

OFEV – ASSAINISSEMENT DES ECLUSEES

Planification stratégique

Rapport final

Le Doubs, tronçon binational et Suisse

Neuchâtel, le 19 juin 2015



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 – lausanne@bg-21.com – www.bg-21.com
TVA CHE-116.329.587



Environnement et sciences aquatiques
BP 1767, CH-2001 Neuchâtel
+41 32 724 72 62
www.netaquarius.ch

Auteur(s) du rapport :	Mandants :	Versions :
AQUARIUS : Jérôme Plomb, Blaise Zaugg BG ingénieurs conseils SA : Antoine Magnollay, Myriam Robert, Leila Huber, Khalid Essyad	SENE (NE), ENV (JU)	Neuchâtel, le 2 juin 2015
AQUARIUS : Jérôme Plomb, Blaise Zaugg BG ingénieurs conseils SA : Antoine Magnollay, Myriam Robert, Leila Huber, Khalid Essyad	SENE (NE), ENV (JU)	Neuchâtel, le 19 juin 2015

Table des matières

1	<i>Introduction</i>	7
1.1	Contexte	7
1.2	Mandat	7
2	<i>Méthodologie</i>	8
2.1	Généralités	8
2.2	Synthèse et évaluation de la littérature sur le sujet	10
2.3	Méthodes de travail	10
2.3.1	Élimination des installations n'exigeant pas d'assainissement	11
2.3.2	Détermination des atteintes	11
2.4	État global du cours d'eau	12
2.4.1	Qualité de l'eau	12
2.4.2	Morphologie	14
2.4.3	Tronçon de référence	14
2.5	Définition de l'état initial	15
3	<i>Élimination des installations n'exigeant pas d'assainissement</i>	18
3.1	Absence d'éclusées	18
3.2	Éclusées de faible amplitude	20
3.3	Issue de secours	20
3.3.1	Indicateur HYDMOD-éclusee de l'éclusee potentielle	20
3.3.2	Faisabilité de l'éclusées potentielles	22
3.3.3	Existence de l'éclusées potentielles dans l'état initial	22
3.3.4	Conclusion	24
4	<i>Description des installations pouvant fonctionner par éclusées sur le Doubs franco-suisse et suisse</i>	25
4.1	Le Châtelot	25
4.2	Le Refrain	26
4.3	La Goule	27
4.4	Historique	28
4.5	Successions des aménagements hydroélectriques du Doubs franco-suisse et suisse	30
4.5.1	Description du système	30
4.5.2	Délimitation et caractérisation des tronçons subissant des éclusées	30
5	<i>Détermination des atteintes graves</i>	35
5.1	Détermination de l'altération du régime hydrologique	35
5.1.1	État initial	35

5.1.2	Indicateur HYDMOD – état initial	36
5.1.3	Indicateurs HYDMOD – état mesuré en 2008	37
5.1.4	Analyse fréquence – amplitude des éclusées (état mesuré en 2008)	39
5.1.5	Fréquence d'éclusées dans les tronçons court-circuités (état mesuré en 2008)	39
5.1.6	Indicateur D1 – débit minimal (état initial)	40
5.1.7	Conclusions	40
5.2	Indicateurs basés sur des investigations de terrain	41
5.2.1	Macroinvertébrés benthiques	41
5.2.2	Faune piscicole	45
5.2.3	Vue d'ensemble des atteintes	55
5.3	Indicateurs basés sur la modélisation	57
5.3.1	Principe	57
5.3.2	HYDMOD-éclusee	58
5.3.3	Surfaces mises à sec (P2.1)	58
5.3.4	Vitesse de descente (P2.2)	60
5.3.5	Évaluation de l'état initial	61
5.4	Détermination du degré d'atteinte	61
5.5	Responsabilités et nécessité d'assainissement	61
5.6	Potentiel écologique	63
5.6.1	Potentiel écologique selon la planification revitalisation des cours d'eau	63
5.6.2	Potentiel écologique, référentiel biologique	65
6	<i>Reglement d'eau 2014</i>	66
6.1	Description	66
6.1.1	Essais de démodulation	66
6.1.2	Règlement d'eau 2014	67
6.2	Évaluation détaillée du règlement d'eau 2014	67
6.2.1	Évaluation de l'état mesuré en 2014	67
6.2.2	Règlement d'eau 2014	76
6.2.3	Appréciation globale de l'efficience du règlement d'eau 2014	77
6.2.4	Proposition de suivi et de méthodologie pour évaluer l'efficacité du règlement d'eau 2014	78
7	<i>Mesures d'assainissement</i>	82
7.1	Généralités	82
7.2	Objectifs d'assainissement	82
7.3	Propositions de mesures d'assainissement	83
7.3.1	Modélisation des mesures	84
7.4	Méthodologie d'évaluation des mesures	85
7.4.1	Efficacité	85
7.4.2	Coût	86
7.4.3	Proportionnalité des coûts	87
7.4.4	Autres critères d'évaluation	87

7.4.5	Évaluation environnementale des mesures	88
7.5	Résultats	90
7.5.1	Comparaison de l'efficacité des mesures	90
7.5.2	Résultats de l'évaluation multicritères	91
7.7	Conclusions	96
7.8	Réflexions complémentaires	96
7.8.1	Gestion des évènements extraordinaires	96
7.8.2	Piste d'amélioration du règlement d'eau 2014	97
7.9	Planification	97
7.9.1	Synthèse et délais	98
7.9.2	Coordinations	99
8	<i>Synthèse et perspectives</i>	101

Liste des annexes

1. Synthèse bibliographique
2. Synthèse des constats d'observation de Patrice Malavaux
3. Méthodologie employée pour évaluer le potentiel écologique du Doubs (bureau Natura)
4. Grille d'évaluation multicritère des mesures d'assainissement
5. Règlement d'eau (version 8 du 26.03.2015)
6. Fiches descriptives des mesures d'assainissement
7. Tableaux d'évaluation de l'efficacité des mesures d'assainissement
8. Schéma présentant les interactions entre les paramètres physiques et les différents indicateurs des éclusées et du charriage
9. Résultats de l'évaluation multicritères
 - a. Fiches d'évaluation par mesure
 - b. Synthèse 1 (détail)
 - c. Synthèse 2 (résumé)
10. Détail du monitoring biologique
11. Constat d'échouage depuis la mise en place du règlement d'eau
 - a. Évènement du 24.04.2015
 - b. Évènement du 17.05.2015
 - c. Évènement du 28.05.2015
12. Capacité d'assainissement des mesures de stockage

Liste des figures

Figure 1	Schéma du processus de l'assainissement des éclusées (OFEV, 2012) avec en rouge les étapes du rapport intermédiaire	9
Figure 2	Schéma de la méthodologie recommandée par l'OFEV permettant la détermination de l'étape à appliquer dans le cadre de l'évaluation des atteintes provoquées par les éclusées d'une exploitation sur un cours d'eau (OFEV, 2012).	10
Figure 3	État écomorphologie global (Niveau R) prenant en compte l'espace et structure, pour le Doubs et ses affluents sur le secteur compris entre Biaufond et Brémencourt.	14
Figure 4	Graphique HYDMOD de l'écluse potentielle du Refrain et de la Goule	21
Figure 5	Exemples d'éclusées provoquées ou renforcées par le Refrain	23
Figure 6	Exemples d'éclusées provoquées ou renforcées par la Goule	23
Figure 7	Schéma de délimitation des tronçons dans le Doubs	30
Figure 8	Profils en long du Doubs dans le secteur d'étude (base : courbes de niveau de la carte topographique 1:25'000)	30
Figure 9	Eclusee-type du Châtelot – état initial	35
Figure 10	HYDMOD-éclusées à l'état initial	37
Figure 11	HYDMOD-éclusées – état mesuré en 2008	38
Figure 12	Analyse fréquence-amplitude des éclusées	39
Figure 13	<i>Exemples d'invertébrés aquatiques échoués suite à un abaissement artificiel (P. Malavaux, 2013). Doubs, aval du Refrain en rive gauche et Moulin Jeannotat en rive droite.</i>	43
Figure 15	<i>Évolution longitudinale de la variété des PTE déterminée sur 8 stations en 2004, Tiré de Degiorgi, 2008.</i>	44
Figure 16	<i>Comparaison des relevés IBCH 2011 avec les données de Verneaux 1966-70 au lieu-dit «Les Graviers». Tiré de AQUARIUS & al., 2012.</i>	44
Figure 17	<i>Comparaison de l'intégrité des peuplements piscicoles sur 10 stations jalonnant le Doubs frontière et l'amont de la Boucle Suisse.</i>	52
Figure 18	<i>Observations d'aprons sur le Doubs jurassiens (BONNAIRE, 2012).</i>	53
Figure 19	<i>Vue dorsale d'un apron du Doubs (Aquarius).</i>	54
Figure 20	<i>Cyprinidés photographiés à Ocourt : un nase nageant au milieu d'un banc de toxostomes (AQUARIUS).</i>	54
Figure 21	Courbes débit – surface mouillée (selon EPTEAU 2014)	59
Figure 22	Illustration d'exploitation avec démodulation (mars 2014)	68
Figure 23	Évolution de la fréquence de déversement au Refrain et à la Goule entre 2008 et 2014	69
Figure 23	Évolution des débits moyens déversés au Refrain et à la Goule entre 2008 et 2014	70
Figure 26	HYDMOD – Année 2014	71
Figure 27	Fréquence-amplitude 2008 / 2014 à la Rasse	72
Figure 28	Fréquence-amplitude 2008 / 2014 à Sarrasin	72
Figure 29	Fréquence-amplitude 2008 / 2014 à la Goule	73
Figure 30	Fréquence-amplitude 2008 / 2014 à Ocourt	73
Figure 31	Fréquence-amplitude des 4 stations en 2014	74
Figure 25	HYDMOD – RE2014	77
Figure 32	<i>Constat important de mortalité sur un abaissement classé de « très bon » selon le module d'aide de la Confédération 2015.</i>	79
Figure 33	Tableau d'évaluation de la proportionnalité des coûts	87
Figure 34	Graphique coût-efficacité - mesures complémentaires	92
Figure 35	Tronçons du Doubs concernés par la planification "revitalisation"	100

Liste des tableaux

Tableau 1	Évaluation de la qualité de l'eau d'après le macrozoobenthos (AQUARIUS & al., 2012).	13
Tableau 2	Liste des différents sites au bénéfice d'un droit d'eau pour l'exploitation hydroélectrique sur le Doubs binational et suisse.*Cet aménagement a été vérifié et des contacts avec l'exploitant et le garde-faune ont été établis. Le turbinage se fait au fil de l'eau avec dérivation. Sa capacité de marnage est faible et il ne pratique pas d'éclusées.	18

SENE (NE), ENV (JU)	Assainissement des éclusées- Doubs, tronçon binational et suisse	Rapport final
Tableau 3	Caractéristiques de l'éclusées potentielle du Refrain et de la Goule	20
Tableau 4	Caractéristiques des retenues du Refrain et de la Goule	22
Tableau 5	Fréquence d'éclusées provoquées ou renforcées par le Refrain ou la Goule (2009-2012)	23
Tableau 6	Caractéristiques générales de l'aménagement du Châtelot.	25
Tableau 7	Caractéristiques générales de l'aménagement du Refrain.	26
Tableau 8	Caractéristiques générales de l'aménagement de la Goule.	27
Tableau 9	<i>Synthèse des modifications apportées par les Forces motrices du Châtelot sur l'hydrologie du Doubs franco-suisse (adapté de Groupe E SA, 2011). (Le débit résiduel noté en toutes lettres est celui prévu dans l'accord ou le règlement; le débit résiduel représenté par une barre bleue est le débit en vigueur à la date clef correspondant).</i>	29
Tableau 10	Caractéristiques des éclusées à l'état initial (état contractuel 2009)	31
Tableau 11	Caractérisation des éclusées dans les différents tronçons à l'état initial (Hydmod)	36
Tableau 12	Valeurs Hydmod-éclusées calculées sur la base des mesures de débit 2008	38
Tableau 13	Évaluation de l'indicateur D1 (débit minimal) à l'état initial	40
Tableau 14	<i>Vitesses d'abaissement calculées aux stations de mesure hydrologique de la Combe des Sarrasins et de la Goule selon des gradients de diminutions de débits constatés lors des observations d'échouages de poissons (mai à décembre 2013).</i>	47
Tableau 15	<i>Indicateur P2 - Pourcentage des surfaces mise à sec. * Débit plancher considéré 4 m³/s. Classes d'évaluation selon aide à l'exécution : rouge = mauvais ; vert=bon.</i>	48
Tableau 16	<i>Synthèse des observations d'échouages piscicoles du 15 mai au 31 décembre 2013. Classes d'évaluation selon aide à l'exécution : rouge = mauvais. 49</i>	49
Tableau 17	<i>Densité d'estivaux de truites de rivière évaluée d'après les pêches exhaustives réalisées. Classes d'évaluation selon aide à l'exécution : rouge = mauvais ; vert=bon.</i>	50
Tableau 18	<i>Dénombrement des frayères mises à sec lors de opérations de turbinage par éclusées du Chatelot (D'après RIEGLER, 1986). L'auteur de l'étude conclut que sur les 3 km à l'aval de l'usine du Torrent, au moins 25% des œufs pondus ont été perdus lors des observations. 51</i>	51
Tableau 19	<i>Synthèse des indicateurs et de la littérature sur l'impact des éclusées.</i>	56
Tableau 20	Résumé du degré d'atteinte à l'état initial (indicateurs issus des investigations de terrain) (*Non documenté sur la période 2009-2013) 57	57
Tableau 21	Classes d'évaluation de l'indicateur P2.1 (surface mise à sec)	59
Tableau 22	Évaluation de l'indicateur P2.1 pour l'état initial	60
Tableau 23	Classes d'évaluation de l'indicateur P2.2 (vitesse de descente de l'éclusée)	60
Tableau 24	Évaluation de l'indicateur P2.2 pour l'état initial	60
Tableau 25	Résumé du degré d'atteinte à l'état initial (indicateurs modélisables)	61
Tableau 26	Responsabilité des installations dans les atteintes	62
Tableau 27	Décision d'assainissement	63
Tableau 28	<i>Grille d'évaluation des critères par secteur (adapté d'après NATURA).</i>	64
Tableau 29	<i>Potentiel écologique.</i>	64
Tableau 31	Indicateur D1 du RE2014	77
Tableau 30	Évaluation de l'atteinte liée aux éclusées durant l'année 2014	77
Tableau 30	Évaluation de l'atteinte liée aux éclusées durant l'année 2014	78
Tableau 32	<i>Proposition de monitoring biologique – vue d'ensemble.</i>	81
Tableau 33	Liste des mesures d'assainissement des éclusées du Doubs	83
Tableau 34	Degré d'assainissement (en terme de Qe/Qp en fonction du volume de démodulation disponible)	84
Tableau 24	Vue de synthèse comparative de l'incidence environnementale des mesures d'atténuation des éclusées	89
Tableau 35	Évaluation de l'efficacité	90
Tableau 36	Synthèse de la planification des mesures d'assainissement (mesures, priorité, délais et coût estimatif)	98
Tableau 37	Décision d'assainissement "migration piscicole" et "charriage"	99

1 INTRODUCTION

1.1 Contexte

Le 11 décembre 2009, les Chambres fédérales ont adopté un projet modifiant la loi fédérale du 24 janvier 1991 sur la protection des eaux (LEaux, RS 814.20), la loi fédérale du 21 juin 1991 sur l'aménagement des cours d'eau (LACE, RS 721.100), la loi du 26 juin 1998 sur l'énergie (LEne, RS 730.0) et la loi fédérale du 4 octobre 1991 sur le droit foncier rural (LDFR, RS 211.412.11). Entrées en vigueur le 1er janvier 2011, ces modifications décidées par le Parlement portent sur la renaturation des eaux. Elles définissent deux orientations principales:

- Encouragement des revitalisations (rétablissement, par des travaux de construction, des fonctions naturelles d'eaux superficielles endiguées, corrigées, couvertes ou mises sous terre), garantie de l'espace réservé aux eaux et gestion extensive de cet espace.
- Réduction des effets néfastes engendrés par l'utilisation de la force hydraulique (atténuation des effets des éclusées en aval des centrales hydroélectriques, réactivation du régime de charriage et assainissements au sens de l'art. 10 de la loi fédérale du 21 juin 1991 sur la pêche (LFSP, RS 923.0, art. 19), tel le rétablissement de la migration du poisson).

1.2 Mandat

Le bureau AQUARIUS a été mandaté par le Service cantonal neuchâtelois de l'énergie et de l'environnement (SENE) et l'Office jurassien de l'environnement (ENV) pour l'élaboration du rapport intermédiaire puis, en collaboration avec BG ingénieurs conseils SA, du rapport final sur la planification stratégique de l'assainissement des éclusées sur le Doubs binational et suisse qui doit être transmis à la Confédération.

Le cadre spatial de la planification comprend le tronçon binational du Doubs (43 km), ainsi que la boucle de 29 km située intégralement sur territoire suisse.

2 MÉTHODOLOGIE

2.1 Généralités

Le présent rapport final indique les centrales pour lesquelles des mesures d'assainissement dans le domaine des éclusées s'imposent et contient des informations concernant les mesures à mettre en œuvre dans le but d'empêcher ou d'éliminer les atteintes graves que les éclusées portent à la faune et à la flore indigènes ainsi qu'à leurs biotopes. Il a été élaboré sur la base des recommandations édictées par la Confédération dans le module de l'aide à l'exécution – renaturation des eaux consacrée aux éclusées (ce document sera par la suite nommé « Aide à l'exécution ») :

- Baumann P., Kirchofer A., Schälchli U. 2012: Assainissement des éclusées – Planification stratégique. Un module de l'aide à l'exécution Renaturation des eaux. Office fédéral de l'environnement, Berne. L'environnement pratique n°1203 : 127p.

Le schéma ci-dessous est extrait de l'Aide à l'exécution et résume les différentes phases de l'analyse, la partie relative au rapport final est encadrée en rouge :

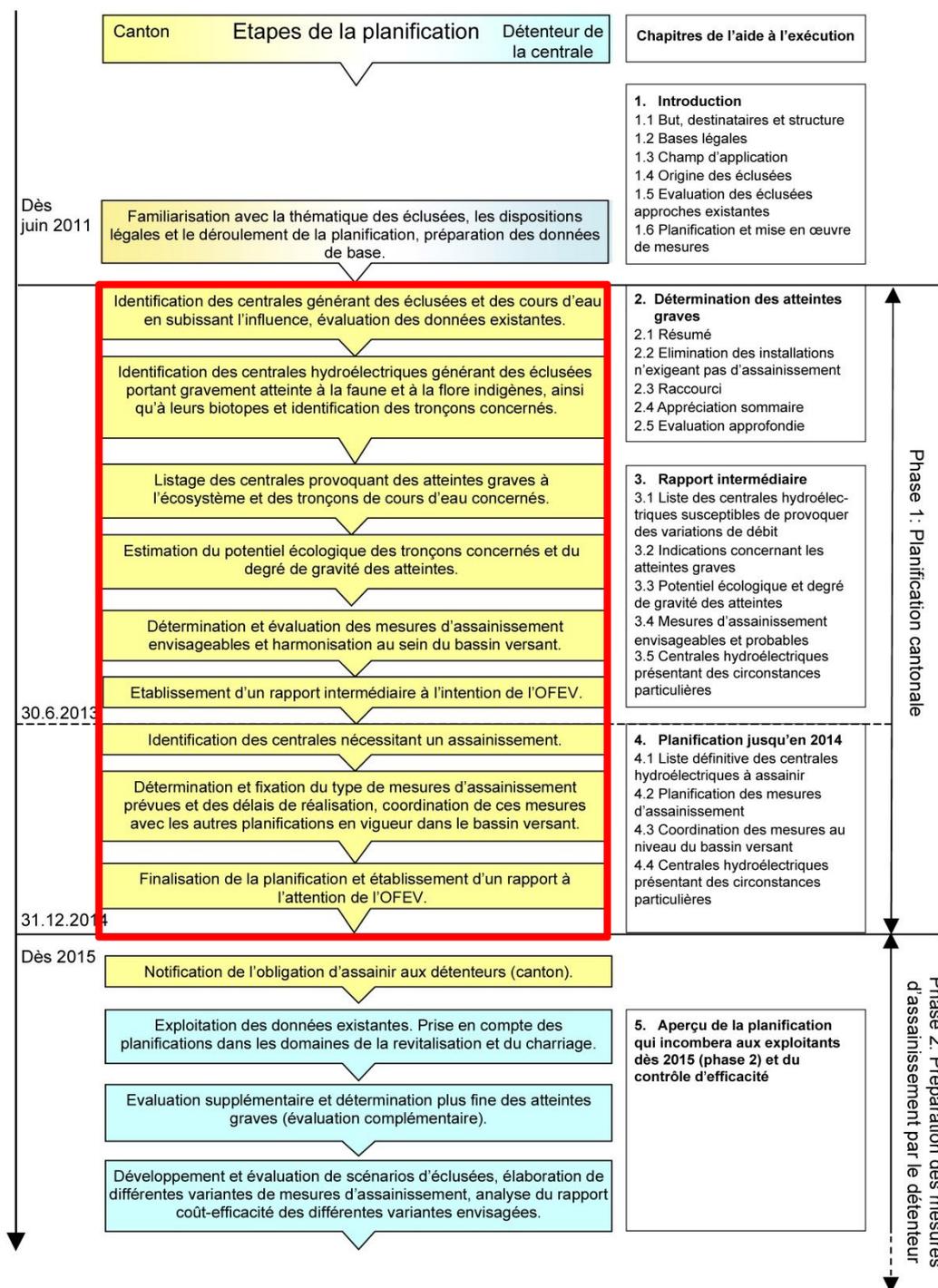


Figure 1 Schéma du processus de l'assainissement des éclusées (OFEV, 2012) avec en rouge les étapes du rapport intermédiaire

Le rapport final répond également au cahier des charges du mandat (reçu par courriel du SENE le 12 juillet 2013), qui précise que ce dernier doit contenir :

1. Une synthèse de la littérature et des données existantes concernant les éclusées mentionnant la qualité et la fiabilité des données.

2. Les résultats exigés à l'annexe 4a, ch.2, OEaux (voir aussi chap. 3 et annexe A6 du module « Assainissement des éclusées – Planification stratégique »).
3. L'analyse des thèmes suivants:
 - a. L'identification des centrales hydroélectriques permettant l'utilisation du « raccourci » ou de « l'issue de secours » sur la base des données du point 1 ci-dessus.
 - b. Une définition claire de l'état initial, avant mesures d'assainissement, considéré pour le rapport intermédiaire, et celui à considérer pour l'évaluation approfondie, en rapport avec les mesures volontaires mises en place ces dernières années et encore en cours d'élaboration dans le cadre de la révision du Règlement d'eau.
4. Une identification des informations et données manquantes et une suggestion des études ou investigations supplémentaires nécessaires pour l'évaluation approfondie.

2.2 Synthèse et évaluation de la littérature sur le sujet

Une recherche et compilation de la littérature existante récente sur le sujet ont été effectuées. Tous les documents listés dans l'annexe 1 ont été compulsés et évalués. Ceux utilisés comme outil fiable d'évaluation dans le cadre du présent rapport sont identifiés comme tels. Cette liste fait office de bibliographie.

2.3 Méthodes de travail

En premier lieu, le listing des aménagements hydroélectriques sur le Doubs bénéficiant d'un droit d'eau a été dressé. Sur cette base, une recherche des installations susceptibles de provoquer des éclusées a été effectuée. Ces dernières, ainsi que les tronçons concernés ont ensuite fait l'objet d'une analyse selon la procédure générale recommandée dans l'Aide à l'exécution. Enfin des réflexions sur les mesures d'assainissements sont présentées.

La procédure générale relative aux centrales susceptibles de provoquer des éclusées suivie est celle recommandée dans l'Aide à l'exécution, elle est résumée sur la figure ci-dessous.

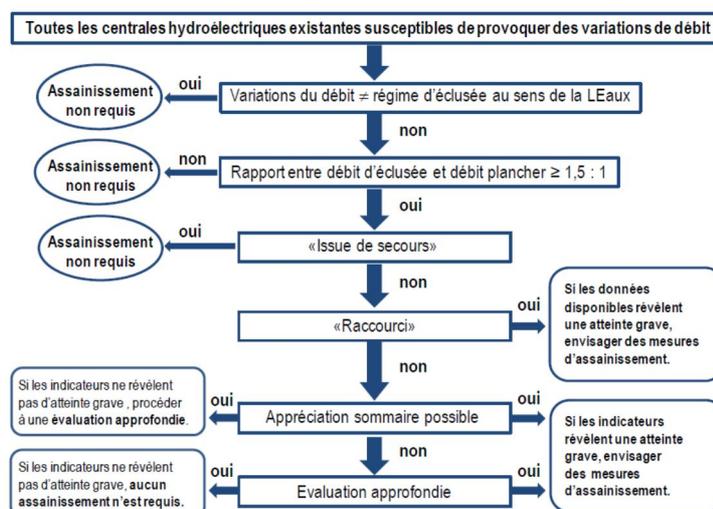


Figure 2 Schéma de la méthodologie recommandée par l'OFEV permettant la détermination de l'étape à appliquer dans le cadre de l'évaluation des atteintes provoquées par les éclusées d'une exploitation sur un cours d'eau (OFEV, 2012).

2.3.1 Élimination des installations n'exigeant pas d'assainissement

Certaines installations peuvent être écartées de la suite de l'étude sur la base des critères suivants :

- Absence d'éclusées : Pas de régime d'éclusées au sens de la LEaux (turbinage au fils de l'eau). *Dans le cas du Doubs, plusieurs installations ont pu être écartées de la planification sur la base de ce critère.*
- Éclusées de faible amplitude : Rapport entre débit d'éclusée et débit plancher < 1.5. *Aucune installation située sur le Doubs n'a été écartée de la planification sur la base de ce critère.*
- Issue de secours : cas particuliers, comme par exemple une installation dont la restitution se fait directement dans une retenue ou une installation qui turbine des éclusées en provenance de l'amont. *Ce critère a été évalué pour vérifier si les installations du Refrain et de la Goule pouvaient être écartées de la planification sur la base de ce critère. Finalement, aucune installation n'a été écartée de la planification sur la base de ce critère.*

2.3.2 Détermination des atteintes

Pour les installations qui ne peuvent être éliminées dans l'étape précédente, il s'agit de vérifier l'existence d'une atteinte grave que les éclusées portent à faune et à la flore indigène et à leur biotope.

La démarche proposée par l'aide à l'exécution consiste à évaluer une série d'indicateurs assez simples (pour l'appréciation sommaire) ou plus détaillés (pour l'évaluation approfondie). Dans certains cas, on peut considérer les atteintes constatées comme graves sans avoir recours aux indicateurs prévus dans l'aide à l'exécution en utilisant un "raccourci". Emprunter un tel raccourci n'est envisageable que lorsque les données existantes prouvent clairement que l'atteinte est grave. À titre d'exemple, des campagnes de pêche d'échantillonnage entreprises par les services cantonaux ou par des tiers (dans le cadre d'études d'impact sur l'environnement p. ex.) peuvent indiquer que le peuplement piscicole d'un tronçon soumis à éclusées se distingue par une composition non typique de l'ichtyofaune, une mauvaise structure de la population des espèces indicatrices, une faible densité piscicole et l'absence presque complète de frai naturel. Sur la base de ces constats, l'évaluation des indicateurs P1 (module poissons du SMG) et P4 (reproduction de l'ichtyofaune) débouche sur une appréciation négative, de sorte que le tronçon étudié doit être considéré comme gravement atteint. Tout comme dans le cas de l'appréciation sommaire, il faut prouver, lorsqu'on emprunte le raccourci, que les conditions préalables à l'utilisation des indicateurs concernés sont remplies ou que l'on dispose d'un tronçon de référence approprié.

Dans le cas du Doubs, une abondante littérature démontre les graves atteintes portées à l'écosystème du Doubs. Certains problèmes observés, tel l'échouage ou la mise à sec de frayères sont très spécifiques au phénomène des éclusées. Il est donc possible d'utiliser la procédure du "raccourci". Une partie des indicateurs proposés dans l'aide à l'exécution seront toutefois évalués afin de préciser le type et la gravité des atteintes portées au cours d'eau.

2.5 État global du cours d'eau

Le Doubs est actuellement un cours d'eau présentant en Suisse une biodiversité unique et une des plus riches du pays.

Cette richesse se traduit sur la partie suisse et franco-suisse par une multitude d'inventaires qui comprend en particulier trois zones alluviales d'importances nationales, plusieurs zones d'importances nationales pour la reproduction des batraciens, un inventaire fédéral des paysages IFP (N° 1006 Vallée du Doubs) et un site Emeraude. On observe de nombreuses espèces rares ou/et menacées telles que la truite zébrée du Doubs, l'ombre de rivière (population d'importance nationale), le blageon et surtout l'apron et le toxostome, deux espèces présentes en Suisse uniquement dans le Doubs et menacées d'extinction. Aux niveaux des cantons, le Doubs sur territoire jurassien figure également dans une réserve naturelle et est inscrit comme biotope protégé sur territoire neuchâtelois.

Sur territoire français, le Doubs franco-suisse fait partie de l'inventaire ZNIEFF (430007821) et à l'aval de Brémencourt se trouve l'inventaire Natura 2000 FR4312017 - Vallées du Dessoubre, de la Reverotte et du Doubs.

Un diagnostic général de l'état actuel du secteur du Doubs concerné figure dans les rapports traités par AQUARIUS (2012), BG (2011) et SIRUGUE et al. (2011). Les principales données de ces rapports sont reprises dans les chapitres ci-après concernant la qualité de l'eau et de la morphologie de la rivière.

2.5.1 Qualité de l'eau

L'état de la qualité chimique de l'eau du Doubs a été évalué de manière détaillée dans plusieurs rapports, dont en particulier :

- Le Plan sectoriel des eaux pour le canton du Jura (BG, 2011) qui présente un bilan de la situation sur le Doubs depuis Biaufond jusqu'à Brémencourt (établi d'après des analyses couvrant la période 2004-2008) ;
- Le diagnostic pluridisciplinaire des eaux de surface du bassin du Doubs neuchâtelois (AQUARIUS & al., 2012) ;
- L'état des lieux pour le Doubs franco-suisse établie dans le cadre du Projet intégré Doubs franco-suisse (SIRUGUE C. et al., 2011) et reprenant des données issue de la mise en œuvre en France de la Directive Cadre sur l'Eau de l'Union européenne.

Des analyses spécialisées sur les toxiques dans les sédiments et les végétaux bioaccumulateurs ont également été réalisées (LIEVRE & al., 2003), de même que l'évaluation des PCB dans la chair des poissons (SCHMID & al., 2010).

Les résultats des études susmentionnées ainsi que des études antérieures montrent que la qualité du Doubs est globalement bonne selon les référentiels standardisés suisses et français pour les composés organiques standards en particuliers et que les efforts entrepris pour épurer les eaux ont permis une amélioration de la qualité des eaux. Des déficits subsistent toutefois dans l'efficacité du traitement de certaines stations d'épuration et des apports diffus de polluants sont identifiés dans tout le bassin versant. Le bassin du Doubs est très sensible et il est en ce sens utile de préciser que ses cavités naturelles et les dépressions par exemple sont des points d'accès privilégiés aux réseaux

de conduits karstiques, susceptibles de transférer plus ou moins rapidement certains polluants dans les aquifères qui alimentent ensuite le Doubs. Le tableau ci-dessous donne une évaluation de la qualité de l'eau en 2011 par le biais d'indicateurs biologiques.

Tronçons	Atteinte	Stations	Évaluation
Référence Brenets → Moron	-	Saut du Doubs	MEDIOCRE
T2 U. du Châtelot → Retenue de Biaufond	Éclusées	Les Gravieres	TRES BON
		La Rasse	BON
T3 Barrage du Refrain → U. du	Débit résiduel + éclusées	Le Refrain TCC	TRES BON
T4 U. du Refrain → Retenue de la Goule	Éclusées	Refrain aval	TRES BON
T6 U. de la Goule → frontière franco-suisse	Éclusée	Le Theusseret	TRES BON
		Clairbief	BON
		Les Rosées	TRES BON
		Lomenne	TRES BON
		Le Tillot	TRES BON
		Ocourt	TRES BON

Tableau 1 Évaluation de la qualité de l'eau d'après le macrozoobenthos (AQUARIUS & al., 2012).

