

Assainissement du régime de charriage Planification stratégique - Bassin versant du Doubs

Rapport final



Berne et Zurich, 15.11.14

Impressum

Titre du projet	Planification stratégique dans la République et Canton du Jura et la République et Canton de Neuchâtel de l'assainissement du régime de charriage pour le bassin versant du Doubs.
Mandant	République et Canton du Jura (RCJU) Office de l'environnement Chemin du Bel'Oiseau 12, 2882 Saint-Ursanne République et Canton de Neuchâtel (RCNE) Service de l'énergie et de l'environnement Rue J.-L.-Pourtalès 13, 2000 Neuchâtel
Mandataire	Flussbau AG SAH, Schwarztorstrasse 7, 3007 Bern
Élaboration	U. Schälchli, Dr. sc. techn., dipl. Kulturing. ETH L. Hunzinger, Dr. sc. techn., dipl. Kulturing. ETH S. Geisser, ing. env. dipl. EPF
Traduction	L. Auberson, Schaffhausen
Titre du document	Assainissement du régime de charriage Planification stratégique – Bassin versant du Doubs Rapport final
Date du document	15.11.14
Version	v2.2 – version définitive

Table des matières

1	Résumé.....	1
2	Introduction	5
2.1	Mandat	5
2.2	Objectifs	5
2.3	Données de base	6
2.3.1	Bases générales	6
2.3.2	Bases hydrologiques.....	6
2.3.3	Cartes et géodonnées.....	6
2.3.4	Géométrie du lit et exploitation des ouvrages	7
2.3.5	Information par téléphone ou par e-mail	8
2.4	Géodonnées	8
2.5	Définitions	8
2.6	Importance du régime de charriage	8
3	Procédure	11
4	Réseau hydrographique et installations.....	17
4.1	Réseau hydrographique.....	17
4.2	Installations	18
5	Morphologie du Doubs et importance du régime de charriage	21
5.1	Aperçu.....	21
5.2	Etat actuel	27
6	Les installations sur les affluents	31
6.1	République et canton de Neuchâtel.....	31
6.1.1	Installations sur Le Bied du Locle / La Rançonnière.....	31
6.1.2	Installation sur le petit affluent du Doubs en aval de La Rasse	33
6.1.3	Installation sur La Ronde	33
6.2	République et canton du Jura	34
6.3	Aménagement des cours d'eaux	36
7	Installations sur le Doubs.....	37
7.1	Barrage du Châtelot.....	37
7.2	La Rasse.....	39
7.2.1	Description de l'installation.....	39

7.2.2	Calculs hydrauliques	41
7.3	Le Refrain	46
7.3.1	Description de l'installation	46
7.3.2	Calculs hydrauliques	48
7.4	La Goule	53
7.4.1	Description de l'installation	53
7.4.2	Calculs hydrauliques	55
7.5	Le Theusseret	62
7.5.1	Description de l'installation	62
7.5.2	Calculs hydrauliques	64
7.6	Moulin du Plain	69
7.7	Moulin Jeannottat	73
7.8	Moulin Grillon	75
7.9	Bellefontaine	79
7.10	Moulin d'Ocourt	83
7.11	Aménagement des cours d'eau	87
8	Liste des installations évaluées	89
9	Charriage dans le Doubs	91
9.1	Origine des matériaux charriés	91
9.2	Charriage à l'état non altéré et actuel	94
9.3	Atteinte au régime de charriage	97
9.4	Débit solide nécessaire	97
10	Potentiel écologique	101
10.1	Procédure	101
10.2	Evaluation	101
10.2.1	Potentiel écologique	101
10.2.2	Importance du régime de charriage	102
11	Planification des mesures	103
11.1	Mesures sur les affluents	103
11.1.1	République et canton de Neuchâtel	103
11.1.2	République et canton du Jura	103
11.2	Mesures sur le Doubs	106
11.2.1	Principes et situation de départ	106

11.2.2	Conception des mesures	106
11.2.3	Mesures	109
11.2.4	Profil longitudinal de la charge de matériaux charriés avec les mesures proposées ...	115
11.2.5	Investigations supplémentaires.....	117
11.2.6	Coordination avec d'autres mesures	118
11.3	Impact sur les usines hydroélectriques.....	119

Annexes

Annexe 1 Les installations le long des affluents dans la République et Canton de Neuchâtel

Annexe 2 Les installations le long des affluents dans la République et Canton du Jura

Annexe 3 Importance du régime de charriage, échelle 1:200'000

Annexe 4 Potentiel écologique dans la République et Canton de Neuchâtel

Annexe 5 Potentiel écologique dans la République et Canton du Jura

Cartes

Carte 1 Degré d'atteinte du régime de charriage, périmètre sud, échelle 1:50'000

Carte 2 Degré d'atteinte du régime de charriage, périmètre nord, échelle 1:50'000

1 Résumé

Situation initiale

Le 1^{er} janvier 2011 sont entrées en vigueur diverses modifications de la loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux, RS 814.20) qui ont pour but d'améliorer la qualité des eaux superficielles. La LEaux contient notamment une nouvelle directive en vertu de laquelle le régime de charriage d'un cours d'eau ne doit pas être modifié par des installations (usines hydro-électriques, dépotoirs à alluvions, etc.) au point de porter gravement atteinte à la faune et à la flore indigènes et à leur biotope, au régime des eaux souterraines et à la protection contre les crues. L'art. 83 LEaux oblige les détenteurs des installations concernées à prendre les mesures d'assainissement nécessaires jusqu'à la fin 2030. L'art. 83b LEaux charge les cantons de planifier les mesures en question pour les installations qui se trouvent sur leur territoire et de remettre leur planification à la Confédération jusqu'à la fin 2014. C'est conformément à cette mission légale que les cantons de Neuchâtel et du Jura soumettent le présent rapport « Assainissement du régime de charriage. Planification stratégique ».

Mandat

L'entreprise Flussbau AG SAH, sur mandat des deux cantons, a examiné les installations existantes conformément aux recommandations du document d'aide à l'exécution « Assainissement du régime de charriage – Planification stratégique » de l'Office fédéral de l'environnement, et formulé des recommandations pour la mise en œuvre des mesures.

Rapport final

Le rapport final sur la planification stratégique « Assainissement du régime de charriage » doit être remis pour prise de position à l'OFEV jusqu'au 31 décembre 2014. Il constitue, avec les remarques formulées par les services de la Confédération, la base pour la suite de la procédure (investigations complémentaires, promulgation de mesures d'assainissement).

Cours d'eau cibles

Le principal cours d'eau cibles est le Doubs. Tous ses affluents en aval des installations et les autres affluents ayant une importance pour le charriage ont été inclus dans l'étude.

Affluents dans le canton de Neuchâtel

Dans le canton de Neuchâtel, il y a six installations sur les affluents ; trois d'entre elles (dépotoirs à alluvions) portent gravement atteinte au régime de charriage.

Comme les cours d'eau en aval ont été mis sous terre, aucune mesure d'assainissement n'est nécessaire. Si le Bied du Locle est remis à ciel ouvert en aval de l'installation NE71, il faut démonter le dépotoir à alluvions ou faire en sorte qu'il laisse passer les matériaux charriés.

Affluents dans le canton du Jura Dans le canton du Jura, il existe onze installations sur les affluents ; cinq d'entre elles portent gravement atteinte au régime de charriage et des mesures d'assainissement doivent être envisagées.

Sur le bief de Vautenaivre (inst. n° 403), il ne faut plus prélever des alluvions du dépotoir. On peut aussi démanteler la barrière à sédiments.

Il ne faut pas prélever de gravier du ruisseau des Moulins ou alors, le cas échéant, les déverser à l'embouchure dans le Doubs (inst. n° 210b). En cas de revitalisation, il faut veiller à ce que les sédiments puissent être transportés jusque dans le Doubs.

Sur le ruisseau des Rosés, vers les deux petites grilles de retenue des bois flottants (inst. n°s 410 et 411), il convient d'enlever quelques barres des grilles pour améliorer le passage des matériaux charriés.

Il ne faut pas prélever des alluvions du dépotoir du Chaudiron (inst. n° 413) ou alors, le cas échéant, les déverser à l'embouchure dans le Doubs.

Doubs

Les barrages du Châtelot, de la Rasse, du Refrain, de la Goule et du Theusseret interrompent le charriage des sédiments et portent gravement atteinte au régime de charriage.

Des mesures d'assainissement sur les installations du Châtelot et de la Goule ne seraient pas proportionnées par rapport à l'impact écologique escompté.

Pour l'assainissement du régime de charriage, les mesures suivantes sont proposées :

D1: apport de gravier en aval du barrage du Theusseret (\emptyset 800 m³/a). En cas de démolition du barrage du Theusseret, il est possible de procéder à l'apport de gravier en aval du barrage de la Goule et de réduire légèrement la quantité de matériau à déverser.

D2: barrage du Theusseret : démantèlement ou remplacement du déversoir par une installation de régulation (permettant le passage des matériaux charriés).

D3: apport de gravier en aval du barrage du Refrain (\emptyset 400 m³/a). Avant tout déversement, il est recommandé d'attendre les effets de la mesure D1.

D4: démantèlement des seuils de la Rasse. Auparavant, des investigations complémentaires sont nécessaires (il n'est pas possible de porter une appréciation catégorique sur la proportionnalité de la mesure).

Coordination avec d'autres mesures de protection des biotopes Les mesures d'assainissement du régime de charriage sont en très étroite interaction avec d'autres mesures de protection des biotopes :

Planification de la revitalisation des cours d'eau : des tronçons naturels sont indispensables pour permettre le dépôt et le transport des matériaux et la formation de bancs de gravier meubles. Avec la suppression des retenues de la Rasse et du Theusseret, il serait possible de rétablir au total 6,5 km (soit environ 10 %) du cours du Doubs en cours d'eau naturel et de le revitaliser sur une grande échelle.

Migration des poissons : le démontage des retenues de la Rasse et du Theusseret permettrait la remontée des poissons.

Eclusées : les mesures d'assainissement du régime de charriage ne peuvent produire tous leurs effets que si le débit d'écluse est ramené à un niveau supportable. Pour ce qui concerne le régime de charriage, il convient en particulier de veiller à ce qu'il n'y ait pas de charriage durant les pointes de débit d'écluse.

2 Introduction

2.1 Mandat

La révision de la loi sur la protection des eaux entrée en vigueur le 1^{er} janvier 2011 oblige les cantons à examiner l'impact des installations hydrauliques sur le régime de charriage des cours d'eau. En vertu de l'article 43a de la loi, le régime de charriage d'un cours d'eau ne doit pas être modifié par des installations au point de porter gravement atteinte à la faune et à la flore indigènes et à leurs biotopes, au régime des eaux souterraines et à la protection contre les crues. Les détenteurs des centrales hydroélectriques existantes et des autres installations sont tenus de prendre les mesures d'assainissement nécessaires dans les vingt ans suivant l'entrée en vigueur de cette disposition, selon les directives de l'article 43a (art. 83a, LEaux).

Selon l'article 42a de l'ordonnance sur la protection des eaux (OEaux), une modification du régime de charriage porte gravement atteinte à la faune et à la flore indigènes et à leurs biotopes lorsque des installations telles que des centrales hydroélectriques, des sites d'extraction de gravier, des dépotoirs à alluvions ou des aménagements modifient durablement les structures morphologiques ou la dynamique morphologique des eaux.

Le présent rapport a pour objet l'assainissement du régime de charriage dans le bassin versant du Doubs entre le lac des Brenets et Ocourt (frontière CH/F).

2.2 Objectifs

Conformément à l'ordonnance sur la protection des eaux, le rapport finale doit viser les objectifs suivants :

- a. définition des tronçons de cours d'eau où la modification du régime de charriage porte gravement atteinte à la faune et à la flore indigènes et à leurs biotopes, au régime des eaux souterraines et à la protection contre les crues.
- b. évaluation du potentiel écologique des tronçons de cours d'eau gravement atteints ainsi que du degré d'atteinte.
- c. établissement d'une liste de toutes les centrales hydroélectriques sur les tronçons gravement atteints ainsi que des autres installations causant des atteintes graves sur les tronçons de cours d'eau définis sous le point a.
- d. établissement d'une liste des installations dont les détenteurs devront probablement prendre des mesures d'assainissement, avec des indications sur la faisabilité de ces mesures et sur leur coordination dans le bassin versant.
- e. indication des délais (planification, mise en œuvre) et dispositions particulières applicables aux installations pour lesquelles la nécessité d'assainissement ne peut pas encore être établie définitivement.

2.3 Données de base

2.3.1 Bases générales

- [1] Schälchli U., Kirchhofer A. (2012) : Assainissement du régime de charriage – Planification stratégique. Un module de l'aide à l'exécution Renaturation des eaux. Office fédéral de l'environnement, Berne.
- [2] Graf Ch., Baumgartner M., Helb U. (2012) : Géodonnées de base du droit de l'environnement, Modèle de géodonnées minimal, version provisoire 1.0 du 19.09.2012, Berne.
- [3] Flussbau AG SAH sur mandat de CCDN (2010) : Transport solide dans le Doubs entre le Lac de Biaufond et Ocourt, Expertise Fluviale.

2.3.2 Bases hydrologiques

- [4] Office fédéral de l'environnement, division hydrologie (2012) : Statistique des crues, paramètres statistiques (diagrammes) des stations
 - LH2210 Doubs – Ocourt
 - LH2247 Doubs – Sortie du lac des Brenets
 - LH2270 Doubs – Combe des Sarrasins
 - LH2370 Doubs – Le Noirmont, la Goule.
- [5] Office fédéral de l'environnement, division hydrologie (2012) : Données annuelles des stations
 - LH2210 Doubs – Ocourt
 - LH2247 Doubs – Sortie du lac des Brenets
 - LH2270 Doubs – Combe des Sarrasins
 - LH2370 Doubs – Le Noirmont, la Goule.

2.3.3 Cartes et géodonnées

- [6] Carte Nationale 1:25'000 du Canton du Jura (2011), CP25©2005 Swisstopo (5704000640).
- [7] Carte Nationale 1:25'000 du Canton de Neuchâtel (2011), CP25 – Swisstopo © 2013.
- [8] Cartes Siegfried du Canton du Jura (1870, 1900, 1915 et 1930), Swisstopo.
- [9] Réseau hydrographique, RCJU, SCG.
- [10] Limite cantonale du Jura, RCJU, SCG.
- [11] Limites communales du Jura, RCJU, SCG.
- [12] Revitalisation des cours d'eau, Planification stratégique, Rapport final, 1410.2014, Natura sur mandat de RCJU.
 - Extrait du rapport : Potentiel édologique et importance pour le paysage, démarche méthodologique
 - Annexe 2 : Potentiel écologique et importance paysagère, 1 :50'000
 - Annexe 4 : Priorités dans le temps pour les 20 prochaines années, 1 :50'000

- [13] Planification stratégique de la revitalisation – Neuchâtel, rapport final, 2014, Natura sur mandat de RCNE :
- Annexe 4 : Note technique
 - Extrait du rapport : Potentiel édologique, démarche méthodologique et résultats
 - Potentiel écologique

2.3.4 Géométrie du lit et exploitation des ouvrages

- [14] Profils en travers du Doubs, Clairbief à la Motte, 2008, OFEV.
- [15] Profils en travers du Doubs, près des installations divers (2013), EPTB Saône et Doubs / Teleos
- Moulin du Plain (No 132)
 - La Rasse (No 133)
 - Le Theusseret (No 112)
- [16] Analyses bathymétriques sur la retenue de la Goule (Doubs), -dossier n° 14-805, Bathytex Sàrl, Therrens, état juin 2014
- Rapport v1.0
 - Carte bathymétrique et situation des profils en travers, échelle 1:1'000
 - Profondeur (m) sous le niveau du déversoir, échelle 1:5'000
 - Liste xyz des points bathymétriques
- [17] Levé bathymétrique, Retenue du Refrain sur le Doubs, Direction Production Ingénierie EDF, Octobre 2012.
- [18] Profils en travers du Doubs, Commune de Planchettes, 1957, mai 2010 et juillet 2013, groupe e.
- [19] PCH de Bellefontaine : seuil sur le Doubs, Relevé de l'état existant, Situations et coupes, 21.11.2013, sol-E suisse sur mandat de RCJU / Commune du Clos du Doubs.
- [20] Usine da la Goule, Projet de rehaussement du barrage naturel, mémoire technique inkl. Planbeilagen, H. Juillard im Auftrag der Société des Forces Electriques de la Goule, Berne, novembre 1953.
- [21] Consigne d'exploitation en crue de l'aménagement du Châtelot, 16.06.2004, Société des Forces Motrices du Châtelot.
- [22] Consigne générale d'évacuation des crues de l'aménagement du Châtelot, 16.06.2005, Société des Forces Motrices du Châtelot.
- [23] Détermination des solutions techniques pour la restauration de la continuité écologique au niveau de quatre ouvrages transversaux sur le Doubs franco-suisse, Teleos, rapport final, juillet 2014.
- [24] Formulaire d'expertise CCDN du sinistre « Moulin de Soubey : entretien du piège à gravier – Erosions des bordures du piège et d'un chemin », juin 2007.

2.3.5 Information par téléphone ou par e-mail

- [25] Géométrie du seuil à Moulin Grillon, données par e-mail du 10.12.2013, Antoine Magnollay, BG Ingénieurs Conseils SA.
- [26] Géométrie du seuil Moulin du Doubs à Ocourt, données par e-mail du 26.11.2013, Stéphanie Escalier, ADEV Energiegenossenschaft.
- [27] Informations concernant la géométrie du barrage ainsi que les manœuvres, divers extraits de plans, données par e-mail 15.11.2013, G. Schappler, Unité Production Est.
- [28] Projets de protection contre les crues et de revitalisation sur le Doubs et ses affluents neuchâtois, informations par e-mail 30.09.2014, Elisenda Bardina, SPCH RCNE.
- [29] Conflits avec les zones de protection des eaux souterraines, informations par e-mail 03.10.2014, Isabelle Butty, Cheffe de la section Eau et Sol, SENE RCNE.
- [30] Conflits avec les zones de protection des eaux souterraines, fichier excel, e-mail du 01.10.2014, Jean Fernex, eaux souterraines / zones de protection, ENV RCJU.
- [31] Projets de protection contre les crues (déficits et projets), plan et fichier excel, e-mail du 01.10.2014, Andrea Pedrazzini, responsable des dangers naturels, ENV RCJU.

2.4 Géodonnées

Pour le rapport final, les géodonnées sont préparées et remises selon les exigences du Modèle de géodonnées minimal [2]. En outre, les cartes sont transmises en format pdf.

Les autres données techniques seront également fournies aux mandants sous forme électronique.

2.5 Définitions

Par matériaux charriés, on entend la part de matières solides que le courant transporte vers l'aval par roulement, par glissement ou par saut sur le fond de la rivière (granulométrie \geq env. 2 mm).

Par sédiments fins, on entend la part de matières solides transportée en suspension dans le cours d'eau (granulométrie $<$ env. 2 mm).

Les bancs de graviers dans les rivières et les ruisseaux se composent en moyenne de 90% de gravier et de pierres (matériaux charriés) et de 10% de sable, de limon et d'argile (sédiments fins).

2.6 Importance du régime de charriage

Importance écomorphologique du régime de charriage

Le régime de charriage d'un cours d'eau remplit diverses fonctions morphologiques et écologiques :

- régénération du substrat, et par là du biotope des larves d'insectes, des algues et des bactéries
- régénération du substrat permettant la reproduction des poissons frayant dans les graviers
- effet d'autonettoyage du cours d'eau par suite de

	<p>l'agrandissement de la surface et l'augmentation du flux interstitiel</p> <ul style="list-style-type: none"> • régénération des bancs de gravier et par là préservation de la morphologie naturelle, et obstacle à la dégradation du cours d'eau par creusement d'un chenal à fond pavé et colmaté. • aspect paysager et détente.
Protection contre les crues et risques	<p>L'atterrissement ou l'érosion du fond peuvent porter atteinte à la protection contre les crues :</p> <ul style="list-style-type: none"> • les atterrissements entraînent une élévation du niveau des hautes eaux et de ce fait à des débordements même lors de faibles crues • l'érosion du fond entraîne un affouillement des renforcements du lit et des rives, qui sont ainsi endommagés, voire détruits.
Régime des eaux souterraines	<p>Une modification du régime de charriage <i>peut</i> porter atteinte à l'équilibre du régime des eaux souterraines s'il y a baisse du plus bas niveau des eaux souterraines ou élévation de leur plus haut niveau. Mais l'impact possible doit être examiné pour chaque cas en particulier.</p>
Impact d'un assainissement sur le régime de charriage	<p>L'assainissement du régime de charriage d'un cours d'eau entraîne la formation de dépôts de graviers et de bancs, ce qui est l'effet recherché. Ces dépôts annulent les effets de la dégradation du cours d'eau par l'action anthropique dans le passé.</p> <p>Chaque alluvionnement provoque une élévation du niveau des hautes eaux (notamment lorsque le rehaussement du fond ne peut pas être compensé par une plus grande largeur). Ce rehaussement, généralement faible et de l'ordre du centimètre ou du décimètre, compense l'abaissement (faible également) du niveau des hautes eaux antérieurement provoqué par la vidange du chenal ou la réduction de la pente, et doit être toléré.</p> <p>La formation d'un banc de gravier ne doit donc pas être assimilée à un atterrissement de fond de cours d'eau, en particulier lorsqu'il s'agit d'un banc morphologique, par ex. sur la rive convexe d'un méandre ou dans un élargissement.</p>
Protection contre les crues	<p>La protection contre les crues doit être assurée. L'assainissement du régime de charriage entraîne généralement, comme cela a déjà été observé, un léger relèvement du niveau des hautes eaux, de l'ordre du centimètre ou du décimètre. Si cette élévation ne peut être tolérée, il convient d'envisager des mesures d'accompagnement pour assurer la protection contre les crues (abaissement des seuils, rehaussement des lignes de rivage, élargissement du chenal, etc.)</p>
Projets de protection contre les crues	<p>Par principe, les projets de protection contre les crues ne doivent pas se fonder sur un fond de cours d'eau abaissé artificiellement, qui</p>

cause une atteinte grave au régime du charriage. Un transport par charriage sans restrictions doit être visé si possible.

Atterrissement du fond

L'assainissement du régime de charriage peut devenir problématique lorsqu'il se forme des dépôts couvrant le fond et étendus dans le sens du courant. C'est le cas lorsque l'apport de matériaux charriés est supérieur à la charge transportable.

3 Procédure méthodologique

La procédure est conforme au module d'aide à l'exécution de l'OFEV [1] (Image 3.1 et Image 3.2). En conséquence, elle comprend les étapes suivantes :

Etapes 1 – 4

Appréciation sommaire

L'appréciation sommaire porte sur toutes les installations :

- Recensement des installations, collecte des données significatives et visite des installations.
- Examen de la morphologie et du régime de charriage en amont et en aval des installations
- Estimation sommaire des matériaux charriés par le cours d'eau. Répartition en classes selon la charge de matériaux de charriage (en $[m^3/km^2/a]$) :

très élevée	> 400
élevée	121 - 400
moyenne	31 - 120
faible	6 – 30
très faible	1 – 5
négligeable	< 1

Dans le Jura, le charriage est nettement moins important que dans les cours d'eau des Alpes, et les classes « faible » à « négligeable » y sont les plus représentées.

- Détermination de l'**importance du régime de charriage** en fonction du volume de matériaux charriés et du potentiel écologique (matrice d'appréciation Image 3.3). Le **potentiel écologique** est repris de la planification de la revitalisation [12], [13].
- Estimation du degré d'atteinte et mise en évidence d'éventuelles graves atteintes au régime de charriage en aval des installations.

L'appréciation de l'impact sur la protection contre les crues et le régime des eaux souterraines se fait de la manière suivante :

Protection contre les crues : atteinte grave en cas de creusement du fond, ou d'affouillement des seuils et des ouvrages de protections des rives.

Régime des eaux souterraines : appréciation par les services cantonaux compétents. [29] [30]

Le degré d'atteinte se répartit en 5 classes :

aucune atteinte (pas d'impact sur le transport par charriage)

atteinte faible

atteinte moyenne

atteinte importante

atteinte très importante (transport par charriage interrompu)

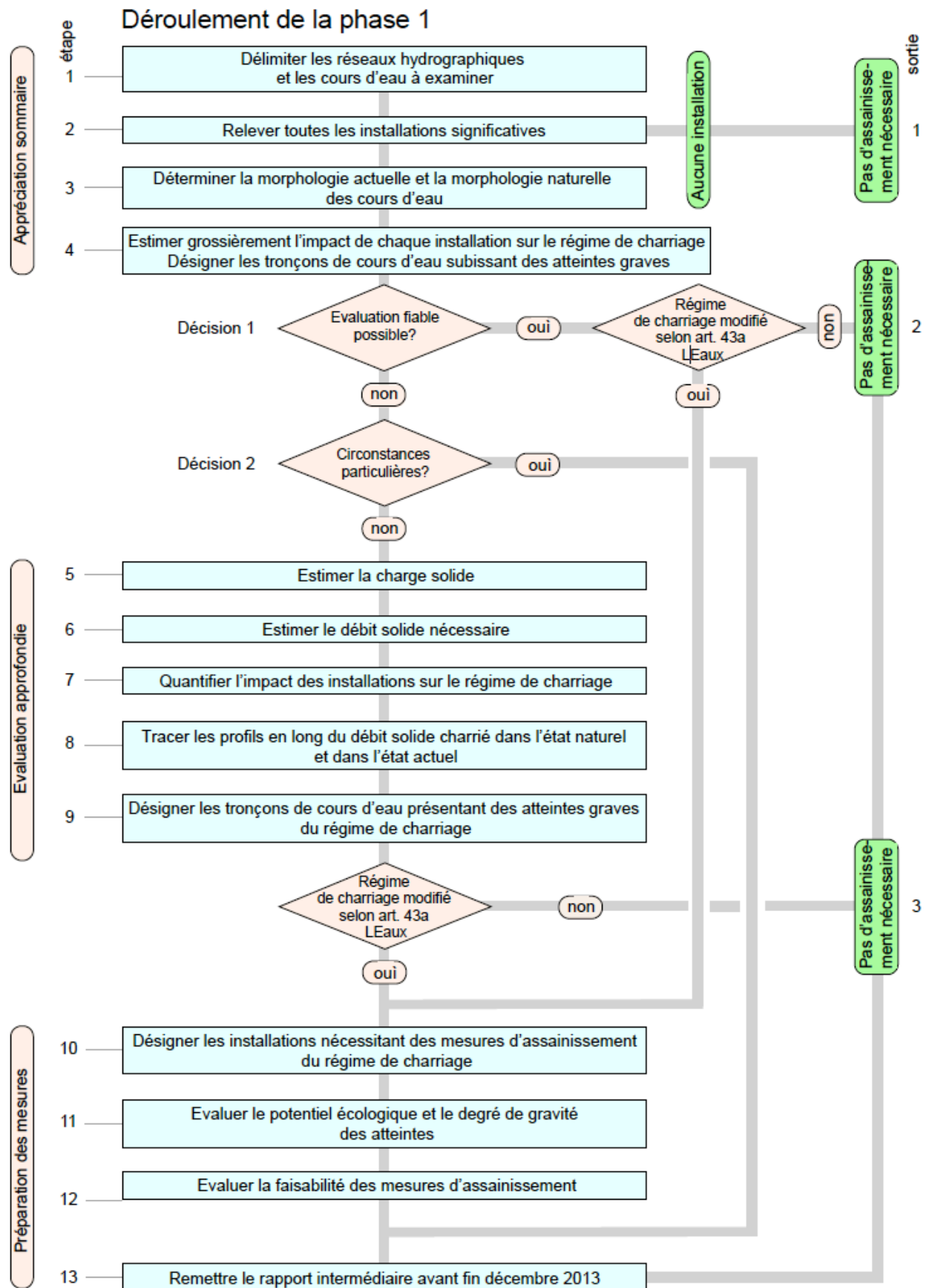


Image 3.1 Schéma du déroulement de la planification stratégique (Phase1) 2.3.1

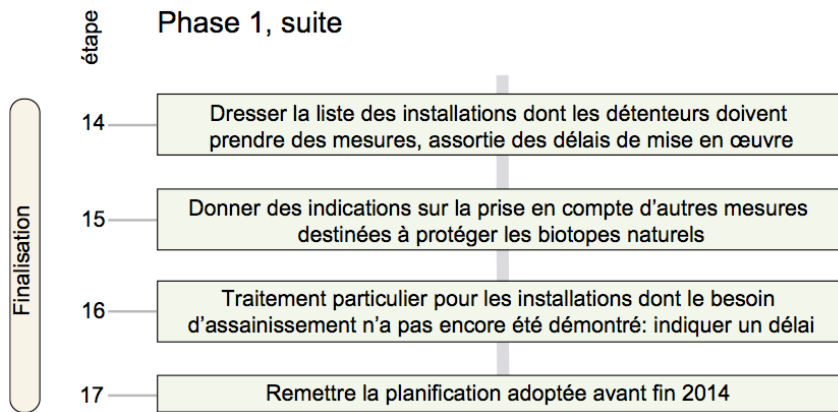


Image 3.2 Schéma du déroulement de la planification de l'assainissement du régime de charriage (partie 2).

Image 3.3 Matrice d'appréciation de l'importance du régime de charriage.

		Potentiel écologique			
		sous terre	faible	moyen	important
Volume de charriage	négligeable	aucun	aucun	aucun	aucun
	très faible/faible	aucun	faible	faible	moyen
	moyen	aucun	faible	moyen	important
	important	aucun	moyen	important	important
	très important	aucun	important	important	important

Étapes 5 – 9
Evaluation approfondie

L'évaluation approfondie est effectuée pour le Doubs, dans la mesure où les bases nécessaires sont disponibles :

- Estimation de la formation des matériaux charriés de tous les affluents significatifs ainsi que du Doubs.
- Des calculs hydrauliques sont effectués dans toutes les installations de barrage où il existe des mesures. Outre le niveau de la surface de l'eau, on calcule la force tractrice unitaire adimensionnelle θ . Si $\theta \geq 0.047$, les matériaux peuvent être transportés. Les calculs montrent à partir de quel débit et à quelle fréquence les matériaux peuvent être transportés à travers la retenue et le barrage en aval. A ce stade, il n'est pas possible de dire si une certaine charge peut être transportée plus loin.

La force tractrice unitaire adimensionnelle θ se calcule à l'aide de la formule

$$\theta = \frac{h J_e}{1.65 d_m}$$

où h = profondeur d'écoulement, J_e = pente (pente de la ligne de charge), d_m = diamètre moyen des matériaux charriés.

- Etablissement d'un profil en long du Doubs dans son état naturel et dans son état actuel.
- Estimation de la charge de matériaux nécessaire pour que le régime de charriage du Doubs ne soit pas altéré.
- Estimation de l'impact des installations sur le Doubs sur le régime de charriage.
- Définition des tronçons de cours d'eau présentant des atteintes graves du régime de charriage.

Etapes 10 – 13

Planification des mesures

La planification des mesures est effectuée pour toutes les installations portant gravement atteinte au régime de charriage :

- Désignation des installations nécessitant des mesures d'assainissement du régime de charriage.
- Mise en évidence du potentiel écologique, de l'importance du régime de charriage pour le réseau hydrographique, et de la gravité des atteintes.
- Proposition des mesures d'assainissement possibles et évaluation de leur faisabilité.
- Conformément aux directives de l'OFEV, les coûts doivent être estimés pour une période de 40 ans. On a défini trois catégories de coûts :

faibles : < 100'000 Fr. (< 2'500 Fr./a)

moyens : 100'000 – 1'000'000 Fr. (2'500 – 25'000 Fr./a)

importants : > 1'000'000 Fr. (> 25'000 Fr./a)

- Appréciation de la faisabilité et de la proportionnalité des mesures d'assainissement (qualitativement : bonne / moyenne / non proportionnée). Toutes les mesures proposées dans le rapport sont techniquement réalisables.

Priorisation des mesures d'assainissement selon la matrice d'appréciation Image 3.4 en fonction de l'importance du régime de charriage dans le cours d'eau et les coûts des mesures. Les priorités ont la signification suivante :

Priorité 1 : mis en œuvre le plus tôt possible (< 5 ans)

Priorité 2 : mise en œuvre à moyen terme (<10 ans)

Priorité 3 : mise en œuvre à long terme (< 20 ans).

Image 3.4
Matrice d'appréciation de la
priorité des mesures
d'assainissement.

		Importance du régime de charriage			
		aucune	faible	moyenne	importante
Coûts	faibles	aucune	2	1	1
	moyens	aucune	3	2	1
	importants	aucune	3	3	2

Étapes 14 - 17

Exécution

Etablissement de la liste des détenteurs des installations qui doivent prendre des mesures d'assainissement du régime de charriage.

Indication des délais de planification et de mise en œuvre des mesures.

Indications sur la prise en compte d'autres mesures de protection des biotopes.

Le cas échéant, réglementation particulière pour les installations où la nécessité d'assainissement ne peut pas encore être définitivement établie (avec indication des délais).

Achèvement du rapport final et planification décidée (y compris la suite de la procédure) jusqu'à la fin 2014.

Installations à examiner

L'ordonnance sur la protection des eaux cite les installations suivantes : centrales hydroélectriques, extractions de gravier, dépotoirs à alluvions et aménagements de cours d'eau.

Les bassins de rétention des crues, les grilles de retenue des bois flottants et d'autres ouvrages de retenue (par exemple réservoirs d'eau pour les pompiers ou centrales hydroélectriques désaffectées) peuvent aussi avoir un impact sur le régime de charriage.

Pour évaluer l'impact d'une installation sur le régime de charriage, il faut établir la proportion entre l'intervention et l'apport naturel de matériaux (au même endroit) et tenir compte de la sensibilité du cours d'eau à une modification du charriage de matériaux.

Centrales hydroélectriques

Pour les centrales hydroélectriques, on examine la capacité de l'installation à laisser passer les matériaux charriés, y compris les retenues, les ouvrages de captage et le tronçon en aval. L'exploitation de l'ouvrage en situation de crue doit aussi être considérée.

Extractions de gravier

Le gravier est examiné quant à son type et à la quantité extraite.

Dépotoirs à alluvions

L'ouvrage est examiné selon sa capacité à laisser passer les matériaux de charriage, et la quantité soutirée est évaluée d'après la capacité de transport de matériaux et la morphologie dans le bief aval.

