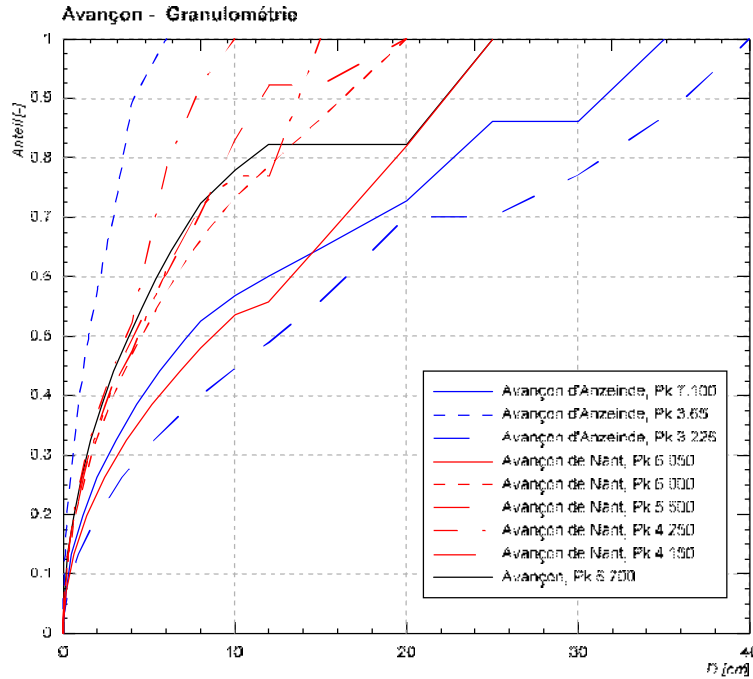


Figure 27: granulométrie des trois Avançons (résultat des prélèvements en ligne)

7.2.3 Profil en long topographique

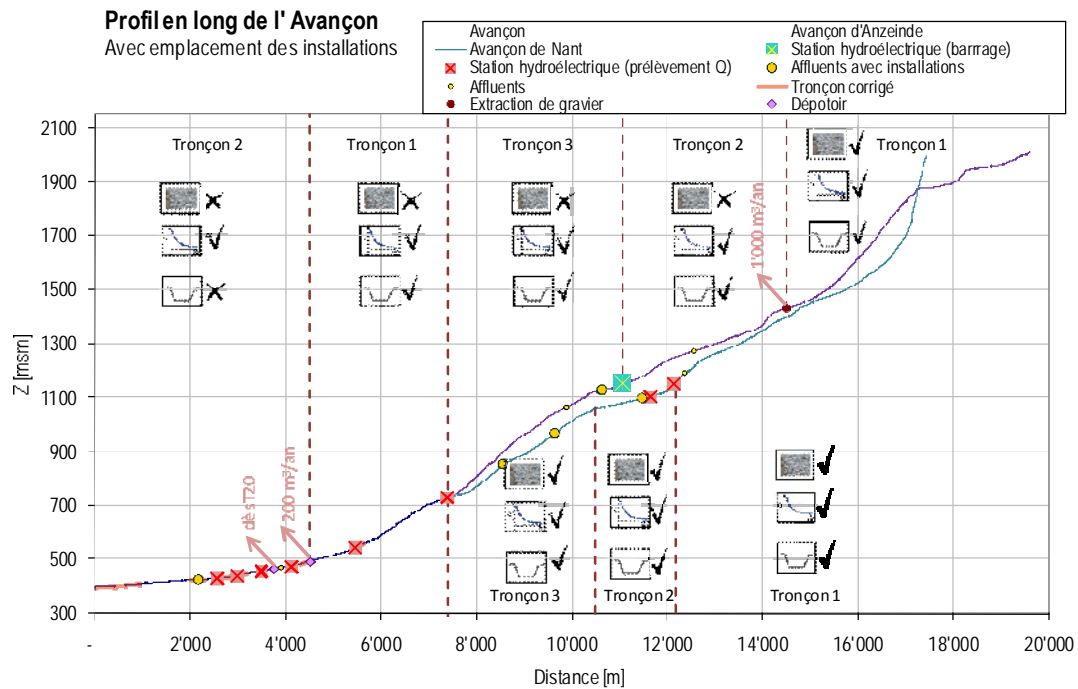


Figure 28: Profil en long des trois Avançons

L'Avançon d'Anzeinde est subdivisé en trois tronçons principaux. Le premier en amont de Solalex est naturel et se termine par la zone alluviale et le prélèvement de gravier (Pk 7'100, 01-007100-5), avec une pente minimale de 4%. Le deuxième tronçon en aval a tout d'abord, sur environ 500 mètres, une pente nettement plus élevée, avant de s'adoucir jusqu'au prélèvement des Pars (Pk 3'660, 01-003660-1) avec une pente d'environ 4%. Le troisième tronçon, à débit résiduel, possède une pente à nouveau plus élevée (> 8%) jusqu'à sa confluence avec l'Avançon de Nant.

L'Avançon de Nant possède lui aussi trois tronçons. Le premier en amont des prises d'eau de la Chambrette et du Mamont (Pk 4'764 et 4'242) est naturel. Le deuxième aux Plans-sur-Bex est plus plat (pente d'environ 4%) avant de s'enfiler dans le troisième tronçon des gorges (pente 10% et plus).

L'Avançon est divisé en deux tronçons : le premier dans les gorges jusqu'aux Saline de Bex (Pk 4'500) voit sa pente s'abaisser graduellement de 10% à 5%. Dans la deuxième partie, qui correspond à la plaine du Rhône au cours d'eau chenalisé, la pente continue à s'abaisser jusqu'à valoir moins de 1% à son embouchure dans le Rhône.

7.2.4 Morphologie historique et actuelle

La morphologie de l'Avançon d'Anzeinde est naturelle jusqu'en amont de Solalex. Le cours d'eau charrie de grandes quantités de matériaux. Ceux-ci vont, pour la grande part, se déposer dans la zone de Solalex, à pente plus douce. La morphologie naturelle de ce tronçon est de type régime en tresse : le cours d'eau a de la place à disposition pour divaguer (tronçon limitant).

Un 'chenal pilote' d'une profondeur variant de deux à quatre mètres ainsi que deux digues latérales non stabilisées ont néanmoins été construits en 2008 sur une longueur de 1'100 mètres dans la zone alluviale¹¹, perturbant profondément la morphologie et la dynamique de cette zone (Figure 29).



Figure 29: Chenal pilote creusé en 2007 et ses berges artificielles de 3-4m de hauteur (photos Service conseil Zones alluviales, 2011)

A l'extrémité aval de la zone alluviale ont lieu des extractions ponctuelles (1'000 m³/an en moyenne, 01-007100-5). Ces extractions avaient déjà lieu avant que la zone soit placée dans l'inventaire des zones alluviales.

En aval de Solalex, le cours d'eau coule dans des gorges encaissées, mise à part le tronçon plus plat des Pars. La morphologie de l'Avançon d'Anzeinde en aval de l'extraction du Solalex n'est visuellement pas altérée. Jusqu'à sa confluence avec l'Avançon de Nant, l'Avançon d'Anzeinde coule dans un chenal encaissé, avec une pente restant au moins aussi élevée que le tronçon de Solalex. Des bancs de graviers (régime à bancs alternés) se retrouvent à l'état actuel de manière similaire à ce qui serait attendu de l'état naturel. La prise d'eau des Pars (Pk 3'660, 01-003660-1), bien que ne retenant les matériaux que temporairement et sans extraction, provoque un changement notable sur le tronçon aval. A moyen terme, tous les matériaux sont transportés de manière homogène. Mais lors des purges automatiques (au printemps et en été) et fréquentes (621 purges par année en moyenne, en 2009 à 2011), les particules fines sont déposées sur les premières centaines de mètres, où elles induisent un lit à granulométrie très fine. Au contraire le

¹¹ Voir « Fiche synthétique de la zone alluviale 303 Solalex VD, Evaluation du Service conseil Zones alluviales » du 30 mars 2012.



tronçon juste en aval, qui possède une granulométrie légèrement plus grossière que ce qui est attendu en l'état naturel.

La morphologie de l'Avançon de Nant est dans sa partie amont naturelle et le cours d'eau charrie de grandes quantités de matériaux. Ceux-ci vont, pour la grande part, se déposer en amont du Pont-de-Nant (Pk 5'500), un secteur à pente plus douce. La morphologie typique de cette partie est de type régime en tresse : le cours d'eau a de la place à disposition pour divaguer (tronçon limitant). En aval, l'Avançon de Nant coule pour la plus grande partie dans des gorges encaissées, mise à part les tronçons plus plats des Plans-sur-Bex. L'Avançon de Nant est encaissé en aval du Pont du Nant. Les deux prises d'eau (Chambrette et Mamont) n'influencent pas le charriage, les purges étant automatiques (au printemps et en été) et fréquentes (426 purges par année en moyenne, entre 2009 et 2011). Ces deux prises d'eau ne provoquent pas de courbe de remous (pas de retenue). C'est sans doute la raison pour laquelle elles n'ont pas d'influence sur la granulométrie aval, au contraire de la prise des Pars (01-003660-1) sur l'Avançon d'Anzeinde. Une morphologie à banc alterné se retrouve sur le tronçon des Plans-sur-Bex. Le reste du cours d'eau est nettement plus raide et présente une morphologie de torrent (radier-mouille). Cette morphologie actuelle se retrouverait également en l'état naturel.

L'Avançon présente jusqu'au dépotoir la Barmax en amont des Salines de Bex (Pk 4'507) une structure radier-mouille à cause de sa pente élevée. La localité de Bex est bâtie sur le cône de déjection de l'Avançon. A l'état naturel, le cours d'eau présentait une largeur bien supérieure, avait une forte tendance à l'atterrissement et ses nombreux bras divaguaient sur le cône.

7.3 Estimation de la charge solide

7.3.1 Estimation du débit de charriage actuel

Le modèle charriage du Rhône¹² nous donne comme information que 5'000 m³ y sont en moyenne déversés par l'Avançon par année. Si l'on y ajoute les 1'000 m³ prélevés à Solalex (01-007100-5, seul prélèvement d'importance), la charge solide totale du bassin versant est de 6'000 m³ par année en l'état naturel, venant pour la plus grande partie du haut des bassins versants de l'Avançon d'Anzeinde et de l'Avançon de Nant (en amont de Solalex et du Pont de Nant). Ces deux sous-bassins versant étant très similaire dans leur morphologie et surface, leur apport devraient aussi être du même ordre de grandeur, à savoir chacun d'environ 3'000 m³ par an.

7.3.2 Estimation du débit de charriage nécessaire

Le bilan de charriage nécessaire sur l'Avançon d'Anzeinde est le bilan naturel, à savoir celui sans extraction à Solalex (01-007100-5). Les 1'000 m³ prélevés annuellement manquent.

L'Avançon de Nant est du point de vue du charriage naturel,

Les 1000 m³ prélevés à Solalex manquent aussi à l'Avançon jusqu'au dépotoire de la Barmax.

Le débit de charriage nécessaire à l'Avançon dans la traversée de Bex se situe entre 1'000 et 2'000 m³/an. La géométrie de l'état nécessaire correspond à un doublement de la largeur du lit.

7.3.3 Établissement du profil en long de charriage - Bilan de transport solide

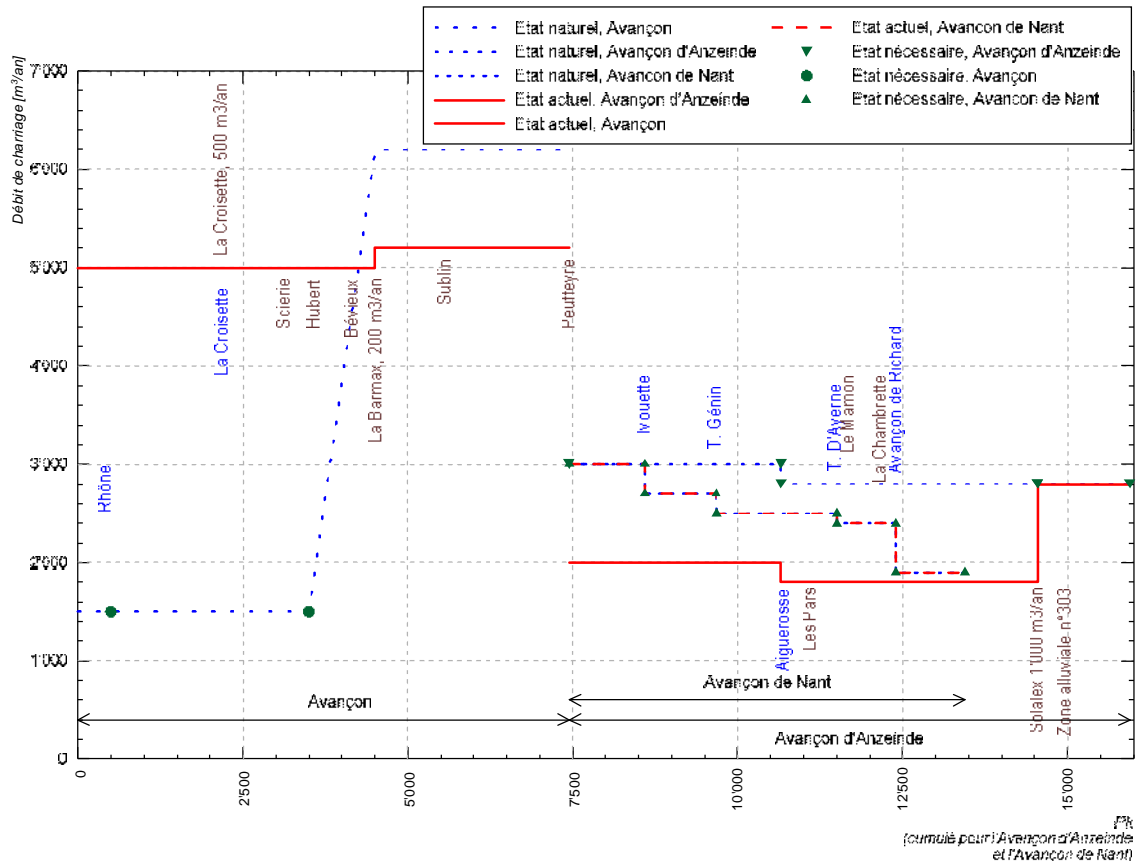


Figure 30: Profil en long de charriage des trois Avançons

¹² Réalisé dans le cadre de la 3^{ème} correction du Rhône.



7.4 Description des tronçons avec atteinte

Les mesures prises dans la zone alluviale de Solalex en 2008 ont modifié le régime de charriage dans la zone alluviale : d'une morphologie en tresse, où le cours d'eau avait la place de divaguer, le cours d'eau a été transformé sur ce tronçon en un chenal rectiligne coupé totalement de son lit majeur (voir Figure 29) avec les conséquences suivantes¹³ :

- Les groupements pionniers du lit mineur (groupements herbacées et fourrés de saules) et leurs stations (plages de graviers secs à humides) ont été détruits
- Le rajeunissement des îles et des terrasses alluviales n'est plus possible
- Le cours d'eau, initialement à cours multiple (style en tresses) est réduit à un chenal unique et rectiligne ; cela équivaut à une canalisation
- Le niveau d'écoulement a été abaissé de plusieurs mètres (incision) ; la nappe souterraine n'influence plus la végétation alluviale
- La diversité écomorphologique du cours d'eau a été réduite
- Les liaisons du cours d'eau et de ses berges (liaisons transversales) sont détruites.

Néanmoins, il ne s'agit pas d'un ouvrage mais d'une correction de cours d'eau. C'est donc dans le cadre du module revitalisation que ce tronçon doit être étudié, son atteinte définie et si nécessaire des mesures proposées.

Il faut relever que des mesures ont déjà été proposées pour revenir à un état relativement naturel (remblaiement du chenal pilote, exportation des digues, renforcement de la digue externe pour protéger le hameau de Solalex)¹⁴. Après quoi, seules les interventions mécaniques à but sécuritaire seraient tolérées, comprenant l'extraction existante à l'extrémité aval de la zone alluviale. Dans ces conditions, l'atteinte au régime de charriage des mesures prévues deviendraient négligeables. Ces mesures nous semblent adéquates. Il convient cependant de se poser la question si la dynamique de ce tronçon ne permettrait pas de laisser le cours d'eau reconquérir sa zone alluviale tout seul dans un délai raisonnable, sans que les mesures prévues ne soient nécessaires.

L'extraction du Solalex (Pk 7'100, 01-007100-5) provoque une atteinte faible (débit de charriage annuel 1'800 m³/an à la place de 2'800 m³/s naturellement, un tiers en moins) sur l'Avançon d'Anzeinde jusqu'au prélèvement des Pars (Pk 3'660, 01-003660-1). Bien que la morphologie soit visuellement naturelle, les 1'000 m³ prélevés annuellement forment une part proportionnellement importante du débit charrié en l'état naturel. L'extraction du Solalex est motivée par une raison de protection contre les crues (dans la plaine du Rhône).

¹³ Liste tirée de « Fiche synthétique de la zone alluviale 303 Solalex VD, Evaluation du Service conseil Zones alluviales » du 30 mars 2012

¹⁴ Voir Zone alluviale de Solalex (objet 304) Résumé de la visite du 3 juin 2014, du Service conseil Zones alluviales, 5 juin 2014.

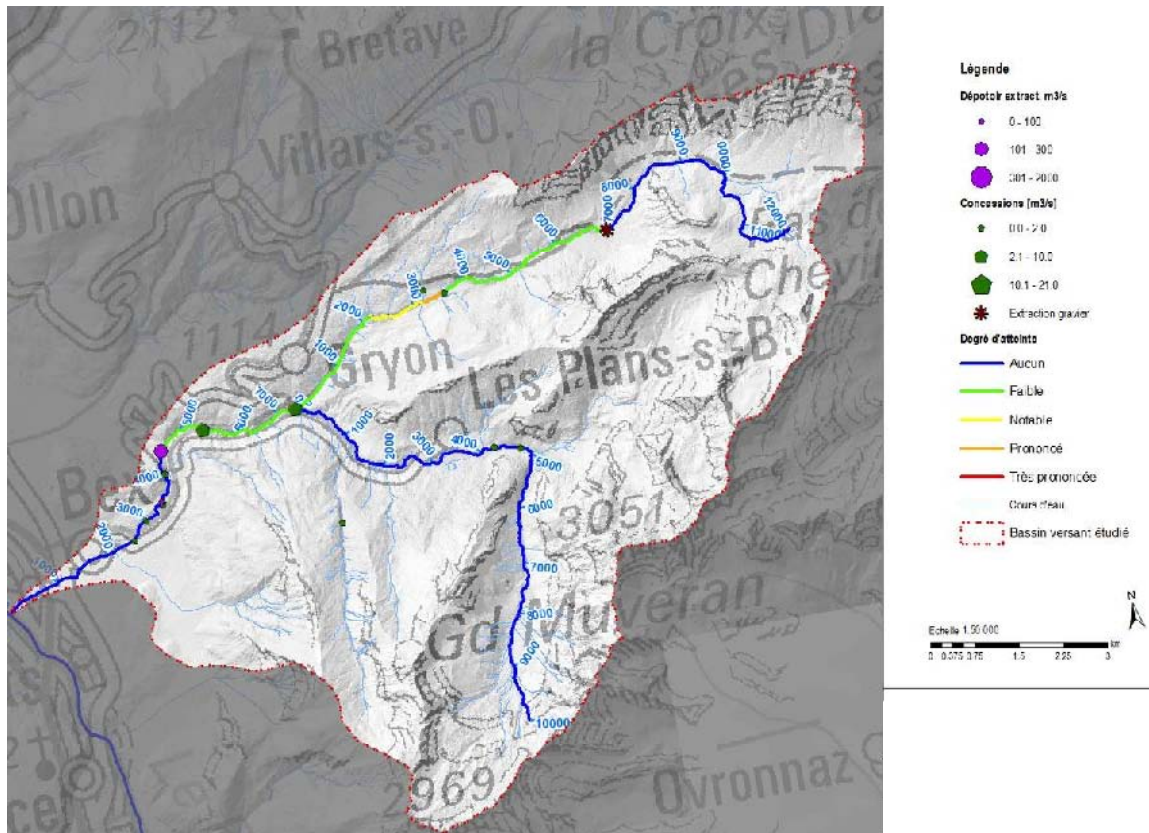


Figure 31: Carte de l'évaluation des atteintes au régime de charriage par tronçon – Avançon

La prise d'eau des Pars (Pk 3'660, 01-003660-1) laisse passer par à-coup les matériaux lors des purges ce qui induit une granulométrie défavorable en aval de la prise¹⁵. Ce déséquilibre se fait sentir sur une petite distance seulement, et est périodiquement éliminé par les hautes eaux. C'est la raison pour laquelle l'atteinte n'est que prononcée et non pas très prononcée, comme le voudrait l'appréciation visuelle. Cette atteinte n'est pas due à une diminution du débit de charriage, mais à la granulométrie du substrat qui est modifiée. Le degré est réduit à un niveau notable après environ 350 mètres (Pk 3'310) grâce à l'apport du ruisseau d'Aiguerosse et du Nant de Bovonne. Sur le tronçon en aval du Ruisseau des Frassettes (Pk 2'120), l'atteinte due au prélèvement des Pars devient négligeable. Par contre l'extraction des Solalex provoque toujours une atteinte faible (environ un tiers de charriage en moins par rapport à l'état actuel).

L'Avançon de Nant ne subit pas d'atteinte à son régime de charriage, puisqu'aucune extraction de matériaux n'y est réalisée et que les installations présentes sont transparentes au charriage (l'extraction unique réalisée sur l'Avançon de Richard est considérée comme négligeable).

L'atteinte faible que subit le tronçon aval de l'Avançon d'Anzeinde dû au prélèvement de gravier de Solalex se répercute sur l'Avançon et induit une atteinte faible jusqu'au début de tronçon corrigé de l'Avançon dans la plaine du Rhône (du Pk 7'371, jonction des Avançon d'Anzeinde et de Nant, jusqu'au Pk 4'507, dépotoir la Barmax). Le transport par à-coups à travers l'installation des Pars (Pk 3'660, 01-003660-1, sur l'Avançon d'Anzeinde) ne devrait plus se faire sentir sur l'Avançon.

L'absence de structures morphologiques et la couche de pavage dans la plaine du Rhône sont dues au lit corrigé, pas à un manque de sédiments (cf. affirmations 2 et 3). Au contraire, dans le

¹⁵ Il faut noter que cette atteinte sur la granulométrie a été observée lors de la visite de terrain, et semble aussi être visible sur la photo présente dans le rapport d'assainissement de CSD (2012). Il n'est pas clair s'il s'agit d'un état exceptionnel ou bien habituel.

cas d'une revitalisation dans la plaine du Rhône (élargissement du lit), une extraction supplémentaire de gravier est inévitable en amont pour éviter l'atterrissement du cours d'eau, qui serait incompatible avec les objectifs de protection contre les crues.

Km Début	Km Fin	N° tronçon	Degré atteinte	Atteinte grave	Installation responsable	Description	Explication sur l'atteinte	Potentiel écologique	Nécessité d'assainir
7'100	3'660	2	faible		Extraction de gravier Solalex, 01-007100-5	Extraction moyenne de 1'000 m³/an	Volume de gravier extrait prépondérant par rapport au volume naturel	moyen	Non, mais proposition
3'660	3'210	3a	prononcé	X	Prélèvement d'eau les Pars (concession Aigle-4 La Peuffeyre, 01-003660-1)	Prélèvement avec retenue	La granulométrie en aval est fortement modifiée.	moyen	Oui / synergie avec le module débit résiduel ?
3'210	2'120	3b	notable				La granulométrie en aval est modifiée.	moyen	
2'120	0	3c	faible		Extraction de gravier Solalex		Volume de gravier extrait prépondérant par rapport au volume naturel	moyen	Non, mais proposition

Tableau 7: Résumé de l'analyse de l'Avançon d'Anzeinde

Km Début	Km Fin	N° tronçon	Degré atteinte	Atteinte grave	Installation responsable	Description	Explication sur l'atteinte	Potentiel écologique	Nécessité d'assainir
4'734	4'242	1	nul		Prélèvement d'eau la Chambrette (concession Aigle-4 La Peuffeyre)	Prélèvement avec seuil, sans retenue	Prise d'eau transparente au charriage	-	-
4'242	0	2	nul		Prélèvement d'eau Mamont (concession Aigle-4 La Peuffeyre)	Prélèvement avec seuil, sans retenue	Prise d'eau transparente au charriage	-	-

Tableau 8: Résumé de l'analyse de l'Avançon de Nant

Km Début	Km Fin	N° tronçon	Degré atteinte	Atteinte grave	Installation responsable	Description	Explication sur l'atteinte	Potentiel écologique	Nécessité d'assainir
7'371	4'507	1	faible		Extraction de gravier Solalex (Pk 7'100, 01-007100-5) Avançon d'Anzeinde)	Extraction moyenne de 1'000 m³/an	Volume de gravier extrait prépondérant par rapport au volume naturel	-	Non, mais propositions
7'371		-	nul		Prélèvement concession Aigle 5- Forces motrices de l'Avançon	Prélèvement avec retenue. Débit moyen et max = 2.505 m³/s.	Prise d'eau transparente au charriage	-	-
5'459		-	nul		Prélèvement concession Aigle 6 - Le Bévieux	Prélèvement avec seuil, sans retenue. Débit moyen et max = 2.244 m³/s.	Prise d'eau transparente au charriage	-	-
4'507		-	nul		Dépotoir <i>La Barmax</i>	Extraction irrégulière de 200 m³/an.	Volume extrait faible.	-	-
4'108	3'750	2	nul		Prélèvement concession Aigle 1 - L'Avançon	Débit prélevé très faible.	Prise d'eau transparente au charriage	-	-
3'750	3'483	3	nul		Zone d'épandage (Bévieux)	Dépotoir actif à partir de T20	Jusqu'à T20, pas de déversement latéral et donc pas de dépôt de matériaux.	-	-
3'483	2'983	4	nul		Prélèvement concession Aigle 20 - Scierie de Bex	Débit prélevé faible 0.755 m³/s	Prise d'eau transparente au charriage	-	-
2'983	2'555	5	nul		Prélèvement concession Aigle 22 - L'Avançon	Débit prélevé faible 0.25 m³/s.	Prise d'eau transparente au charriage	-	-
2'555	0	6	nul		Prélèvement concession Aigle 2 - L'Avançon 3		Prise d'eau transparente au charriage	-	-

Tableau 9: Résumé de l'analyse de l'Avançon



7.5 Rôle des installations pour la protection contre les crues

L'extraction de Solalex (01-007100-5) a un but premier de protection contre les crues, en évitant un atterrissement trop important dans la plaine du Rhône en cas de crue.

Le dépotoir la Barmax et la zone d'épandage (Bévieux) sur l'Avançon ont également un but de protection contre les crues.

7.6 Impact sur les eaux souterraines

Le tronçon entre Solalex et les Pars (Pk 7'100-3'660) touche une zone réservée pour le potentiel développement de nouveau prélèvement en eaux souterraines, sur une longueur d'environ 1 km. Les forages envisagés sont profonds, ainsi aucune interaction prépondérante n'est attendue entre le cours d'eau et la nappe. Toutefois si un projet de revitalisation était envisagé, l'impact devrait être vérifié en zone "périmètre" (équivalent S2).

7.7 Potentiel écologique

Pour le tronçon 1, entre l'extraction de Solalex (Pk 7'100, 01-007100-5) et le prélèvement des Pars (Pk 3'660, 01-003660-1), voici la conclusion de l'analyse du potentiel écologique :

Le potentiel écologique, c'est-à-dire l'état de référence théorique après réparation des atteintes, du tronçon de l'Avançon d'Anzeindaz entre Solalex et les Pars est **moyen**. Le volet "revitalisation" a également évalué le potentiel écologique et paysager de ce tronçon comme moyen (note de 7 sur 12) avec les 4 sous-critères utilisés.

Pour le tronçon 2, du Pk3'660 jusqu'à sa confluence avec l'Avançon de Nant (Pk 0), voici la conclusion de l'analyse du potentiel écologique :

Le potentiel écologique de l'Avançon d'Anzeindaz en aval de la Prise d'eau de la centrale de la Peuffeyre (Les Pars) est également considéré comme **moyen** et il n'est pas possible de supprimer l'ensemble des atteintes (prise d'eau Les Pars et débit résiduel).

Le contenu détaillé de l'évaluation de l'importance écologique actuelle et du potentiel écologique est mis dans la partie B du rapport, pour faciliter la lecture suivie. Nous prions le lecteur, intéressé à connaître plus en détail les arguments amenant aux conclusions reprises ici, de se référer au rapport partie B.