Le constat de bonne qualité générale doit toutefois être nuancé pour 3 principales raisons :

- La densité de mesures effectuées jusqu'en 2012 est très ponctuelle (en général 1 à 3 campagnes par année) et permet difficilement de mettre en évidence certaines charges critiques ponctuelles de polluants ou des substances transportées lors de lessivages par exemple.
- Le Doubs se situe dans un bassin karstique sensible aux diverses pollutions d'origine anthropique qui sont fréquemment accentuées lors de conditions climatiques défavorables. On constate par exemple régulièrement, lors d'étiages prolongés, de très forts développements algaux qui péjorent significativement certains organismes benthiques et qui contribuent également au colmatage du substrat. Des accumulations spectaculaires de ces algues peuvent alors survenir dans les retenues des centrales hydroélectriques.
- L'analyse des sédiments des différents bassins de retenue montre que de nombreuses substances toxiques ou potentiellement toxiques transitent dans le Doubs. Ces polluants proviennent tant des activités agricoles, sylvicoles qu'industrielles ou urbanistiques. Des analyses de certains affluents ont également montré de fortes contaminations avec certains pesticides. La dynamique de ces polluants ainsi que leur impact réel sur les biocénoses aquatiques sont encore mal connus, par le fait notamment que le nombre de molécules (p. ex. nanoparticules) potentiellement impactantes est en constante augmentation et qu'il est extrêmement complexe d'évaluer l'influence conjointe de ces composés.

En résumé, il apparaît que la qualité de l'eau du Doubs est globalement comparable voire meilleure que la plupart des autres cours d'eau du plateau Suisse mais qu'elle peut ponctuellement se dégrader lors de conditions hydrologiques défavorables par exemple. Du point de vue de la biodiversité, la qualité de l'eau insuffisante limite probablement le développement des espèces rares et sensibles recensées par Verneaux dans les années 70 (cf. *Figure 15*, page 44).

2.5.2 Morphologie

Le Plan sectoriel des Eaux (PsEaux) pour le cours d'eau du Doubs établi par BG (2011) et le diagnostic pluridisciplinaire des eaux de surface pour le bassin du Doubs rédigé par AQUARIUS & al. (2012) mentionnent un état écomorphologique du Doubs globalement bon. Il se situe ainsi dans la classe des cours d'eau naturels à l'écomorphologie très peu atteinte. L'essentiel des ouvrages construits sont des aménagements hydroélectriques ainsi que des constructions ponctuelles autour des plans d'eau et bassins de retenue.

L'état écomorphologique du Doubs et de ses affluents, selon la méthodologie Niveau R du système modulaire gradué, est synthétisé dans les graphiques ci-dessous. Il prend en compte l'espace et la structure des cours d'eau.

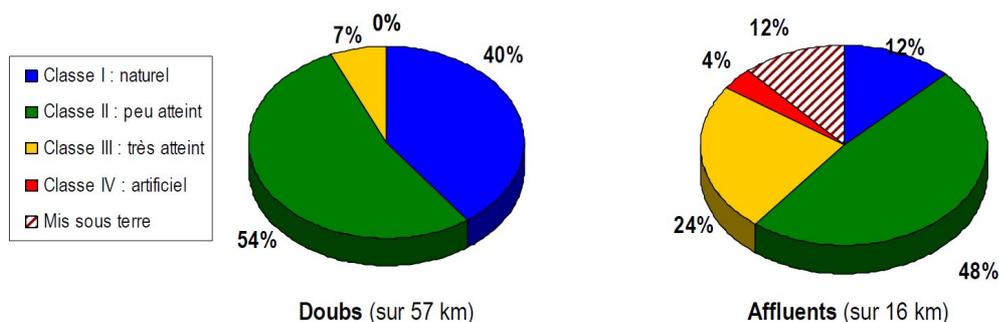


Figure 3 État écomorphologique global (Niveau R) prenant en compte l'espace et structure, pour le Doubs et ses affluents sur le secteur compris entre Biaufond et Brémontcourt.

Il est à souligner que 40% du linéaire est considéré comme étant naturel (classe I) et 53% en état peu atteint (classe II). Dans le contexte suisse, ces résultats sont exceptionnellement bons pour un grand cours d'eau sur un tel linéaire (57 km). Un plan de la situation écomorphologie du Doubs est présenté à la page 17.

2.5.3 Tronçon de référence

Les seuls tronçons de référence (présentant une typologie caractéristique du Doubs) non soumis à éclusées se situent pour le premier entre le lac des Brenets et la queue de la retenue de Moron et pour le second, du tronçon à débit résiduel allant du barrage du Châtelot jusqu'à l'usine de restitution (T1 Châtelot-TCC).

Il a été montré sur le premier tronçon qu'il subissait une atteinte significative de la qualité de l'eau (AQUARIUS & al., 2012). Le second tronçon se trouve à l'aval immédiat du barrage du Châtelot et est soumis à un débit résiduel de 2'000 l/s. Ces deux tronçons ne peuvent par conséquent pas constituer des linéaires de référence pertinents d'un état « peu ou pas » perturbé.

2.7 Définition de l'état initial

L'aide à l'exécution définit un état de base appelé "état initial", qui correspond à l'état du cours d'eau avant assainissement des éclusées. Dans de nombreux cas, l'état initial est simplement identique à l'état actuel.

Dans le cas du Doubs, la définition de l'état initial est plus complexe car plusieurs mesures volontaires ont déjà été testées ces dernières années pour réduire l'impact des éclusées sur les écosystèmes. Il en résulte que :

- L'état actuel est déjà partiellement assaini et ne peut pas servir d'état initial.
- L'état actuel n'est pas stable : les régimes d'exploitation ont beaucoup varié ces dernières années. L'analyse statistique des mesures de débits est délicate en raison des grandes variations dans les régimes d'exploitation.

Après discussions et concertation avec les cantons et la Confédération, il a été décidé de définir l'état initial comme étant l'état contractuel 2009. Selon les exploitants, les premiers essais de démodulation ont été entrepris dans le courant de l'année 2009. Le régime d'exploitation correspondant le mieux à cet état initial est donc celui de 2008.

Pour qualifier cet état initial deux analyses différentes sont faites :

- État initial proprement dit, basé sur l'état contractuel en vigueur en 2009 : c'est l'état initial sur la base duquel est déterminée l'existence de l'atteinte grave. Comme cet état est théorique, il prend en compte l'éclusee maximum possible, appelée dans ce rapport "éclusee aigüe".
- État mesuré en 2008, calculé sur la base des débits mesurés durant l'année 2008 aux différentes stations de mesures de débit. L'analyse statistique des débits (selon Hydmod) donne une évaluation de l'éclusee-type en vigueur durant l'année, appelée "éclusee-chronique". L'état 2008 n'est pas l'état initial. L'année 2008 est toutefois considérée comme typique de l'exploitation à l'état initial et sert de point de comparaison par rapport à l'état actuel d'exploitation des aménagements.

Pour les besoins de l'étude, il est toutefois nécessaire de pouvoir évaluer des études est des données sur une période plus longue qu'une seule année. Dans ce but, la période d'évaluation de l'état initial couvre les années 2008-2012, en faisant comme hypothèse que l'état écologique 2008-2012 était égal ou supérieur à celui de l'état initial.

Dans le cadre de la présente étude, l'état initial sert :

- À la détermination de l'atteinte grave
- À la définition de l'état "avant assainissement", qui pourra ensuite être comparé avec différentes variantes d'états "assainis".
- De base pour l'établissement de l'éclusee-type avant assainissement.

Par contre, le choix de l'état initial n'a aucun impact sur le futur financement des mesures d'assainissement.

L'état de référence, qui servira de base à la rétribution des mesures d'assainissement sera fixé par le biais d'une ordonnance en cours d'élaboration. Cet état de référence ne sera pas repris de la planification stratégique actuellement en cours.

REPUBLIQUES ET CANTONS DE NEUCHÂTEL ET DU JURA
SENE - ENV

Planification stratégique de l'assainissement des éclusées dans le Doubs binational et suisse. Rapport intermédiaire

Ecomorphologie selon méthodologie niveau R du Doubs binational et suisse et de ses affluents

Echelle situation: 1 : 125'000
Format: 297 x 420 mm

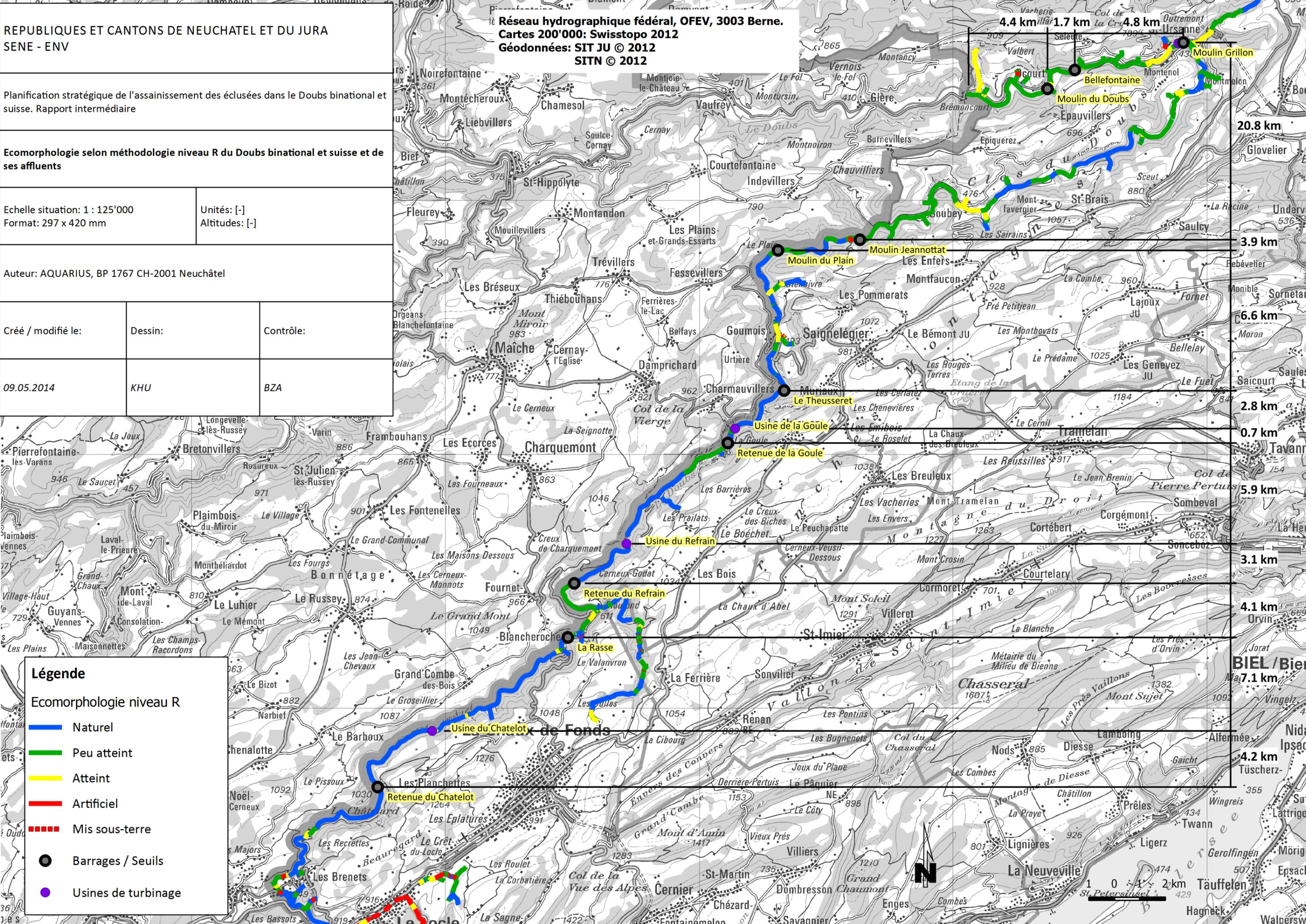
Unités: [-]
Altitudes: [-]

Auteur: AQUARIUS, BP 1767 CH-2001 Neuchâtel

Créé / modifié le: Dessin: Contrôle:

09.05.2014 KHU BZA

Réseau hydrographique fédéral, OFEV, 3003 Berne.
Cartes 200'000: Swisstopo 2012
Géodonnées: SIT JU © 2012
SITN © 2012



Légende

Ecomorphologie niveau R

- Naturel
- Peu atteint
- Atteint
- Artificiel
- Mis sous-terre
- Barrages / Seuils
- Usines de turbinage



3 ÉLIMINATION DES INSTALLATIONS N'EXIGEANT PAS D'ASSAINISSEMENT

3.1 Absence d'éclusées

La base du travail pour le recensement des installations est la liste des exploitations sur le Doubs au bénéfice d'un droit d'eau qui ont été inventoriées dans le cadre de la planification stratégique de l'assainissement de la libre migration piscicole des cantons du Jura et de Neuchâtel (AQUARIUS, 2013). Parmi ces dernières, seules celles qui possèdent un bassin de stockage et disposent de moyens techniques pour pratiquer un turbinage de pointe ont été considérées comme devant être traitées. Une synthèse de cette évaluation figure dans le tableau ci-après.

	Nom	Coordonnées du seuil (barrage)	En service	Présence d'un bassin de stockage	Nom du bassin de stockage	Eclusées
1	Le Châtelot	547'333 / 216'907	Oui	Oui	Retenue de Moron	Oui
2	La Rasse	554'825 / 222'789	Non	Incertain	-	Non
3	Le Refrain	555'077 / 224'918	Oui	Oui	Retenue de Biaufond	Oui
4	La Goule	561'121 / 230'460	Oui	Oui	Retenue de la Goule	Oui
5	Le Theusseret	563'342 / 232'523	Non	Oui	Retenue du Theusseret	Non
6	Moulin du Plain	563'100 / 238'040	Non	Incertain	-	Non
7	Moulin Jeannotat	566'324 / 238'460	Non	Non	-	Non
8	Moulin-Grillon*	579'091 / 246'226	Oui	Incertain	-	Non
9	Bellefontaine	574'814 / 245'141	Non	Incertain	-	Non
10	Moulin du Doubs	573'734 / 244'397	Non	Incertain	-	Non

Tableau 2 Liste des différents sites au bénéfice d'un droit d'eau pour l'exploitation hydroélectrique sur le Doubs binational et suisse. *Cet aménagement a été vérifié et des contacts avec l'exploitant et le garde-faune ont été établis. Le turbinage se fait au fil de l'eau avec dérivation. Sa capacité de marnage est faible et il ne pratique pas d'éclusées.

Seules les installations du Châtelot, du Refrain et de la Goule comportent ainsi une retenue de stockage. Les autres installations ne sont donc pas analysées.

Si les installations aujourd'hui hors service sont remises en service dans le futur, elles devront répondre aux exigences légales de la LEau.

La carte ci-après positionne les installations en question ainsi que leurs principales unités d'exploitations et périmètres d'influence (retenue/prise d'eau, tronçon soumis à débit résiduel, restitution, tronçon impacté). Les stations de mesures hydrologiques fédérales présentes sur le parcours du Doubs franco-suisse et suisse sont également représentées.

REPUBLIQUES ET CANTONS DE NEUCHÂTEL ET DU JURA
SENE - ENV

Planification stratégique de l'assainissement des éclusées dans le Doubs binational et suisse. Rapport intermédiaire

Aménagements du Doubs franco-suisse et jurassien

Echelle situation: 1 : 120'000
Format: 297 x 420 mm

Unités: [-]
Altitudes: [-]

Auteur: AQUARIUS, BP 1767 CH-2001 Neuchâtel

Créé / modifié le:

Dessin:

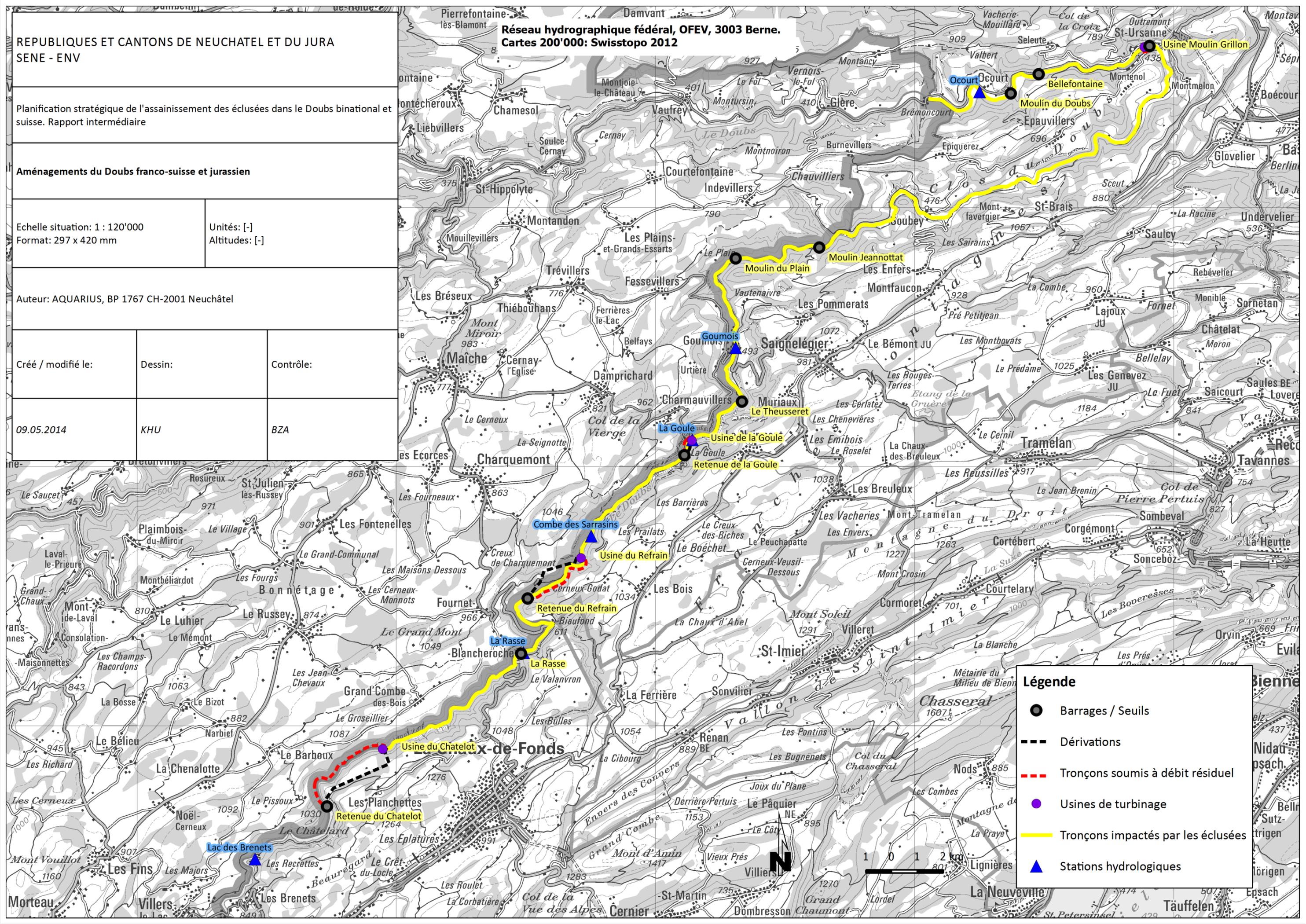
Contrôle:

09.05.2014

KHU

BZA

Réseau hydrographique fédéral, OFEV, 3003 Berne.
Cartes 200'000: Swisstopo 2012



Légende

- Barrages / Seuils
- Dérivations
- - - Tronçons soumis à débit résiduel
- Usines de turbinage
- Tronçons impactés par les éclusées
- ▲ Stations hydrologiques



3.2 Éclusées de faible amplitude

Les trois installations retenues (Châtelot, Refrain et Goule) produisent des éclusées dont l'amplitude est largement supérieure à 1.5. Aucune installation n'est éliminée sur la base de ce critère.

3.3 Issue de secours

Selon l'aide à l'exécution, "une centrale qui turbine au fil de l'eau et restitue, sans les modifier, des éclusées provoquées plus en amont sont un exemple de cas où l'existence d'un rapport débit d'éclusee/débit plancher supérieur à 1.5:1 ne signale pas nécessairement un besoin d'assainissement". Ces installations peuvent être écartées de la planification par le biais de l'"issue de secours".

Les installations du Refrain et de la Goule ont été évaluées pour vérifier si elles pouvaient être écartées de la planification sur la base de ce critère.

3.3.1 Indicateur HYDMOD-éclusee de l'éclusee potentielle

L'éclusee potentielle est définie comme étant l'éclusee que les installations du Refrain et de la Goule seraient à même de produire indépendamment du Châtelot. Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques et la qualification HYDMOD de l'éclusee potentielle (état initial) :

			Le Refrain	La Goule
Qe	Débit d'éclusee	m ³ /s	23.9	18.7
Qp	Débit plancher	m ³ /s	3.9	4
lh	Stress hydraulique		0.8	0.6
Tn _{plancher}	Taux descente	cm/min	Inconnue	Inconnue
Lh	Stress hydraulique		0.8	0.6
lp	Intensité de l'impulsion		4-9	3-7

Tableau 3 Caractéristiques de l'éclusées potentielle du Refrain et de la Goule

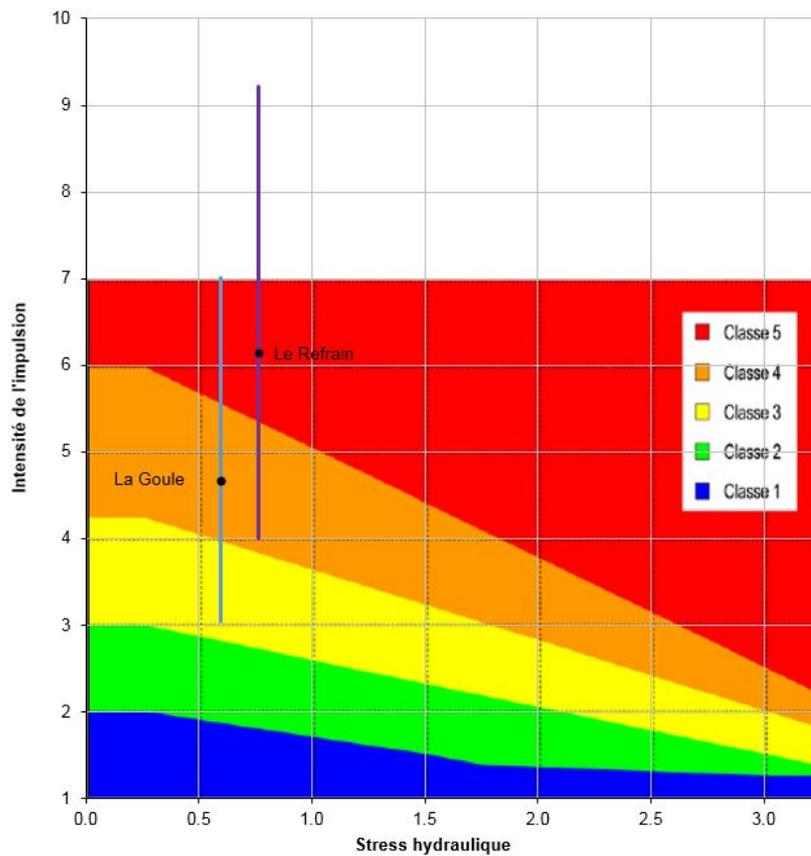


Figure 4 Graphique HYDMOD de l'écluse potentielle du Refrain et de la Goule

- L'écluse potentielle du Refrain est classée entre l'orange et le rouge dans HYDMOD, en fonction de sa vitesse de descente.
- L'écluse potentielle de la Goule est classée entre le jaune et le rouge dans HYDMOD, en fonction de sa vitesse de descente.

Les deux installations présentent donc la capacité potentielle de produire des éclusées graves.

3.3.2 Faisabilité de l'éclusées potentielles

En plus de sa capacité de turbinage, une installation doit posséder une retenue suffisante pour pouvoir produire de manière indépendante une éclusée dans le cours d'eau. Le tableau ci-dessous donne les caractéristiques des retenues de Biaufond (Refrain) et de la Goule :

Caractéristiques	Biaufond	La Goule
Retenue, volume total [millions de m ³]	1.2	0.08
Limite de marnage [m] (écart en plan d'eau max et plan d'eau min)	0.9	0.4
Retenue, volume exploitable [millions de m ³] * : estimation	0.35	0.06 *
Durée max d'une éclusée en étiage [h] (sans prise en compte de modulations)	4.6	1.0

Tableau 4 Caractéristiques des retenues du Refrain et de la Goule

Le Refrain possède un volume exploitable lui permettant de produire une éclusée à pleine puissance d'une durée d'environ 4-5 heures. La Goule peut, quant à elle, produire une éclusée plus courte, d'environ 1 h.

3.3.3 Existence de l'éclusées potentielles dans l'état initial

Il se pose la question de savoir si, dans l'état initial, les installations du Refrain ou de la Goule provoquent parfois des éclusées indépendamment des éclusées du Châtelot. Dans ce but, les données des stations de mesures ont été comparées entre elles deux à deux :

- Stations de mesure Rasse et Sarrasin, pour évaluer l'effet du Refrain
- Stations de mesures Sarrasin et Goule, pour évaluer l'effet de la Goule

Une simple recherche visuelle permet de détecter – pour les deux installations - des journées où un phénomène d'éclusée est observable en aval alors qu'aucune éclusée n'est mesurée en amont. Les figures ci-après montrent quelques cas observés :

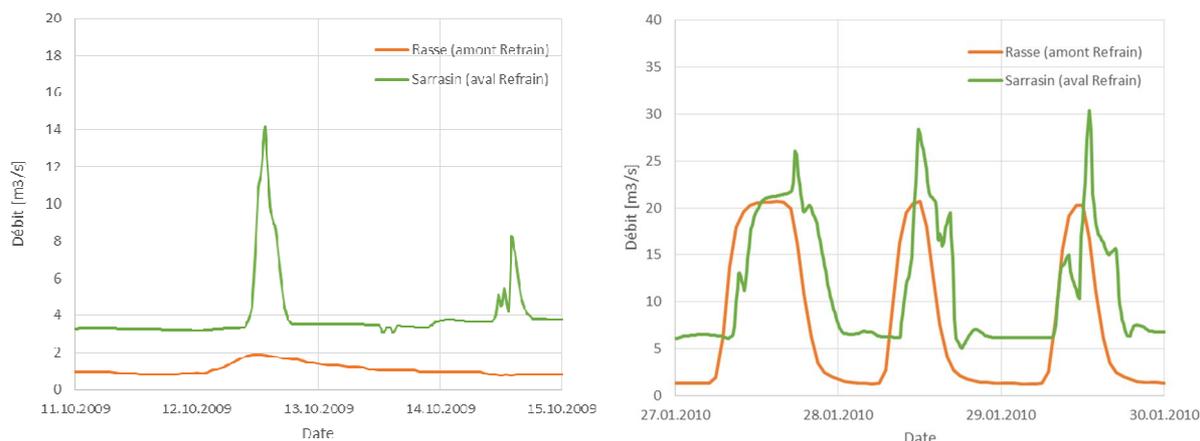


Figure 5 Exemples d'éclusées provoquées ou renforcées par le Refrain

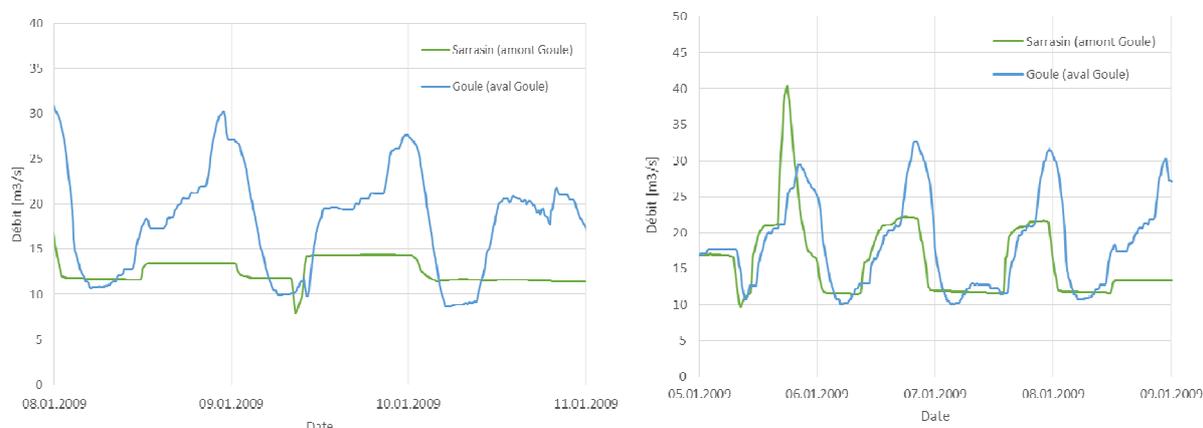


Figure 6 Exemples d'éclusées provoquées ou renforcées par la Goule

De tels évènements restent rares. Pour quantifier leur fréquence, nous avons recherché le nombre de jours (durant la période 2009-2012) où l'amplitude (A) de l'éclusee aval a été plus importante que l'amplitude de l'éclusee amont :

	$A_{\text{aval}} - A_{\text{amont}} > 10 \text{ m}^3/\text{s}$	$A_{\text{aval}} - A_{\text{amont}} > 5 \text{ m}^3/\text{s}$
% de jours où Le Refrain a provoqué une éclusee (ou renforcé l'éclusee en provenance de l'amont)	3%	9%
% de jours où La Goule a provoqué une éclusee (ou renforcé l'éclusee en provenance de l'amont)	3%	7%

Tableau 5 Fréquence d'éclusées provoquées ou renforcées par le Refrain ou la Goule (2009-2012)

On estime entre 5 et 10% la proportion de jours où les installations du Refrain ou de la Goule ont provoqué une éclusee ou renforcé l'éclusee en provenance de l'amont.

3.3.4 Conclusion

Les installations du Refrain et de la Goule sont capables de produire de graves éclusées (rouge selon Hydmod) et possèdent une retenue leur permettant de réaliser des éclusées de manière indépendante. À l'état initial (2008-2012), elles ont ponctuellement produit des éclusées ou renforcé des éclusées en provenance de l'amont. Ces installations ne seront donc pas écartées de la planification stratégique par l'"issue de secours".

4 DESCRIPTION DES INSTALLATIONS POUVANT FONCTIONNER PAR ÉCLUSÉES SUR LE DOUBS FRANCO-SUISSE ET SUISSE

4.1 Le Châtelot

Le Châtelot est exploité par la société des Forces Motrices du Châtelot (SFMC) dont les actionnaires sont : 50% Énergie de France (EDF), 30% Groupe E SA, 11.66 % Forces motrices de la Goule et 8.33 % État de Neuchâtel. Ses caractéristiques principales sont les suivantes :

	Le Châtelot, usine principale	Usine de dotation
Ouvrage	Barrage "voûte", haut de 74 m - Larg. du couronnement 150 m - Epaisseur en crête : 2m - Epaisseur en pied : 14 m	Usine de dotation, environ 8 m de côté pour 9 mètres de hauteur.
Concessionnaire	SFMC	SFMC
Mise en service	1953	2006
Administratifs	Concession suisse 1950 pour 75 ans - Concession française (décret) 1953 pour 75 ans - Règlement d'eau commun entré en vigueur en 1969 – Accord Cadre de 2003 sur l'Amélioration des Débits du Doubs franco-suisse. Prochain renouvellement de concession 2028.	Accord Cadre de 2003 sur l'Amélioration des Débits du Doubs franco-suisse
Fonctionnement	Par éclusées	Au fil de l'eau
Retenue, volume exploitable	12 (en millions de m ³)	
Hauteur de chute	67 - 97 m	38 - 59 m
Débit de dotation	Selon concession : 50 l/s - Selon convention 1969 : 250 l/s	Depuis 2006 : 2'000 l/s = débit de dotation
Débit d'équipement	Selon concession : jusqu'à 50 m ³ /s - débit équipé : 44 m ³ /s	Turbine de dotation 2 m ³ /s
Turbines	4 Francis sur 2 alternateurs	Francis
Puissance maximale disponible aux bornes des alternateurs (SAHE)	30 MW	Turbine de dotation 950 kW
Production annuelle moyenne	100 GWh	Turbine de dotation 6'300 MWh

Tableau 6 Caractéristiques générales de l'aménagement du Châtelot.

4.2 Le Refrain

L'exploitation du Refrain est assurée par EDF et se situe en aval du Châtelot. Le lac de Biaufond constitue la retenue du Refrain dont l'usine fut mise en service en 1909. En 2010, une usine de dotation a été installée pour permettre de turbiner le débit de dotation assurant un volume d'eau plus important dans le tronçon court-circuité. Dès 2011, ce débit de dotation est passé à 2'000 l/s. Les caractéristiques principales de l'aménagement sont présentées ci-dessous :

	Le Refrain, usine principale	Usine de dotation
Ouvrage	Barrage haut de 8 m	Usine de dotation
Concessionnaire	EDF	EDF
Mise en service	1909, rénovée en 2010	2010 - 2011
Administratifs	Prochain renouvellement de concession 2032	
Fonctionnement	Par éclusées	Au fil de l'eau
Retenue, volume exploitable	1.2 (en million(s) de m ³)	
Hauteur de chute	66.3 m	
Débit de dotation		
Débit d'équipement	Selon concession : jusqu'à 23 m ³ /s - débit équipé : 23 m ³ /s	Turbine de dotation 890 l/s jusqu'en 2011, 2 m ³ /s depuis 2011
Turbines	3 Francis double	Turbine hélice à pales fixes
Puissance maximale disponible aux bornes des alternateurs (SAHE)	11 MW	Turbine de dotation 200 kW
Production annuelle moyenne	60 GWh	

Tableau 7 Caractéristiques générales de l'aménagement du Refrain.