<i>Grilles de retenue</i>	Les grilles de retenue des bois flottants entraînent souvent une rétention importante et inutile des sédiments. L'évaluation se fait de la même manière que pour les dépotoirs à alluvions.
<i>Bassins de rétention des crues et autres ouvrages de retenue</i>	Les installations doivent être évaluées selon leur capacité à laisser passer ou à retenir les matériaux charriés.
<i>Aménagement de cours d'eau</i>	<p>Les aménagements de cours d'eau font l'objet d'une évaluation s'ils entraînent une réduction de la charge solide. Cela est particulièrement le cas dans les tronçons raides avec une érosion importante du lit et des rives du cours d'eau ou lorsque de hautes terrasses de gravier sont protégées de l'érosion.</p> <p>Pour les cours d'eau se trouvant dans les fonds de vallées sans érosion importante du lit, les aménagements de cours d'eau ne réduisent guère la quantité de matériaux charriés. L'érosion du gravier sur la rive concave est à peu près équivalente à l'alluvionnement sur la rive convexe.</p>

4 Réseau hydrographique et installations

4.1 Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique comprend le Doubs et les nombreux petits affluents latéraux en surface et souterrains. Ce réseau hydrographique long et très étroit avec un chenal principal dominant est unique en son genre en Suisse. Le Tableau 4.1 recense les affluents les plus importants du Doubs.

Tableau 4.1 Affluents importants du Doubs.

Cours d'eau	Embouchure dans le Doubs	Cantons
Bied du Locle / Rançonnière	Lac des Brenets	RCNE
La Ronde	km 57.0, Lac du Biaufond	RCNE, BE, RCJU
Bief de Vautenaivre	km 37.3	RCJU
Ruisseau des Moulins (Soubey)	km 24.6	RCJU
Malrang (St-Ursanne)	km 11.4	RCJU

Débits examinés

Le passage des matériaux transportés par charriage dans les installations le long du Doubs a été examiné pour différents débits. Les valeurs sont résumées dans le Tableau 4.2.

Débits de crue : Q_{10} et Q_5

(valeurs momentanées maximales)

Débits de la courbe des débits classés : Q_{1j} , Q_{9j} et Q_{18j}

(valeurs journalières moyennes)

Tableau 4.2 Débits utilisés pour déterminer le passage des matériaux transportés

Tronçon <i>Installations sur le tronçon</i>	km	Source	Q_{10} [m ³ /s]	Q_5 [m ³ /s]	Q_{1j} [m ³ /s]	Q_{9j} [m ³ /s]	Q_{18j} [m ³ /s]
Lac des Brenets jusqu'au Lac de Biaufond 128, 133	74.5 57.2	Station de mesure LH2247	244	206	162	88	67
Lac de Biaufond jusqu'à Goumois (Vautenaivre) 117, 111, 112	57.0 38.0	Valeur moyenne des stations de mesure LH2270 et LH2370	280	246	198	110	80
Goumois (Vautenaivre) jusqu'à St-Ursanne (Lo- rette) 132, 116	37.8 11.4	Valeur moyenne des stations de mesure LH2370 et LH2210	300	265	219	125	91
St-Ursanne (Lorette) jusqu'à la frontière 113, 114, 115	11.39 0.0	Station de mesure LH2210	322	286	239	136	101

4.2 Installations

Au total, 27 installations ont été examinées dans le périmètre de recherche (Tableau 4.3 et 4.4) dont 8 dans le canton de Neuchâtel et 19 dans le canton du Jura (y compris le Doubs sur territoire français, 210 a et b sont considérés comme une seule installation). L'emplacement des installations est indiqué sur la Carte 1 et la Carte 2.

Les affluents sont principalement équipés de dépotoirs à alluvions ou de seuils, dans lesquels les matériaux charriés sont partiellement ou totalement retenus.

Sur le Doubs, il existe dix barrages ou retenues, servant ou ayant servi à l'exploitation de l'énergie hydraulique et retiennent plus ou moins les eaux du Doubs. Quatre centrales sont aujourd'hui toujours en service. Parmi les six installations qui ne sont plus exploitées, cinq d'entre elles disposent encore d'un ouvrage de retenue. La retenue du Moulin Jeannotat est partiellement démantelée. L'ouvrage de la Rasse est constitué de deux seuils fixes.

Pour certaines installations sises sur le Doubs franco-suisse (La Rasse 133, Le Theusseret 112) et qui ne sont plus exploitées, les détenteurs n'ont pas encore pu être clairement définis. Des recherches sont en cours dans le cadre du Groupe technique du Groupe binational pour l'amélioration de la qualité des eaux et des milieux aquatiques du Doubs franco-suisse (co-présidé par l'OFEV), suite à une étude du bureau Teleos sur la ranchissabilité piscicole de ces seuils [23].

Tableau 4.3 Installations examinées dans le **canton de Neuchâtel** (installations sur le Doubs en bleu).

No.	Nom / Lieu	Type	Cours d'eau
NE8	Biaufond	Lac	La Ronde
NE29	La Rançonnière	Réservoir creusé artificiel	La Rançonnière
NE71	La Combe des Enfers	Dessableur	Le Bied des Enfers
NE72	Le Verger	Dessableur	Le Bied des Enfers
NE87	Le Pélard	Dessableur	Le Pélard
NE99	Combe Girard	Dessableur	Combe Girard
128	U.E. Le Châtelot	Installation hydroélectrique en activité	Le Doubs
133	La Rasse	Installation hydroélectrique hors service	Le Doubs

Tableau 4.4 Installations examinées dans le **canton du Jura** (installations sur le Doubs en bleu).

No.	Nom / Lieu	Type	Cours d'eau
111	U.E. La Goule	Installation hydroélectrique en activité	Le Doubs
112	Le Theusseret	Installation hydroélectrique hors service	Le Doubs
113	U.E. Moulin Grillon	Installation hydroélectrique en activité	Le Doubs
114	Bellefontaine	Installation hydroélectrique hors service	Le Doubs
115	Moulin d'Ocourt	Installation hydroélectrique hors service	Le Doubs
116	Moulin Jeannotat	Installation hydroélectrique hors service	Le Doubs
117	U.E. Le Refrain	Installation hydroélectrique en activité	Le Doubs
132	Moulin du Plain	Installation hydroélectrique hors service	Le Doubs
210a	Les Moulins, Soubey	Piège à gravier crue	Affluent (ravine) du bief des Moulins
210b	Les Moulins, Soubey	Endroit de prélèvement de gravier	Bief des Moulins
403	Vautenaivre	Barrière à sédiments écomorphologique	Bief de Vautenaivre
406 - 409	La Fonge	Barrières à sédiments écomorphologique	Ruisseau de la Fonge
410, 411	-	Barrières à sédiments écomorphologique	Ruisseau des Rosés
412	Ravines	Barrière à sédiments écomorphologique	-
413	Montmelon	Piège à gravier crue	Le Chaudiron
426	Chamesat	Barrière à sédiments écomorphologique	Vanoge

5 Morphologie du Doubs et importance du régime de charriage

5.1 Aperçu

Bassin versant

Le bassin versant du Doubs comprend une partie supérieure plate jusqu'au lac des Brenets et une partie en vallée très encaissée jusqu'à Ocourt (Neuchâtel, Jura, France).

La partie supérieure du bassin versant dispose de peu de ressources en matériaux charriés et tout le matériel transporté se dépose dans le lac des Brenets. Dans la partie inférieure du bassin versant à partir du lac des Brenets, la formation de matériaux charriés est limitée à des apports latéraux directs dans le tronçon des gorges et à des apports provenant des affluents qui drainent surtout des petits bassins versants.

Le bassin versant hydrologique est plus grand que le bassin versant orographique en raison du réseau karstique très développé.

Morphologie générale

Entre le lac des Brenets et Ocourt, le Doubs s'écoule dans une étroite vallée entre les plis et les falaises calcaires de la chaîne du Jura.

Sur plusieurs tronçons, le Doubs traverse les plissements de la chaîne, qui s'étend du sud-est vers le nord-est, en formant une vallée rocheuse à pente généralement forte. Ces cluses sont visibles vers Les Planchettes (barrage du Châtelot), Biaufond (barrage du Refrain), Le Theusseret – Goumois, et entre Montmelon et Saint-Ursanne, où le cours du Doubs s'infléchit vers l'ouest.

Dans la section supérieure, le tracé suit l'alignement rocheux de chaque côté. D'une manière générale, la vallée s'élargit vers l'aval et le Doubs forme des méandres dans ses propres alluvions, en laissant aussi quelques îles.

Les profils en long du Doubs à l'état non altéré et à l'état actuel sont représentés dans l'image 5.1. Le profil en long à l'état non altéré a été déduit des courbes de niveau de la carte Siegfried (1872/1879) en tenant compte d'une réduction des altitudes de 3.26 m, qui correspond à la différence entre l'ancien point de référence et la référence actuelle (pierre de Niton). Les deux profils en long sont assez semblables dans les tronçons où le cours d'eau coule librement, et des différences parfois importantes se manifestent entre le barrage du Refrain et celui du Theusseret.

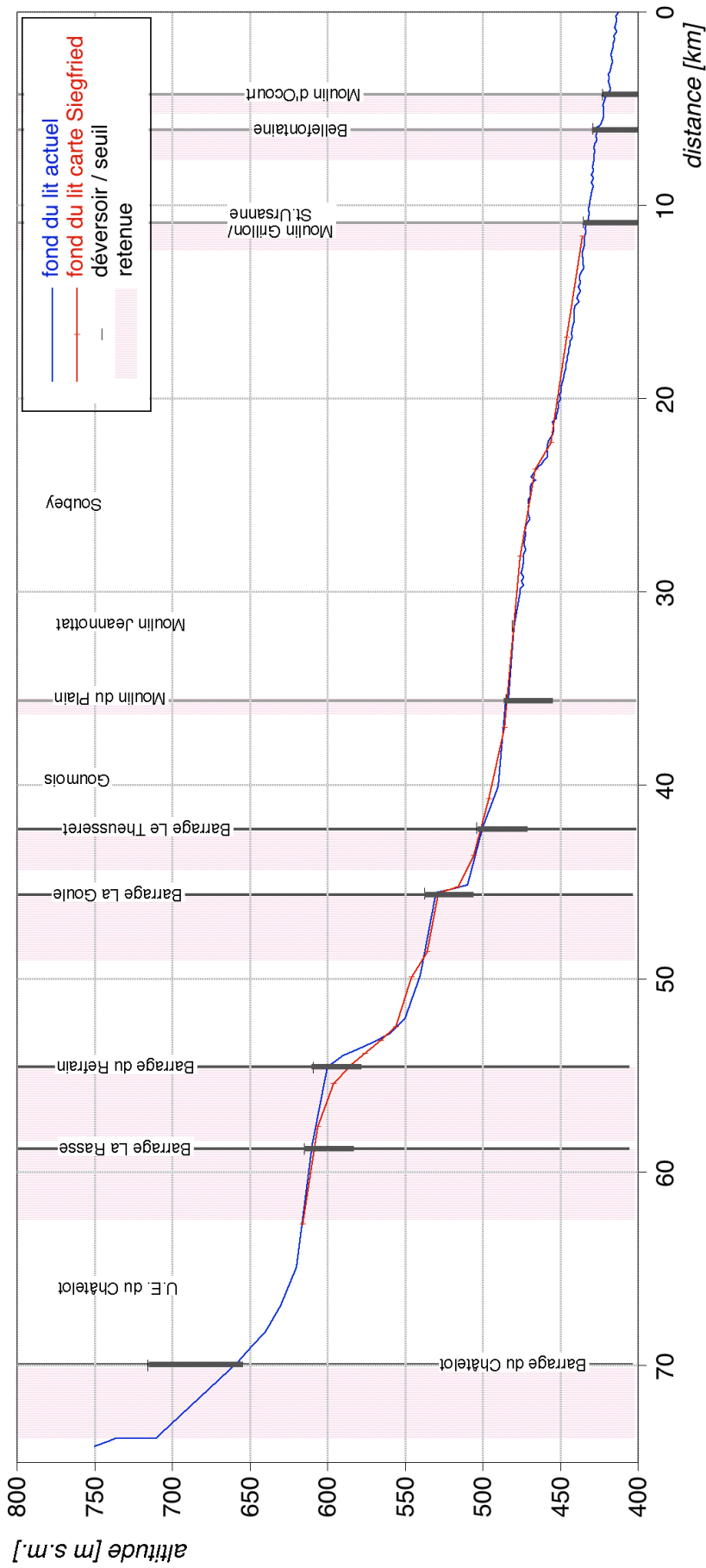


Image 5.1 Profil longitudinal du Doubs entre le Saut-du-Doubs et Ocourt d'après la carte Siegfried (1872/1879) et dans l'état actuel avec les barrages et les retenues.

Lac des Brenets – Les Planchettes / U.E. du Châtelot

Le Doubs est caractérisé par une forte pente et la présence de nombreux rapides ainsi qu'une chute d'une hauteur de 27 m, appelée le « Saut du Doubs ». Le lit et les rives sont constitués principalement de roche ou de matériaux grossiers de structure variée. Lors de crues, les rives sont submergées et il se forme des criques avec des zones d'eaux calmes, qui servent de refuge aux poissons (Image 5.2).

Les Planchettes / U.E. du Châtelot – La Goule

Après l'usine électrique du Châtelot vient un tronçon plat suivant une pente de 2‰, qui s'étend jusqu'à la cluse en aval de Biaufond. Vers la Maison Monsieur et Les Gailllots, il y a plusieurs bassins situés en retrait, qui indiquent soit des zones d'atterrissement, soit des éperons rocheux (Image 5.3).

Le tronçon escarpé en aval de la cluse s'étend jusqu'au Moulin de la Mort suivant une pente de 1.5%.

Il est suivi d'un tronçon plat avec une largeur de chenal qui peut atteindre 100 m, et dont la formation est due à l'effet de barrage d'un effondrement près de la Goule (Image 5.4, Image 5.5, Image 5.6). Dans le secteur du rocher effondré, le cours du Doubs se rétrécit et marque une pente de 6%.

Image 5.2

Tronçons escarpés aux Planchettes avec des blocs résiduels et des petites criques latérales servant de refuge aux poissons lors des crues. Direction de l'écoulement de gauche à droite.

7.11.2013





Image 5.3 Carte Siegfried, première édition 1879, échelle 1 : 20'000. Le Doubs entre Maison Monsieur et Biaufond avec plusieurs bras en retrait. Direction de l'écoulement de gauche à droite.

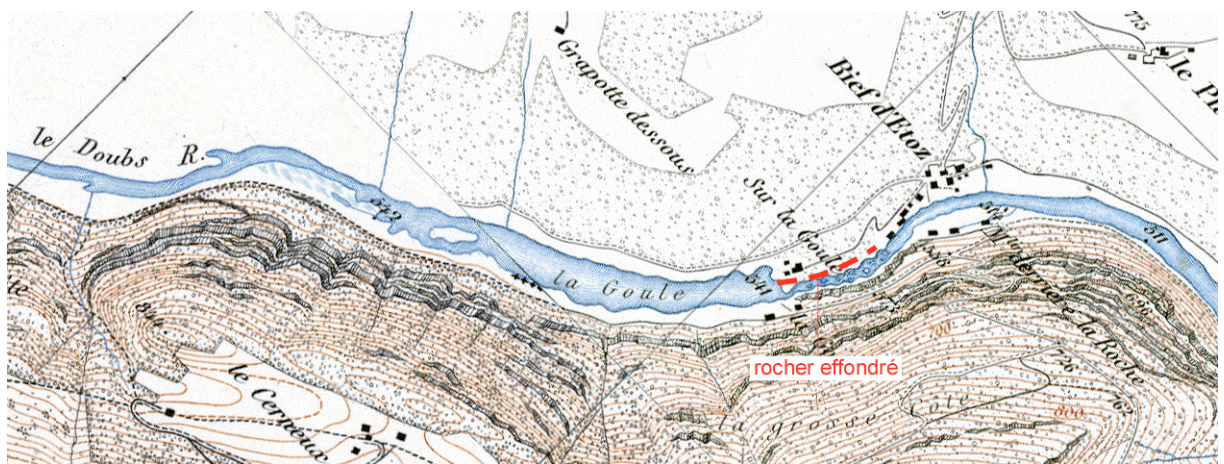


Image 5.4 Carte Siegfried, première édition 1872, échelle 1 : 20'000. Le Doubs près de La Goule avec le goulot (rocher effondré) et un chenal plat et large en amont. Direction de l'écoulement de gauche à droite.



Image 5.5 (ci-dessus)

La zone d'origine du remous de La Goule avec les terrasses alluviales couvertes de végétation.

23.7.2013

Image 5.6 (à droite)

Le Doubs dans le secteur du rocher effondré, avec des blocs résiduels.

23.7.2013



La Goule – Montmelon

Entre la Goule et Goumois, la roche affleure par endroits, et le Doubs s'étend pratiquement sur tout le fond de la vallée. En aval du lieu-dit Le Theusseret, le lit du cours d'eau est large et montre une structure variée, avec des zones d'eau peu profonde et des zones à écoulement marqué dû à la présence d'éperons rocheux, de blocs et de végétation sur les rives (image 5.7). À partir de Goumois, des îles se suivent à intervalle régulier.

Plus en aval, des tronçons délimités par des rochers alternent avec des tronçons un peu plus larges bordés de terrasses alluviales.

Devant Soubey, la plaine s'élargit à environ 150 m et le Doubs divague entre les dépôts fluviaux en formant des îles aux structures variées (Image 5.8).

Vers Les Champois, le cours emprunte un tronçon escarpé et resserré par la reptation d'un versant (Image 5.9).

En amont et en aval de Chervillers se trouvent plusieurs grandes îles recouvertes de végétation, qui ont peu changé depuis le XIX^e siècle.

Depuis Chervillers jusqu'en amont de Montmelon, le Doubs est limité par les flancs de la vallée.

Montmelon - Ocourt

A partir de Montmelon, la plaine s'élargit et le Doubs divague dans ses alluvions. La sinuosité du tracé, les variations de largeur et la végétation des rives forment des rapides, des chenaux, des bancs locaux, des îles et des rives bien structurées (Image 5.10 et Image 5.11).

Le Doubs a le caractère hydrologique et morphologique d'un cours d'eau modérément dynamique, de taille moyenne, à grande diversité structurelle.

Image 5.7

La rivière vers Le Theusseret : un lit large avec de petites structures variées faites de blocs et d'affleurements rocheux.

24.7.2013



Image 5.8

Le Doubs le long de Côte de l'Omène (en amont de Soubey) avec des structures variées comme des bancs de gravier, une île couverte de végétation et un dépôt de bois mort qui s'est greffé contre un saule. Direction de l'écoulement de gauche à droite.

24.7.2013



Image 5.9

Section escarpée vers Le Champois (en aval de Soube) avec un lit étroit fait de gros blocs.

24.7.2013

*Image 5.10*

Dépôts de gravier meuble, matériau légèrement anguleux à émoussé, St-Ursanne.

24.7.2013

*Image 5.11*

Un grand banc de graviers partiellement couvert de végétation dans l'élargissement à 8.2 km en aval de St-Ursanne.

24.7.2013

5.2 Etat actuel

Interventions

Les interventions dans la morphologie du Doubs sont dues essentiellement à la construction de barrages et de retenues pour l'exploitation de la force hydraulique, à des aménagements de protection des zones d'habitation et des infrastructures, ainsi qu'à des ouvrages locaux destinés à empêcher l'érosion des rives et la perte de terres.

Barrages et ouvrages de retenue

Il existe sur le cours du Doubs dix installations de retenue, qui forment une accumulation allant de quelques mètres à 70 m (chapitre 4.2 et chapitre 7). Les barrages causent un remous du cours d'eau et abaissent les vitesses d'écoulement. Ceci favorise la sédimentation des matériaux en amont du barrage. Les processus d'atterrissement qui en résultent entraînent une modification et un colmatage du substrat. Dans les retenues, la morphologie est très différente de l'état naturel.

Les barrages du Châtelot, de la Rasse, de Refrain, de la Goule et du Theusseret (Tableau 8.1) ont un impact particulièrement important sur la morphologie. La retenue des barrages du Moulin du Plain, du Moulin Grillon, de Bellefontaine et du Moulin d'Ocourt est plutôt courte. L'impact du Moulin Jeannottat est négligeable.

Toutes les installations sont des centrales à dérivation qui généralement ne turbinent l'eau captée qu'au bas d'un tronçon en forte pente, puis la reversent dans le Doubs. Ainsi se forment des tronçons à débit résiduel et courant réduit.

Ouvrages de protection des rives

Les aménagements des rives se trouvent avant tout aux abords des zones d'habitation (*Image 5.12*), ou alors ils servent à protéger des infrastructures telles que les routes et les ponts, ou se rencontrent aussi près des barrages. Par intermittence, il y a des aménagements de rives pour la protection du fond de la vallée, notamment le long des rives concaves (*Image 5.13* et *Image 5.14*). En règle générale, ces aménagements sont faits de blocs placés irrégulièrement qui présentent une diversité de structure relativement élevée.

Ces ouvrages fixent le tracé du cours d'eau et en entravent la dynamique morphologique.

Cependant, les rives sont attaquées par une érosion locale sur plusieurs tronçons. Cette érosion favorise le transport de matériaux solides et forment des structures et des biotopes précieux.

Conséquences

La morphologie du Doubs à l'état actuel peut être évaluée ainsi :

Dans les retenues, la morphologie est très fortement altérée. Les retenues constituent environ 30 % du cours du Doubs à partir du Lac des Brenets jusqu'à la frontière franco-suisse à Ocourt.

En raison des aménagements de rives, plusieurs courtes sections sont fortement altérées. Elles représentent environ 7% du cours du Doubs depuis le Lac des Brenets.

Les tronçons de rives légèrement aménagés représentent approximativement 20 % de la longueur totale.

La morphologie est considérablement voire très fortement altérée par la réduction du charriage (chapitre 9.2). Il n'y a plus ni sédimentation des matériaux charriés, ni bancs de gravier, ou alors ils sont limités dans leur extension et leur renouvellement. En outre, le substrat est plus grossier, et le fond plus fortement pavé et colmaté qu'avec un charriage de matériaux non perturbé.

La dynamique morphologique est altérée par les centrales électriques (retenues et tronçons à débit résiduel), les aménagements des rives et la réduction du charriage.

Image 5.12

Le Doubs à Saint-Ursanne avec un enrochement régulier (à gauche) et un mur de rive (à droite). Vue vers l'aval.

24.7.2013



Image 5.13

Le Doubs avant Soubey avec des aménagements structurés des rives.

24.7.2013

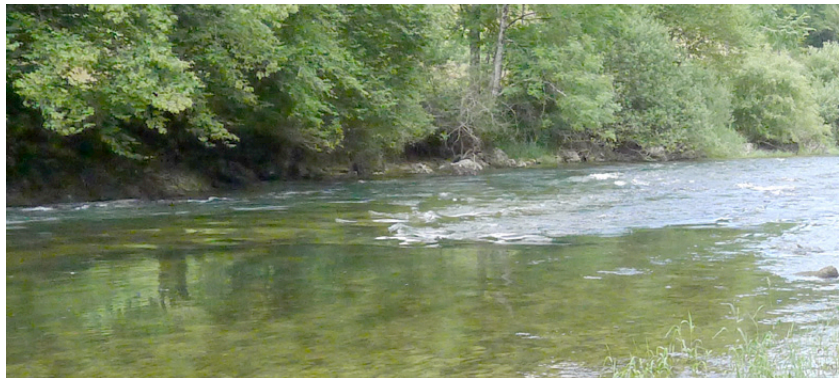


Image 5.14

Le Doubs à Soubey avec des épis.

24.7.2013



6 Les installations sur les affluents

6.1 République et canton de Neuchâtel

Dans le canton de Neuchâtel se trouvent six installations sur les affluents du Doubs. Quatre d'entre elles se trouvent dans le bassin versant du Bied / La Rançonnière, une sur un petit affluent en aval de La Rasse, et une sur La Ronde.

Les installations sont brièvement décrites ici et évaluées quant à leur impact sur le régime de charriage. Une description détaillée avec des photos se trouve à l'Annexe 1.

La liste des installations évaluées se trouve dans le Tableau 8.1.

6.1.1 Installations sur Le Bied du Locle / La Rançonnière

Le Bied du Locle

Le Bied du Locle prend sa source au sud de la Combe des Enfers et reçoit au Locle deux ruisseaux venant du sud. Un marais drainé se trouve avant le col des Roches (Le Marais), avec une très faible pente. A l'état naturel, aucun matériau ne peut être transporté à travers ce marais.

Après le col des Roches suit un tronçon en pente raide (cours d'eau appelé La Rançonnière), puis la pente s'adoucit à partir du lieu-dit La Rançonnière (emplacement de la centrale) jusqu'au Lac des Brenets. Le matériau transporté par le cours d'eau se dépose ensuite dans la zone d'atterrissement du lac.

Installation NE71

Le Bied des Enfers

Les matériaux charriés se déposent dans le dessableur et en sont extraits. Une mise sous tuyau de 35 m de long sous une maison se trouve dans le bief amont. Dans le bief aval suit un tronçon sous tuyau de 300 m de long, puis un tronçon ouvert de 550 m jusqu'à l'installation NE72.

Du point de vue de la protection contre les crues, l'élément important est l'ouvrage de rétention des bois flottants avant la première mise sous voûte (maison). Le dépotoir à alluvions empêche tout dépôt éventuel devant la mise sous voûte et réduit l'apport en matériaux vers l'installation NE72.

Le régime de charriage du tronçon ouvert de 550 m est fortement altéré.

Dans les conditions actuelles, l'assainissement du régime de charriage n'est pas proportionné (entretien de la partie sous tuyau, faible utilité).

En cas d'ouverture du ruisseau en aval du dépotoir (tronçon de 300 m), l'installation NE71 doit être démontée.

Le régime de charriage altéré ne porte atteinte ni au régime des eaux souterraines, ni à la protection contre les crues.

*Installation NE72
Le Bied des Enfers*

Les matériaux charriés se déposent dans l'étang et en sont extraits. La charge dans le bief amont est faible en raison de l'installation NE71. Un tronçon sous tuyau d'une longueur de 3 km à travers Le Locle suit dans le bief aval, puis un tronçon canalisé à travers l'ancien marais.

L'installation sert à empêcher des atterrissements dans le tronçon mis sous tuyau et dans le bief aval (Le Marais).

Des mesures visant à l'assainissement du régime de charriage ne sont pas judicieuses.

Le régime de charriage altéré ne porte atteinte ni au régime des eaux souterraines, ni à la protection contre les crues.

*Installation NE99
Combe Girard*

Les matériaux charriés se déposent dans le dessableur et en sont extraits. Après le bassin suit un tronçon canalisé d'une longueur de 450 m, puis une mise sous tuyau qui débouche sur le busage du Bied.

L'installation sert à empêcher des atterrissements dans la partie mise sous tuyau et dans le bief aval (Le Marais).

Une mesure visant à l'assainissement du régime de charriage sur le tronçon canalisé de 450 m n'est ni judicieuse, ni proportionnée.

Le régime de charriage altéré ne porte atteinte ni au régime des eaux souterraines, ni à la protection contre les crues.

*Installation NE29
La Rançonnière – Le Bied du
Locle*

La centrale hydraulique à stockage turbine l'eau du Bied du Locle avec un fonctionnement irrégulier. Il en résulte un tronçon à débit résiduel et un régime d'écoulement modifié après le point de restitution, dans lequel le cours d'eau peut se trouver momentanément asséché.

L'impact sur le régime de charriage est faible. Des mesures d'assainissement ne sont pas nécessaires.

Le régime de charriage altéré ne porte atteinte ni au régime des eaux souterraines, ni à la protection contre les crues.

6.1.2 Installation sur le petit affluent du Doubs en aval de La Rasse

Installation NE87

Le Pélard

Lors de gros débit de crue, la digue de retenue redirige les débordements d'eau et de sédiments dans le chenal et empêche ou réduit les inondations sur la route cantonale.

Lors de faible débit de crue, les matériaux sont transportés intégralement dans le Doubs.

Peu de matériaux charriés sont extraits du cours d'eau et du Doubs. Des mesures d'assainissement du régime de charriage ne sont pas nécessaires.

Le régime de charriage altéré ne porte atteinte ni au régime des eaux souterraines, ni à la protection contre les crues.

6.1.3 Installation sur La Ronde

Installation NE8

La Ronde

Le matériel amené par La Ronde se dépose dans la zone d'atterrissement du lac de Biaufond (bras latéral).

Un petit lac se trouvait déjà avant la retenue du lac de Biaufond (carte Siegfried). Il n'est pas certain qu'à l'état naturel, les matériaux parviendraient à être transportés jusque dans le Doubs.

L'installation n'est pas significative pour le régime de charriage de la Ronde et d'importance faible ou négligeable pour le Doubs.

Des mesures d'assainissement du régime de charriage ne sont pas nécessaires.

Le régime de charriage altéré ne porte atteinte ni au régime des eaux souterraines, ni à la protection contre les crues.

6.2 République et canton du Jura

Dans le canton du Jura se trouvent onze installations sur les affluents du Doubs, comprenant des dépotoirs à alluvions, des seuils et des barrages.

Les installations sont brièvement décrites et évaluées quant à leur impact sur le régime de charriage. Une description détaillée avec des photos se trouve à l'Annexe 2. Le Tableau 8.1 donne la liste des installations, avec leur évaluation.

Installation doit Bief de Vautenaivre

Le dépotoir à alluvions se compose d'un barrage en béton à deux ouvertures circulaires. Le collecteur est situé à 100 m de l'embouchure avec le Doubs et réduit le risque d'embâcle au passage de la route en cas de gros débits de crue (chemin d'entretien).

Depuis 2009, le gravier n'a plus été extrait. Auparavant, le gravier était retiré après des crues élevées.

Le Bief de Vautenaivre est un fournisseur majeur de sédiments du Doubs. L'extraction de gravier ne doit pas être autorisée, ou le gravier extrait devrait être dispersé sur le delta ou déversé dans le Doubs.

Le régime de charriage altéré ne porte atteinte ni au régime des eaux souterraines, ni à la protection contre les crues.

Installations 406 – 409 Ruisseau de la Fonge

Les quatre barrages en bois, fortement endommagés et comblés par des matériaux, permettent le passage des sédiments. Dans le bief aval, les barrages ont entraîné une érosion du lit importante par endroits. La dégradation progressive des barrages permet la mobilisation des matériaux déposés.

Actuellement, les installations ne portent aucune atteinte au régime de charriage.

Installation 210 210a : dépotoir à alluvions dans la ravine latérale 210b : extraction de gravier du cours d'eau principal (Bief des Moulins)

Ouvrage de capture pour les matériaux charriés (n° 210a) mobilisés dans une ravine latérale actif du cours d'eau. A l'état non altéré, les matériaux se déposaient en grande partie sur le cône de déjection. L'impact sur le régime de charriage est faible. Des mesures d'assainissement ne sont pas nécessaires.

Les dépôts de gravier à côté du *cours d'eau principal* (n° 210b) indiquent que du gravier a été extrait du lit. Des extractions de gravier du lit du cours d'eau ne peuvent être autorisées que pour des raisons de protection contre les crues. Le gravier extrait doit alors être versé dans le Doubs, à un endroit approprié. En cas de revitalisation du cours d'eau, il faut s'assurer que les matériaux puissent être transportés jusque dans le Doubs.

Le régime de charriage altéré ne porte atteinte ni au régime des eaux souterraines, ni à la protection contre les crues.

*Installations 410, 411
Ruisseau des Rosés*

Petits dépotoirs à alluvions et à bois flottants, réduisant le risque d'embâcle des passages de tuyaux. La distance entre les barres de la grille (10 cm) est faible par rapport au diamètre du tuyau (50 cm).

Le régime de charriage du ruisseau a un faible impact sur celui du Doubs.

Un assainissement peut permettre une réduction des dépenses d'entretien et une augmentation de l'apport en sédiment dans le Doubs.

Le régime de charriage altéré ne porte atteinte ni au régime des eaux souterraines, ni à la protection contre les crues.

Installation 412

Barrage en bois simple, rempli des matériaux charriés et de sédiments fins. L'installation sert de franchissement du cours d'eau pour le bétail.

En débit de crue, les matériaux sont transportés plus loin en aval. L'impact sur le régime de charriage est négligeable. Des mesures d'assainissement ne sont pas nécessaires.

Le régime de charriage altéré ne porte atteinte ni au régime des eaux souterraines, ni à la protection contre les crues.

*Installation 413
Le Chaudiron*

Ouvrage de capture pour les sédiments et les bois flottants. Le bassin est partiellement rempli de sédiments. En cas de faible débit de crue, une grande partie des matériaux est transportée en aval, tandis que par fort débit de crue, beaucoup de matériaux se déposent dans le bassin.

L'impact sur le régime de charriage du cours d'eau et du Doubs est moyen. Des mesures d'assainissement sont nécessaires.

Mesure: en cas de vidange du bassin, le gravier doit être versé dans le Doubs à un endroit approprié, sous la forme d'un banc de gravier (les sédiments fins doivent être apportés dans une décharge).

Le régime de charriage altéré ne porte atteinte ni au régime des eaux souterraines, ni à la protection contre les crues.

*Installation 426
La Vanoge*

Petits bassins en béton avant la mise sous tuyau pour le dosage du transport de matériaux. Le bassin est rempli et aucune extraction n'a pu être constatée.

En débit de crue, le sédiment est transporté plus loin en aval. L'impact sur le régime de charriage est négligeable. Des mesures d'assainissement ne sont pas nécessaires.

Le régime de charriage altéré ne porte atteinte ni au régime des eaux souterraines, ni à la protection contre les crues.

6.3 Aménagement des cours d'eaux

Les aménagements des eaux peuvent provoquer une réduction du volume de matériaux charriés, tant dans les affluents que dans le Doubs.

Le long des affluents, généralement très raides (torrents, ruisseaux latéraux), il n'y a peu de points fixes d'érosion stabilisant le fond du lit et réduisant l'apport de matériaux dans le Doubs. Quelques seuils en bois (n° 406 à 409) se trouvent en mauvais état et n'ont presque plus d'effet de rétention de charriage.

Du côté français, il n'y a peu d'aménagement de stabilisation.