7.8 Atteinte à la faune et à la flore

7.8.1 Tronçon 1

Entre Solalex et la prise d'eau des Pars, les atteintes à la faune et à la flore de l'Avançon d'Anzeindaz sont très limitées. Les études réalisées en 2011-2012 dans le cadre de l'assainissement des débits résiduels n'ont pas montré de réel déficit granulométrique en aval de l'extraction de Solalex. La qualité physico-chimique de l'eau est très bonne, la qualité biologique est bonne et ce tronçon présente des conditions optimales pour le développement de la faune piscicole.

7.8.2 Tronçon 2

La prise d'eau des Pars provoque des atteintes à la faune et à la flore du cours d'eau en aval liées principalement à l'artificialisation du régime hydrologique (tronçon à débit résiduel). Les études réalisées en 2011-2012 dans le cadre de l'assainissement des débits résiduels n'ont pas montré de réel déficit granulométrique en aval de la prise d'eau des Pars et aucune crue artificielle n'est prévue dans le cadre de cet assainissement. A noter du point de vue piscicole que des obstacles naturels infranchissables sont présents sur le bas de l'Avançon d'Anzeindaz.

7.9 Nécessité d'assainissement

L'extraction de gravier de Solalex (Pk 7'100, 01-007100-5, sur l'Avançon d'Anzeinde) provoque une atteinte faible jusqu'à l'entrée de l'Avançon dans la plaine du Rhône (jusqu'au dépotoir la Barmax, Pk 4'507) de par la réduction du débit solide. Cette extraction a un but de protection contre les crues. La nouvelle zone d'épandage de Bévioux en amont de Bex ayant été mise en service, une optimisation de l'extraction de Solalex est envisageable. Une mesure est étudiée ci-après.

La prise d'eau des Pars (Pk 3'660, 01-003660-1, sur l'Avançon d'Anzeinde) provoque une atteinte prononcée sur environ 350 (jusqu'au Pk 3'210) mètres puis notable sur les 1'100 mètres suivants (jusqu'au Pk 2'120). Le potentiel écologique est moyen. Une mesure d'assainissement est proposée ci-dessous.

Identifiant	Nom	Gravité de l'atteinte	Atteinte faune-flore	Charriage prépondérant	Potentiel écologique	Interaction avec les eaux souterraines	Importance protection contre les crues	Nécessité d'assainir
01-007100-5	Solalex	faible	faible	oui	moyen	non	oui	non
01-003660-1	Les Pars	prononcée	forte	non	moyen	non	non	oui

Tableau 10: Conclusion sur la nécessité d'assainir les installations des trois Avançons

7.10 Synergie avec d'autres modules des planifications / opportunités

Comme décrit plus haut, la problématique de la zone alluviale de Solalex est traitée par le module revitalisation, où une amélioration structurelle devrait y être proposée.

Concernant le prélèvement des Pars (Pk 3'660, 01-003660-1, Avançon d'Anzeinde), l'intégration de la problématique charriage dans le projet actuel d'assainissement du débit résiduel est souhaitable.

Suite à la mise en service de la zone d'épandage à l'entrée de Bex (Pk 3'750, Bévioux, sur l'Avançon), les matériaux charriés par des fortes crues (> T20) devraient y être en grande partie retenus. L'extraction des matériaux à Solalex (01-007100-5, sur l'Avançon d'Anzeinde) pourrait par conséquent être réduite sans remettre en cause l'objectif de protection contre les crues.

7.11 Mesure d'assainissement

7.11.1 Mesures envisageables

7.11.1.1 Solalex (01-007100-5)

code	Variante	Type	Détail
3.e.1	A	Réduction de l'exploitation ou comblement	Une réduction de l'extraction est envisageable, puisque la nouvelle zone d'épandage en plaine (Bévioux) permet une meilleure protection de la ville de Bex contre les crues.

Tableau 11: Mesure envisageable pour l'extraction de Solalex (01-007100-5) sur l'Avançon d'Anzeinde.

7.11.1.2 Les Pars (01-003660-1)

code	Variante	Type	Détail
1.e.5	A	Gestion différente des purges lors des crues	Purges plus longues pour permettre aux sédiments purgés d'être transportés plus loin.
1.e.5	B		Après chaque purge 'normale', la rétention est à nouveau purgée dès que son volume est plein. Cette purge d'eau claire permet aux sédiments déposés en aval d'être remobilisés.
1.c.1	C	Transformation du barrage	Augmenter le volume de la retenue afin de devoir la purger moins souvent et avec des volumes d'eau plus importants.
1.c.3-1.e.5	D	Mesure à définir	

Tableau 12: Mesures envisageables pour la prise d'eau des Pars (01-003660-1) sur l'Avançon d'Anzeinde.

7.11.2 Evaluation des mesures

7.11.2.1 Solalex (01-007100-5)

Efficacité de la mesure	Variante A
	Réduction de l'extraction
Pronostic de performance (charriage)	Très faible
Portée de la mesure	Bonne
Synthèse de l'efficacité de la mesure	Faible
Evaluation - Critères prioritaires	
	Réduction de l'extraction
A) Degré de gravité de l'atteinte	neutre
B) Potentiel écologique	neutre
C) Proportionnalité des coûts	pas favorable
D) Intérêt de la protection contre les crues	pas favorable
E) Politique énergétique	neutre

A conserver : **non**

Evaluation - Critères secondaires	Variante A
	Réduction de l'extraction
Adéquation de la mesure	favorable
Faisabilité	favorable
Acceptabilité (synergie/opportunité)	pas favorable
Maitrise des coûts	critique

A conserver : **non**

Tableau 13: Evaluation des mesures envisageables pour l'extraction de Solalex (01-007100-5) sur l'Avançon d'Anzeinde

7.11.2.2 Les Pars (01-003660-1)

Efficacité de la mesure	Variante A	Variante B	Variante C	Variante D
	Gestion différente des purges	Gestion différente des purges	Augmentation du volume de la retenue	Mesure à définir
Pronostic de performance (charriage)	Faible	Faible	Faible	
Portée de la mesure	Faible	Faible	Faible	
Synthèse de l'efficacité de la mesure	Faible	Faible	Faible	

Evaluation - Critères prioritaires	Gestion différente des purges	Gestion différente des purges	Augmentation du volume de la retenue	Mesure à définir
A) Degré de gravité de l'atteinte	favorable	favorable	favorable	
B) Potentiel écologique	pas favorable	pas favorable	pas favorable	
C) Proportionnalité des coûts	critique	critique	pas favorable	
D) Intérêt de la protection contre les crues	neutre	neutre	neutre	
E) Politique énergétique	pas favorable	pas favorable	pas favorable	

A conserver : **non** **non** **OUI** **OUI**

Evaluation - Critères secondaires	Variante A	Variante B	Variante C	Variante D
	Gestion différente des purges	Gestion différente des purges	Augmentation du volume de la retenue	Mesure à définir
Adéquation de la mesure	favorable	favorable	favorable	
Faisabilité	neutre	neutre	critique	
Acceptabilité (synergie/opportunité)	critique	critique	favorable	
Maîtrise des coûts	neutre	neutre	pas favorable	

A conserver : **non** **non** **non** **OUI**

Tableau 14: Synthèse des mesures envisageables pour le prélèvement des Pars (01-003660-1) sur l'Avançon d'Anzeinde.

7.11.3 Propositions de mesures d'assainissement

Extraction de Solalex (01-007100-5, Avançon d'Anzeinde)

L'extraction de Solalex¹⁶ (Pk 7'1000, 01-007100-5, sur l'Avançon d'Anzeinde) pourrait être réduite, la problématique de l'exhaussement du fond en cas de crue dans la localité de Bex étant améliorée par la nouvelle zone d'épandage à Bévioux, construite en 2011. Néanmoins, le déficit étant faible, la plus-value du point de vue du charriage le serait également. De plus, les débits charriés supplémentaires devraient être extraits en aval (dans l'Avançon ou dans le Rhône) au frais du canton, alors que les extractions actuelles au contraire rapportent de l'argent. Un autre point négatif vient du fait que les matériaux extraits actuellement sont utilisés dans la région par les entreprises de construction (Villars, Gryon, ...) et qu'ils devraient sinon être apportés de plus loin. En considérant ces points (plus-value écologique faible concernant le charriage, légers désavantages financier et écologique), nous estimons qu'un changement dans les pratiques des extractions à Solalex n'est pas une mesure adéquate. La mesure étudiée est finalement rejetée.

¹⁶ Les extractions ponctuelles ont été réalisées en application des dispositions de l'art. 12 lettre b du règlement de la loi sur la police des eaux dépendant du domaine public (RLPDP) et sur la base des autorisations spéciales délivrées par le DGE-BIODIV, le tout dans le respect de l'art. 5 chiffre c de l'ordonnance sur la protection des zones alluviales d'importance nationale. Commentaire de M. Thierry de Pablos, chef du secteur 3.



Prise d'eau des Pars (01-003660-1, Avançon d'Anzeinde)

L'atteinte observée lors de la visite de terrain en aval du prélèvement des Pars (Pk 3'660, 01-003660-1, sur l'Avançon d'Anzeinde) est prononcée. Il se peut que cette atteinte ne soit pas toujours présente (en fonction de l'hydrologie, par exemple), voire même qu'elle soit très rare.

Trois mesures concrètes sont évaluées : deux mesures d'exploitations, pour lesquelles les purges seraient gérées de manières différentes (variante A : purges plus longues, ou variante B : purges d'eau claire après les purges normales pour remobiliser et mieux répartir les sédiments purgés). Ces deux mesures équivaldraient à des pertes d'exploitation de plusieurs millions de francs sur 20 ans et sont donc considérées comme disproportionnées. La mesure constructive (variante C : augmentation du volume de la retenue pour pouvoir réaliser des purges moins fréquentes et plus longues) impliquerait des coûts de projet et de construction tels, qu'elle aussi est jugée disproportionnée.

Malgré le fait que les trois mesures étudiées (A à C) aient été jugées défavorables, le groupe de travail « Charriage » a décidé de tout de même garder l'installation des Pars comme devant être à assainir, dans l'espoir qu'une variante supplémentaire (D) voit le jour ultérieurement.

7.11.4 Délai d'assainissement

Conformément à l'article 83a de la LEaux (entrée en vigueur le 31.12.2010), l'assainissement de la prise d'eau des Pars doit être réalisé d'ici à fin 2030.

8. Grande Eau

8.1 Description du BV

La Grande Eau est une rivière du bassin du Rhône qui coule au fond de la vallée des Ormonts pour rejoindre le Rhône sur la commune d'Aigle, à 386 m au lieu-dit "La Mêlée". Elle prend sa source sur le versant vaudois des Diablerets et se jette dans le Rhône après un parcours de 27 km. Ses principaux affluents sont l'Aigue noire, le Dar et le Torrent du Plan.

La Grande Eau présente un régime hydrologique de type glaciaire avec un débit moyen annuel de 5 m³/s. Son bassin versant a une superficie de 132 km²» [station de mesure de l'OFEV].

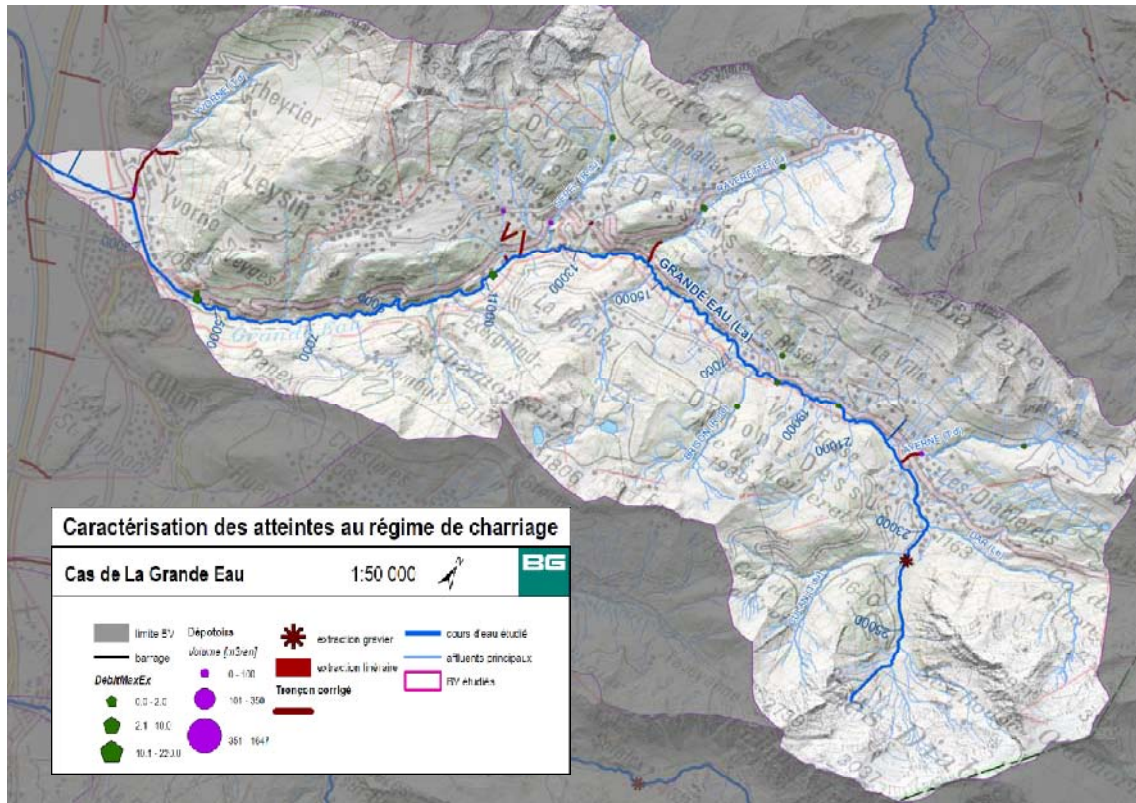


Figure 32: Carte du bassin versant de la Grande Eau avec les principales installations en jeu



8.2 Description du cours d'eau

En amont de l'extraction de graviers M25 au lieu-dit Le Jorat (appelé aussi Léderrey, Pk 23'860, code d'installation 02-023860-5, 1'850 m³/an), la Grande Eau est naturelle avec un apport important en matériaux charriés. Entre la gravière et les Diablerets, deux affluents apportent une charge importante en matériaux dans la Grande Eau : le torrent du Culan (Pk 23'520, en rive gauche) et surtout le Dar (Pk 22'825, en rive droite, venant du col du Pillon). Le lit de la Grande Eau est canalisé sur environ un kilomètre sur la traversée des Diablerets.

A la sortie des Diablerets, l'eau en provenance du lac d'Arnon (Pk 21'720, code d'installation 02-018370-2) est rejetée dans la Grande Eau. Ce débit supplémentaire en eau claire provient en partie d'un bassin-versant externe (surface du bassin-versant supplémentaire de 7 km², en plus des 34 km² de la surface naturelle de la Grande Eau à cet endroit-là, pour une surface totale de bassin-versant de 132 km² à la station de mesure de l'OFEV d'Aigle), et soumet le cours d'eau à des éclusées. Ce tronçon est naturel jusqu'à la prise d'eau des Aviolats (Pk 18'370). Le Torrent d'Ayerne¹⁷ (Pk 21'460, en rive droite) possède une prise d'eau (menant dans le lac d'Arnon) transparente pour le charriage, et un dépotoir (Les Enenoux) qui n'est plus en service. Entre le village des Diablerets et la prise d'eau des Aviolats se trouve l'usine hydroélectrique des Fenillettes (Pk 19'690, actuellement en travaux) transparente pour le charriage. La prise d'eau des Aviolats (Pk 18'370) est, malgré son barrage, également transparente pour les sédiments lors des crues ou des curages.

Le cours d'eau entre les Aviolats et l'usine du Pont de la Tine (Pk 11'485) est un tronçon à débit résiduel, encaissé au fond d'une gorge. Certains affluents se jetant dans la Grande Eau sur ce tronçon possèdent des installations : les centrales de la Bédair (embouchure Pk 17'720, rejet de l'eau turbinée Pk 17'750, en rive droite), du Ruisseau de Brison (Pk 17'720, en rive gauche) et du Ruisseau du Troublon (Pk 13'030, en rive droite) toutes trois transparentes pour le charriage. De l'eau est prélevée dans trois affluents en rive droite pour être acheminée dans le lac de l'Hongrin et est perdue pour le bassin versant de la Grande Eau (Ruisseau de Planzelard, Pk 14'490, La Raverette, Pk 14'490, et le Ruisseau du Sépey, Pk 12'350). Ce tronçon possède également deux dépotoirs sur le Ruisseau de Sépey et la Bonne Eau (Pk 11'570), qui sont négligeables pour le bilan total avec des volumes annuels extraits de 14 et respectivement 8 m³.

L'eau, une fois turbinée par l'usine hydroélectrique du Pont de la Tine, est directement réinjectée dans la conduite de la centrale des Farettes. Un projet actuellement en construction va augmenter la capacité de l'usine, sans avoir de conséquences sur le charriage. Le tronçon jusqu'à l'usine des Farette (Pk 4'550) est donc également à débit résiduel, traverse tout d'abord une gorge profonde avant de rejoindre l'usine à travers un vallon encaissé. Au Pk 4'410 est rejeté l'eau turbinée par la centrale du Fontanney.

La dernière partie de la Grande Eau jusqu'à son embouchure dans le Rhône se fait dans un lit corrigé et étroit. Le torrent d'Yvorne (embouchure au Pk 2'100) possède un dépotoir (La Condemine) duquel sont extraits annuellement 50 m³.

¹⁷ Appelé aussi Torrent du Plan

8.2.1 Courbe des débits classés

La gamme de débit considérée comme pertinente pour le bilan annuel du régime de charriage va du débit MHQ (crue annuelle moyenne spécifique) 3 jours par an:

$$Q_{min} = 18 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{max} = 39 \text{ m}^3/\text{s}$$

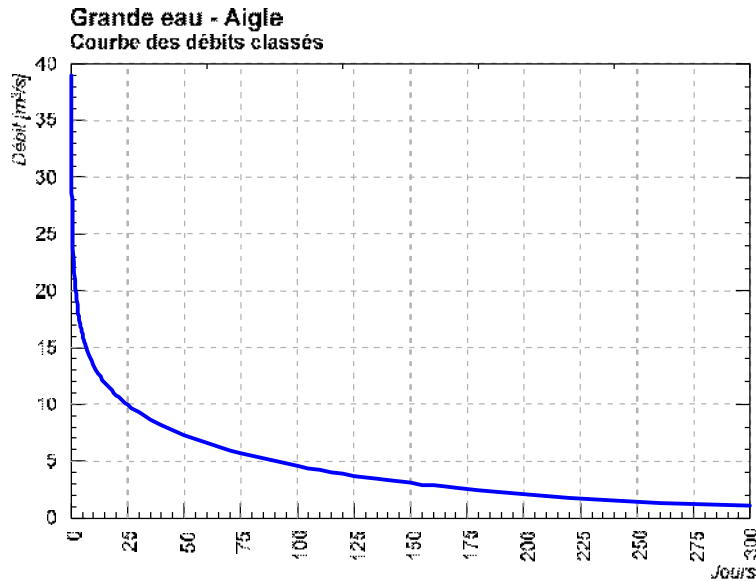


Figure 33: courbe des débits moyen de la Grande Eau (station de mesure Aigle) (calculée selon la méthode proposée dans « Abschätzung der mittleren jährlichen Geschiebelieferung in Vorfluter » de l'OFEV)

8.2.2 Granulométrie

La granulométrie des sédiments transportés est relativement constante le long de la Grande Eau, avec un d_m entre 7 et 10 cm et un d_{90} d'environ 15 à 18 cm. La granulométrie grossière du Pk 20'200 (Vers l'Eglise) sort nettement du lot : cette granulométrie grossière (d_m d'environ 11 cm et d_{90} d'environ 25 cm) se retrouve sur tout le tronçon entre le rejet d'eau du lac d'Arnon (Pk 21'720, 02-018370-2) et la prise d'eau des Aviolats (Pk 18'370) et est provoquée par le rejet.

Il n'y a pas de tendance au pavage (sauf dans les tronçons corrigés à travers les Diablerets et dans la plaine du Rhône ainsi que dans le tronçon en aval du rejet du lac d'Arnon, voir chapitre 8.4 p.72) ni au colmatage.

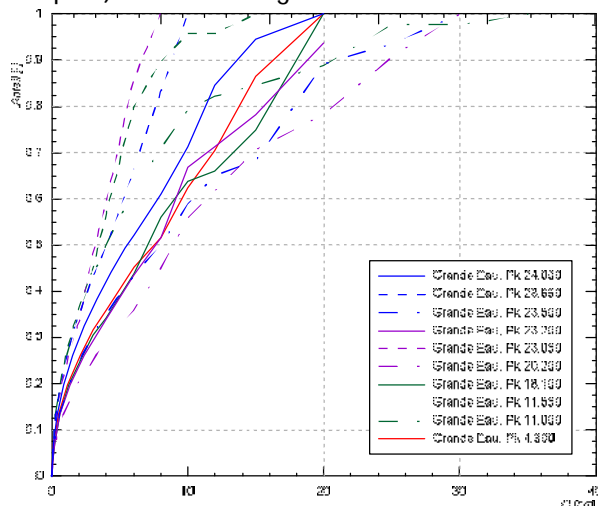


Figure 34: granulométrie de la Grande Eau (résultat des prélèvements en ligne)

8.2.3 Profil en long topographique

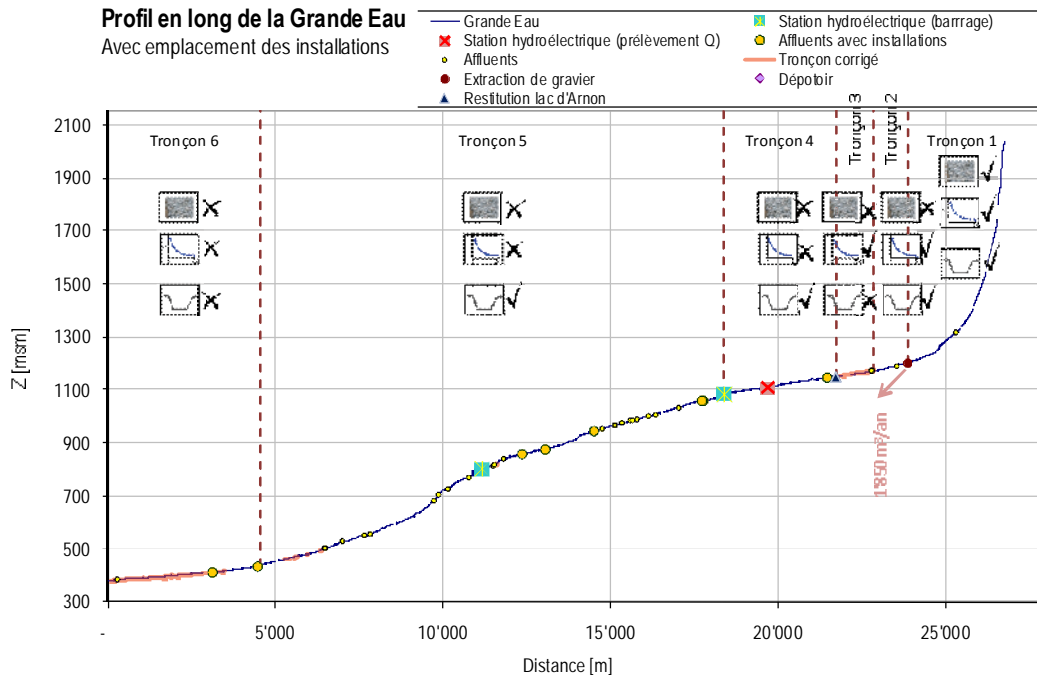


Figure 35: Profil en long de la Grande Eau

La Grande Eau se divise en 6 tronçons distincts. Le premier en amont des Diablerets est naturel et se termine par la zone en tresse et l'extraction de gravier du Jorat (Pk 23'860). La pente de la zone en tresse varie entre 4 et 5%. Le deuxième tronçon en aval est corrigé, sans être trop étroit, avec une pente aux alentours de 3%; au contraire du troisième tronçon, qui correspond à la traversée des Diablerets (Pk 22'825 à 21'720), où la Grande Eau est corrigée avec un lit étroit et avec une pente s'abaissant à 2%.

Le quatrième tronçon débute avec le rejet du lac d'Arnon (02-018370-2) et se termine avec la prise d'eau des Aviolats (Pk 21'720 à 18'370). Il n'est que ponctuellement corrigé et possède une pente de 1 à 3%. Le cinquième tronçon, entre la prise d'eau des Aviolats et le rejet de la centrale des Farettes (Pk 4'550), est pour la plus grande partie naturel, avec une pente variant de 2 à 10%.

Le sixième et dernier tronçon correspond à la traversée d'Aigle, où la Grande Eau est chenalisée, avec une pente de 2 à 1% avant de se jeter dans le Rhône.

8.2.4 Morphologie historique et actuelle

La morphologie de la Grande Eau est en amont des Diablerets naturelle jusqu'à l'extraction du Jorat (Pk 23'860, 02-023860-5, fin du tronçon 1), typique du régime en tresse. Elle charrie beaucoup de matériaux, qui vont se déposer en amont du seuil de l'extraction, et sont en grande partie extraits.

Le cours d'eau entre l'extraction et le village des Diablerets (tronçon 2, Pk 23'860 à Pk 22.839) est corrigé. Le Torrent de Culan (Pk 23'525), avec ses apports en matériaux, permet de compenser en partie le déficit causé par l'extraction. De plus, la Grande Eau a une largeur suffisante pour permettre une certaine diversité morphologique sous la forme de bancs alternés. La comparaison entre la carte historique des Diablerets et la carte actuelle (Figure 36) ne montre pas de différences majeures du tracé du cours de la Grande Eau.

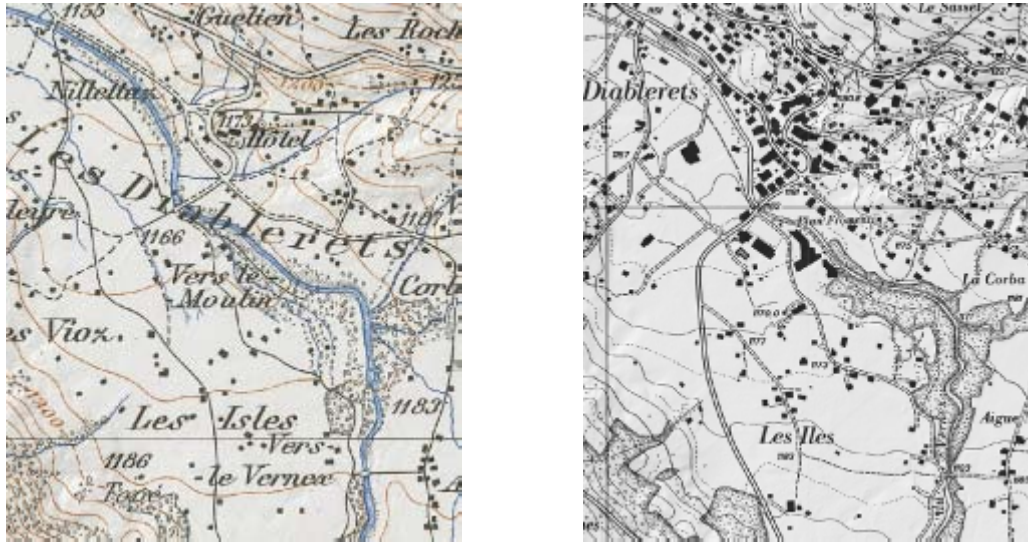


Figure 36: Les Diablerets, gauche : carte Siegfried (1897), droite : plan d'ensemble actuel

La traversée des Diablerets (tronçon 3, Pk 22.839 à Pk 21'720) est chenalisée. Le lit est plat et sans morphologie, mise à part quelques élargissements locaux où des bancs de graviers grossiers se sont déposés. Il est vraisemblable qu'un régime en bancs alternés soit l'état naturel.

Le tronçon 4 débute au rejet du lac d'Arnon (Pk 21'720 à Pk 18'370) jusqu'à la prise d'eau des Aviolats. Il n'est que localement corrigé. Le marnage provoqué par le rejet ainsi que le déficit en matériaux - dû au fait qu'il s'agit d'eau claire - génère un net grossissement de la granulométrie. Les graviers fins sont lessivés. Malgré tout, des bancs alternés peuvent encore se former, ce qui correspond à l'état morphologique naturel.

La Grande Eau coule entre le prélèvement des Aviolats et le rejet de la centrale des Farettes (tronçon 5, Pk 18'370 à Pk 4'520) pour la plus grande partie au fond d'une gorge encaissée et naturelle. La morphologie n'y est la plupart du temps peu voire pas altérée.

Dans la plaine du Rhône (tronçon 6, Pk 4'520 à Pk 0), le cours d'eau est canalisé et présente un lit plat, grossier, sans structure. La localité d'Aigle est bâtie sur le cône de déjection de la Grande Eau. A l'état naturel, le cours d'eau présentait une largeur bien supérieure, avait une forte tendance à l'atterrissement et ses nombreux bras divaguaient sur le cône.