4.3 La Goule

La Goule est exploitée par la Société des forces électriques de la Goule dont l'actionnariat est réparti comme suit : BKW FMB Energie SA: 83% / Privés: 17%. Elle fut mise en service en 1894. Son ouvrage de retenue est construit sur un ancien seuil naturel engendré par l'éboulement de 1356. L'influence des installations situées en amont régit fortement le fonctionnement de l'exploitation de la Goule. Cette situation est due au fait que le débit équipé du Châtelot (44 m³/s) est plus du double de celui de la Goule (18 m³/s) et que le volume utilisable de la retenue est très nettement supérieur. Les caractéristiques principales de l'aménagement sont présentées ci-dessous :

La Goule, usine principale	
Ouvrage	Barrage haut de 4 m
Concessionnaire	Société des forces électriques de la Goule
Mise en service	1894
Administratifs	Prochain renouvellements des concessions suisse et française en 2024
Fonctionnement	En théorie, l'installation de la Goule peut pratiquer des éclusées en utilisant une partie de l'eau stockée dans sa retenue. Dans la pratique, elle est totalement tributaire du régime d'exploitation des usines hydroélectriques situées en amont (notamment le Châtelot) et fonctionne plutôt comme centrale au fil de l'eau.
Retenue, volume exploitable	0.08 (en million de m ³)
Hauteur de chute	28 m
Débit de dotation	680 l/s
Débit d'équipement	Débit équipé : 18 m ³ /s
Turbines	<p>Groupe 1 : Turbine Francis à axe horizontal à double flux Escher Wyss d'une puissance nominale de 1'250 kW. Débit équipé de 3.5 [m³].</p> <p>Groupe 2 : Turbine Kaplan à axe vertical d'une puissance nominale de 3'300 kW. Débit équipé de 13 [m³].</p> <p>Groupe 3 : Turbine Francis à axe horizontal à double flux Escher Wyss d'une puissance nominale de 2'750 kW. Débit équipé de 9 [m³].</p>
Puissance maximale disponible aux bornes des alternateurs (SAHE)	5 MW
Production annuelle moyenne	25 GWh

Tableau 8 Caractéristiques générales de l'aménagement de la Goule.

4.4 Historique

L'interdépendance des installations, le besoin de coordination transfrontalière et la nécessité de protection du cours d'eau ont poussé les différents intervenants à se coordonner de longue date. En 1969, un premier règlement d'eau est entré en vigueur afin de régler l'utilisation et la gestion des aménagements. Le tableau ci-après récapitule les différents événements importants du point de vue politique ou/et hydraulique survenus depuis la mise en service de la Goule en 1893 :

Année	Événements importants du point de vue politique ou/et hydraulique
1893	Mise en service de la Goule
1909	Mise en service du Refrain
1953	Mise en service du Châtelot
1969	Premier règlement d'eau
1994	Août 1994, début de travaux à l'usine du Refrain, mise hors service partielle de l'installation. Arrêt partiel des éclusées durant deux ans.
1997	Mai 1997, remise en service complet de l'installation du Refrain.
1998	Accord de Maiche concernant l'atténuation des effets des éclusées.
2003	Accord-cadre du 30 juin 2003 concernant l'amélioration des écosystèmes dans le Doubs franco-suisse par la gestion des débits d'eau permanents.
2006	Mise en service de la turbine de dotation du Châtelot augmentant le débit de restitution de 0.25 à 2 [m ³ /sec].
2006	Reprise du Châtelot par le Groupe E.
2008	Mise en œuvre progressive de la libéralisation du marché de l'électricité en Suisse.
2009	Début des mesures volontaires entreprises par le Châtelot.
2010	Premier essai de «lâchures» du Châtelot conduit par les exploitants du Châtelot, du Refrain et de la Goule sous demande de la Confédération helvétique.
2011	Mise en service de la turbine de dotation du Refrain augmentant le débit de restitution de 0.89 à 2 [m ³ /sec]. Deuxième essai de «lâchures» du Châtelot conduit par les exploitants du Châtelot, du Refrain et de la Goule sous demande de la Confédération helvétique.
2012	Troisième essai de «lâchures» du Châtelot conduit par les exploitants du Châtelot, du Refrain et de la Goule sous demande de la Confédération helvétique.
2013	Mesures d'atténuation des éclusées du Châtelot conduites par les exploitants et suivi de ces mesures par le biais d'observations sur le terrain des conséquences en termes d'échouage et de piégeage piscicole.
2014	Dès décembre : mise en œuvre du nouveau règlement d'eau (RE2014) à titre d'essai

Le graphique ci-dessous montre de manière plus précise l'évolution d'une éclusée-type au Châtelot depuis sa mise en service :

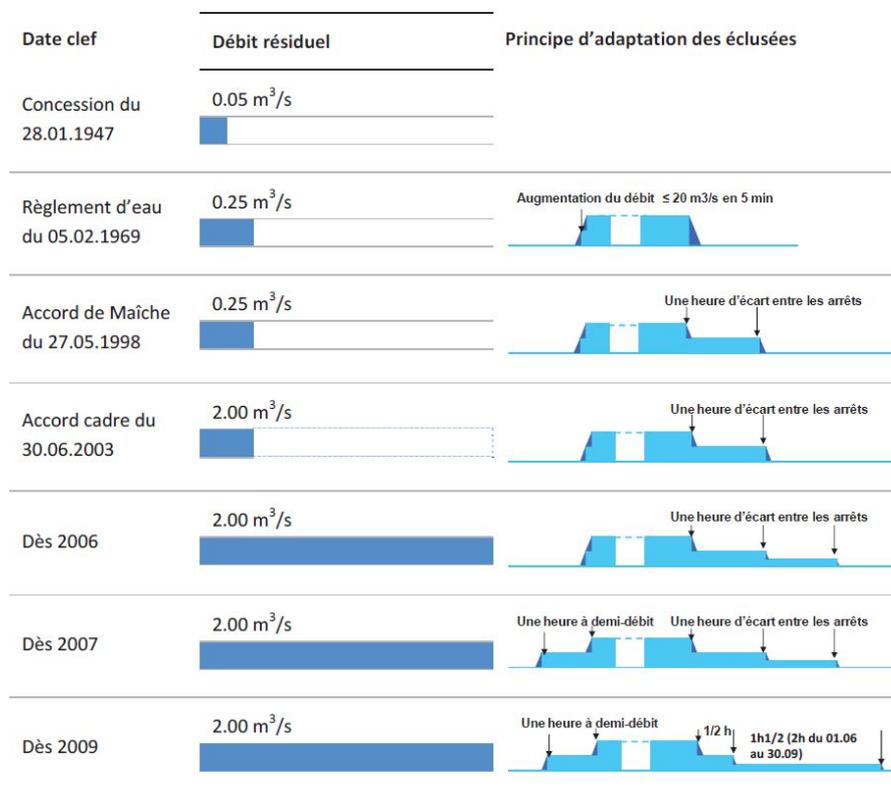


Tableau 9 Synthèse des modifications apportées par les Forces motrices du Châtelot sur l'hydrologie du Doubs franco-suisse (adapté de Groupe E SA, 2011). (Le débit résiduel noté en toutes lettres est celui prévu dans l'accord ou le règlement; le débit résiduel représenté par une barre bleue est le débit en vigueur à la date clef correspondant).

On constate un premier élément positif en 1969 avec une première régulation de la vitesse de variation des débits d'éclusées, puis un décalage dans les arrêts de turbinage réglementé en 1998. Vient ensuite un événement marquant, à savoir la construction de la centrale de dotation et le passage à un débit plancher de 2 m³/s en 2003 qui a eu pour conséquence une sensible diminution des amplitudes des éclusées. Suite à la libéralisation du marché de l'électricité en 2006, les nouveaux gestionnaires du Châtelot ont optimisé les possibilités et les droits de leur concession, donnant lieu à des éclusées d'amplitudes en moyenne plus importantes et globalement plus fréquentes. Face aux effets préjudiciables de ce nouveau mode d'exploitation sur le milieu, des mesures volontaires ont alors été entreprises par les exploitants et se poursuivent encore à ce jour.

4.5 Successions des aménagements hydroélectriques du Doubs franco-suisse et suisse

4.5.1 Description du système

Les données figurant dans les tableaux des pages 25 à 27 montrent que la capacité de turbinage de pointe du Châtelot (volume utile et débit maximal turbinable) est largement supérieure à celles du Refrain et de la Goule. Par conséquent, en phase d'exploitation maximale, la production d'énergie de pointe - et les éclusées du Châtelot qui en résultent - obligent actuellement ces deux installations situées en aval à adapter leur régime d'exploitation.

Il en résulte également que les tronçons à débit résiduel du Refrain et de la Goule subissent des éclusées du Châtelot provenant de la surverse des barrages du Refrain, respectivement de la Goule.

4.5.2 Délimitation et caractérisation des tronçons subissant des éclusées

Pour les besoins de l'étude, 6 tronçons ont été délimités dans le Doubs entre le barrage du Châtelot et la frontière franco-suisse :

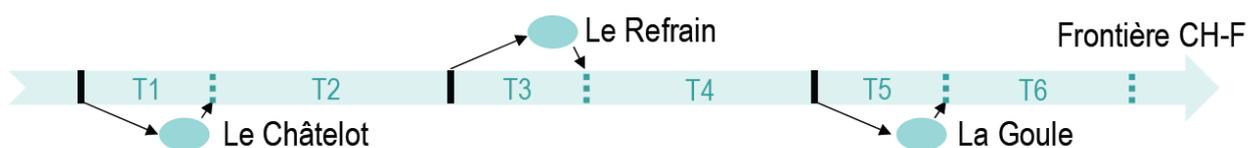


Figure 7 Schéma de délimitation des tronçons dans le Doubs

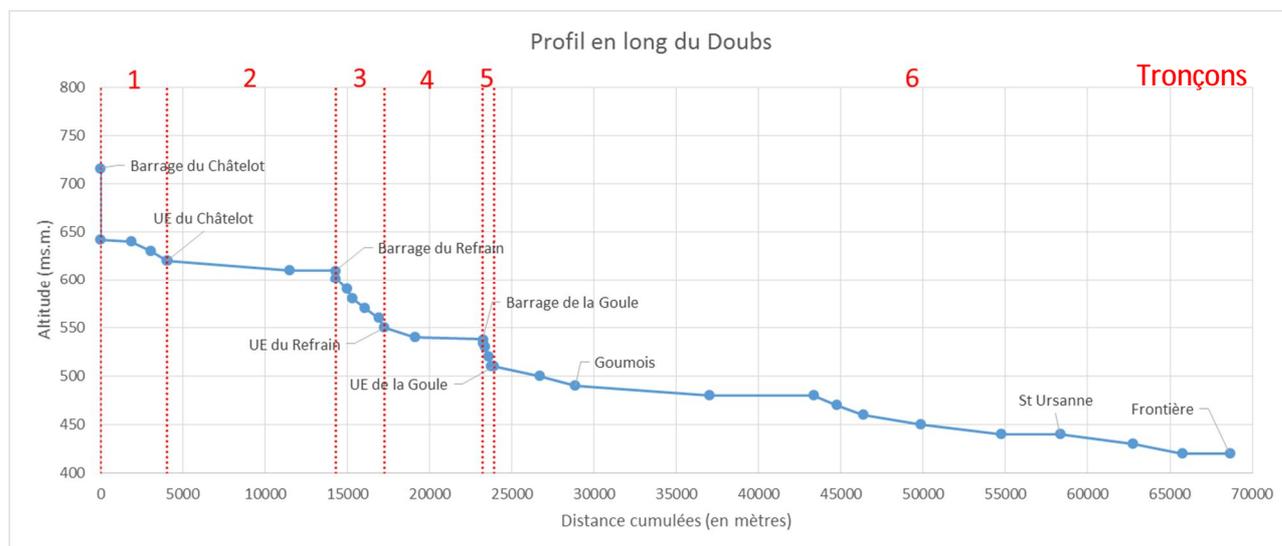


Figure 8 Profils en long du Doubs dans le secteur d'étude (base : courbes de niveau de la carte topographique 1:25'000)

Seul le tronçon 1, situé entre le barrage et l'usine du Châtelot ne subit pas d'éclusées. Le tableau ci-dessous donne les principales caractéristiques des éclusées à l'état initial (état contractuel 2009) :

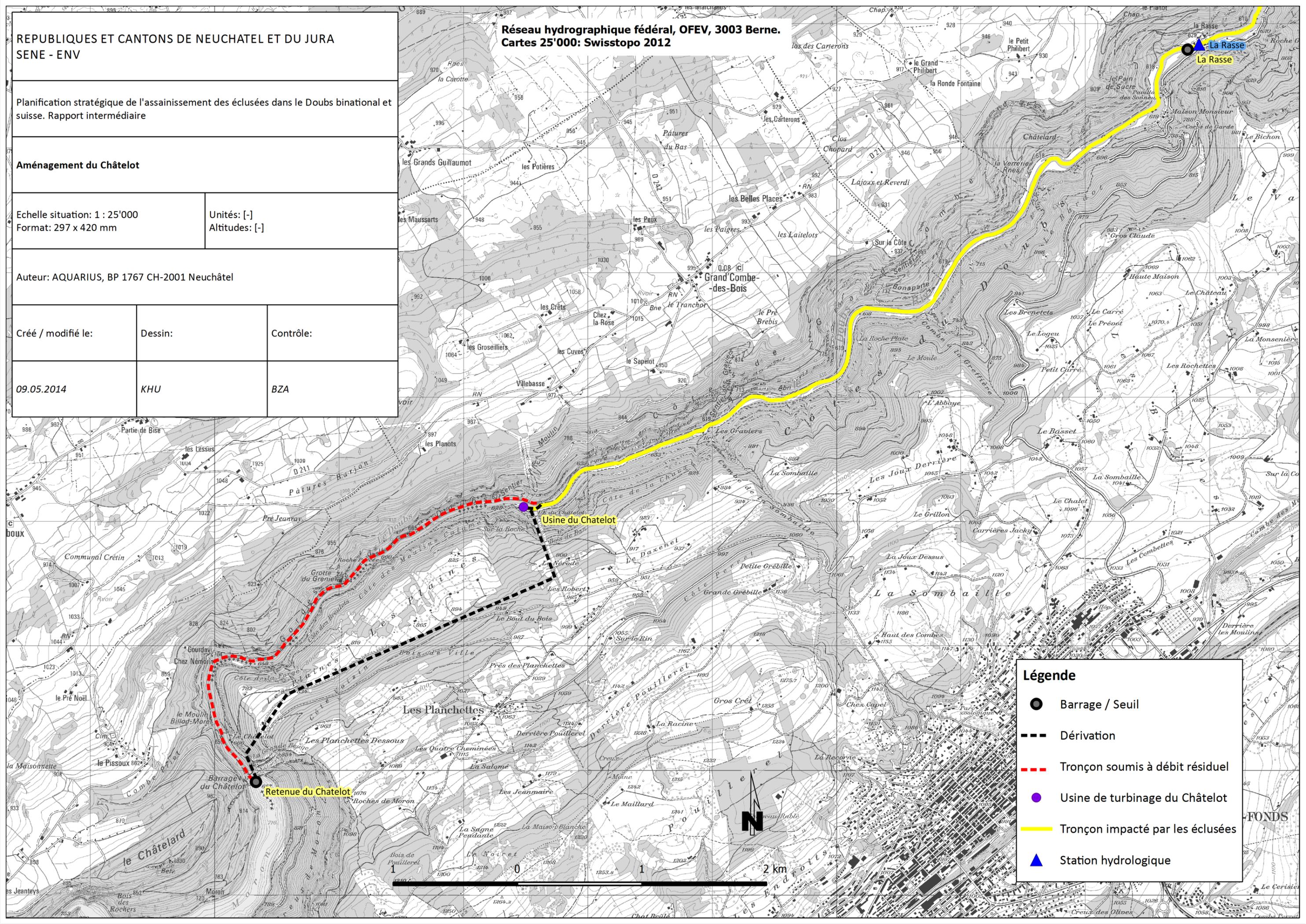
N° tronçon	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Nom	Châtelot-TCC	Châtelot-éclusées	Refrain-TCC	Refrain-éclusées	Goule-TCC	Goule-éclusées
Limite amont	Barrage du Châtelot	Usine du Châtelot	Barrage du Refrain	Usine du Refrain	Barrage de la Goule	Usine de la Goule
Limite aval	Usine du Châtelot	Retenue de Biaufond	Usine du Refrain	Retenue de la Goule	Usine de la Goule	Brémoucourt (Frontière FR)
Longueur [km]	4.2	7.1	3.1	5.9	0.7	45
Éclusées	non	oui	oui	oui	oui	oui
Qe [m ³ /s]		46	23	46	28	46
Qp [m ³ /s]		2	0.9	3.9	0.7	4
Territoire du cours d'eau	franco-suisse	franco-suisse	français	français	français	amont : français aval : suisse

Tableau 10 Caractéristiques des éclusées à l'état initial (état contractuel 2009)

Les valeurs ci-dessus se basent sur les contraintes d'exploitation en vigueur en 2009.

Les situations suivantes présentent plus en détail, d'amont en aval, chacune des trois installations avec en particuliers :

- Les retenues ;
- les tronçons soumis uniquement à débit résiduel ;
- les tronçons soumis à débit résiduel mais influencés par les éclusées engendrées en amont ;
- les tronçons non touchés par un prélèvement d'eau mais influencés par les éclusées.



Légende

- Barrage / Seuil
- Dérivation
- Tronçon soumis à débit résiduel
- Usine de turbinage du Châtelot
- Tronçon impacté par les éclusées
- ▲ Station hydrologique

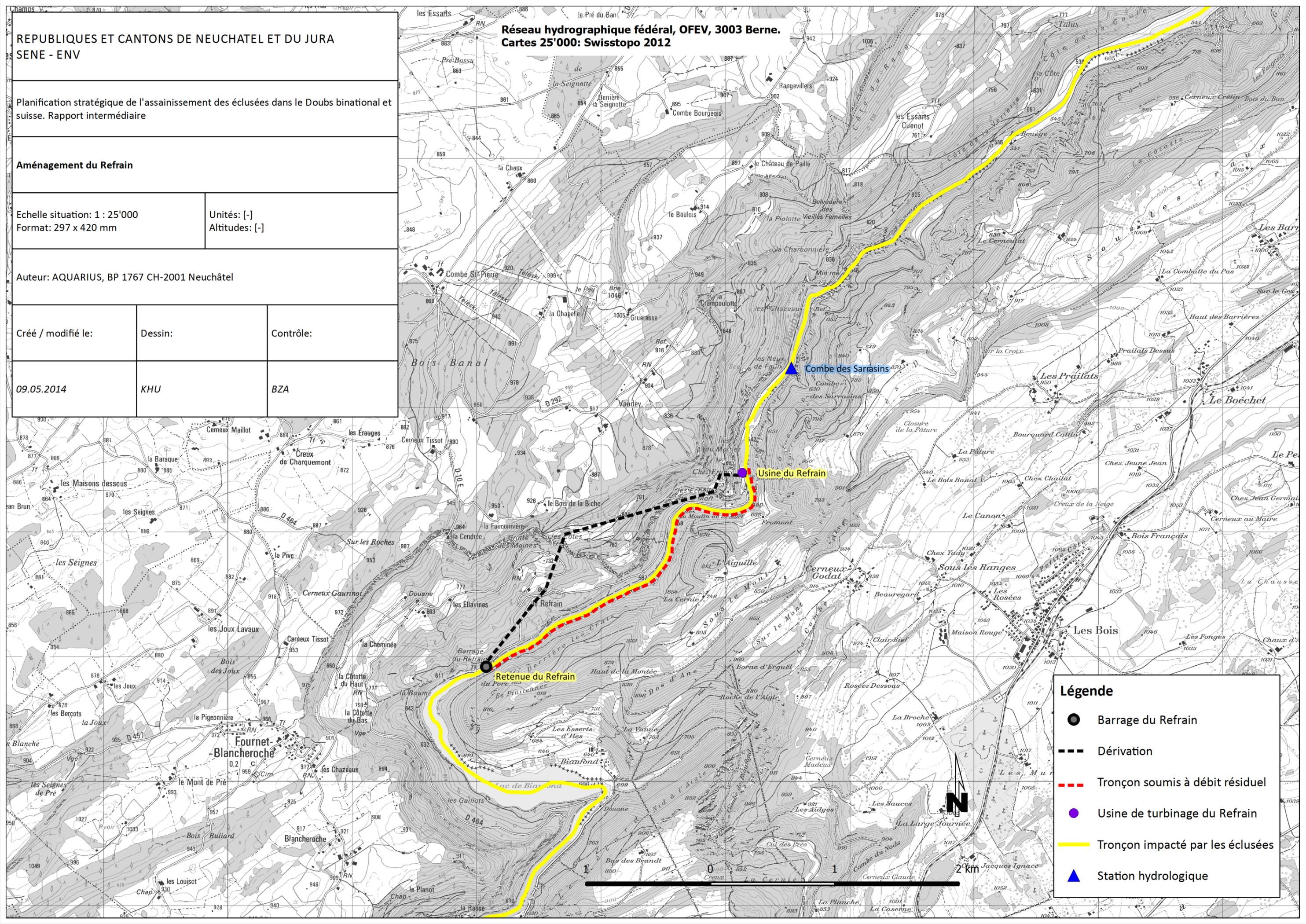


2 km



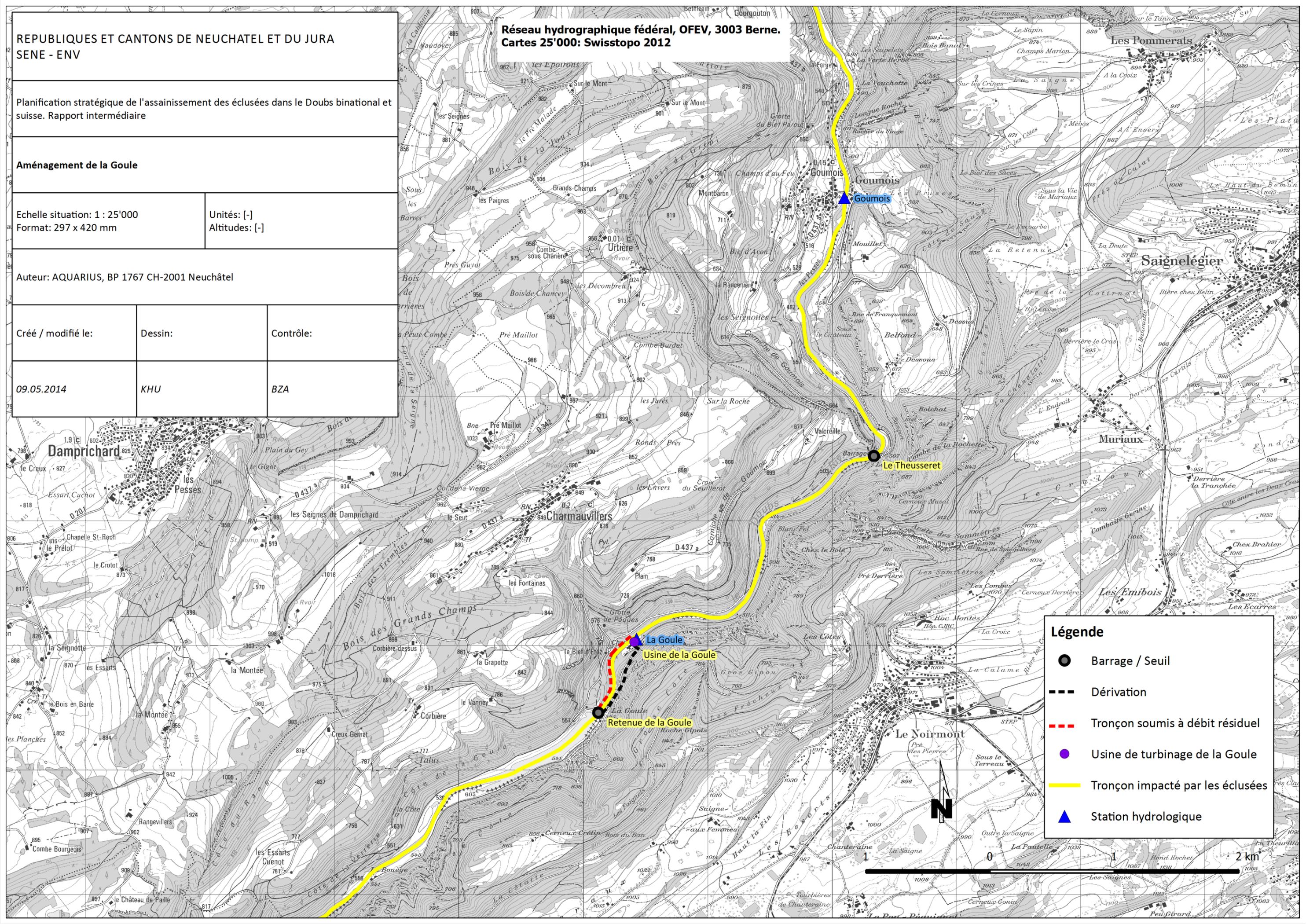
REPUBLIQUES ET CANTONS DE NEUCHÂTEL ET DU JURA SENE - ENV		
Planification stratégique de l'assainissement des éclusées dans le Doubs binational et suisse. Rapport intermédiaire		
Aménagement du Refrain		
Echelle situation: 1 : 25'000 Format: 297 x 420 mm	Unités: [-] Altitudes: [-]	
Auteur: AQUARIUS, BP 1767 CH-2001 Neuchâtel		
Créé / modifié le:	Dessin:	Contrôle:
09.05.2014	KHU	BZA

Réseau hydrographique fédéral, OFEV, 3003 Berne.
 Cartes 25'000: Swisstopo 2012



Légende

-  Barrage du Refrain
-  Dérivation
-  Tronçon soumis à débit résiduel
-  Usine de turbinage du Refrain
-  Tronçon impacté par les éclusées
-  Station hydrologique



Légende

- Barrage / Seuil
- Dérivation
- - - Tronçon soumis à débit résiduel
- Usine de turbinage de la Goule
- Tronçon impacté par les éclusées
- ▲ Station hydrologique

5 DETERMINATION DES ATTEINTES GRAVES

5.1 Détermination de l'altération du régime hydrologique

Pour qu'une atteinte soit considérée comme grave, il faut que l'altération du régime hydrologique soit significative et qu'elle induise des effets négatifs sur la faune et la flore. Si le régime hydrologique est altéré, mais que tous les indicateurs d'atteinte (biologiques ou physiques) démontrent un bon état, on ne peut pas parler d'atteinte grave. En outre pour qu'un besoin d'assainissement soit avéré, il faut que l'atteinte grave soit provoquée par une intervention anthropique et qu'elle puisse être mise en lien directement avec le phénomène d'éclusées.

L'altération du régime hydrologique est principalement définie en fonction du rapport débit d'éclusées/débit plancher (Q_e/Q_p). Elle est considérée comme significative lorsque le ratio Q_e/Q_p est supérieur à 1,5:1. La caractérisation des éclusées a été analysée avec l'approche HYDMOD. Cette évaluation détermine la gravité d'une éclusée sur la base de la relation entre l'intensité de l'impulsion et le stress hydraulique. Ces indicateurs sont décrits dans l'aide à l'exécution mise à disposition par l'OFEV (PFAUNDLER & AL., 2011)

5.1.1 État initial

L'état initial théorique est défini en fonction des contraintes d'exploitation en vigueur en 2009. Pour les tronçons court-circuités du Refrain et de la Goule, on fait l'hypothèse que l'installation turbine à pleine puissance au moment de l'arrivée de l'éclusée du Châtelot. Le débit d'éclusée du tronçon court-circuité est donc égal au débit d'éclusée du Châtelot moins le débit turbiné.

Pour la suite de l'étude, l'éclusée-type du Châtelot pour l'état initial a été défini sur la base des informations du *Tableau 9* :

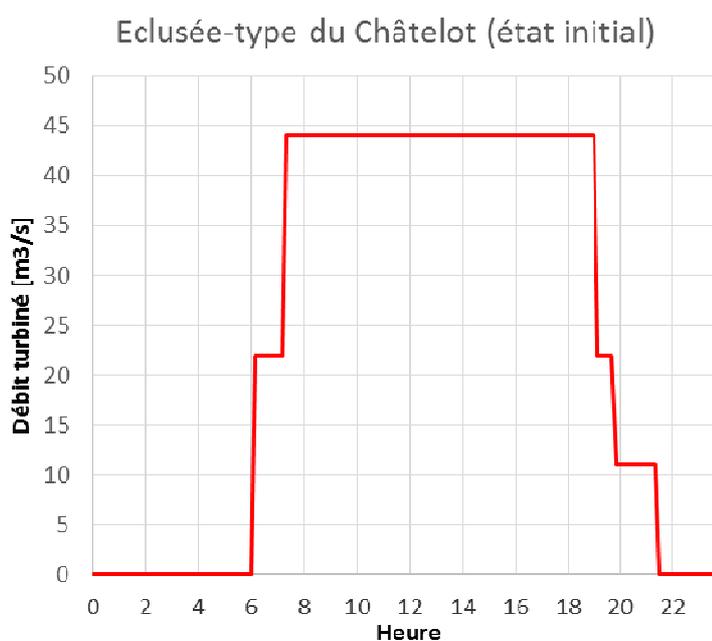


Figure 9 Eclusée-type du Châtelot – état initial

5.1.2 Indicateur HYDMOD – état initial

L'état initial est défini comme étant l'état contractuel des éclusées en 2009.

N° tronçon		T2	T3	T4	T5	T6
Nom		Chatelot-éclusées	Refrain-TCC	Refrain-éclusées	Goule-TCC	Goule-éclusées
Qe	m ³ /s	46	23	46	28	46
Qp	m ³ /s	2	0.9	3.9	0.7	4
A	m ³ /s	44	22.1	42.1	27.3	42
Qe/Qp	-	23	25.9	11.8	41.2	11.5
MQ	m ³ /s	22	28	28	28.5	28.5
BV	km ²	1021	1045	1045	1066	1066
K _{bv}	-	0.8855	0.8975	0.8975	0.908	0.908
Lh	-	1.9	0.7	1.5	0.9	1.5
T _{nplancher}	cm/min	1.8	0.3	0.5	0.2	0.2
K _a	-	0.96	0.65	0.65	0.65	0.65
lp	-	22	17	7.7	27	7.5

Tableau 11 Caractérisation des éclusées dans les différents tronçons à l'état initial (Hydmod)

Qe = débit d'éclusee

Qp = débit plancher

A = amplitude de l'éclusee = Qe-Qp

Qe/Qp = intensité de l'éclusee

MQ = débit moyen annuel

BV = surface du bassin versant

K_{bv} = facteur dépendant de la surface du bassin versant

Lh = stress hydraulique = k_{bv}*(Qe/MQ)

T_{nplancher} = vitesse de descente. La vitesse de descente a été déterminée en routant l'éclusee-type du Châtelot (état initial) dans le modèle hydraulique Routing-System monté pour le projet (voir chapitre 5.3.4).