La réduction de l'apport de matériaux charriés imputable aux aménagements sur les affluents est estimée à moins de 5% par rapport à l'ensemble de l'apport de matériaux dans le Doubs.

7 Installations sur le Doubs

7.1 Barrage du Châtelot

Installation	Barrage du Châtelot Installation hydroélectrique, n° 128, km 70.0
Coordonnées	547'342 / 216'916
Exploitant-concessionnaire	Société des forces motrices du Châtelot (SFMC) Actionnaires : 50 % Energie de France (EDF), 30 % Groupe E SA, 11.66 % Forces motrices de la Goule, 8.33 % Etat de Neuchâtel
Cours d'eau	Doubs
Commune	Les Planchettes (RCNE), Villers-le-Lac (F)
Description de l'ouvrage (type, conception)	Barrage-voûte avec lac de Moron (env. 3 km de long, dès le Saut du Doubs), avec un volume de 11.8 millions m ³ . Cote de retenue 716.0 msm. Hauteur du barrage 74 m, largeur du couronnement 150 m, largeur de chute 80 m. Hauteur de chute exploitée maximale 97 m et minimale 76 m. Centrale en aval côté CH, tronçon court-circuité env. 3.8 km. Débit de dotation 2 m ³ /s (depuis 2006). Mise en service 1953, reconstruction et surélévation 1954-1957.
Fonctionnement	Centrale avec exploitation du lac de retenue (retenue de Moron) pour la production d'énergie de pointe. Génère dès l'usine du Châtelot une force d'écoulement quotidienne. Le débit d'écluse est de 44 m ³ /s (débit équipé), resp. 50 m ³ /s selon la concession. En aval, les manœuvres d'ouverture des vannes de fond doivent être conduites de manière à éviter les variations brutales du débit évacué. L'augmentation du débit évacué doit être au maximum de 10 m ³ /s par demi-heure. Le faible taux de sédimentation dans la retenue ne nécessite pas de vidange ou de purge de la retenue de Moron (pas de purges connues). Pour des raisons de stabilité des rives du lac de Moron, le niveau minimal est fixé à 695 msm. Avec une cote de retenue de 718.0 msm, la vidange de fond est complètement ouverte : les deux ouvertures au pied du barrage ont une capacité de 90 m ³ /s chacune.
Accumulations (matériaux charriés, matière fine, débris flottants)	Tout le matériel transporté issu du bassin versant se dépose dans le lac de retenue. Le bassin versant pertinent pour le charriage est limité au tronçon dès le lac des Brenets et les flancs raides de la vallée (Creux de Moron).
Composition	Blocs, pierres, gravier.
Exploitation, volumes d'extraction	Quantités extraites pas connues.
Estimation grossière du régime de charriage, passage de matériaux charriés	Pas de passage possible.
Quantité de matériaux charriés, caractérisation des matériaux solides (dmax)	Faible.

Morphologie du bief amont et aval	Bief amont : tronçon de falaise, Saut du Doubs. Bief aval : Gorge du Doubs (tronçon raide naturel avec falaise en place)
Degré de l'atteinte	Très important
Atteinte grave oui/non	Morphologie oui Protection contre les crues non Eaux souterraines non
Potentiel écologique	Important
Importance du charriage	Moyen
Mesure	Non proportionnée : faible charge de matériaux solides, accessibilité limitée



Image 7.1 (ci-dessus)

Lac de Moron. Vue depuis le lac de retenue en amont vers le Creux de Moron.

23.7.2013

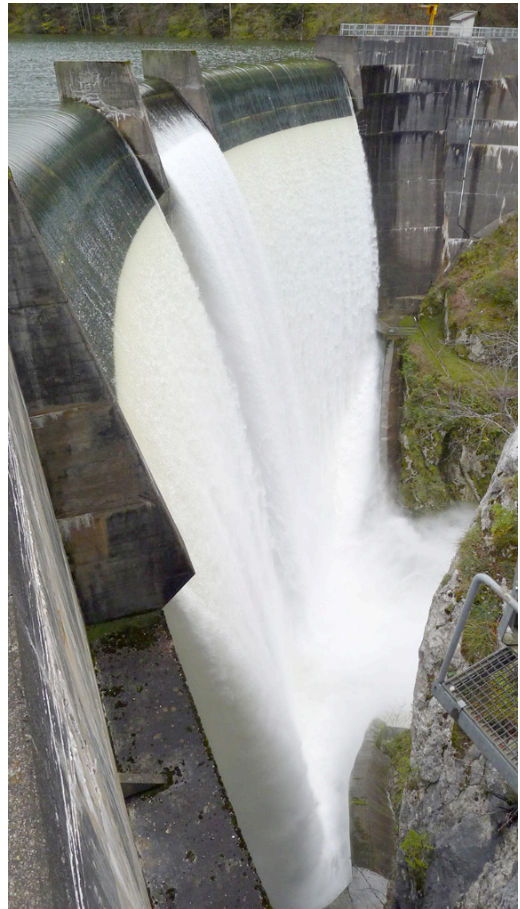


Image 7.2 (à droite)

Barrage du Châtelot avec décharge de crues. Ecoulement total 110 m³/s.

7.11.2013

Image 7.3 (ci-dessous)

Contre-barrage après bassin d'amortissement et les Gorges du Doubs.

23.7.2013



7.2 La Rasse

7.2.1 Description de l'installation

Installation	La Rasse Installation hydroélectrique, n° 133, km 58.8
Coordonnées	554'830 / 222'795
Exploitant-concessionnaire	Le détenteur n'a pas encore pu être clairement défini. Des recherches sont en cours dans le cadre du Groupe technique du Groupe binational pour l'amélioration de la qualité des eaux et des milieux aquatiques du Doubs franco-suisse (co-présidé par l'OFEV), suite à une étude du bureau Teleos sur la franchissabilité piscicole de ce seuil. [23]
Cours d'eau	Doubs
Commune	La Chaux-de-Fonds (RCNE), Fournet-Blancheroche (F)
Description de l'ouvrage (type, conception)	Deux seuils en béton séparés d'environ 160 m, hauteur de 2.5 - 3 m chacun.
Fonctionnement	Hors service.
Accumulations (matériaux charriés, matière fine, débris flottants)	Les matériaux issus de l'ensemble du bassin versant se déposent dans le bassin de retenue.
Composition	
Exploitation, volumes d'extraction	Pas d'extractions connues.
Estimation grossière régime de charriage, passage de matériaux charriés	Les calculs hydrologiques montrent que dans l'état actuel, les matériaux ne peuvent pas être transportés à travers la retenue de la Rasse (cf. le texte et les images aux pages suivantes). Si l'on enlève les seuils de retenue, la force d'entraînement augmente sensiblement, mais elle reste par endroits encore en-dessous de la valeur limite (0.047). Si l'on admet que des sédiments fins se sont déposés dans la partie profonde de la retenue, et si l'on en fait abstraction dans le modèle, alors des matériaux à partir de Q_{1j} peuvent être transportés vers l'aval. On peut partir de l'idée qu'à l'état naturel, la force d'entraînement était suffisante pour transporter la faible quantité de matériaux vers l'aval.
Quantité de matériaux charriés, caractérisation des matériaux solides (diamètre max)	Apport faible de matériaux charriés à l'état actuel. Dépôt de matériaux fins supposé dans la retenue et possibilité de présence de polluants pas exclus.
Morphologie du bief amont et aval	Bief amont : lac de retenue, origine du remous env. 4 km en amont. Bief aval du deuxième seuil : court tronçon d'écoulement libre avec des blocs résiduels. Ensuite commence la retenue du lac de Biau-fond.
Degré de l'atteinte	Très important
Atteinte grave oui/non	Morphologie oui Protection contre les crues non Eaux souterraines non
Potentiel écologique	Important
Importance du charriage	Moyen

Mesure	Démantèlement des seuils de béton et rétablissement de l'état naturel en adéquation avec l'étude sur la franchissabilité du seuil par la faune piscicole réalisée par le bureau Teleos [23]. Analyses des sédiments fins nécessaires (qualité).
Investissement	Moyen (sans l'élimination des sédiments fins, qui est coûteuse, surtout s'il s'agit des sédiments contenant des polluants).
Avantages	Revalorisation de la morphologie et assainissement du régime de charriage. Rétablissement d'un tronçon à écoulement (biotope). Assainissement de la migration du poisson.
Inconvénients	La purge des sédiments fins peut poser des problèmes et leur élimination être très coûteuse. Avant toute décision, il convient de procéder à des études complémentaires (incluant des analyses physico-chimiques). La navigation n'est plus possible.
Rapport coût-utilité	Question encore ouverte
Proportionnalité	Il faut mettre en évidence les avantages et les inconvénients et les comparer aux coûts. Aucune conclusion n'est possible actuellement.

Image 7.4

*Seuil supérieur.
Vue vers l'amont.*

23.7.2013

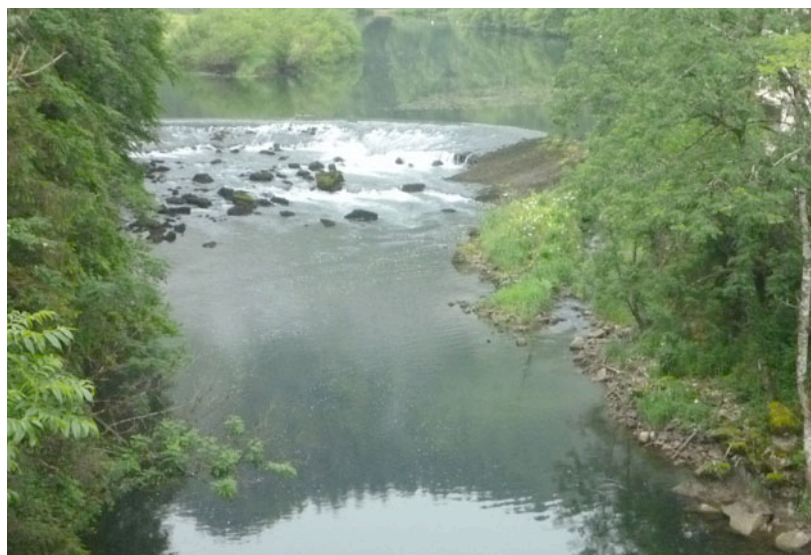


Image 7.5

Seuil inférieur avec ancienne prise sur la gauche et court tronçon d'écoulement libre jusqu'au lac de Biaufond.

Vue vers l'aval.

23.7.2013



7.2.2 Calculs hydrauliques

Modèle	Le modèle hydraulique se fonde sur les mesures des profils transversaux de 2013 ([15], Image 7.6). La géométrie du seuil de retenue est prise en compte à la fin du modèle.
Débits	Les calculs hydrauliques ont été effectués pour les débits caractéristiques suivants : $Q_{18j} = 67\text{m}^3/\text{s}$ $Q_{9j} = 88\text{m}^3/\text{s}$ $Q_{1j} = 162\text{m}^3/\text{s}$ $Q_5 = 206\text{m}^3/\text{s}$ $Q_{10} = 244\text{m}^3/\text{s}$
Etat actuel Image 7.7	Dans l'état actuel, le seuil de retenue fixe détermine le niveau de l'eau d'amont. La retenue forme un lac à très faibles forces tractrices. Même à 4 km en amont du barrage, la force tractrice adimensionnelle, pour tous les débits étudiés, est nettement inférieure à la valeur critique pour le transport de matériaux (0.047). Le transport de matériaux à travers la retenue n'est pas possible.
Etat sans les seuils de retenue Image 7.8	Sans les deux seuils de retenue, le débit est fortement accéléré dès le km 1.0, ce qui entraîne une augmentation de la force tractrice. A partir du km 1.7, les matériaux peuvent être transportés vers l'aval dès un débit de $160\text{ m}^3/\text{s}$ (Q_{1j}). Plus en amont, le transport de matériaux n'est pas possible, même par $Q_{10} = 244\text{m}^3/\text{s}$.
Etat après élimination des sédiments fins / état naturel Image 7.9	Des sédiments fins se sont déposés dans la profondeur de la retenue. Si ces sédiments sont éliminés ou érodés, la force tractrice augmente. L'Image 7.9 montre les forces tractrices résiduelles avec des sédiments fins d'une épaisseur de 0.5 – 1.0 m entre km 2.0 et km 0.5. Dans ces conditions, le transport de matériaux vers l'aval est possible avec un débit $Q_{1j} = 162\text{m}^3/\text{s}$. Les calculs montrent qu'à l'état naturel, la capacité de transport de matériaux était faible. Elle était néanmoins suffisante pour permettre à un courant à débit relativement élevé de charrier vers l'aval une petite quantité de matériaux (env. $350\text{ m}^3/\text{a}$).

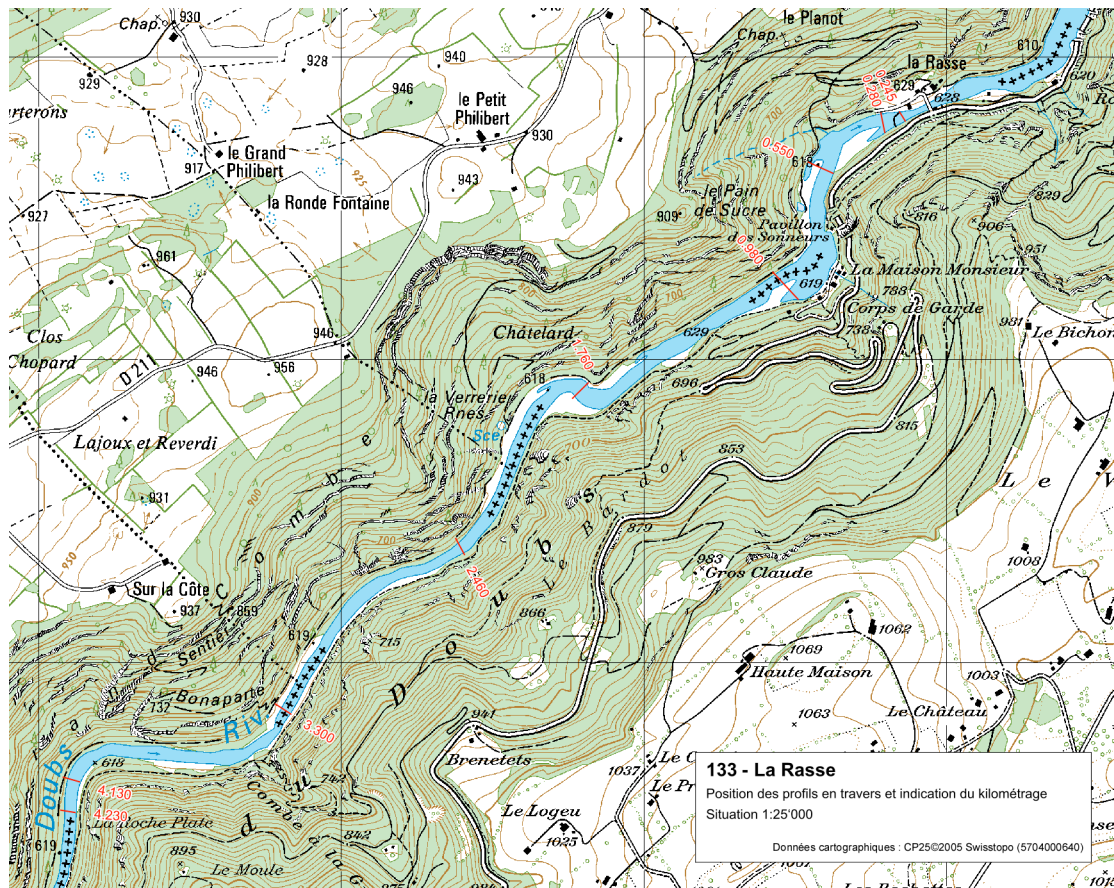


Image 7.6 Position des profils en travers pour le calcul hydraulique dans la retenue de La Rasse.

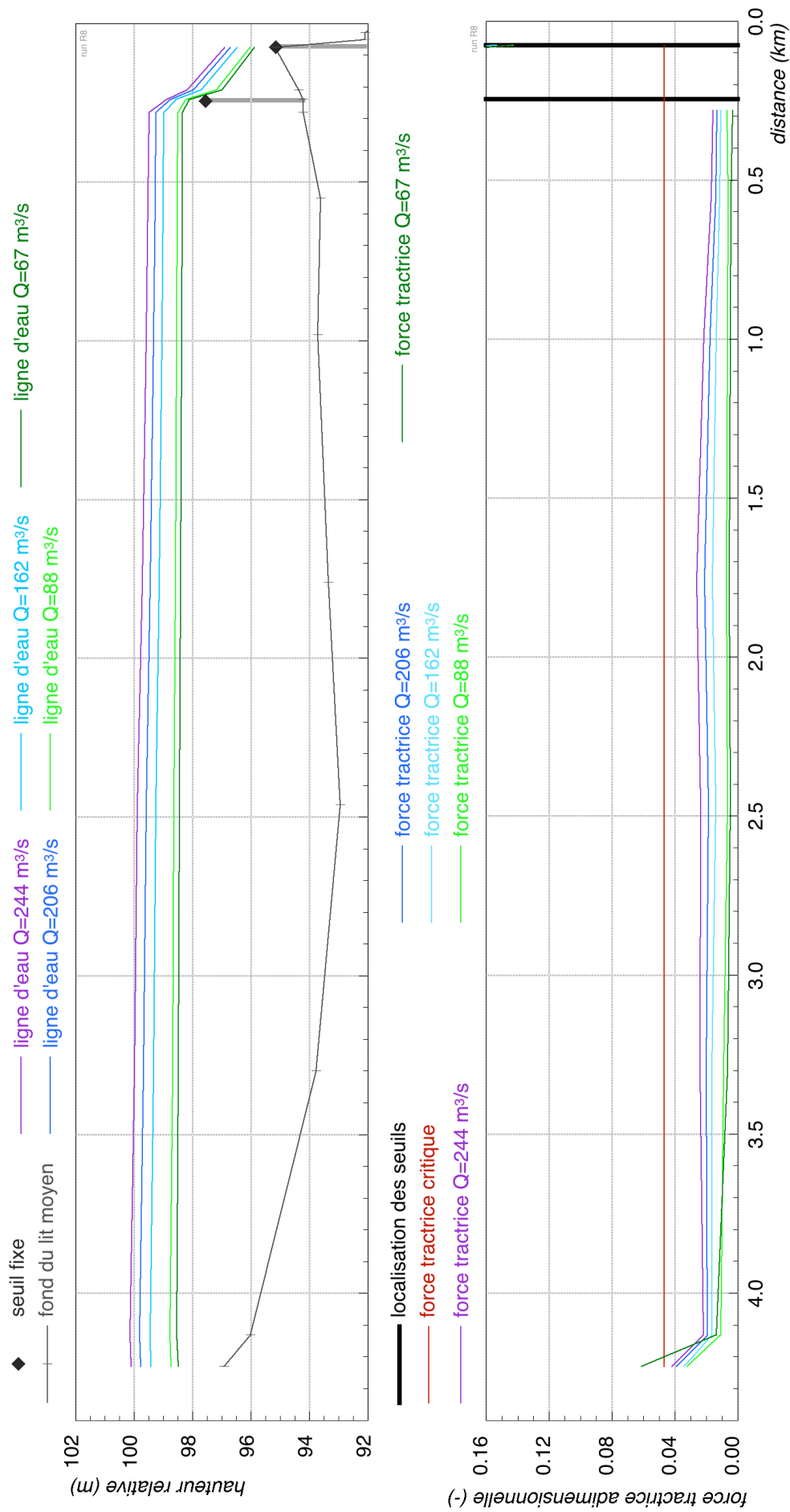


Image 7.7 Profil longitudinal de la retenue La Rasse à l'état actuel. En haut: lit moyen et tracé du niveau d'eau. En bas: force tractrice unitaire adimensionnelle. Pour une valeur > 0,047 (ligne rouge), les matériaux peuvent être transportés dans le thalweg.

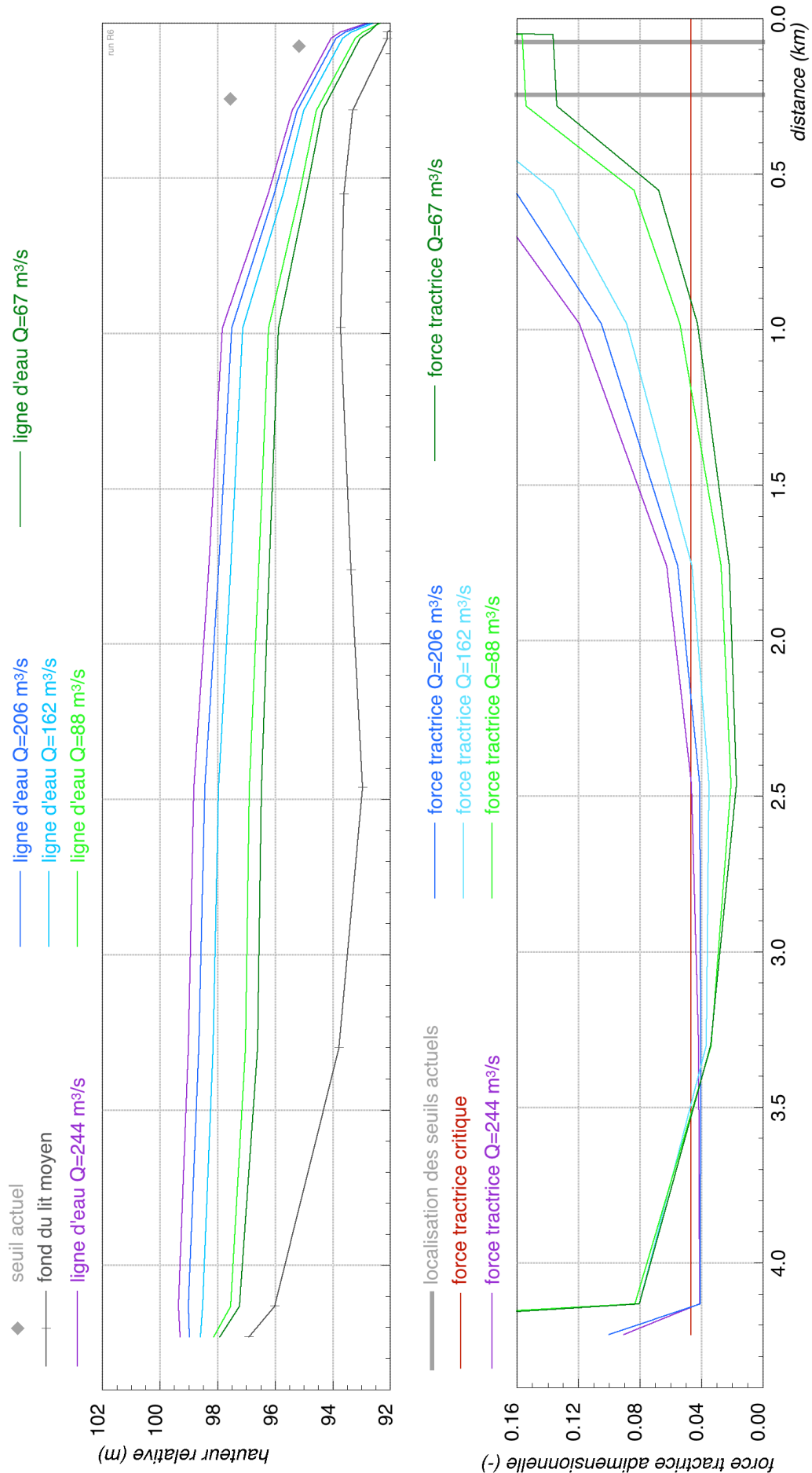


Image 7.8 Profil longitudinal de La Rasse à l'état non altéré (sans les seuils). En haut: lit moyen et tracé du niveau d'eau. En bas: force tractive unitaire adimensionnelle. Pour une valeur > 0,047 (ligne rouge), les matériaux peuvent être transportés dans le thalweg.

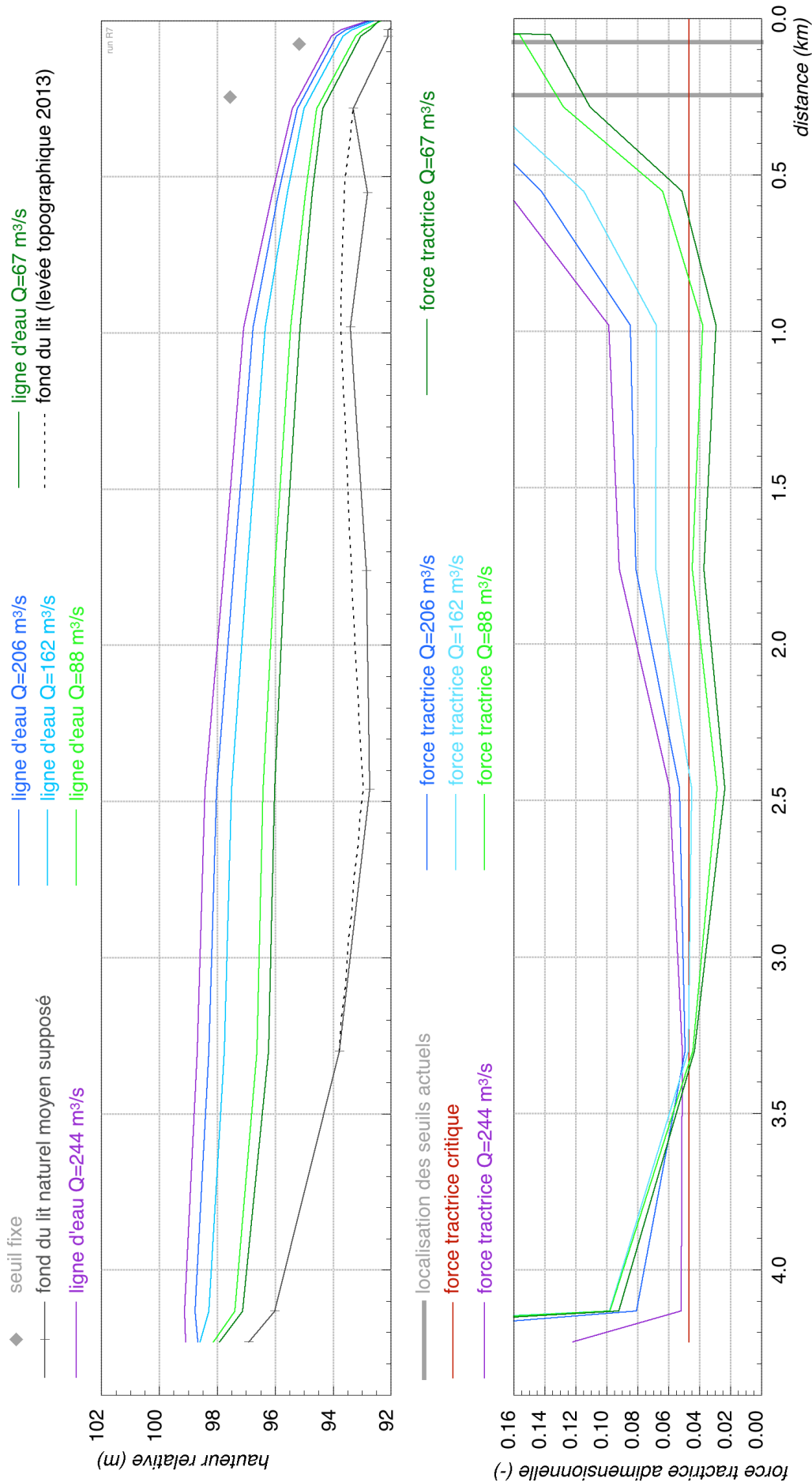


Image 7.9 Profil longitudinal La Rasse à l'état non altéré (état après élimination des sédiments fins). En haut: lit moyen et tracé du niveau d'eau. En bas: force tractive unitaire adimensionnelle. Pour une valeur > 0,047 (ligne rouge), les matériaux peuvent être transportés dans le thalweg.

7.3 Le Refrain

7.3.1 Description de l'installation

Installation	Barrage du Refrain Installation hydroélectrique, n° 117, km 54.6
Coordonnées	555'070 / 224'915
Exploitant-concessionnaire	Energie de France (EDF)
Cours d'eau	Doubs
Commune	Fournet-Blancheroche (F), Les Bois (RCJU)
Description de l'ouvrage (type, conception)	Digue en béton avec barrage à vanne toit (2 passes à 12.80 m de large). Lac du Biaufond, env. 3.5 km de long. Cote de retenue 608.70 - 609.45 msm. Hauteur de chute exploitée 67 m. Centrale env. 3 km en aval sur le côté F (tronçon court-circuité). Débit de dotation 2.66 m ³ /s, cf. « Barrages accumulation Doubs, mars 2013 ». Première mise en service en 1909.
Fonctionnement	Centrale avec exploitation du réservoir pour la production d'énergie de pointe. Génère un débit d'éclusee (Un nouveau règlement d'eau sera appliqué en décembre 2014 et entrera en vigueur officiellement en décembre 2015). Pointe d'éclusee 23 m ³ /s (débit équipé, débit maximal turbinable). Cote du déversoir peut être abaissée de 609.45 à 605.0 msm. Aucune purge connue.
Accumulations (matériaux charriés, matière fine, débris flottants)	En raison du seuil de la Rasse, pratiquement aucun sédiment n'est transporté dans la retenue depuis l'amont.
Composition	-
Exploitation, volumes d'extraction	Pas de prélèvements connus.
Estimation grossière régime de charriage, passage de matériaux charriés	Les calculs hydrauliques montrent que dans l'état actuel et avec un abaissement du seuil de retenue jusqu'à 3 m (nécessité de refaire le barrage), le transport de matériaux à travers la retenue du Refrain n'est pas possible (cf. texte et images dans les pages suivantes). A l'état naturel (lit 5 m en-dessous du seuil de retenue), les matériaux pouvaient être transportés vers l'aval sans entrave.
Quantité de matériaux charriés, caractérisation des matériaux solides (diamètre max)	Petite – moyenne (état naturel). Pierres et gravier, angulaire. Dmax env. 8 cm.
Morphologie du bief amont et aval	Bief amont : méandre prononcé du cours d'eau avec une pente faible et un élargissement à Biaufond. Bief aval : tronçons raides.
Degré de l'atteinte	Très important
Atteinte grave oui/non	Morphologie oui Protection contre les crues non Eaux souterraines non
Potentiel écologique	Important
Importance du charriage	Moyen

Mesure	Non. Proportionnalité : pour le transport des matériaux, il faudrait refaire le barrage ; en outre la purge des sédiments fins pourrait provoquer un colmatage du fond du lit en aval du barrage et risque de polluer les eaux avec des sédiments organiques avec un grand besoin en oxygène.
--------	---

Image 7.10

Lac de Biaufond avec la prise d'eau du Refrain (à droite).

Vue depuis le barrage en amont.

23.7.2013



Image 7.11

Barrage du Refrain, déversoir en deux parties.

23.7.2013



Image 7.12

Tronçon du bief inférieur avec le bassin d'amortissement (premier plan).

Vue vers l'aval.

23.7.2013



7.3.2 Calculs hydrauliques

Modèle	Le modèle hydraulique se fonde sur les mesures bathymétriques de la retenue du Refrain ([17] Image 7.13). Les profils transversaux ont été déduits du plan des courbes de niveau, et à la fin du modèle, la géométrie du barrage a été prise en compte.
Débits	<p>Les calculs hydrauliques ont été effectués pour les débits caractéristiques suivants :</p> <p>$Q_{18j} = 80\text{m}^3/\text{s}$ $Q_{9j} = 110\text{m}^3/\text{s}$ $Q_{1j} = 198\text{m}^3/\text{s}$ $Q_5 = 246\text{m}^3/\text{s}$ $Q_{10} = 280\text{m}^3/\text{s}$ $Q_{30} = 327\text{m}^3/\text{s}$</p>
Etat actuel Image 7.14	<p>Dans l'état actuel, en cas de débit de crue, le niveau d'eau à l'amont est maintenu à l'altitude constante de 609.5 msm.</p> <p>Dans ces conditions, l'écoulement est fortement endigué et la force tractrice adimensionnelle peu élevée dans l'ensemble de la retenue (< 0.047).</p> <p>Le transport de matériaux à travers la retenue n'est pas possible.</p>
Barrage ouvert Image 7.15	<p>Si les vannes-toits du barrage sont complètement abaissées, le niveau d'eau à l'amont est indépendant du débit. Avec un débit de $80\text{m}^3/\text{s}$, le niveau de l'eau se trouve à 606.6 msm, et avec un débit de $327\text{m}^3/\text{s}$ à 608.97msm.</p> <p>La force tractrice unitaire adimensionnelle est certes plus élevée qu'avec un niveau d'eau à l'amont constant, mais encore nettement inférieure à la valeur critique pour le transport de matériaux (0.047).</p> <p>Le transport de matériaux à travers la retenue n'est pas possible.</p>
Seuil de retenue abaissé Image 7.16	<p>En cas d'abaissement du seuil de retenue (nécessité de refaire le barrage), il est possible d'abaisser encore le niveau d'eau à l'amont. Même avec un abaissement de 3 m, la force tractrice adimensionnelle ne dépasse la valeur critique de 0.047 que sur certains tronçons.</p> <p>Le transport de matériaux à travers la retenue n'est pas possible.</p>
Etat naturel	<p>On peut partir de l'idée qu'à l'état naturel, le fond du cours d'eau avait une pente plus ou moins régulière (ligne brune interrompue sur l'Image 7.16). Dans ces conditions, tous les matériaux pouvaient être transportés vers l'aval.</p>

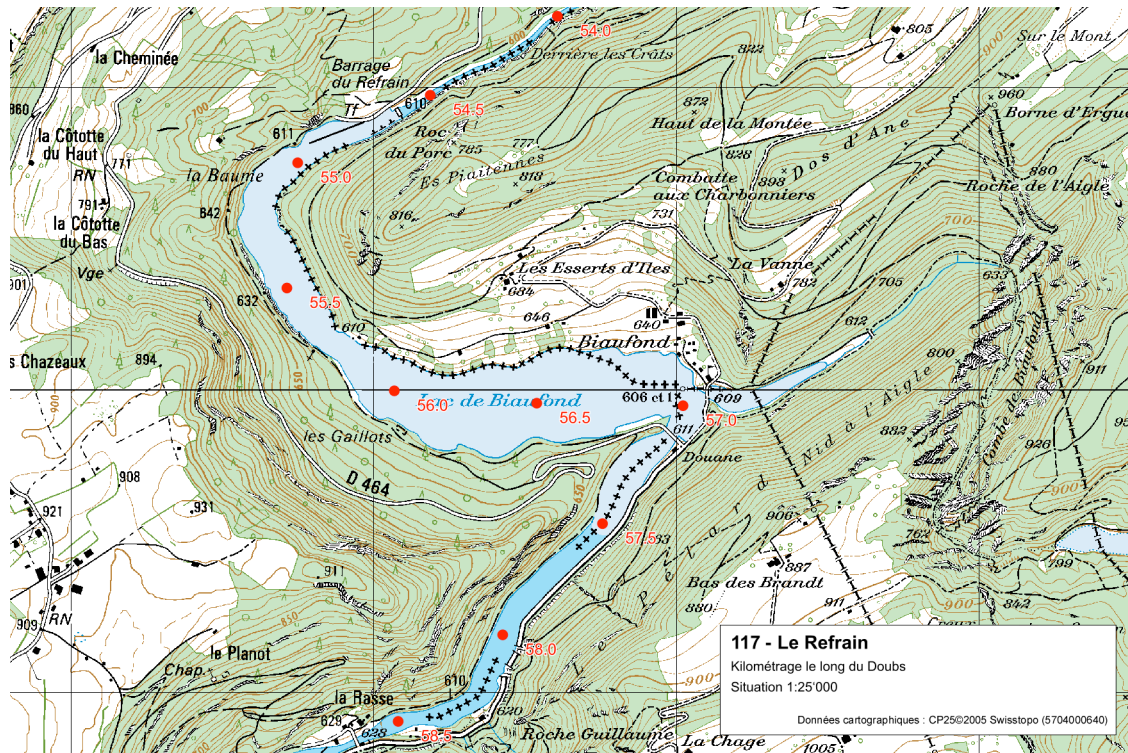


Image 7.13 Kilométrage le long de la retenue du Refrain.