8.3 Estimation de la charge solide

8.3.1 Estimation du débit de charriage actuel

Le modèle charriage du Rhône¹⁸ nous donne comme information que 5'000 m³ y sont en moyenne déversés par année. Si l'on y ajoute les 1'850 m³ prélevés au Jorat (02-023860-5, seul prélèvement d'importance), la charge solide totale du bassin versant est d'environ 7'000 m³ par année en l'état naturel, venant pour la plus grande partie du bassin versant en amont des Diablerets (Grande Eau en amont de l'extraction, Torrent du Culan, Dar). Les affluents en aval des Diablerets n'apportent proportionnellement que peu de matériaux (estimé à moins de 20%).

8.3.2 Estimation du débit de charriage nécessaire

Le débit de charriage nécessaire à la Grande Eau en aval de l'extraction du Jorat (Pk 23'860, 02-023860-5, 1'850 m³/an) correspond au débit naturel, à savoir si l'extraction de matériaux n'avait pas lieu.

Dans la plaine du Rhône, le débit de charriage naturel se situe entre 2'000 et 2'500 m³/an. La géométrie de l'état nécessaire correspond à la largeur de régime (15-20 m) définie (Stuky, 2011).

8.3.3 Etablissement du profil en long de charriage - Bilan de transport solide

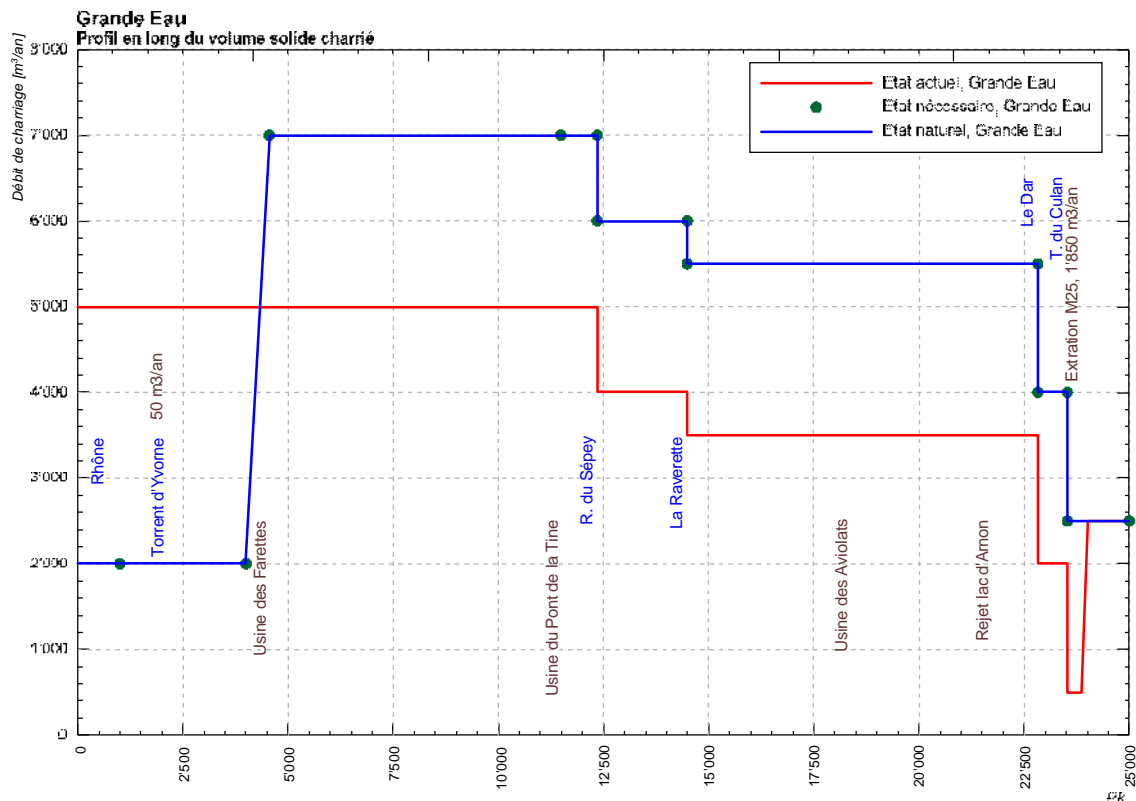


Figure 37: Profil en long de charriage de la Grande Eau

¹⁸ Réalisé dans le cadre de la 3^{ème} correction du Rhône.

8.4 Description des tronçons avec atteinte

L'extraction M25 au Jorat (Pk 23'860, 02-023860-5, 1'850 m³ en moyenne annuelle) ne laisse quasiment pas passer les matériaux et provoque une atteinte très prononcée jusqu'au torrent du Culan (Pk 23'525, dans la réalité la distance entre la fin de l'extraction et le torrent du Culan n'est que de 60 mètres) avec une diminution de 80% des matériaux transportés (cf. affirmation 1). Cette extraction est justifiée par un souci de protection contre les crues dans la traversée des Diablerets, et secondairement dans la plaine du Rhône. Le torrent de Culan charrie une grande quantité de matériaux et permet de réduire l'atteinte de deux degrés (de très prononcé à notable) pour le tronçon aval jusqu'à l'embouchure du Dar, son débit de charriage étant réduit de moitié. Le Dar (Pk 22'839) lui aussi apporte un volume conséquent en matériaux, ce qui réduit encore une fois l'atteinte d'un niveau (à faible) jusqu'à la fin du village des Diablerets (Pk 21'720), la diminution du débit solide par rapport à l'état de référence étant de moins de 40%.

L'entreprise de correction fluviale¹⁹ (ECF) du Dar est considérée comme n'ayant à moyen terme pas d'influence sur la quantité de matériaux amenés dans la Grande Eau. Il se peut que les matériaux n'atteignent pas la Grande Eau durant les premières années après la réalisation. Une fois l'état d'équilibre atteint, le débit de charriage ne devrait plus être influencé durant les années normales, mais uniquement lors d'événements exceptionnels. Un tel cas n'arrivant par définition que très rarement, le niveau d'atteinte en prenant en compte l'ECF resterait à un degré faible.

La chenalisation de la traversée des Diablerets (Pk 22.839 à Pk 21'720) ne joue aucun rôle sur une éventuelle atteinte au charriage. Le pavage grossier présent sur ce tronçon est dû au lit trop étroit et à l'absence d'érosion possible, non pas à un apport en matériau trop faible (cf. affirmations 2 et 3).

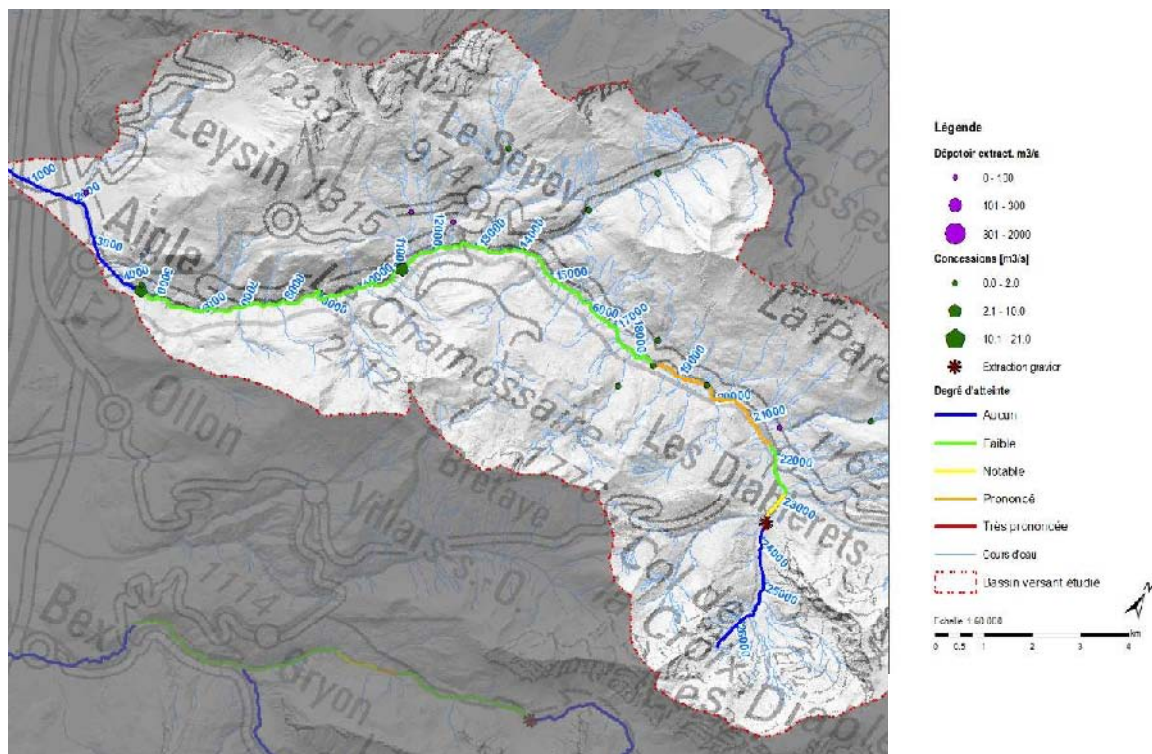


Figure 38: Carte de l'évaluation des atteintes au régime de charriage par tronçon – La Grande Eau

¹⁹ Création d'une zone d'épandage pour éviter un apport trop important de matériaux dans la Grande Eau lors d'événements exceptionnels. En planification. D'après les informations de Stéphane Bovier.

Le rejet du lac d'Arnon (Pk 21'720, 02-018370-2) provoque une atteinte prononcée jusqu'au barrage du prélèvement des Aviolats (Pk 18'370). L'apport d'eau claire, de manière irrégulière (marriage), qui plus est d'un bassin-versant externe, provoque un lessivage des graviers fins et par là même une granulométrie nettement plus grossière (cf. affirmation 4). L'extraction du Jorat (02-023860-5) provoquerait (indépendamment du rejet du lac d'Arnon) toujours une atteinte si le rejet du lac d'Arnon n'existait pas.

Le prélèvement des Aviolats (Pk 18'370) est, transparent au charriage. Malgré le fait que la configuration avec la retenue en eau soit similaire à la prise d'eau des Pars sur l'Avançon d'Anzeinde, aucune impact sur la granulométrie en aval n'a été observé. Le fait qu'il permette de reprendre les eaux du lac d'Arnon atténue l'atteinte du rejet des Diablerets. Aucune extraction de matériaux n'a lieu. Les purges automatiques et fréquentes permettent aux matériaux de transiter quasiment en continu. Ainsi la prise d'eau ne provoque pas d'atteinte, et l'atteinte héritée de l'extraction du Jorat reste à un niveau faible.

En cas normal, l'eau turbinée à l'usine du Pont de la Tine (Pk 11'485, provenant des Aviolats) est directement réinjectée dans la conduite d'amenée de l'usine des Farettes. Le barrage présent au Pont de la Tine (Pk 11'157), est lui aussi transparent au charriage, à cause des purges fréquentes et automatiques. Là aussi, l'atteinte du Jorat perdure à un niveau faible.

Finalement, le tronçon corrigé dès l'usine des Farettes (Pk 4'450) jusqu'à l'embouchure dans le Rhône ne subit pas d'atteinte au charriage, sa capacité en l'état nécessaire étant inférieure (2'000 à 2'5000 m³/an) aux apports actuels (cf. affirmations 2 et 3). Au contraire, dans le cas d'une revitalisation dans la plaine du Rhône (élargissement du lit), une extraction de gravier est inévitable en amont pour éviter l'atterrissement du cours d'eau, qui serait incompatible avec les objectifs de protection contre les crues.

Km Début	Km Fin	N° tronçon	Degré atteinte	Atteinte grave	Installation responsable	Description	Explication sur l'atteinte	Potentiel écologique	Nécessité d'assainir
23'860	23'525	2a	très prononcée	X	Extraction gravier M25, le Jorat (02-023860-5)	Lieu-dit le Jorat. 1'850m ³ /an	Volume extrait proportionnellement élevé.	faible	Non, mais proposition
23'525	22'839	2b	notable			Tronçon relativement naturel	Volume extrait proportionnellement élevé. Le volume apporté par le Torrent du Culan permet de réduire le niveau de l'atteinte.	faible	Non
22'839	21'720	3	faible			Tronçon corrigé	Volume extrait proportionnellement élevé. Le volume apporté par le Dar permet de réduire encore le niveau de l'atteinte.	-	Non
21'720	18'370	4	prononcée	X	Restitution concession Aigle 7 - Diablerets Lac d'Arnon (02-018370-2)	Restitution du lac d'Arnon. Eau en provenance d'un autre bassin-versant.	L'apport d'eau sans matériau charrié mobilise les particules fines. Le lit devient grossier.	moyen	Oui / synergie possible avec le module éclusée
18'370	11'157	5a	faible		Extraction gravier M25, le Jorat (02-023860-5)	Tronçon à débit résiduel du Pont de la Tine	Volume extrait proportionnellement élevé.	-	Non
11'157	4'550	5b	faible			Tronçon à débit résiduel des Farettes	Volume extrait proportionnellement élevé.	-	Non
4'550	0	6	nul			Tronçon corrigé	Volume extrait proportionnellement élevé.	-	Non

Tableau 15: Résumé de l'analyse de la Grande Eau



8.5 Rôle des installations pour la protection contre les crues

L'extraction du Jorat (Pk 23'860, 02-023860-5) est motivé par un souci d'éviter un atterrissement trop important dans la traversée des Diablerets en cas de crue. Il a donc une part prépondérante dans la protection contre les dangers naturels. De même, il permet indirectement de protéger la localité d'Aigle dans la plaine du Rhône.

8.6 Impact sur les eaux souterraines

Le tronçon entre le Culan et le Dar (Pk 23'525 – 22'839) touche une zone de prélèvement d'eau potable (zone S2, et S3) à savoir le puits des Iles aux Diablerets, sur quelques 500 m. Ce tronçon est atteint au niveau du régime de charriage. A priori aucune interaction n'est attendue entre la nappe et le cours d'eau. Un débordement du secteur pourrait générer une contamination de la nappe, tout comme si des travaux sont réalisés sur ce secteur. A priori aucune mesure ne va dans ce sens, ainsi l'interaction peut être exclue.

Le tronçon entre les Aviolats et les Farettes (Pk 19'691 – 4'520) touche une zone de source (S3) du ruisseau de Larvevin sur quelques centaines de mètres. La nappe draine des couches de calcaire du versant des Tours d'Al, relativement profonde. Aucune interaction n'est attendue ici.

8.7 Potentiel écologique

Pour le tronçon 1, entre l'extraction du Jorat jusqu'au Dar (Pk 23'860 à Pk 22'839), le potentiel écologique peut être qualifié comme suit :

Le potentiel écologique de la Grande Eau entre l'extraction de graviers du Jorat et l'embouchure du Torrent de Culan est considéré comme **faible** compte tenu de la valeur limitée du cours d'eau (limite du domaine piscicole). Le tronçon large avec une dynamique active et favorable à plusieurs espèces typiques des milieux alluviaux se situe plutôt en amont du site d'extraction de graviers du Jorat. Le potentiel écologique de la Grande Eau entre l'embouchure du Torrent de Culan et l'embouchure du Dar est également considéré comme **faible**.

A noter que le volet "revitalisation" attribue un potentiel écologique et paysager **moyen** (note de 6 sur 12) à ces deux tronçons en raison de son potentiel de connectivité élevé (liaison biologique suprarégionale) avec au moins une espèce d'intérêt particulier du RECVD (données au km²).

Pour le tronçon 2, entre le rejet du lac d'Arnon (02-018370-2) à la prise d'eau des Aviolats (Pk 21'720 à Pk 18'370), le potentiel écologique peut être qualifié comme suit :

Le potentiel écologique de la Grande Eau en aval des Diablerets, soit l'état théorique après réparations des atteintes d'origine anthropiques, est considéré comme **moyen**. Le volet "revitalisation" attribue un potentiel écologique et paysager à la Grande Eau en aval des Diablerets qui est faible à moyen suivant les secteurs (note entre 4 et 6 sur 12).

Le potentiel écologique des autres tronçons n'a pas été déterminé.

Le contenu détaillé de l'évaluation de l'importance écologique actuelle et du potentiel écologique est mis en partie B, par manque de place. Nous prions le lecteur, intéressé à connaître plus en détail les arguments amenant aux conclusions reprises ici, de se référer au rapport partie B.



8.8 Atteinte à la faune et à la flore

8.8.1 Tronçon 1

L'extraction de graviers du Jorat provoque des atteintes très limitées à la faune et à la flore de la Grande Eau. D'une part, on se trouve sur un tronçon qui n'est pas piscicole et d'autre part, le déficit en matériaux n'est prononcé qu'en amont de la confluence avec le torrent du Culan (linéaire de 300 m). D'autre part, le tronçon large et qui présente une dynamique active se situe en amont du site d'extraction.

8.8.2 Tronçon 2

Les observations réalisées par le bureau GREN sur le tronçon de la Grande Eau situé entre le rejet de la centrale des Diablerets et le barrage des Aviolats montrent que les atteintes à la faune et à la flore sont limitées. On peut citer les éclusées liées à la centrale des Diablerets, le rejet d'eau de la station d'épuration, les aménagements localisés du cours d'eau.

Le succès de la reproduction naturelle de la truite de rivière (seule espèce présente) est limitée sur ce tronçon non pas en raison d'un déficit en graviers, mais plutôt en raison des conditions hivernales naturellement rigoureuses (étiage marqué, eau très froide), de la faible productivité du cours d'eau (population réduite de truites), voire de l'effet dévastateur des crues certaines années.

8.9 Nécessité d'assainissement

L'extraction de graviers du Jorat (Pk 23'860, 02-023860-5) joue un rôle prépondérant dans la protection des Diablerets contre les inondations et n'a donc pas besoin d'être assainie, malgré le fait qu'elle provoque une atteinte sur une très longue distance, à savoir jusqu'à l'arrivée de la Grande Eau dans la Plaine du Rhône (atteinte faible du Pk 22'839 à Pk 4'450). Une proposition de mesure est tout de même étudiée ci-après.

Une optimisation est proposée ci-dessous pour la partie entre l'extraction et le torrent du Culan, ce tronçon subissant une atteinte très prononcée. Pour la partie plus en aval (entre le torrent du Culan et les Diablerets), aucune mesure n'est proposée, les deux affluents entre le Jorat et les Diablerets (Torrent du Culan et le Dar) apportant une quantité importante de matériaux et aucun signe sur le terrain n'a été observé qui irait dans le sens d'un manque de charriage (la granulométrie semble naturelle, absence de couche de pavage et les bancs de graviers sont bien développés jusqu'à l'entrée des Diablerets.)

Le rejet du lac d'Arnon (Pk 21'720, 02-018370-2) en aval des Diablerets provoque un marnage et une atteinte au charriage prononcée sur plus de 3'000 mètres. Une mesure d'assainissement est proposée.

Identifiant	Nom	Gravité de l'atteinte	Atteinte faune-flore	Charriage prépondérant	Potentiel écologique	Interaction avec les eaux souterraines	Importance protection contre les crues	Nécessité d'assainir
02-023860-5	Le Jorat	très prononcée	faible	oui	faible	non	oui	non
02-018370-2	Restitution lac d'Arnon	prononcée	faible	non	moyen	non	non	oui

Tableau 16: Conclusion sur la nécessité d'assainir les installations de la Grande Eau

8.10 Synergie avec d'autres modules des planifications / opportunités

Le module éclusée propose des mesures constructives concernant le rejet du lac d'Arnon (02-018370-2). Le volume du bassin serait environ 10 fois plus petit (3'000 – 4'000 m³) que celui nécessaire à empêcher les atteintes au charriage. Un bassin de compensation, tel que nécessaire pour l'assainissement du régime de charriage, pourrait être géré de façon à ce que les problèmes de mariage soient du même coup résolus.

Toujours concernant le rejet du lac d'Arnon, la possibilité de transformer, un jour peut-être, l'installation en centrale pompage-turbinage a été émise par le propriétaire. Le bassin de rétention pourrait alors être utilisé pour stocker les eaux turbinées, avant de les pomper dans le lac d'Arnon.

8.11 Mesure d'assainissement

8.11.1 Mesures envisageables

8.11.1.1 Extraction M25, le Jorat (02-023860-5)

code	Variante	Type	Détail
3.e.2	A	Extraction et restitution mécanique en aval du site	Augmenter le charriage sur le tronçon en aval de l'extraction (jusqu'au torrent du Culan).

Tableau 17: Mesure envisageable pour l'extraction de M25 (02-023860-5) au Jorat.

8.11.1.2 Rejet du lac d'Arnon (02-018370-2)

code	Variante	Type	Détail
2.c.3-1	A	Construction d'un bassin de compensation	Construction d'un bassin de compensation avant le rejet dans la Grande Eau.
2.c.3-2	B	Construction d'un bassin de compensation + pompage turbinage	Construction d'un bassin de compensation avant le rejet dans la Grande Eau. En plus utilisation du bassin construit pour stocker l'eau avant de la pomper dans le lac d'Arnon (pompage-turbinage)
2.c.3-3	C	Construction d'une conduite de dérivation jusqu'aux Aviolats	Construction d'une conduite de dérivation jusqu'aux Aviolats.

Tableau 18: Mesure envisageable pour le rejet du lac d'Arnon (02-018370-2)

Une mesure supplémentaire a été envisagée pour le rejet du lac d'Arnon (02-018370-2), à savoir le déversement de gravier dans la Grande Eau immédiatement en aval du rejet. La quantité de matériau nécessaire et le fait que ces matériaux devraient être extraits avant l'arrivée dans la plaine du Rhône (risque d'atterrissement) ont fait que cette mesure a directement été éliminée sans être étudiée plus en avant.

8.11.2 Evaluation des mesures

8.11.2.1 Extraction M25, le Jorat (02-023860-5)

Efficacité de la mesure	Variante A
	Extraction et restitution
Pronostic de performance (charriage)	Faible
Portée de la mesure	Faible
Synthèse de l'efficacité de la mesure	Très faible

Evaluation - Critères prioritaires	Extraction et restitution
A) Degré de gravité de l'atteinte	favorable
B) Potentiel écologique	neutre
C) Proportionnalité des coûts	neutre
D) Intérêt de la protection contre les crues	neutre
E) Politique énergétique	neutre

A conserver : **non**

Evaluation - Critères secondaires	Variante A
	Extraction et restitution
Adéquation de la mesure	favorable
Faisabilité	favorable
Acceptabilité (synergie/opportunité)	neutre
Maîtrise des coûts	neutre

A conserver : **OUI**

Tableau 19: Synthèse des mesures envisageables pour l'extraction du Jorat (02-023860-5) sur la Grande Eau : restitution d'une partie des sédiments en aval du seuil.

8.11.2.2 Rejet du lac d'Arnon (02-018370-2)

Efficacité de la mesure	Variante A	Variante B	Variante C
	Bassin de compensation	Bassin de compensation + pompage/turbinage	Conduite de dérivation jusqu'aux Aviolats
Pronostic de performance (charriage)	Bonne	Bonne	Très bonne
Portée de la mesure	Bonne	Bonne	Bonne
Synthèse de l'efficacité de la mesure	Bonne	Bonne	Bonne

Evaluation - Critères prioritaires	Bassin de compensation	Bassin de compensation + pompage/turbinage	Conduite de dérivation jusqu'aux Aviolats
A) Degré de gravité de l'atteinte	favorable	favorable	favorable
B) Potentiel écologique	neutre	neutre	neutre
C) Proportionnalité des coûts	pas favorable	pas favorable	neutre
D) Intérêt de la protection contre les crues	neutre	neutre	neutre
E) Politique énergétique	neutre	favorable	pas favorable

A conserver : **OUI OUI OUI**

Evaluation - Critères secondaires	Variante A	Variante B	Variante C
	Bassin de compensation	Bassin de compensation + pompage turbinage	Conduite de dérivation jusqu'aux Aviolats
Adéquation de la mesure	favorable	favorable	favorable
Faisabilité	critique	critique	critique
Acceptabilité (synergie/opportunité)	critique	critique	critique
Maîtrise des coûts	neutre	neutre	neutre

A conserver : **non non non**

Tableau 20: Synthèse des mesures envisageables pour le rejet du lac d'Arnon 02-018370-2) : bassin de compensation pour laminer les crues sur la Grande Eau (variante A), en prenant en compte une centrale pompage-turbinage (variante B) et conduite de dérivation jusqu'aux Aviolats.

8.11.3 Proposition de mesures

Les quatre mesures proposées ci-dessus sont disproportionnées et ne sont donc pas conseillées.

8.11.3.1 Extraction M25, le Jorat (02-023860-5)

Le tronçon de la Grande Eau subissant une atteinte grave de par l'extraction M25 (02-023860-5) est très court (environ 60 mètres en aval du seuil, jusqu'au torrent du Culan). L'organisation d'une telle mesure, mais surtout les pertes d'exploitations induites la rendent clairement disproportionnée par rapport à l'amélioration du charriage qui en résulterait

8.11.3.2 Rejet du lac d'Arnon (02-018370-2)

Le bassin de rétention pour le rejet du lac d'Arnon aurait un tel volume que son financement et son implémentation dans la vallée des Ormonts le rendrait bien trop compliqué en comparaison aux gains potentiels. La transformation (très hypothétique) de l'installation en centrale pompage-turbinage permettrait d'utiliser le bassin de compensation comme bassin de stockage.

Une conduite de dérivation jusqu'aux Aviolats (comme étudié pour l'assainissement des éclusées) permettrait d'éliminer la source de l'atteinte au charriage (hydrologie redeviendrait naturelle). Mais son coût énorme et sa construction rendent là aussi cette mesure disproportionnée.

9. Hongrin (partie VD)

9.1 Description du BV

L'Hongrin prend sa source à l'Est du col des Mosses, sur le territoire de la commune de Ormont-Dessous. Situé dans un cirque montagneux au pied du Pic Chaussy, il forme le lac Lioson, petit lac de montagne typique situé à 1848 m d'altitude.

En aval, le cours d'eau descend ensuite rapidement jusqu'au village de La Lécherette puis il poursuit son cours et forme le lac artificiel de l'Hongrin. La particularité du barrage qui a créé ce lac est sa double voûte, l'une de 95 m et l'autre de 123 m de haut, jointes par une culée centrale construite sur un promontoire rocheux naturel. Sa construction a nécessité cinq ans de travaux, entre 1966 et 1971.

Implanté au confluent des deux rivières, l'Hongrin et le Petit Hongrin, la retenue occupe 160 ha et récolte les précipitations d'un bassin versant d'environ 46 km². A cela s'ajoute l'apport de huit prises d'eau situées entre six et dix kilomètres à vol d'oiseau du barrage, représentant un bassin versant de 45 km² constitué par les vallées avoisinantes. Plus de 20 km de galeries ont été creusées pour l'acheminement de l'eau jusqu'à la retenue. Ces conduites rejoignent la retenue en pente régulière permettant à l'eau de s'écouler par gravité.

En aval du barrage, l'Hongrin descend dans la vallée très encaissée qui porte son nom. Son parcours devient tumultueux avec une succession rapide de goulots d'étranglement et de zones plus larges. Il entre dans le canton de Fribourg 3 km en aval du barrage où il parcourt environ 8 km avant de se jeter dans la Sarine au niveau de la retenue de Monbovon.