K_a = facteur dépendant de la vitesse de descente de l'eau

lp = intensité de l'impulsion = k_a*(Qe/Qp)

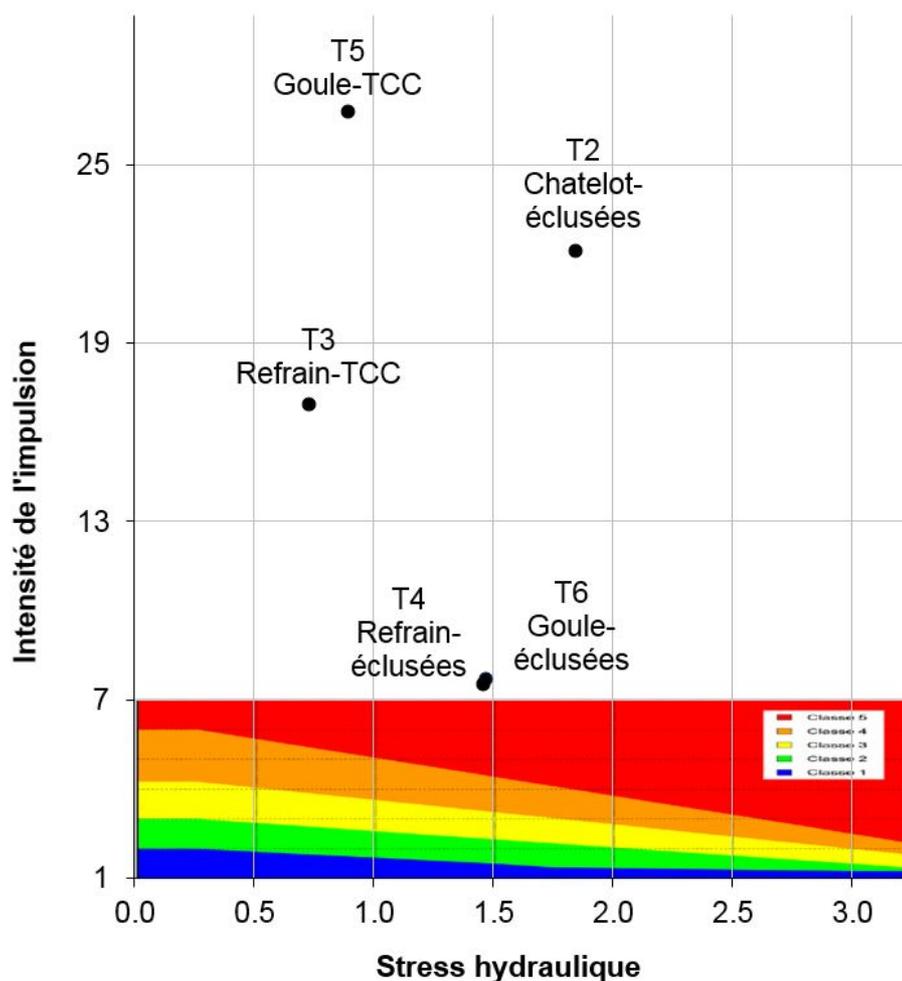


Figure 10 HYDMOD-éclusées à l'état initial

L'ensemble des tronçons présentent un indicateur Hydmod-éclusées largement dans le rouge, c'est-à-dire dans des conditions hydrologiques qualifiées "d'artificiel" selon le système modulaire gradué.

5.1.3 Indicateurs HYDMOD – état mesuré en 2008

Le tableau ci-dessus montre un état théorique avec les contraintes d'exploitation en vigueur en 2009. Pour comparaison, la même analyse a été réalisée sur la base des débits mesurés en 2008 aux quatre stations de mesure de débits existants le long du tronçon d'étude :

		N° tronçon	T2	T4	T6	T6
		Nom station de mesure	Rasse	Sarrasins	Goule	Ocourt
Qe	Débit d'éclusee	m ³ /s	47.8	54.5	52.7	58.8
Qp	Débit plancher	m ³ /s	1.46	6.21	6.24	6.93
A	Amplitude	m ³ /s	42.02	32.06	32.08	29.51
Qe/Qp	Intensité		19.43	3.31	3.51	2.43
lh	Stress hydraulique		1.9	1.7	1.7	1.8
Tn _{plancher}	Taux descente	cm/min	-0.12 *	-0.23	-0.22	-0.08
lp	Intensité de l'impulsion		12.6	2.2	2.3	1.6

Tableau 12 Valeurs Hydmmod-éclusées calculées sur la base des mesures de débit 2008

* Le taux de descente ne peut pas être déterminé avec précision car l'intervalle des mesures à disposition est trop important. Cette valeur est vraisemblablement trop faible.

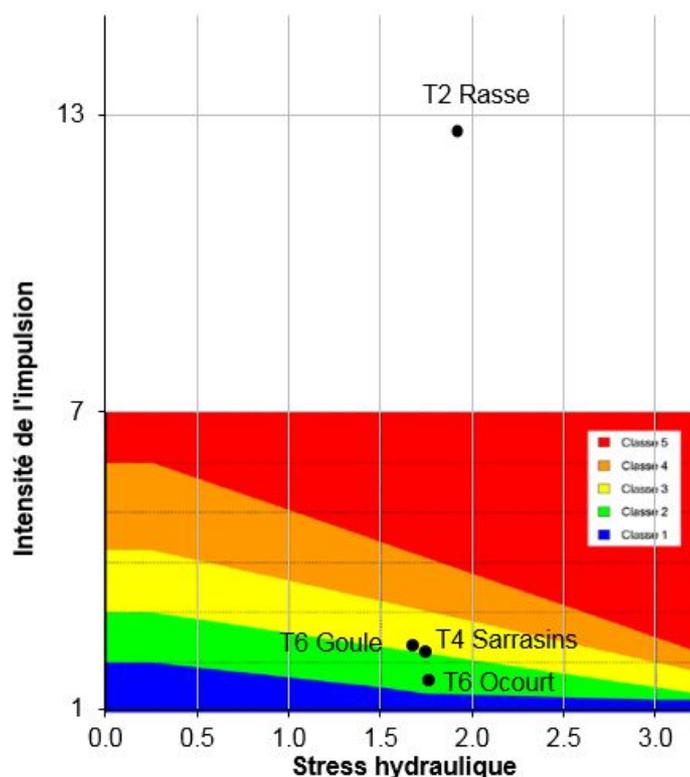


Figure 11 HYDMOD-éclusées – état mesuré en 2008

En 2008, l'état hydraulique des éclusées selon HYDMOD était largement meilleur en aval du Refrain que sur le tronçon T2 (Châtelot-éclusées). Les débits planchers mesurés sur les tronçons T4 et T6 était déjà relativement élevés.

5.1.4 Analyse fréquence – amplitude des éclusées (état mesuré en 2008)

Le graphique ci-dessous montre l'amplitude journalière des débits mesurés en 2008 par les stations de mesure de débit :

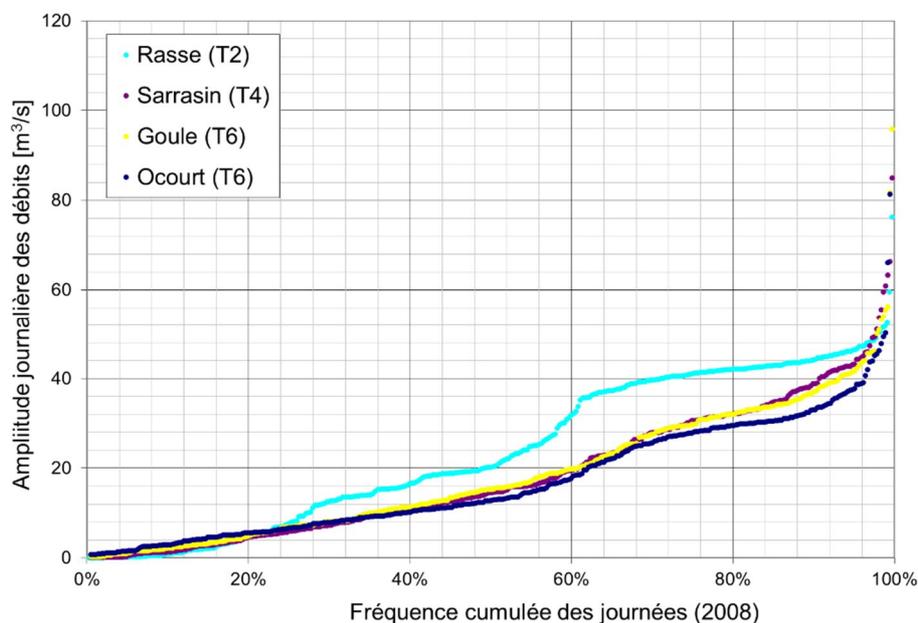


Figure 12 Analyse fréquence-amplitude des éclusées

Comme pour l'indicateur HYDMOD, on voit une différence entre les tronçons T2 et les tronçons aval. Dans tous les tronçons on observe l'existence d'un petit nombre d'éclusées avec une amplitude très forte.

5.1.5 Fréquence d'éclusées dans les tronçons court-circuités (état mesuré en 2008)

La fréquence d'éclusées des tronçons court-circuités (T3 et T5) a été déterminée en évaluant la fréquence des déversements aux retenues du Refrain et de la Goule. Un déversement est considéré lorsque le débit mesuré en aval du tronçon court-circuité est supérieur au débit turbiné additionné du débit de dotation :

- Refrain - TCC: déversement si $Q \text{ Sarrasins} > 23 + 0.887$
- Goule-TCC: déversement si $Q \text{ Goule} > 18 + 0.68$

Pour le tronçon court-circuité du Refrain, la limite de débit pour considérer un déversement a été rehaussée de 2 m³/s pour tenir compte des possibles apports intermédiaires entre l'aval immédiat du Refrain et la station de mesure des Sarrasins. La station de mesure de la Goule étant située à l'aval immédiat de la retenue de la Goule, un ajustement n'a pas été nécessaire. Seul les jours où le déversement n'est pas continu (= alternance entre le débit résiduel et le débit de déversement) sont considérés pour quantifier les jours "avec éclusées". Cela permet d'exclure les épisodes de déversements provoqués par des crues du Doubs.

- En 2008, le tronçon court-circuité du Refrain a subi des éclusées "par déversement" 2 à 3 jours par semaine (fréquence d'éclusée : 37%, débit d'éclusée moyen : 23 m³/s).

- En 2008, En 2008, le tronçon court-circuité de la Goule a subi des éclusées "par déversement" 3 à 4 jours par semaine (fréquence d'éclusee : 47%, débit d'éclusee moyen : 20 m³/s).

On peut donc considérer que le phénomène d'éclusées était bien présent à l'état initial sur ces tronçons court-circuités.

5.1.6 Indicateur D1 – débit minimal (état initial)

L'indicateur D1 (débit minimal) donne une appréciation sur la valeur du débit plancher dans un tronçon à éclusées. Dans le tableau ci-dessous, les débits planchers (état initial) sont comparés avec le débit résiduel minimum selon art. 31 LEaux :

N° tronçon		T2	T3	T4	T5	T6
Nom		Chatelot-éclusées	Refrain-TCC	Refrain-éclusées	Goule-TCC	Goule-éclusées
Q ₃₄₇	m ³ /s	2.5	3.7	3.7	4.3	4.3
Qres selon LEaux art. 31	m ³ /s	0.9	1.16	1.16	1.28	1.28
Qp initial (D1)	m ³ /s	2	0.9	3.9	0.7	4

Tableau 13 Évaluation de l'indicateur D1 (débit minimal) à l'état initial

L'indicateur D1 du débit minimal est bon dans les tronçons T2, T4 et T6 mais évalué comme mauvais dans les tronçons T3 et T5.

5.1.7 Conclusions

À l'état initial théorique, l'altération du régime hydrologique est évaluée comme grave sur tous les tronçons. Dans la pratique, les tronçons T4 (Refrain-éclusées) et T6 (Goule-éclusées) étaient malgré tout moins gravement touchés que les autres tronçons.

5.2 Indicateurs basés sur des investigations de terrain

Le Doubs, sur ses parties suisse et franco-suisse est un cours d'eau à la morphologie globalement naturelle qui possède une biodiversité remarquable à l'échelle européenne et unique en Suisse. À l'heure actuelle, il apparaît que l'état du Doubs est préoccupant car de nombreuses biocénoses rares et menacées qui y vivent sont en régression et pour certaines au bord de l'extinction. Le Doubs est un écosystème très complexe subissant de nombreuses perturbations d'origine diverses dont les effets se manifestent à plusieurs niveaux et à plusieurs degrés d'intensité selon les années et les conditions hydrologiques.

Il est possible d'utiliser un raccourci (voir figure 2) permettant de conclure à la nécessité d'un assainissement sans avoir recours aux indicateurs de l'appréciation sommaire si une atteinte manifestement grave à l'environnement est avérée. Pour ce faire, les justifications fournies doivent se fonder sur l'art. 41e, let. B, OEaux dont l'extrait est présenté ci-dessous et doivent pouvoir être vérifiées.

« La taille, la composition et la diversité des biocénoses végétales et animales typiques de la station sont altérées, en particulier en raison de phénomènes artificiels survenant régulièrement, comme l'échouage de poissons, la destruction de frayères, la dérive d'animaux aquatiques, l'apparition de pointes de turbidité dans l'eau ou la variation non admissible de la température de l'eau. » OEaux, art 41^e, let. b.

5.2.1 Macroinvertébrés benthiques

5.2.1.1 Qualité et utilisation des Indicateurs

Le Doubs constitue sur le secteur concerné par le présent rapport un hydrosystème dont la faune des invertébrés benthiques est suivie de manière régulière depuis les années 60 environ. Les méthodes employées sont multiples et ont parfois évolué. Les objectifs de ces investigations sont multiples mais principalement orientés vers l'évaluation de la qualité de l'eau.

Il convient en ce sens d'apporter des précisions concernant l'utilisation des données disponibles dans l'appréciation des indicateurs B1, B2, B3 et B4 et plus particulièrement leur interprétation et leur pertinence dans le cadre du présent rapport.

- Concernant l'indicateur B1 : L'évaluation de l'indicateur B1 ne convient pas aux cours d'eau très productifs du Jura (BAUMANN & al., 2012). L'étude de données sur la biomasse mesurée dans les cours d'eau du Jura (cantons de Berne, du Jura et de Bâle-Campagne) aussi épargnés que possible par les activités humaines, a en effet montré que ces valeurs s'écartent bien davantage de la relation entre altitude et biomasse que dans l'écorégion des Alpes. Cet indicateur n'est par conséquent pas utilisable pour le Doubs.
- Concernant l'indicateur B2 : L'indicateur B2 (module Macrozoobenthos du SMG, IBCH) est un indicateur global qui dépend souvent plus de la qualité de l'eau que du régime d'éclusées (LIMNEX, 2007). Par ailleurs, les effets des éclusées sur les invertébrés aquatiques et notamment sur l'indice utilisé dans l'indicateur B2 sont encore imparfaitement connus et la Suisse ne dispose pas à l'heure actuelle de données homogènes suffisantes sur la faune benthique issues de prélèvements standardisés (STUCKI, 2010). Rappelons dans ce contexte qu'un des objectifs de l'IBCH est notamment de permettre d'affiner et de faire évoluer l'indice afin de mieux l'adapter

aux spécificités du réseau hydrographique de la Suisse. Finalement, les échantillonnages d'invertébrés aquatiques réalisés entre 2009 et 2012 ont prioritairement été axés sur l'évaluation de la qualité des eaux et ont dans ce sens volontairement exclus les zones de marnages touchées par les éclusées. Dans ces conditions, les données disponibles (2009 à 2012) sur les invertébrés aquatiques sont considérées comme peu adaptées pour démontrer une atteinte provenant spécifiquement des éclusées.

- Concernant l'indicateur B3 : La détermination de la zonation longitudinale du Doubs est délicate, d'une part en raison de l'absence d'un réseau de mesures de température suffisamment dense et complet et également en raison de l'influence de plusieurs retenues artificielles successives. Les informations collectées sur la faune piscicole indiquent que, contrairement au phénomène de rithralisation observé sur d'autres cours d'eau suisses soumis à éclusées, le niveau typologique théorique du Doubs subirait plutôt une influence inverse correspondant à un « vieillissement typologique ». Dans ces conditions, cet indicateur a été jugé peu fiable et non pertinent à utiliser.
- Concernant l'indicateur B4 : L'indicateur B4 est difficile à interpréter. En effet, il apparaît que même si le nombre de genres EPT relevés par VERNEAUX(1973) est considérablement plus faible aujourd'hui, l'indicateur B4 conserve des résultats souvent bons à très bons en raison du nombre important d'espèces EPT présentes naturellement dans le Doubs. Par ailleurs, PLOMB(2010) a estimé au droit de l'usine du Châtelot que l'utilisation de l'IBCH pratiqué usuellement dans le cadre du suivi de la qualité des eaux (échantillonnage excluant les zones de marnage) ne permettait pas de différencier de manière évidente la diversité de taxons d'invertébrés aquatiques entre un secteur soumis à éclusée et un secteur soumis à débit constant (tronçon à débit résiduel). L'utilisation des données 2009 à 2011 utilisées dans l'indicateur B4 et provenant de l'IBCH est par conséquent jugée comme peu adaptée à l'évaluation de l'incidence des éclusées.

5.2.1.2 Recommandations

Les données disponibles décrivant l'état initial des macroinvertébrés benthiques du Doubs suisse et franco-suisse (2009 à 2012) sont issues d'échantillonnages orientés en priorité sur l'évaluation de la qualité des eaux et donc peu adaptées à illustrer l'impact des éclusées. Par ailleurs, plusieurs composantes de la méthodologie employée (SMG) ont pour le Doubs suisse et franco-suisse, des valeurs situées en-dessus des valeurs standardisées, ce qui peut avoir comme conséquence de surévaluer les résultats et ainsi minimiser l'atteinte réelle des éclusées. L'utilisation du macrozoobenthos à des fins de suivi des éclusées doit donc à l'avenir :

- Intégrer dans la trame d'échantillonnage les zones de marnages liées aux variations artificielles de niveau d'eau.
- S'employer à utiliser de manière systématique des méthodologies plus adaptées aux éclusées avec des investigations taxonomiques plus poussées (p. ex. liste rouges).
- Affiner et préciser aussi rapidement que possible le référentiel du Doubs concernant la macrofaune benthique potentielle ainsi que l'évaluation de son degré altération.

5.2.1.3 Compléments de la littérature

En dehors de ces indicateurs, des constats réguliers de l'effet des éclusées sur la macrofaune benthique riveraine sont réalisés, principalement par des observations directes d'organismes échoués (phénomènes de dérives et inondations/exondations répétées observés par exemple dans le cadre du suivi des échouages piscicoles AQUARIUS, 2014). Ces observations ne sont toutefois pas suffisamment précises pour être exploitées de manière qualitative ou quantitative. On peut néanmoins qualifier **l'atteinte de grave** compte tenu du fait que :

- Plusieurs taxons de macroinvertébrés benthiques constituant la principale ressource alimentaire piscicole sont touchés (p. ex. trichoptères, crustacés et éphémères) ;
- des effets négatifs significatifs s'observent de manière notable sur des portions riveraines s'étendant depuis l'usine du Châtelot jusqu'à l'aval de la Goule ;
- plusieurs espèces menacées, susceptibles d'être touchées, sont présentes ;
- d'autres groupes faunistiques sont affectés, à l'image des batraciens dont des pontes sont régulièrement mises à sec au printemps, parfois dans des zones d'importance nationale pour la reproduction des batraciens.



Figure 13 Exemples d'invertébrés aquatiques échoués suite à un abaissement artificiel (P. Malavaux, 2013). Doubs, aval du Refrain en rive gauche et Moulin Jeannotat en rive droite.

Plusieurs auteurs vont dans ce sens et mettent en cause les éclusées comme un facteur responsable de la disparition d'espèces d'invertébrés aquatiques sensibles, voire rares, notamment sur la base de données historiques ainsi qu'en comparaison avec les listes faunistiques de cours d'eau similaires au Haut-Doubs ne subissant pas de modifications importantes du régime hydrologique, à l'image de la Loue en particulier. Les auteurs précisent cependant qu'il est difficile d'apporter des réponses précises sur les espèces touchées en raison notamment des méthodologies employées qui ne visent souvent pas spécifiquement l'étude des éclusées mais qui intègrent également largement la problématique de la qualité des eaux.

SIRUGUE & *al.* (2011) notent une faible abondance pour les organismes dont le cycle vital est purement aquatique, et ceux à cycle larvaire long (annuel à pluriannuel), qui constituent des indicateurs de la fréquence des perturbations destructurantes.

DEGIORGI (2008) mentionne que les résultats des indices IBGN de septembre 2003 s'approchent de l'optimum (19/20, voir 20/20 sur l'une des stations), alors que ceux réalisés en 1996, n'oscillaient

qu'entre 13 et 17. Une amélioration temporaire de la qualité serait donc advenue suite à l'été caniculaire, qui a imposé une réduction du nombre et de l'amplitude des éclusées.

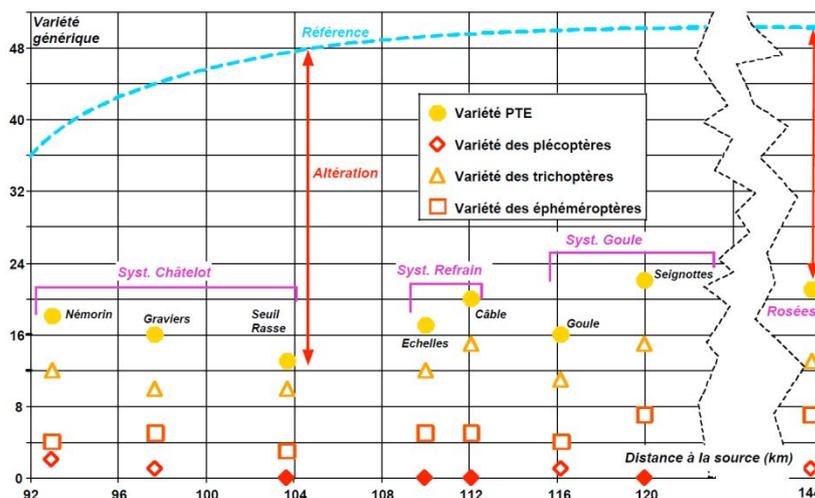


Figure 14 Évolution longitudinale de la variété des PTE déterminée sur 8 stations en 2004, Tiré de Degiorgi, 2008.

STUCKI, dans AQUARIUS(2012) précise que la liste des espèces EPT qui s'est fortement réduite depuis 40 ans donne des informations plus précises quant à l'impact du marnage sur les espèces sensibles. Les surfaces soumises au marnage présentent une faible colonisation par le macrozoobenthos, il en résulte trivialement une baisse effective de la biomasse globale.

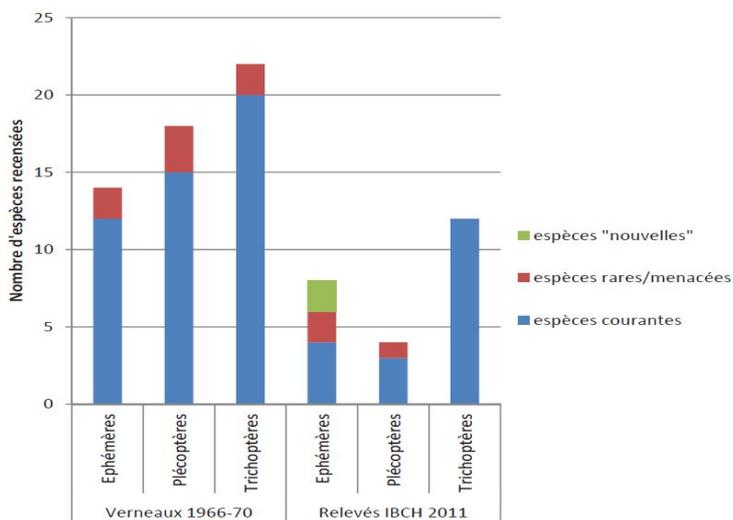


Figure 15 Comparaison des relevés IBCH 2011 avec les données de Verneaux 1966-70 au lieu-dit «Les Gravier». Tiré de AQUARIUS & al., 2012.

5.2.2 Faune piscicole

5.2.2.1 Qualité et utilisation des Indicateurs

Les poissons présentent de manière générale de bonnes caractéristiques d'indicateurs, en particulier parce qu'ils intègrent plusieurs composantes biotiques et abiotiques de l'écosystème dont en particulier :

- Qualité physico-chimique de l'eau.
- Conditions hydrologique et morphologique des eaux dans lesquelles ils évoluent.
- Disponibilité et diversité des ressources alimentaires.
- Connectivité.

Les études récentes réalisées sur la faune piscicole et basées sur des pêches quantitatives effectuées en 2011 intègrent en ce sens toutes les perturbations que subit l'écosystème. Sur le secteur du Doubs étudié, il s'agit en particulier : de la fragmentation du continuum longitudinale ; des perturbations du régime hydrologique telles que les éclusées et de la qualité de l'eau. A ces perturbations s'ajoutent encore d'autres facteurs tels que par exemple l'apparition de nouveaux pathogènes (*Saprolegnia parasitica*) ou des conditions hydrologiques naturelles péjorantes (étiages prononcés et prolongés entre 2009 et 2011). La part de responsabilité des éclusées ne peut en ce sens pas être clairement dégagée par ces études ou l'utilisation du module « poissons niveau R » du système modulaire gradué (indicateur P1). Cette dernière méthode n'est par ailleurs pas très adaptée pour démontrer les impacts des éclusées sur le Doubs et les résultats obtenus sont souvent contrastés car :

- Même fortement altérée, la composition des espèces caractéristiques est globalement qualifiée de moyenne à bonne en comparaison au référentiel utilisé, ceci en raison de la grande diversité et productivité piscicole naturelle du Doubs.
- L'influence des retenues ainsi que le réchauffement des eaux constatés sur le Doubs ont permis à des espèces qui ne seraient naturellement pas présentes de se développer ou de coloniser momentanément certains secteurs. La composition des peuplements s'en trouve modifiée, parfois de manière très fluctuante.
- De nouvelles espèces (parfois indigènes mais non stationnelles) sont illégalement ou involontairement introduites ce qui, avec les considérations du point précédent, peut conduire à une augmentation artificielle de la diversité piscicole.

Il convient en ce sens d'apporter des précisions concernant l'utilisation des données disponibles dans l'appréciation des indicateurs P1, P2, P3, P4 et P5 et plus particulièrement leur interprétation et leur pertinence dans le cadre du présent rapport.

- Concernant l'indicateur P1 : Compte tenu des précisions apportées ci-avant, cet indicateur doit être interprété avec précaution et ne peut pas être employé pour évaluer strictement et de manière fiable l'impact des éclusées.
- Concernant l'indicateur P2 : Cet indicateur est spécifique aux éclusées. Il est techniquement et pratiquement applicable sur le Doubs. Les données existantes permettent de réaliser une

évaluation allant dans le sens de l'indicateur. Celles-ci sont toutefois issues en partie d'études réalisées en 2013. Les considérations du chapitre 2.4 sont par conséquent applicables.

Vitesses d'abaissement

La considération de l'aide à l'exécution (p. 83) selon laquelle seules les profondeurs d'eau inférieures à 20 cm doivent être étudiées est très restrictive et peu justifiable dans le cas du Doubs, notamment parce que les amplitudes des éclusées majeures (44 m³/s) engendrent régulièrement une variation du niveau de l'eau supérieure à 80 cm et parce que des observations d'échouages piscicoles se sont effectuées sur le Doubs en 2013 dans des plages comprises entre 2 et 40 m³/s. Il convient de plus de rester prudent quant aux classes d'évaluation proposées car l'essentiel des constats d'échouages ont été effectués en 2013 lors de vitesses d'abaissement nettement plus faible que celles décrites dans l'aide à l'exécution. De plus, les épisodes de stockage durant lesquels s'effectuent des abaissements artificiels (pas directement assimilable à des éclusées), posent également des problèmes d'échouages de poissons. Ces considérations sont reprises dans le tableau ci-dessous.

Tronçons		T2 Châtelot- éclusées	T4 Refrain - éclusées	T6 La Goule - éclusées
Nombre d'observations d'échouages retenues (période 2013)		21	22	11
Abaissements moyen/max relevés		0.92/1.64 [m ³ /s/h]	1.39/4.16 [m ³ /s/h]	0.91/2.61 [m ³ /s/h]
Vitesse de diminution du débit selon courbe de tarage Combe des Sarrasins [cm/min]	44 à 20 m ³ /s	0.03/0.05	0.04/0.13	0.03/0.08
	20 à 10 m ³ /s	0.06/0.10	0.08/0.25	0.05/0.16
	10 à 2 m ³ /s	0.09/0.16	0.14/0.40	0.09/0.25
Vitesse de diminution du débit selon courbe de tarage de la Goule [cm/min]	44 à 20 m ³ /s	0.02/0.04	0.04/0.11	0.02/0.07
	20 à 10 m ³ /s	0.04/0.07	0.06/0.17	0.04/0.11
	10 à 2 m ³ /s	0.07/0.13	0.11/0.33	0.07/0.21

Tableau 14 Vitesses d'abaissement calculées aux stations de mesure hydrologique de la Combe des Sarrasins et de la Goule selon des gradients de diminutions de débits constatés lors des observations d'échouages de poissons (mai à décembre 2013).

Les investigations actuellement en cours montrent que des échouages peuvent survenir sur le Doubs pour des vitesses d'abaissement très faibles (selon *Tableau 14*, dès 0.02 cm/min). Aucune valeur ou classe ne peut toutefois pour l'instant être avancée car le nombre de facteurs qui entrent en considération (p. exemple cycles biologiques, ensoleillement, température de l'eau, stabilité et niveau du débit précédent un abaissement) est important et sans cesse fluctuant. Des recherches sont actuellement réalisées pour apporter des compléments à cette problématique. Les résultats de la modélisation du bureau EPTEAU(2014) donnent, pour une éclusée maximale caractéristique ($46 > 2 \text{ m}^3/\text{s}$), un gradient de baisse supérieur à 0.7 cm/minute sur un site sensible du système « Châtelot ». Le PSEaux Doubs (BG, 2011), donne quant à lui une vitesse de baisse moyenne (turbinage à pleine puissance au Châtelot en étiage) de l'ordre de 0.42 cm/min au Noirmont.

Ainsi, par rapport aux vitesses présentées dans le tableau 11 et ayant déjà engendrés des échouages, les vitesses de baisse considérablement plus élevées mises en évidence par EPTEAU & BG permettent d'évaluer, pour le Doubs, ce paramètre comme **mauvais, depuis l'usine du Châtelot et au moins jusqu'au début du système «Goule»**.

Surfaces exondées

L'évaluation des surfaces exondées a été évaluée sur la base des modélisations réalisée par le bureau EPTEAU(2014) et est synthétisée dans le tableau ci-dessous (scénario d'une éclusée maximale avec débit plancher minimal). Ces valeurs sont des ordres de grandeur et concernent des secteurs « sensibles » à l'exondation.

Tronçons	T2 Châtelot- éclusées	T4 Refrain - éclusées	T6 La Goule - éclusées
Surface exondée lors d'une éclusée d'amplitude de 44 m ³ /s	> 35 %	25 à 30 %	25 à 30 %
Surface exondée lors d'une éclusée d'amplitude de 23 m ³ /s*	-	15 à 20 %	20 à 25 %
Surface exondée lors d'une éclusée d'amplitude de 18 m ³ /s*	-	-	15 à 20 %

Tableau 15 Indicateur P2 - Pourcentage des surfaces mise à sec. * Débit plancher considéré 4 m³/s. Classes d'évaluation selon aide à l'exécution : rouge = mauvais ; vert=bon.

Les limites de classes d'évaluation proposées dans l'aide à l'exécution et représentées dans le tableau ci-dessus sont considérées comme inadaptées au cas du Doubs. En effet, sur cette rivière, les secteurs exondés constituent des habitats privilégiés pour les espèces caractéristiques qui s'y développent, autant pour leur reproduction, leur grossissement que leur recherche de nourriture. On y trouve plusieurs espèces figurant sur liste rouge, des populations d'importance nationale et des espèces présentes en Suisse uniquement sur ce cours d'eau (apron, toxostome) et pour lesquelles on ignore encore quelles sont les limites d'abaissements artificiels du niveau de l'eau significativement impactantes (principalement en raison des effectifs très faibles de ces espèces).

En sus, la perte de plus d'un quart de surface mouillée ne peut raisonnablement pas être qualifiée de « bonne » lorsqu'elle touche un écosystème situé dans une réserve naturelle qui comprend plusieurs inventaires d'importances nationales et internationales au niveau du paysage et de la biodiversité aquatique (IFP, zone alluviale, site Natura 2000, site Emeraude, etc.) et que les recommandations du conseil de l'Europe¹ demandent spécifiquement :

- « L'élimination des effets néfastes des centrales hydroélectriques sur l'habitat des poissons ».
- « L'amélioration de la qualité écologique du site Emeraude CH02 – et du site Natura 2000 FR4301298 - en faveur de l'apron et des autres espèces protégées pour lesquelles ces sites ont été classés, en préservant et en restaurant, si nécessaire, les caractéristiques du Doubs ».

¹ Convention relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe. Comité permanent. Recommandation n° 169 (2013) du Comité permanent, adoptée le 6 décembre 2013, sur l'Apron du Rhône (Zingel asper) dans le Doubs (France) et dans le canton du Jura (Suisse)

Echouages piscicoles

S'agissant des échouages piscicoles (AQUARIUS, 2014), les données synthétisées dans le tableau ci-dessous montrent un état mauvais :

Tronçon	T2 Châtelot- éclusées	T4 Refrain - éclusées	T6 La Goule - éclusées
Linéaire total [m]	372	800	1042
Nombre observations	33	24	28
Nombre maximal de poissons échoués sur 100 mètres de rive lors d'une observation	53	68	74
Nombre totaux de poissons échoués	364	1056	266

Tableau 16 Synthèse des observations d'échouages piscicoles du 15 mai au 31 décembre 2013. Classes d'évaluation selon aide à l'exécution : rouge = mauvais.