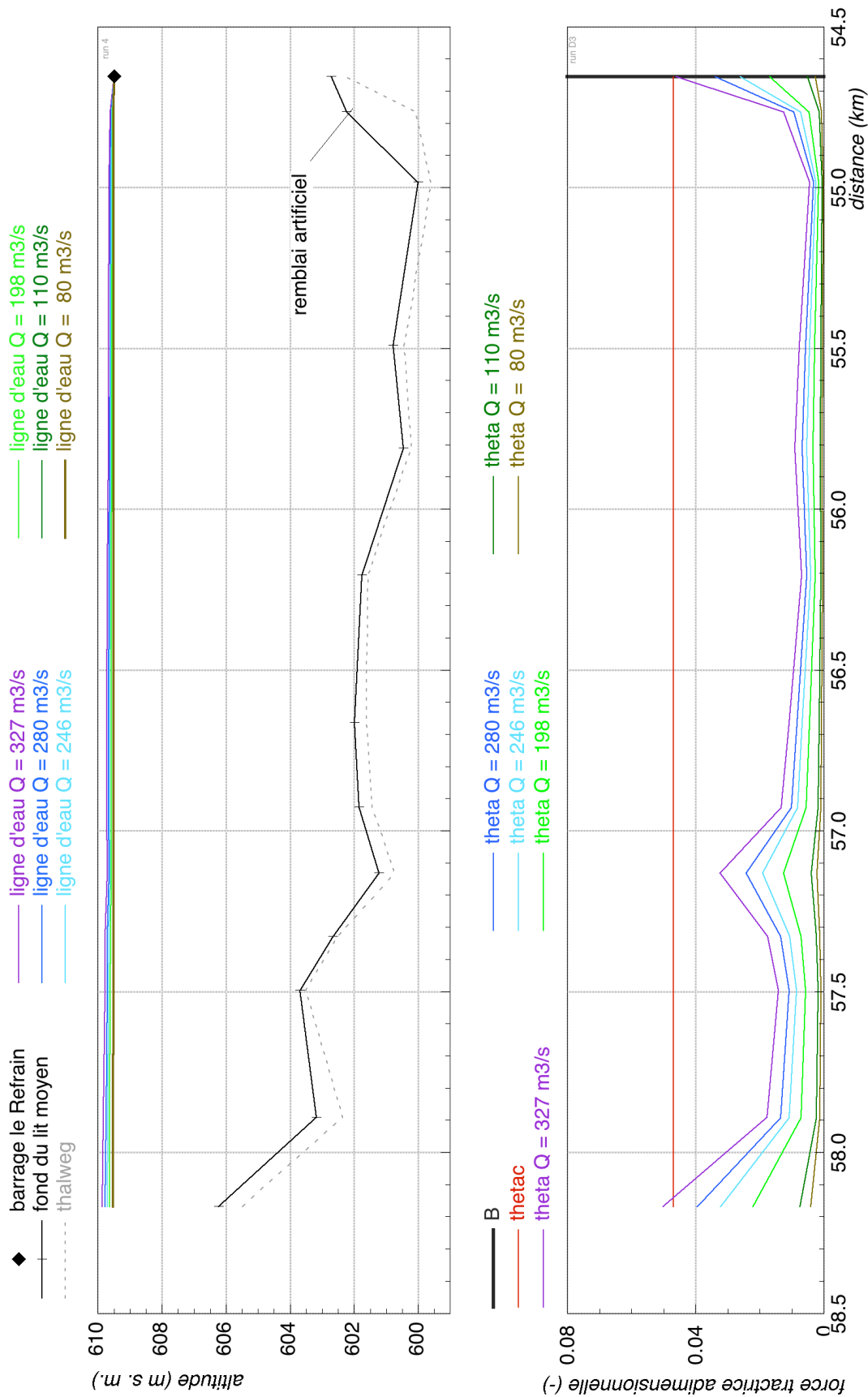


Image 7.14 Profil longitudinal de la retenue du Refrain dans l'état actuel (niveau de l'eau d'amont constant). En haut : fond moyen et ligne du niveau d'eau. En bas : force tractrice adimensionnelle. Avec une valeur > 0.047, les matériaux peuvent être transportés dans le thalweg.

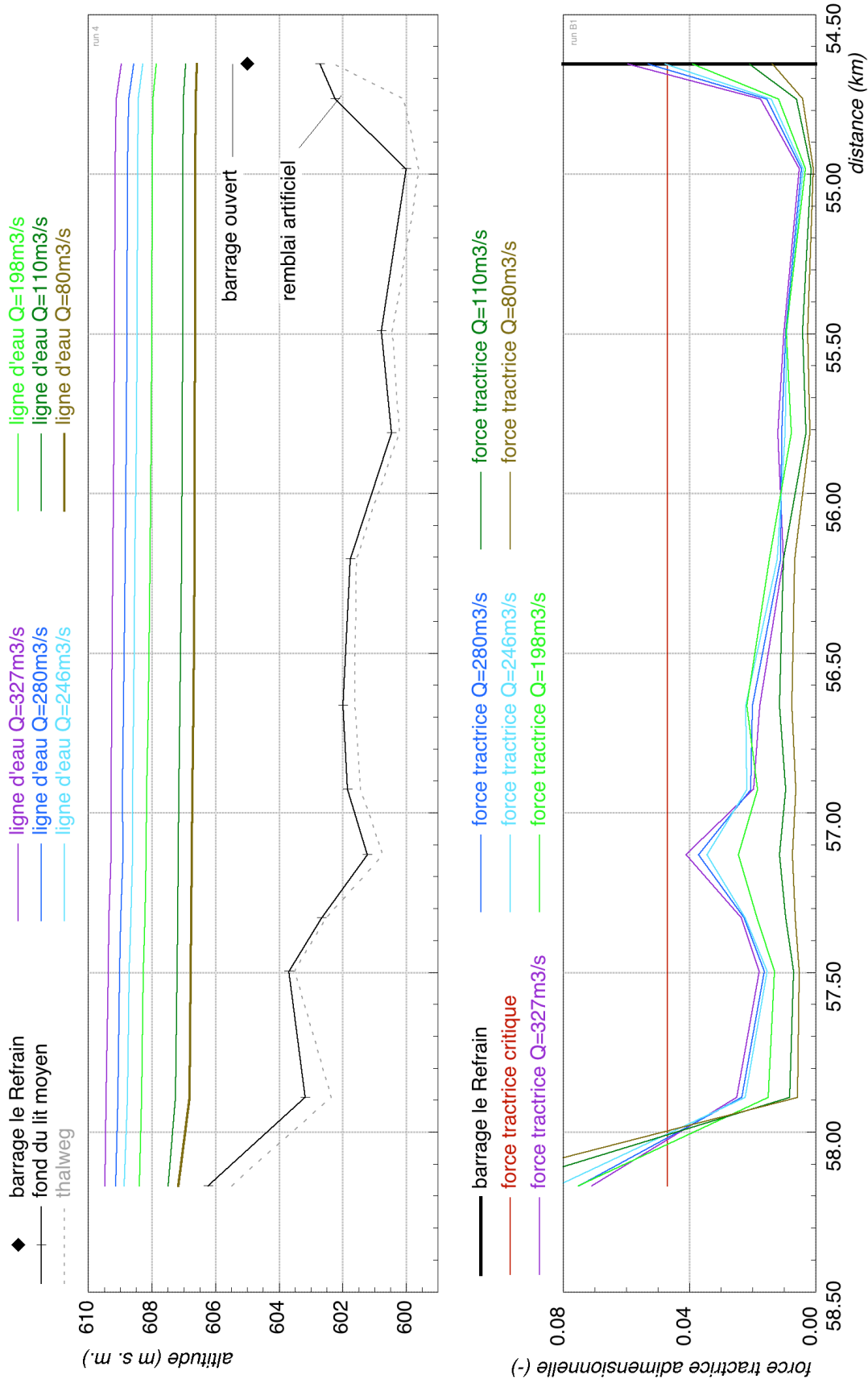


Image 7.15 Profil longitudinal de la retenue du Refrain avec **barrage complètement abaissé**.

En haut : fond moyen du cours d'eau et ligne du niveau d'eau. En bas : force traçtrice adimensionnelle. Avec une valeur > 0.047, les matériaux peuvent être transportés dans le thalweg.

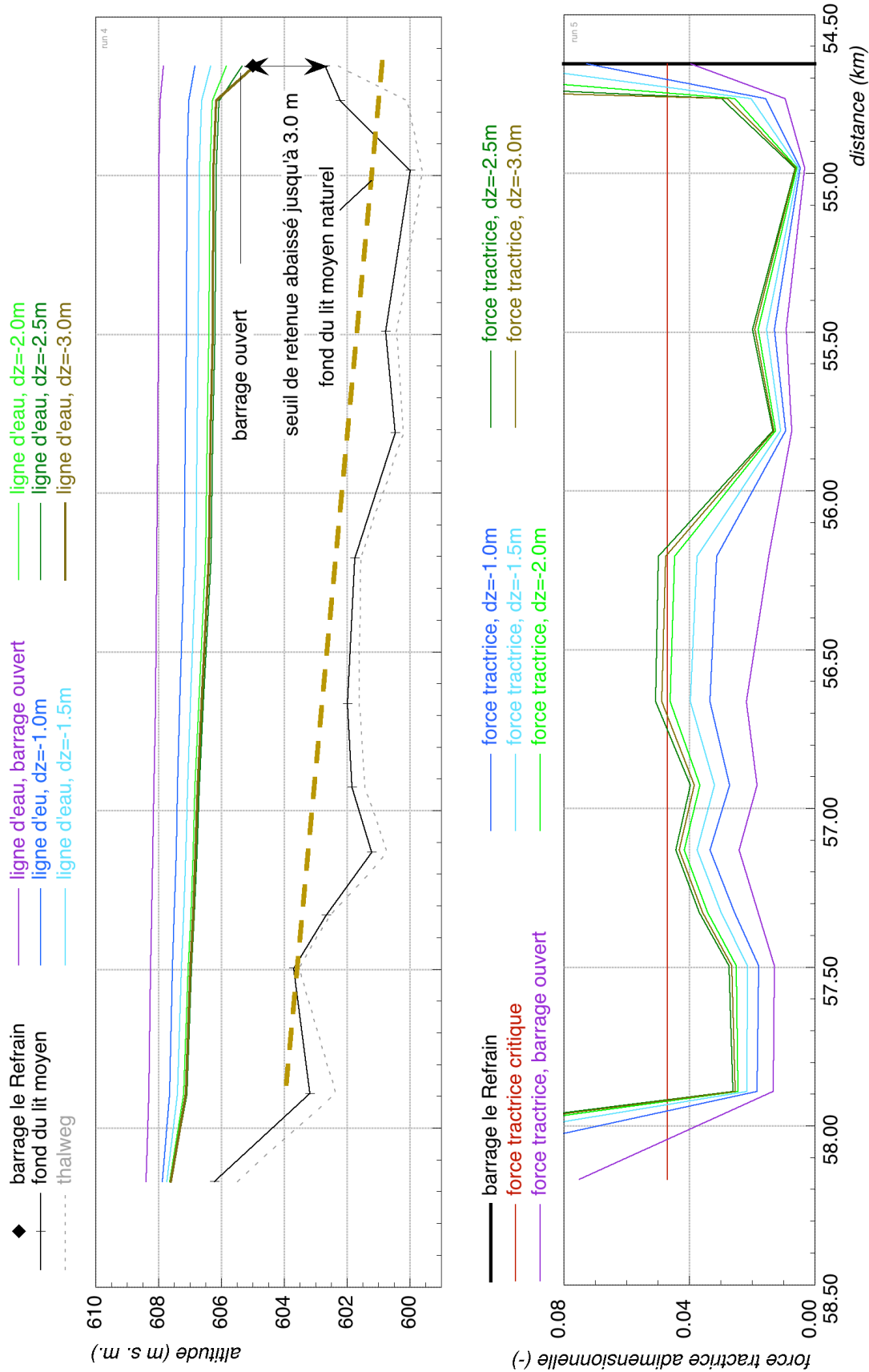


Image 7.16 Profil longitudinal de la retenue du Refrain avec abaissement successif du seuil de barrage (-1.0 à -3.0m). Débit $Q_{17}=198m^3/s$. En haut : fond moyen du cours d'eau et ligne du niveau d'eau. En bas : force tractrice adimensionnelle. Avec une valeur > 0.047 , les matériaux peuvent être transportés dans le thalweg.

7.4 La Goule

7.4.1 Description de l'installation

Installation	Barrage La Goule Installation hydroélectrique, n° 111, km 45.6
Coordonnées	561'161 / 230'483
Exploitant-concessionnaire	Société des Forces motrices de la Goule SA, 2610 Saint-Imier
Cours d'eau	Doubs
Commune	Le Noirmont (RCJU), Charmavillers (F)
Description de l'ouvrage (type, conception)	Mur en béton avec seuil de déversoir fixe, petite conduite de vidange et la prise d'eau du côté droit. Tronçon à débit résiduel / tronçon court-circuité 0.8 km, la centrale se trouve en aval du côté CH. Hauteur de chute exploitée 28 m. Débit de dotation 0.68 m ³ /s. Première mise en service 1894. La cote naturelle du déversoir (éboulis du tremblement de terre à Bâle) se trouve entre 534 et 535 msm, rehaussée structurellement à 535.90 msm. Augmentation de la cote du déversoir à 537.80 msm [20]. Largeur du déversoir actuel 50 m. Cote de retenue max. 641.30 msm pour Qmax 600 m ³ /s.
Fonctionnement	Le mode d'exploitation est dépendant des installations amont (Refrain et Chatelot), pour limiter les effets d'écluse. Un nouveau règlement d'eau sera appliqué en décembre 2014 et entrera en vigueur officiellement en décembre 2015. Pointe d'écluse 18 m ³ /s (débit équipé de turbinage). Aucune purge connue.
Accumulations (matériaux charriés, matière fine, débris flottants)	Peu de sédiment transporté et déposé dans la retenue à l'état actuel.
Composition /	Pierres, gravier.
Exploitation, volumes d'extraction	Pas de prélèvements connus.
Estimation grossière régime de charriage, passage de matériaux charriés	Les calculs hydrauliques donnent les résultats suivants (cf. texte et images aux pages suivantes) : Dans l'état actuel et avec un abaissement du barrage (jusqu'à 3 m), le transport de matériaux vers l'aval à travers la retenue n'est pas possible. A l'état naturel, la retenue d'eau à l'amont du rocher effondré serait comblée et les matériaux seraient transportés à l'aval de l'installation (le passage serait possible).
Quantité de matériaux charriés, caractérisation des matériaux solides (diamètre max)	Petite – moyenne. Pierres et gravier, angulaire.
Morphologie du bief amont et aval	Bief amont : chenal légèrement oscillant dans un fond de vallée d'env. 150 m de large. Bief aval : tronçons raides très resserrés avec de gros blocs.
Degré de l'atteinte	Très important

Atteinte grave oui/non	Morphologie Protection contre les crues Eaux souterraines	oui non non
Potentiel écologique	Important	
Importance du charriage	Moyen	
Mesure	Non (proportionnalité : pour le transport des matériaux, il faudrait refaire le barrage et combler avec du gravier la retenue d'eau à l'amont).	

Image 7.17

*Secteur supérieur de la retenue
La Goule.*

Vue vers l'aval.

23.7.2013



Image 7.18

Barrage La Goule avec déversoir fixe et captage (à gauche).

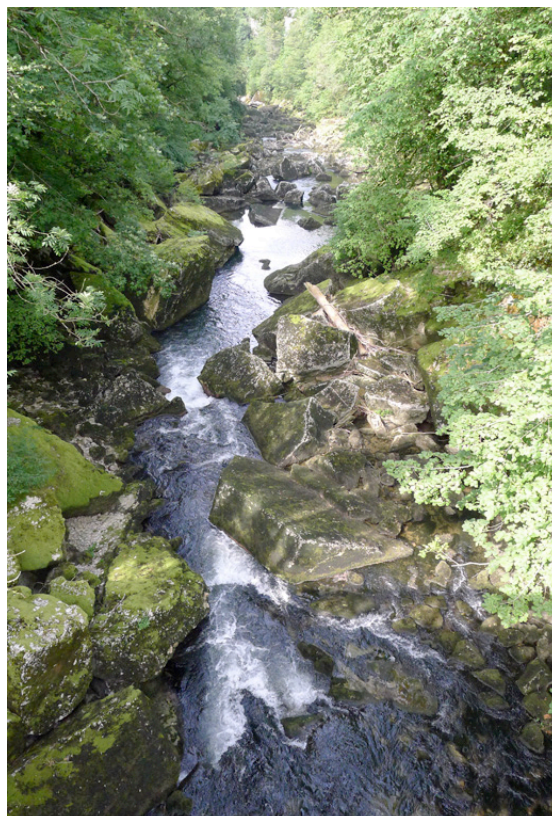
23.7.2013



Image 7.19

Tronçon du bief inférieur avec lit formé de gros blocs. Vue vers l'aval.

23.7.2013



7.4.2 Calculs hydrauliques

Modèle	Le modèle hydraulique se fonde sur les mesures bathymétriques de la retenue de la Goule ([16]). Les profils transversaux ont été déduits du plan des courbes de niveau, et à la fin du modèle, la géométrie du barrage a été prise en compte.
Rocher effondré Image 5.3, Image 7.19	Près de la Goule, un rocher s'est effondré en 1356, formant une retenue d'environ 2.8 km de long. Ce lac s'est comblé peu à peu de sédiments, et aujourd'hui, le front de charriage se trouve environ 550 m avant le barrage. Le front de charriage a atteint cette ligne avant la construction du premier barrage en 1894. Depuis la construction du barrage du Refrain (en amont de la Goule), l'apport en charriage est très faible. La quantité faible de gravier arrivant depuis l'amont se dépose dans la retenue sans arriver à proximité du barrage de la Goule.
Débits	Les calculs ont été effectués pour les débits caractéristiques suivants : $Q_{18j} = 80 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q_{9j} = 110 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q_{1j} = 198 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q_5 = 246 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q_{10} = 280 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q_{30} = 327 \text{ m}^3/\text{s}$
Etat actuel Image 7.23	Dans l'état actuel, le seuil de barrage fixe détermine le niveau d'eau à l'amont. La retenue forme un lac à très faible force tractrice. Même à 1.2 km en amont du barrage, la force tractrice adimensionnelle, pour tous les débits étudiés, est nettement inférieure à la valeur critique pour le transport de matériaux (0.047). Le transport de matériaux à travers la retenue n'est pas possible.

<p>Seuil de barrage abaissé Image 7.24</p>	<p>En cas de transformation du barrage et de l'installation d'un organe de régulation, il est possible de baisser le niveau d'eau à l'amont durant les débits de crue.</p> <p>L'Image 7.24 montre le niveau d'eau résiduel et la force tractrice pour un abaissement de 1.0 – 3.0 m et un débit de $Q_{ij} = 198 \text{ m}^3/\text{s}$.</p> <p>Plus le barrage est abaissé, plus la force tractrice en amont du barrage augmente. Dans le bassin, la force tractrice adimensionnelle, même avec un abaissement de 3 m, est inférieure à 0.047.</p> <p>Cela signifie que même si l'on installe un volet, le transport de matériaux vers l'aval à travers le bassin n'est pas possible.</p>
<p>Etat sans barrage de retenue Image 7.25</p>	<p>En cas de démantèlement du barrage, il y a toujours en remous créée par le dépôt d'éboulements qui interrompt le transport par charriage à travers le bassin. Avec un volume estimé restant de 40'000 à 50'000 m^3 (calcul approximatif à l'état actuel sur la base des relevés bathymétriques [16]), et un apport de matériaux de 400 m^3/a, il faudrait environ 100 ans pour combler le bassin et permettre le transport par charriage vers l'aval.</p>
<p>Etat naturel</p>	<p>A l'état naturel, l'atterrissement dans la retenue sera plus avancée. En supposant un apport de matériaux moyen de 800 m^3/a (chapitre 9.2), les dépôts de sédiments depuis 1894 auraient totalisé environ 96'000 m^3 (supposant les matériaux en suspension ne sont pas déposés dans la retenue naturelle). Ce volume est supérieur au volume restant dans la retenue de 40'000 à 50'000 m^3 (calcul approximatif). En d'autres termes, on peut partir de l'idée que les matériaux seraient transportés plus en aval (le passage serait possible).</p>

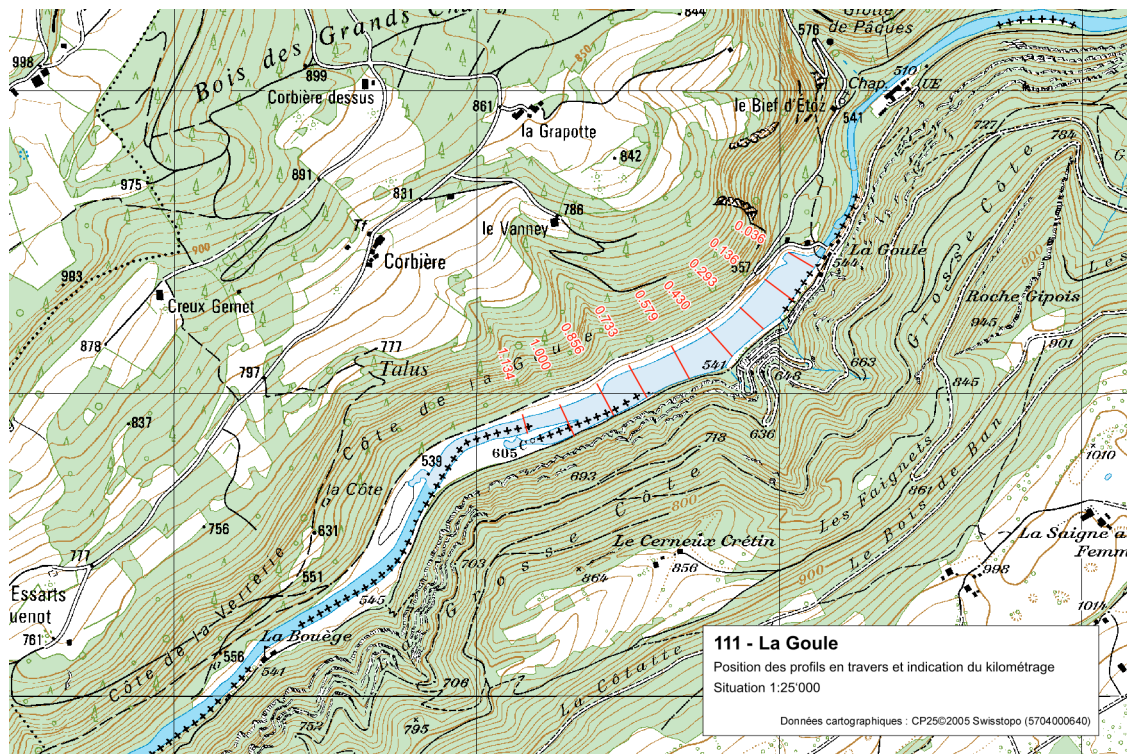








Image 7.20 Position des profils en travers pour le calcul hydraulique dans la retenue de La Goule.

évolution du fond du lit supposé

-  fond initial supposé avant éboulement
-  éboulement
-  sédiments fin, fond à l'état actuel (relevé bathymétrique [16])
-  gravier déposé, fond à l'état actuel (relevé bathymétrique [16])
-  fond du lit permettant la transition des matériaux (sans seuil)
-  fond du lit permettant la transition des matériaux (avec seuil)

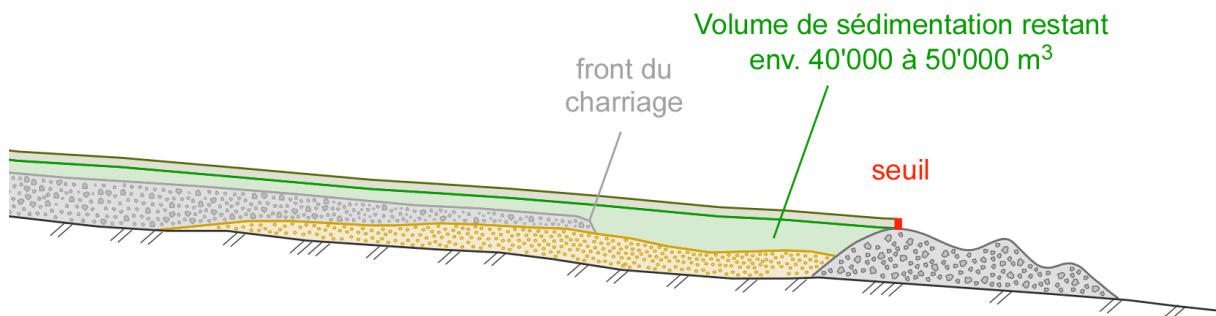


Image 7.21 Coupe schématique de la Goule.

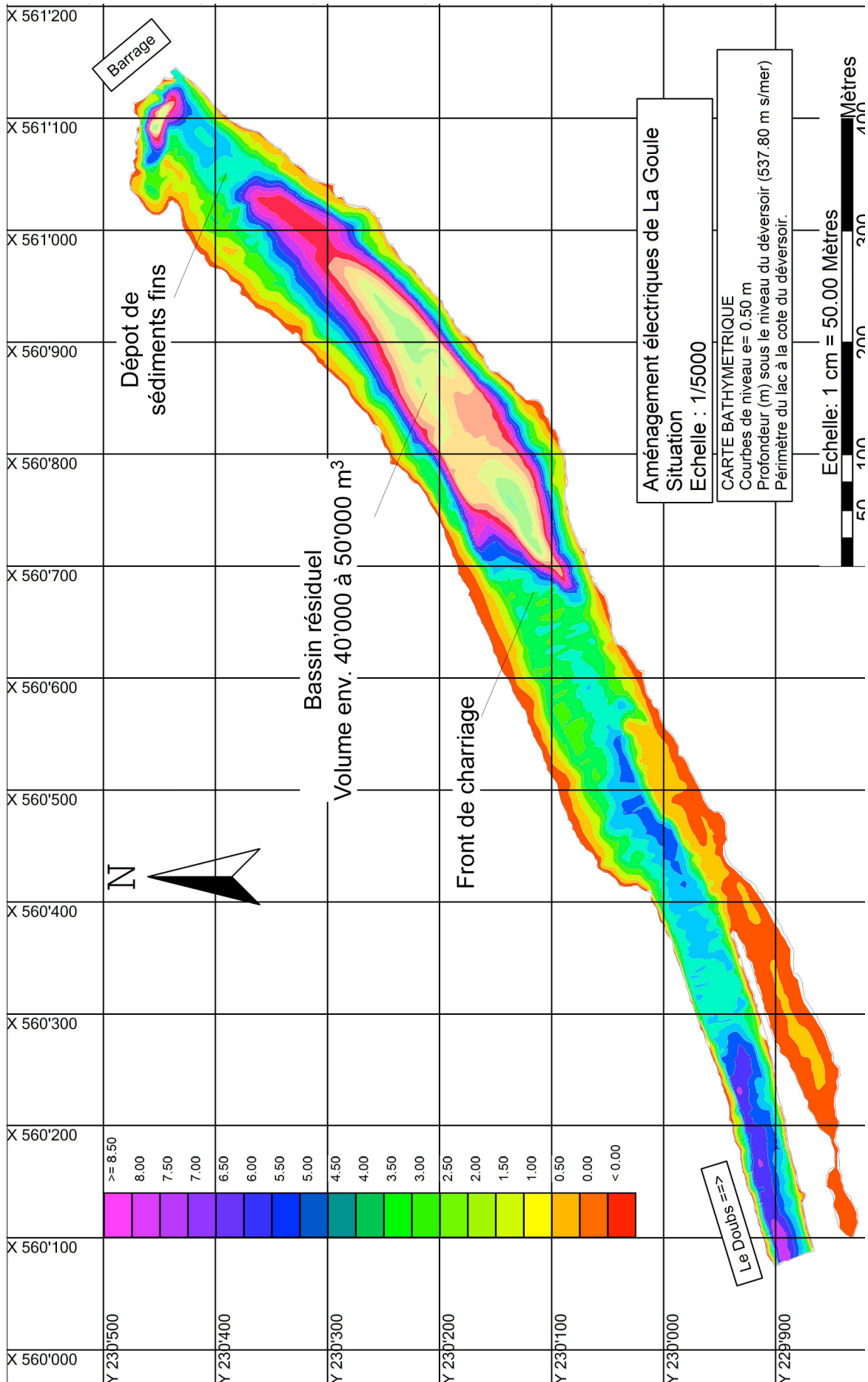


Image 7.22 Carthe bathymétrique montrant le fond du lit actuel de la retenue de la Goule avec front de charriage supposé [16]

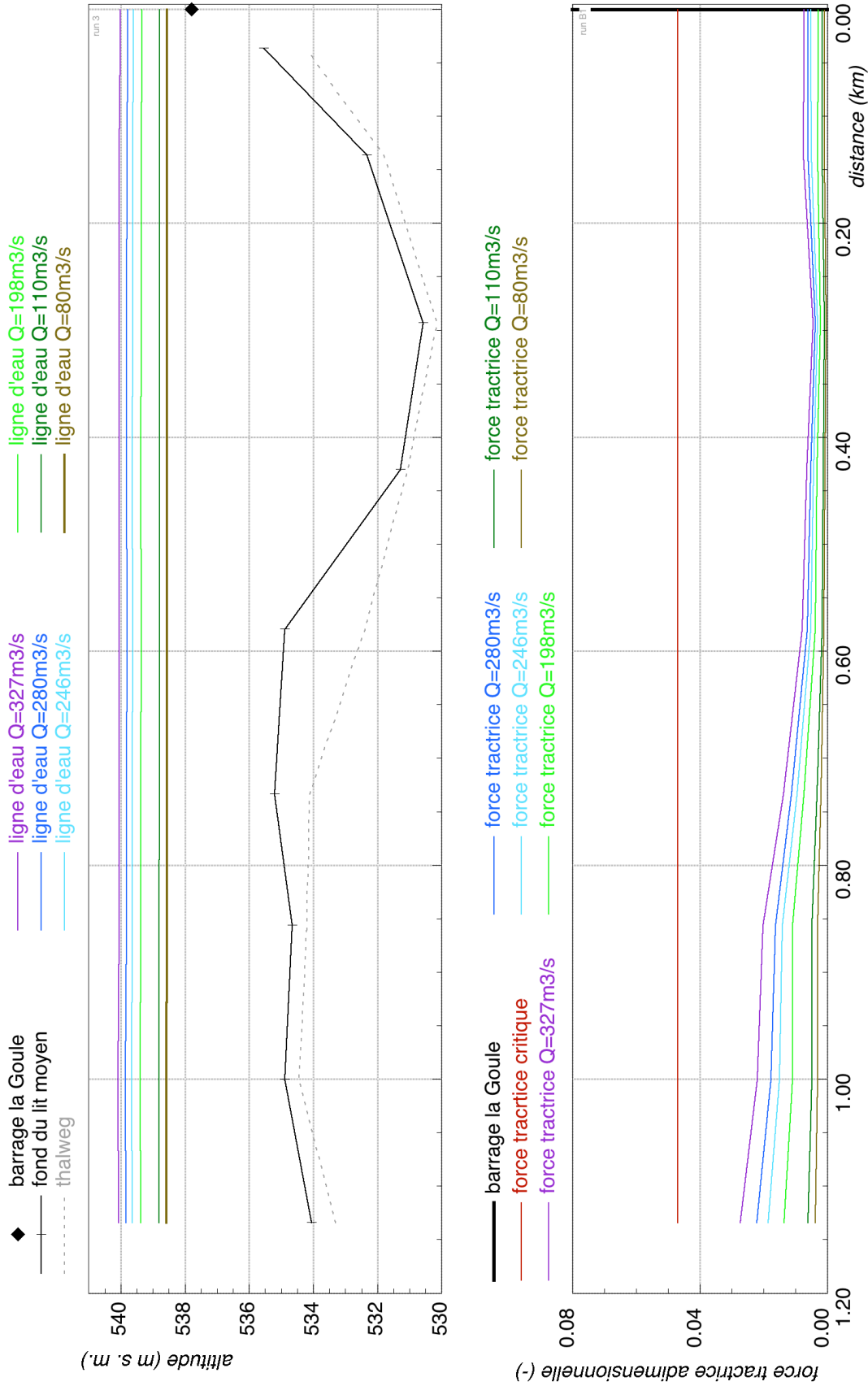


Image 7.23 Profil longitudinal de la Goule à l'état actuel (seuil de barrage 537.80msm).