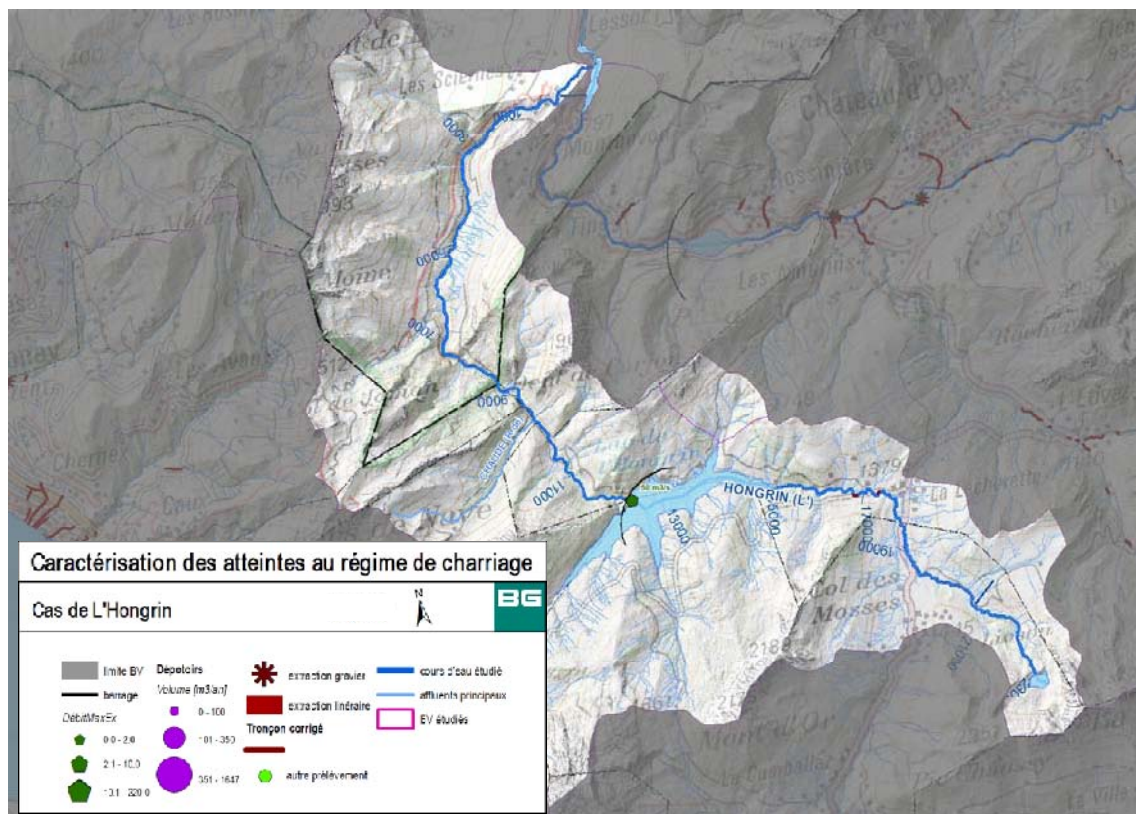


Figure 39 : Carte du bassin versant de l'Hongrin avec les principales installations en jeu

9.2 Description du cours d'eau

En amont du lac de l'Hongrin, le cours d'eau est naturel et sans installation, mis à part quelques aménagements ponctuels. En sortant du lac Lioson, l'Hongrin dégringole (pente jusqu'à 30%) le flanc pour arriver au col des Mosses. De là, il coule avec une pente majoritairement inférieure à 5% jusqu'à la Lécherette (Pk 18'000, Figure 40). Le substrat y est en partie recouvert d'algues et de mousse. Après la Lécherette, le cours d'eau s'enfonce quelque peu dans le terrain avant de voir sa pente augmenter (jusqu'à 10%) aux environs de l'embouchure du torrent des Anteines (Pk 16'012) et couler dans une gorge jusqu'au lac de l'Hongrin (code d'installation 03-012385-2, construction du barrage en 1969). Les apports en matériaux du torrent des Anteines sont proportionnellement importants comparés aux matériaux en provenance des Mosses.



Figure 40: L'Hongrin en amont du lac, gauche Pk 18'500, droite Pk 17'250.

A moins d'une centaine de mètres en amont du lac se trouve le rejet (Pk 15'251) des prises d'eau de l'adduction Est (prises d'eau de la Torneresse, de l'Eau-Froide de l'Etivaz, de la Raverette, du Ruisseau des Champs et du ruisseau du Sépey).

Dans le lac de l'Hongrin (Pk 15'180 à 12'381, 03-012385-2) se jettent deux affluents principaux : le Petit-Hongrin, auquel vient s'ajouter le rejet des prises d'eau de l'adduction Ouest (prises d'eau de l'Eau-Froide de Roche, des Plans et du chenal de Tompey) ainsi que le ruisseau du Leyzay. Il n'y a pas d'extraction de matériaux dans le lac de l'Hongrin, ni d'ailleurs dans son bassin-versant.

L'eau puisée dans le lac est turbinée dans l'usine de Veytaux (puis rejetée dans le lac Léman, bassin-versant du Rhône). La particularité de cette usine est qu'elle est du type pompage-turbinage, à savoir qu'elle peut pomper de l'eau dans le lac Léman pour la stocker dans le lac de l'Hongrin.

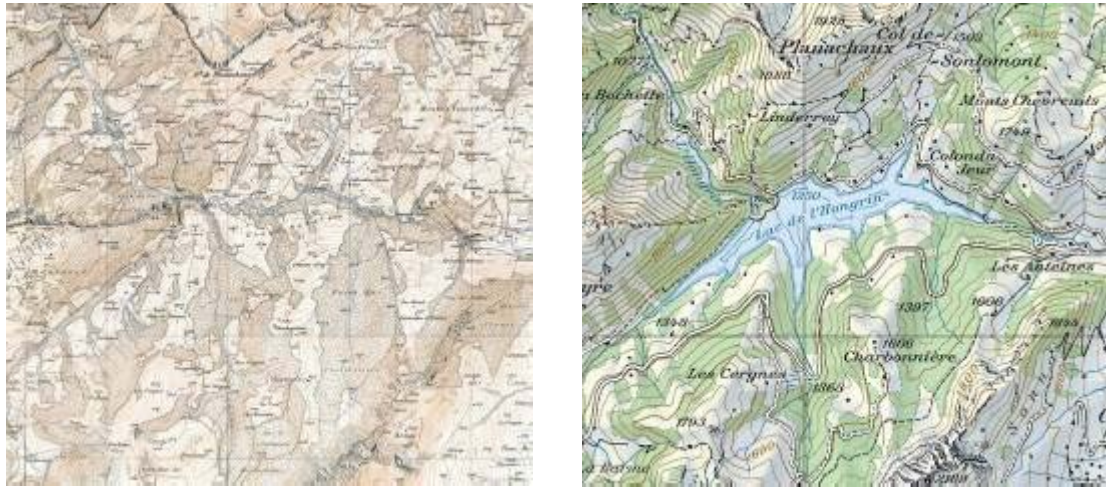


Figure 41: Lac de l'Hongrin avant et après la construction du barrage, gauche : carte Siegfried (1894), droite : carte nationale actuelle (1 :100'000)

Le débit de dotation en aval du barrage est fixé à 50 l/s.

En hiver 2012/2013, le barrage a été quasi totalement abaissé pour la première fois depuis sa construction pour des raisons d'entretien (Figure 42). Lors de cet abaïssment, aucun dépôt particulier dans le lac n'a été observé, ce qui signifie que les apports en charriage des affluents du lac sont faibles. Le fait que les installations hydroélectriques (turbines, etc.) n'aient aucune trace d'abrasion, corrobore cette constatation. Le débit maximal évacué dans l'Hongrin lors de cet abaïssment était de 7 m³/s, avec une moyenne de 1 m³/s²⁰.



Figure 42: Lac de l'Hongrin lors de l'abaïssment en hiver 2013 (photos 24heures.ch)

En aval du barrage de l'Hongrin, le cours d'eau est sans installation.

Les photos réalisées entre le barrage et le ruisseau de Chaude (Pk 9'575), lors de l'étude de Pronat en 2007 (Figure 43) montrent un lit rempli de boue organique avec cette description : « présence de dépôts boueux dans le cours d'eau ainsi qu'une légère coloration de l'eau par la présence de matière en suspension. L'odeur de boue organique est assez forte. Concernant la végétation, nous notons une présence moyenne d'algues et de mousses dans le lit du cours d'eau (cause probable : débit résiduel conforme à la concession, cours d'eau manquant de dynamique, notamment absence prolongée de crues) ». L'étude de CSD (2012) commente ce tronçon comme suit : « colmatage général du lit par de la vase organique, envahissement du lit par de la végétation herbacée et ligneuse, manque de diversité de la granulométrie du substrat ».

²⁰ Indication de M. Leroy, Alpiq



Figure 43: L'Hongrin et son substrat au Pk 10.75 (lieu-dit la Vuichoude-d'en-Bas), avril 2007 (photos Pronat)

Lors de la visite de terrain de septembre 2013 (quelques mois après l'abaissement du lac, qui a déversé des forts débits en aval du barrage), le cours d'eau montrait un tout autre visage (Figure 44) : de la végétation pousse dans le lit et le substrat du lit mouillé est recouvert d'une pellicule (sans doute algueuse), signe que la dynamique de charriage est faible.

L'état d'avant l'abaissement du lac (description dans les rapports de Pronat et de CSD, Figure 43) correspond à l'état d'équilibre dans les conditions actuelles. C'est cet état qui va se réinstaller si rien n'est changé (pas de crues artificielles, pas d'apport en matériaux).



Figure 44: L'Hongrin et son substrat au Pk 10.75 (lieu-dit la Vuichoude-d'en-Bas), septembre 2013

Quelques 2'500 mètres en aval du barrage, se jette le ruisseau de Chaude (Pk 9'575, rive gauche), qui apporte une grande quantité de matériaux. Le substrat ne présente à partir de cet endroit plus de pellicule. Pronat (2007) décrit le tronçon juste en aval de la frontière cantonale comme « à l'exception d'une présence importante d'algues dans le cours d'eau, les divers paramètres sont bons. [...] L'apport d'eau du Ruisseau de Chaude en amont ne suffit pas à donner une dynamique suffisante au cours d'eau, marquée notamment une absence prolongée de crues ». Le rapport de CSD (2012) conclut à « une diversité granulométrique du substrat peu atteinte » sur ce tronçon vaudois, et à une « dynamique des berges nettement plus marquée, présence de bancs de galets [...] » par rapport au tronçon en amont du ruisseau de Chaude.



Figure 45: L'Hongrin en aval du Ruisseau de Chaude

Suite aux intempéries de 2010, le ruisseau de Chaude a été curé en juste en amont de son embouchure dans l'Hongrin et les 3'000 m³ déposés sur son flanc droite, juste en-dessus de l'Hongrin. Il s'agit de la seule intervention connue; elle avait pour but la sécurisation de la route et de ses deux ponceaux, qui retiennent les matériaux charriés lors d'événements extrêmes (comme en 2010). Lors d'années normales, ils sont transparents au charriage.

Le cours d'eau arrive dans le canton de Fribourg au Pk 8'400.

9.2.1 Courbe des débits classés

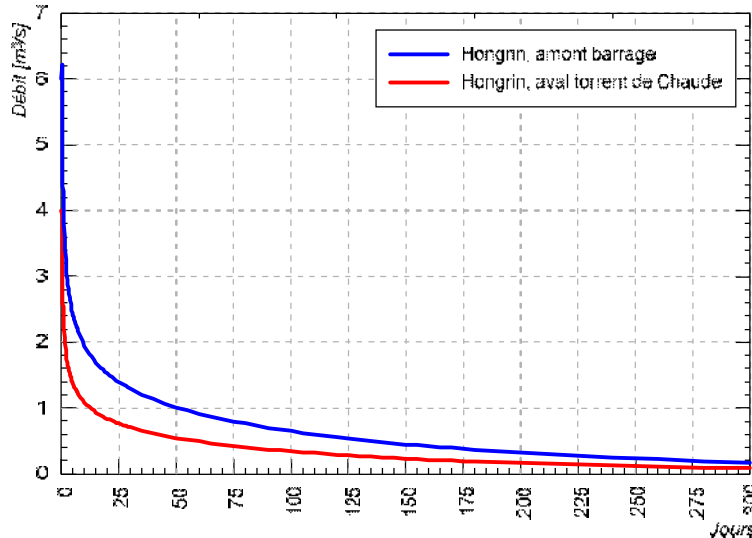


Figure 46: courbe des débits classés de l'Hongrin en amont et en aval du barrage (calculée selon la méthode proposée dans « Abschätzung der mittleren jährlichen Geschiebelieferung in Vorfluter » de l'OFEV)

La gamme de débit considérée comme pertinente pour le bilan annuel du régime de charriage va du débit MHQ (crue annuelle moyenne spécifique) au débit dépassé 15 jours par an, à savoir pour le tronçon en aval du torrent de Chaude :

$Q_{min} = 1 \text{ m}^3/\text{s}$

$Q_{max} = 4 \text{ m}^3/\text{s}$

9.2.2 Granulométrie

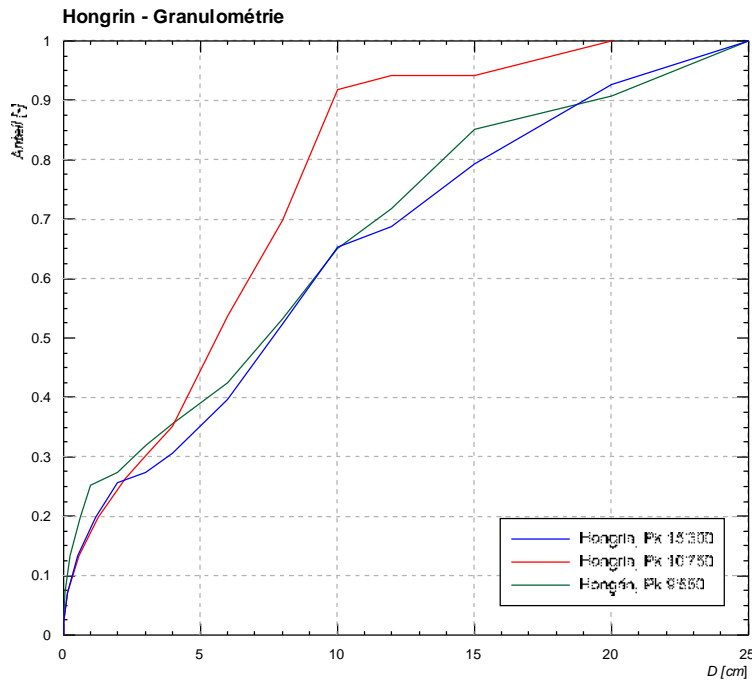


Figure 47: granulométrie de l'Hongrin (résultat des prélèvements en ligne). Pk 15'300 en amont du barrage, Pk 10'750 entre le barrage et le ruisseau de Chaude (septembre 2013, absence de boue organique), Pk 9'550 en aval du ruisseau de Chaude.

La granulométrie entre le barrage et le ruisseau de Chaude est plus grossière que les deux autres.

9.2.3 Profil en long topographique

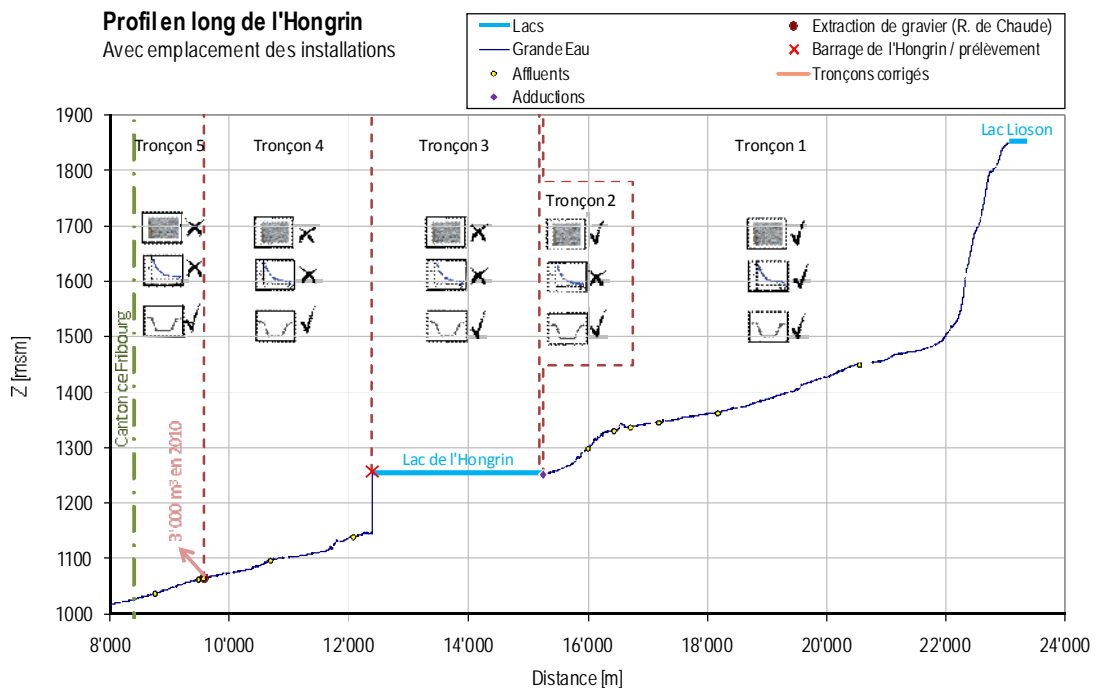


Figure 48: Profil en long de l'Hongrin

9.2.4 Morphologie historique et actuelle

L'Hongrin a été découpé en cinq tronçons.

La morphologie du premier tronçon (entre le col des Mosses et la Lécherette, environ Pk 22'000 à 18'000) est du type méandre, mais peu marqué. Après la Lécherette, le cours d'eau s'enfonce quelque peu dans le terrain avant de voir sa pente augmenter après le torrent des Anteines (Pk 16'012) et couler dans une gorge jusqu'au lac de l'Hongrin. Un léger pavage est présent sur ce tronçon.

Le deuxième tronçon est très court, entre l'adduction Est (Pk 15'251) jusqu'au lac (Pk 15'180, varie selon le niveau du lac). La morphologie n'y semble pas être perturbée par le débit supplémentaire.

Le lac de l'Hongrin (Pk 15'180 à Pk 12'385) correspond au troisième tronçon. Le tracé de l'ancien cours d'eau de l'Hongrin, visible sur la carte historique (Figure 41) et sur les photos du barrage lors de l'abaissement de 2013 (Figure 42), présente des méandres.

Le quatrième tronçon, en aval du barrage (Pk 12'385, 03-012385-2) jusqu'au ruisseau de Chaude (Pk 9'575), est à débit résiduel et ne possède pas d'autre installation. Sa morphologie naturelle a vraisemblablement peu de structures. La morphologie actuelle est caractérisée par la présence de boue organique.

Finalement le cinquième tronçon se situe en aval du ruisseau de Chaude jusqu'à la frontière du canton de Fribourg (Pk 9'575 à Pk 8'400). Sa morphologie ne semble n'être que peu altérée et correspond à un régime aux bancs alternés. Le ruisseau de Chaude est du point de vue du charriage très actif et apporte un volume conséquent dans l'Hongrin.

9.3 Estimation de la charge solide

9.3.1 Estimation du débit de charriage naturel

En amont barrage (jusqu'au Pk 15'180), le débit de charriage actuel est naturel, correspondant donc à son niveau nécessaire. A travers le lac de l'Hongrin, le charriage naturel s'élève à environ 50 m³/an qui sont déposés dans le lac (voir description au paragraphe 9.3.2). L'apport en charriage des autres affluents du lac est estimé à 50 m³/an également, ainsi le débit de charriage naturel vaut en aval du barrage environ 100 m³/an, 125 m³/an avec l'apport de la zone d'éboulis.

Après l'embouchure du ruisseau de Chaude (Pk 9'575), ce débit se voit augmenter à 425 m³/an jusqu'à ce que l'Hongrin arrive dans le canton de Fribourg.

9.3.2 Estimation du débit de charriage actuel

L'apport solide de l'Hongrin en l'état actuel dans son lac est estimé à moins de 50 m³ par an, ce qui est faible. Comme il n'y a pas d'installation influençant le charriage sur ce tronçon, cet apport correspond également à l'état naturel. Au-delà des calculs, plusieurs points viennent appuyer cette valeur faible :

Premièrement, les matériaux provenant du cirque rocheux en amont du lac Lioson vont être piégés par celui-ci. Les matériaux mobilisés dans la descente de l'Hongrin sur le col des Mosses vont être en grande partie déposés sur sa partie plus plate en amont de la Lécherette. De plus, le débit de crue sortant du lac Lioson va être laminé par celui-ci, limitant par la même l'érosion du tronçon raide et les apports dans le tronçon aval. Deuxièmement, la morphologie de l'Hongrin entre le col des Mosses et la Lécherette est peu développée. Le substrat est recouvert par de la mousse et des algues (Figure 40), un léger pavage du lit est présent et le fond du lit ne présente

que peu de structure. Cela indique que le charriage et la dynamique morphologiques sont faibles. Troisièmement aucun dépôt de sédiments dans le lac de l'Hongrin n'est connu. Lors de l'abaissement de 2013, rien de tel n'a été observé et les installations du barrage n'ont aucune trace d'usure, ce qui suggère un niveau de particules en suspension bas. Des 50 m³ aboutissant annuellement dans le lac, une part importante (estimée à 25 m³/an) provient du torrent des Antaines, qui se jette dans l'Hongrin (rive gauche) en amont de l'adduction Est.

Entre le barrage et l'embouchure du ruisseau de Chaude, le débit de charriage est en l'état actuel quasiment nul. Seule la zone d'éboulis en rive droite immédiatement en aval du barrage apporte une petite quantité de matériaux

Grâce aux apports du ruisseau de Chaude, le débit de charriage va monter à environ 300 m³/an jusqu'à sa sortie du canton de Vaud.

9.3.3 Estimation du débit de charriage nécessaire

Jusqu'au lac de l'Hongrin (Pk 15'180, 03-012385-2), le débit de charriage nécessaire correspond au débit de charriage naturel (et actuel). En aval du lac jusqu'au ruisseau de Chaude (Pk 9'575), le débit de charriage nécessaire dépendra fortement de l'hydrogramme des crues artificielles qui sont prévues et est estimé entre 25 et 50 m³/an (dans la Figure 49 ci-dessous, une valeur de 25 m³/an a été représentée).

En aval du ruisseau de Chaude, le débit de charriage nécessaire est estimé sur la base des observations à un petit peu plus haut que le débit de charriage actuel, à savoir environ 325 m³/an (l'impression donnée sur le terrain est bonne, et le rapport CSD de 2012 ne parle que d'« une diversité granulométrique du substrat peu atteinte »).

9.3.4 Établissement du profil en long de charriage - Bilan de transport solide

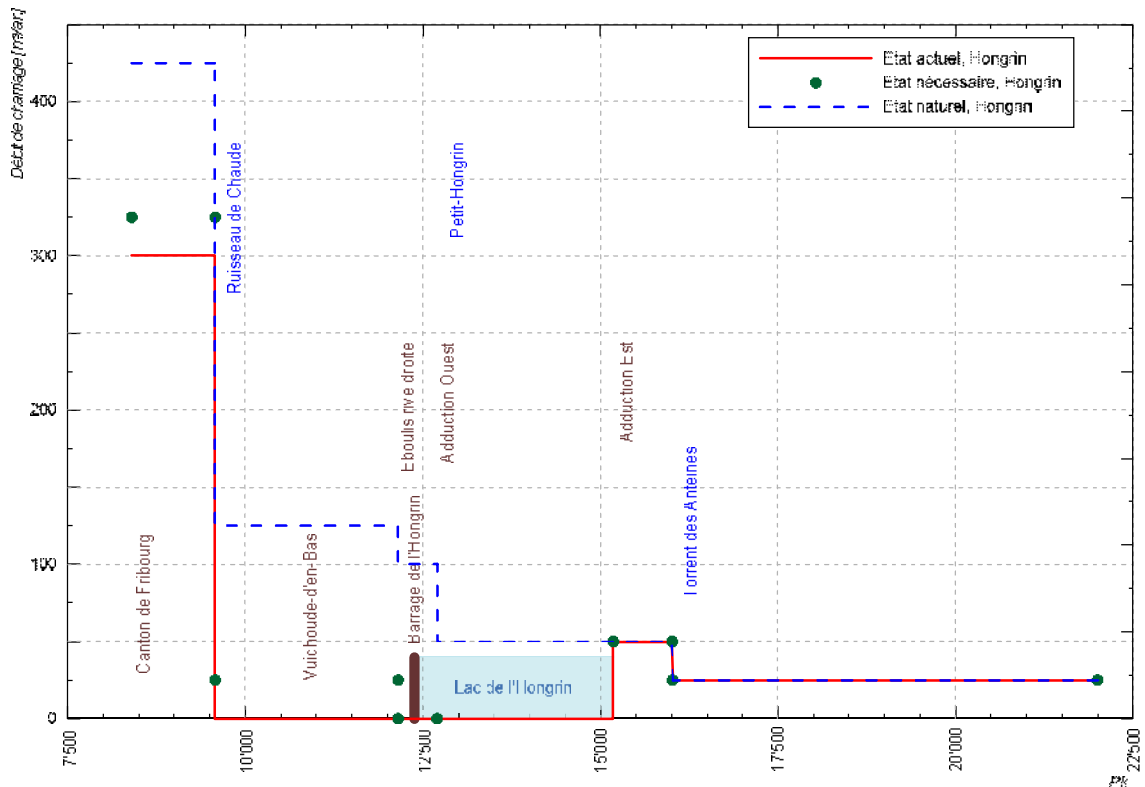


Figure 49: Profil en long de charriage de l'Hongrin

9.4 Description des tronçons avec atteinte

Le premier tronçon (jusqu'à l'adduction est, Pk 15'251) est naturel du point de vue du charriage, et donc sans atteinte.

Le deuxième (entre l'adduction est et le lac de l'Hongrin) a un débit augmenté artificiellement par l'adduction. Comme aucune altération n'est visible, il ne subit qu'une atteinte de niveau faible.

Le lac lui-même (tronçon 3) voit son débit de charriage réduit à zéro. Il subit donc une atteinte très prononcée.

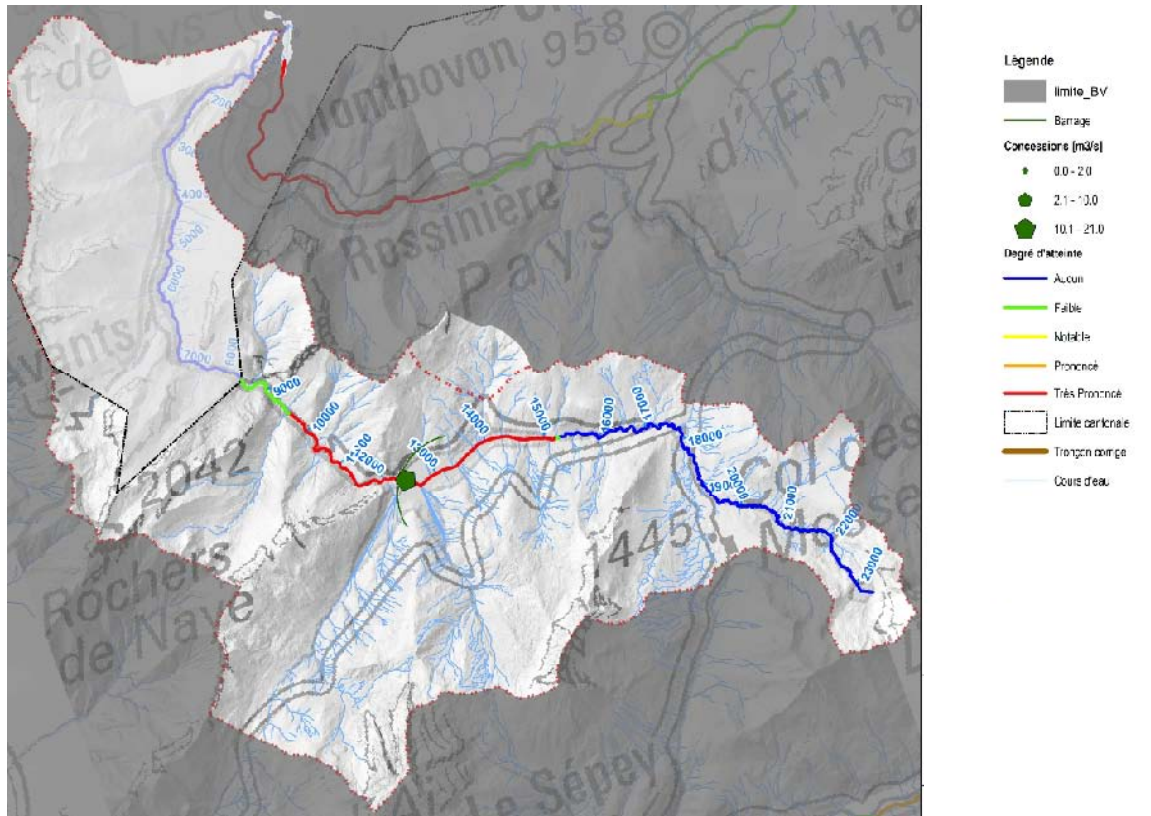


Figure 50: Carte de l'évaluation des atteintes au régime de charriage par tronçon – L'Hongrin

Le même niveau d'atteinte (très prononcé) est subit pas le quatrième tronçon (entre le barrage Le même niveau d'atteinte (très prononcé) est subit pas le quatrième tronçon (entre le barrage Pk 12'385 et le ruisseau de Chaude Pk 9'575), puisque son niveau de charriage actuel est considéré comme quasiment nul. La boue organique, qui va à moyen terme refaire son apparition, si des crues artificielles ne sont pas réalisées, change radicalement l'interface du fond du lit.