- Concernant l'indicateur P3 : Les données détaillées récentes à disposition sont insuffisantes pour permettre une évaluation complète de l'impact des éclusées sur les frayères selon la méthode préconisées par l'indicateur.
- Concernant l'indicateur P4 : Cet indicateur est fortement influencé par les éclusées mais également par d'autres facteurs tels que le degré de colmatage du substrat ou la qualité de l'eau (développement algal, oxygène dissous, etc.). Les données des pêches quantitatives réalisées en 2011 ont été utilisées pour évaluer la densité d'estivaux de truites de rivières. Cette approche est considérée comme applicable dans la mesure où les alevinages n'étaient pas encore effectués et qu'aucune crue susceptible de perturber la reproduction des salmonidés ne s'était produite précédemment.

Tronçon	T2	T4	T6			
	Châtelot- éclusées	Refrain - éclusées	La Goule - éclusées			
Station	Graviers	Câble	Seignottes	Les Rosées	St- Ursanne	Ocourt
Densité des estivaux de truite de rivière en 2011 (n/ha)	< 250	1500– 2500	250-1000	< 250	< 250	< 250
	< 250	1500– 2500	< 250			

Tableau 17 Densité d'estivaux de truites de rivière évaluée d'après les pêches exhaustives réalisées. Classes d'évaluation selon aide à l'exécution : rouge = mauvais ; vert=bon.

- Concernant l'indicateur P5 : Cet indicateur n'est pas adapté au Doubs. En effet, Le calcul de la productivité théorique piscicole (rendement annuel à l'hectare) propose une échelle d'évaluation intégrant des cours d'eau alpins et utilise un facteur de bonification qui repose sur la biomasse d'invertébrés benthiques. Or comme développé au chapitre précédent, le Doubs fait partie des cours d'eau dont la productivité de macroinvertébrés benthique est naturellement significativement supérieure à la moyenne suisse ce qui a pour conséquent de surévaluer l'indicateur.

5.2.2.2 Recommandations

L'utilisation de la faune piscicole à des fins de suivi de l'impact des éclusées doit permettre à l'avenir :

- De compléter les modélisations sur de nouvelles stations, en particulier celles où subsistent encore des aprons et des toxostomes ;
- d'accentuer et affiner les efforts de recherche sur les frayères et l'efficacité de la reproduction, de même que les échouages piscicoles, en particulier sur la boucle jurassienne du Doubs ;
- de lier les données acquises par les modélisations avec les données d'observations d'échouages ainsi que les pêches électriques ;
- de développer et rechercher des méthodes de suivis adaptées à évaluer plus spécifiquement l'incidence des éclusées sur la faune piscicole ;
- d'affiner le potentiel piscicole des secteurs concernés ainsi que les classes d'atteinte.

5.2.2.3 Compléments de la littérature

Différents compartiments biologiques du cycle de vie des poissons sont impactés par les éclusées à savoir : Déplacements vers l'aval ou l'amont (impact des éclusées sur la vitesse, la température ainsi que les hauteurs d'eau qui sont les paramètres déterminants influençant les déplacements piscicoles) ; perturbation des habitudes et du cycle de vie (fluctuation quotidienne des paramètres hydrauliques entraînant une modification du comportement des poissons dans leur mode et période

d'alimentation, dans l'utilisation des caches et zones de refuge, dans le choix des sites de reproduction, etc.).

Des observations régulières d'assèchements de frayères liés aux abaissements artificiels de débits sont réalisées depuis de nombreuses années sur le Doubs franco-suisse. Dans le cadre des observations d'échouages piscicoles, Patrice Malavaux a notamment documenté ce phénomène en 2009 et en 2012 (cf. annexe 2). Comme plusieurs espèces sont touchées (dont certaines menacées) et que des incertitudes subsistent concernant l'atteinte potentielle sur l'apron et du toxostome, **l'atteinte est considérée comme grave.**

Il s'agit cependant d'observations ponctuelles non systématiques. La seule référence complète à ce sujet est celle de RIEGLER(1985) qui a dénombré sur la zone amont du Doubs franco-suisse des phénomènes d'exondation de frayères entraînant de fortes mortalités des œufs. Il a recensé en 1984 sur un linéaire de 1.6 km situé depuis l'usine de turbinage du Châtelot jusqu'au lieu-dit « les Gravier », la proportion de frayères mise à sec en raison des variations artificielles de débit de l'usine précitée. Rappelons que le débit plancher à l'époque était significativement plus faible qu'aujourd'hui et difficilement comparable avec la période 2009-2012. Les résultats obtenus en 1984 sont les suivants :

Date	Frayères observées	Frayères à sec	Proportion de frayères à sec
06.12.84	80	26	32.5 %
12.12.84	133	32	24.0%
31.12.84	121	30	24.8%

Tableau 18 Dénombrement des frayères mises à sec lors de opérations de turbinage par éclusées du Chatelot (D'après RIEGLER, 1986). L'auteur de l'étude conclu que sur les 3 km à l'aval de l'usine du Torrent, au moins 25% des œufs pondus ont été perdus lors des observations.

BORDERELLE(2012) ainsi qu'AQUARIUS(2012) mettent en avant dans le cadre de pêches exhaustives réalisées en 2011 des structures de populations déséquilibrées avec globalement de très faibles proportions de jeunes stades d'ombres et de truites (0+ et 1+) ainsi que localement des densités très réduites de petites espèces, essentiellement loches et vairons. La perturbation du régime hydrologique (éclusées) ainsi que la présence d'un fort développement algal péjorant le substrat et les microhabitats riverains sont les principales causes avancées pour expliquer ces déficits. Relevons qu'aucune crue susceptible d'altérer la reproduction salmonicole n'est survenue entre 2009 et les pêches de 2011.

SIRUGUE & al. (EPTB Saône & Doubs, 2011), sur la base notamment des travaux de DEGIORGI(2008) mettent en évidence une réduction de 50% à 80% de l'intégrité des potentiels piscicoles, selon les stations du Doubs franco-suisse (écart quantitatif entre les peuplements potentiels et les peuplements). La confrontation des mesures récoltées en 2004 aux observations antérieures montre que depuis les années 1990, les capacités piscicoles fluctuent autour du même degré d'altération.

Les données plus anciennes font apparaître une déstructuration nette des peuplements depuis la fin des années 1960. Les biomasses se révèlent nettement déficitaires par rapport aux situations de référence observées dans des cours d'eau appartenant au même type écologique, comme la Loue, la haute vallée de l'Ain, l'Allaine ou la Birse. Les écarts par rapport aux références sont entre autre liés à la perte des capacités salmonicoles dans les secteurs soumis aux éclusées. DEGIORGI (op. cit.) précise que la disparition ou la forte régression des espèces les plus sensibles comme l'ombre ou l'apron est particulièrement significative et que ces espèces peuvent encore être observées en abondance optimale sur des secteurs de la Loue pourtant également affectées par une altération modérée de la qualité de l'eau mais ne subissant pas d'artificialisation importante du régime hydrologique.

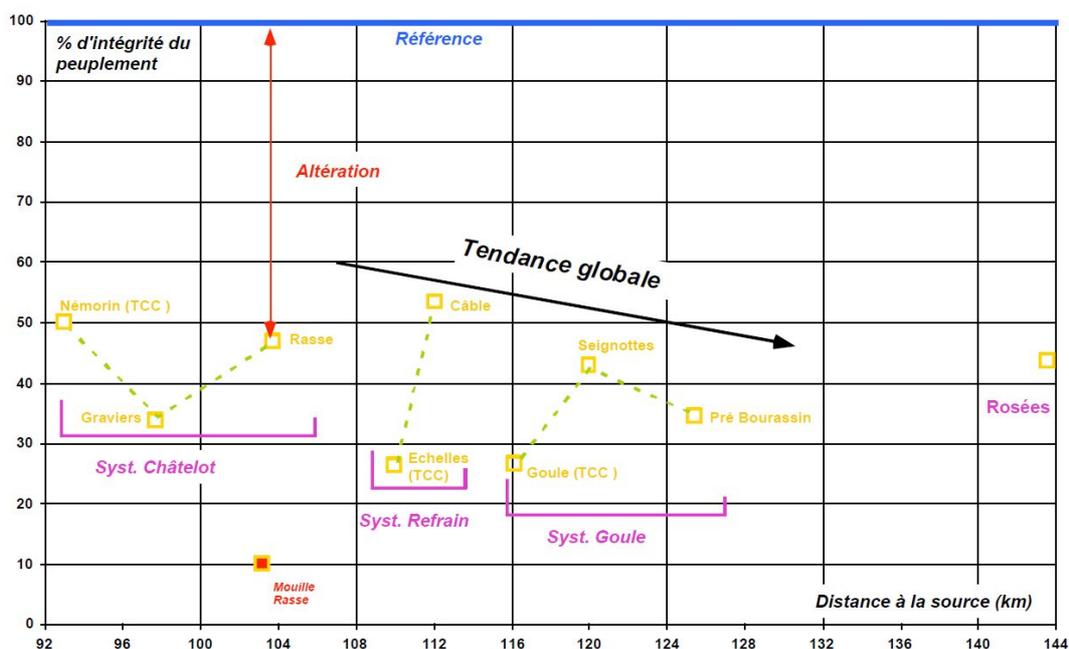


Figure 16 Comparaison de l'intégrité des peuplements piscicoles sur 10 stations jalonnant le Doubs frontière et l'amont de la Boucle Suisse.

EPTÉAU(2012), évalue les impacts des variations de débits sur la qualité de l'habitat piscicole par le biais de la méthode des « microhabitats ». Ils ont ainsi modélisé grâce au logiciel EVA, pour différents débits, la capacité d'accueil d'un cours d'eau pour divers stades de développement de différentes espèces de poissons. Leurs conclusions mettent en avant une sensibilité accrue des bancs d'alluvions et de bordures exondées à faible débit pour les poissons de petites tailles lors de variations de débits dues aux éclusées car il s'agit de biotopes offrant les valeurs d'habitats les meilleures lors de débits plus importants (10-15 m³/s) pour ces mêmes espèces.

Dans le cadre des suivis de l'apron sur la boucle jurassienne du Doubs, BONNAIRE(2012), AQUARIUS(2010) et BOISMARTEL (2009) relèvent que la diminution des effectifs provient de plusieurs facteurs, dont les éclusées, en référence notamment aux exigences de cette espèce mentionnées dans la littérature, notamment :

- Des variations artificielles de débit et de température durant la période sensible de reproduction de l'apron qui recherche des conditions précises d'écoulement et de température constitue un impact potentiel important sur le succès de la reproduction de cette espèce.

- Les hausses de débit pourraient également s'avérer néfastes sur les stades adultes, larvaires ou juvéniles. En effet, une augmentation de débit s'accompagnera d'une augmentation des vitesses pouvant être à l'origine de la dévalaison des individus et plus spécifiquement des alevins.
- Le blocage des matériaux grossiers et fins dans les retenues des barrages altère la dynamique fluviale et conduit sur certains secteurs à l'homogénéisation des habitats. Les retenues sont susceptibles de constituer des barrières physiques au déplacement des aprons et, dans certaines circonstances, au relargage de polluants fixés dans les sédiments.

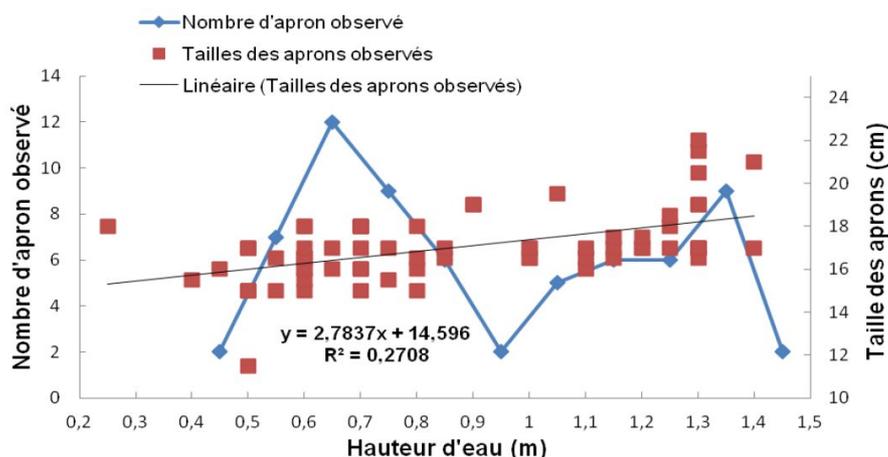


Figure 17 Observations d'aprons sur le Doubs jurassiens (BONNAIRE, 2012).

Les observations d'aprons s'effectuent sur le Doubs jurassien à des profondeurs globalement supérieures au préférendum de l'espèce mentionné dans la littérature (20 à 80 cm) (LABONNE, 2001 ; LABONNE & al., 2003).

CAVALLI & al. (2009) ont plus particulièrement mis en évidence que 80 % des aprons suivis dans leur étude sur la Durance ont été localisés dans les radiers avec un substrat à dominante de pierres avec profondeurs comprises entre 20 et 40 cm. Ce constat montre que les aprons du Doubs ont soit des préférences habitationnelles sensiblement différentes que les autres aprons du bassin du Rhône, soit que les secteurs de faible profondeur sont volontairement évités.

Selon Roche et al. (2010)* l'hypothèse principale pour expliquer la disparition (probable) de l'Apron sur la Drome est la dégradation du déroulement du cycle de l'espèce par les éclusées hydroélectriques, notamment au cours de phases sensibles que sont la reproduction et le développement des alevins, ces derniers étant peu mobiles et facilement sujets au piégeage-échouage en bordure lors de la baisse du débit.



Figure 18 Vue dorsale d'un apron du Doubs (Aquarius).

Dans le cadre du suivi du toxostome sur la boucle jurassienne du Doubs, AQUARIUS(2014) précise que les variations de température liées aux éclusées, particulièrement durant la phase de reproduction est un facteur pouvant contribuer à la raréfaction de l'espèce. MAIER & al. (1995) citent également l'influence négative des variations du niveau d'eau générées par les éclusées qui entraînent une perte considérable des œufs et des embryons de toxostomes, qui est également une espèce menacée d'extinction strictement protégée présente en suisse exclusivement dans la boucle jurassienne du Doubs. Bien que cette publication soit relativement ancienne, elle garde toute sa validité dans ce cas d'espèce.

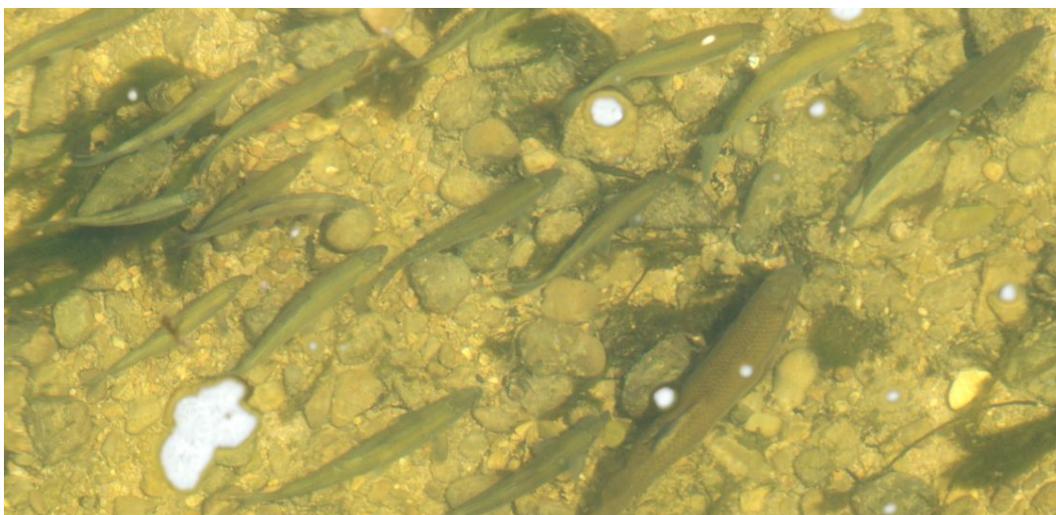


Figure 19 Cyprinidés photographiés à Ocourt : un nase nageant au milieu d'un banc de toxostomes (AQUARIUS).

5.2.3 Vue d'ensemble des atteintes

Indicateur, littérature	Année de l'étude	Appréciation de l'atteinte par tronçon			Spécifique aux éclusées	Degré d'atteinte global	Atteinte grave selon art. 41e, OEaux*
		T2 Châtelot-éclusées	T4 Refrain - éclusées	T6 La Goule - éclusées			
B2	2011	Bon à très bon	Très bon	Bon à très bon	Non	Selon référentiel	Indéterminable
B4	2011	Bon à très bon	-	-	Non	Selon référentiel	Indéterminable
Constats de P.Malavaux sur les échouages d'invertébrés aquatiques	2013	-	Echouages massifs d'invertébrés aquatiques	Echouages massifs d'invertébrés aquatiques	Oui	Ponctuellement important	Oui
Stucki, P. et al.	2012	Forte régression des espèces EPT	Forte régression des espèces EPT	-	Non	Selon référentiel	Indéterminable
Stucki, P. et al.	2012	Faible colonisation des zones de marnage impliquant diminution de la biomasse d'invertébrés	Faible colonisation des zones de marnage impliquant diminution de la biomasse d'invertébrés	-	Non	Selon référentiel	Indéterminable
Sirugue C. et al.	2011	Faible abondance des indicateurs des perturbations déstructurantes	Faible abondance des indicateurs des perturbations déstructurantes	Faible abondance des indicateurs des perturbations déstructurantes	Non	Selon référentiel	Indéterminable
P1	2011	Moyen	Bon	Moyen à bon	Non	Selon référentiel	Indéterminable
P2	2013, 2014	Mauvais	Mauvais	Mauvais	Oui	Important	Oui
P4	2011	Mauvais	Bon	Médiocre à mauvais	Non	Moyen à important	Indéterminable
Constats de P.Malavaux sur l'assèchement de frayères	2009, 2012	-	-	Assèchements de frayères d'ombres et de truites	Oui	Ponctuellement important	Oui
Borderelle, AQUARIUS	2011, 2012	Structures populations piscicoles déséquilibrées	Structures populations piscicoles déséquilibrées	Structures populations piscicoles déséquilibrées	Non	Selon référentiel	Indéterminable
Sirugue C. et al.	2011	Réduction de 50% à 80% de l'intégrité des	Réduction de 50% à 80% de l'intégrité des	Réduction de 50% à 80% de l'intégrité des	Non	Selon référentiel	Indéterminable

		potentiels piscicoles	potentiels piscicoles	potentiels piscicoles			
Epteau	2012	Sensibilité accrue des bancs d'alluvions et de bordures exondées à faible débit pour les poissons de petites tailles lors de variations de débits dues aux éclusées	Sensibilité accrue des bancs d'alluvions et de bordures exondées à faible débit pour les poissons de petites tailles lors de variations de débits dues aux éclusées	Sensibilité accrue des bancs d'alluvions et de bordures exondées à faible débit pour les poissons de petites tailles lors de variations de débits dues aux éclusées	Oui	Potentiel	Insuffisant
Boismartel, AQUARIUS, Bonnaire	2009, 2010, 2012	-	-	Les éclusées provoquent des perturbations susceptibles de porter atteinte à l'apron	Non	Indéterminé	Indéterminable
Aquarius	2004	-	-	Les variations de températures provoquées par les éclusées peuvent potentiellement affecter les toxostomes	Non	Indéterminé	Indéterminable

Tableau 19 Synthèse des indicateurs et de la littérature sur l'impact des éclusées.

Légende de la colonne « Atteinte grave selon art. 41e, OEaux » : Insuffisant signifie que l'évaluation ne suffit pas à qualifier l'atteinte de grave. Indéterminable signifie que l'évaluation dépend du référentiel auquel on se réfère et que la notation de l'atteinte varie selon ce dernier. Oui signifie que l'atteinte est grave. Rappelons qu'un seul indicateur révélant un état mauvais est suffisant pour qualifier l'atteinte de grave.

La synthèse ci-dessus montre que le Doubs subit des atteintes graves liées aux éclusées. Il convient par ailleurs de préciser que le degré d'atteinte sur les espèces piscicoles rares et uniques en Suisse (apron et toxostome) ainsi que sur des espèces d'invertébrés aquatiques menacées ou potentiellement disparues n'ont pas pu être démontrées qualitativement et quantitativement, faute de données suffisamment axées spécifiquement sur l'influence directe des éclusées sur ces taxons.

	Tronçons				
	T2 Châtelot- éclusées	T3 Refrain- TCC	T4 Refrain- éclusées	T5 Goule- TCC	T6 Goule-éclusées
B2	Bon à très bon	NDP*	Très bon	NDP*	Bon à très bon
B4	Bon à très bon	NDP*	-	NDP*	-
Échouage d'invertébrés aquatiques	NDP*	NDP*	Echouages massifs	NDP*	Echouages massifs
P1	Moyen	NDP*	Bon	NDP*	Moyen à bon
Échouage piscicole (P2)	Mauvais	NDP*	Mauvais	NDP*	Mauvais
Assèchement de frayères	NDP*	NDP*	NDP*	NDP*	Ponctuellement important
Reproduction de l'ichtyofaune (P4)	Mauvais	NDP*	Bon	NDP*	Médiocre à mauvais
Degré d'atteinte éclusée	Grave	Indéterminé (pas de données)	Grave	Indéterminé (pas de données)	Grave

Tableau 20 Résumé du degré d'atteinte à l'état initial (indicateurs issus des investigations de terrain) (*Non documenté sur la période 2009-2013)

5.3 Indicateurs basés sur la modélisation

5.3.1 Principe

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

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

- Une modélisation permet de transformer les paramètres de dimensionnement en variables physiques dans le cours d'eau.

- Les variables physiques ne permettent pas de calculer directement une valeur pour la plupart des indicateurs de l'aide à l'exécution. Il est toutefois possible de prévoir globalement leur évolution en fonction de l'évolution des variables physiques.
- Certains indicateurs présentent l'avantage d'être calculables à partir des variables physiques. Il s'agit des indicateurs D1 (débit minimal), P2 (échouage) et P3 (frayères), ainsi que de l'indicateur hydrologique HYDMOD-éclusées.

L'annexe 8 montre un schéma présentant les interactions existant entre les paramètres physiques et les indicateurs évaluant les atteintes des éclusées et du charriage.

Dans le cas du Doubs, l'approche théorique basée sur la modélisation du cours d'eau poursuit deux objectifs complémentaires :

- Prédire la gravité de l'atteinte dans le tronçon où des investigations de terrain n'ont pas été menées, c'est-à-dire dans le tronçon court-circuité de la Goule (T5).
- Prédire l'efficacité des diverses mesures d'assainissement (voir chapitre 0)

5.3.2 HYDMOD-éclusée

Cet indicateur permet de décrire l'état d'altération du régime hydrologique liée aux éclusées. L'indicateur HYDMOD de l'état initial est décrit dans le chapitre 5.1. L'évaluation de l'état initial se fait sur l'état contractuel 2009.

Classification de l'indicateur : selon HYDMOD

5.3.3 Surfaces mises à sec (P2.1)

L'évaluation de la surface mise à sec par une éclusée se base sur les résultats obtenus dans l'étude d'EPTEAU 2012. Cette étude est moins précise que celle menée en 2014 (également par EPTEAU) mais présente l'avantage que les tronçons étudiés sont plus long et plus représentatifs du cours d'eau en général.

Le graphique ci-dessous représente les courbes utilisées pour évaluer les surfaces mises à sec par l'éclusée initiale :

Surface mouillée en fonction du débit (selon EPTEAU 2012)

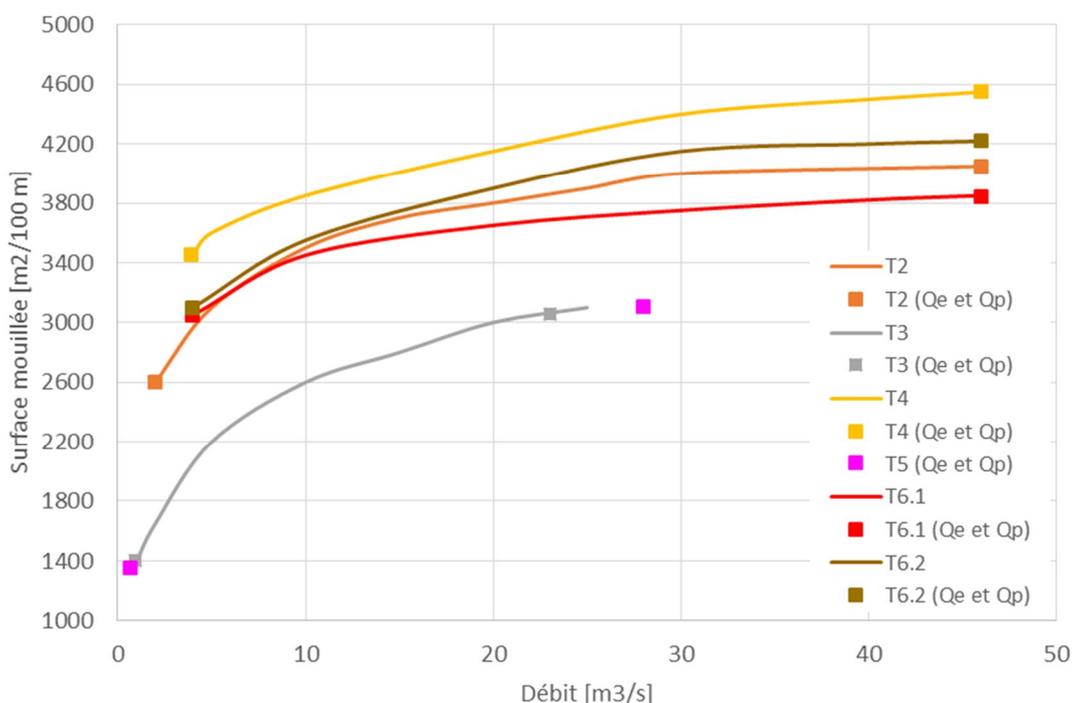


Figure 20 Courbes débit – surface mouillée (selon EPTEAU 2014)

On observe que les courbes débit-surface mouillée sont assez comparables dans les tronçons T2, T4 et T6. La courbe du tronçon T3 (Refrain-TCC) est par contre assez différente, ce qui s'explique par le fait que la morphologie du cours d'eau est différente dans les tronçons court-circuités, avec en particulier, une pente plus élevée (voir Figure 8). En l'absence de donnée sur le tronçon T5 (Goule-TCC), on fait l'hypothèse que la courbe débit-surface mouillée y est similaire à celle du tronçon 3. Pour l'évaluation du tronçon T6, on fait une moyenne entre les résultats de stations T6.1 et T6.2.

Classification de l'indicateur :

L'indicateur est évalué en modifiant légèrement les classes proposées dans l'aide à l'exécution :

	Excellent	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
Surface mise à sec	< 10%	10% – 20%	20% – 30 %	30% - 40%	> 40%

Tableau 21 Classes d'évaluation de l'indicateur P2.1 (surface mise à sec)

Évaluation de l'état initial :

	T2	T3	T4	T5	T6.1	T6.2
Qe [m ³ /s]	46	23	46	28	46	46
Qp [m ³ /s]	2	0.9	3.9	0.7	4.00	4
Surface mouillée max [m ² /100 m]	4050	3060	4550	3100	3840	4222
Surface mouillée min [m ² /100 m]	2600	1400	3450	1350	3050	3100
Surface mise à sec [%]	36%	54%	24%	56%	21%	27%

Tableau 22 Évaluation de l'indicateur P2.1 pour l'état initial

5.3.4 Vitesse de descente (P2.2)

Le gradient de variation du niveau d'eau est un paramètre qui évolue très rapidement d'amont en aval le long d'un tronçon. Cet effet d'atténuation, visible en comparant les stations de mesures de débit, est assez facile à reproduire en utilisant un modèle hydraulique.

Pour l'étude du Doubs, un modèle hydraulique Routing-System a été mis en place. Ce modèle reproduit les différents éléments fonctionnels du système (tronçons de cours d'eau, retenues, déversoirs de barrage, turbinage). Il a ensuite été calé en utilisant les mesures de débit existant le long du Doubs.

Pour évaluer l'indicateur P2.2 à l'état initial, l'éclusee-type de l'état initial (voir chapitre 5.1.1) est injecté en amont du modèle en fixant comme condition initiale que les retenues du Refrain et de la Goule étaient pleines. La vitesse de descente considérée est la moyenne (amont-aval du tronçon) de la vitesse maximum de descente.

L'indicateur est évalué avec les classes de la nouvelle aide à l'exécution "Schwall-Sunk Massnahmen", actuellement en phase de consultation :

	Excellent	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
Vitesse de descente [cm/min]	< 0.1	0.1 – 0.3	0.3 – 0.4	0.4 – 0.5	> 0.5

Tableau 23 Classes d'évaluation de l'indicateur P2.2 (vitesse de descente de l'éclusee)

Évaluation de l'état initial :

	T2	T3	T4	T5	T6
Vitesse de descente (P2.2)	1.83	0.32	0.46	0.19	0.24

Tableau 24 Évaluation de l'indicateur P2.2 pour l'état initial

5.3.5 Évaluation de l'état initial

Les trois indicateurs modélisables nous permettent d'évaluer le degré d'atteinte des différents tronçons à l'état initial :

	T2 Châtelot- éclusées	T3 Refrain- TCC	T4 Refrain- éclusées	T5 Goule- TCC	T6 Goule- éclusées
Hydmod	5	5	5	5	5
Surfaces mises à sec (P2.1)	36%	54%	24%	56%	25%
Vitesse de descente (P2.2)	1.83	0.32	0.46	0.19	0.24
Degré d'atteinte éclusee	Grave	Grave	Prononcée – grave	Grave	Prononcée - grave

Tableau 25 Résumé du degré d'atteinte à l'état initial (indicateurs modélisables)

5.4 Détermination du degré d'atteinte

Les résultats des approches "investigations" et "modélisation" montrent que l'atteinte provoquée par les éclusées peut être qualifiée de "grave" dans tous les tronçons étudiés.

- De par leur morphologie, les tronçons court-circuités sont plus sensibles au niveau des surfaces mises à sec.
- Au niveau du régime hydrologique et des indicateurs modélisables, les tronçons T4 et T6 semblent moins gravement touchés. Les observations d'échouage d'invertébrés aquatiques, l'échouage piscicole et les mises à sec de frayères montrent que l'atteinte doit malgré tout être considérée comme grave dans ces tronçons.

5.5 Responsabilités et nécessité d'assainissement

La problématique du Doubs suisse et franco-suisse réside dans le fait que sur le système en cascade considéré, les trois installations fonctionnant par éclusées (Châtelot, Refrain, Goule) ne possèdent pas de capacités de stockage et de turbinage comparables. Il en résulte que l'installation de tête (le Châtelot), influence de manière prépondérante l'exploitation des installations situées en aval (AQUARIUS, 2012 ; BG, 2011 ; Courret D. & Larinier M., 2008) qui sont contraintes de reporter à l'aval les variations artificielles de niveau et les impacts environnementaux qui en résultent.

Le tableau ci-dessous liste quelques éléments concernant la responsabilité de chaque installation dans l'atteinte subie par le cours d'eau :

Tronçon	Qe [m ³ /s]	Qp [m ³ /s]	Degré d'atteinte	Aménagement responsable de l'atteinte	
				Responsabilité principale	Responsabilité secondaire
T2 Châtelot- éclusées	46	2	Grave	Châtelot	-
T3 Refrain- TCC	23	0.9	Grave	Châtelot	Le Refrain est responsable du faible débit plancher dans ce tronçon
T4 Refrain- éclusées	46	3.9	Grave	Châtelot	Le Refrain accentue certaines éclusées du Châtelot; il peut ponctuellement provoquer des atteintes graves lors de circonstances particulières (conditions hydrologiques spécifiques, tests, pannes, accidents).
T5 Goule-TCC	28	0.7	Grave	Châtelot	La Goule est responsable du faible débit plancher dans ce tronçon
T6 Goule- éclusées	46	4	Grave	Châtelot	La Goule accentue certaines éclusées; elle peut ponctuellement provoquer des atteintes graves lors de circonstances particulières (conditions hydrologiques spécifiques, tests, pannes, accidents).

Tableau 26 Responsabilité des installations dans les atteintes

L'évaluation de la possibilité d'utiliser l'issue de secours pour éliminer les installations du Refrain et de la Goule de la planification (voir chapitre 3.3) montre par ailleurs que ces installations ont la capacité et la possibilité de produire de graves éclusées de manière indépendante.

Les éléments ci-dessus convergent pour aboutir à la conclusion que des mesures d'assainissement des éclusées doivent être mises en œuvre sur l'ensemble de la chaîne d'exploitation constituée par le Châtelot, le Refrain et la Goule. Bien que le Châtelot soit prioritairement concerné, les aménagements du Refrain et de la Goule doivent également être pris en compte dans le concept des mesures d'assainissement.