En haut : fond moyen du cours d'eau et ligne du niveau de l'eau. En bas : force tractrice adimensionnelle. Avec une valeur > 0.047, les matériaux peuvent être transportés dans le thalweg.

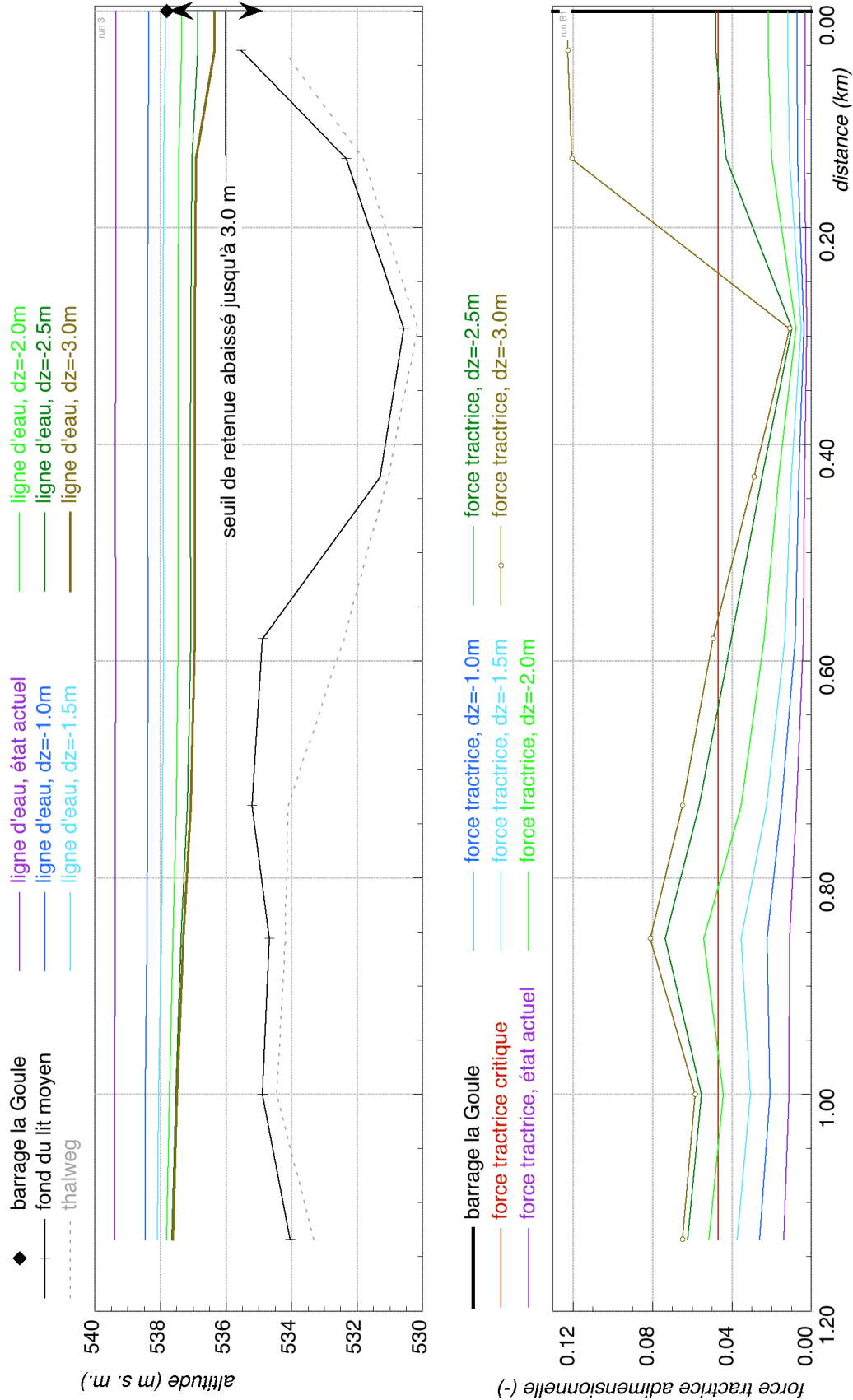


Image 7.24 Profil longitudinal de la retenue de la Goule avec abaissement progressif du seuil de barrage : débit $Q_{ij} = 198m^3/s$.

En haut : fond moyen du cours d'eau et ligne du niveau de l'eau. En bas : force tractrice adimensionnelle. Avec une valeur > 0.047 , les matériaux peuvent être transportés dans le thalweg.

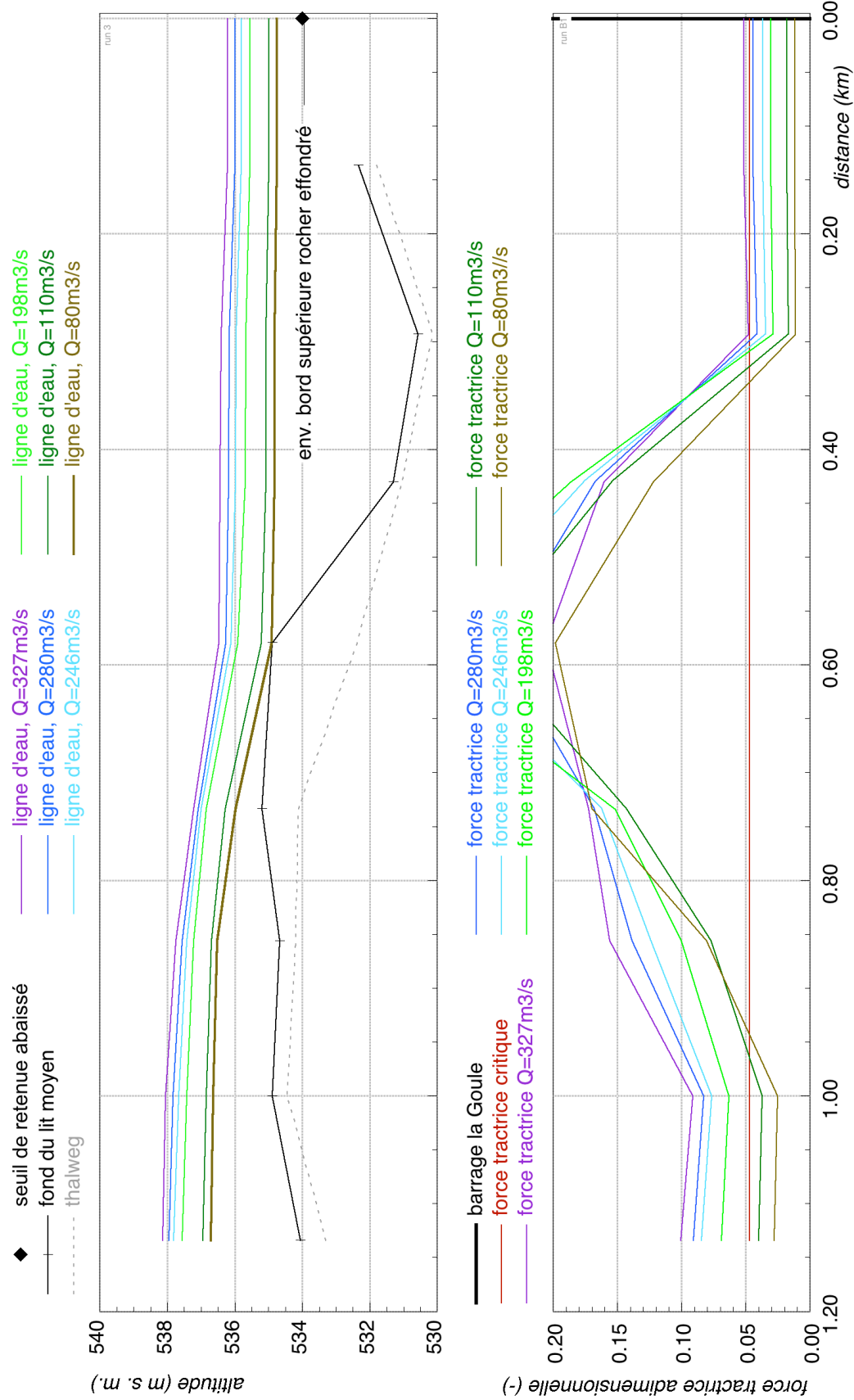


Image 7.25 Profil longitudinal de la retenue de la Goule avec seuil de retenue abaissé à 534.0msm (env. l'état naturel). En haut : fond moyen du cours d'eau et ligne du niveau de l'eau. En bas : force tractrice adimensionnelle. Avec une valeur > 0.047, les matériaux peuvent être transportés dans le thalweg.

7.5 Le Theusseret

7.5.1 Description de l'installation

Installation	Barrage du Theusseret Installation hydroélectrique, n° 112, km 42.2
Coordonnées	563'340 / 232'522
Exploitant-concessionnaire	Le détenteur n'a pas encore pu être clairement défini. Des recherches sont en cours dans le cadre du Groupe technique du Groupe binational pour l'amélioration de la qualité des eaux et des milieux aquatiques du Doubs franco-suisse (co-présidé par l'OFEV), suite à une étude du bureau Teleos sur la franchissabilité piscicole de ce seuil. [23]
Propriétaire riverain suisse	Béat Haefeli, Goumois Commune de Saignelégier Canoë-Club Jura, Courcelon
Cours d'eau	Doubs
Commune	Saignelégier (RCJU), Charmavillers (F)
Description de l'ouvrage (type, conception)	Déversoir fixe avec retenue d'env. 2.5 km de long. Hauteur de l'ouvrage env. 4 m
Fonctionnement	Hors service
Accumulations (matériaux charriés, matière fine, débris flottants)	Le transport de sédiments a été analysé à l'aide de calculs de modélisation. (Base : Prises de profil en travers en octobre 2013, Teleos). Sédiments et matières fines sont déposés intégralement dans le bassin de retenue.
Composition /	Pierres, gravier.
Exploitation, volumes d'extraction	Pas de prélèvements connus.
Estimation grossière régime de charriage, passage de matériaux charriés (cf. texte et images aux pages suivantes)	Dans l'état actuel, le transport de matériaux vers l'aval à travers la retenue n'est pas possible. L'abaissement du niveau de l'eau amont 1 m en-dessous du couronnement du barrage permettrait le transport de matériaux à travers la retenue à partir d'un débit de $130 \text{ m}^3/\text{s}$ (env. Q_{6j}). A l'état naturel, le transport de matériaux vers l'aval était possible même avec de faibles débits de crue.
Quantité de matériaux charriés, caractérisation des matériaux solides (diamètre max)	Petite – moyenne. Pierres et gravier, angulaire. Dépôt de matériaux fins supposé dans la retenue et possibilité de présence de polluants pas exclus.
Morphologie du bief amont et aval	Bief amont : vallée en V avec lit étroit et pente plutôt faible. Bief aval : après un virage à droite serré, lent élargissement progressif au fond de vallée, morphologie proche de l'état naturel.
Degré de l'atteinte	Très important
Atteinte grave oui/non	Morphologie oui Protection contre les crues non Eaux souterraines non
Potentiel écologique	Important
Importance du charriage	Important
Mesure variante 1	Démantèlement du seuil du barrage et rétablissement de l'état naturel en adéquation avec l'étude sur la franchissabilité du seuil par la faune piscicole réalisée par le bureau Teleos [23]. Avant de mettre en oeuvre cette mesure, des analyses chimiques devraient être effectuées sur les sédiments. La retenue est supprimée et un tronçon d'écoulement est rétabli sur une longueur de 2.5km. L'assainissement de la migration du poisson est garanti.

Mesure variante 2	Reconstruction du barrage avec un volet qui est abaissé lors de débit de forte crue ; les matériaux continuent à être transportés vers l'aval. La retenue subsiste.
Investissement	Variante 1 : moyen (en cas des sédiments non contaminés) Variante 2 : important
Rapport coût-utilité	Variante 1: bon variante 2 : moyen (Le rapport coût-utilité dépend de la qualité des sédiments fins (p.ex polluants). Avec les connaissances actuelles il n'est pas possible de quantifier l'ordre de grandeur des variations.)
Proportionnalité	Oui (deux variantes)
Priorité	Variante 1 : 1; Variante 2 : 2
Délai	Choix de la variante jusqu'en 2020 Réalisation jusqu'en 2030 (Côté français, il existe une obligation d'assainir avant fin 2018 (rétablissement de la continuité écologique))



Image 7.26

Barrage du Theusseret avec déversoir fixe et installation de captage à l'arrêt. 24.7.2013



Image 7.27

Le large lit du Doubs en aval du barrage avec affleurements de falaise et blocs résiduels (en arrière-plan). Vue vers l'aval. 24.7.2013

7.5.2 Calculs hydrauliques

Modèle	<p>Le modèle hydraulique se fonde sur les mesures bathymétriques de la retenue du Theusseret ([15]). A la fin du modèle, la géométrie du barrage a été prise en compte.</p> <p>Les mesures n'ont pas été raccordées au réseau suisse de mesures (pas de cotes d'altitude).</p>
Débits	<p>Les calculs hydrauliques ont été effectués pour les débits caractéristiques suivants :</p> <p>$Q_{18j} = 80\text{m}^3/\text{s}$ $Q_{9j} = 110\text{m}^3/\text{s}$ $Q_{1j} = 198\text{m}^3/\text{s}$ $Q_5 = 246\text{m}^3/\text{s}$ $Q_{10} = 280\text{m}^3/\text{s}$</p>
Etat actuel Image 7.29	<p>Dans l'état actuel, le seuil du barrage fixe détermine le niveau de l'eau amont. La retenue forme un lac à très faible force tractrice. Même à 0.6 km en amont du barrage, la force tractrice adimensionnelle, pour tous les débits étudiés, est nettement inférieure à la valeur critique pour le transport de matériaux (0.047).</p> <p>Le transport de matériaux à travers la retenue n'est pas possible.</p>

<p>Seuil de barrage abaissé Image 7.30</p>	<p>L'abaissement du niveau de l'eau amont 1 m en-dessous de la couronne du barrage permettrait le transport des matériaux vers l'aval à travers la retenue à partir d'un débit d'env. $130\text{m}^3/\text{s}$, respectivement \emptyset env. 6 jours par an.</p> <p>Dans ces conditions, les matériaux peuvent être régulièrement transportés vers l'aval et il n'y a pas d'atteinte au régime de charriage.</p> <p>Lors de gros débit de crue (dès $200\text{m}^3/\text{s}$), les conditions d'écoulement correspondent à celle de l'état sans barrage (il faut un abaissement du seuil plus important que lors de plus faible débit de crue).</p>
<p>Etat sans barrage, état naturel Image 7.31</p>	<p>Selon le profil en long, il n'y avait pas de seuil rocheux à l'état naturel.</p> <p>En cas de démantèlement du seuil de barrage, le débit de l'eau amont serait fortement accéléré, et le transport de matériaux vers l'aval serait possible à partir d'un débit de $Q_{18j} = 80\text{m}^3/\text{s}$.</p> <p>Même si le fond rocheux naturel était plus élevé, le transport des matériaux serait possible sans entrave.</p>

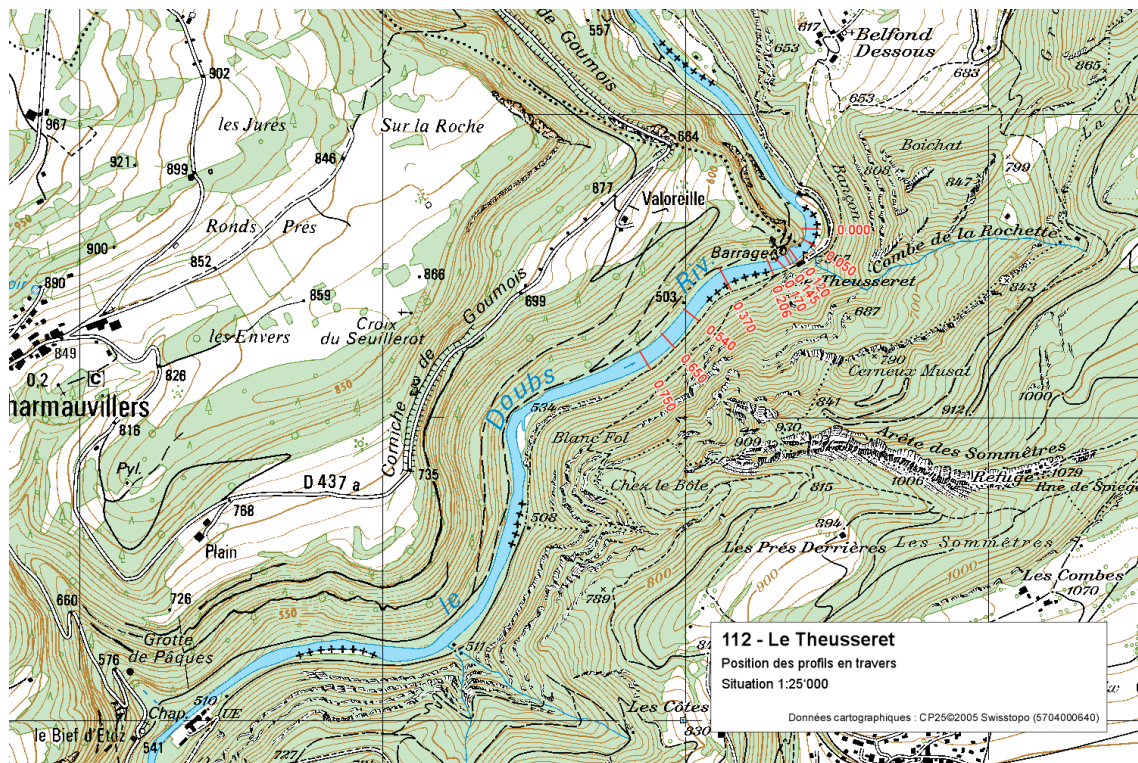


Image 7.28 Position des profils en travers pour le calcul hydraulique dans la retenue du Theusseret.

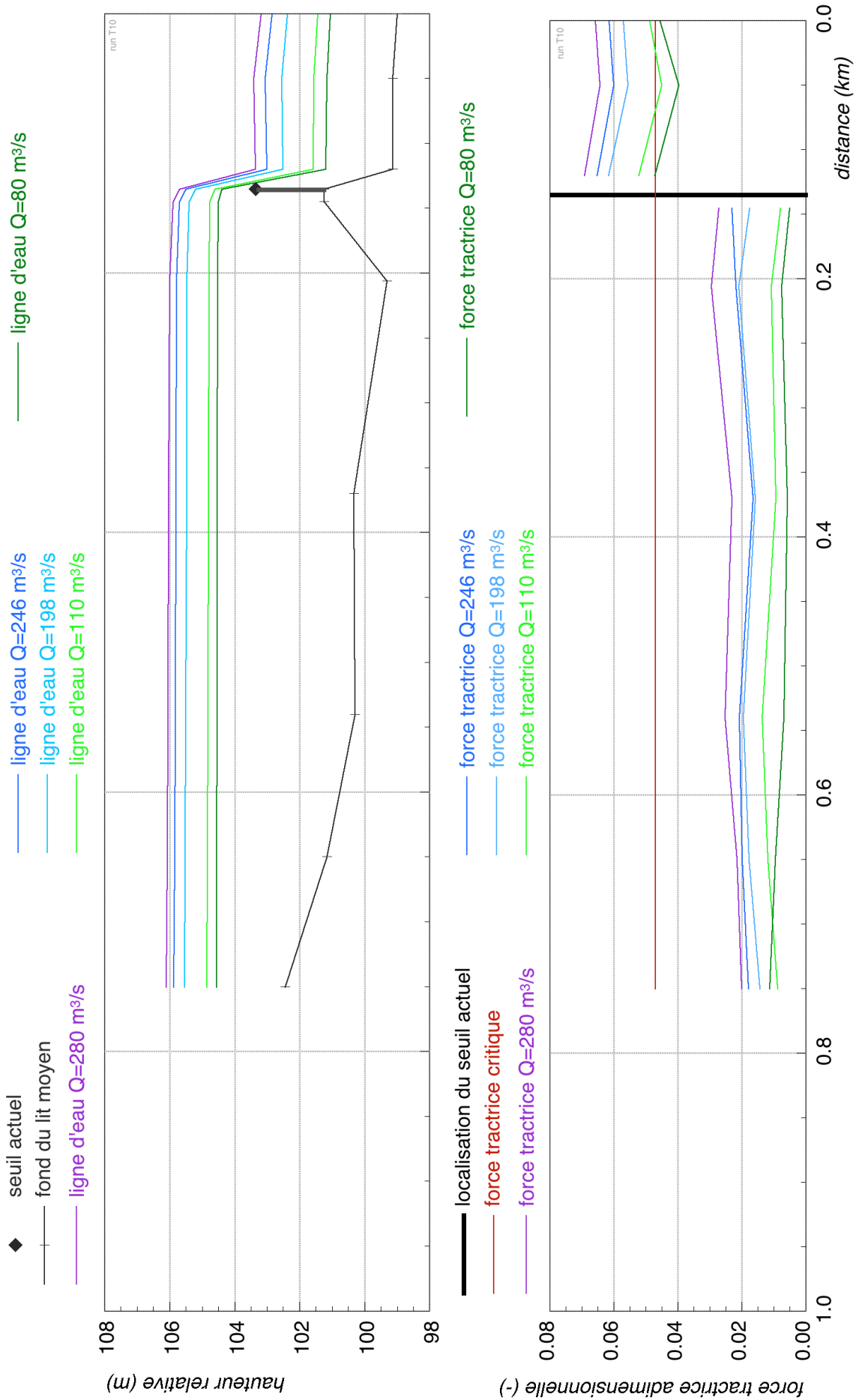


Image 7.29 Profil longitudinal du Theusseret à l'état actuel. En haut : lit moyen et tracé du niveau d'eau. En bas : force tracrice unitaire adimensionnelle. Pour une valeur > 0,047 (ligne rouge), les matériaux peuvent être transportés dans le thalweg.

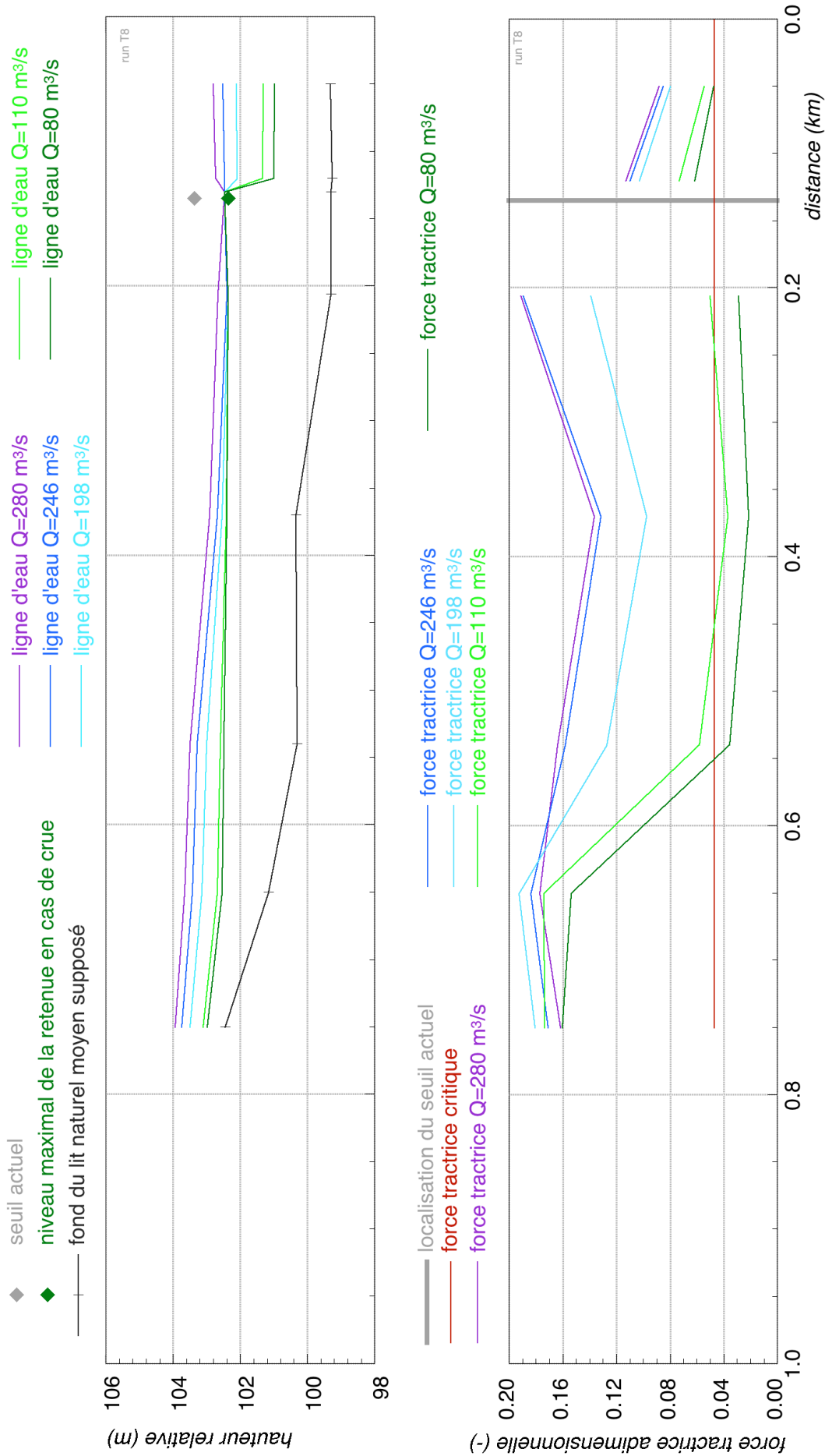


Image 7.30 Profil longitudinal du Theusseret lors d'un abaissement du niveau d'eau amont d'un mètre en-dessous de la crête du déversoir actuel. En haut : lit moyen et tracé du niveau d'eau. En bas : force tractrice unitaire adimensionnelle. Pour une valeur > 0,047 (ligne rouge), les matériaux peuvent être transportés dans le thalweg.

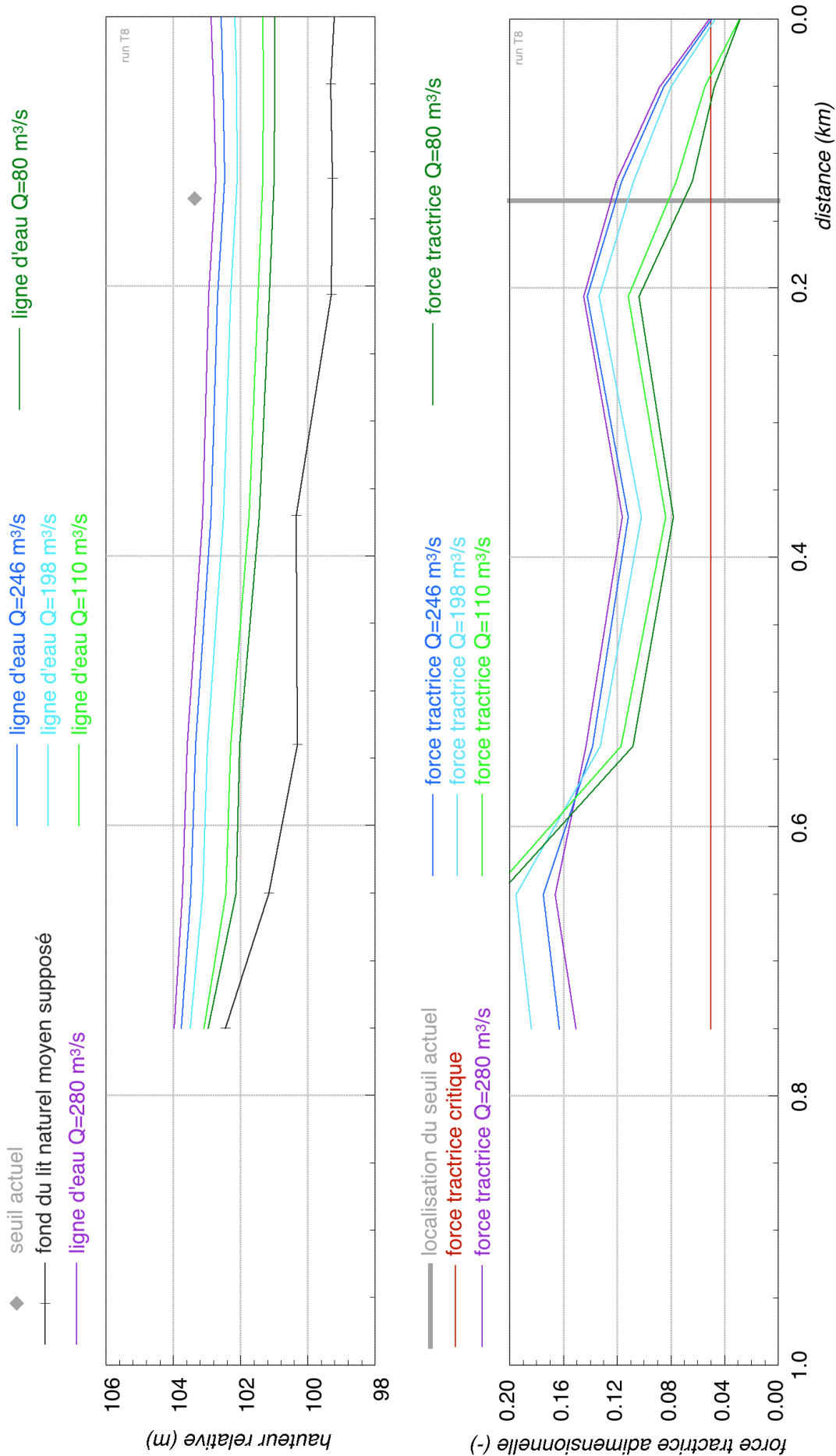


Image 7.31 Profil longitudinal du Theusseret à l'état non altéré (sans seuil). En haut : lit moyen et tracé du niveau d'eau. En bas : force tractrice unitaire adimensionnelle. Pour une valeur > 0,047 (ligne rouge), les matériaux peuvent être transportés dans le thalweg.

7.6 Moulin du Plain

Installation	Le Moulin du Plain Installation hydroélectrique, n° 132, km 35.55
Coordonnées	563'100 / 238'025
Exploitant-concessionnaire	-
Propriétaire riverain suisse	RCJU
Cours d'eau	Doubs
Commune	Saignelégier (RCJU), Indevillers (F)
Description de l'ouvrage (type, conception)	Seuil en blocs. Sur la carte Siegfried (1938-1939), la prise se situe avec l'ouvrage transversal environ 300 m en amont.
Fonctionnement,	Hors service
Accumulations (matériaux charriés, matière fine, débris flottants)	Aucune visible.
Composition	-
Exploitation, volumes d'extraction	Pas de prélèvements connus.
Modèle	Le modèle hydraulique se fonde sur les mesures bathymétriques de la retenue du Moulin du Plain ([15]). A la fin du modèle, la géométrie du barrage a été prise en compte. Les mesures n'ont pas été raccordées au réseau suisse de mesures (pas de cotes d'altitude).
Débits	Les calculs hydrauliques ont été effectués pour les débits caractéristiques suivants : $Q_{18j} = 91\text{m}^3/\text{s}$ $Q_{9j} = 125\text{m}^3/\text{s}$ $Q_{1j} = 219\text{m}^3/\text{s}$ $Q_5 = 265\text{m}^3/\text{s}$ $Q_{10} = 300\text{m}^3/\text{s}$
Estimation grossière régime de charriage, passage de matériaux charriés. Image 7.35	L'installation est franchissable pour les sédiments avec un débit de $175\text{m}^3/\text{s}$ et plus. En moyenne, ce débit est atteint ou dépassé environ trois jours par an. (Base : calcul de modélisation avec des profils en travers levés en octobre 2013, Teleos [16]). Malgré la force tractrice calculée est inférieure à 0.047 à proximité du seuil, on suppose que le charriage est transporté par dessus du seuil à l'aval de l'installation. Ceci est dû à une accélération de l'écoulement en direction de la crête du seuil qui se fait par des phénomènes à trois dimensions qui ne sont pas pris en compte dans les calculs hydrauliques 1D.
Quantité de matériaux charriés, caractérisation des matériaux solides (diamètre max)	Aucune évaluation.
Morphologie du bief amont et aval	Bief amont : chenal légèrement sinueux dans la plaine étroite. Bief aval: comme dans le bief amont dans une vallée un peu plus large.
Degré de l'atteinte	Faible
Atteinte grave oui/non	Morphologie non Protection contre les crues non Eaux souterraines non
Potentiel écologique	Important

Importance du charriage	Important
Mesure	Aucune



Image 7.32 Seuil en blocs au Moulin du Plain. 24.7.2013



Image 7.33 Seuil en blocs avec zone d'affouillement et banc de gravier sur la rive gauche. 24.7.2013

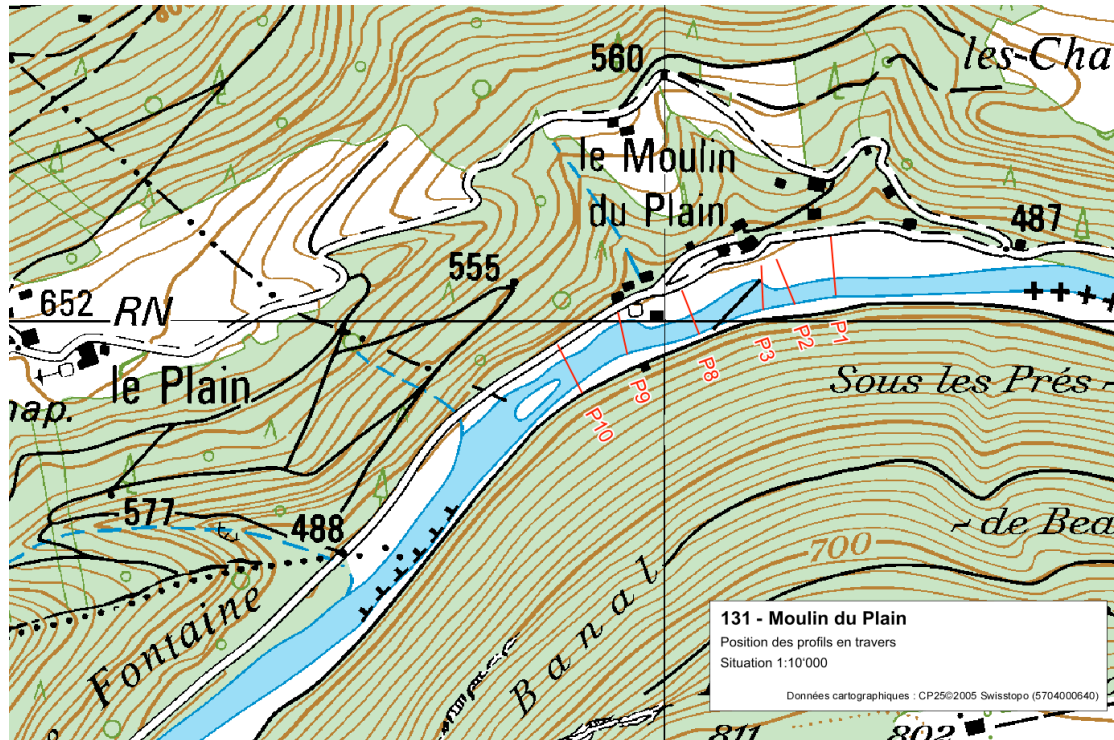


Image 7.34 Position des profils en travers pour le calcul hydraulique dans la retenue de Moulin du Plain.