Enfin, le dernier tronçon (ruisseau de Chaude, Pk 9'575, jusqu'à la frontière cantonale, Pk 8'400) n'est plus atteint qu'avec un degré faible : en effet la morphologie en aval du ruisseau de Chaude est visuellement bonne et la granulométrie similaire à celle du tronçon en amont du lac. Le débit de charriage actuel n'est donc que légèrement inférieur à la valeur nécessaire.

Km Début	Km Fin	N°	Degré atteinte	Atteinte grave	Installation responsable	Description	Explication sur l'atteinte	Potentiel écologique	Nécessité d'assainir
15'251	15'180	2	faible		Rejet des différentes prises d'eau	Tronçon très court avant le lac	Débit augmenté	-	Non
15'180	12'385	3	très prononcé	X	Lac de l'Hongrin, concession Vevey 8 - forces motrices de l'Hongrin (03-012385-2)	Lac, retenue	Le charriage est nul	moyen	Non
12'385	9'575	4	très prononcé	X		Tronçon immédiatement en aval du barrage	L'apport en matériau est nul. Absence de dynamique de crues.	moyen	Oui
9'575	8'400	5	faible			En aval du ruisseau de Chaude	Le ruisseau de Chaude améliore en grande partie l'atteinte héritée depuis l'amont.	moyen	Non

Tableau 21: Résumé de l'analyse de l'Hongrin

9.5 Rôle des installations pour la protection contre les crues

Le but premier des installations de l'Hongrin n'est pas la protection contre les crues. Cependant, le lac a tout de même un effet de laminage sur les crues de l'Hongrin. De plus, le débit soutiré aux prises d'eau des bassins-versants externes peuvent être gérés afin d'y diminuer le débit en cas de besoin.

9.6 Impact sur les eaux souterraines

Il n'y a aucune interaction attendue entre les tronçons de cours d'eau atteints et les zones de protection des eaux souterraines.

9.7 Potentiel écologique

Le potentiel écologique du lac de l'Hongrin est résumé comme suit :

Le potentiel écologique de la retenue de l'Hongrin (tronçon 3) est considéré comme **moyen** compte tenu de la valeur paysagère du plan d'eau au sein d'objets classés au niveau fédéral et cantonal.

Le potentiel écologique du tronçon en aval du barrage est résumé comme suit :

Le potentiel écologique de l'Hongrin entre le barrage et le ruisseau de Chaude (tronçon 4) peut être considéré comme **moyen**. Le volet "revitalisation" attribue aussi un potentiel écologique et paysager moyen à ce tronçon (note de 7 sur 12). La réparation des atteintes d'origines anthropiques dans une mesure impliquant des coûts proportionnés ne permet pas d'obtenir un potentiel écologique élevé (présence du barrage).

Le contenu détaillé de l'évaluation de l'importance écologique actuelle et du potentiel écologique est mis en partie B, par manque de place. Nous prions le lecteur, intéressé à connaître plus en détail les arguments amenant aux conclusions reprises ici, de se référer au rapport en partie B.

9.8 Atteinte à la faune et à la flore

Le barrage de l'Hongrin provoque des atteintes importantes à la faune et à la flore, que ce soit au niveau de la retenue artificielle qui a été créée en amont, ou au niveau du cours d'eau en aval.

Pour la partie vaudoise du cours d'eau située en aval du barrage, l'atteinte à la faune et à la flore est liée principalement à l'artificialisation du régime hydrologique (tronçon à débit résiduel) et à la réduction quasi totale des volumes de matériaux charriés. Le diagnostic réalisé dans le cadre de l'assainissement des débits résiduels a montré un manque de dynamique (absence prolongée de crues et de charriage), un déficit en graviers et des dépôts de sédiments fins favorisant le colmatage. Ces atteintes expliquent des conditions peu favorables en termes d'habitat, de migration et de reproduction des truites.

9.9 Nécessité d'assainissement

Un assainissement du deuxième tronçon (entre l'adduction est Pk 15'251 et le lac de l'Hongrin Pk 15'180) n'est pas nécessaire. Etant donné sa longueur faible, le niveau d'atteinte faible et le potentiel moyen, les gains potentiels seraient proportionnellement trop faibles par rapport aux coûts.

Le troisième tronçon (lac de l'Hongrin, Pk 15'180 à Pk 12'385, 03-012385-2) lui-même subit une atteinte très prononcée et a un potentiel écologique moyen. L'ouvrage causant cette atteinte, à savoir le barrage, devrait donc être assaini. Le seul assainissement possible serait la démolition du barrage. Le besoin de grands barrages et de l'énergie hydraulique qu'ils produisent n'étant, pour des raisons de politique énergétique, pas remis en question, la mesure est considérée comme inadéquate et il n'y a donc par conséquent pas besoin d'assainir ce tronçon.

Le quatrième tronçon (entre le barrage Pk 12'385 et le ruisseau de Chaude Pk 9'575) subit également une atteinte très élevée. Son potentiel écologique étant moyen, il doit être assaini : une proposition d'assainissement est faite au chapitre 9.11.

Le cinquième tronçon (en aval du ruisseau de Chaude Pk 9'575 jusqu'au canton de Fribourg Pk 8'400) ne doit pas être assaini : son débit de charriage n'est que légèrement inférieur au débit nécessaire. Plus l'on s'éloigne du barrage, plus ce déficit va s'amoinrir.

Identifiant	Nom	Gravité de l'atteinte	Atteinte faune-flore	Charriage prépondérant	Potentiel écologique	Interaction avec les eaux souterraines	Importance protection contre les crues	Nécessité d'assainir
03-012385-2	Barrage de l'Hongrin	très prononcée	forte	(oui)	moyen	non	mon	oui

Tableau 22: Conclusion sur la nécessité d'assainir l'installation de l'Hongrin

9.10 Synergie avec d'autres modules des planifications / opportunités

L'assainissement de la concession du barrage de l'Hongrin est à l'étude depuis quelques années. Il a entre autre été proposé d'augmenter le débit résiduel de l'Hongrin et d'y générer des crues artificielles. Les résultats et idées résultantes de cette étude ont été étudiés et en partie repris dans la présente étude.

9.11 Mesure d'assainissement

9.11.1 Mesures envisageables

9.11.1.1 Adduction Est (03-015250-2)

L'influence de l'augmentation du débit de l'adduction Est étant à la fois très courte (moins de 100 mètres) et non visible, aucune mesure n'a été envisagée concernant le tronçon entre l'adduction et le lac de l'Hongrin.

9.11.1.2 Barrage de l'Hongrin (03-012385-2)

code	Variante	Type	Détail	
2.e.3	A	Génération de crues artificielles	Crues artificielles pour redonner une dynamique au cours d'eau. Des études ont déjà été faites (bureau CSD) Mesure à combiner avec un apport mécanique de sédiments (variantes B et C), si la zone d'éboulis en aval du barrage n'apporte pas assez de matériaux ou si ceux-ci ne sont pas adéquats (gravier anguleux).	
2.e.2-1	B	Génération de crues artificielles + Ajout de sédiment dans le tronçon en aval du barrage	Apport mécanique de matériaux en provenance des dépôts du ruisseau de chaude.	Déversement à Vuichoude-d'en-bas
2.e.2-2	C			Déversement immédiatement sous le barrage

Tableau 23: Mesures envisageable pour le barrage de l'Hongrin (03-012385-2)

9.11.2 Evaluation des mesures

9.11.2.1 Barrage de l'Hongrin (03-012385-2)

Efficacité de la mesure	Variante A	Variante B	Variante C
	Crues artificielles	Crues artificielles + déversement à Vuichoude-d'en-Bas	Crues artificielles + déversement sous le barrage
Pronostic de performance (charriage)	Très bonne	Très bonne	Très bonne
Portée de la mesure	Bonne	Faible	Bonne
Synthèse de l'efficacité de la mesure	Très bonne	Bonne	Très bonne

Evaluation - Critères prioritaires	Crues artificielles	Crues artificielles + déversement à Vuichoude-d'en-Bas	Crues artificielles + déversement sous le barrage
A) Degré de gravité de l'atteinte	favorable	favorable	favorable
B) Potentiel écologique	neutre	favorable	favorable
C) Proportionnalité des coûts	favorable	favorable	favorable
D) Intérêt de la protection contre les crues	neutre	neutre	neutre
E) Politique énergétique	pas favorable	pas favorable	pas favorable

A conserver :

OUI	OUI	OUI
-----	-----	-----

Evaluation - Critères secondaires	Variante A	Variante B	Variante C
	Crues artificielles	Crues artificielles + déversement à Vuichoude-d'en-Bas	Crues artificielles + déversement sous le barrage
Adéquation de la mesure	favorable	neutre	favorable
Faisabilité	favorable	critique	favorable
Acceptabilité (synergie/opportunité)	neutre	neutre	neutre
Maîtrise de coûts	neutre	neutre	neutre
A conserver :	OUI	non	OUI

Tableau 24: Synthèse des mesures envisageables pour le barrage de l'Hongrin

9.11.3 Proposition de mesure d'assainissement

La première mesure envisagée (variante A) consiste à réaliser des crues artificielles comme décrite dans le rapport d'assainissement de CSD (volume de 200'000 m³/an). Ce même rapport part du principe que la zone d'éboulis juste en aval du barrage (flanc nord) apporte suffisamment de matériaux pour réalimenter suffisamment le charriage de l'Hongrin. Dans le cadre de suivi de la mesure, il convient de porter une importance particulière aux points suivants :

- Le volume alloué aux crues artificielles est-il suffisant ?
- Le volume apporté par la zone d'éboulis est-il adapté : des phénomènes d'érosion ou d'atterrissement sont-ils observés en aval ?
- Des matériaux d'éboulis sont-ils très différents des matériaux du lit d'une rivière ? Les premiers sont anguleux, alors que les seconds ont déjà en partie été arrondis par le cours d'eau. Il faut s'assurer que le substrat résultant ne soit pas trop anguleux.

Si la réponse à la première question est négative, le volume d'eau mis à disposition devrait être augmenté.

Dans le cas où la réponse à l'une des deux dernières questions ne serait pas satisfaisante, la variante C devraient alors être envisagée : des matériaux en provenance du ruisseau de Chaude (extraits suite aux intempéries de 2010 et déposés juste avant l'embouchure dans l'Hongrin) devraient être déversés dans l'Hongrin directement au pied du barrage (déversement depuis la route, avant le tunnel).

La variante B (déversement au lieu-dit Vuichoude-d'en-Bas) présente l'avantage d'un trajet plus court depuis le ruisseau de chaude (trajet plus court, facilité d'accès). Par contre, les volumes à déverser ne pourraient pas l'être directement depuis le pont, mais nécessiteraient la construction d'une piste d'accès pour pouvoir les répartir dans le lit du cours d'eau, ce qui est jugé disproportionné et implique le rejet de la variante B.

Lors de l'abaissement du lac fin 2012, les débits importants relâchés ont emporté les matériaux de l'éboulis qui s'étaient accumulés juste au pied du barrage. Il est peut-être nécessaire de réalimenter tout d'abord ce stock de matériaux afin qu'une pente suffisante se mette en place.

A noter que toutes les mesures proposées seraient également bénéfiques pour la partie fribourgeoise de l'Hongrin.

9.11.4 Délai d'assainissement

Conformément à l'article 83a de la LEaux (entrée en vigueur le 31.12.2010), l'assainissement du barrage de l'Hongrin doit être réalisé d'ici à fin 2030.

10. Rhône (partie VD)

10.1 Description du BV

Le Rhône est le cours d'eau principal de la plaine qui porte son nom. Il prend sa source au glacier du Rhône, à l'extrémité Est du canton du Valais, puis coule le long de la plaine du Rhône, où il est rejoint par les rivières et torrents de toutes les vallées latérales. Entre Lavey et son embouchure dans le lac Léman au Bouveret, le Rhône forme la frontière entre les cantons de Vaud (rive droite) et du Valais (rive gauche).

Le Rhône a subi deux grandes corrections entre le milieu du 19^{ème} et celui du 20^{ème}. Ces corrections ont corseté le cours d'eau dans un lit étroit le plus rectiligne possible. Un des buts était l'augmentation de la capacité de transport des matériaux. Malgré cela, cette capacité est restée inférieure aux apports et seules des extractions de gravier maintiennent un niveau de fond stable.

Une troisième correction (R3) est en cours de réalisation selon le plan d'aménagement de 2012.

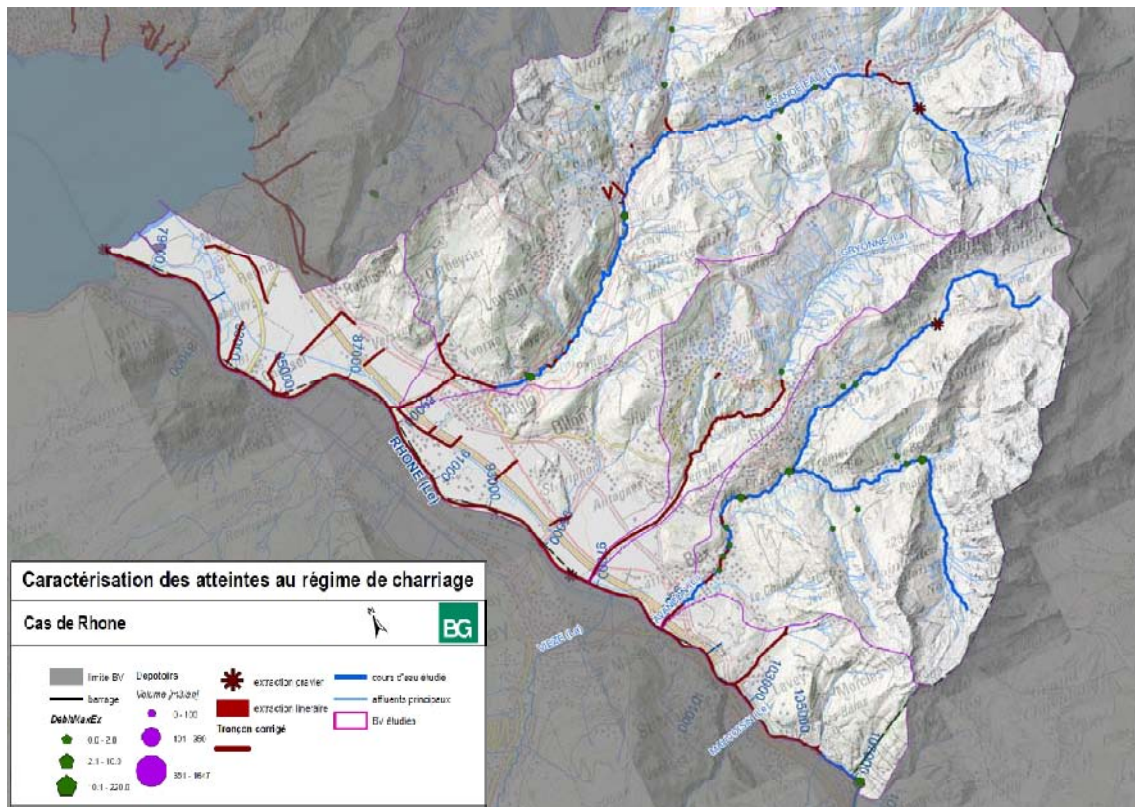


Figure 51: Carte du bassin versant du Rhône avec les principales installations en jeu

10.2 Description du cours d'eau (canton de Vaud)

Juste en amont du canton de Vaud se situe le barrage de Lavey (code d'installation, 04-107193-1), qui dérive une grande partie du débit jusqu'à l'usine électrique du même nom, avant de la rejeter quelques cinq kilomètres en aval, à Lavey (rive droite).

Le tronçon à débit résiduel en aval du prélèvement, qui correspond au lit naturel du fleuve, coule le long du Bois-Noir au pied du versant droite de la plaine jusqu'aux Bains-de-Lavey. Le Bois-Noir correspond au cône de déjection du torrent de St-Barthélémy, affluent en rive gauche. Le torrent de St-Barthélémy est très actif en ce qui concerne l'apport de matériaux. Il est stabilisé par des seuils transversaux massifs dans la gorge en amont d'Evionnaz. Ces ouvrages maintiennent stables les versants, limitant l'érosion dans la gorge, mais laissant transiter les matériaux venant de la partie amont de son bassin-versant, exempte d'installation. Aucun prélèvement de matériaux n'est effectué. Les apports du St-Barthélémy sont estimés à 20'000 m³ par an. Le cône du St-Barthélémy a conduit à une situation similaire à celle de l'Ilgraben et de la forêt de Finges en amont de Sierre : la pente du Rhône en amont s'est abaissée à cause de l'obstacle formé par le cône de déjection, le cours d'eau s'est vu forcé de couler au pied de versant opposé au torrent et s'est taillé un chenal étroit et pentu (plus de 1%) le long du cône lui-même. Le Rhône est, sur ce tronçon, quasiment naturel jusqu'aux bains : seules quelques protections de berge en rive gauche sont présentes.

Entre Lavey-les-Bains et le rétrécissement de St-Maurice, le Rhône est corrigé et reçoit tout d'abord les eaux du Mauvoisin en rive gauche puis celles du rejet de la centrale hydroélectrique de Lavey en rive droite. La pente est plus faible, mais toujours de l'ordre de 0.4%.

En aval du rejet de l'usine de Lavey (04-107193-1), le Rhône voit sa pente s'abaisser régulièrement jusqu'à 0.1% à son embouchure dans le lac Léman. Il reçoit les eaux des affluents principaux suivants : l'Avançon (rive droite), la Vièze (rive gauche), la Gryonne (rive droite) et la Grande Eau (rive droite).

10.2.1 Historique des corrections du Rhône

« Avant la correction, le lit du Rhône était environ deux fois plus large qu'aujourd'hui. D'après les cartes du XIXe siècle, on peut conclure que le Rhône comportait autrefois un lit mineur et des bras latéraux distincts (Figure 52). De part et d'autres du lit mineur, des surfaces alluviales étaient inondées lors de petites crues déjà. Les torrents des vallées latérales apportaient pendant les crues de grandes quantités de matériaux que le Rhône, plus large et débordant rapidement, ne pouvait évacuer. Les calculs estimatifs indiquent que la capacité de charriage avant la correction s'élevait probablement à quelques 1'000 m³ par an. L'apport total de matériaux entre Brigue et le lac Léman devait cependant dépasser largement les 200'000 m³/an (y compris apport de l'Ilgraben). Ce déséquilibre entre les apports et la capacité de charriage générerait de fortes dépôts et la formation de cônes de déjection aux embouchures des affluents. Cependant, comme le lit du fleuve était large et se déplaçait en permanence à cause des dépôts d'alluvions, ces processus se déroulaient très lentement. »²¹

²¹ Ce paragraphe est tiré du rapport B-236.A Vue d'ensemble, Modèle de charriage du Rhône, HZP, 2012

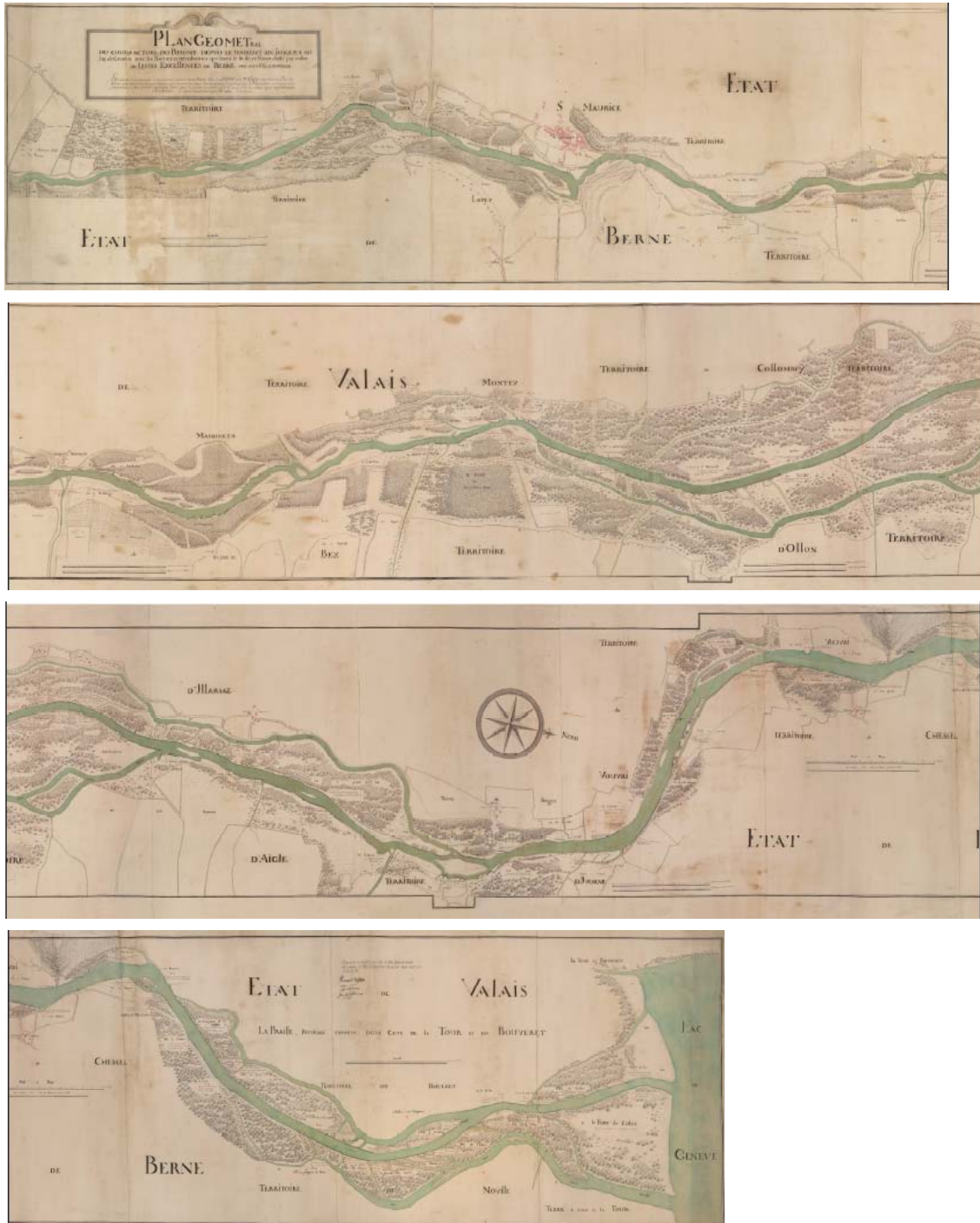


Figure 52: Cartes topographiques de la plaine du Rhône au milieu du XVIII^{ème} siècle (repris de F. G. De Rovera, 1760) de l'amont (1) vers l'aval (4)

« Comme la plupart des corrections de fleuves au XIX^e siècle, la 1^e correction du Rhône (1863-1897) a massivement rétréci et endigué le fleuve. Cette mesure a permis d'atteindre des objectifs importants, notamment d'améliorer la protection contre les crues et de gagner des terres agricoles. Toutefois, l'objectif de maîtrise du régime de charriage n'a pas été atteint. Les processus de déposition commencés immédiatement après la première correction ont rapidement remis en question les objectifs de celle-ci et ont nécessité la mise en œuvre d'une deuxième correction (1930-1960) qui a encore resserré et canalisé le fleuve.

10.2.1.1 1^{ère} correction :

Entre 1864 et 1894, le Rhône a été systématiquement transformé de l'embouchure de la Massa jusqu'au lac Léman. Le type de profil choisi se composait de deux digues longitudinales et d'épis érigés perpendiculairement au courant, espacés d'environ 30 m.

Sur la section de Lavey au lac Léman, la largeur du lit moyen a été fixée à 48 m. Contrairement à la rive vaudoise, du côté valaisan des épis ont été érigés à intervalles de 29 m.

Après la première correction, le Rhône avait toujours une capacité de charriage insuffisante pour évacuer les énormes volumes de sédiments apportés par ses affluents. Cela a eu pour conséquence des dépositions et des inondations.

10.2.1.2 2^{ème} correction

Suite aux débordements, les digues ont été rehaussées entre 1930 et 1960. En outre, de nombreux intervalles entre les épis ont été comblés. Le profil en double trapèze qui en a résulté présentait une capacité de charriage accrue, ce qui a permis d'atténuer les processus de déposition ultérieurs.

Les principales mesures de la deuxième correction du Rhône furent :

- le rehaussement et la stabilisation des digues
- l'abaissement du fond
- le comblement des intervalles entre épis

10.2.1.3 Affluents

Entre 1864 et 1894, la majorité des affluents ont été aménagés. Dans la plaine, ces rivières présentent aujourd'hui majoritairement un lit canalisé à fond pavé. Les canaux collecteurs de plaines ont été construits à la même époque. »²²

10.2.1.4 Conséquence des corrections sur la morphologie

La conséquence des deux corrections du Rhône est un cours d'eau au fond plat et sans structure (Figure 53).



Figure 53: gauche : Rhône à l'embouchure de la Vièze (contre le sens du courant), droite : à l'embouchure de la Grande Eau (dans le sens du courant)

²² Ce passage est tiré du rapport B-236.E Lavey-lac, Modèle de charriage du Rhône, HZP, 2012

10.2.2 Courbe des débits classés

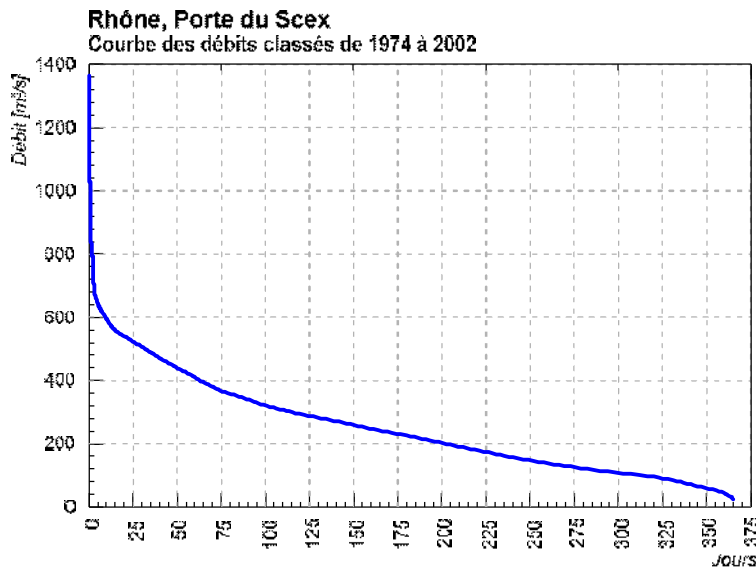


Figure 54: courbe des débits classés du Rhône (station de mesure Porte du Scex), mesures 1974-2002

La gamme de débit considérée comme pertinente pour le bilan annuel du régime de charriage commence à environ 200 à 300 m³/s (début du charriage), ce qui correspond à un Q₁₀₀ à Q₂₀₀.

10.2.3 Granulométrie

La granulométrie du Rhône en aval de St-Maurice est relativement homogène avec un d_m d'environ 4-5 cm et un d₉₀ d'environ 10-12 cm. Le tronçon raide entre le barrage de Lavey (04-107193-1) et St-Maurice (où se jette le torrent de St-Barthélémy) possède une granulométrie nettement plus grossière : avec un d_m entre 12-18 cm, un d₉₀ au-delà de 30 cm et des blocs jusqu'à 1 m de diamètres. Les matériaux apportés par le St-Barthélémy sont avec un d_m de 4.4 cm et un d₉₀ de 8.6 cm nettement plus fins que ceux du Rhône à cet endroit.