Aménagements hydroélectriques	Tronçons influencés	Décision d'assainissement
Châtelot	T2 à T6	À assainir
Refrain	T3 et T4	À assainir
Goule	T5 et T6	À assainir

Tableau 27 Décision d'assainissement

5.6 Potentiel écologique

5.6.1 Potentiel écologique selon la planification revitalisation des cours d'eau

L'art 33a OEaux mentionne que le potentiel écologique des eaux est déterminé notamment en fonction de l'importance écologique que les eaux pourraient revêtir après réparation des atteintes nuisibles causées par l'homme, dans une mesure impliquant des coûts proportionnés. La classification sommaire de ce potentiel écologique en trois catégories (important, moyen, restreint) a été réalisée pour les cantons du Jura et de Neuchâtel par le Bureau Natura dans le cadre de la planification stratégique concernant la revitalisation des cours d'eau. Les rapports explicatifs y relatifs figurent à l'annexe 3.

Dans ce contexte, le calcul du bénéfice pour la nature et le paysage a été effectué sur la base d'une division du bassin du Doubs suisse et binational en 4 secteurs supposés homogènes et sur l'attribution à chacun de ces secteurs d'un potentiel écologique au travers d'une grille d'évaluation comprenant plusieurs critères répartis dans les domaines suivants : Inventaires et habitats ; faune ; morphologie et paysage ; potentiel d'évolution.

Les critères de cette grille ont ensuite été combinés afin de déterminer le potentiel écologique de chaque secteur. À l'intérieur d'un secteur, il est ensuite possible de corriger individuellement les tronçons qui s'écarteraient trop de cette moyenne.

Le potentiel écologique de chaque secteur a été évalué de façon manuelle sur la base des différents critères dont l'impact a été donné selon trois classes, "aucun (A)", "restreint (R)" et "conséquent (C)". Les résultats sont synthétisés dans le tableau ci-dessous.

L'évaluation a été réalisée de façon qualitative en tenant compte de la proximité du réseau hydrographique. Par exemple, un impact plus conséquent a été donné lorsque le réseau hydrographique d'un secteur traverse une zone inscrite à un inventaire fédéral, par rapport à un cas similaire où l'inventaire fédéral est situé à distance du cours d'eau. Les critères n'ont pas été pondérés, chacun a le même poids dans l'analyse. La grille d'évaluation par secteur est illustrée dans le tableau ci-dessous.

	Inventaires d'importance nationale	Inventaires d'importance cantonale	Présence d'écrevisses à pattes blanches	Présence de poissons rares	Cours d'eau naturel ou ayant le potentiel	Objet de grande valeur pour le paysage	Importance générale comme élément de réseau	Charriage proche du naturel	Débit non influencé	Embouchures et confluences	Potentiel d'évolution hydromorphologique	Potentiel de colonisation faune menacée (écrevisses,
Poids	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Doubs : Les Brenets	C	C	A	C	C	C	A	R	A	R	A	-
Doubs : Les Bernets - Biaufond	C	C	A	A	C	C	A	C	A	C	A	-
Doubs : Biaufond - Clairbief	C	C	A	C	C	C	A	R	A	R	A	C
Doubs : Clairbief - Brémoucourt	C	C	A	C	C	C	A	R	A	C	A	R

Tableau 28 Grille d'évaluation des critères par secteur (adapté d'après NATURA).

Le potentiel écologique est donné par le nombre total de "C" obtenu par le secteur:

- > De 0 à 1, potentiel écologique faible,
- > de 2 à 3, potentiel écologique moyen,
- > 4 et plus, potentiel écologique important.

On constate ainsi selon la démarche présentée ci-avant que tout le Doubs suisse et binational est classé dans la catégorie « potentiel écologique important ».

	T2 Châtelot-éclusées	T3 Refrain-TCC	T4 Refrain-éclusées	T5 Goule-TCC	T6 Goule-éclusées
Potentiel écologique	Important	Important	Important	Important	Important

Tableau 29 Potentiel écologique.

5.6.2 Potentiel écologique, référentiel biologique

La définition du potentiel écologique repose non seulement sur l'appréciation de la réparation de certaines atteintes anthropiques « prévisibles » et « chiffrable » telle que la restauration écomorphologique d'un cours d'eau corrigé par exemple mais prend aussi en considération le potentiel de développement des biocénoses aquatiques consécutif à l'amélioration de l'habitabilité de leur biotope. Ce potentiel est plus difficile à chiffrer et repose le plus souvent sur un référentiel bien connu, idéalement un tronçon du cours d'eau concerné à l'état naturel ou très peu atteint. Ce référentiel sert d'une part à mesurer la gravité des atteintes mais également à suivre l'efficacité des mesures mises en place ainsi qu'à formuler des objectifs de développement.

Dans le cas du Doubs, les tronçons de référence fiables et pertinents font défaut (cf. chapitre 2.4.3). Les autres référentiels suisses sont par ailleurs peu pertinents dans la mesure où aucun cours ne présente des biocénoses aquatique et en particulier une faune piscicole similaire. Les études réalisées par Jean Verneaux entre 1967 et 1972, et présentées en 1973 dans sa thèse « Cours d'eau de Franche-Comté – recherches écologiques sur le réseau hydrographique du Doubs – essai de biotypologie » peuvent constituer une référence ancienne. Il est toutefois incontestable que l'écosystème étudié par Monsieur Verneaux dans les années 70 ne correspond plus exactement à celui d'aujourd'hui (nouvelles espèces introduites, réchauffement climatique, apparition de nouvelles maladies, etc.). Certains auteurs mentionnent la Loue comme un cours d'eau aux caractéristiques et à la sensibilité très proches du Doubs et font régulièrement des correspondances ou des comparaisons entre ces rivières.

Aucun référentiel précis et largement admis n'existe pour l'heure pour le Doubs suisse et binational. Il conviendra néanmoins de réussir à en déterminer un qui soit accepté par tous les acteurs concernés. Ce référentiel doit être évolutif en fonction des changements environnementaux mis en évidence ainsi que des nouvelles connaissances acquises. Ce travail nécessitera une concertation importante des différents spécialistes, autorités et principaux acteurs de la conservation du Doubs.

6 REGLEMENT D'EAU 2014

6.1 Description

6.1.1 Essais de démodulation

En réunion de comité de pilotage du Doubs franco-suisse le 19 avril 2010, le Conseil Fédéral (par la voix de l'OFEV) et les acteurs du monde de la pêche du Doubs franco-suisse ont exprimés leurs attentes pour la tenue d'essais de «lâchures» d'une éclusée du Châtelot. Ces mêmes demandes ont été appuyées par les autorités concédantes (DREAL Franche-Comté et OFEN) le 1^{er} juin 2010.

En réponse, les exploitants des aménagements du Châtelot, du Refrain et de la Goule (SFMC, EDF et SEG) ont élaboré un protocole pour la conduite de deux premiers essais qui fut validé le 6 août 2010 par les administrations françaises et suisses. Ces essais ont été conduits respectivement le 27 août 2010 pour l'essai 1 et le 5 avril 2011 pour l'essai 2. Ces opérations ont fait l'objet d'un rapport d'essai validé en mai 2011.

Lors de la réunion de gouvernance du 16 avril 2012, les exploitants et les autorités concédantes ont convenu de mener un troisième essai (essai 2 bis), avec, pour objet, de tester un abaissement de la retenue du Refrain à une cote minimale de 608,70 m NGF associé à une «lâchure» d'une éclusée type du Châtelot. Les exploitants ont élaboré un cahier des charges de conduite de cet essai 2 bis qui a été proposé aux autorités françaises et suisses et validé le 22 juin 2012. Cet essai 2 bis a été conduit le 14 septembre 2012.

Le premier essai entrepris avait pour but de suivre le transfert d'une éclusée à pleine charge depuis l'usine du Châtelot jusqu'à l'aval de la Goule, en favorisant un déversement au barrage du Refrain et d'observer les variations d'hauteurs d'eau à l'aval.

Le deuxième essai avait pour objectif d'exploiter les possibilités d'abaisser la retenue de Biaufond à entonner une éclusée type du Châtelot, sans déversement au barrage du Refrain en exploitant le marnage total de la retenue (608,70 – 609,50 m NGF).

La validation de ces possibilités fut conduite par l'essai 2 bis en abaissant la retenue de Biaufond à la cote minimale de 608,70 m NGF, en appréciant les conséquences de cet abaissement en termes de dénoyage des zones de haut-fond en pleine retenue permettant de confirmer, par la suite, les capacités de démodulation de l'aménagement du Refrain.

Essai 1 (27 août 2010) :

Le transfert d'une éclusée du Châtelot à pleine charge, sans qu'intervienne une quelconque démodulation des autres aménagements à l'aval (favorisation du déversement) engendre une augmentation du niveau de l'eau du Doubs qui se fait ressentir jusque dans le Doubs jurassien de façon significative. Les mesures effectuées ont permis d'avancer les chiffres suivants :

- Près de 1 mètre d'augmentation du niveau de l'eau à la sortie de l'usine du Châtelot;
- 91 cm d'augmentation du niveau de l'eau à la sortie de Biaufond;
- 67 cm d'augmentation du niveau de l'eau à la Combe des Sarrasins;
- 40 cm d'augmentation du niveau de l'eau à Goumois et Ocourt.

Essais 2 (5 avril 2011) et 2 bis (14 septembre 2012) :

L'abaissement de la retenue de Biaufond à la cote minimale de 608,70 m NGF a permis de localiser les zones de haut-fonds, d'analyser la nature du substrat et d'observer les différents impacts écologiques dus à l'abaissement.

Il a été mis en évidence que la majorité des haut-fonds étaient écologiquement fonctionnels jusqu'à la cote minimale mais qu'il subsistait des zones localisées pouvant devenir problématiques en cas d'abaissments répétés. Ces zones pourraient, par contre, retrouver leur fonctionnalité par une gestion sédimentaire appropriée.

Enfin, ces essais ont permis de confirmer les capacités de démodulation de la retenue de Biaufond capable d'emmagasiner une éclusée type du Châtelot sans déversement au barrage du Refrain pour autant que les gammes de débits à la sortie du lac des Brenets se situent dans un maximum de 10-12 m³/s.

6.1.2 Règlement d'eau 2014

Le règlement d'eau 2014 (version 8 du 26.03.2015) se trouve en annexe 5 du rapport.

Le règlement d'eau est un document contractuel franco-suisse fixant les règles d'exploitation des trois installations hydroélectriques (Châtelot-Refrain-Goule) le long du Doubs. L'ancienne version de ce document datait de 1969. La nouvelle version (2014), en application depuis décembre 2014, est en cours d'évaluation et devrait définitivement entrer en vigueur à la fin de l'année 2015.

Ce document est relativement complexe et ne concerne pas uniquement la problématique des éclusées. L'art. 5 du RE2014 précise son objectif en ce qui concerne la gestion écologique des aménagements : *"La gestion des aménagements doit éviter tout le long de l'année par des gradients de baisse des débits turbinés et par le maintien d'un débit de base l'échouage/piégeage des espèces cibles suivantes : chabot, loche, vairon et alevins truites et ombres"*.

Dans ce but, les principales contraintes d'exploitation sont les suivantes :

- Le débit plancher à l'aval de la Goule est fixé à 5 m³/s (7 m³/s en période sensible)
- Le Châtelot est contraint de faire des éclusées démodulables lorsque le débit amont (Brenets) est inférieur à 10 m³/s.
- Le Refrain et la Goule doivent abaisser le niveau de leur retenue avant éclusée.
- Après une période de turbinage continu, la baisse du débit turbiné doit être très lente.

6.2 Évaluation détaillée du règlement d'eau 2014

6.2.1 Évaluation de l'état mesuré en 2014

La dérogation au règlement d'eau 1969 (qui permet l'exploitation selon le nouveau règlement d'eau) est formellement en vigueur depuis décembre 2014. Néanmoins, les exploitants nous ont informés que l'exploitation était déjà pratiquement conforme aux principes du règlement d'eau durant l'entier de l'année 2014. Nous considérons donc que l'entier de l'année 2014 est exploité avec le RE2014 et

utilisons les mesures de débit de cette année pour illustrer le fonctionnement actuel du règlement d'eau.

Par contre, l'année 2014 n'est pas utilisée pour vérifier si le RE2014 permet un assainissement suffisant des éclusées du Doubs. Pour cela, c'est l'état contractuel du Règlement d'eau 2014 qui est utilisé (voir chapitre Erreur ! Source du renvoi introuvable.).

6.2.1.1 Fonctionnement du règlement d'eau

Les graphiques ci-dessous montrent les débits à la Rasse (amont Refrain), à Sarrasin (aval Refrain) ainsi que le niveau de la Retenue de Biaufond durant quelques semaines de l'année 2014. Ces courbes illustrent le fonctionnement de l'exploitation par démodulation.

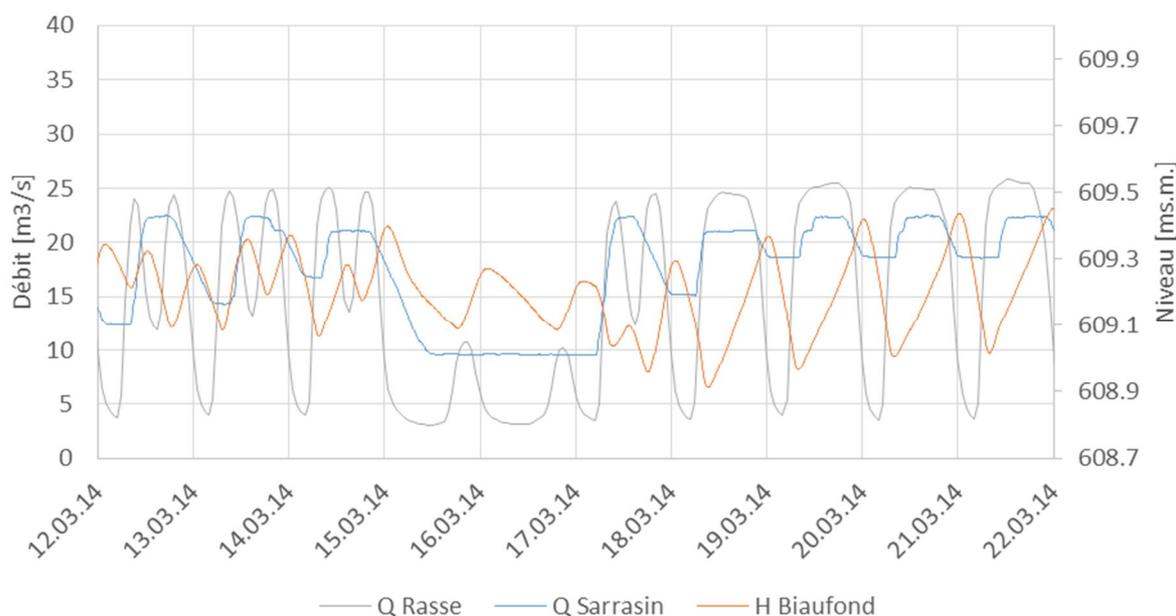


Figure 21 Illustration d'exploitation avec démodulation (mars 2014)

Sur ce graphique, on voit bien l'effet de la retenue de Biaufond, qui permet l'atténuation des éclusées à Sarrasin par rapport à la Rasse. De manière générale, on peut faire les observations suivantes :

- Certaines éclusées sont totalement démodulées par la retenue de Biaufond.
- Certaines éclusées sont atténuées par la retenue de Biaufond; la pointe de l'écluse est peu laminée; c'est principalement le débit plancher qui est plus soutenu en aval qu'en amont.
- Durant toute l'année 2014, le débit plancher à la station de Sarrasin n'est pratiquement jamais descendu en dessous de 10 m³/s.
- Le débit plancher mesuré à la station de Sarrasin varie de manière sensible au cours de l'année; avec des périodes où il atteint 10, 15 ou même 20 m³/s. A la Rasse, le débit plancher est nettement plus faible mais plus régulier dans l'année.

Il est légitime de se demander si cette variabilité du débit plancher peut s'avérer problématique pour l'écosystème.

6.2.1.2 Déversements aux barrages du Refrain et de la Goule

On constate que la démodulation a principalement permis d'augmenter le débit plancher en aval du Refrain. Il est important de vérifier si l'application du nouveau règlement d'eau a également permis de réduire la fréquence des déversement au droit des barrages du Refrain et de la Goule. Si la fréquence de déversement est faible, on peut en effet considérer que les tronçons court-circuités ne sont plus soumis aux éclusées.

La méthode pour calculer la fréquence de déversement en 2014 est identique à celle décrite dans le chapitre 5.1.5 pour déterminer la fréquence de déversement à l'état mesuré en 2008.

Fréquence de déversement	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Refrain	37%	27%	27%	11%	33%	19%	17%
Goule	47%	33%	38%	21%	35%	29%	27%

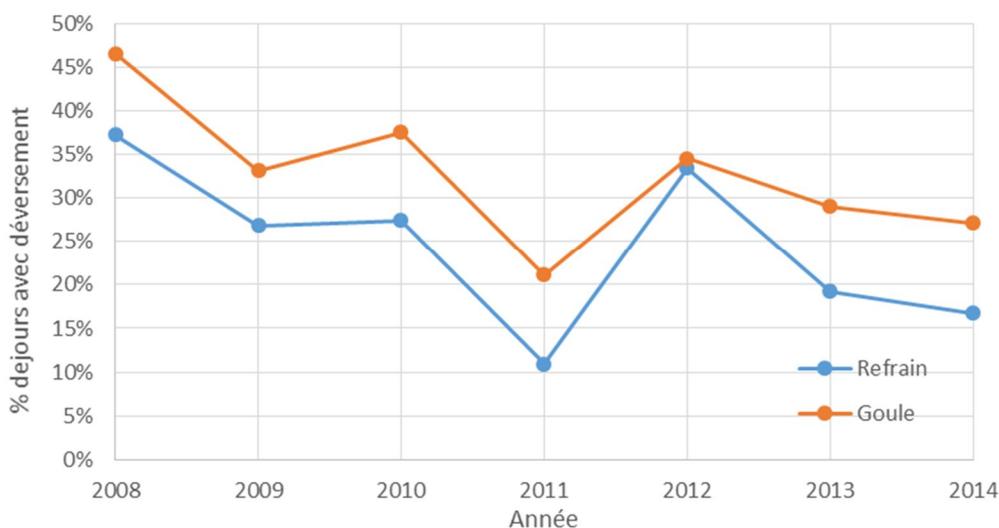


Figure 22 Évolution de la fréquence de déversement au Refrain et à la Goule entre 2008 et 2014

Entre 2008 et 2014, on constate une réduction de la fréquence des déversements aux barrages du Refrain et de la Goule.

L'amplitude moyenne de l'éclusee dans les tronçons court-circuités a également été réduite depuis 2008 :

Débit déversé moyen [m ³ /s]	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Refrain	23	18	22	21	23	15	15
Goule	20	17	19	13	19	12	11

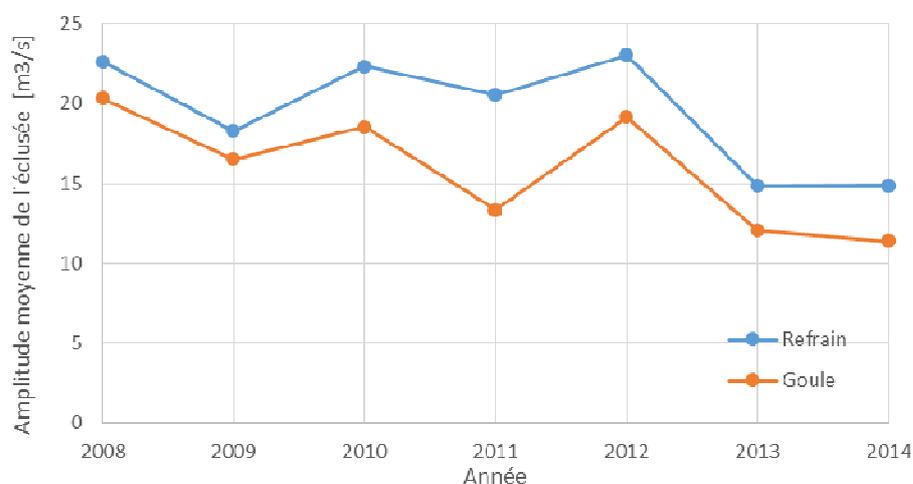


Figure 23 Évolution des débits moyens déversés au Refrain et à la Goule entre 2008 et 2014

- En 2014, le tronçon court-circuité du Refrain a subi des éclusées "par déversement" environ 1 jour par semaine (fréquence d'éclusee : 17%, débit d'éclusee moyen : 15 m³/s).
- En 2008, En 2008, le tronçon court-circuité de la Goule a subi des éclusées "par déversement" environ 2 jours par semaine (fréquence d'éclusee : 27%, débit d'éclusee moyen : 11 m³/s).

Il est difficile d'évaluer si une variation de débit de type "éclusee" se produisant 1 à 2 jours par semaine constitue encore une éclusée au sens de la loi. L'intensité de "l'éclusee" ressentie par le cours d'eau reste par contre largement supérieure à 1.5 (Qe/Qp de 5.6 dans le tronçon court-circuité du Refrain et de 8.8 à la Goule).

6.2.1.3 Indicateur HYDMOD-éclusées

		N° tronçon	T2	T4	T6	T6
		Nom station de mesure	Rasse	Sarrasins	Goule	Ocourt
Qe	Débit d'éclusee	m ³ /s	37.59	44.1	43.9	54.2
Qp	Débit plancher	m ³ /s	2.73	9.55	8.7	11.1
A	Amplitude	m ³ /s	20.9	13.4	14.5	14.1
Qe/Qp	Intensité		6.14	1.8	1.93	1.6
lh	Stress hydraulique		1.5	1.4	1.4	1.6
lp	Intensité de l'impulsion		4	1.2	1.3	1

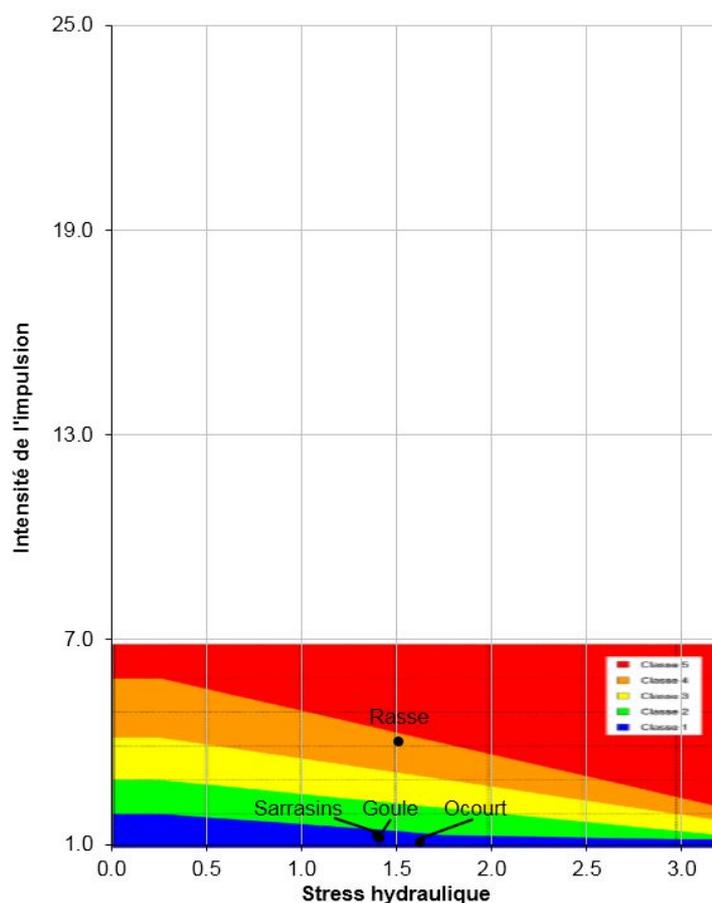


Figure 24 HYDMOD – Année 2014

Dans la pratique, l'application du règlement d'eau en 2014 a permis une amélioration significative des conditions hydrologiques en 2014 dans les tronçons T4 et T6. Cette amélioration est principalement due au débit plancher qui a été maintenu à un niveau très élevé dans ces tronçons. Ces conditions reflètent le mode d'exploitation pratiqué en 2014 mais n'a pas de base contraignante dans le RE2014.

6.2.1.4 Analyse fréquence – amplitude des éclusées

Les graphiques ci-dessous permettent de comparer pour chaque station de mesure de débit, les fréquences et amplitudes des éclusées en 2008 et 2014. Il permet de constater une amélioration significative sur toutes les stations. A la Rasse (en aval du Châtelot), la fréquence des petites éclusées a légèrement augmenté. Dans toutes les stations, on constate la persistance de quelques amplitudes journalières très élevées, de l'ordre de 60-70 m³/s.

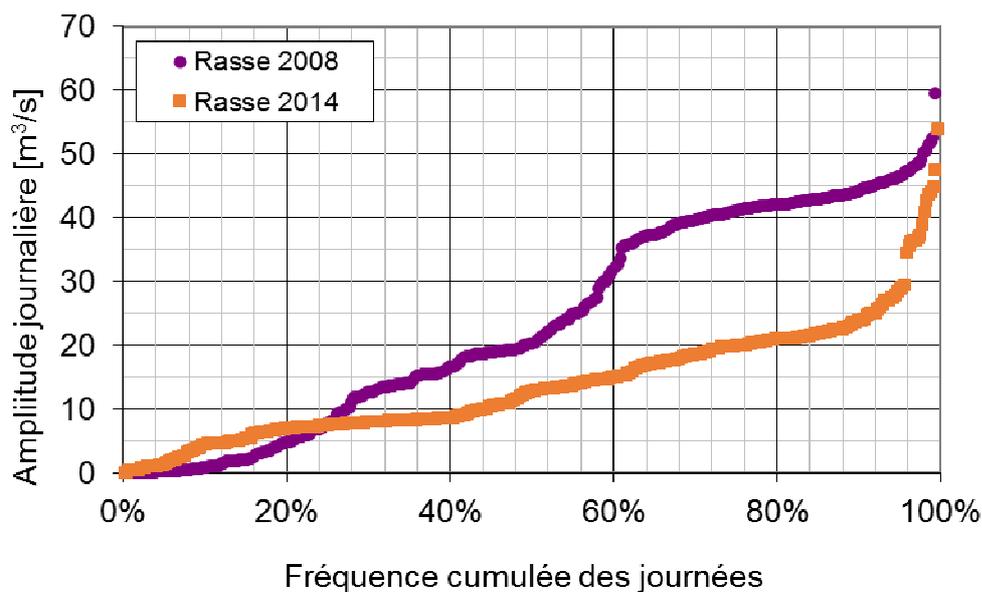


Figure 25 Fréquence-amplitude 2008 / 2014 à la Rasse

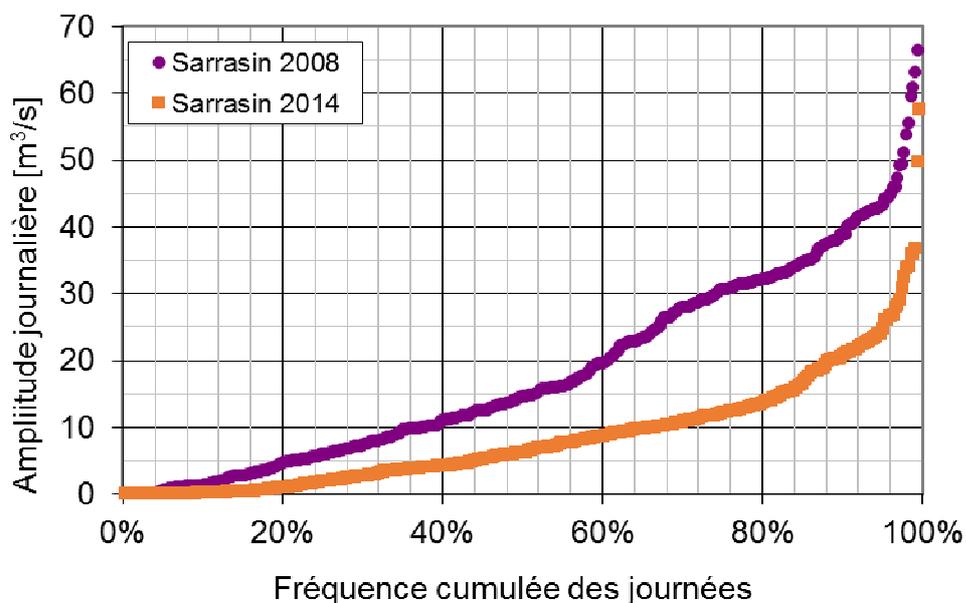


Figure 26 Fréquence-amplitude 2008 / 2014 à Sarrasin

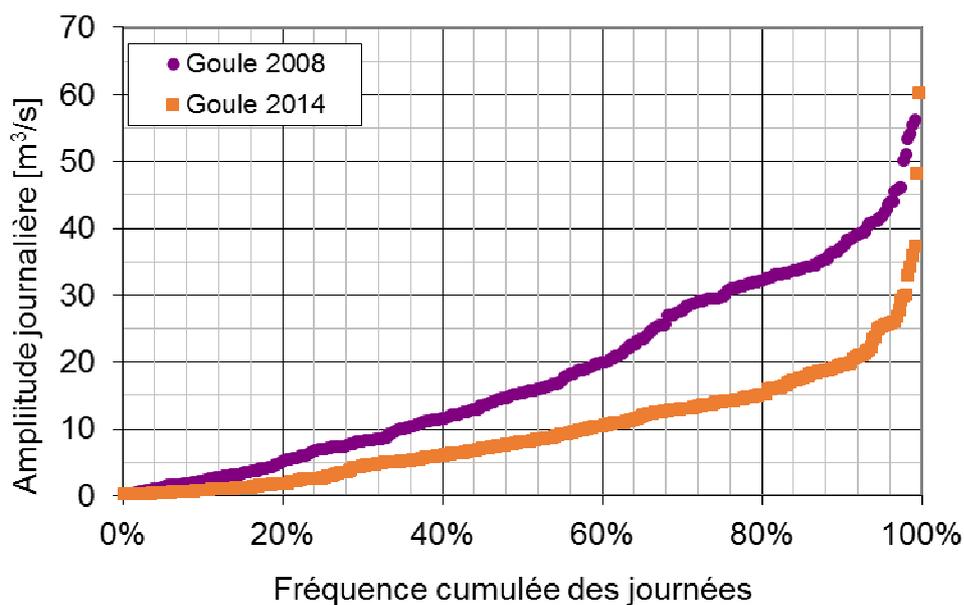


Figure 27 Fréquence-amplitude 2008 / 2014 à la Goule

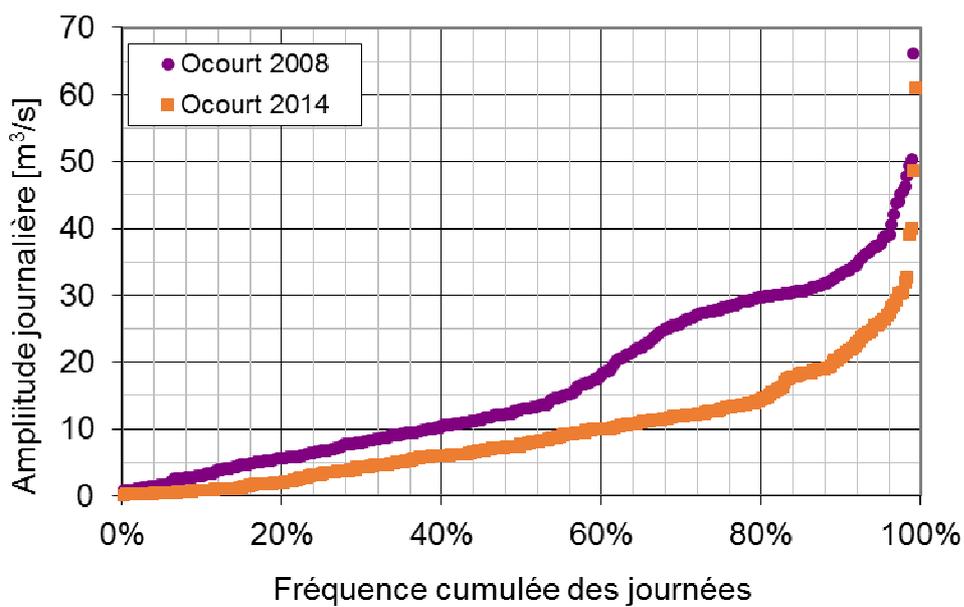


Figure 28 Fréquence-amplitude 2008 / 2014 à Ocourt

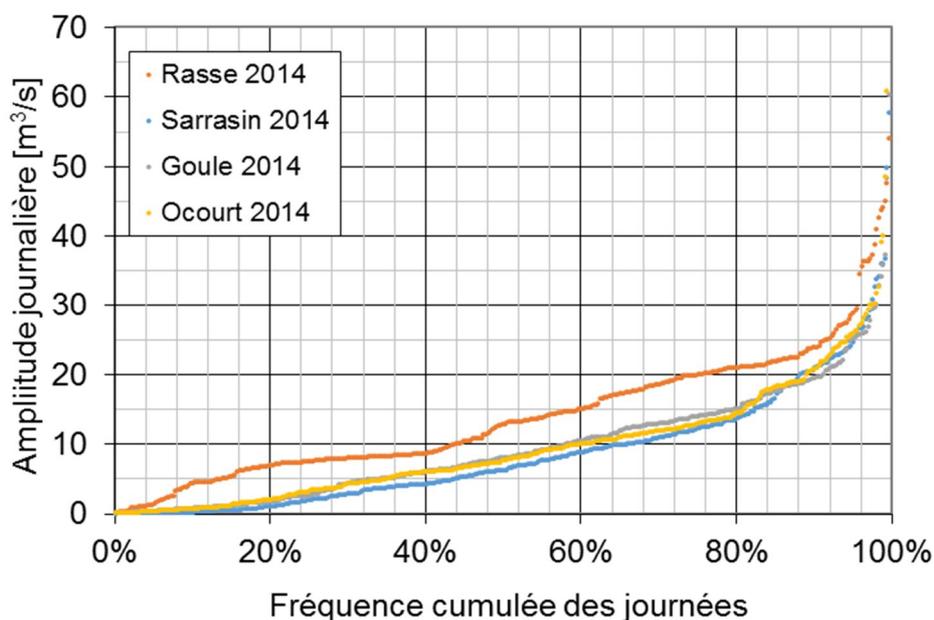


Figure 29 Fréquence-amplitude des 4 stations en 2014

La comparaison des 4 stations montre, comme en 2008, que le tronçon T2 (Rasse) est plus impacté que les tronçons en aval mais la différence est moins importante.