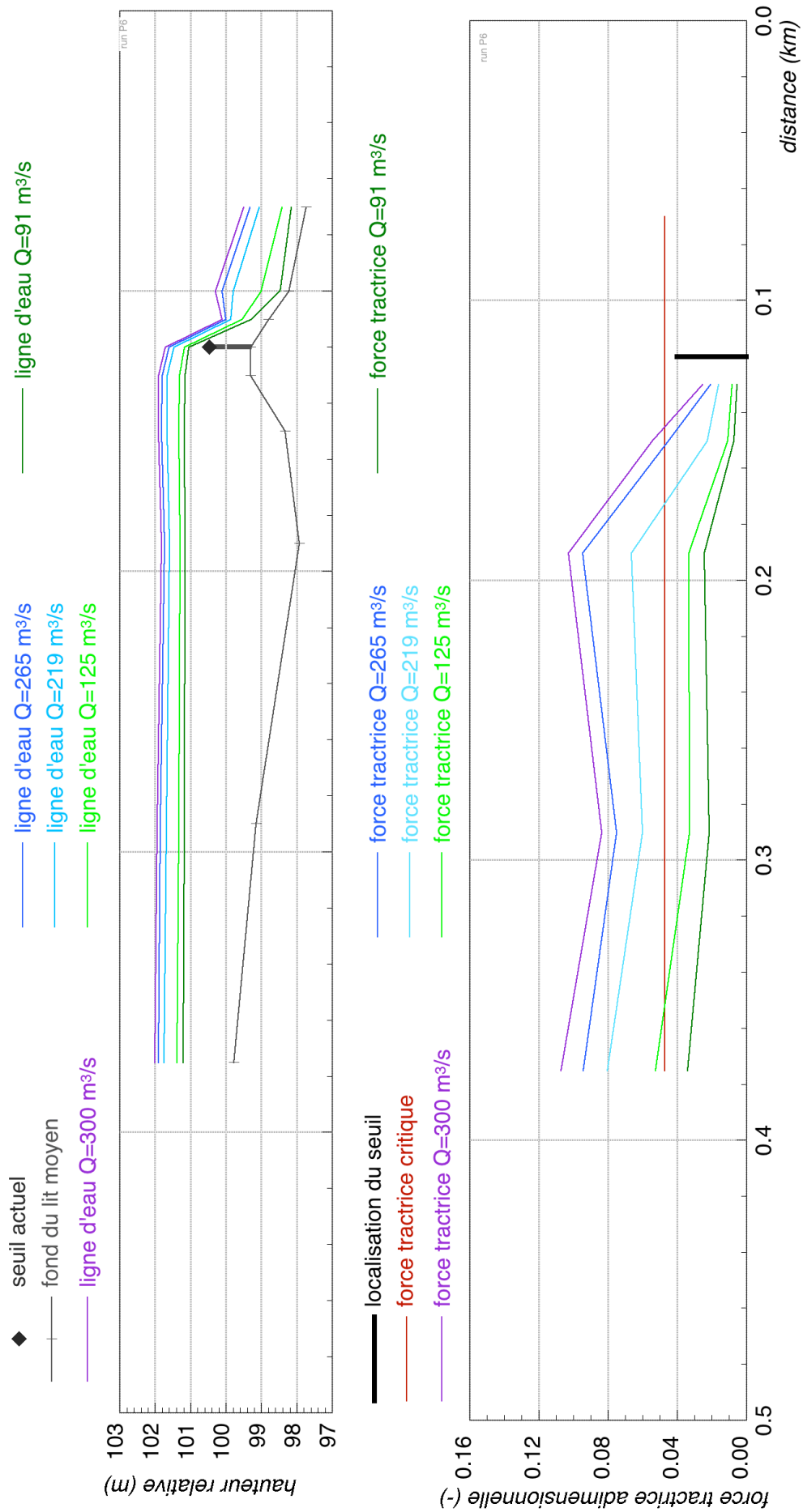


Image 7.35 Profil longitudinal du **Moulin du Plain** dans l'état actuel. En haut : lit moyen et tracé du niveau d'eau. En bas : force tractive unitaire adimensionnelle. Pour une valeur $> 0,047$ (ligne rouge), les matériaux peuvent être transportés dans le thalweg.

7.7 Moulin Jeannottat

Installation	Moulin Jeannottat Installation hydroélectrique, n° 116, km 31.75
Coordonnées	566'345 / 238'425
Exploitant-concessionnaire	-
Propriétaire riverain suisse	Pierre Dubail, Les Pommerats
Cours d'eau	Doubs
Commune	Saignelégier (RCJU), Indevillers (F)
Description de l'ouvrage (type, conception)	Seuil du déversoir partiellement construit en retrait, disposé obliquement, qui se présente aujourd'hui plutôt comme un seuil de fond légèrement surélevé. Aucune prise d'eau visible.
Fonctionnement	Hors service
Accumulations (matériaux charriés, matière fine, débris flottants)	-
Composition	Pierres, gravier.
Exploitation, volumes d'extraction	Pas de prélèvements connus.
Estimation grossière régime de charriage, passage de matériaux charriés	Passage possible.
Quantité de matériaux charriés, caractérisation des matériaux solides (diamètre max)	Moyenne. Pierres et gravier, angulaire. Dmax env. 8 cm.
Morphologie du bief amont et aval	Bief amont : le seuil provoque une faible retenue. Bief aval : élargissement avec banc de gravier plat sur la rive droite.
Degré de l'atteinte	Aucune
Atteinte grave oui/non	Morphologie non Protection contre les crues non Eaux souterraines non
Potentiel écologique	Important
Importance du charriage	Important
Mesure	Aucune



Image 7.36 Seuil à tracé oblique, partiellement remis à l'état naturel, Moulin Jeannotat.
24.7.2013



Image 7.37 Tracé large du cours d'eau avec banc de gravier plat en aval du seuil de Moulin Jeannotat. Sens de l'écoulement de gauche à droite. Vue vers l'aval. 24.7.2013

7.8 Moulin Grillon

Installation	Moulin Grillon Installation hydroélectrique, n° 113, km 10.9
Coordonnées	579'040 / 246'230
Exploitant-concessionnaire	Moulin Grillon SA / BCF Hydro Bourquard Pierre-Alain, Saint-Ursanne
Cours d'eau	Doubs
Commune	Clos du Doubs
Description de l'ouvrage (type, conception)	Déversoir latéral (env. 120 m de long) avec prise côté droit dans le canal en amont. Cote de déversement varie entre 435.20 et 435.5 msm (données de BG Ingenieurs [25]).
Fonctionnement	Déversoir fixe sans parties mobiles, aucune possibilité de régulation ni de purge. Le niveau d'eau dépend du débit.
Accumulations (matériaux charriés, matière fine, débris flottants)	En aval du déversoir latéral se trouvent plusieurs petits bancs de gravier avec une composition différente et des îles couvertes de végétation.
Composition /	Pierres, gravier.
Exploitation, volumes d'extraction	Pas de prélèvements connus.
Modèle	Le modèle hydraulique se fonde sur les relevés des profils en travers de 2008 [14]. A la fin du modèle, la géométrie du barrage a été prise en compte.
Débits	Les calculs hydrauliques ont été effectués pour les débits caractéristiques suivants : $Q_{18j} = 101\text{m}^3/\text{s}$ $Q_{9j} = 136\text{m}^3/\text{s}$ $Q_{1j} = 239\text{m}^3/\text{s}$ $Q_5 = 286\text{m}^3/\text{s}$ $Q_{10} = 322\text{m}^3/\text{s}$
Estimation grossière régime de charriage, passage de matériaux charriés. Image 7.43	Le passage du charriage a été vérifié à l'aide de calculs hydrauliques. (Base : relevés de profil en travers OFEV 2008). Q_{1j} : passage garanti Q_{9j} : passage des sédiments presque possible Installation non-franchissable pour des débits plus faibles ($< 130\text{m}^3/\text{s}$).
Quantité de matériaux charriés, caractérisation des matériaux solides (diamètre max)	Moyenne. Pierres et gravier, arrondi jusqu'à légèrement angulaire. Dmax env. 10 cm, LZA2.
Morphologie du bief amont et aval	Bief amont : chenal avec faible vitesse d'écoulement en débit d'étiage. Bief aval : lit du cours d'eau très large avec des bancs et des îles. À Saint-Ursanne, bancs de gravier plats au milieu du chenal.
Degré de l'atteinte	Faible.
Atteinte grave oui/non	Morphologie non Protection contre les crues non Eaux souterraines non
Potentiel écologique	Important
Importance du charriage	Important
Mesure	Aucune

Image 7.38

*Seuil au Moulin Grillon.
Déversoir latéral bancs
de gravier et des îles
recouvertes de végéta-
tion à l'aval.*

24.7.2013

*Image 7.39*

Seuil au Moulin Grillon

24.7.2013

*Image 7.40*

Dépôt de gravier en aval d'une petite île.

24.7.2013

*Image 7.41*

Dépôts de sédiments de granulométrie moyenne.

24.7.2013

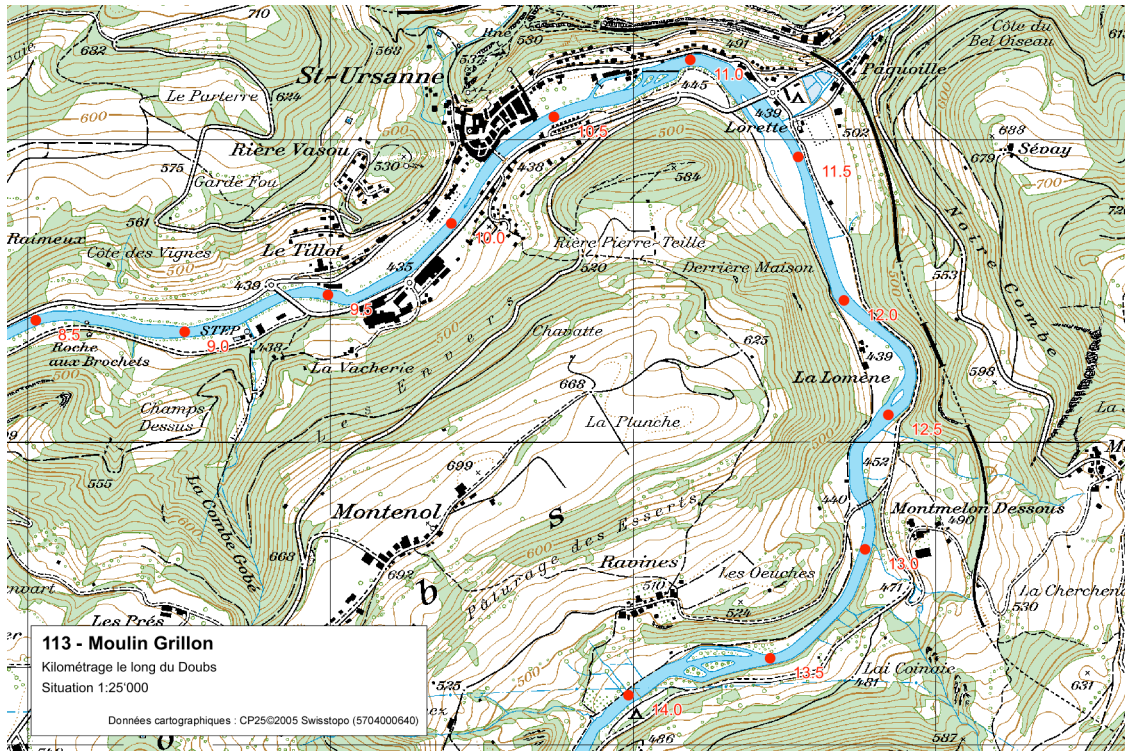


Image 7.42 Kilométrage le long du Doubs près de Moulin Grillon à St. Ursanne

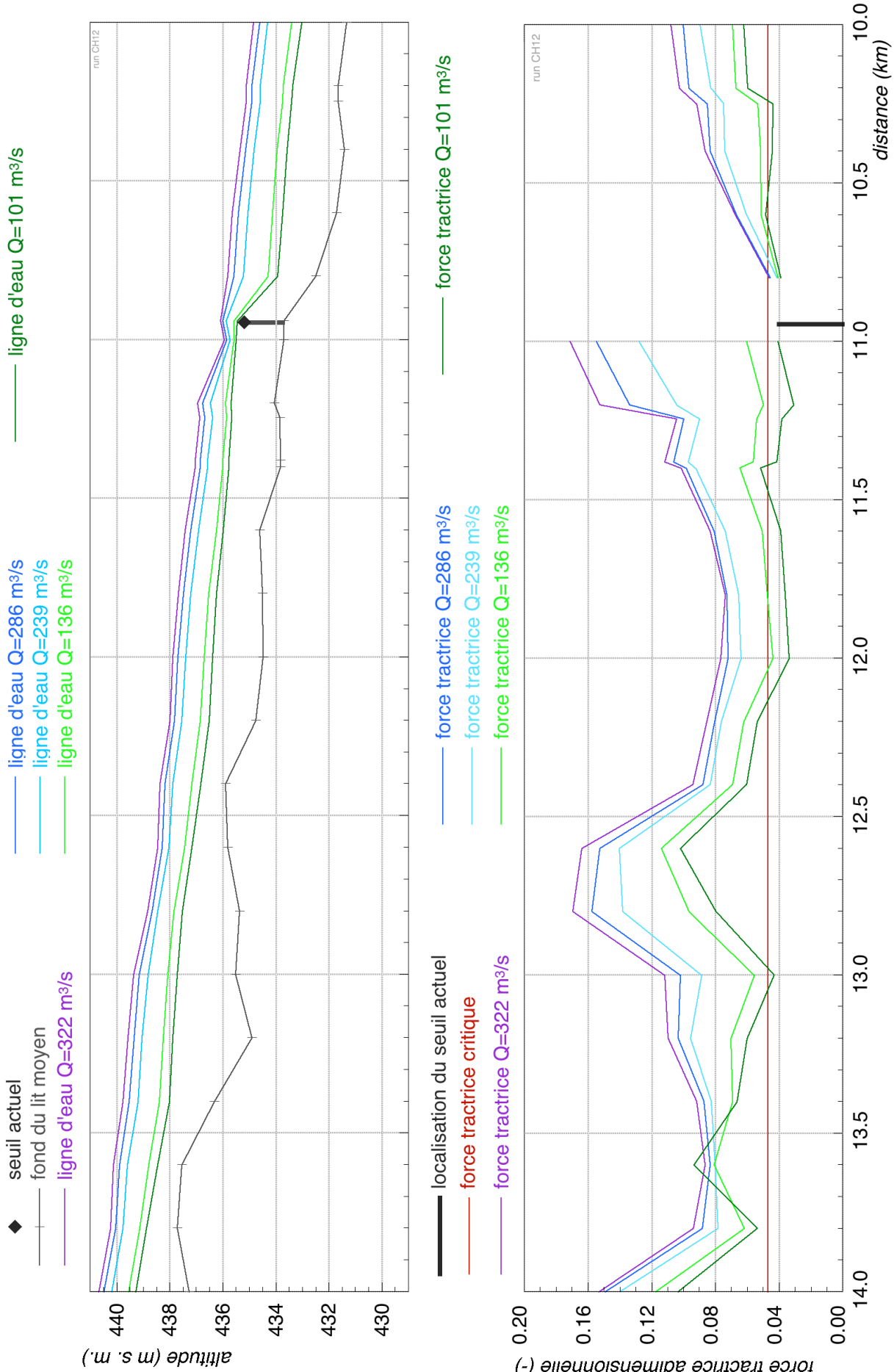


Image 7.43 Profil longitudinal du **Moulin Grillon à l'état actuel**. En haut : lit moyen et tracé du niveau d'eau. En bas : force tracrice unitaire adimensionnelle. Pour une valeur > 0,047 (ligne rouge), les matériaux peuvent être transportés dans le thalweg.

7.9 Bellefontaine

Installation	Bellefontaine Installation hydroélectrique, n° 114, km 6.05
Coordonnées	574'762 / 245'141
Exploitant-concessionnaire	BKW-FMB SA est responsable de l'ouvrage jusqu'au 29 juin 2034. Mais dans le but de se départir de ses obligations, les FMB ont signé une convention la liant à la commune de St-Ursanne qui se rend responsable de l'entretien des installations sises dans le lit mouillé du Doubs contre le paiement d'une indemnité unique de 160'000 CHF, indépendamment de la territorialité.
Cours d'eau	Doubs
Commune	Clos du Doubs
Description de l'ouvrage (type, conception)	Déversoir fixe, disposé obliquement (env. 100 m de long) avec prise côté droit dans le canal en amont. Pas de parties mobiles.
Fonctionnement	Hors service Le niveau d'eau n'est pas régulé.
Accumulations (matériaux charriés, matière fine, débris flottants)	Dépôts de sédiments faibles en aval le long de la rive convexe.
Composition	Gravier, plutôt fin.
Exploitation, volumes d'extraction	Pas de prélèvements connus.
Modèle	Le modèle hydraulique se fonde sur des relevés du profil transversal de 2008 [14]. A la fin du modèle, la géométrie du barrage a été prise en compte.
Débits	Les calculs hydrauliques ont été effectués pour les débits caractéristiques suivants : $Q_{18j} = 101\text{m}^3/\text{s}$ $Q_{9j} = 136\text{m}^3/\text{s}$ $Q_{1j} = 239\text{m}^3/\text{s}$ $Q_5 = 286\text{m}^3/\text{s}$ $Q_{10} = 322\text{m}^3/\text{s}$
Estimation grossière régime de charriage, passage de matériaux charriés. Image 7.47	Le passage du charriage a été testé à l'aide de calculs hydrauliques. (Base : relevés de profil en travers OFEV 2008). Installation franchissable pour des débits à partir de $200\text{ m}^3/\text{s}$ (env. Q_{3j}).
Quantité de matériaux charriés, caractérisation des matériaux solides (diamètre max)	Moyenne. Pierres et gravier, émoussées à légèrement angulaires. Dmax env. 12 cm ->LZA2.
Morphologie du bief amont et aval	Bief amont : chenal avec faible vitesse d'écoulement en débit d'étiage. Bief aval : vitesse d'écoulement élevée avec virage à droite. Lit pavé.
Degré de l'atteinte	Faible
Atteinte grave oui/non	Morphologie non Protection contre les crues non Eaux souterraines non
Potentiel écologique	Important
Importance du charriage	Important
Mesure	Aucune

Image 7.44

Seuil de Bellefontaine. Déversoir fixe, disposé obliquement.

23.7.2013



Image 7.45

Bassin d'amortissement avec virage à droite et sédiments fins (brun clair, sur la rive droite).

23.7.2013



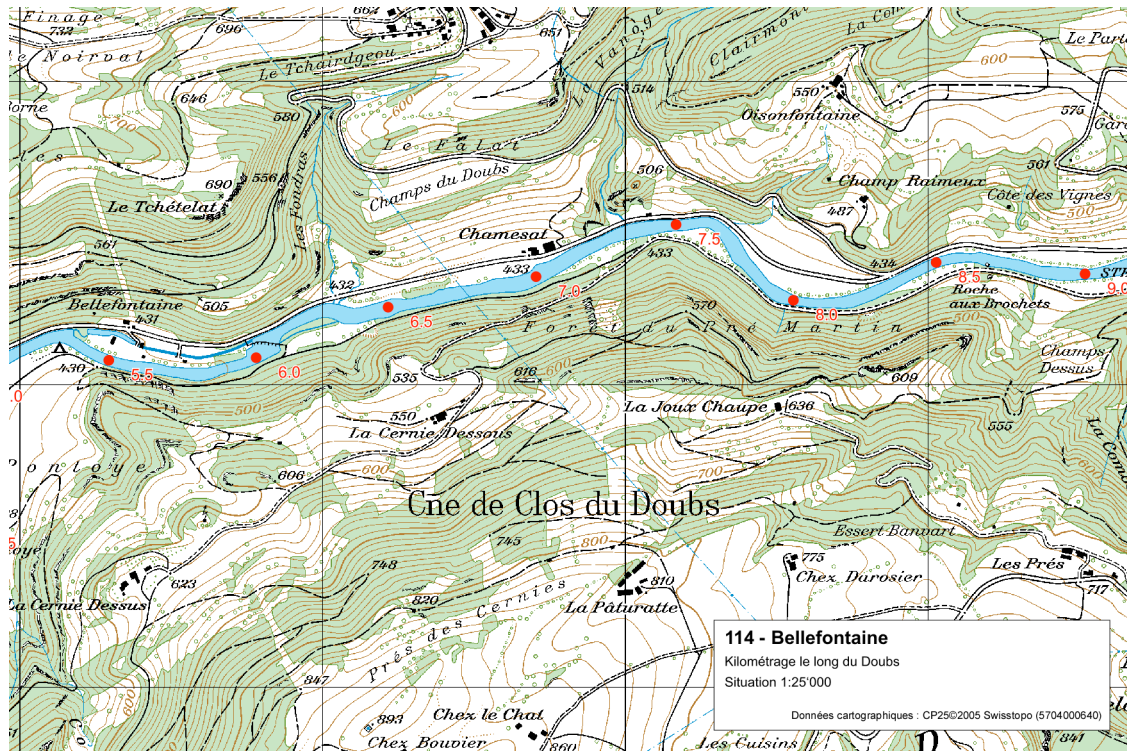


Image 7.46 Kilométrage le long du Doubs près du barrage de Bellefontaine

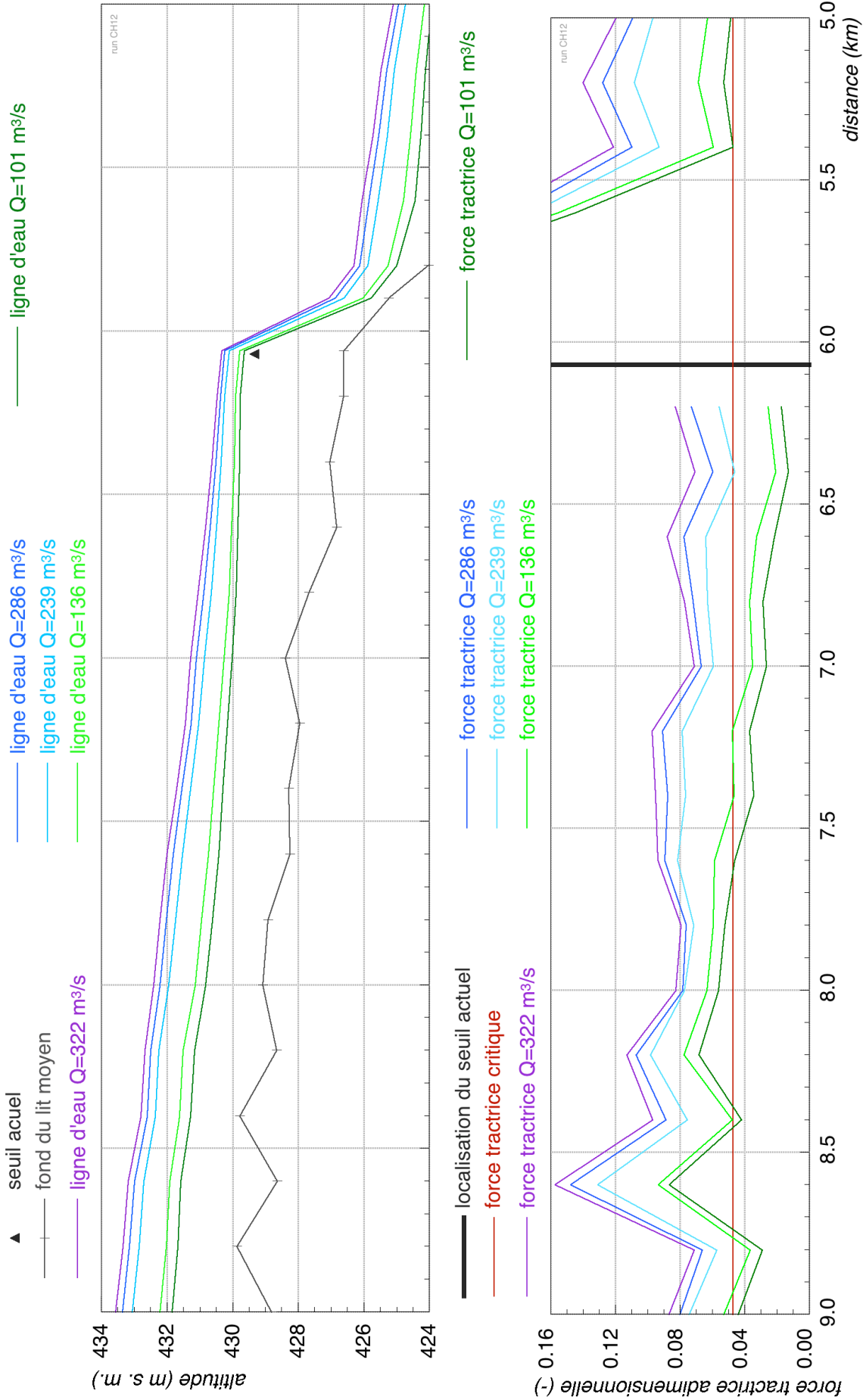


Image 7.47 Profil longitudinal de Bellefontaine dans l'état actuel. En haut : liti moyen et tracé du niveau d'eau. En bas : force tractrice unitaire adimensionnelle. Pour une valeur > 0,047 (ligne rouge), les matériaux peuvent être transportés dans le thalweg.

7.10 Moulin d'Ocourt

Installation	Moulin d'Ocourt Installation hydroélectrique, n° 115, km 4.3
Coordonnées	573'765 / 244'390
Exploitant-concessionnaire	ADEV Wasserkraft AG est requérant pour une nouvelle concession et non ancien concessionnaire ou propriétaire. Le dernier concessionnaire était la Société des campeurs du Moulin du Doubs dont la concession a été éteinte dans les années 1980. Suite à l'extinction et selon la LFH, le propriétaire est la RCJU puisqu'on se situe sur le domaine public.
Propriétaire foncier et d'ouvrage	RCJU
Cours d'eau	Doubs, km 4.55
Commune	Clos du Doubs
Description de l'ouvrage (type, conception)	Déversoir fixe, disposé obliquement (env. 90 m de long) avec prise côté droit dans le canal désaffecté en amont. Pas de parties mobiles. La cote de déversement varie entre 423.01 (côté droit) et 422.80 msm (côté gauche, cotes selon les relevés pour l'élaboration de la carte des dangers).
Fonctionnement	Hors service. Aucune possibilité de régulation ou de purge.
Accumulations (matériaux charriés, matière fine, débris flottants)	Large banc de gravier en aval le long de la rive convexe.
Composition /	Pierres, gravier.
Exploitation, volumes d'extraction	Pas de prélèvement connus.
Modèle	Le modèle hydraulique se fonde sur des relevés des profils transversal de 2008 [14]. A la fin du modèle, la géométrie du barrage a été prise en compte.
Débits	Les calculs hydrauliques ont été effectués pour les débits caractéristiques suivants : $Q_{18j} = 101\text{m}^3/\text{s}$ $Q_{9j} = 136\text{m}^3/\text{s}$ $Q_{1j} = 239\text{m}^3/\text{s}$ $Q_5 = 286\text{m}^3/\text{s}$ $Q_{10} = 322\text{m}^3/\text{s}$
Estimation grossière régime de charriage, passage de matériaux charriés. Image 7.52	Le transport par charriage à proximité de l'installaion a été analysé à l'aide de calculs hydrauliques : Q_{1j} : passage garanti Q_{8j} : passage des sédiments presque possible Installation non franchissable pour des débits plus faibles (< 136 m^3/s).
Quantité de matériaux charriés, caractérisation des matériaux solides (diamètre max)	Moyenne Pierres et gravier, arrondi jusqu'à légèrement angulaire. Dmax ca. 12 cm ->(LZA1).
Morphologie du bief amont et aval	Bief amont : zone de retenue avec faible vitesse d'écoulement en débit d'étiage. Bief aval : après le seuil, large chenal avec dépôts de sédiments le long de la rive convexe dans la courbe vers la droite. Lit pavé.
Degré de l'atteinte	Faible.

Atteinte grave oui/non	Morphologie Protection contre les crues Eaux souterraines	non non non
Potentiel écologique	Important	
Importance du charriage	Important	
Mesure	Aucune	

Image 7.48

Moulin d'Ocourt.

Déversoir fixe, disposé obliquement.

23.7.2013



Image 7.49

Banc de gravier en aval du seuil le long de la rive convexe.

23.7.2013



Image 7.50

Le Doubs en aval de la courbe à droite avec lit pavé.

23.7.2013



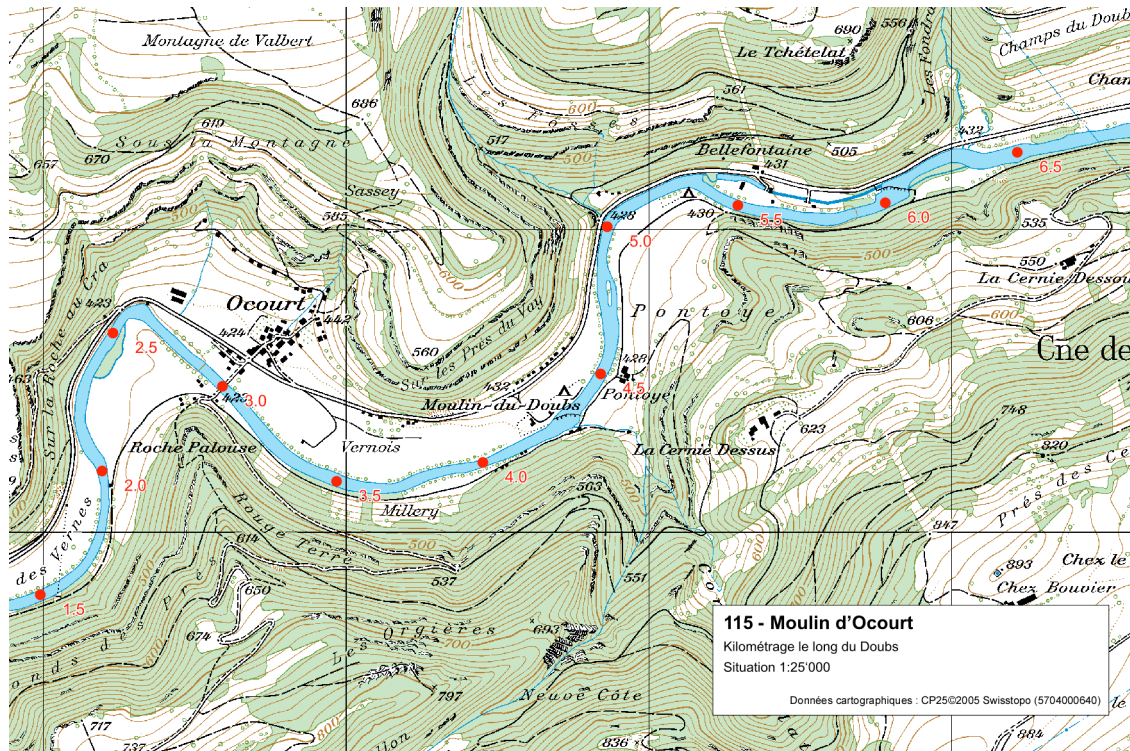


Image 7.51 Kilométrage le long du Doubs près du Moulin d'Ocourt.