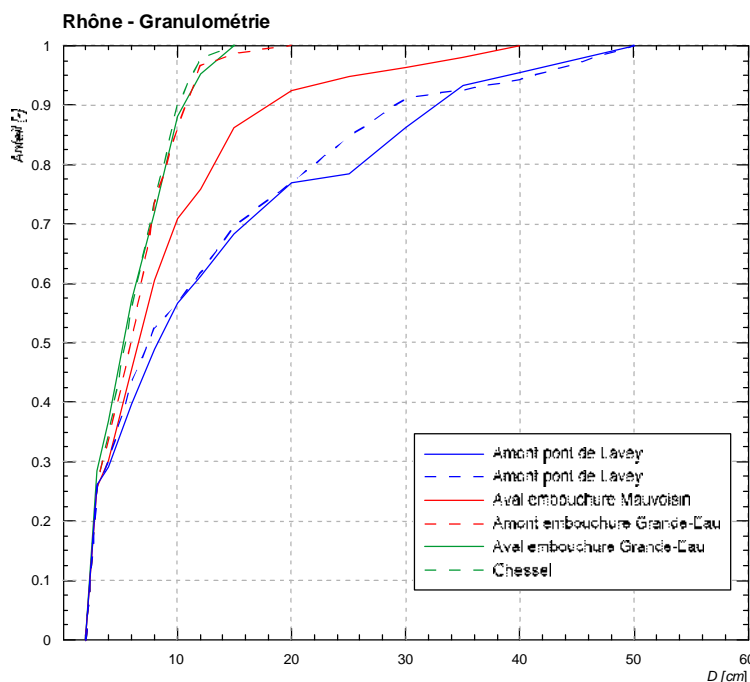


Figure 55: granulométrie du Rhône

10.2.4 Profil en long topographique

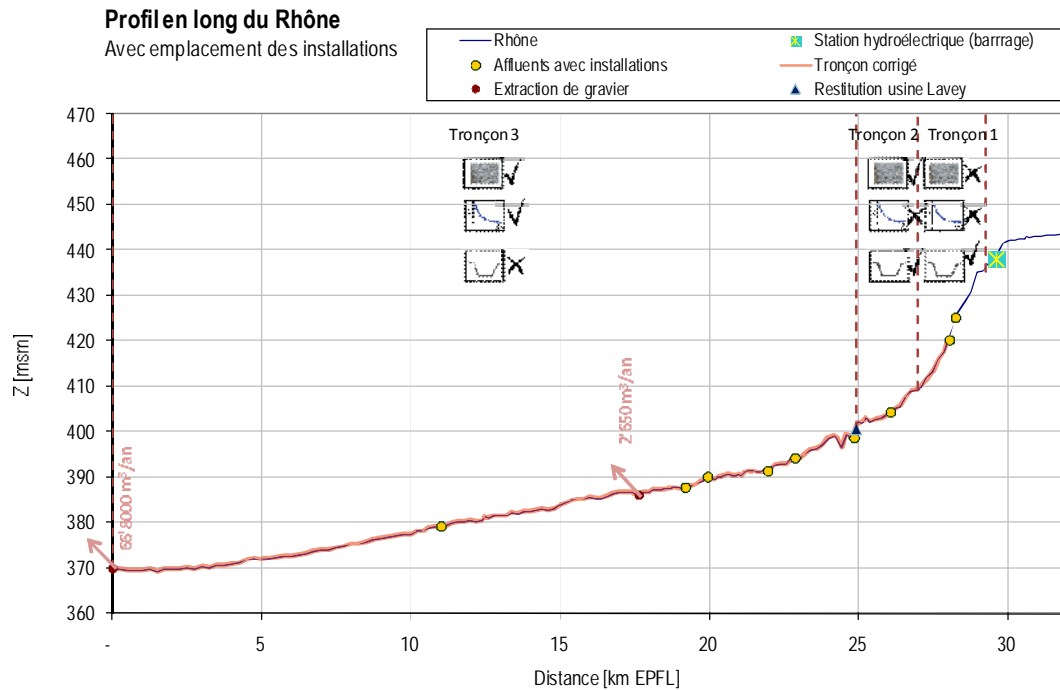


Figure 56: Profil en long du Rhône

Le Rhône se laisse facilement découper en trois tronçons aux pentes bien différenciées.

Le premier tronçon va de la frontière cantonale (Pk 106'910) jusqu'à Lavey-les-Bains (Pk 104'400, 200 mètres en aval du pont) au lit étroit et raide (> 1%). Le deuxième tronçon est corrigé et se termine par le rejet de l'usine de Lavey (Pk 102'565) et a une pente de l'ordre de 0.4%. Le troisième et dernier tronçon, lui aussi corrigé, s'étire jusqu'à l'embouchure dans le lac Léman avec une pente s'abaissant graduellement jusqu'à 0.1%.

10.2.5 Morphologie historique et actuelle

La Figure 52 montre le Rhône au milieu du XVIII^{ème}. Malgré le fait que le cours d'eau soit à l'époque déjà corrigé de manière locale, des bras secondaires sont visibles. En particulier le tronçon entre l'embouchure du torrent de St-Barthélémy et St-Maurice présente des bancs de graviers et deux îles (Figure 57).



Figure 57: Extrait (tronçon torrent de St-Barthélémy et St-Maurice) de la carte topographique de la plaine du Rhône au milieu du XVIII^{ème} siècle (repris de F. G. De Roverea, 1760).

En l'état actuel, le Rhône est morphologiquement très pauvre : son cours est quasiment rectiligne, sans bancs de graviers et sans île (voir Figure 53).

10.2.5.1 Torrent de St-Barthélémy

Le torrent de St-Barthélémy est un affluent de rive gauche du Rhône se jetant entre Evionnaz et St-Maurice dans le Rhône dans le tronçon raide du Bois-Noir (en aval de la retenue de Lavey). Ce cours d'eau transportait en l'état naturel une grande quantité de matériaux et en déposait une partie sur son cône de déjection (Bois-Noir), une autre partie arrivant jusque dans le Rhône. Depuis sa correction (seuils transversaux stabilisant les flancs dans la gorge en amont d'Evionnaz) ses apports en matériaux ont nettement diminués, mais sont toujours élevés (estimés à 20'000 m³/an).

A noter que le comportement du Rhône et celui du torrent de St-Barthélémy diffèrent fortement en ce qui concerne leurs régimes de charriage et hydrologique : le Rhône charrie des matériaux plus de 100 jours par an, alors que le torrent de St-Barthélémy ne charrie des matériaux que lors d'événements pluvieux intenses, ce qui n'arrive que quelques fois par année.

Le débit du Rhône est durant l'été (moyenne mensuelle pour la période de 1974 à 2002 : juin 235 m³/s, juillet 260 m³/s et août 235 m³/s, à la station de Branson, Figure 59) régulièrement plus élevé que le débit équipé de l'usine de Lavey de 220 m³/s. Le débit traversant le tronçon à débit résiduel est ainsi durant cette période relativement élevé. Les dépôts de matériaux en provenance du torrent de St-Barthélémy à son embouchure dans le Rhône (Figure 62, en haut) sont par conséquent systématiquement emportés au plus tard durant l'été par le Rhône, que cela soit dans les états naturel, actuel ou futur. Le bilan annuel des matériaux provenant du torrent de St-Barthélémy n'est donc pas influencé par le barrage de Lavey.



Figure 58: gauche : seuil transversal dans la gorge du St-Barthélémy, droite : St-Barthélémy dans le Bois-Noir (amont de l'autoroute)

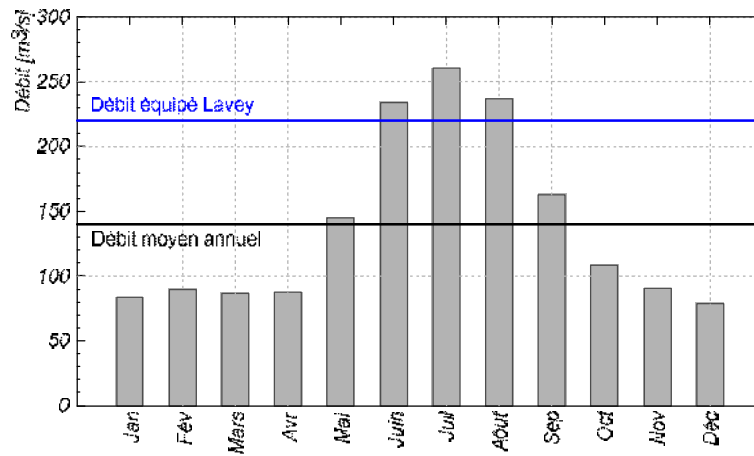


Figure 59: débit mensuel moyen du Rhône à la station de Branson et débit annuel moyen (140 m³/s) pour la période 1974-2002, ainsi que débit équipé de l'usine de Lavey (220 m³/s)



10.3 Estimation de la charge solide

10.3.1 Estimation du débit de charriage naturel

La capacité de transport du Rhône en l'état naturel est estimée à quelques 1'000 m³/an, bien plus faible que les apports des affluents valant environ 200'000 m³/an (somme de tous les affluents en amont du lac Léman). Par conséquent, la plaine du Rhône était dans son état naturel continuellement en état d'atterrissement : de nouveaux bancs de graviers se formaient régulièrement, des bras secondaires divaguaient dans la plaine et le Rhône sortait fréquemment de son lit.

10.3.2 Estimation du débit de charriage actuel

Les deux corrections du Rhône ont nettement augmenté la capacité de transport du fleuve, mais celle-ci est tout de même restée inférieure aux apports. Là encore, une tendance à l'atterrissement s'est développée. Seule des extractions régulières, dans le Rhône et ses affluents, ont permis de stabiliser le fond du lit en l'état actuel. En parallèle, les affluents ont été en de nombreux endroits stabilisés et des lieux d'extraction de gravier ont été créés avant leur embouchure dans le Rhône.

10.3.3 Estimation du débit de charriage futur (R3)

La troisième correction du Rhône (R3), qui est en planification, prévoit un élargissement quasi généralisé du lit du cours d'eau, faisant ainsi baisser la capacité de transport. Un nouveau concept d'extractions a donc vu le jour, afin d'assurer à long terme la stabilité du fond de lit.

Le projet R3 (comprenant la géométrie GR3 et les extractions) est considéré comme suffisamment avancé pour être l'état devant être pris en compte dans cette étude. **L'état étudié est donc l'état futur R3**, et non pas l'état actuel.

Avec le projet R3, le charriage en amont du barrage de Lavey (04-107193-1, voir Figure 60) est d'environ 5'000 m³/an, avant de baisser à une valeur proche de celle de l'état actuel au niveau du barrage (environ 1'500 m³/an) jusqu'au torrent de St-Barthélémy. En aval du torrent de St-Barthélémy, le charriage remonte grâce aux apports des différents affluents pour varier entre 5'000 et 13'000 m³/an jusqu'au lac Léman.

10.3.4 Estimation du débit de charriage de référence

L'état de référence choisi (état nécessaire) est le projet de la 3ème correction du Rhône (R3), sans le barrage de Lavey. Dans cet état de référence, le débit de charriage vaut environ 7'000 m³/an à travers le Bois-Noir (voir Figure 60).

10.3.5 Etablissement du profil en long de charriage

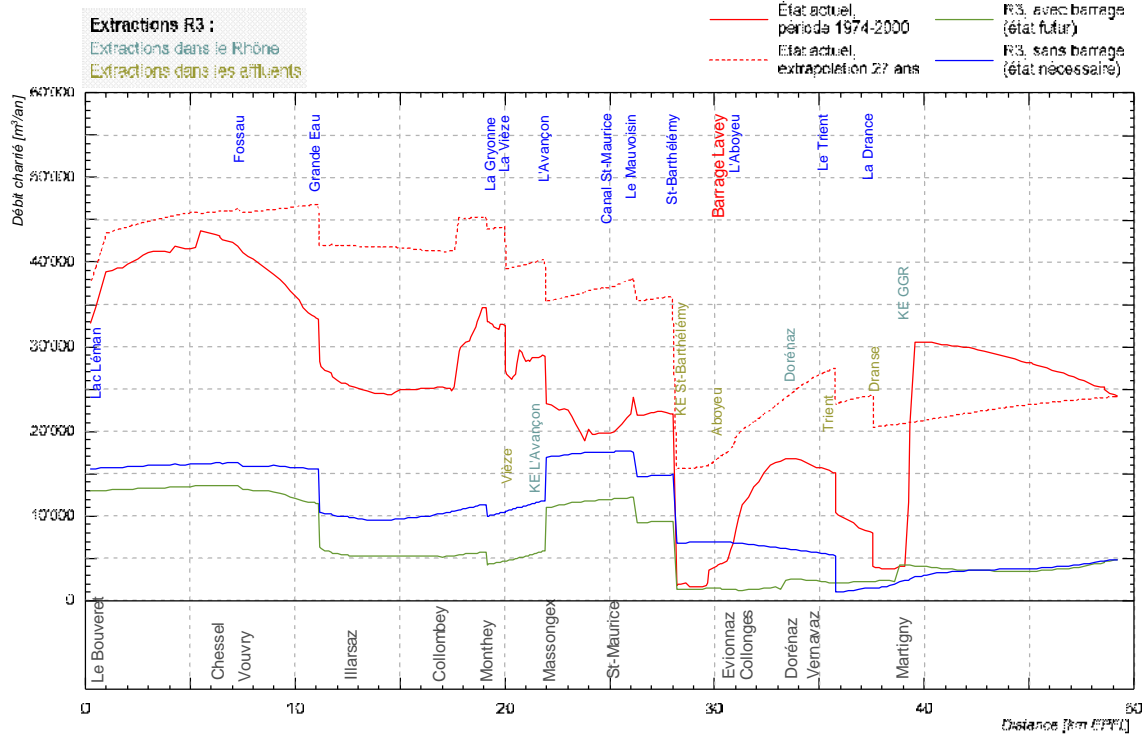


Figure 60: Profil en long de charriage du Rhône, en l'état actuel (1974 à 2000 et extrapolation), R3 avec barrage et R3 sans barrage (Etat actuel basé sur le modèle 2008, R3 basé sur la géométrie R3-2010) L'extrapolation de l'état actuel simule l'évolution du Rhône si rien n'était changé par rapport à son état actuel (mêmes extractions, même géométrie, etc.).

10.4 Description des tronçons avec atteinte

10.4.1 Atteinte état futur (R3)

Le tronçon entre le barrage de Lavey (04-107193-1) et l'embouchure du St-Barthélémy (Pk 105'805) subit ainsi une atteinte très prononcée du charriage. En effet, le débit de charriage en l'état actuel et en l'état futur (R3) est d'environ 1'000 m³/an en aval du barrage de Lavey, alors qu'il vaut environ 7'000 m³/an en l'état de référence (réduction d'environ 85%).

En l'état naturel ou de référence, l'aspect global du cours d'eau entre le barrage et le torrent de St-Barthélémy ne serait de prime abord pas bien différent de celui que l'on observe actuellement (voir Figure 62). Néanmoins, des graviers fins (qui sont en grande partie retenus en l'état actuel par le barrage de Lavey) se déposeraient dans ce tronçon à la fin des périodes de haute-eau et formeraient des bancs de graviers fins.

Le tronçon entre le St-Barthélémy (Pk 105'805) et le lac Léman (Pk 77'515) possède un charriage annuel suffisant avec le projet R3 (les extractions avec R3 seront gérées d'une manière telle, qu'un niveau de charriage suffisant soit assuré). **Il ne subit donc pas d'atteinte au charriage.**

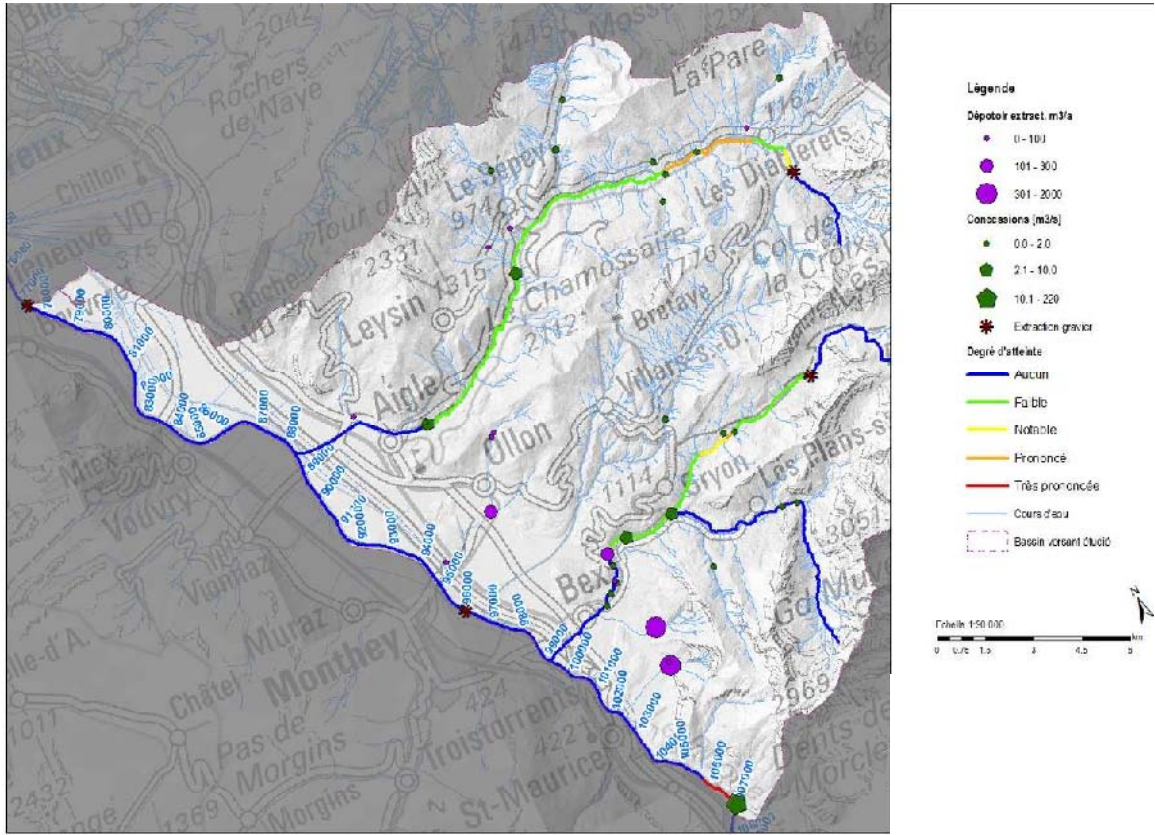


Figure 61: Carte de l'évaluation des atteintes au régime de charriage par tronçon - Rhône





Figure 62: Photos du Rhône. En haut : le Rhône à l'embouchure du torrent de St-Barthélémy de celui-ci après un événement (mars 2007). Au milieu à droite : quelques centaines de mètres en amont du St-Barthélémy (septembre 2013), au milieu à gauche : quelques centaines de mètres en aval du St-Barthélémy (septembre 2013). En bas à gauche : vue depuis le pont de Lavey-les-Bains vers l'amont (septembre 2013), en bas à droite vue depuis le pont de la STEP vers l'amont (septembre 2013).

10.4.2 Atteinte état actuel

Dans le cadre de la planification cantonale valaisanne de l'assainissement du charriage, le barrage de Lavey et son influence ont aussi été étudiés. A la différence du présent rapport, c'est l'état actuel (et non pas l'état après la 3^{ème} correction du Rhône) qui y a été considéré, avec les conclusions suivantes :

Le barrage de Lavey modifie en l'état actuel le régime de charriage du Rhône d'une façon telle, que la protection contre les crues n'est pas assurée (exhaussement du lit en amont du barrage et les extractions nécessaires qui en découlent). **L'installation provoque une atteinte et son assainissement est donc nécessaire.** Pour plus de détails, le lecteur est prié de se référer au rapport valaisan.

Km Début	Km Fin	N° tronçon	Degré atteinte	Atteinte grave	Installation responsable	Description	Explication sur l'atteinte	Potentiel écologique	Nécessité d'assainir
107'244	105'802	1	très prononcé	X	Barrage de Lavey (04-107193-1)	Barrage avec retenue	Le transfert de matériaux à travers la retenue est très faible.	élevé	oui
105'802	102'554	2	nul			Tronçon naturel	Le torrent de St-Barthélémy apporte suffisamment de matériaux.	élevé	non
102'554	77'428	3	nul			Tronçon corrigé		-	non

Tableau 25: Résumé de l'analyse du Rhône

10.5 Rôle des installations pour la protection contre les crues

Le barrage de Lavey (04-107193-1) n'a pas un rôle de protection contre les crues. Toutefois, il a un impact négatif de par l'atterrissement qu'il provoque dans sa retenue.



10.6 Impact sur les eaux souterraines

Le tronçon entre St-Barthélémy et Lavey-les-Bains (Pk 105'801 – 104'400) touche une zone réservée (périmètre de développement) située à la confluence avec l'Avançon de Morcle sur environ 700 m. Ce périmètre correspond à un sondage géothermique profond (-300 m environ). Ainsi il n'y a pas d'interaction directe entre la nappe et le tronçon de cours d'eau à cet endroit-là.

Mentionnons tout de même que les inondations dans la plaine peuvent avoir une incidence sur la nappe. Ainsi si un projet de revitalisation était réalisée dans ce secteur, une attention particulière devrait être prise de manière à éviter l'inondation du secteur autant que possible.

10.7 Potentiel écologique²³

Le potentiel écologique du Rhône est résumé comme suit:

Le potentiel écologique du Rhône entre la limite cantonale et l'embouchure du torrent de St-Barthélémy, soit l'état de référence théorique après réparation d'une partie des atteintes est considéré comme **élevé** par GREN (amélioration de la reproduction de la truite lacustre).

Le potentiel écologique du Rhône entre l'embouchure du torrent de St-Barthélémy et la restitution de l'usine de Lavey est également considéré comme **élevé** pour la même raison.

A noter que le volet "revitalisation" attribue un potentiel écologique et paysager **moyen** à ces deux tronçons (note de 5 à 6 sur 12). Le potentiel de connectivité est élevé (liaison biologique suprarégionale) et le critère habitats et stations d'espèces patrimoniales est moyen à élevé, mais les critères "paysage" et "sites protégés" n'obtiennent que 1 point chacun.

Le potentiel écologique du Rhône n'a pas été évalué en aval de la restitution de l'usine de Lavey.

10.8 Atteinte à la faune et à la flore

Le barrage de Lavey provoque des atteintes à la faune et à la flore, que ce soit au niveau de la retenue artificielle en amont, ou au niveau du tronçon du Rhône situé entre le barrage et la restitution de l'usine.

L'atteinte à la faune et à la flore est liée principalement à l'artificialisation du régime hydrologique (tronçon à débit résiduel, purge) et de manière secondaire à la réduction des volumes de matériaux charriés. Le barrage constitue également un obstacle infranchissable pour le poisson qui pouvait à l'origine remonter le Rhône valaisan sur des kilomètres en amont et rejoindre ses affluents.

Les études existantes qui ont été réalisées ces dernières années sur l'aménagement de Lavey et sur ce tronçon du Rhône documentent plus précisément les atteintes à la faune et à la flore. Ces études n'ont pas pu être compilées dans le cadre du présent travail.

²³ Il s'agit du potentiel déterminé pour le canton de Vaud dans le cadre de cette étude. Le canton du Valais a également procédé de son côté à l'évaluation du potentiel écologique



10.9 Nécessité d'assainissement

Le barrage de Lavey (04-107193-1) provoquant une atteinte au régime de charriage très prononcée (jusqu'à l'embouchure du St-Barthélémy, Pk 105'802), le potentiel écologique de ce tronçon étant élevé et n'ayant pas un rôle de protection contre les crues, son assainissement est nécessaire.

Identifiant	Nom	Gravité de l'atteinte	Atteinte faune-flore	Charriage prépondérant	Potentiel écologique	Interaction avec les eaux souterraines	Importance protection contre les crues	Nécessité d'assainir
04-107193-1	Barrage de Lavey	très prononcée	oui	(oui)	élevé	non	non	oui

Tableau 26: Conclusion sur la nécessité d'assainir l'installation du Rhône

L'approche du rapport du canton de Valais (état actuel), bien que différente, conclut également à une nécessité d'assainissement.

10.10 Synergie avec d'autres modules des planifications / opportunité

La troisième correction du Rhône (planification en cours) ainsi que le projet Lavey+ constituent deux projets devant être considérés.

10.11 Mesure d'assainissement

Les mesures d'assainissement doivent être étudiées en collaboration avec le canton du Valais.

11. Sarine (partie VD)

11.1 Description du BV

La Sarine est un cours d'eau du bassin du Rhin de 126 km de long qui prend sa source au col du Sanetsch (Glacier de Tsanfleuron) et qui se jette dans l'Aar en aval du Wohlensee. Son bassin versant présente une superficie de 1'892 km².

La Sarine parcourt ses premiers kilomètres en Valais sur territoire saviésan. Elle alimente ensuite le barrage du Sanetsch (lac artificiel) et poursuit son chemin sur territoire bernois en passant par Gsteig. Après environ 25 km, la Sarine devient vaudoise à Rougemont et elle s'écoule dans le Pays-d'Enhaut sur 16 km avant d'arriver sur territoire fribourgeois quelques kilomètres en aval du lac du Vernex.

Le lac du Vernex est un lac artificiel créé lors de la construction du barrage de Rossinière en 1972. Ce barrage présente une hauteur de 30 m et un couronnement de 35 m de long. Il est exploité par Groupe E qui capte les eaux dans le lac et les turbine à la centrale de Montbovon située sur le canton de Fribourg.

La Sarine présente un débit résiduel entre le barrage de Rossinière et le lac de Montbovon, soit sur un linéaire d'environ 5 km, dont près de 3 km situés sur le canton de Vaud²⁴. Sur ce tronçon, environ 1km en aval du barrage actuel de Rossinière se trouve un seuil "seuil de la Tine", qui correspond au barrage historique.

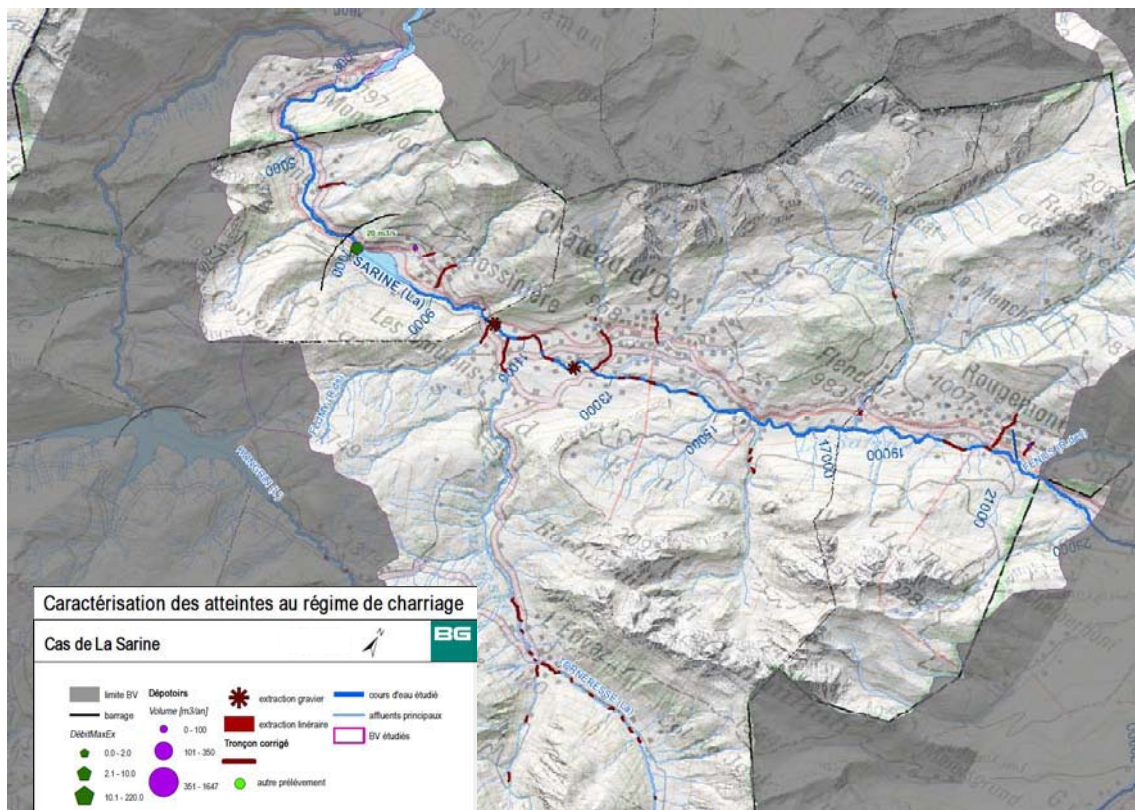


Figure 63: Carte du bassin versant de la Sarine – partie vaudoise - avec les principales installations en jeu

²⁴ Pour l'essentiel la description du BV est reprise du rapport GREN



11.2 Description du cours d'eau

Le cours d'eau devient vaudois au point kilométrique 21'500 (le point 0 étant au barrage Lessoc). Juste en amont de la frontière BE-VD, le cours d'eau est relativement étroit, avec une structure géomorphologique confinée. Le premier tronçon s'étend de la frontière BE-VD (21'500) à la première extraction de gravier de Bois Bricod (Pk 12'200). Quelques centaines de mètres en aval de la frontière BE-VD, entre l'affluent des Fenils (Pk 21'000). Ce petit cours d'eau confiné dans une gorge. Sur son dernier tronçon le pavage est relativement marqué. Il n'y a pas de réelles installations sur son linéaire, sa pente moyenne est de l'ordre de 3%. La Sarine a une pente moyenne de l'ordre de 1.2%, à cette confluence.

Le cours d'eau méandre en contrebas de Rougemont, avec quelques légers renforcements de berge pour limiter le méandrage sur ce tronçon. Après quelques méandres la Sarine reçoit les eaux du Flendruz. Cet affluent semble moins contraint, avec un tronçon de confluence qui méandre, et une pente locale de l'ordre de 1%. A l'approche du Flendruz, la Sarine a une pente locale de l'ordre de 0.5%, la moyenne étant de l'ordre de 1.1% en aval de ce point.