6.2.1.5 Mesures de température

Un réseau de 8 sondes de mesure de température (type data logger) a été posé entre février et avril 2015 en aval du Châtelot (TCC, aval usine), du Refrain (TCC, aval usine) et de la Goule (prise d'eau, TCC, aval usine). Des relevés sont prévus 2 fois par année.

6.2.1.6 Invertébrés aquatiques

Des données relatives aux invertébrés aquatiques ont été collectées au printemps 2015 sur plusieurs stations dans le cadre du monitoring de la qualité des eaux. Les prélèvements ont toutefois été effectués selon le protocole standard normalisé qui exclut les zones de marnage. Ces données ne sont pas encore disponibles.

6.2.1.7 Échouages janvier 2014 à mai 2015

Le suivi des échouages piscicoles initié en 2013 a été poursuivi en 2014 et a fait l'objet d'un rapport de synthèse². Des observations d'évènements importants ont également été effectuées début 2015³ (cf. annexe 11).

De ces nouvelles données 2014-2015, il est possible de dégager les constats principaux suivants :

- L'application du règlement d'eau semble montrer, pour certaines zones sensibles, une réduction des phénomènes d'échouages. Ceci reste toutefois à confirmer par des suivis complémentaires.

² Aquarius, (en préparation) : Suivi des mesures d'atténuation des éclusées sur le Doubs franco-suisse et jurassien. Période : Mai 2013 à décembre 2014. Rapport de documentation. Mandat de l'OFEV.

³ Bardet S. : 17.05.2015 : Doubs franco-suisse - Monitoring biologique. Constat de mortalité.

- Il subsiste entre 2014 et début 2015, des événements qui provoquent d'importants échouages d'organismes aquatiques.
- Parmi ces événements, certains, tels qu'arrêts programmés ou pannes, sont parfois également dommageables pour les organismes aquatiques que les éclusées.
- Les invertébrés aquatiques, dont certaines espèces menacées telles que *Torleya major* ou *Besdolus imhoffi*, sont parfois fortement touchés, en particulier lors des abaissements consécutifs à des périodes de hautes eaux ou de débits planchers élevés.
- S'il est évident qu'une forte réduction de débit dans un temps très court est susceptible de provoquer d'importants échouages, il n'est à l'heure actuelle pas possible de mettre en évidence de vitesses d'abaissement contrôlées dont on peut assurer qu'elles ne provoqueront pas ou peu d'échouages. En effet, on constate ponctuellement que des vitesses d'abaissement très faibles peuvent également provoquer d'importants échouages.
- La sensibilité des zones où se produisent régulièrement les échouages est essentiellement liée à leur topographie qui peut varier fortement d'un endroit à l'autre. Il en résulte que les plages de débit potentiellement problématiques (rapport débit plancher/débit éclusée) sont très étendues.
- La période de colonisation des zones de bordure qui précède un changement de régime hydrologique semble être un facteur important influençant l'ampleur des phénomènes d'échouages. En effet, Les biocénoses aquatiques sont parfois fortement touchées lors des abaissements qui surviennent après une période de colonisation prolongée (plusieurs jours avec débit plancher élevé ou décrue par exemple).
- D'autres facteurs que l'amplitude et la vitesse de descente des éclusées entrent probablement de manière déterminante dans les causes des mortalités observées (stabilité des débits, ensoleillement, cycle de développement des espèces, etc.). Le rôle que jouent ces derniers dans les processus d'échouage n'a toutefois pas encore pu être déterminé avec précision.
- L'application du règlement d'eau semble montrer, pour certaines zones sensibles, une réduction des phénomènes d'échouages. Ceci reste toutefois à confirmer par des suivis complémentaires.

6.2.2 Règlement d'eau 2014

6.2.2.1 Hydmod-éclusées

Comme pour l'état initial, l'indicateur HYDMOD-éclusee doit se calculer sur la base de l'état contractuel, c'est-à-dire en se basant sur les contraintes du règlement d'eau 2014.

N° tronçon		T2	T3	T4	T5	T6
Nom		Chatelot-éclusées	Refrain-TCC	Refrain-éclusées	Goule-TCC	Goule-éclusées
Qe	m ³ /s	46	23	46	28	46
Qp	m ³ /s	2	2.66	9.2	1.3	9.2
lh		1.9	0.7	1.5	0.9	1.5
lp		15	5.6	3.3	14	3.3

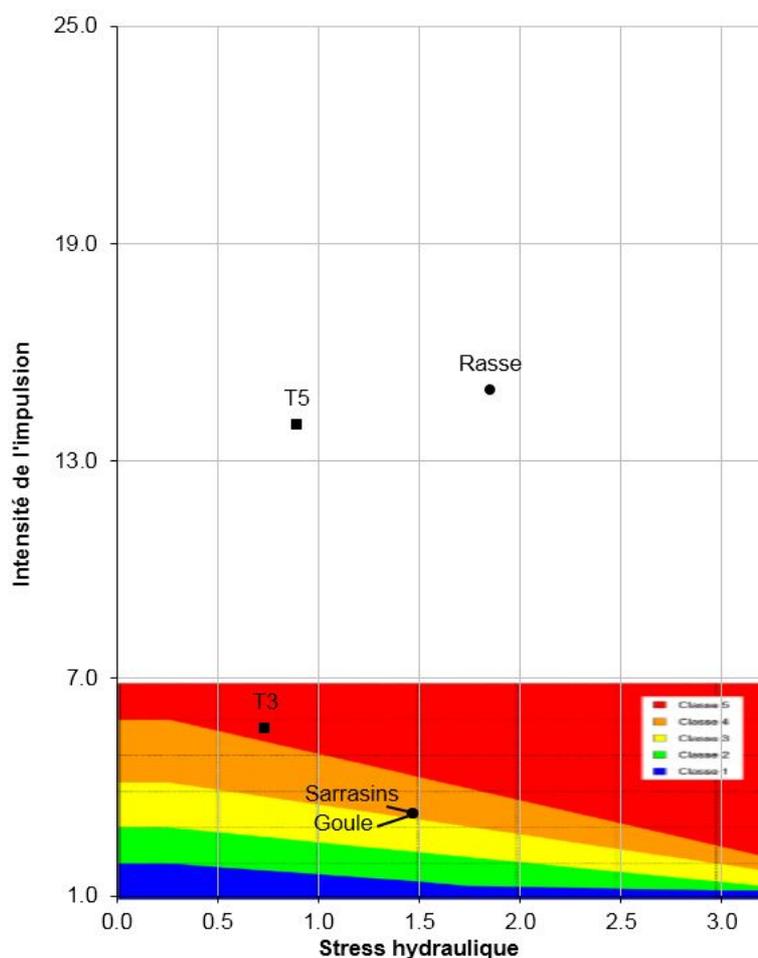


Figure 30 HYDMOD – RE2014

6.2.2.2 Indicateur D1 – débit minimal

Le tableau ci-dessous donne l'évaluation de l'indicateur D1 (débit minimal) du règlement d'eau 2014 :

N° tronçon		T2	T3	T4	T5	T6
Nom		Chatelot-éclusées	Refrain-TCC	Refrain-éclusées	Goule-TCC	Goule-éclusées
Q ₃₄₇	m ³ /s	2.5	3.7	3.7	4.3	4.3
Ores selon LEaux art. 31	m ³ /s	0.9	1.16	1.16	1.28	1.28
Qp RE2014 (D1)	m ³ /s	2.73	2.66	9.55	1.3	8.7

Tableau 30 Indicateur D1 du RE2014

Le règlement d'eau 2014 permet un assainissement de l'indicateur D1 dans les tronçons T3 et T5. (État initial : voir chapitre 5.1.6).

6.2.3 Appréciation globale de l'efficacité du règlement d'eau 2014

L'état 2014 et le RE2014 ont également été évalués sur la base des indicateurs modélisés, comme l'état initial (voir chapitre 5.3.5). Le résultat de l'ensemble des évaluations se trouve dans les tableaux ci-dessous :

État 2014 :

	T2 Châtelot-éclusées	T3 Refrain-TCC	T4 Refrain-éclusées	T5 Goule-TCC	T6 Goule-éclusées
Hydmod	4	3	1	4	1
Surfaces mises à sec (P2.1)	32%	36%	15%	44%	12%
Vitesse de descente (P2.2)	0.09	0.15	0.16	0.09	0.2
Échouages	Médiocre *	-	Mauvais	-	Mauvais
Degré d'atteinte éclusée	Grave	Prononcée **	Prononcée***	Grave **	Prononcée***

Tableau 31 Évaluation de l'atteinte liée aux éclusées durant l'année 2014

* cet indicateur est évalué comme "médiocre" en 2014 mais comme "mauvais" durant les premiers mois de 2015

**Il est difficile d'évaluer si la perturbation subie peut encore être assimilée à une éclusée (voir chapitre 6.2.1.2)

***Évaluée comme "prononcée" en raison des échouages persistants

Règlement d'eau 2014* :

	T2 Châtelot- éclusées	T3 Refrain- TCC	T4 Refrain- éclusées	T5 Goule- TCC	T6 Goule- éclusées
Hydmod	5	5	4	5	4
Surfaces mises à sec (P2.1)	36%	42%	16%	52%	12%
Vitesse de descente (P2.2)	1.05	0.15	0.30	0.09	0.17
Degré d'atteinte éclusée	Grave	Grave	Prononcée	Grave	Prononcée

Tableau 32 Évaluation de l'atteinte liée aux éclusées durant l'année 2014

* Cette évaluation est provisoire et devra être affinée sur la base des résultats du monitoring prévu durant les prochaines années. Le degré d'atteinte dans les tronçons T4 et T6 est qualifié de "prononcé" en raison de la problématique des échouages.

Les contraintes du règlement d'eau 2014 ne permettent pas d'assurer un assainissement suffisant du régime hydrologique des éclusées. L'indicateur HYDMOD reste rouge dans les tronçons T2, T3 et T5. Dans les tronçons T4 et T6, il passe du rouge (état initial) à l'orange.

6.2.4 Proposition de suivi et de méthodologie pour évaluer l'efficacité du règlement d'eau 2014

L'objectif du rapport final sur l'assainissement des éclusées est en particulier d'évaluer si la mise en œuvre du règlement d'eau est suffisante pour éliminer les atteintes graves. Pour ce faire, les indicateurs « physiques » pour lesquels on dispose de suffisamment d'informations sont employés. L'interprétation des résultats obtenus par ces indicateurs est en revanche problématique puisque les classes d'atteintes proposées n'ont pas été éprouvées pour le Doubs et ne sont pas forcément ajustées aux objectifs de conservation des inventaires fédéraux et cantonaux. Un exemple concret est par exemple le cas de l'écluse du 24.08.2014 présenté ci-après. On constate en effet une importante mortalité alors que selon le module d'aide de la Confédération, l'abaissement est qualifié de « très bon ». Un exemple complémentaire est présenté à l'annexe 11.

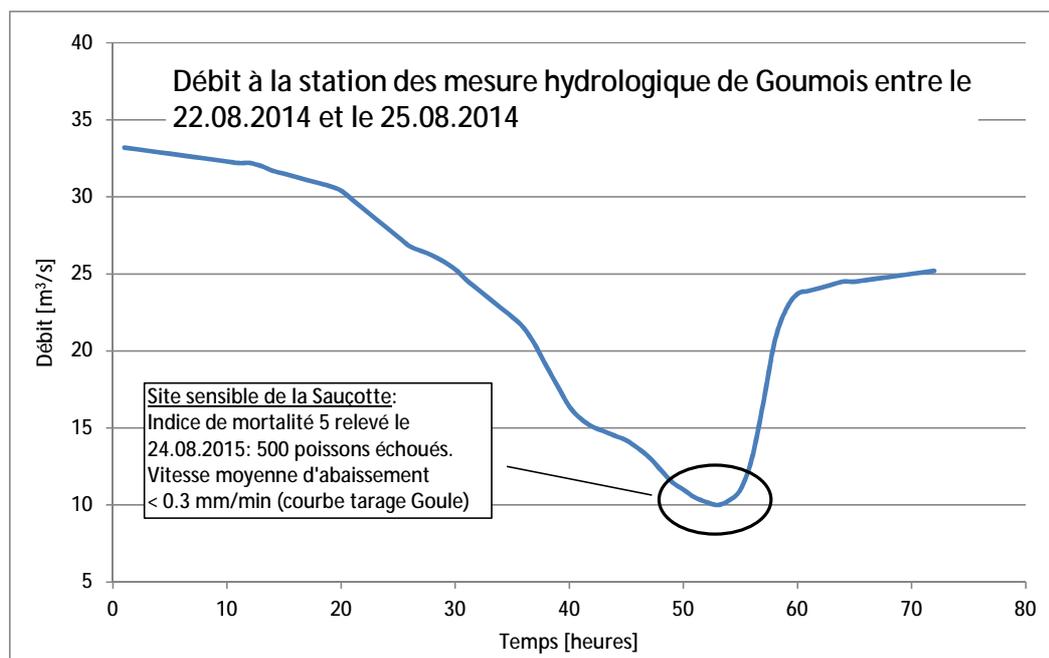


Figure 31 Constat important de mortalité sur un abaissement classé de « très bon » selon le module d'aide de la Confédération 2015.

L'évaluation et l'étude des indicateurs biologiques est par conséquent indispensable pour déterminer l'atteinte des éclusées (OEaux, art 41^e, let. b).

Les paramètres qui ont été pris en considération dans la proposition de monitoring biologique sont présentés ci-après.

6.2.4.1 Absence de tronçon témoin

Comme précisé au chapitre 2.5.3, il n'existe pas, sur le Doubs, de tronçon de référence fiable et représentatif non influencé par les éclusées. Cela signifie que ces tronçons non influencés ne peuvent actuellement pas être employés comme tronçon témoin du point de vue des biocénoses aquatiques car :

- À l'amont des Brenets : La typologie du Doubs ainsi que les biocénoses aquatiques qui s'y développent ne sont pas caractéristiques de celles rencontrées plus à l'aval sur le secteur influencé par les éclusées.
- Entre le lac des Brenets et la retenue de Moron : Ce tronçon de moins d'un kilomètre se situe entre deux grands bassins inaccessibles à la faune piscicole (montaison) et subit, de plus, une altération significative de la qualité de l'eau.
- Entre le barrage et l'usine du Châtelot : Ce secteur d'environ 4 km est soumis à un régime hydrologique artificiel caractérisé par un débit résiduel de 2 m³/s dépassé en moyenne environ 15 à 20 jours par année.

6.2.4.2 Contraintes particulières pour les indicateurs biologiques

Taille de la rivière

La taille et la profondeur moyennes du Doubs classent la rivière dans la catégorie des cours d'eau difficiles à échantillonner pour plusieurs indicateurs (poissons et invertébrés aquatiques en particulier). Certains monitorings tels que les pêches électriques et le suivi de l'apron par exemple ne sont possibles que sur certains sites où la profondeur est limitée et suffisamment faible pour permettre la prospection de toute la surface du lit mouillée. En outre, la plupart des évaluations quantitatives ne sont possibles que sectoriellement.

Hydrologie

L'hydrologie conditionne directement les possibilités de prospection et d'investigation dans le cours d'eau (relation avec la taille de la rivière).

Les périodes aux débits naturellement soutenus (p. ex. lors de la fonte printanière) ne permettent tout simplement pas de collecte de donnée par observations directes (p. ex. frayères) ou prospections dans le lit de la rivière. Certaines méthodes posent par ailleurs certaines conditions d'applicabilité, comme l'IBCH par exemple : Pour pouvoir échantillonner un grand cours d'eau, il faut qu'au minimum 1/3 de la surface du tronçon étudié soit accessible « à pied »⁴.

Les éclusées limitent quant à elle les tranches horaires où sont praticables les investigations, lesquelles doivent ainsi parfois être effectuées de nuit.

Sensibilité

La sensibilité des sites ainsi que de certaines espèces en très faibles effectifs imposent également de peser avec soin l'incidence de la mise en œuvre de certains monitorings en regard des résultats escomptés.

En effet, si certaines investigations ne sont possibles que lors de faibles débits, cela coïncide également souvent avec une période d'étiage potentiellement stressante pour les biocénoses aquatiques. Des investigations répétées sont par ailleurs susceptibles de constituer des impacts sur certaines espèces très rares et localisées.

⁴ Stucki P. 2010: Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau en Suisse. Macrozoobenthos – niveau R. Office fédéral de l'environnement, Berne. L'environnement pratique n° 1026: 61 p.

6.2.4.3 Proposition de monitoring

Une proposition de monitoring est réalisée dans le tableau ci-dessous. Des champs complémentaires avec notamment une estimation financière des mesures sont présentés à l'annexe 10.

Paramètres /groupe	Indicateur	Description, principe	OFEV - module éclusées (2015)	Effort / nb de stations à analyser	Période	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Physiques	HYD-Mod	Intensité, fréquence des éclusées, etc.	-	6 tronçons comme pour état référence	-		x		x		x
	Températures	Suivi de la température de l'eau, relevés ponctuels 2 x par année.	Q1	6 stations (8 sondes)	Mesure en continu	x	x	x			
Poissons	Composition générale	Pêches quantitatives.*	F1	6 stations, identiques aux actuelles	Fin août à fin octobre	x			x		(x)
	Echouage	Suivi des poissons piégés et échoués lors d'évènements hydrologiques spécifiques (éclusées particulières, essais, arrêts, périodes sensibles, etc).*	(F2)	10 stations suivies annuellement en moyenne 5 fois	Lors d'évènement. susceptibles d'être impactants	x	x	x			
	Piégeage	Tests et investigations complémentaires sur la composition et les comportements piscicoles dans les zones de bordure (pêches ciblées comparatives, suivis vidéos, etc.).	-	3 stations	Juillet à octobre	x	x				
	Reproduction	Lorsque les conditions hydrologiques le permettent, suivi des frayères de truites et d'ombres de rivière, suivi des alevins d'ombre.	(F3)	5 stations	Novembre à mai	(x)	x	x	x		(x)
	Espèces menacées	Suivi en plongée du comportement de l'apron lors d'éclusées.	-	2 stations (6 sorties)	Avril à octobre	x	x				
Macrozoobenthos	IBCH +	Prélèvement IBCH, 8 placettes lit mineur, 8 placettes complémentaires sur zone de marnage (position échantillonnage à définir au cas par cas), détermination et analyse séparée par substrat, avec évaluation de la biomasse, espèces EPT et zonation longitudinale.	B1, B2, B3, B4	6 stations	Mars à mai	x		x			x
	Drift MZB	Suivi d'une éclusée type, objectifs à déterminer.	D1	3 stations	Selon éclusées		x	x			

Tableau 33 Proposition de monitoring biologique – vue d'ensemble.

7 MESURES D'ASSAINISSEMENT

7.1 Généralités

Le règlement d'eau 2014 est une mesure d'assainissement des éclusées qui est actuellement en cours d'essai et qui a été évaluée en détail dans le chapitre précédent. Même si le recul n'est pas suffisant pour appréhender correctement toutes les conséquences de la mise en place de ce nouveau règlement d'eau, on peut tout de même évaluer qu'il ne permettra pas à lui seul un assainissement suffisant des éclusées dans le Doubs.

En conséquent, le présent chapitre détaille d'autres mesures complémentaires ou alternatives qui pourraient être mises en œuvre pour atteindre les objectifs d'assainissement.

Il paraît évident que le Châtelot est à traiter comme « pilier central » et que les mesures d'assainissement à entreprendre ne doivent pas être éparpillées entre les installations en les considérant comme indépendantes les unes des autres. Les trois installations hydroélectriques du Doubs binational et Suisse représentent en ce sens un seul système dont la base repose sur le Châtelot. Ce système requiert par conséquent des mesures d'assainissement et d'atténuation des impacts coordonnés.

7.2 Objectifs d'assainissement

L'annexe 4a, ch. 2, al. 1, let. D de l'OEaux demande à ce que le rapport de planification stratégique d'assainissement des éclusées comprenne des propositions de mesures envisageables, leurs évaluations et des indications sur la coordination nécessaire sur l'ensemble du bassin versant.

Il s'agit de proposer des mesures supportables pour les aménagements exploitant les eaux du Doubs mais dont les effets, en priorité, doivent conduire à une diminution voir élimination des impacts dus aux éclusées dans le cours d'eau.

Au vu des impacts identifiés, les mesures d'assainissement doivent prioritairement viser :

- Atténuation de l'amplitude des éclusées.
- Atténuation de la vitesse du changement de débit.
- Forte diminution des risques d'échouage et de piégeage piscicole et benthique.
- Forte diminution des risques d'exondation de frayères.
- Augmentation du débit plancher

Avec toutes les conséquences connexes positives sur différents paramètres tels que pics de MES, variation de température, etc.

7.3 Propositions de mesures d'assainissement

Une combinaison des différentes familles de mesures est ici proposée pour atténuer l'influence des éclusées sur le Doubs binational et suisse. Ces mesures ne considèrent pas les aménagements comme indépendants les uns des autres mais comme un système dont les mesures d'assainissement permettront une atténuation coordonnée des impacts dont l'origine principale provient des éclusées engendrées par le Châtelot.

La première mesure de la liste est le règlement d'eau, qui sera évalué de manière identique aux autres mesures dans un but de comparaison.

N°	Mesure
1	Règlement d'eau 2014
2	Installation d'une nouvelle turbine à l'usine électrique du Châtelot pour respecter la baisse de 1.5 m ³ /s en 2 h pour le dernier palier d'écluse du Châtelot (7 0 m ³ /s)
3	Construction d'une mini-centrale au lieu-dit "La Rasse" et stockage d'un volume d'environ 60'000 m ³ permettant de diminuer partiellement les impacts négatifs des éclusées du Châtelot.
4	Construction d'une galerie de dérivation des débits d'éclusées entre l'usine du Châtelot et la retenue de Biaufond. La galerie fonctionnera en écoulement gravitaire et fournira un volume de stockage supplémentaire d'environ 160'000 m ³ .
5	Construction d'une galerie dérivation des débits d'écluse court-circuitant la boucle du Clos-du-Doubs. Opportunité de construire un nouveau palier de turbinage
6	Augmentation du volume de stockage à Biaufond (augmentation du marnage et/ou curage des sédiments)
7	Augmentation du volume de stockage à la Goule (surélévation du barrage)
8a	Construction d'un bassin semi-enterré au Refrain pour assurer l'alimentation du bras rive-gauche en cas d'arrêt de l'usine.
8b	Réaménagement de la restitution du Refrain pour éviter l'exondation ponctuelle du bras en rive gauche
9	Augmentation du débit plancher dans le tronçon court-circuité de la Goule de 1.3 à 2.9 m ³ /s
10a	Augmentation du débit plancher en aval de l'usine du Châtelot de (3 ou 5 m ³ /s suivant les périodes)
10b	Construction d'un seuil vanné en aval du lac des Brenets et stockage de volumes de crue dans le lac pour soutenir les étiages à l'aval
11	Mesures morphologiques ponctuelles pour rendre localement le lit moins sensible aux phénomènes d'échouage et d'exondation des frayères.
12	Construction d'un bassin de stockage (caverne) à la restitution du Châtelot
13	Exploitation des aménagements "au fil de l'eau" (avec de faibles éclusées d'intensité inférieure à 1.5).

Tableau 34 Liste des mesures d'assainissement des éclusées du Doubs

Toutes les mesures proposées, à des degrés divers, nécessitent des études, analyses et/ou phases de tests et essais. Certaines de ces mesures sont susceptibles d'engendrer d'importants impacts connexes. Une coordination et concertation entre les différents partenaires, les autorités françaises et suisses, les différents organismes et des experts est indispensable. Les processus actuellement engagés pour l'atténuation des effets des éclusées dans le Doubs binational et suisse vont dans ce sens.

Relevons enfin que les mesures engagées doivent tenir compte et être développées en synergie avec les autres domaines de la planification stratégique concernant la renaturation des eaux.

L'annexe 6 contient des fiches décrivant plus précisément les mesures d'assainissement listée dans le tableau ci-dessus.

7.3.1 Modélisation des mesures

- À la demande des cantons du Jura et de Neuchâtel, la mesure n°5 a été abandonnée à ce stade de l'étude en raison de ses multiples impacts négatifs et de son incompatibilité avec le cadre légal actuel du Doubs. Cette mesure ne sera donc pas évaluée dans la suite de l'étude.
- La plupart des mesures d'assainissement évaluées sont pensées comme des mesures complémentaires au règlement d'eau. Elles n'ont donc pas été évaluée de manière indépendante mais en combinaison avec le règlement d'eau (mesure M1).
- La capacité de chaque mesure à réduire les éclusées dans le cours d'eau a partiellement été évaluée à l'aide du modèle Routing-System créé pour le projet (voir chapitre 5.3.4), en particulier en ce qui concerne la capacité de réduction des vitesses de descente. La capacité de chaque mesure constructive (en particulier les stockages) à réduire l'amplitude de l'éclusée dépend en grande partie de la manière donc est géré l'aménagement (règlement d'eau). La capacité d'assainissement (en termes d'intensité) par rapport au volume de stockage utile a été évaluée de manière plus théorique, détaillée dans l'annexe 12.

Qe/Qp	Volume utile [mio m ³]
1.5	~ 1
2	~ 0.6
5	~ 0.3
10	~ 0.13

Tableau 35 Degré d'assainissement (en terme de Qe/Qp en fonction du volume de démodulation disponible)

- On évalue qu'un volume utile d'environ 1 million de m³ permettrait d'assainir la majeure partie des éclusées du Doubs.
- Les mesures de stockage sont efficaces dans la mesure où elles sont liées à un règlement d'eau, qui fixe des contraintes d'exploitation pour la gestion du bassin.
- En 2014, le Châtelot a fonctionné avec le règlement d'eau 2014 et un volume de stockage d'environ 300'000 m³ à Biaufond pour la démodulation. Le rapport Qe/Qp (calculé avec HYDOMD) en aval du Refrain était proche de 5.

7.4 Méthodologie d'évaluation des mesures

Les variantes d'assainissement des éclusées ont été évaluées selon une grille de critères comprenant :

- L'efficacité
- Le coût
- Le degré de gravité de l'atteinte
- Le potentiel écologique
- La proportionnalité des coûts
- L'intérêt de la protection contre les crues
- La politique énergétique
- La faisabilité
- Les impacts
- L'acceptabilité
- La coordination entre domaines de l'assainissement

critères selon art. 43a, al. 2, LEaux

La grille d'évaluation des différents critères est détaillée dans l'annexe 4.

7.4.1 Efficacité

L'efficacité d'une mesure peut être définie selon deux axes : les pronostics de la performance et la portée de la mesure.

Les pronostics de performance se basent sur 3 sous-critères liés au degré de gravité de l'atteinte, qui sont définis pour chacun des 6 tronçons (T1 à T6) :

1. Hydromod éclusées : rapport entre l'intensité de l'impulsion de l'éclusee et le stress hydraulique.
2. Echouage P2.1 : Pourcentage de surface mise à sec par l'éclusee
3. Echouage P2.2 : Vitesse de descente

La méthode pour déterminer ces différents sous-critères est détaillée dans le chapitre 5.3.

La portée de la mesure vise à renseigner sur la zone d'influence de la mesure se développe en 2 sous-critères :

1. L'importance de chaque tronçon est définie en fonction de sa longueur. La note de chaque tronçon intervient dans la note finale pondérée par sa longueur relative.
2. L'importance de chaque tronçon est définie en fonction de son potentiel écologique. Dans le cas du Doubs, le potentiel écologique de chaque tronçon n'intervient pas dans la pondération finale car celui-ci est identique sur tout le linéaire du Doubs (voir chapitre 5.6)

La note pour chaque sous-critère de valorisation est obtenue de la manière suivante :

$$Note\ Hydmod = \sum_{1}^{6} Hydmod_{(Tx)} \times pondération_longueur_{(Tx)}$$

$$Note\ P2.1 = \sum_{1}^{6} P2.1_{(Tx)} \times pondération_longueur_{(Tx)}$$

$$Note\ P2.2 = \sum_{1}^{6} P2.2_{(Tx)} \times pondération_longueur_{(Tx)}$$

La note de l'efficacité de chaque mesure est obtenue en additionnant la note de chaque sous-critère. Elle est comprise entre 0 et 3.

L'annexe 7 présente les tableaux d'évaluation de l'efficacité des mesures d'assainissement.

7.4.2 Coût

Le coût des mesures d'assainissement est donné de manière approximative principalement dans un but de comparaison entre différentes variantes d'assainissement.

Pour les mesures constructives, l'estimation des coûts des mesures est basée sur :

- Les caractéristiques principales des ouvrages prévus :
 - Bassin de stockage
 - § Type de bassin : en surface ou souterrain
 - § Dimensions principales : le volume, la surface et la profondeur
 - Dérivation
 - § Type de canal : à ciel ouvert, sous route, sous le lit ou en galerie
 - § Dimensions principales : longueur et section
- Les contraintes locales identifiées : type de prise d'eau envisageable, implantation du bassin, tracé et profil en long de la dérivation, etc...
- Les coûts de référence issus de projet et réalisations menés par les bureaux du groupement, et les prix d'ordres présentés dans la littérature (p.ex. thèse Bieri).

Pour les mesures d'exploitation, l'estimation des coûts des mesures est basée sur :

- Prix de rachat de l'électricité (période de pointe) : 10 cts/kWh
- Prix de rachat de l'électricité (période creuse) : 5 cts/kWh
- Proportion d'énergie produite en pointe (turbinage éclusées sans démodulation) : 2/3
- Proportion d'énergie produite en pointe (turbinage "au fil de l'eau") : 1/3
- Calcul de la perte de production sur 40 ans

Pour le règlement d'eau 2014, le coût de la mesure nous a été fourni par le Groupe E, exploitant de l'aménagement du Châtelot.

7.4.3 Proportionnalité des coûts

La proportionnalité des coûts peut être évaluée, en comparant l'efficacité de la mesure avec son coût. La grille d'évaluation peut se présenter comme suit :

		Coût				
		Très bas < 2 MCHF	Bas 2-10 MCHF	Moyen 10-25 MCHF	Élevé 25-50 MCHF	Très élevé > 50 MCHF
Efficacité	Très élevée $P > 2.4$	Favorable	Favorable	Favorable	Favorable	Neutre
	Élevée $1.8 < P \leq 2.4$	Favorable	Favorable	Neutre	Neutre	Neutre
	Moyenne $1.2 < P \leq 1.8$	Neutre	Neutre	Neutre	Pas favorable	Pas favorable
	Basse $0.6 < P \leq 1.2$	Neutre	Pas favorable	Pas favorable	Pas favorable	Critique
	Très basse $0 < P \leq 0.6$	Pas favorable	Pas favorable	Critique	Critique	Critique

Figure 32 Tableau d'évaluation de la proportionnalité des coûts

Les classes de coût sont celles proposées dans le module "financement" de l'aide à l'exécution "renaturation des eaux"⁵.