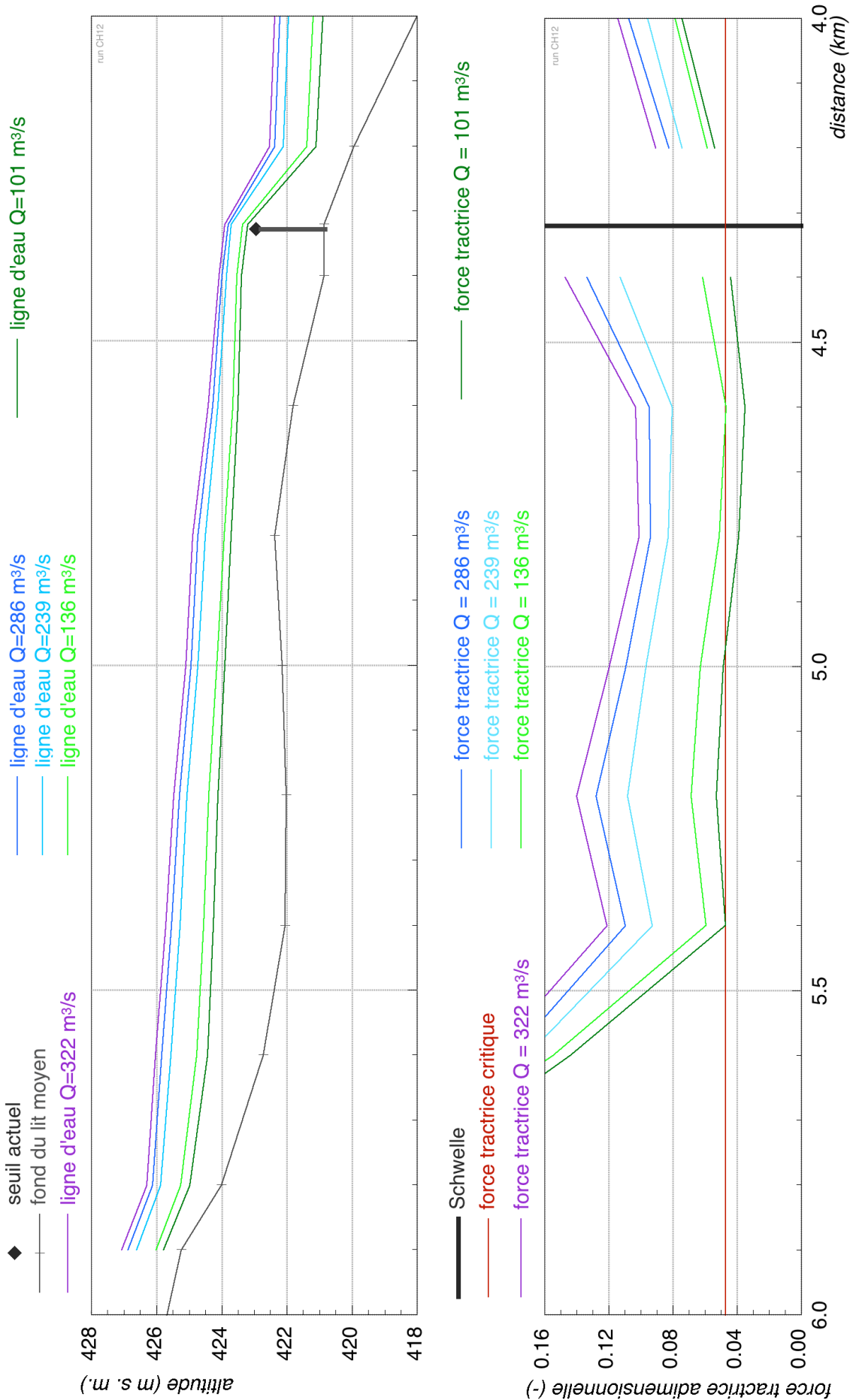


Image 7.52 Profil longitudinal du Moulin d'Ocourt à l'état actuel. En haut : lit moyen et tracé du niveau d'eau. En bas : force tractrice unitaire adimensionnelle. Pour une valeur > 0,047 (ligne rouge), les matériaux peuvent être transportés dans le thalweg.

7.11 Aménagement des cours d'eau

Les seuils limitent l'érosion du fond du lit et les ouvrages de protection des berges empêchent l'érosion latérale. Les nombreux seuils naturels le long du Doubs limitent l'érosion en profondeur. Néanmoins, si on admet un abaissement moyen des seuils rocheux de 0.2 mm/a, il en résulte sur une longueur du cours d'eau de 70 km et une largeur moyenne de 25 m une mobilisation annuelle d'environ 350 m³ de matériel, dont 80 % (280 m³) sous forme de matériel charrié. Les barrages sur le Doubs empêchent l'érosion sur une longueur de 18 km, cela veut dire sur un quart de la longueur totale étudiée. Les barrages réduisent donc la mobilisation de 70 m³/a environ.

Ils existent le long du Doubs quelques aménagements de rives qui protègent les flancs de vallée de l'érosion. A ces endroits, l'apport de matériaux dans le cours d'eau est moindre. Si l'on admet que sur un total de 2 km de rivage, les aménagements empêchent l'apport de matériaux de charriage, il faut réduire de 100 m³/an l'apport de matériaux (taux d'érosion 1 cm/a, hauteur déterminante 10 m, part des fines particules transportées en suspension 50 %).

Les estimations sommaires montrent que les aménagements des cours d'eau réduisent de 200 m³/a le volume de matériaux charriés dans le Doubs, soit environ 20 % de la quantité charriées naturellement.

8 Liste des installations évaluées

Tableau 8.1 Liste des installations évaluées. Les installations portant gravement atteinte au régime de charriage sont marquées en jaune.

Inst. No. / Canton	Installation / exploitant / cours d'eau	Degré d'atteinte	Atteinte grave au régime d charriage avec effet sur M / PCC / ES	Mesure oui / non avec justification
NE8 / NE	Lac artificiel / aucun exploitant/ La Ronde	Faible	Non / Non / Non	Non
NE29 / NE	Réservoir creusé artificiel / aucun exploitant/ La Rançonnière	Faible	Non / Non / Non	Non
NE71 / NE	Dessableur / Commune / Le Bied des Enfers	Très important	Oui / Non / Non	Oui, seulement en cas d'ouverture du ruisseau et de revitalisation
NE72 / NE	Dessableur/ Commune / Le Bied des Enfers	Très important	Oui / Non / Non	Non tronçon en aval mis sous tuyau
NE87 / NE	Dessableur / Commune / Le Pélard	Faible	Non / Non / Non	Non
NE99 / NE	Dessableur/ Commune / Combe Girard	Très important	Oui / Non / Non	Non tronçon en aval mis sous tuyau
128 / NE	Installation hydroélectrique, barrage du Châtelot / Société des forces motrices du Châtelot / Doubs	Très important	Oui / Non / Non	Non, mesure disproportionnée (faible transport de matériaux, accès limité)
133 / NE	Installation hydroélectrique, barrage de la Rasse / - (hors service) / Doubs	Très important	Oui / Non / Non	Oui (mesure D4, la proportionnalité ne peut pas être établie de manière définitive)
111 / JU	Installation hydroélectrique, barrage de la Goule / Société des Forces motrices de la Goule SA / Doubs	Très important	Oui / Non / Non	Oui (mesure D1 ou D1*)
112 / JU	Installation hydroélectrique, barrage le Theusseret / - (hors service) / Doubs	Très important	Oui / Non / Non	Oui (mesure D2)
113 / JU	Installation hydroélectrique, Moulin Grillon / Moulin Grillon SA, BCF Hydro Bourquard Pierre-Alain / Doubs	Faible	Non / Non / Non	Non

114 / JU	Installation hydroélectrique, Bellefontaine / - (hors service) / Doubs	Faible	Non / Non / Non	Non
115 / JU	Installation hydroélectrique, Moulin d'Ocourt / - (hors service) / Doubs	Faible	Non / Non / Non	Non
116 / JU	Installation hydroélectrique, Moulin Jeannotat / - (hors service) / Doubs	Aucune	Non / Non / Non	Non
117 / JU	Installation hydroélectrique, barrage du Refrain / Energie de France / Doubs	Très important	Oui / Non / Non	Oui (mesure D3)
132 / JU	Installation hydroélectrique, Moulin du Plain / - (hors service) / Doubs	Faible	Non / Non / Non	Non
210a / JU	Piège à gravier crue / Commune et Joseph Gérald Maître / Affluent du bief des Moulins	Faible	Non / Non / Non	Non
210b / JU	Endroit de prélèvement de gravier / Commune et Joseph Gérald Maître / Bief des Moulins	Moyen	Oui / Non / Non	Oui
403 / JU	Barrière de sédiments écomorphologique / Commune / Bief de Vautenaivre	Moyen	Oui / Non / Non	Oui
406 – 409 / JU	Barrière de sédiments écomorphologique / Commune / Ruisseau de la Fonge	Aucune	Non / Non / Non	Non
410, 411 / JU	Barrière de sédiments écomorphologique / Commune et RCJU / Ruisseau des Rosés	Moyen	Oui / Non / Non	Oui
412 / JU	Ravines, Barrière de sédiments écomorphologique / Commune et Denis Tschann / Pas de nom	Faible	Non / Non / Non	Non
413 / JU	Montmelon, Barrière de sédiments écomorphologique / Commune, RCJU, Georges et Vincent Girardin / Le Chaudiron	Moyen	Oui / Non / Non	Oui
426 / JU	Chamesat, Barrière de sédiments écomorphologique / Commune / Vanoge	Faible	Non / Non / Non	Non

9 Charriage dans le Doubs

9.1 Origine des matériaux charriés

L'apport de matériaux charriés est limité à l'étroit bassin versant dans le tronçon des Gorges du Doubs et aux nombreux petits affluents latéraux. L'apport du charriage dans le Doubs se fait par les processus suivants :

*Chute de pierres
(Image 9.1)*

Décrochage de roches altérées et chute ou apport indirect dans le Doubs. La dimension des morceaux peut varier entre blocs et graviers.

*Chenaux et chutes
(Image 9.2 et Image 9.3)*

Concentration de pierres et d'éboulis dans les couloirs et apport dans le Doubs par des processus fluviaux ou géomorphologiques.

*Erosion de falaises et de roches escarpées
(Image 9.4 à Image 9.6)*

Décrochage de falaises et accumulation dans les roches escarpées qui s'étendent jusque dans le Doubs. Apport direct ou glissement ultérieur suite à des processus fluviaux ou à l'érosion des rives.

*Affluents
(Image 9.7)*

Apport direct depuis les ruisseaux latéraux lors de débits de crue. Apport des matériaux charriés dans les affluents en raison de différents processus géomorphologiques et fluviaux.

*Glissements des versants, tassements
(Image 9.8)*

Rétrécissement du Doubs en raison des glissements des terrains voisins, qui s'érodent de plus en plus durant les crues.

Erosion latérale du Doubs

Affouillement des rives, érosion des cônes de déjection et des éboulis.

Erosion du lit du Doubs

Pas pertinent en raison des affleurements rocheux récurrents dans des périodes géologiques de courte durée.

*Image 9.1
Récemment décrochage de falaise,
km 67.
7.11.2013*



Image 9.2

Couloir avec concentration de blocs, pierres et graviers, km 72.

7.11.2013



Image 9.3

Apport direct dans le Doubs depuis une rigole, km 67.

7.11.2013



Image 9.4

Falaise effritée en cours d'érosion, km 67.

7.11.2013



Image 9.5

*Eboulis avec bois engravé,
km 63.*

7.11.2013



Image 9.6

*Versant d'éboulis avec apport
direct dans le Doubs,
km 63.*

7.11.2013



Image 9.7

*Affluent avec petit delta de
matériaux charriés,
km 60.*

23.7.2013



Image 9.8

Glissement de terrain actif,
km 23.5.

24.7.2013



9.2 Charriage à l'état non altéré et actuel

Procédure

L'apport de matériaux charriés et la charge de fond du Doubs à l'état non altéré ont été estimés de la façon suivante :

- (1) Examen de l'ensemble du tronçon, mise en évidence des processus de charriage pertinents et estimation des apports spécifiques dans les bassins versants des affluents. Comparaison avec des charges de matériaux spécifiques des bassins versants de la Birse (BE), de la Sorne et de la Scheulte (JU) et de divers cours d'eau du canton de Bâle-Campagne.
- (2) Relevé planimétrique des secteurs du bassin du Doubs pertinents pour le charriage (des gorges jusqu'au Refrain) et des affluents (ravins, fossés, ruisseaux latéraux).
- (3) Mise en évidence des apports de matériaux charriés à partir des lieux d'apport spécifiques et des relevés planimétriques (apport par unité de surface).
- (4) Comparaison des apports moyens dans l'ensemble du bassin.
- (5) Calcul de la charge des matériaux dans le profil longitudinal par l'addition des charges en tenant compte de l'abrasion selon Sternberg. Le coefficient d'abrasion utilisé est $c = 0.01$.

Les secteurs de bassins versants relevés en planimétrie et les apports spécifiques de matériaux charriés sont illustrés dans les annexes (Carte 1 et Carte 2). Le profil longitudinal résultant de la charge transportée est représenté sur l'Image 9.9. Pour le profil longitudinal, il est supposé que tous les sédiments charriés sont transportés sans être déposés. Les charges indiquées doivent être comprises comme des ordres de grandeur.

*Charriage à l'état non altéré
(sans les installations mais
avec les aménagements des
cours d'eau)*

La partie du bassin du Doubs pertinente pour l'apport de matériaux charriés commence à l'extrémité inférieure du lac des Brenets. Le bassin versant situé au-dessus du lac ne forme que très peu de matériaux charriés et le gravier transporté est déposé dans le lac naturel.

Avec $870 \text{ m}^3/\text{a}$, la quantité de matériaux charriés dans les tronçons étroits des gorges entre le Saut du Doubs et Biaufond / Le Refrain équivaut à 47 % de la quantité totale jusqu'à Ocourt ($1'860 \text{ m}^3/\text{a}$). Au Refrain, la charge transportée moyenne atteint $800 \text{ m}^3/\text{a}$.

Entre Le Refrain et Le Theusseret, il s'ajoute une quantité de $310 \text{ m}^3/\text{a}$ et la charge atteint $970 \text{ m}^3/\text{a}$.

En aval du Theusseret, le charriage augmente et atteint son maximum au km 23 (en aval de Soubey) avec environ $1'260 \text{ m}^3/\text{a}$ (à partir de La Goule, les apports directs de sédiments par l'érosion des rives, les chutes de pierres, les glissements de roches escarpées, etc. sont négligables).

En aval du km 23, la perte de transport due à l'abrasion par l'apport de matériaux charriés issus des affluents est presque compensée et à la frontière, la charge est d'environ $1'200 \text{ m}^3/\text{a}$.

Charriage à l'état actuel

A l'état actuel, les retenues suivantes ne permettent pas le passage des matériaux charriés :

- 1 Bassin de retenue du Châtelot
- 2 Bassin de retenue de la Rasse
- 3 Bassin de retenue du Refrain / Lac du Biaufond
- 4 Bassin de retenue de la Goule
- 5 Bassin de retenue du Theusseret.

Tous les autres ouvrages de retenue sont franchissables lors de petites ou moyennes crues, de sorte que les matériaux sont transportés plus loin en aval de manière continue ou intermittente.

Il en résulte le profil longitudinal de charriage suivant :

Dans le lac du barrage du Châtelot, les matériaux ne peuvent pas être transportés. Ensuite, la charge augmente jusqu'au lac du barrage de la Rasse, et atteint $200 \text{ m}^3/\text{a}$.

Dans le lac du barrage de la Rasse et dans le lac du barrage du Refrain, les matériaux ne peuvent pas être transportés. Une faible quantité (environ $50 \text{ m}^3/\text{a}$) est transportée dans le lac du barrage de la Goule et dans le lac du barrage du Theusseret.

En aval du barrage du Theusseret, l'apport de matériaux recommence à zéro et atteint entre Saint-Ursanne et Ocourt son maximum avec environ $550 \text{ m}^3/\text{a}$.

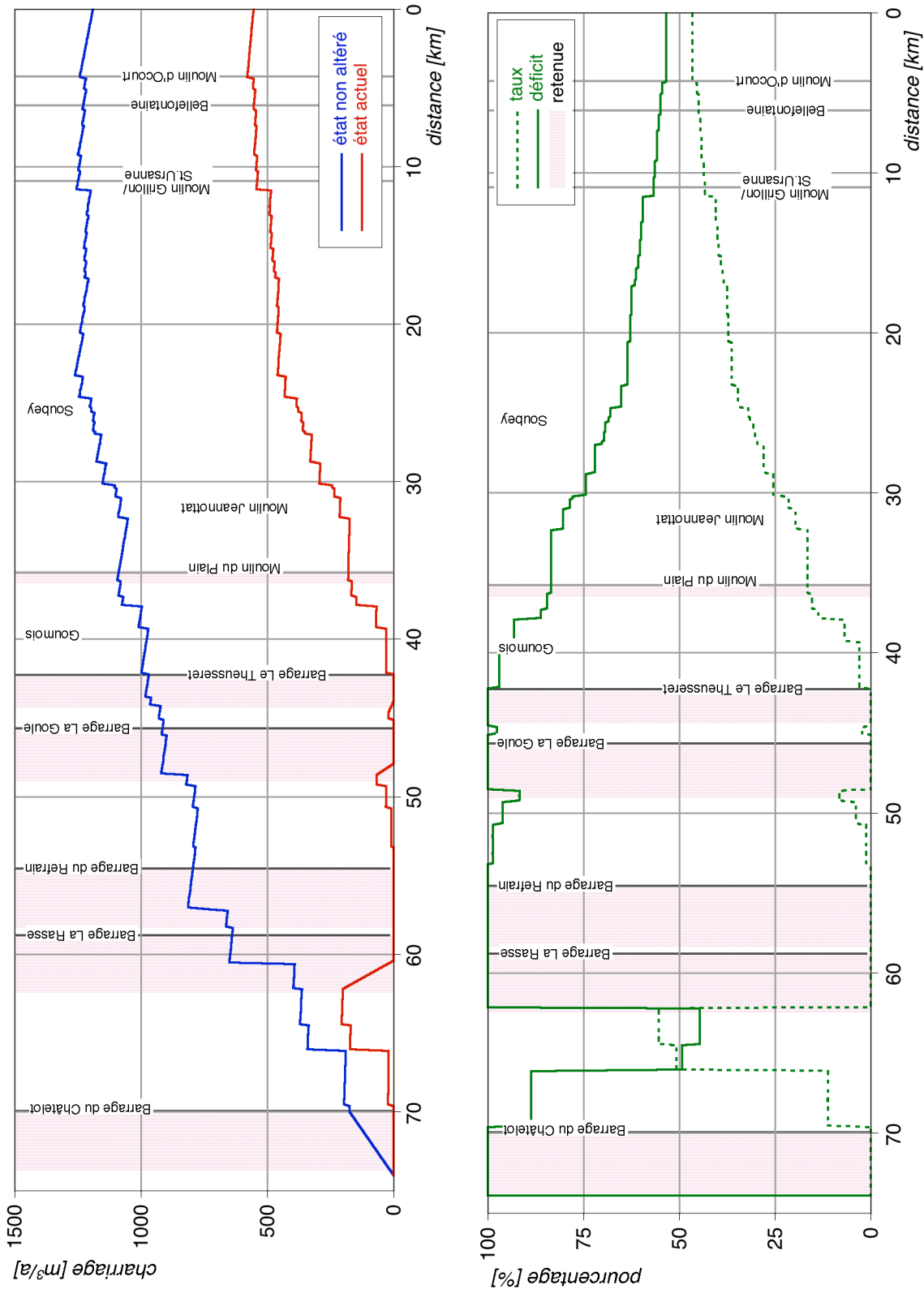


Image 9.9 Profil longitudinal de la charge transportée à l'état non altéré et à l'état actuel (graphique du haut), ainsi que le rapport entre les charges à l'état actuel et à l'état non altéré (graphique du bas, ligne verte pointillée) et le déficit en pourcentage (ligne verte continue).

9.3 Atteinte au régime de charriage

L'image 9.9 décrit le rapport entre les charges à l'état actuel et à l'état non altéré ainsi que le déficit en pourcentage.

Les plans en annexe (Carte 1 et Carte 2) montrent le degré d'atteinte qui en résulte. Des atteintes graves sont signalées en rouge, orange et jaune (respectivement degré d'atteinte très important, important et moyen).

Degré de l'atteinte

Dans le lac de Moron (barrage du Châtelot), les matériaux charriés ne peuvent pas être transportés. Il en résulte un degré d'atteinte très important (dans les niveaux profonds).

Entre le barrage du Châtelot et le lac du barrage de la Rasse, le degré de l'atteinte passe du degré « très important » au degré « moyen » par suite d'apport de matériaux charriés.

Ensuite, en raison des retenues non franchissables de la Rasse, du Refrain, de la Goule et du Theusseret jusqu'au Moulin Jeannotat, le degré d'atteinte doit être considéré comme très important.

Suite à l'apport des sédiments, le degré d'atteinte diminue dès le Moulin Jeannotat, passant au degré « important », puis au degré « moyen » dès Montmelon.

Atteinte grave au niveau du régime de charriage

L'ensemble du Doubs est à considérer comme très altéré quant à son régime de charriage.

9.4 Débit solide nécessaire

Exigence

Pour un cours d'eau altéré dans son régime de charriage, l'apport des matériaux charriés doit être adapté de manière à permettre la mise en place d'une morphologie similaire et d'une dynamique morphologique comparable à celles du régime non altéré dans les tronçons de cours d'eau qui ne sont que peu ou pas altérés dans leur tracé et la géométrie de leur chenal. Cela signifie qu'il peut se former dans ces secteurs des bancs de gravier d'étendue et de renouvellement comparables.

Morphologie du Doubs

Sur de longs tronçons, le Doubs suit un tracé sinueux avec des îles pour la plupart couvertes de végétation. Il ne se trouve aujourd'hui des bancs de gravier que dans quelques endroits morphologiquement favorables, comme par exemple le long des rives convexes, sur des élargissements ou sur des îles.

En outre, le rapport entre la charge et l'écoulement (Q_{9j}) est plutôt faible comparé à d'autres cours d'eau suisses (tableau 7.1). À cet égard, le Doubs peut être au mieux comparé à la Limmat, qui présente également un faible rapport avec l'apport en matériaux char-

riés venant de la Sihl. La morphologie de cours d'eau du même type est sensible à une réduction des matériaux charriés, notamment lorsque l'étendue des surfaces de gravier meuble diminue rapidement. Dans la Limmat, on vise à une charge correspondant à environ 70 % de la charge à l'état non altéré pour l'assainissement du régime de charriage.

Dans la Birse (à Soyhières), le rapport entre la charge de fond et Q_{9j} est de 36 et donc nettement plus élevé que dans le Doubs.

Tableau 9.1 Sélection de cours d'eau avec Q_{9j} et la charge de fond moyenne à l'état non altéré (avec ouvrages). Q_{9j} : écoulement atteint ou dépassé 9 jours sur une année.

Cours d'eau, lieu	Q_{9j} [m ³ /a]	Charriage (GF) à l'état non altéré [m ³ /a]	Rapport GF/ Q_{9j}
Doubs, Ocourt	136	1'200	9
Limmat, Zurich	234	2'600	11
Reuss, Mellingen	331	env. 10'000	30
Birse, Soyhières	40	1'450	36
Thur, Andelfingen	173	env. 10'000	58
Rhin, Diepoldsau	612	env. 80'000	130
Wigger, Zofingue	18	2'900	161

Approche cartographique des bancs de gravier (d'après [1]).

Seuls quelques bancs de gravier sans végétation et plusieurs îles sont indiqués sur la carte Siegfried. Pour les îles, il n'est pas possible de dire si elles sont couvertes de végétation. Cette approche est donc d'une utilité très limitée pour la détermination du débit solide charrié nécessaire.

Pour les bancs de gravier sans végétation, il en résulte une surface moyenne de 3'760 m² et un volume de gravier de 1'130 m³ à renouveler chaque année. La superficie moyenne des îles est avec 6'300 m² presque deux fois plus grande que celle des bancs de gravier. En supposant qu'environ la moitié de la surface dans les îles doit être renouvelée, il en résulte un volume similaire de gravier à renouveler. Ces surfaces de gravier à renouveler devraient s'étaler surtout autour des îles.

Les facteurs de correction à prendre en compte selon [1] (morphologie, turbidité et pente) pour le Doubs se montent à :

Morphologie	1.0 – 1.5
Turbidité	0.75
Pente	1.0

Avec cette approche, il en résulte une **charge nécessaire de l'ordre de 1'000 m³/a**.

La cartographie des bancs de graviers *potentiels* le long des rives convexes fait apparaître une surface moyenne de bancs de gravier de 10'000 m² et un volume à renouveler annuellement d'environ 3'000 m³/a (Moulin Jeannotat et Ocourt). Ce volume correspond approximativement à la charge transportable (voir ci-dessous). La surface moyenne des bancs de graviers potentiels ne peut même pas être atteinte dans l'état non altéré, puisque la charge à l'état non altéré est inférieure à 3'000 m³/a.

Charge transportable

Au km 17 (Soubey – Saint-Ursanne) et au km 9 (Saint-Ursanne – Ocourt), on a quantifié la charge de matériaux transportable (pour la courbe des débits classés du Doubs à Ocourt et des matériaux dm = 3.0 cm). **Au km 17, la charge transportable est de 3'500 – 4'000 m³/a (pente de 2 ‰) et au km 9,8 – 1'000 m³/a (pente de 1.3 ‰).** Comme la charge transportable est calculée à l'aide d'une courbe des débits classés moyenne résultant de valeurs journalières moyennes, et non pour des valeurs momentanées ou des moyennes horaires, la quantité effectivement transportée est probablement plus élevée.

Le calcul sommaire montre qu'à l'état naturel

- en amont de Saint-Ursanne, la quantité qui pouvait être transportée était nettement supérieure à l'apport effectif ;
- entre Saint-Ursanne et Ocourt, le Doubs était à peu près en état d'équilibre quant à l'apport de matériaux charriés.

Dans l'état actuel, cette situation est illustrée par la présence d'un plus grand nombre de bancs de gravier entre Saint-Ursanne et Ocourt qu'en amont de Saint-Ursanne.

Conséquences

Les différentes méthodes utilisées et les comparaisons avec d'autres cours d'eau permettent d'estimer la charge de matériaux nécessaire entre Soubey et Ocourt à environ 1'000 m³/a. Cela correspond à environ 80 % de la charge à l'état non altéré et à près de 70 % de la charge à l'état naturel (sans les installations ni les aménagements).

Une proportion comparable est envisagée par exemple dans la Birse et dans la Limmat.

10 Potentiel écologique

10.1 Procédure

Définition

Le potentiel écologique d'un cours d'eau qui n'est pas à l'état naturel correspond à l'importance écologique que ces eaux revêtiraient dans un état de référence théorique après réparation des atteintes nuisibles causées par des interventions anthropiques, dans la mesure où le permettent des moyens proportionnés [1].

Planification de revitalisation

Le potentiel écologique a été déterminé et fixé en relation avec la planification de la revitalisation, planification stratégique qui a été réalisée par le même mandataire pour les deux cantons (bureau Natura). Il a été repris tel quel pour la présente planification d'assainissement du régime de charriage. Ce résultat est présenté dans les annexes 4 et 5.

Importance du régime de charriage

(cf. Annexe 3)

L'importance du régime de charriage d'un cours d'eau est appréciée en fonction du volume de matériau charriés et du potentiel écologique (voir Image 3.3). Pour les cours d'eau à gros volume charrié et grand potentiel écologique, le régime de charriage a une grande importance. Inversement, le régime de charriage est d'une faible importance pour les cours d'eau à petit volume de matériaux charriés et faible potentiel écologique.

Pour la question de savoir si des mesures d'assainissement du régime de charriage sont nécessaires près d'une installation, il faut encore prendre en compte l'importance du régime de charriage du cours d'eau récepteur.

10.2 Evaluation

10.2.1 Potentiel écologique

Canton de Neuchâtel [13]

Le potentiel écologique du Bied du Locle et de ses affluents est supposé faible.

Le potentiel écologique du Doubs et de ses affluents proches (La Ronde, Le Pélard et le Bied du Locle à l'aval du Col des Roches) est considéré comme important.

Canton du Jura [12]

Le potentiel écologique du Doubs et de tous les affluents étudiés est considéré comme important.

10.2.2 Importance du régime de charriage

Canton de Neuchâtel (cf. Annexe 1)

L'importance du régime de charriage du Bied du Locle / la Rançonnière est de la Ronde est moyenne (potentiel écologique important, faible charge de matériaux charriés).

L'importance du régime de charriage du Doubs est moyenne (potentiel écologique important, faible charge de matériaux charriés).

Canton du Jura (cf. Annexe 2)

Le Doubs a de nombreux petits affluents dont le régime de charriage est d'une importance moyenne à élevée.

L'importance du régime de charriage pour la morphologie du Doubs dans l'ensemble du canton du Jura est considérée comme moyenne (potentiel écologique important, faible charge de matériaux charriés).

Conséquences

L'assainissement du régime de charriage des affluents doit être évalué avant tout en fonction de leur importance pour le régime de charriage du Doubs. Le Bief de Vautenaivre ainsi que les entrées vers Les Moulins (Soubey) et à St-Ursanne / Malrang sont d'une importance particulière.

Le Doubs est un cours d'eau à charge de fond relativement petite (cf. chapitre 9.4), mais de grande importance écologique. Il en résulte une importance moyenne pour le régime de charriage. Les dépôts de graviers meubles sont néanmoins d'importance élevée, voire vitale, pour certaines larves et pour les poissons frayant dans les graviers.

11 Planification des mesures

11.1 Mesures sur les affluents

Les mesures visant à l'assainissement du régime de charriage sont nécessaires pour les installations entraînant une atteinte grave du régime de charriage en matière de morphologie, de protection contre les crues ou des eaux souterraines, et où un assainissement est judicieux et proportionné.

Le chapitre 6 décrit et évalue les installations sur les affluents et donne la liste des installations nécessitant un assainissement.

11.1.1 République et canton de Neuchâtel

Dans le canton de Neuchâtel se trouvent six installations, dont trois causent une grave atteinte à la morphologie dans le bief aval. L'assainissement de ces installations n'est pas pertinent, car de longs tronçons de cours d'eau mis sous tuyau suivent immédiatement ou après une courte distance de l'installation dans le bief aval et la pente diminue progressivement.

Pour ces raisons, des mesures visant à l'assainissement du régime de charriage pour les installations sur les affluents du Doubs dans le canton de Neuchâtel ne sont pas nécessaires.

Pour l'installation NE71 (dessableur de la Combe des Enfers), un assainissement est requis en cas de remise à ciel ouvert et de revitalisation du cours d'eau.

11.1.2 République et Canton du Jura

Dans le canton du Jura se trouvent onze installations, dont quatre causent une grave atteinte à la morphologie dans le bief aval. Pour ces quatre installations, les mesures suivantes visant à l'assainissement du régime de charriage sont proposées (tableau 9.1) :

Installation 403

Le Bief de Vautenaivre est une source importante de matériaux charriés du Doubs. Il faut veiller à ce que tous les sédiments soient transportés dans le Doubs. L'extraction du gravier n'est pas justifiée par des raisons de protection de crue. Elle peut être supprimée.

Option : démanteler la barrière à sédiments.

Priorité de la mesure : 1.

Installation 210b

L'affluent près des Moulins à Soubey (Ruisseau des Moulins) est une source importante de matériaux charriés. Il faut veiller à ce que tous les sédiments soient transportés dans le Doubs. Si du gravier doit être prélevé pour des raisons de protection contre les crues, le matériel doit être versé dans le Doubs à un endroit approprié.

En cas de revitalisation du cours d'eau, il s'agit de veiller à ce que les matériaux charriés soient intégralement transportés dans le Doubs.

Priorité de la mesure : 1.

Installations 410 et 411

Les deux petits dépotoirs à alluvions sont constitués chacun d'un petit bassin muni d'une grille à bois flottant avant un passage, avec des barres espacées de 10 cm. Le petit espacement des barres favorise l'embâcle par des débris flottants et des petits morceaux de bois, et les matériaux charriés s'y déposent également.

En enlevant une barre sur deux, on diminuerait la retenue de débris flottants et faciliterait le transit des matériaux vers l'aval. Le diamètre du tuyau et la pente permettent d'exclure une obstruction des passages et des dépôts indésirables.

Priorité de la mesure : 1.

Installation 413

Le Chaudiron est une source importante de matériaux charriés. Il faut veiller à ce que tous les sédiments soient transportés dans le Doubs. Si du gravier doit être prélevé pour des raisons de protection contre les crues, le matériel doit être versé dans le Doubs à un endroit approprié.

Tableau 11.1 Installations sur les affluents du Doubs dans le **canton du Jura** avec une atteinte grave au régime de charriage et mesure d'assainissement. Priorité 1 : élevée; 2 : moyenne; 3 : faible.

Install. Nr.	Type d'installation / cours d'eau / commune	Type de mesure / mesure	Responsable	Priorité	Suite de la procédure	Délaï planification / mise en œuvre
403	Dépotoir à alluvions / Bief de Vautenaivre / Saignelégier	Opérationnelle / Pas d'extraction ; Option : Constructive / démanteler la barrière	Commune	1	concertation avec la commune et coordination avec la planification de la revitalisation (délai 2021)	2015
210b	Extraction de gravier / Ruisseau des Moulins / Soubey	Opérationnelle/ pas d'extraction, déplacement du gravier	Commune	1	concertation avec la commune et le propriétaire foncier et coordination avec la planification de la revitalisation (délai 2021)	2015
410	Dépotoir à alluvions et à bois flottants / Ruisseau des Rosés/ St. Brais	Constructive/ suppression d'une barre sur deux de la grille	Commune	1	concertation avec la commune, mise en œuvre de la mesure	2015
411	Dépotoir à alluvions et à bois flottants / Ruisseau des Rosés / St. Brais	Constructive/ suppression d'une barre sur deux de la grille	Commune	1	concertation avec la commune, mise en œuvre de la mesure	2015
413	Dépotoir à alluvions et à bois flottants / Chaudiron / Clos du Doubs	Opérationnelle/ pas d'extraction, déplacement du gravier	Commune	1	concertation avec la commune, mise en œuvre de la mesure	2015

11.2 Mesures sur le Doubs

11.2.1 Principes et situation de départ

<i>Tronçons bénéficiaires</i>	Un assainissement du régime de charriage profite avant tout aux tronçons de cours d'eau à écoulement libre (sans retenues). Dans les bassins de retenue, les matières en suspension se déposent sur le fond graveleux et les dépôts de gravier se trouvent souvent à une profondeur trop grande, de sorte qu'ils ne peuvent pas être utilisés pour la reproduction des poissons frayant dans le gravier.
<i>Objectif</i>	La charge dans les tronçons à écoulement libre devrait correspondre à 80% au moins de la charge à l'état non altéré (cf. chap. 9.4).
<i>Proportionnalité</i>	Dans les tronçons courts à écoulement libre (<1 km de longueur) entre les retenues, un assainissement n'est pas nécessaire, ou alors seulement limité. Si l'accès est difficile et le tronçon de faible importance écologique, un débit solide réduit peut être toléré.
<i>Situation de départ dans l'état actuel</i>	Lors de la planification des mesures, les contraintes suivantes sont prises en compte : <ul style="list-style-type: none"> à partir du Theusseret, le Doubs permet le passage de matériaux charriés, et il existe trois retenues relativement courtes. <p>En amont du Theusseret se trouvent les trois tronçons à écoulement libre suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> Barrage du Châtelot – Retenue La Rasse 6.5 km Barrage du Refrain – Retenue La Goule 6.2 km Barrage la Goule – Retenue du Theusseret 1.5 km

11.2.2 Conception des mesures

<i>Installations ne laissant pas passer les matériaux charriés dans l'état actuel</i>	Selon le chapitre 8, cinq installations causent une atteinte grave au régime de charriage : <ul style="list-style-type: none"> barrage du Châtelot (n° 128) barrage de la Rasse (n° 133) barrage du Refrain (n° 117) barrage de la Goule (n° 111) barrage du Theusseret (n° 112)
---	--

Installations causant une atteinte grave, sans mesure proposée

Aucune mesure n'est proposée pour les installations suivantes :

- Barrage du Châtelot. Une intervention ne serait pas proportionnée en raison de la faible quantité de matériaux charriés et de la difficulté d'accès.
- Barrage de la Goule : en cas de reconstruction du barrage, il faudrait au maximum 100 ans pour que le bassin amont soit comblé et les matériaux transportés vers l'aval (sans les installations sur le Doubs, le bassin serait comblé). Le comblement du bassin, nécessitant $\geq 40'000 \text{ m}^3$ de gravier, n'est pas une mesure proportionnée.