La Sarine s'élargit un peu dans la traversée de Château d'Oex (jusqu'à 35m de large), et présente une sinuosité moins marquée. Au point kilométrique 12'200 se trouve la première installation importante : l'extraction de Bois Bricod (M5). Elle se situe en amont du pont de Pierre, dans un élargissement faisant jusqu'à 42m de large. La deuxième installation se situe au Pk 10'350, au lieu-dit Chaudanne. Ces deux installations extraient au total, en moyenne 3'600m³/an. Juste en amont de Chaudanne, l'affluent de Torneresse en provenance de l'Etivaz rejoint la Sarine (Pk 10'590). Le dernier tronçon de la Torneresse, est corrigé, on aperçoit quelques dépôts épars à la confluence avec la Sarine, faisant penser que le transit est efficace, et le tronçon de confluence non limitant.

En aval de l'extraction de Chaudanne (M1, Pk 10'350), les gorges sont confinées; elle s'ouvre à l'entrée du lac Vernex. La granulométrie du lit est fortement réduite à l'entrée du lac, par rapport aux tronçons en amont. Les études EPFL menées sur cette retenue mentionnent que tous les sédiments charriés se déposent dans le lac; une partie importante des sédiments en suspension se dépose également.

Le tronçon à débit résiduel en aval du barrage de Rossinière montre une absence de dynamique alluviale, un fort pavage avec colmatage. Le lac du barrage de Lessoc, sur canton de Fribourg ne rencontre pas de problème de remplissage, ce qui illustre l'absence de transport solide sur le dernier tronçon vaudois. De petits affluents arrivent latéralement, mais leurs apports ne sont pas significatifs pour rétablir le charriage (lave torrentielle peu fréquente). Le prochain affluent important pour le charriage est l'Hongrin qui arrive dans le lac de Lessoc (canton de Fribourg).

Mentionnons que quelques centaines de mètres en aval de l'actuel barrage de Rossinière se trouve un seuil important (de l'ordre de 6 à 8m de haut). Il correspond au barrage historique, comblé de sédiment. La pente de ce tronçon est très faible et fait office de tronçon limitant, dans la mesure où des apports transitent de l'amont. Ainsi à l'état actuel, ce seuil n'a pas d'effet sur le charriage.

11.2.1 Courbe de débits classés

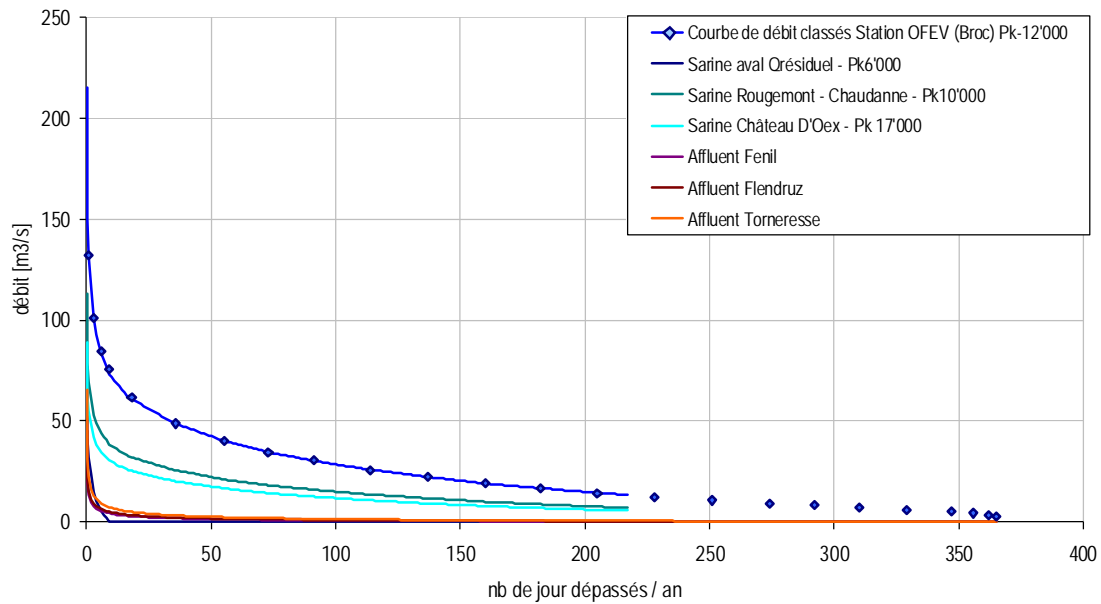


Figure 64: Courbe de débits classés – Sarine et ses affluents

La courbe des débits classés pour la Sarine est construite sur la base de la courbe des débits classés de la station de mesure de Broc (12km en aval du barrage Lessoc), adaptée selon la portion du bassin versant considéré. Le tronçon à débit résiduel a pour courbe de débit classés, le débit naturel auquel on soustrait le débit d'équipement (40m³/s) en situation de crue (jusqu'à Q_{8j}), et il correspond à 0.35m³/s pour les débits naturels inférieurs à 40m³/s.

Pour les affluents, la méthodologie OFEV, basée sur les courbes IDF est utilisée.

La gamme de débit considérée comme pertinente pour le bilan annuel du régime de charriage va du débit journalier moyen de temps de retour $T=20$ ans au débit dépassé 100(-200) jours par an. Pour la Sarine en amont du lac Vernex (Pk10'000), cela correspond à la gamme suivante:

$$Q_{min} = 11.8(- 6.2) \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{max} = 89 \text{ m}^3/\text{s}$$

11.2.2 Granulométrie

Les courbes relevés dans les études de l'EPFL ont été utilisées et complétées par deux relevés en ligne plus en amont. Dans les tronçons élargis, on voit que la granulométrie déposée s'affine soit au Pk 11'300 et au Pk 8'100.

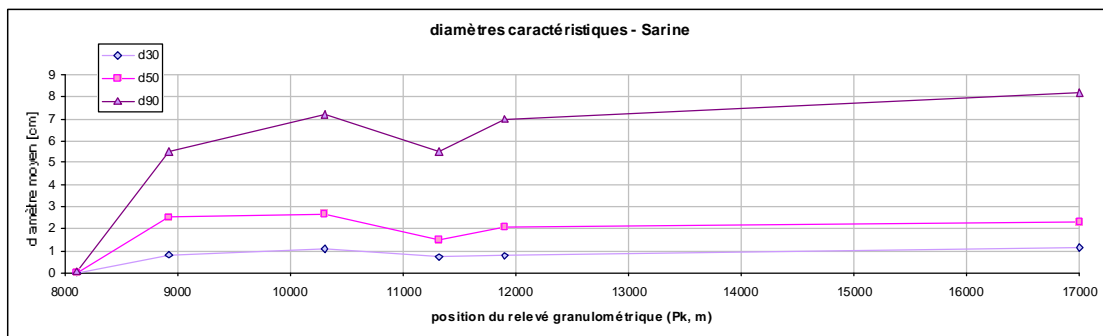


Figure 65: Evolution des diamètres caractéristiques sur la Sarine

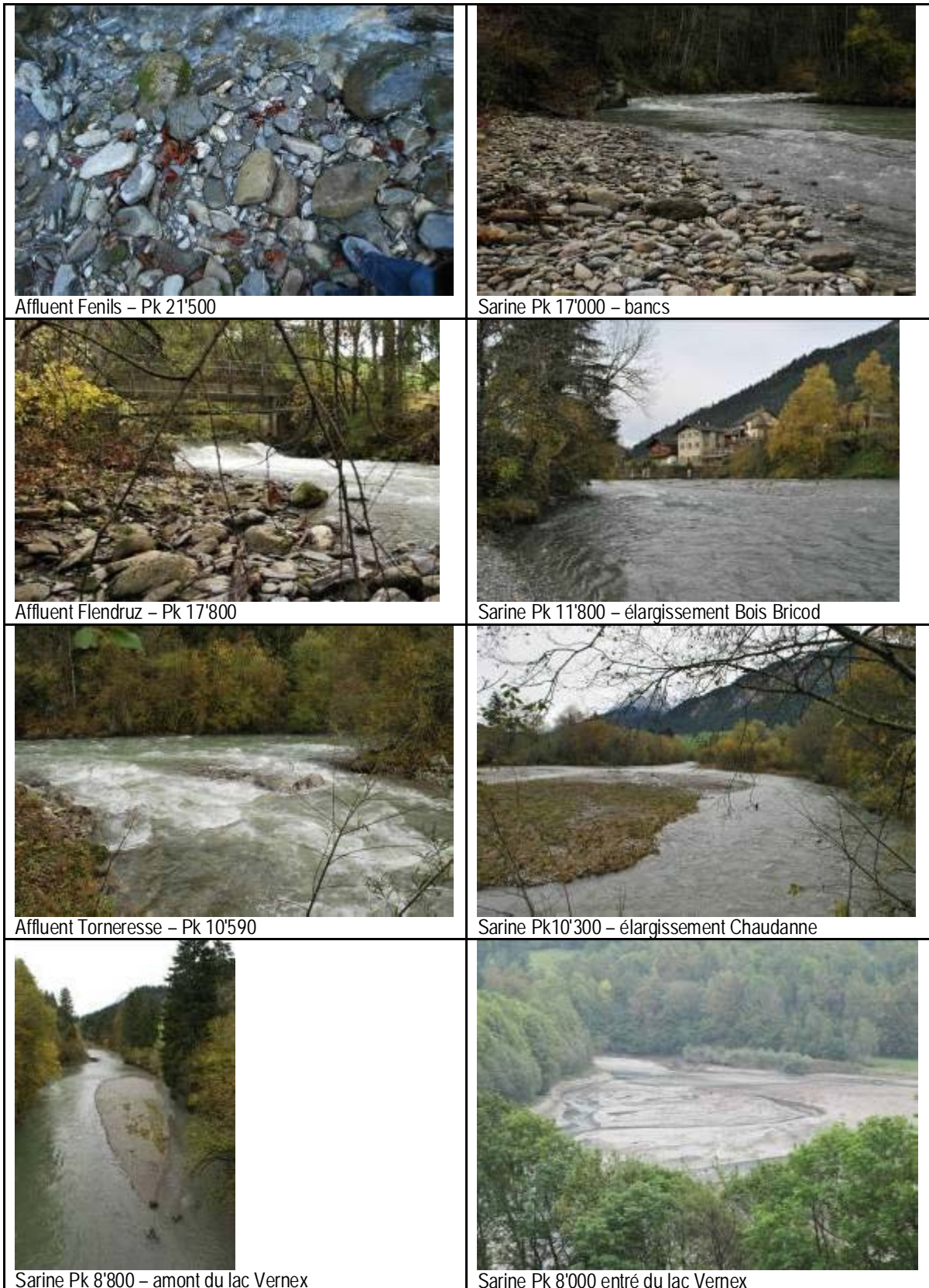


Figure 66: Photos des secteurs importants sur la Sarine et ses affluents

11.2.3 Profil en long topographique

Sur le profil en long, on identifie les trois installations importantes: au Pk12'200 extraction Bois Bricod (M5), au Pk 10'350 extraction Chaudanne (M1), au Pk 7'500 le barrage de Rossinière. La frontière Vaud-Bern se situe au Pk 21'500, la frontière Vaud-Fribourg se situe au Pk 4'750.

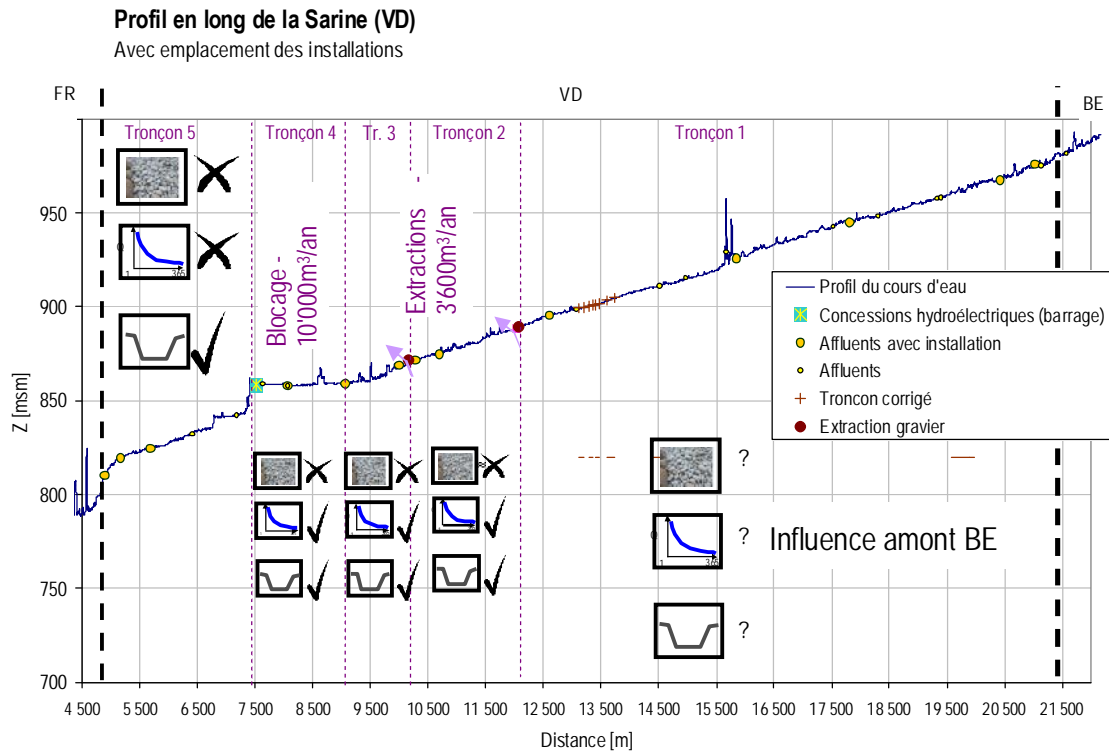


Figure 67: Profil en long de la Sarine avec l'analyse sommaire

Le compte-rendu de l'analyse sommaire est résumé à l'aide des trois vignettes sur chaque tronçon, identifiant les types d'atteinte et leur importance.

Le premier tronçon est uniquement influencé par les installations basées sur canton de Berne, à savoir plusieurs extractions de gravier et l'installation hydroélectrique de Gsteig. Ainsi les résultats des analyses du canton de Berne sont repris pour l'entrée du tronçon 1 (Pk 21'000 – 12'200).

A partir du tronçon 2 (Pk 12'200 – Pk10'350), une analyse plus approfondie est nécessaire pour comprendre le bilan de charriage et évaluer l'influence des installations. On voit que le tronçon 2 subit une réduction de charriage lié à l'extraction Bois Bricod, tout comme le tronçon 3 (10'350-8'520). Les tronçons 4 (Pk 8'520 – Pk 7'320) et 5 (Pk 7'320 – Pk 4'750) sont principalement sous l'influence de l'installation du barrage de Rossinière, le tronçon 4 étant le tronçon du lac Vernex, et le tronçon 5 en aval du barrage étant à débit résiduel. L'influence du barrage de Rossinière dépasse les frontières cantonales, et s'étend jusqu'au barrage de Lessoc (sur sol fribourgeois).

11.2.4 Morphologie historique et actuelle

Pour cette étape, le focus est mis sur le tronçon à évaluation approfondie. En analysant les cartes historiques, plusieurs constats peuvent être faits.

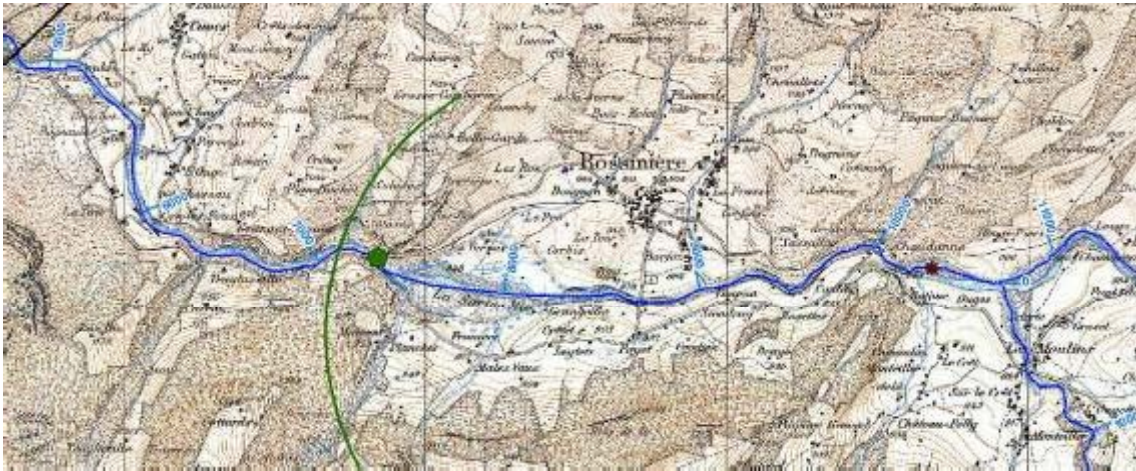


Figure 68: carte historique Siegfried de 1890 avec le tracé actuel en trait bleu foncé – secteur du barrage de Rossinière

Le barrage de Rossinière (Pk 7'320) a été mis en service en 1972. Ainsi sur les cartes historiques Siegfried de 1890, on voit différents bras, avec une zone humide dans le secteur du lac Vernex (le lac actuel est mis en traitillé bleu sur la Figure 68). Le secteur de Chaudanne est déjà composé de deux bras, avec l'élargissement. La largeur du lit semble légèrement plus importante qu'aujourd'hui, entre autre dans le tronçon en aval du barrage.

On peut calculer la largeur de régime à l'aide de la formule empirique de G. Parker (1979)²⁵, en fonction du débit morphogène et du diamètre moyen. A l'aide du diagramme de Da Silva & al, on peut situer la morphologie de régime que cela représenterait. Selon le calcul de la largeur naturelle de régime, la morphologie naturelle est de type bancs alternés, mais se situe à proximité d'un système dits ramifiés ou en tresse.

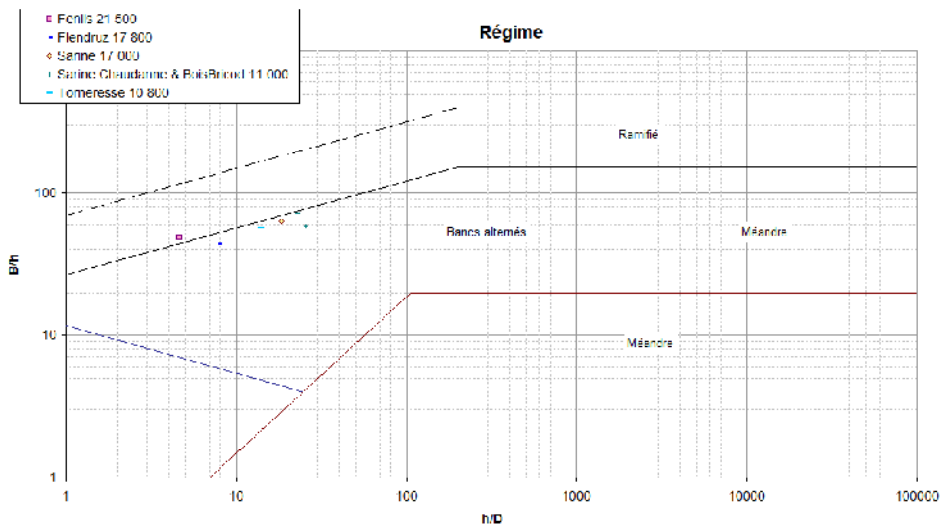


Figure 69: Morphologie naturelle selon le diagramme de Da Silva

²⁵ G. Parker, 1979, "Hydraulic Geomery of Active Gravel Rivers", Proc. ASCE, J. of Hydr. Div 105 (HY9), 1185-1201

11.3 Estimation de la charge solide

11.3.1 Estimation de la charge solide - état naturel (sans installation)

Le charriage à l'état naturel est déduit à partir de l'état actuel, et correspond à l'état sans installation; les trois installations concernées sont les suivantes: l'extraction de Bois-Bricod, l'extraction de Chaudanne, et le barrage de Rossinière.

Au vu des configurations topographique on estime que les extractions de gravier se situent dans des élargissements qui font office de tronçon limitant.

Ainsi pour le tronçon limitant de Bois-Bricod, la granulométrie trouvée au pied des berges, au droit de l'installation est sélectionnée pour estimer le diamètre moyen de charriage. Le tronçon élargi fait de l'ordre de 42m de large. Ainsi la capacité de charriage se situe autour de 4'000m³/an, avec une forte sensibilité sur le diamètre moyen.

Le tronçon de Chaudanne a aussi une capacité limitant à l'état naturel, elle se situe autour de 12'000 m³/an.

Par ailleurs, au vu des images satellites de 1943, soit avant la construction du barrage, on devine que le secteur de l'actuel lac Vernex était un tronçon limitant pour le charriage.

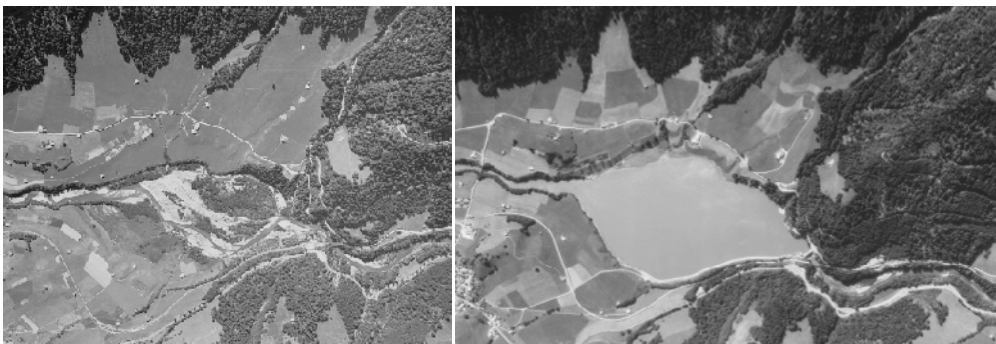


Figure 70: Orthophotos de 1943 et 1980 du secteur du lac Vernex

11.3.1.1 Apports des affluents

Les apports des affluents principaux ont également dû être estimés, pour la plupart, le tronçon de la confluence a une pente plus faible, donnant une configuration de tronçon limitant au secteur:

Nom affluent / tronçon	Pk	Approche		Effet du pavage taux d'apport	Bilan de charriage [m ³ /an]		
		calcul	comparaison / expertise		Calcul de capacité	Volume effectif min	Volume effectif max
tronçon amont (BE)	21'500			1	5000	4000	5000
Fenil	21'000	x		0.5	4000	1500	2000
Flendruz	17'800	x		0.9	3000	1000	5500
Torneresse	10'590	x		1	7000	4000	25000
T. des Riz	6'300		x		250	250	250

Tableau 27: Capacité et apport en charriage des affluents de la Sarine et tronçon amont



L'affluent des Fenils apporte entre 2'000 et 1'500 m³/an. Dans ce cas, on considère que la capacité de charriage n'est pas satisfaite, au vu du pavage observé et de la nature encaissé du cours d'eau. La capacité est 2 fois plus importante, comme le montre le triangle rouge, elle est autour des 4'000m³/an.

L'affluent du Flendruz montre une structure plus en équilibre dans les derniers méandres avant la confluence. Ainsi on considère que la capacité de charriage est presque satisfaite: la capacité théorique se situe autour de 3'000m³/an (la valeur minimale plausible est à 1'000m³/an); le transport effectif est entre 2'700m³/an et 900m³/an.

La Torneresse est un des gros affluents de la Sarine vaudoise, et draine tout le bassin versant depuis l'Etivaz jusqu'aux Moulins. Ainsi, on estime que la capacité de transport du tronçon aval, juste avant la confluence est de l'ordre de 6'000m³/an. Le bassin versant drainé par cet affluent est important, on estime donc qu'il est possible pour l'affluent de drainer un tel volume de charriage. Malgré le pavage marqué, on observe un petit banc à la confluence ainsi que des dépôts juste en aval dans la Sarine, ainsi on estime que la capacité de charriage est satisfaite.

Dans la cadre de l'étude d'impact sur l'environnement des purges du lac du Vernex, les apports latéraux de charriage entre le barrage de Rossinière et le lac de Montbovon était estimé à 3'100 m³/a. Il n'est pas clair s'il s'agit du débit charrié annuel ou du débit solide total y compris les matériaux fins. Dans le même rapport, un faible alluvionnement du lac de Montbovon est documenté. Des calculs hydrauliques simples ont montré que les forces tractrices dans le secteur du barrage de Lessoc ne permettent pas de faire transiter des matériaux. Basée sur l'observation qu'il n'y a que très peu de dépôt dans le lac, il est conclu que les apports en charriage en aval du barrage de Rossinière sont très faibles. Selon les observations, on estime les apports du Torrent de Riz de l'ordre de 250m³/an. L'apport latéral de charriage entre le barrage de Rossinière et le lac de Montbovon est estimé à 400 m³/a.

11.3.2 Estimation de la charge solide – état actuel (avec installation)

La littérature est conséquente sur le problème du lac Vernex et de son atterrissement. Selon les relevés bathymétriques du lac fait entre 1974 et 2010, il y a quelques 44'000m³/an de sédiment qui se déposent dans le lac, correspondant à une granulométrie étendue (charriage et suspension). On sait, par les études de l'EPFL, qu'il y a entre 80'000 et 90'000 m³/an de transport total, avec la moitié du volume qui transite au-delà du lac (la partie transitant est en suspension). Selon l'étude E-dric, la proportion de charriage dans le transport solide total est estimée à 13%. Ainsi on estime que le débit charrié entrant dans le lac Vernex est de l'ordre de 11'000m³/an.

Les deux extractions de gravier, Bois-Bricod et Chaudanne, extraient ensemble un volume de l'ordre de 3'600m³/an en moyenne sur les 10 dernière années, il n'y a pas de limite maximale mentionnée dans la concession. Mentionnons que les extractions sont faites dans des élargissements naturels, ainsi la capacité de charriage y est limitante à l'état naturel.

Les deux éléments inconnus importants pour l'analyse sont les suivants: l'apport de la Torneresse (Pk10'500), la capacité de transport du tronçon amont, soit au lieu de l'installation Bois-Bricod (cf. § 11.3.1).

Pour la Torneresse, les apports sont estimés de l'ordre de 6'000m³/an.

Pour le tronçon amont, les données issues de l'étude sur canton de Berne sont reprises. Elles sont cohérentes avec le bilan de charriage connu du lac Vernex et des apports estimés des affluents.

11.3.3 Estimation du débit de charriage nécessaire

Selon l'aide à l'exécution réalisée par l'OFEV, le débit de charriage nécessaire est défini par les critères suivants :

1. Un tronçon de cours d'eau (non corseté) doit pouvoir développer une morphologie analogue à celle de l'état naturel. Son lit doit ainsi pouvoir prendre une forme semblable à celle qu'il aurait naturellement, avec des bancs qui se constituent également de façon similaire à ce qu'ils feraient naturellement.
2. La couche superficielle des bancs de graviers doit se renouveler régulièrement lors des hautes eaux (dynamique morphologique), empêchant ainsi les bancs de se colmater et garantissant la présence d'un substrat meuble.

On peut admettre que les exigences (1) et (2) sont remplies si la couche supérieure des bancs de gravier se renouvelle annuellement sur une épaisseur d'environ 30 cm. Dans ces conditions, une couche de gravier meuble et suffisamment profonde est en permanence à disposition des biocénoses aquatiques.

Cette couche de 30 cm est suffisante pour le creusement des frayères et dépasse normalement la profondeur du colmatage interne.

L'application de la méthode proposée dans l'aide à l'exécution donne des valeurs de charriage nécessaire qui semblent trop faibles. Ceci notamment en raison du peu de secteurs où se développent encore des bancs, et de la petite taille des bancs sur les cours d'eau étudiés. Une méthode alternative est donc utilisée. Elle se base sur la méthode proposée par beffa tognacca gmbh dans le cadre de l'étude de la Muota²⁶.