7.4.4 Autres critères d'évaluation

Les autres critères, plus généraux permettent d'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
- Maitrise des coûts : détaille les coûts d'investissement et d'entretien/exploitation

⁵ Assainissement des aménagements hydroélectriques – Financement, un module de l'aide à l'exécution "Renaturation des eaux, OFEV, version pour audition d'octobre 2013.

7.4.5 Évaluation environnementale des mesures

Les mesures proposées sont également susceptibles d'engendrer, en phase d'exploitation, des impacts sur l'environnement qui actuellement n'existent pas ou alors d'étendre les effets négatifs des ouvrages et mode d'exploitation actuels. Une appréciation générale sommaire est réalisée dans le tableau ci-après.

N°	Mesures	A	B	C	D	E	F	G	H	I	Pondération	Somme A à I x pondération
		Prolongement vers l'amont de l'effet de retenue	Création d'un nouveau tronçon court-circuité	Gestion d'un nouveau bassin de stockage par marnage	Augmentation du marnage actuel	Atteinte potentielle sur les processus de transport solide (envasement, colmatage, charriage)	Entre potentiellement en conflit avec projet d'arasement	Atteinte sur le paysage (inventaire IFP, Emeraude)	Atteinte sur d'autres inventaires (batraciens, alluviale, réserve)	Atteinte potentielle sur poissons menacés d'extinction		
1	Règlement d'eau	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
2	Installation d'une nouvelle turbine à l'usine électrique du Châtelot pour respecter la baisse de 1.5 m3/s en 2 h pour le dernier palier d'écluse du Châtelot (7 à 0 m3/s)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	0
3	Construction d'une mini-centrale au lieu-dit "La Rasse" avec rehaussement du seuil pour un stockage d'un volume d'environ 60'000 m ³ permettant de diminuer partiellement les impacts négatifs des éclusées du Châtelot.	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1.5	7.5
4	Construction d'une galerie de dérivation des débits d'éclusées entre l'usine du Châtelot et la retenue de Biaufond. La galerie fonctionnerait en écoulement gravitaire et fournirait un volume de stockage supplémentaire pour démoduler les éclusées en aval.	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	2
5	Construction d'une galerie dérivation des débits d'écluse court-circuitant la boucle du Clos-du-Doubs. Opportunité de construire un nouveau palier de turbinage	0	1	0	0	1	0	1	1	1	2	10
6	Augmentation du volume de stockage à Biaufond (augmentation du marnage et/ou curage des sédiments et/ou révision du fonctionnement des vannes-toit)	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	5
7	Augmentation du volume de stockage à la Goule (surélévation du barrage)	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1.5	7.5
8a	Construction d'un bassin semi-enterré au Refrain pour assurer l'alimentation du bras rive-gauche en cas d'arrêt de l'usine.	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1

8b	Variante 1: Déplacement de la restitution au centre du cours d'eau et mise à sec permanente du bras rive gauche.	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	3
8b	Variante 2: Installation d'un by-pass pour alimenter le bras en rive gauche lors de pannes et d'arrêts programmés en particulier	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
9	Augmentation du débit résiduel à la Goule de 1.3 à 2.9 m ³ /s	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
10a	Augmentation du débit plancher au Châtelot	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	0
10b	Stockage de volume de crue dans le lac des Brenets pour soutenir les étiages à l'aval (augmentation du débit plancher en aval de l'usine du Châtelot)	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	2
11	Mesures morphologiques ponctuelles pour rendre localement le lit moins sensible aux phénomènes d'échouage et d'exondation des frayères.	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	2
12	Bassins de stockage souterrains (cavernes) pour démoduler toutes les éclusées du Châtelot.	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1
13	Turbinage « au fil de l'eau ».	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0

Pondération

- 1 *Impact faible et localisé*
- 1.5 *Impact environnemental important mais localisé*
- 1.5 *Impact environnemental faible mais très étendu*
- 2 *Impact environnemental important et très étendu*

Classes d'impact

0	<i>Pas d'impacts significatifs</i>
1 à 3	<i>Impacts potentiellement acceptables si effet de la mesure sur les éclusées très efficace</i>
4 à 6	<i>Impacts importants difficilement conciliables avec les objectifs des inventaires cantonaux et fédéraux</i>
>6	<i>Impacts potentiellement autant, voir plus importants que les éclusées</i>

Tableau 36 *Vue de synthèse comparative de l'incidence environnementale des mesures d'atténuation des éclusées*

7.5 Résultats

7.5.1 Comparaison de l'efficacité des mesures

L'annexe 7 montre les tableaux d'évaluation de l'efficacité des différentes mesures d'assainissement.

N°	Mesure	Efficacité (max : 3)
M1	Règlement d'eau 2014	0.9
M1 + M2	RE2014 + Nouvelle turbine à l'usine électrique du Châtelot	0.9
M1+ M3	RE2014 + mini-centrale au lieu-dit "La Rasse" et stockage	1.2
M4	Galerie de dérivation entre l'usine du Châtelot et Biaufond	1.2
M1 + M4	RE2014 + Galerie de dérivation entre l'usine du Châtelot et Biaufond	2.1
M1 + M6	RE2014 + Augmentation du volume de stockage à Biaufond	1.6
M1 + M7	RE2014 + Augmentation du volume de stockage à la Goule	1.2
M1 + M8a	RE2014 + bassin semi-enterré au Refrain pour l'alimentation du bras rive-gauche en cas d'arrêt de l'usine.	0.9
M1 + M8b	RE2014 + Déplacement de la restitution du Refrain dans le lit principal pour éviter l'exondation ponctuelle du bras en rive gauche	0.9
M1 + M9	RE2014 + Augmentation du débit plancher à la Goule de 1.3 à 2.9 m ³ /s	0.9
M1 + M10a	RE2014 + Augmentation du débit plancher au Châtelot de (3 ou 5 m ³ /s)	1.0
M1 + M10b	RE2014 + Construction d'un seuil vanné en aval du lac des Brenets et stockage de volumes de crue dans le lac pour soutenir les étiages à l'aval	1.3
M1+ M11	RE2014 + Mesures morphologiques ponctuelles	0.9
M1 + M12	RE2014 + Construction d'un bassin de stockage (caverne) à la restitution du Châtelot	2.6
M13	Exploitation au fil de l'eau	2.6
	<i>Exploitation du nouveau règlement d'eau durant l'année 2014</i>	2

Tableau 37 Évaluation de l'efficacité

On constate les éléments suivants :

- Le règlement d'eau 2014 obtient une note d'efficacité de 0.9 sur un maximum de 3. Par contre, l'exploitation du nouveau règlement d'eau durant l'année 2014 donne, avec une note de 2 sur 3, une évaluation bien meilleure. Ceci montre que les installations ont été exploitées en 2014 de manière bien plus douce que ce que permet le règlement d'eau. Cela signifie que le règlement d'eau 2014 ne permet pas à lui seul d'assurer un même "niveau d'assainissement" que celui observé durant l'année 2014. En particulier, les débits planchers mesurés en 2014 en aval du Refrain ont été largement supérieurs au minimum imposé par le RE2014.

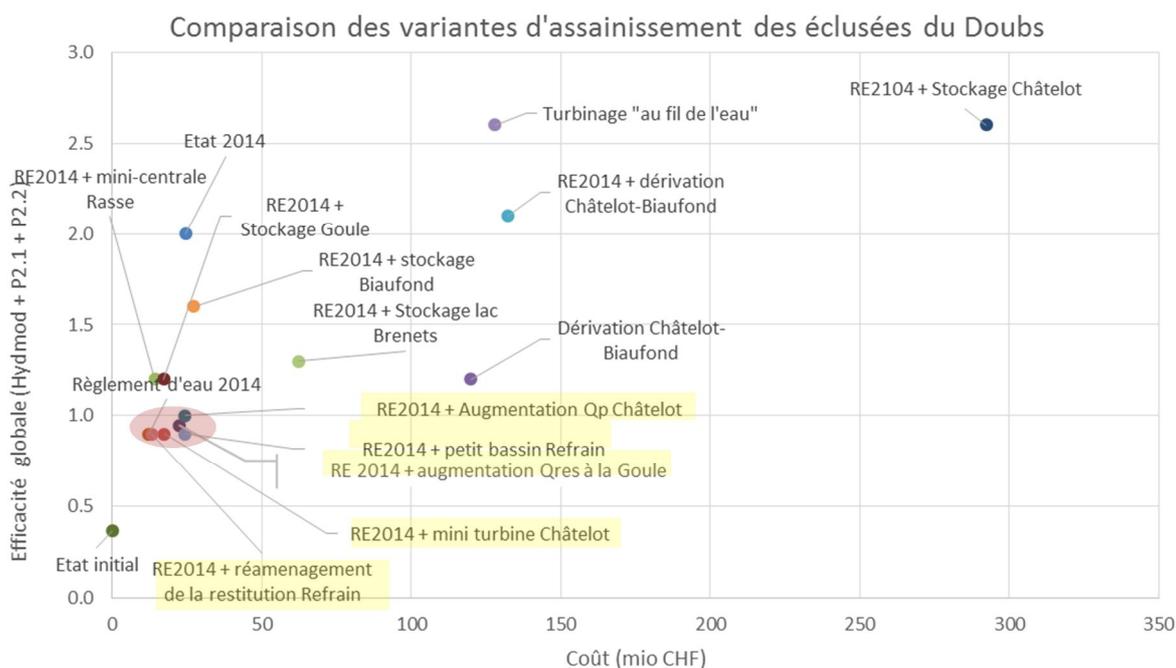


Figure 33 Graphique coût-efficacité - mesures complémentaires

Évaluation de l'intérêt des mesures complémentaires

- M10a : Augmentation du débit plancher au Châtelot

La mesure évaluée ici prévoit l'augmentation du débit plancher du Châtelot de 2 à 3 m³/s (hors période sensible) et 5 m³/s (durant la période sensible). Ces valeurs sont hydrologiquement comparables à la contrainte imposée par le RE2014 en aval de la Goule (5 m³/s hors période sensible et 7 m³/s en période sensible). Comme pour le débit plancher aval, ce débit pourrait être abaissé en période d'étiage sévère, mais de manière extrêmement progressive. L'augmentation du débit plancher est une contrainte d'exploitation forte pour le Châtelot, qui contraindrait les exploitants à turbiner au fil de l'eau durant certaines périodes sèches de l'année.

Le passage du débit plancher au Châtelot de 2 à 5 m³/s est trop faible pour amener un gain d'efficacité sensible en termes d'assainissement global des éclusées du Doubs. Par contre, de récentes études (EPTEAU 2014) semblent montrer que cette mesure apporterait une réelle plus-value environnementale dans le tronçon T2 - qui reste actuellement le plus gravement atteint - en conservant en eau plusieurs zones sensibles aux échouages d'organismes aquatiques. Suite aux importants échouages observés dans ce tronçon au printemps 2015, cette mesure présente un intérêt particulier. L'optimisation de cette mesure et son acceptabilité par les exploitants pourraient potentiellement être améliorées en affinant les connaissances sur les facteurs qui influencent la distribution des organismes aquatiques et en ciblant plus précisément les périodes sensibles.

- M8 : Petit bassin /réaménagement de la restitution au Refrain

Ces deux mesures ont pour objectif de résoudre un problème local, qui est la mise à sec d'un bras secondaire du Doubs en cas d'arrêt planifié ou accidentel de l'usine du Refrain. Cette mesure possède un vrai intérêt local pour l'écosystème. Elle devrait être intégrée à la planification de l'assainissement des éclusées du Doubs au titre de mesure complémentaire.

- M9 : Augmentation du débit résiduel à la Goule

Cette mesure influence uniquement le tronçon court-circuité de la Goule, long d'environ 650 m. En relevant le débit plancher de 1.3 à 2.9 m³/s, l'amplitude de l'éclusee est légèrement réduite ce qui permet de limiter la surface mises à sec approximativement de 50% à 40%. Cet effet est trop faible et local pour influencer sur l'indicateur d'efficacité globale des mesures d'assainissement des éclusées du Doubs.

- M2 : Mini-turbine au Châtelot

Cette mesure a été jugé globalement peu efficace car elle est destinée à réduire le gradient de baisse du Châtelot en fin de crue et non à la fin des éclusées standards, qui sont les événements où les gradients de descente sont actuellement les plus critiques. Elle a donc été classée dans les mesures "complémentaires", ce qui n'enlève toutefois rien à son intérêt. Au vu du dernier épisode d'échouage survenus durant le mois de mai 2015 (voir annexe 11), cette mesure peut même être évaluée comme prioritaire pour éviter la survenance d'évènements rares mais particulièrement critiques et dommageables pour l'écosystème.

Pour augmenter l'efficacité globale de cette mesure, il faudrait prévoir dans le règlement une réduction des gradients de descente pour les petits débits (10 à 0 m³/s) également à la fin des éclusées quotidiennes. Il s'agit toutefois d'une mesure d'exploitation qui ne peut être imposée aux exploitants.

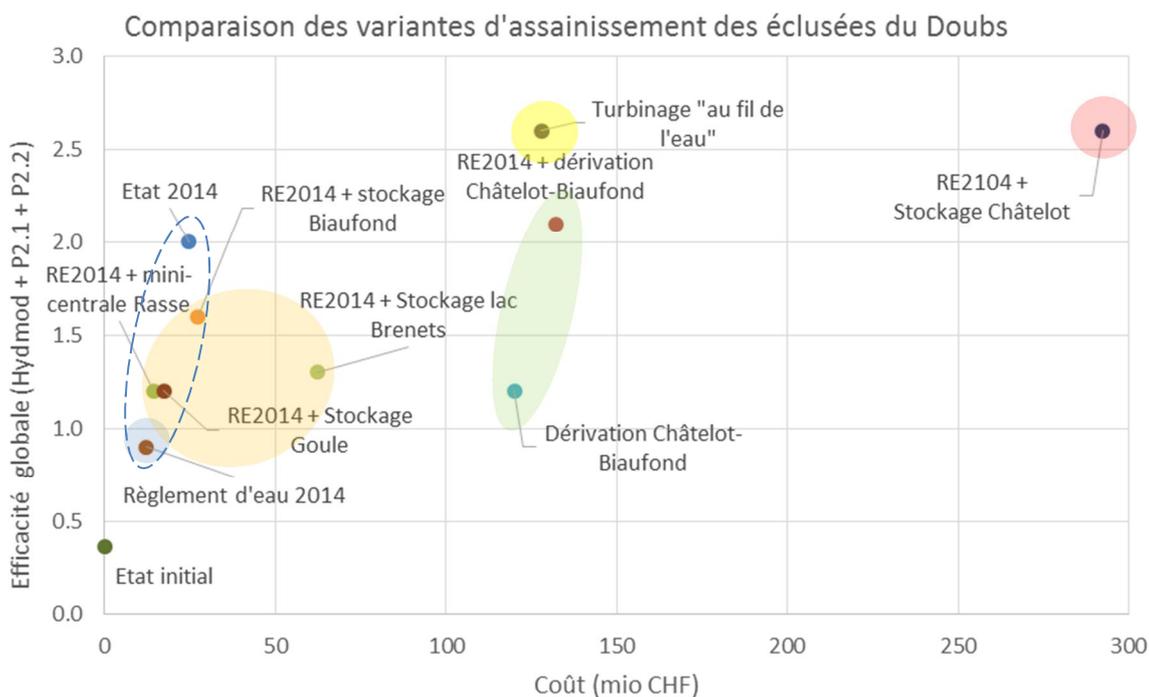
- M11 : Mesures morphologiques ponctuelles

Cette mesure typiquement locale possède un réel intérêt pour réduire les phénomènes d'échouage observés dans certains secteurs particulièrement sensibles, actuellement bien identifiés et régulièrement suivis. L'effort devrait être prioritairement concentré sur le tronçon T2 (Châtelot-éclusées), qui est actuellement le plus touché par cette problématique.

7.5.2.2 Mesures globales

Le graphique ci-dessous montre le rapport coût – efficacité de l'ensemble des mesures, hormis les mesures complémentaires, qui sont traitées au chapitre ci-avant. Les mesures sont regroupées dans cinq catégories différentes :

- Le règlement d'eau 2014
- Les mesures de stockage de surface
- Les mesures de dérivation
- La mesure de stockage en souterrain
- La mesure d'exploitation "au fil de l'eau"



7.5.2.3 Règlement d'eau 2014

Le règlement d'eau 2014 obtient une note d'efficacité limitée, ne permettant pas d'atteindre les objectifs d'assainissement des éclusées.

Par contre, l'exploitation du nouveau règlement d'eau durant l'année 2014 montre une efficacité largement supérieure car les installations ont été exploitées cette année-là de manière bien plus douce que ce que permet le règlement d'eau.

Ce constat laisse penser qu'il existe une possibilité d'optimisation du règlement d'eau pour en augmenter son efficacité. Cette optimisation ne pourra toutefois être envisagée qu'avec l'accord des exploitants et aura un coût, que nous avons évalué hypothétiquement au double du RE2014 actuel.

Un règlement d'eau optimisé tel qu'évoqué ci-avant permettrait vraisemblablement d'atteindre un niveau d'assainissement satisfaisant en aval du Refrain mais pas dans le tronçon directement en aval de l'usine du Châtelot (T2).

Cette mesure est à conserver pour la suite de la planification

7.5.2.4 Solutions de stockage en surface

Cette famille de mesure comprend les mesures suivantes :

- Augmentation du volume de stockage à la Goule
- Mini-centrale + stockage à la Rasse
- Augmentation du stockage à Biaufond
- Stockage de volumes de crue dans le lac des Brenets

Ces mesures de stockage de surface possèdent un bon rapport coût-efficacité mais engendrent des impacts sur le milieu importants, notés comme étant "critiques" dans l'évaluation multicritères.

Le stockage dans le lac des Brenets possède un impact nettement moins important mais son efficacité est également limitée, puisqu'il ne permet pas de démoduler les éclusées mais uniquement de soutenir les étiages.

Ces mesures sont à écarter dans la suite de la planification en raison des impacts inacceptables sur l'écosystème du Doubs

7.5.2.5 Dérivation Châtelot-Refrain

La dérivation Châtelot-Biaufond présente un rapport coût-efficacité assez mauvais. Associée au RE2014, elle devient nettement plus intéressante. Son intérêt consiste principalement dans le fait qu'elle est complémentaire au RE2014, puisqu'elle assaini les éclusées dans le tronçon qui reste le plus touché, même avec la mise en application du nouveau règlement d'eau. Cette mesure est toutefois évaluée comme "critique" en raison de son impact sur le débit moyen du cours d'eau, vraisemblablement peu acceptable dans le contexte des objectifs de protection du Doubs. Cet impact très négatif n'est pas compensé par un autre avantage (protection contre les crues, augmentation de production d'énergie, ...). En conséquent, elle ne doit à notre avis pas être retenue pour la suite.

Cette mesure est à écarter dans la suite de la planification en raison des impacts inacceptables sur l'écosystème du Doubs

7.5.2.6 Stockage souterrain

La mesure de stockage souterrain est une mesure très onéreuse et complexe à réaliser mais qui permet d'atteindre un très bon niveau d'assainissement des éclusées du Doubs. À ce stade du projet, elle est maintenue dans la planification comme solution envisageable si les mesures réglementaires (associées à des mesures constructives complémentaires locales) ne sont pas à même d'assurer un niveau d'assainissement suffisant.

Cette mesure est à conserver pour la suite de la planification

7.5.2.1 Exploitation "au fil de l'eau"

Cette mesure reste la meilleure en termes d'efficacité d'assainissement des éclusées pour un coût très inférieure à la solution de stockage souterrain. L'évaluation financière reste toutefois très incertaine puisqu'elle dépend principalement de l'évolution du marché de l'électricité durant les 40 prochaines années. Comme toute mesure d'exploitation, elle ne peut être mise en œuvre qu'avec l'accord des exploitants. Avec cette mesure, les exploitants perdraient en grande partie leur flexibilité de production.

Cette mesure est à conserver pour la suite de la planification

7.7 Conclusions

Au terme de cette analyse, plusieurs mesures ont été écartées en raison de leurs impacts négatifs trop conséquents sur l'écosystème du Doubs. Il s'agit des mesures de stockage de surface ainsi que des mesures de dérivation du cours d'eau. D'autres mesures ont été classées dans les "mesures complémentaires", car leur intérêt est principalement local.

Les trois mesures qui possèdent les caractéristiques permettant de répondre durablement et globalement à la nécessité d'assainir les éclusées du Doubs sont les suivantes:

1. Le règlement d'eau, qui n'est pas suffisant en l'état, mais devrait encore pouvoir être optimisé et amélioré par des mesures complémentaires. Cette mesure possède les deux inconvénients suivants :
 - Son optimisation ne pourra se faire qu'avec l'accord des exploitants, car il s'agit d'une mesure d'exploitation.
 - Même après optimisation et avec la mise en œuvre de mesures complémentaires, il n'est pas certain qu'il soit suffisant pour atteindre un état écologique satisfaisant. En effet, des échouages ont été constatés même sur de petits événements d'éclusées, ce qui semble montrer que le Doubs est un milieu particulièrement sensible aux éclusées.
2. Le stockage en caverne est une solution lourde et onéreuse. C'est une solution à envisager s'il s'avère que l'optimisation du règlement d'eau amélioré par des mesures complémentaires s'avère n'être pas suffisante.
3. Le turbinage "au fil de l'eau" est certainement la meilleure solution pour l'écosystème du Doubs. Il s'agit néanmoins d'une contrainte très lourde pour les exploitants mais cette solution devra être mise en balance avec la solution de "stockage en caverne" s'il s'avère que la mise en œuvre du règlement d'eau optimisé et couplé aux mesures complémentaires n'est pas suffisante.

7.8 Réflexions complémentaires

7.8.1 Gestion des événements extraordinaires

Actuellement les impacts des trois aménagements du Doubs sur la faune piscicole sont provoqués par divers types d'évènements, qui peuvent être classés dans trois catégories différentes :

- Les éclusées
- La baisse de débit en fin de crue ou le week-end
- Les arrêts extraordinaires (panne ou arrêts programmés)

Ces dernières années, les arrêts extraordinaires ont provoqués à plusieurs reprises des dégâts parfois conséquents sur l'écosystème. Pourtant, le règlement d'eau ne prévoit aucune contrainte de procédure par rapport à ces arrêts programmés, si ce n'est le principe de "limiter les dommages environnementaux et la mortalité piscicole". Pour réduire les impacts des arrêts extraordinaires, deux pistes de réflexion devraient être menées :

- Solution d'exploitation : intégrer au règlement d'eau des contraintes pour les arrêts programmés (périodes autorisées, vitesse d'arrêt des turbines, ...)

- Solution constructive : construction d'un by-pass dans les usines permettant de maintenir un débit suffisant en aval durant l'arrêt des turbines.

Les arrêts extraordinaires ne sont pas des éclusées mais leur impact sur le milieu résulte indirectement de la gestion par éclusée. Cette problématique pourrait donc également être intégrée à l'assainissement des éclusées.

7.8.2 Piste d'amélioration du règlement d'eau 2014

Cette étude nous amène à proposer quelques pistes d'optimisation du règlement d'eau, qu'il serait à notre avis important d'étudier plus en détail :

- Réflexion sur la variation des débits planchers en aval du Refrain et de la Goule. Durant certaines périodes hivernales (frai), il serait peut-être préférable d'éviter de maintenir un débit plancher trop élevé pour éviter l'installation de frayère sur des surfaces qui seront ensuite mises à sec par les éclusées.
- Pour améliorer la situation en aval du Châtelot, tronçon qui reste le plus gravement atteint, il serait intéressant d'étudier la possibilité de réduire le gradient de descente pour les petits débits ($< 10 \text{ m}^3/\text{s}$) à la fin des crues mais également à la fin des éclusées (cette mesure implique la construction de la petite turbine au Châtelot).
- Intégrer des contraintes sur la gestion des arrêts programmés (période autorisée, vitesse d'arrêt des turbines, ...)
- Lors des phases d'émergence et de développement des alevins de salmonidés et dans des conditions hydrologiques précises tels qu'étiages en particuliers, une solution permettant d'éviter les échouages et piégeages piscicoles consisterait à interdire temporairement les éclusées au Châtelot au profit d'un turbinage au fils de l'eau.

7.9 Planification

7.9.1 Synthèse et délais

Le tableau ci-dessous synthétise les mesures retenues à ce stade de la planification de l'assainissement des éclusées du Doubs et les délais de planification prévus :

Installation	Mesure	Priorité	Délai de planification	Délai de réalisation	Coût estimatif	Coût total
Phase 1						
Châtelot + Refrain + Goule	Règlement d'eau 2014	1	-	- (en service)	12.3 mio CHF (sur 40 ans)	40 à 50 mio CHF
	Installation d'une mini-turbine au Châtelot	1	2016	2018	5.3 mio CHF	
	Réaménagement de la restitution du Refrain	1	2016	2018	1 - 10 mio CHF	
	Mesures morphologiques locales	1	2016	2020	1 - 5 mio CHF	
	Suivi du RE2014 (monitoring)	1	2015	2015 - 2020	1 mio CHF	
	Augmentation du débit plancher au Châtelot	2	2020	2022	7 mio CHF (sur 40 ans)	
	Adaptation du règlement d'eau	2	2020	2022	12 mio CHF (sur 40 ans)	
Phase 2 (si nécessaire)						
Châtelot + Refrain + Goule	Stockage souterrain	3	2020	2030	280 mio CHF	128 à 280 mio CHF
	Exploitation "au fil de l'eau"	3	2025	2030	128 mio CHF	

Tableau 38 Synthèse de la planification des mesures d'assainissement (mesures, priorité, délais et coût estimatif)

7.9.2 Coordinations

7.9.2.1 Coordination intercantonale

La présente étude a été mandatée par les deux cantons concernés par le Doubs, soit les cantons de Neuchâtel et du Jura. L'OFEV et l'OFEN ont également été associés au groupe de travail accompagnant l'élaboration de ce rapport final d'assainissement des éclusées du Doubs.

7.9.2.2 Information aux exploitants

Des contacts avec les exploitants ont été pris à plusieurs reprises au cours de l'élaboration de cette étude. Deux séances d'information ont été organisées aux mois de mars et de juin 2015 pour leur présenter l'avancée du projet.

7.9.2.3 Coordination internationale

Les autorités françaises ont été informées de la démarche de planification d'assainissement des cours d'eau entrepris dans le cadre légal suisse. Ils ont été intégrés à plusieurs séances de discussion, aux mois de février, mars et juin 2015.

7.9.2.4 Coordination inter-domaines

Le tableau ci-dessous rappelle les décisions d'assainissement des domaines "migration piscicole" et "charriage", pour les installations traités dans le présent rapport :

Installation	Migration piscicole		Charriage
	Montaison	Dévalaison	
Châtelot	Décision reportée	Décision reportée	-
Le Refrain	Décision reportée	Décision reportée	À assainir par mesure d'exploitation (gravier à l'aval)
La Goule	À assainir	À assainir	À assainir par mesure d'exploitation (gravier à l'aval)
(La Rasse)	À assainir	Pas d'obstacle	À assainir par mesure constructive (dérasement)

Tableau 39 Décision d'assainissement "migration piscicole" et "charriage"

Les synergies et conflits potentiels entre les différents domaines de l'assainissement ont été pris en compte dans l'évaluation multicritères des mesures d'assainissement.

7.9.2.5 Coordination revitalisation

La planification concernant la revitalisation des cours d'eau du canton de Neuchâtel n'intègre aucun tronçon situé sur le Doubs. Dans le Jura, on trouve un petit secteur dans la région de St-Ursanne (en bleu sur la carte ci-dessous) :

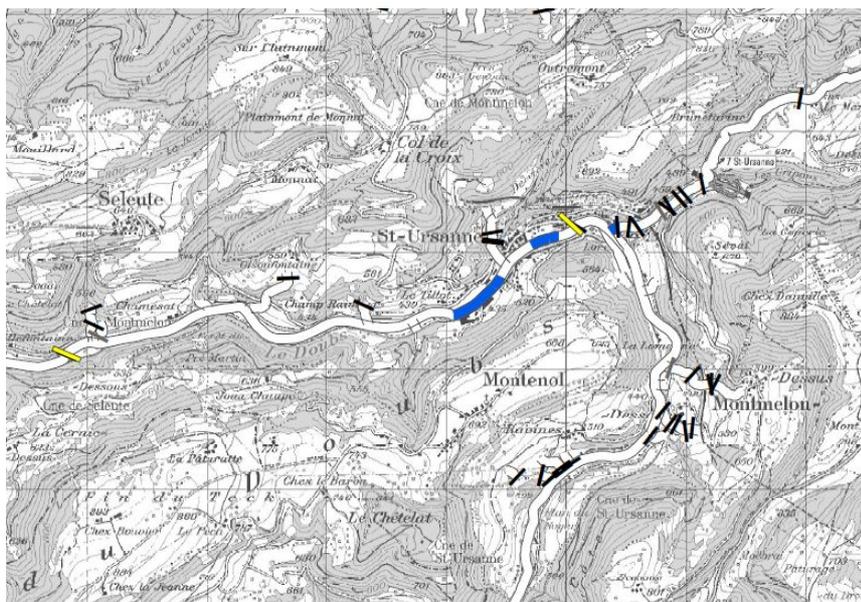


Figure 34 Tronçons du Doubs concernés par la planification "revitalisation"

7.9.2.6 Coordination protection contre les crues

Les impacts positifs ou négatifs des mesures d'assainissement sur la protection contre les crues ont été traités dans l'analyse multicritères de variantes d'assainissement.

8 SYNTHÈSE ET PERSPECTIVES

Sur le Doubs binational et suisse, trois aménagements (Le Châtelot, le Refrain et la Goule) forment en cascade un système complexe de gestion des débits par éclusée. Principalement influencé par le Châtelot, ce système porte, dans l'état initial, des atteintes graves au cours d'eau. Les effets du turbinage par éclusées sont perceptibles sur un linéaire qui va bien au-delà des tronçons concessionnés, jusqu'au barrage de Vaufrey en France.

Même si le principal responsable de l'atteinte grave est l'installation amont (Le Châtelot), les aménagements situés à l'aval n'ont pas été écartés de la planification car ils portent une part de responsabilité dans les atteintes subies par le cours d'eau. Le présent rapport d'assainissement des éclusées sur le Doubs conclut à la nécessité d'assainir les centrales du Châtelot, du Refrain et de la Goule. Pour la définition des mesures d'assainissement, les trois aménagements sont considérés comme faisant partie du même système à assainir.

Mis en œuvre depuis quelques mois, le règlement d'eau 2014 a apporté une amélioration sensible en termes d'intensité et de fréquence des éclusées sur tous les tronçons touchés par les éclusées. Du point de vue hydraulique, la situation des éclusées mesurées durant l'année 2014 peut pratiquement être qualifiée "d'assainie" en aval du Refrain grâce à la démodulation réalisée par la retenue de Biaufond.

Les principaux problèmes persistants depuis la mise en œuvre du RE2014 sont les suivants :

- La situation reste mauvaise sur le tronçon T2 (depuis l'usine du Châtelot jusqu'à la retenue de Biaufond).
- Des échouages sont toujours observés sur l'ensemble des tronçons touchés par les éclusées, même en aval du Refrain où les indicateurs hydrauliques sont bons. Les données disponibles sont encore insuffisantes pour comprendre l'importance relative et les interactions des facteurs influençant ces échouages.
- Sur l'ensemble des tronçons subsistent de gros événements appelés "éclusées-aigües", provoqués par des éclusées non démodulables, des arrêts ou pannes des installations. Ces événements sont en partie responsables des échouages observés.

Ces constatations nous amènent à évaluer que le RE2014 ne permet pas un assainissement suffisant des éclusées du Doubs, même en aval du Refrain. Cette évaluation devra être confirmée par le monitoring prévu pour accompagner le suivi d'efficacité du règlement d'eau.

La planification cantonale d'assainissement des éclusées propose de poursuivre les efforts entamés avec la mise en action du nouveau règlement d'eau. Les deux axes principaux sont :

- 1) Mise en œuvre rapide de mesures constructives complémentaires, qui permettront de régler des problèmes particuliers et locaux, qui sont pour la plupart bien identifiés.
- 2) Optimisation du RE2014 sur la base des résultats d'un monitoring. Les principales pistes d'améliorations identifiées à ce stade sont : l'augmentation du débit plancher au Châtelot durant certaines périodes sensibles de l'année, l'établissement de contraintes pour procéder à des arrêts programmés.

S'il s'avère que ces mesures ne sont pas suffisantes pour atteindre un niveau d'assainissement suffisant, il faudra envisager dans un second temps des solutions plus conséquentes pour permettre d'assainir les éclusées de ce cours d'eau d'exception, dont la biodiversité est unique et une des plus riches du pays. Les solutions envisageables sont : un stockage souterrain (complexe, lourd et très onéreux) ou le passage à une exploitation au fil de l'eau.