Conception

La conception des mesures prend en compte

- les éléments des installations déterminants pour le transport des matériaux,
- l'importance du régime de charriage et la charge de matériaux nécessaire,
- le potentiel écologique,
- la proportionnalité des mesures et
- la coordination avec d'autres mesures (revitalisation, éclusée, migration du poisson, protection contre les crues).

Mesures possibles

Des mesures d'assainissement du régime de charriage sont réalisables sur les installations suivantes :

Image 11.1

- Barrage de la Rasse. Cette installation n'est plus en exploitation depuis longtemps et peut être démantelée.
- Barrage du Theusseret. Ce barrage est en mauvais état, et à moyen terme, il doit être démantelé ou remplacé.

Assainissement du régime de charriage en aval du Theusseret ou de la Goule

Pour l'assainissement du régime de charriage à partir du Theusseret, il faut régulièrement verser du gravier à un endroit approprié (mesure D1). Cela permet d'assainir le régime de charriage jusqu'à la frontière (Ocourt).

Le démantèlement du seuil de barrage du Theusseret (mesure D2) permettrait le déplacement du déversement du gravier en aval du barrage de la Goule (mesure D1*).

Assainissement du régime de charriage depuis le barrage du Refrain jusqu'à la retenue de la Goule

Pour l'assainissement du régime de charriage, il faut régulièrement déverser du gravier en aval du barrage du Refrain (mesure D3). Cela permet d'assainir le régime de charriage de 6.2 km de cours d'eau à écoulement libre.

Assainissement du régime de charriage de la retenue de la Rasse

Le démantèlement des deux seuils de barrage de la Rasse (mesure D4) permettrait de rétablir l'état naturel avec un cours d'eau à écoulement libre et d'assainir le régime de charriage jusqu'au lac de Biaufond (retenue du Refrain).

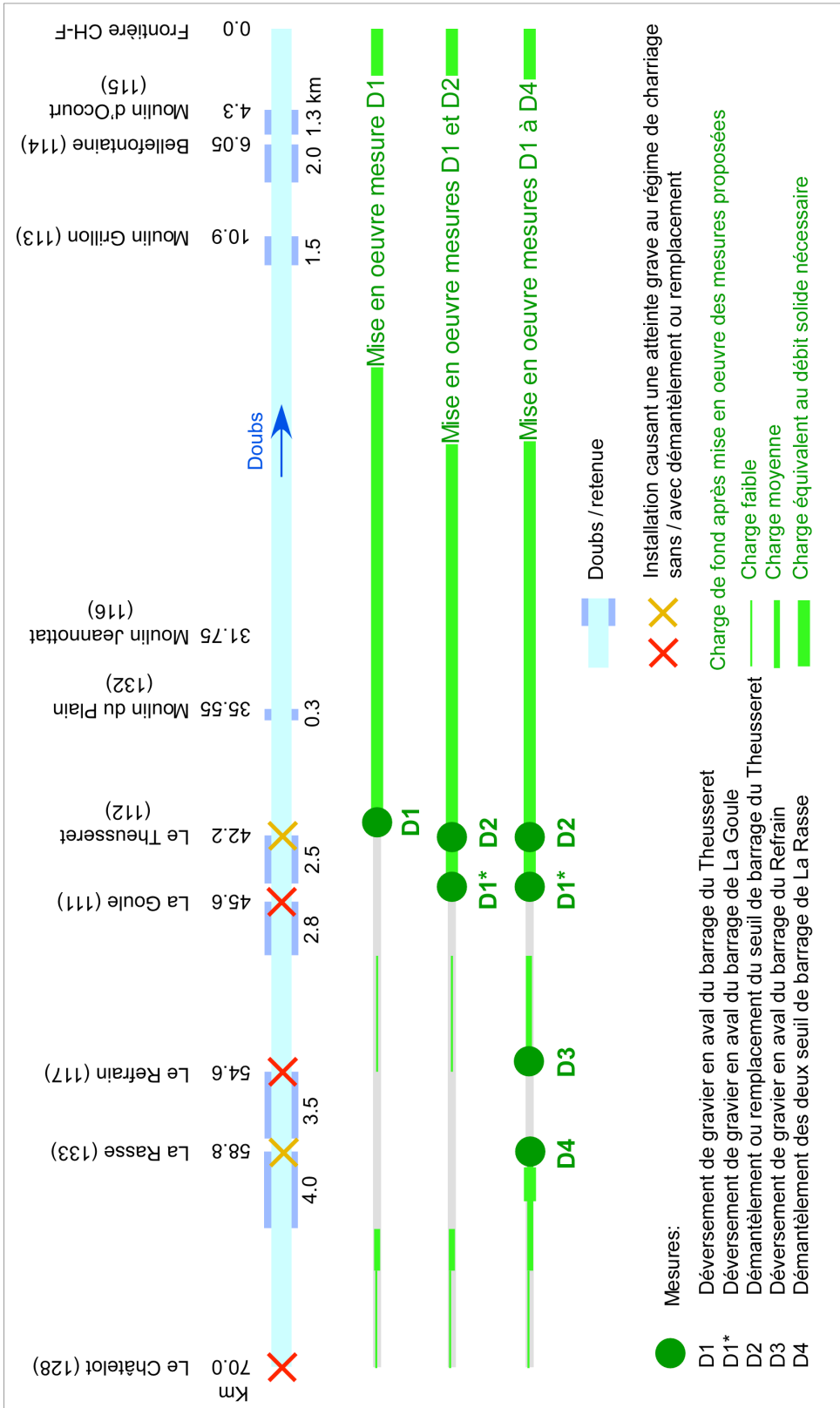


Image 11.1 Installations et retenues sur le Doubs entre le barrage du Châtelot et la frontière avec localisation des mesures possibles
D1 – D4 pour l'assainissement du régime de charriage.

11.2.3 Mesures

Quatre mesures sont proposées pour l'assainissement du régime de charriage. Le Tableau 11.2 en donne la liste, avec une évaluation.

Mesure D1

RCJU

Déversement de gravier en aval du barrage du Theusseret, à un endroit approprié.

Le gravier devrait être déversé de préférence dans le chenal, aux environs d'une rive concave, sous la forme d'un ou plusieurs bancs. Les déversements de gravier s'effectuent de préférence pendant une période d'étiage.

Les matériaux doivent avoir un spectre granulométrique comparable à celui des sédiments apportés naturellement (dm env. 3.0 cm, dmax env. 10 cm). Les matériaux peuvent provenir soit d'une carrière de gravier, soit d'une carrière calcaire.

La quantité moyenne à déverser est de 800 m³/a (davantage dans les années humides, moins dans les années sèches). L'Image 11.2 montre les endroits possibles près du Theusseret. Quatre déversements (exemple 2) permettraient un apport d'environ 1'600m³ de gravier, de sorte qu'il faudrait répéter l'opération en moyenne tous les deux ans. S'il n'y a que deux déversements (exemple 1), l'opération devrait être effectuée chaque année (éventuellement suspendre l'opération les années sèches et faire deux ou trois déversements les années humides).

Comme dans ce secteur, la frontière passe sur la rive droite, l'accord de la France serait nécessaire pour les déversements de gravier. En cas de refus, les déversements ne seraient possible seulement à proximité de Clairbief (km 30.) ou le lit du cours d'eau se trouve entièrement sur territoire suisse (*Image 11.3*).

Coûts estimatifs :

- déversement annuel de gravier, env. CHF 48'000.- (800 m³*60 Fr./m³)
- frais uniques pour l'accès : env. CHF 20'000.-

Extrapolation sur 40 ans : env. Fr. 2'000'000.- (coûts élevés).

Cette mesure permet l'assainissement du régime de charriage sur une longueur de 41.5 km. Du fait de la longueur du tronçon qui en bénéficierait et du potentiel écologique élevé, la mesure est proportionnée. La mise en œuvre est possible à court terme (< 5 ans) (priorité 1).

La mise en œuvre de cette mesure est de la compétence des exploitants des **installations du Refrain** et de **la Goule** (la retention de matériaux par l'installation du Châtelot est faible).

Mobilisation des graviers déversés

Les graviers sont déversés sont mobilisés dès que le débit augmente en période de hautes eaux et transportés en aval. Les déversements de graviers ne provoquent généralement pas une surcharge du cours d'eau à l'endroit du déversement, parce que la quantité de gravier déversé ne dépasse pas la capacité de transport du Doubs (il n'y a donc pas de retenue indésirable ni d'élévation du niveau de l'eau de crue).

Image 11.2
Possibilités de déversement de gravier en aval du barrage du Theusseret

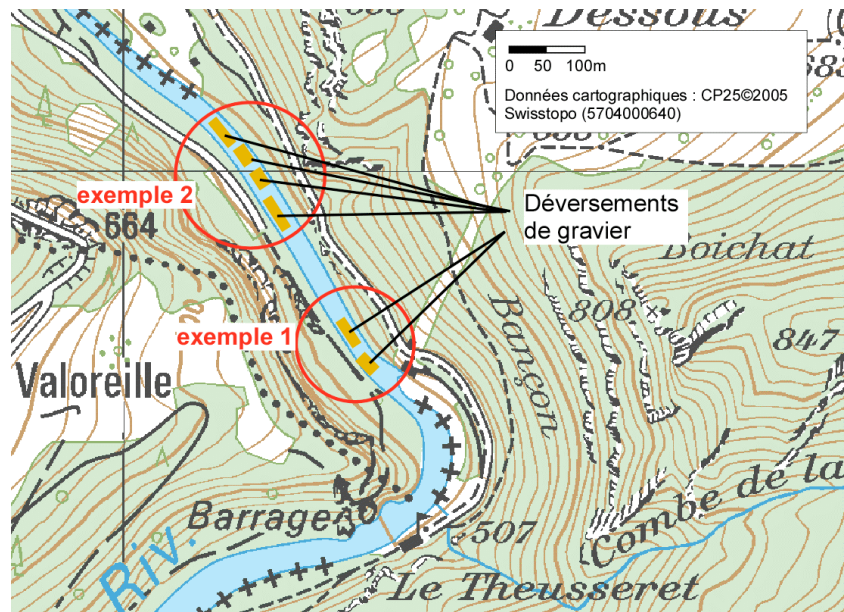
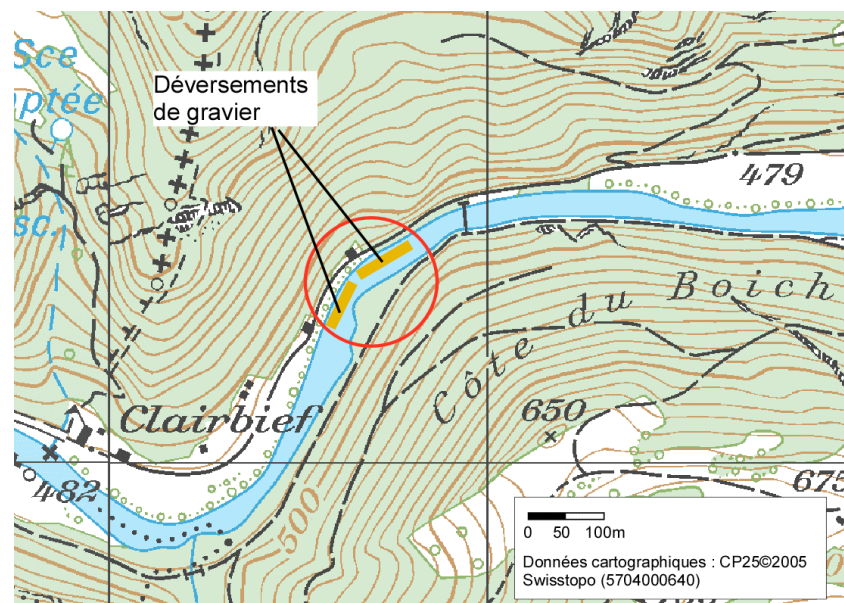


Image 11.3
Possibilités de déversement de gravier à Clairebief (uniquement si un déversement en aval du barrage de Theusseret, Image 11.2, n'est pas possible).



Mesure D2**Inst. n° 112, barrage du Theusseret****RCJU****Démantèlement ou remplacement du seuil de barrage du Theusseret.**

Le **démantèlement** permettrait de rétablir l'état naturel avec un cours d'eau à écoulement libre. Dans ce cas, la mesure D1 devrait être déplacée en aval de la Goule (mesure D1*). Le volume du gravier à déverser peut être ramené à 750 m³/a (50 m³/a de moins). Cela permet la remise à l'état naturel d'un tronçon de cours d'eau d'env. 3 km de long et son assainissement quant au régime de charriage. La navigation n'est plus possible. Les coûts de démantèlement sont estimés à plusieurs centaines de milliers de francs (coûts moyens). Il reste à déterminer qui assume la charge financière.

En cas de remise d'une concession à un nouvel exploitant pour l'usine hydroélectrique du Theusseret, il faut construire un nouveau barrage permettant le transit des matériaux charriés. Selon les calculs effectués ici, il faut en cas de crue abaisser le niveau de l'eau amont 1m en-dessous de l'actuel seuil du barrage, pour permettre le passage du charriage pour un débit de 130 m³/s. Cela peut se faire par exemple par l'aménagement d'une vanne. La mesure D1 peut également être déplacée en aval de la Goule (mesure D1*). Un tronçon de près de 1 km peut ainsi être assaini quant à son régime de charriage (station d'injection jusqu'à la retenue du Theusseret). La pertinence de la mesure reste à établir (accès, etc.). Les coûts de reconstruction du barrage doivent être assumés par le concessionnaire-exploitant.

Avant un éventuel démantèlement ou remplacement du barrage, il faut procéder à des investigations complémentaires sur l'étendue et la composition des sédiments fins dans la retenue.

Etant donné le mauvais état du barrage, qui rend son démantèlement ou sa reconstruction inévitable à moyen terme, la mesure D2 (dans ses deux variantes) est proportionnée.

Si une éventuelle contamination des sédiments ne permet pas qu'ils soient purgés, une réévaluation de la proportionnalité d'un démantèlement est indispensable.

Mesure D3**RCJU****Déversement de gravier en aval du barrage du Refrain, à un endroit approprié.**

Le gravier doit de préférence être déversé dans le chenal aux environs d'une rive concave, sous la forme d'un ou de plusieurs bancs. Les déversements de gravier s'effectuent de préférence pendant une période d'étiage.

Les matériaux doivent avoir un spectre granulométrique semblable à celui des sédiments apportés naturellement (dm env. 3.0 cm, dmax

env. 10 cm). Les matériaux peuvent provenir soit d'une carrière de gravier, soit d'une carrière calcaire.

Pour des raisons de proportionnalité, le volume de graviers requis ($0.8 \times 800 = 640 \text{ m}^3/\text{a}$) est ramené à $\varnothing 400 \text{ m}^3/\text{a}$. Comme il n'y a pas d'accès pour les véhicules du côté suisse et que la frontière passe le long de la rive droite, l'accès et le déversement doivent se faire depuis le territoire français (*Image 11.4*). Si cela n'est pas possible, la mesure doit être abandonnée.

Coûts estimatifs :

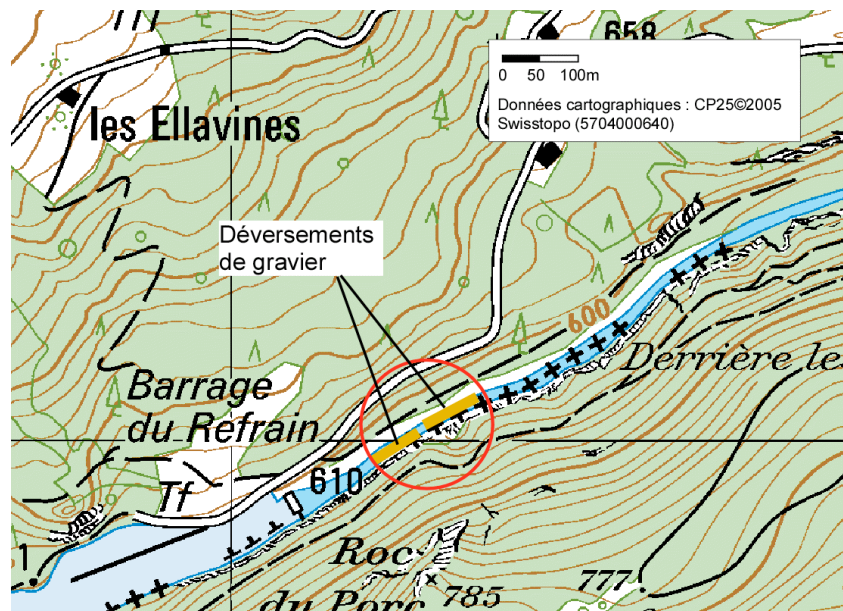
- déversements annuels de gravier, env. CHF 24'000.- ($400 \text{ m}^3 \times 60 \text{ Fr./m}^3$)
- coûts uniques pour l'accès, env. CHF 20'000.-

Extrapolation sur 40 ans : $\leq \text{Fr. } 1'000'000.-$ (coûts moyens à élevés).

Cette mesure permet l'assainissement du régime de charriage sur un tronçon d'une longueur de 6.2 km. Du fait de la faible longueur de cours d'eau qui en profiterait, le rapport coût-utilité est moyen. Il est recommandé d'attendre les effets de la mesure D1 avant de prendre une décision sur la mesure D3.

La mise en œuvre de la mesure serait de la compétence de l'exploitant de l'installation du Refrain (Energie de France).

Image 11.4
Possibilités de déversement
de gravier en aval du barrage
de Refrain.



Mesure D4**Inst. n° 133, barrage la Rasse****RCJU****Démantèlement des deux seuil de barrage de La Rasse.**

Le démantèlement permet le rétablissement d'un tronçon de cours d'eau à écoulement libre sur une longueur d'env. 4 km. Le transport des matériaux charriés dans le Doubs devient possible depuis le barrage du Châtelot jusqu'au lac de Biaufond, et le régime de charriage est en grande partie assaini.

La faisabilité de la mesure dépend de l'étendue et de la composition des sédiments fins déposés dans la retenue (une investigation complémentaire avec des analyse chimiques des sédiments est nécessaire).

La mesure n'est proportionnée que si le rétablissement du tronçon à écoulement libre s'accompagne d'une reconstitution d'un biotope de valeur et viable. Cela dépend aussi des mesures visant à amortir les éclusées. Plus l'effet des éclusées peut être réduit, plus le gain pour la nature et l'assainissement du charriage est élevé.

Les coûts de démantèlement sont moyens : quelques centaines de milliers de francs (sans les coûts des investigations complémentaires ni des mesures non encore prévisibles).

Cette mesure doit être coordonnée avec la France (la frontière passe au milieu du cours d'eau).

Tableau 11.2 Mesures d'assainissement du régime de charriage du Doubs

N° / canton	Mesure	Compétence	Coûts / utilité	Proportionnalité	Priorité	Délai	Suite de la procédure
D1 D1* RCJU	Mesure d'exploitation Déversement de gravier en aval du barrage du Theusseret (D1) ou (en cas de mise en œuvre de la mesure D2, démantèlement) du barrage de la Goule (D1*)	EDF et Société des Forces motrices de la Goule SA	élevés / très grande	bonne	1	Planification 2015 Premier déversement 2016	Concertation avec F ; déterminer la mesure et l'emplacement ; planifier la mesure ; exécution
D2 RCJU	Le Theusseret, mesure de construction Démantèlement du seuil du barrage ou, si nouvelles concessions (une suisse et une française), reconstruction du barrage avec organe de régulation.	à établir (recherches en cours, groupe binational [23])	démantèlement : moyens / grande reconstruction : élevés ¹ / faible	démantèlement : bonne (en cas des sédiments non contaminés) reconstruction : moyenne	2	Investigations complémentaires jusqu'à la fin 2016	Investigations complémentaires sur les sédiments fins (puissance et substances toxiques)
D3 RCJU	Le Refrain, mesure d'exploitation Déversement de gravier en aval du barrage du Refrain	Energie de France	moyens – élevés / moyenne	à établir	3	Décision sur les mesures à prendre en 2020	Mettre en œuvre la mesure D1 et attendre le contrôle d'efficacité En cas de résultat positif, envisager la mesure D3
D4 RCNE	La Rasse, mesure de construction Démantèlement des deux seuils de barrage	à établir recherches en cours, groupe binational [23])	moyens / grande	bonne (en cas des sédiments non contaminés)	3	Investigations complémentaires jusqu'à la fin 2016	Investigations complémentaires sur les sédiments fins (puissance et substances toxiques) Appréciation du point de vue écologique (revitalisation)

¹ A la charge du concessionnaire.

11.2.4 Profil longitudinal de la charge de matériaux charriés avec les mesures proposées

Le profil longitudinal de la charge de matériaux charriés met en évidence les endroits où la charge nécessaire est atteinte et où il est donc possible d'assainir le régime de charriage.

*Mise en œuvre de la mesure
D1
Image 11.5*

La mise en œuvre de la mesure D1 (déversement de gravier en aval du barrage du Theusseret) permet l'assainissement du régime de charriage entre le lieu de déversement et la frontière. La charge de matériaux charriés est $\geq 80\%$ par rapport à celle dans l'état naturel. Par rapport à l'état actuel, le transport de matériaux est plus que doublé. L'assainissement concerne une grande partie du cours à écoulement libre du Doubs.

Entre le barrage du Châtelot et la retenue de la Rasse, la charge de matériaux charriés représente 0 à 55 % de celle de l'état non altéré. Entre le barrage de la Rasse et celui du Theusseret, il n'y a guère de matériaux transportés et le régime de charriage n'est pas assaini.

*Mise en œuvre des mesures
D1/D1* à D4
Image 11.6*

La mise en œuvre de la mesure D4 permet l'assainissement du régime de charriage dans le tronçon revitalisé de la Rasse.

Entre le barrage du Refrain et la retenue de la Goule, la charge de matériaux charriés se monte à 50 % de celle de l'état non altéré (mesure D3). Des considérations de proportionnalité amènent à tolérer une charge moins élevée que celle qui serait nécessaire.

Le démantèlement du barrage du Theusseret (mesure D2) permet l'assainissement du régime de charriage à partir du barrage de la Goule. Les matériaux sont ensuite transportés jusqu'à la frontière.

Les mesures D1/D1* à D4 permettent en grande partie l'assainissement du régime de charriage dans tous les tronçons à écoulement libre.

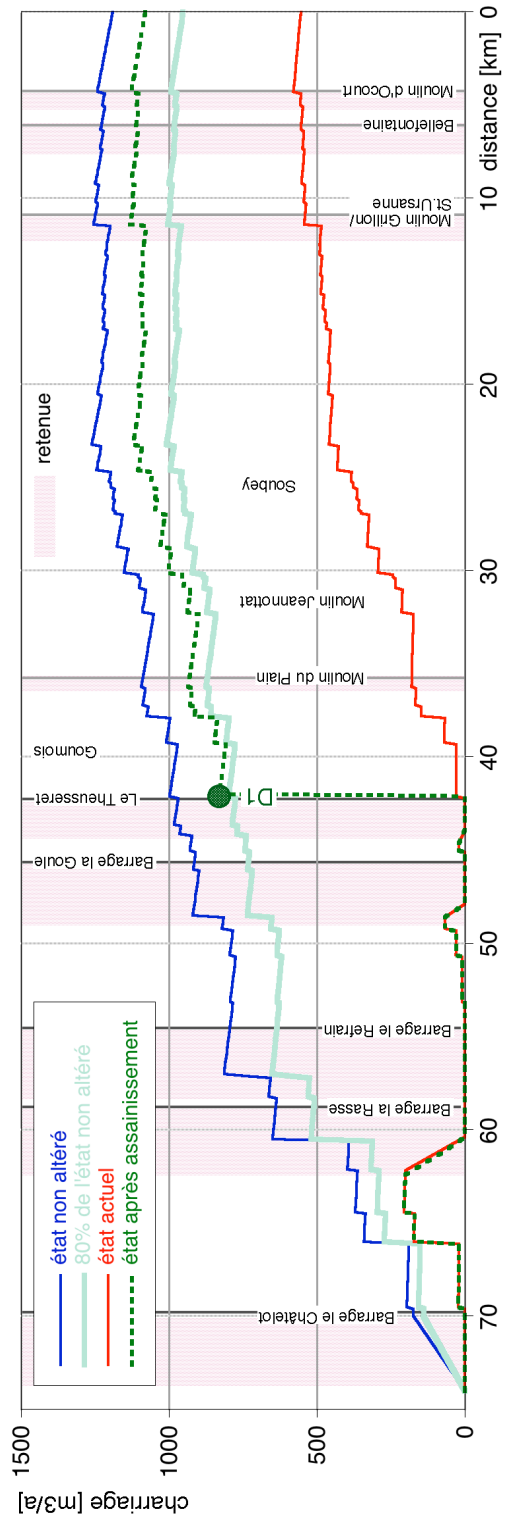


Image 11.5 Profil longitudinal de la charge en matériaux charriés dans l'état après assainissement par la mesure D1.
Le graphique montre aussi l'état naturel, l'état actuel et la charge nécessaire.

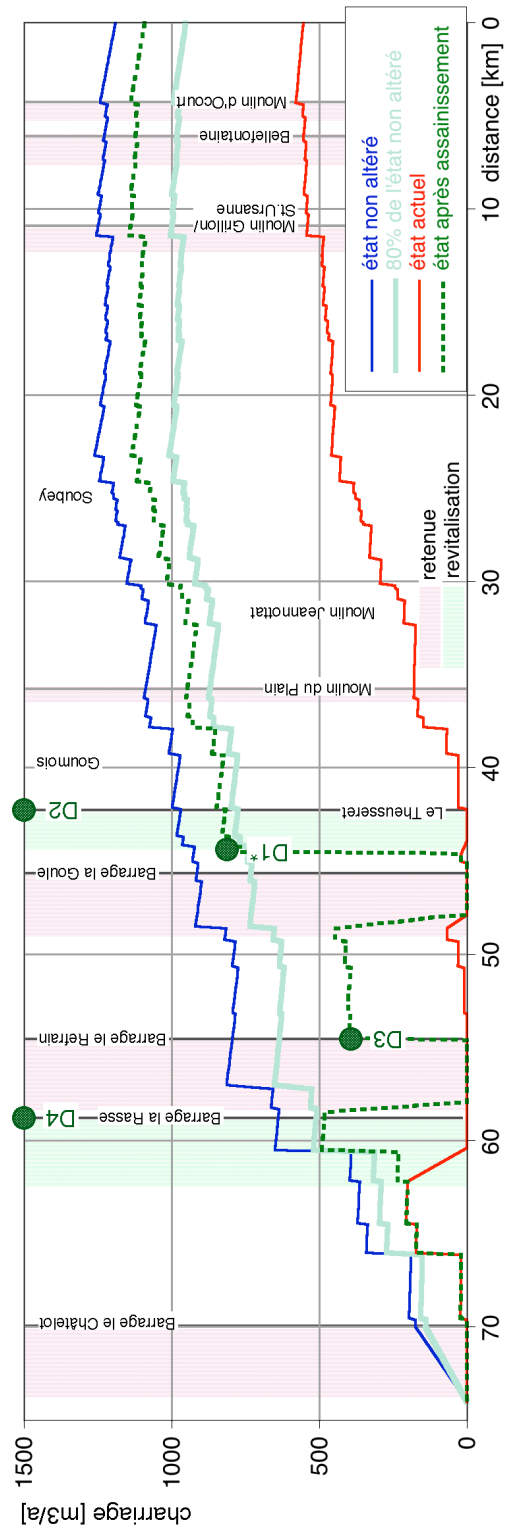


Image 11.6 Profil longitudinal de la charge en matériaux charriés dans l'état après assainissement par les mesures D1* à D4.
Le graphique montre aussi l'état naturel, l'état actuel et la charge nécessaire.

11.2.5 Investigations supplémentaires

Pour la concrétisation des mesures proposées, des investigations complémentaires sont nécessaires :

Mesure D1

Emplacement, accès, étendue, érosion et granulométrie du remblai de gravier.

Afin d'établir si la plus forte charge de matériaux charriés peut être transportée vers l'aval sans atterrissements indésirables sur le fond, il est possible d'appliquer les méthodes suivantes :

- (1) Calcul de modèles morphologiques entre le lieu de déversement et la frontière (Ocourt).
- (2) Calcul de la charge de matériaux transportés dans les régions habitées (Goumois, Sobey, St. Ursanne et Ocourt) et dans les secteurs de plus faible pente.
- (3) Déversement des graviers et mesure régulière du fond dans les tronçons déterminants pour la protection contre les crues. Comparaison avec l'état initial et interprétation des résultats. Les mesures peuvent être effectuées par exemple tous les cinq ans.

Mesure D2

Pour le démantèlement du seuil du barrage du Theusseret, il faut procéder aux investigations suivantes :

- étendue et composition des sédiments fins dans la retenue
- recherche d'éventuelles substances toxiques dans les sédiments fins
- mise au point d'un déroulement des travaux supportable du point de vue écologique (lent abaissement du niveau de la retenue et évacuation des sédiments fins par écoulement de crue)
- utilité écologique de la revitalisation de la retenue
- questions juridiques (suppression des appontements, droits de pêche, etc.)

Mesure D3

Emplacement, accès, étendue, érosion et granulométrie du remblai de gravier.

Par des calculs hydrauliques, il s'agit de déterminer si les matériaux peuvent être déversés en aval du barrage du Refrain ou seulement en aval de la centrale.

Mesure D4

En vue d'un éventuel démantèlement des seuils du barrage de la Rasse, il convient de procéder aux investigations suivantes :

- étendue et composition des sédiments fins dans la retenue
- recherche d'éventuelles substances toxiques dans les sédiments fins
- mise au point de méthodes de curage acceptables du point de vue écologique
- utilité écologique de la revitalisation de la retenue
- questions juridiques (suppression des appontements, droits de pêche, etc.).

11.2.6 Coordination avec d'autres mesures

Les mesures d'assainissement du régime de charriage doivent être coordonnées avec d'autres mesures de protection de biotopes :

Mesures destinées à amortir les éclusées

Les mesures d'assainissement du régime de charriage ne peuvent déployer leur pleine efficacité que si les éclusées des usines hydroélectriques sont ramenées à un niveau supportable.

Il faut en particulier veiller à ce que les pointes d'écluse ne provoquent pas des déplacements de sédiments. Cela peut en effet provoquer une érosion des lieux de frai et détruire les œufs. Selon des estimations sommaires, les matériaux commencent à être déplacés (dans le thalweg) à partir d'un débit de 25 à 45m³/s, selon la pente.

Mesures concernant la migration des poissons

Le démantèlement des seuils de retenue du Theusseret et de la Rasse permet le rétablissement de la migration du poisson.

Planification de la revitalisation

Les synergies sont grandes entre la planification de la revitalisation et la planification de l'assainissement du régime de charriage.

Dans les tronçons à écoulement libre (sans retenue), le Doubs présente de longues portions à l'état naturel ou proches de l'état naturel. Ces secteurs offrent des conditions optimales pour la sédimentation et le transport des matériaux. Les mesures locales de revitalisation (par ex. la suppression d'ouvrages de consolidation des rives là où il n'y a pas d'objectif de protection) peuvent aussi améliorer la morphologie.

Il existe des synergies importantes dans les mesures D2 et D4. La suppression des retenues du Theusseret et de la Rasse permettent la revitalisation du Doubs sur une grande échelle.

Les projets de revitalisation à l'embouchure du Bief de Vautenaivre et du Bief des Moulins [28] sont à coordonner avec les mesures d'assainissement du charriage.

Selon les indications des représentants du canton il n'y a aucun projet de revitalisation en cours sur le Doubs ni sur ses affluents sur territoire Neuchâtelois. [28]

Protection contre les crues

Un projet mixte de protection contre les crues et de revitalisation le long du Doubs près de St-Ursanne (Pré l'Abbé, Commune Clos du Doubs) est planifié dans le canton du Jura (délais de réalisation 2015 - 2020). Il ne semble pas avoir d'influence sur le régime de charriage du Doubs. Autrement, il n'y a aucun projet de protection contre les crues en cours ou en planification le long du Doubs ni sur ses affluents jurassiens ou neuchâtelois. [28] [31]

11.3 Impact sur les usines hydroélectriques

Les mesures proposées pour l'assainissement du régime de charriage peuvent avoir les effets suivants sur les usines hydroélectriques et la production de courant :

*Mesure D1/D1**

Faible rehaussement du fond du cours d'eau dans les retenues des usines hydroélectriques du Moulin Grillon, de Bellefontaine et du Moulin d'Ocourt. Si nécessaire, ces effets peuvent être calculés par des modèles morphologiques.

Si aujourd'hui déjà, il y a un apport de matériaux charriés dans le bief amont (prise d'eau), cet apport peut augmenter après la mise en œuvre des mesures d'assainissement. Il peut en résulter une charge d'entretien plus élevée.

Des éventuelles sédimentations dans le bief aval (reflux dans le cours d'eau) peuvent entraîner une charge d'entretien plus élevée.

Comme la charge de matériaux de charriage visée est plus petite que la charge à l'état non altéré, les exploitants des usines hydroélectriques sont tenus de prendre à leur charge une éventuelle dépense supplémentaire. Dans l'ensemble, il faut s'attendre à des effets faibles ou négligeables.

Mesure D2

Le démantèlement ou la reconstruction du barrage du Theusseret n'ont aucun impact sur les autres usines hydroélectriques.

Mesure D3

La planification du déversement de gravier dans le bief aval du barrage du Refrain doit se faire de manière à éviter tout effet indésirable sur l'usine hydroélectrique.

L'augmentation de l'apport de matériaux charriés peut provoquer un atterrissement du fond dans le secteur de la queue de retenue du barrage de la Goule. Il en résulterait une élévation du niveau des eaux souterraines et une inondation des prés voisins lors de petits débits de crue.

Mesure D4

Le démantèlement des seuils de retenue de la Rasse n'a aucun effet sur les autres usines hydroélectriques.