Pour les cours d'eau à banc alterné, la surface des bancs est approchée par la formule suivante :

$$A_{Bank} = \lambda / 2 \cdot B_{Bank} = (2 \div 4) B^2$$

Où $\lambda = (6 \div 12) \cdot B$, λ étant la longueur d'onde qui dépend de la largeur naturelle du cours d'eau. La largeur des bancs est estimée à $B_{Bank} = 2/3 \cdot B$. La largeur naturelle du cours d'eau est estimée sur la base de la largeur de régime proposée par Parker (1979) :

$$B = 4.4 \cdot \left(\frac{Q}{((s-1) \cdot g \cdot d_{50})^{0.5}} \right)^{0.5}$$

Le volume calculé est finalement multiplié avec des coefficients supplémentaires pour prendre en considération la configuration du lit, ces coefficients sont basés sur l'aide à l'exécution :

Table 1: Détermination du débit nécessaire charrié, en fonction de la configuration du lit

Configuration du lit	Coefficient	Formule pour A_{Bank}
Tronçon avec méandres / lit droit	1 à 1.5	$A_{Bank} = (2 \div 6) \cdot B^2$
Tronçon en bancs alternés	1.5 à 2.0	$A_{Bank} = (3 \div 8) \cdot B^2$
Tronçon ramifié	2 à 3	$A_{Bank} = (4 \div 12) \cdot B^2$

Le charriage nécessaire est estimé sur la base de l'analyse présentés ci-dessus (et issu de l'étude pilote de la Muota). Les volumes estimés sont les suivants:

²⁶ "Sanierung Geschiebehalt, pilotprojekt Muota", p. 32, beffa tognacco gmbh, 2012

CE	Pk	Bfond	B régime	Dm	Morphologie	Charriage nécessaire actuel		Charriage nécessaire	
		m	m	m	1 - ramifié 2 - banc alterné 3 - méandre / CE droit	min	max	min	max
Fenils	21 500	5.5	18	0.08	2	30	70	400	1200
Flendruz	17 800	10.2	21	0.06	2	90	250	400	1000
Sarine	17 000	25	40	0.03	2	600	1500	1400	3800
Sarine Bois Bricod	11 800	42	42	0.03	2	1600	4200	1600	4300
Sarine Chaudanne	10 300	42	47	0.03	2	1600	4200	2000	5400
Tomeresse	10 800	9	28	0.04	2	70	190	700	1900
Moyenne - Sarine						1'300	3'300	1'700	4'500
Cumule des affluents						200	500	1'500	4'100

Tableau 28: Détermination du charriage nécessaire (état actuel ou revitalisé)

Selon les analyses réalisées par Flussbau AG SAH, le volume de charriage nécessaire est estimé sur la base des cartes historiques Dufour de 1850. Ils observent des structures géomorphologiques à Rossinière (Pk14'00) et Rougemont (Pk20'500) de type bancs. En tenant compte d'une structure type ramifiée, ils obtiennent autour des 6'000m³/an de charriage nécessaire (point bleu de la Figure 71). Toutefois, la nature dynamique des bancs est difficile à attester, tout comme la nature ramifiée du lit historique. On suppose donc que ces estimations sont plutôt conservatives.

Le calcul de charriage nécessaire, selon l'approche de l'étude pilote de la Muota, donne un ordre de grandeur entre 1'700 – 4'500 m³/an.

11.3.4 Etablissement du profil en long de charriage - Bilan de transport solide

La situation en amont de la frontière cantonale est issue des résultats du mandataire de canton de Bern (Flussbau AG SAH). On observe une différence entre l'état actuel et l'état naturel (sans installation), l'état naturel se situe entre 4'000 et 5'000m³/an, alors que l'état actuel se situe entre 2'500 et 2'800m³/an.

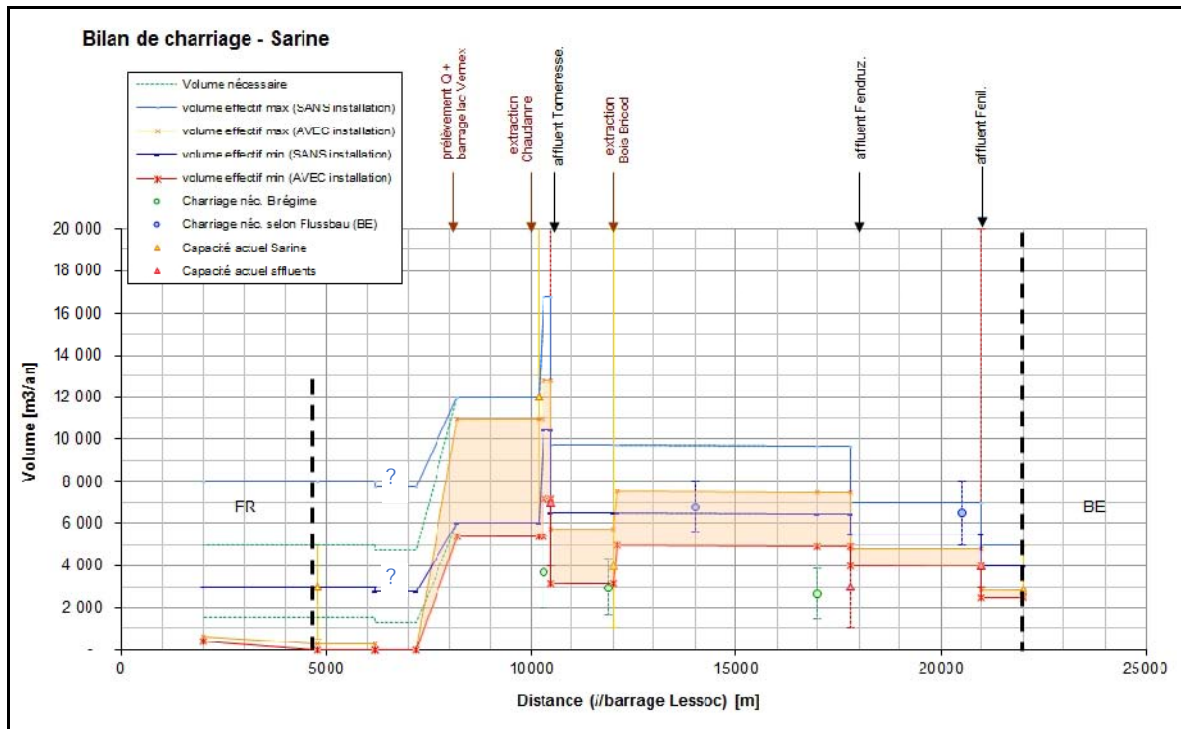


Figure 71: Bilan de charriage de la Sarine

Le tronçon au droit de l'installation Bois Bricod est limitant, la capacité se situe autour de 4'000m³/an. On estime que cette capacité est sous-estimée, ainsi les capacités issues des apports amont est maintenue, elles se situent au maximum à 7'500m³/an et au minimum à 5'000m³/an pour l'état actuel.

Un peu en aval, au Pk 10'590, l'affluent la Torneresse apporte une grande quantité de matériau. Et juste en aval, l'installation Chaudanne en retient de l'ordre de 1'800m³/an. Ce tronçon est limitant, avec une capacité de charriage autour de 12'000m³/an (avec une valeur minimale à 6'000m³/an), seule la situation naturelle subit une réduction de transport.

Le lac Vernex génère la déposition du 100% du charriage. L'absence de remplissage du barrage Lessoc, nous fait dire que l'alimentation sur le tronçon aval est insignifiante. A l'état naturel, on suppose que ce tronçon est limitant pour le charriage. L'estimation de la capacité à l'état naturel est faite sur la base d'un état fictif basé sur l'orthophoto.

Le tronçon en aval du lac Vernex, à l'état actuel, ne fait pas transiter de charriage jusqu'au prochain affluent important. A l'état naturel, les apports passant par la plaine du lac Vernex transite en aval. Et à l'état nécessaire, la capacité de charriage avec l'hydrologie modifié par l'installation de l'ordre de 3000m³/an (+/- 50%). Ainsi les mesures proposées devront être évalués en comparaison à cet état nécessaire.

11.4 Description des tronçons avec atteintes

Le tronçon 1 (Pk 21'500 – 12'200) subit une atteinte liée aux installations basées sur canton de Berne (à savoir l'extraction à Gstaad, à Feutersoey, et le dessableur de l'usine de Gsteig). L'atteinte est notable jusqu'à la confluence avec l'affluent des Fenils puis devient faible : au début du tronçon l'état actuel transporte environ 2'600m³/an et l'état naturel environ 4'500m³/an (réduction de 41%); à la fin du tronçon, l'état actuel transporte 6'300m³/an et l'état naturel 8'100m³/an (réduction de 23%), la variation est liée aux apports des affluents.

Le tronçon 2 (Pk 12'200 – 10'350) est influencé par l'installation de Bois-Bricod. L'atteinte du tronçon est notable jusqu'à l'arrivée des apports de la Torneresse (Pk 10'590) : passage de 6'300m³/an à 4'500m³/an au lieu de 8100m³/an à l'état naturel (réduction cumulée liée aux installations amont de 45%). En aval de la Torneresse l'atteinte devient faible, grâce aux apports en charriage de l'affluent, (l'état naturel transporte 13'600m³/an en moyenne, et l'état actuel 10'000m³/an, soit une réduction de l'ordre de 30%).

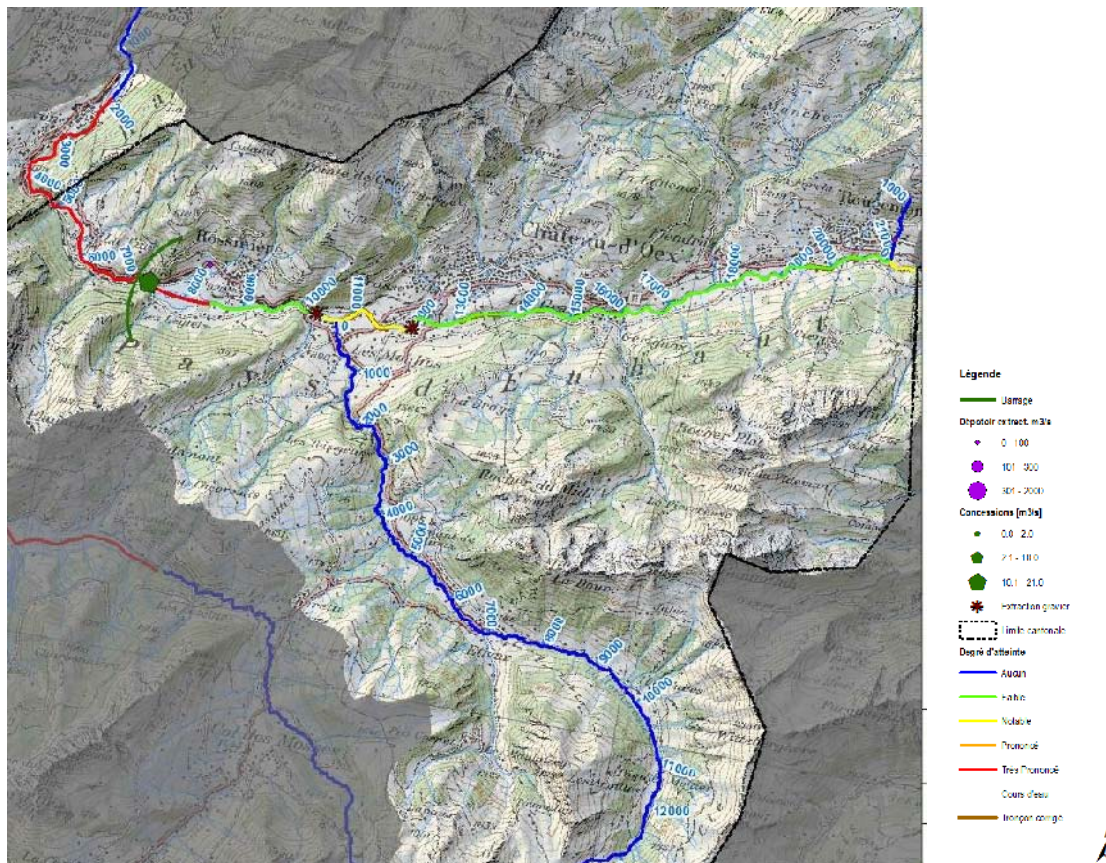


Figure 72: Carte de l'évaluation des atteintes au régime de charriage par tronçon – La Sarine

Le tronçon 3 (Pk 10'350 - Pk 8320) est influencé par l'extraction de la Chaudanne. Comme le charriage à l'état naturel est limité sur ce tronçon élargi, l'impact devient faible (l'état naturel transport en moyenne 9'000m³/an, et l'état actuel 8'100m³/an, soit une réduction de l'ordre de 10%).

Les tronçons 4 (Pk 8320 – Pk 7'320) et 5 (Pk 7'320-4'800) sont influencés par le barrage de Rosnière. Le charriage à l'état actuel est très faible voire nul en aval de l'installation, alors qu'à l'état sans installation, le charriage serait d'environ 5'500m³/an.

Km Début	Km Fin	N°	Degré atteinte	Atteinte grave	Installation responsable	Description	Explication sur l'atteinte	Potentiel écologique	Nécessité d'assainir
21 500	21 000	1a	notable		Extraction de gravier canton BE	Extraction de fondre de 3'500m³/an	3 installations amont(BE) selon étude EPFL	Elevé - moyen	A discuter → BE
21 000	12 000	1b	faible			Apport de l'affluents Fenils et Flendruz		Moyen	Non
12 200	10 700	2a	notable	X	Extraction Bois-Bricod M 5 (+amont BE)	Extraction d'env. 1'800m³/an	Réduction supplémentaire du volume charrié	Moyen	Non (cf. §11.8,ss)
10 700	10 350	2b	faible			Apport important d'un affluent		-	
10 350	8 320	3	faible		Extraction Chaudanne M1	Extraction d'env. 1'800m³/an	Réduction supplémentaire du volume charrié Tronçon naturellement => impact moins grand	-	-
8 320	7 400	4	très prononcé	X	Barrage de Rossinière	Le lac Vernex subit un atterrissement important	Le lac retient 100% du charriage restant	Moyen	oui
7 400	2 000	5	très prononcé	X		Diminution de la charge solide et tronçon à débit résiduel	Absence de charriage	Moyen-elevé	oui

Tableau 29: Résumé de l'analyse des tronçons de cours d'eau

11.5 Rôle des installations pour la protection contre les crues

Les installations en place n'ont pas de rôle prépondérant dans la protection contre les crues.

11.6 Impact sur les eaux souterraines

Aucune interaction entre les eaux souterraines et tronçons atteints n'est identifiée, par les croisements d'information SIG.

11.7 Potentiel écologique

Le tronçon 4 est défini comme de potentiel écologique moyen, tout comme pour le tronçon 5.

Le potentiel écologique de la Sarine entre Rougemont et Bois-Bricod (tronçon 1) peut être considéré comme **moyen**. Le cours d'eau s'inscrit dans un contexte régional de valeur, sa qualité biologique est très bonne et la reproduction de la truite est qualifiée de moyenne. Au niveau de la zone alluviale d'importance nationale, le potentiel écologique de la Sarine peut localement être qualifié d'**élevé**.

Le potentiel écologique de la Sarine entre Bois-Bricod et l'embouchure de la Tomeresse (tronçon 2) peut être considéré comme **moyen**. Le cours d'eau s'inscrit dans un contexte régional de valeur, sa qualité biologique est très bonne et la reproduction de la truite est qualifiée de moyenne.

Le potentiel écologique du lac du Vernex (tronçon 4) peut être considéré comme **moyen** compte tenu de la valeur naturelle et paysagère de cette retenue et de l'absence de site d'importance au niveau fédéral et d'espèces de poissons en danger.

Le potentiel écologique de la Sarine entre le barrage de Rossinière et la frontière cantonale (tronçon 5) peut être considéré comme **moyen**. Le cours d'eau s'inscrit dans un contexte régional de valeur et il présente de l'importance pour la reproduction de la truite. Ce tronçon n'abrite toutefois pas d'espèces de poissons en danger et il n'est pas déterminant par rapport à l'objet IFP. En aval de la frontière cantonale, le potentiel écologique de la Sarine est **élevé** (présence d'une population d'ombres).



11.8 Atteinte à la faune et à la flore

11.8.1 Partie située en amont du lac du Vernex

En amont du lac du Vernex (barrage de Rossinière), les atteintes à la faune et à la flore de la Sarine vaudoise sont limitées. Les installations situées sur territoire bernois sont peu impactantes, mais il faut toutefois mentionner les vidanges occasionnelles du barrage du Sanetsch. L'aménagement du cours d'eau est très limité et le rejet de la station d'épuration de Château d'Oex n'a pas d'impact visible sur la qualité biologique du cours d'eau. Les données à disposition ne permettent pas d'identifier une atteinte notable à la faune et à la flore qui soit liée aux extractions de Bois-Bricod (M5) et de la Chaudanne (M1).

Pour le tronçon en aval du lac Vernex, la qualité biologique évaluée au moyen de la macrofaune est très bonne sur la station "amont La Tine" (IBCH = 17 en 2013) et ne met pas en évidence une atteinte à la faune benthique.

11.8.2 Partie située en aval du lac du Vernex

Le barrage de Rossinière provoque des atteintes importantes à la faune et à la flore, que ce soit au niveau de la retenue artificielle qui a été créé en amont, ou au niveau du cours d'eau en aval.

Pour la Sarine vaudoise située en aval du barrage de Rossinière, l'atteinte à la faune et à la flore est liée principalement à l'artificialisation du régime hydrologique (tronçon à débit résiduel) et à la réduction quasi totale des volumes de matériaux charriés. Le diagnostic réalisé dans le cadre de la notice d'impact sur l'environnement traitant de la gestion des purges du lac du Vernex (2011) a montré que la végétation est typique d'un système alluvial de l'étage montagnard du Nord des Alpes, mais que le rajeunissement est déficitaire en raison des perturbations du débit et du charriage (transit des sédiments). La faible densité de frayères de truites observée pendant l'hiver 2010-2011 est également expliqué par le déficit en gravier.

11.9 Nécessité d'assainir

Les extractions M1 et M5 ont un effet sur le charriage non négligeable. L'atteinte "notable" du tronçon à l'aval de Bois-Bricod est causée par l'ensemble des extractions situées en amont, et pas uniquement causée par l'extraction Bois-Bricod. Le volume exact extrait aujourd'hui n'est pas connu. L'hypothèse a été prise que chacune des deux extractions étaient de la même importance. L'atteinte au niveau de la faune et la flore n'est pas avérée, en ce sens, l'atteinte quoique notable en terme de volume, ne génère pas de perturbation problématique pour la faune et la flore. Il n'y a pas nécessité d'assainir l'installation Bois-Bricod.

Le lac de barrage de Rossinière génère une atteinte grave au cours d'eau, que ce soit pour la dynamique morphologique ou de la qualité des milieux faunes et flores. Ce barrage nécessite donc d'être assaini.

Identifiant	Nom	Gravité de l'atteinte des tronçons touchés	Atteinte faune-flore	Charriage prépondérant	Potentiel écologique des tronçons touchés	Interaction avec les eaux souterraines	Importance protection contre les crues	Nécessité d'assainir
05-012'200-4	Bois-Bricod	Quantité: notable Milieux: non visible	faible	Non	moyen	non	non	non
05-007'400-2	Barrage Rossinière	Très prononcé	Oui	Oui	moyen (élevé: FR)	non	non	oui

Tableau 30 : Conclusion sur la nécessité d'assainir les installations sur la Sarine

11.10 Synergie avec d'autres modules des planifications/ opportunité

Aucune synergie n'est identifiée à ce stade.

11.11 Mesure d'assainissement

11.11.1 Mesures envisageables

Barrage à accumulation de Rossinière (05-007'400-2)

Pour le barrage de Rossinière, 5 types de mesure sont évaluées:

code	Variante	Type	Détail des mesures évaluées
2.e.2-3	A	Ajout de sédiment + crue morphogène	Prélèvement de gravier (à Chaudanne ou entrée du lac, 1500m ³ /a), et restitution 2km en aval / au pied du barrage + crue morphogène (70m ³ /s, 2.6 Mm ³).
2.c.1-2.e.1	B	Construction d'un chenal préférentiel + abaissement en crue	Modification du barrage (cours d'eau parallèle au barrage) + augmentation du débit de dotation (2m ³ /s en continu, 63 Mm ³)
2.c.2	C	Construction d'un ouvrage de dérivation + lâcher	Construction d'un pré-barrage + conduite forcée + purge en situation de crue (2m ³ /s, 80h; 0.6Mm ³)
2.c.3	D	Comblement du barrage	Mesure passive, avec perte d'exploitation en production d'électricité de pointe
2.e.1	E	Abaissement du niveau d'eau du lac en crue (purge annuelle)	Purge annuelle en crue (70m ³ /s, 0.5 Mm ³), générant un transit de 15'000m ³ de sédiment total (2-5% de charriage)

L'exploitant hydroélectrique est de son côté en train d'étudier plusieurs variantes pour régler le problème du comblement du lac Vernex. Certaines conclusions seront valorisées dans le cadre de cette étude.

La variante A consiste à prélever des graviers dans un secteur adéquat et de les déverser sur le premier secteur accessible en camion (soit 2km en aval). La variante évaluée (A) fait l'hypothèse d'une extraction de 1'500m³/an à Chaudanne, secteur propice à cause de la présence d'une concession d'extraction de gravier. Actuellement le barrage déverse de l'ordre de 9j par an, ainsi pour mobiliser les sédiments apportés, une crue artificielle est prévue dans cette mesure (débit de pointe de 70m³/s et l'équivalent de 2.6Mm³). Une alternative à la variante A serait de prélever des sédiments sur le tronçon aval même (tronçon 5, Pk 6'770), soit 600m en aval du pied du barrage. Effectivement il existe encore le seuil de l'ancien barrage qui est comblé des sédiments historiques. Ce secteur fait par ailleurs office de tronçon limitant pour le charriage. Des sondages seraient souhaitables pour connaître la granulométrie exacte sur le seuil. Il est également envisageable de prélever les sédiments en amont du lac par dragage et de les déposer au pied du barrage, la configuration du pied du barrage ne garantit pas la faisabilité de cette sous-variante.

La variante B consiste à rendre le lac de nouveau franchissable pour les sédiments, en réalisant un chenal préférentiel dans le lac, où les vitesses, pente et largeur sont optimisées pour favoriser le transit. La variante évaluée ici est proche d'une variante en cours d'étude auprès de l'exploitant (Groupe E): elle consiste à surélever de 4m l'amont du lac avec restitution devant le barrage, en faisant des remblais de part et d'autre du chenal; cette configuration donne de bonne chance au charriage de transiter, les performances exactes ne sont pas encore connues. Dans la variante Groupe E l'écoulement serait turbiné comme actuellement; dans la variante évaluée une perte continue de 2m³/s est prévue pour alimenter ce chenal et garantir un transit continu. Une autre variante a été étudiée par Groupe E qui entre dans la même logique, le chenal préférentiel étant réalisé à l'aide de palplanche; cependant cette variante permet que le transit des sédiments en suspension (dm=0.1mm).

La variante C consiste à créer un pré-barrage suivi d'une galerie spécialement dédiée au transit des sédiments. Des purges régulières sont à prévoir (dans ce cas une hypothèse est faite de 80 purges de 1h à 2m³/s).

La variante D est une mesure "passive" qui consiste à laisser le barrage se combler petit à petit. Dans un horizon de 20 -50 ans, le barrage sera transparent et laissera transiter le charriage. Pour cela, le réservoir en eau utilisé pour produire de l'énergie de pointe aura disparu générant une forte moins-value pour la production d'électricité.

La variante E consiste à générer des purges annuelles, assistées par des pompes pour favoriser l'entraînement dans le respect de normes de dilution en MES. Cette variante est également étudiée par Groupe E. On estime que l'objectif des purges est atteint avec une teneur en charriage de l'ordre de quelques pourcents.

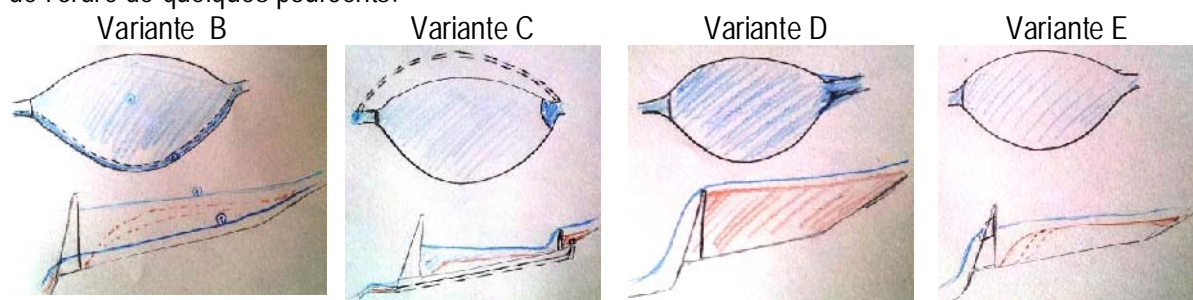


Figure 73: Schéma de principe des variantes B, C, D et E

11.11.2 Evaluation des mesures

Barrage à accumulation de Rossinière (05-007'400-2)

Le charriage nécessaire pour le tronçon atteint se situe autour de 3'000m³/an, comme le montre la Figure 72. Cette référence est utilisée pour évaluer les variantes.

	Variante A	Variante B	Variante C	Variante D	Variante E
Efficacité de la mesure	Ajout de sédiment + crue artificielle	Construction d'un chenal préférentiel + abaissement en crue	Construction d'un ouvrage de dérivation + lâcher	Comblement du barrage	Abaissement du niveau d'eau du lac en crue (purge annuelle)
Pronostic de performance (charriage)	Très bonne	Bonne	Très bonne	Bonne	Faible
Portée de la mesure	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne
Synthèse de l'efficacité de la mesure	Très bonne	Bonne	Très bonne	Bonne	Bonne

Evaluation - Critères prioritaires	Ajout de sédiment (1500m ³ /an) + crue artificielle	Construction d'un chenal préférentiel + abaissement en crue	Construction d'un ouvrage de dérivation + lâcher	Comblement du barrage	Abaissement du niveau d'eau du lac en crue (purge annuelle)
A) Degré de gravité de l'atteinte	favorable	favorable	favorable	favorable	favorable
B) Potentiel écologique	favorable	pas favorable	neutre	favorable	neutre
C) Proportionnalité des coûts	favorable	neutre	neutre	favorable	neutre
D) Intérêt de la protection contre les crues	neutre	neutre	neutre	pas favorable	neutre
E) Politique énergétique	pas favorable	pas favorable	neutre	critique	neutre

La variante A (ajout de sédiment en aval du barrage) a de très bonne performance, la granulométrie étant sélectionnée on peut s'attendre à ce que l'impact sur la morphologie du lit et sur les milieux (faune flore) soit bon. La crue artificielle génère une perte de production estimée à 520GWh/an, et le lac n'est pas pérennisé par ces mesures.

La variante B a des bonnes performances, la granulométrie transitant sera plus fine que pour la variante A, avec un risque de stress pour la faune (forte teneur en MES). Quoique cette mesure permette de rendre le lac pérenne, la production électrique serait réduite de l'ordre de 12'000GWh/an.

La variante C a de très bonnes performances, et l'impact sur le lit et les milieux semblent pouvoir donner de bons résultats. Le coût d'une telle mesure sera très cher (plusieurs dizaines de MCHF), et la faisabilité technique (tunnel, ouvrage de tête) reste à vérifier.

La variante D donne sur le long terme une bonne performance. Cependant, le manque à gagner au niveau de la production hydroélectrique s'élève à quelque 500MCHF, du fait de l'absence du réservoir. Cet aspect rend cette mesure critique et donc non souhaitable.

La variante E a de moins bonnes performances, étant donné que surtout le transport solide en suspension va transiter, l'impact sur la faune doit être analysé plus en détail pour être minimisé (période de purge, durée,...), mais cette mesure permet de pérenniser le lac.



11.11.3 Proposition de mesure d'assainissement

Pour le barrage de Rossinière, beaucoup d'études ont déjà été réalisées sur cette problématique. Le lac du barrage étant grand, les vitesses en cas de purge sont petites. Ainsi pour résoudre l'impact sur le charriage, trois variantes donnent de meilleures performances:

- l'ajout de matériau prélevé en amont (variante A),
- la construction d'un chenal préférentiel (variante B)
- la gestion par les purges (variante E).

La variante D est critique pour la politique énergétique. La variante C risque d'être compliquée à réaliser techniquement parlant. Elle est tout de même maintenue "en vie", dans la mesure où une meilleure optimisation pourrait être trouvée pour améliorer son efficacité.

L'exploitant est en train d'étudier plusieurs variantes, afin d'identifier les variantes les plus prometteuses pour résoudre le problème du comblement du lac. Cette étude est plus détaillée que celle de la planification actuelle. Une fois les résultats obtenus, il sera possible de réévaluer ces variantes pour encourager la réalisation de la variante ayant le meilleur pronostic.

Etant donné la présence de plusieurs barrages à accumulation sur cette partie du cours d'eau, une réflexion sur toutes les installations est souhaitable : résoudre les problèmes d'un barrage de Rossinière seulement peut générer un report inopportun pour le barrage de Montbovon. La réflexion globale permettra de trouver le meilleur bénéfice sur l'ensemble du cours d'eau.

Les sédiments déposés à Chaudanne sont de bonne qualité, s'il fallait prélever des sédiments, ce secteur serait favorable.

11.11.4 Délai d'assainissement

Conformément à l'article 83a LEaux (entrée en vigueur le 31.12.2010), l'assainissement du barrage de Rossinière (05-007'400-2) doit être réalisé d'ici à fin 2030.