

GROUPEMENT D'ÉTUDE POUR L'AMÉNAGEMENT ET LA REVITALISATION DES COURS D'EAU

AQUAVISION ENGINEERING SARL
1024 ECUBLENS

AquaVision engineering Sarl
Design and consulting
in hydraulic, geotechnic and environmental engineering

DE CERENVILLE GEOTECHNIQUE SA
1024 ECUBLENS

DE CERENVILLE
GEOTECHNIQUE

GREN BIOLOGIE APPLIQUEE SARL
1203 GENEVE

GREN Sarl
Biologie Appliquée



JAN & COURDESSE SA Ingénieurs du génie rural EPFL et Géomètres officiels
1040 ECHALLENS - Rue de Praz-Palud 7 - CP 191 - Tél. 021 886 22 44 - Fax 021 886 22 47
E-MAIL : echallens@jan-courdesse.ch

Revitalisation de la Venoge à Eclépens-Lussery-Villars

AVANT-PROJET



Préparé pour :

Etat de Vaud
SFFN & SESA
Valentin, 10
1014 LAUSANNE

TABLE DES MATIERES

1	Introduction	1
1.1	Mandat	1
1.2	Objectif général	1
2	Données de base	2
2.1	Bassin versant	2
2.2	Topographie	2
2.3	Hydrologie et hydraulique	4
2.4	Transport sédimentaire	5
2.5	Environnement	8
2.6	Géologie et géotechnique	9
2.7	Sous-sol et équipement	9
3	Diagnostic état actuel	10
3.1	Situation générale	10
3.2	Aspects fonciers	10
3.3	Topographie	11
3.4	Hydraulique	11
3.5	Morphologie et transport solide	15
3.6	Protection contre les crues	17
3.7	Entretien du cours d'eau	17
3.8	Qualité de l'eau	17
3.9	Milieus naturels	18
3.10	Aspects paysagers	21
3.11	Aspects sociaux et récréatifs, loisirs	22
4	Potentialités, objectifs et contraintes	23
4.1	Cadre légal de la revitalisation en Suisse	23
4.2	Potentialités biologiques et piscicoles	24
4.3	Potentialités paysagères, sociales et récréatives	25
4.4	Objectifs de la revitalisation	25
4.5	Contraintes de la revitalisation	26
4.6	Espace nécessaire au cours d'eau	26
4.7	La revitalisation de la Venoge : un besoin ou un luxe ?	28
5	Analyse géomorphologique	33
5.1	Caractéristiques géomorphologiques de la Venoge	34
5.2	Dimensions stables	35
5.3	Largeur pendulaire et sinuosité	37
5.4	Erosion du fond	37
5.5	La Venoge après revitalisation	38
5.6	Conclusions analyse géomorphologique	40
6	Etude préliminaire de maintien du barrage de Gravey	41
6.1	Hydraulique et morphologie	42
6.2	Environnement	45
6.3	Comparatif des variantes	46
7	Avant-projet de revitalisation	48
7.1	Concept	48
7.2	Emprise	49
7.3	Matériaux du fond et des berges	56
7.4	Hydraulique et morphologie	59
7.5	Milieus annexes, connections, mise en réseau	70
7.6	Zones de loisirs et de détente, cheminements	70
7.7	Valeur biologique et paysagère	71
7.8	Terrassements	75
7.9	Planification des travaux	77
7.10	Entretien du nouveau gabarit	77

7.11	Estimation des coûts	78
7.12	Adaptation et optimisation de l'impact foncier	79
7.13	Bilan final	79
8	Conclusions	81
8.1	Phasage de la suite du projet	81
8.2	Conclusions	81
9	References	83
Annexe 1	Bassin versant de la Venoge	84
Annexe 2	Kilométrages de la zone sous étude	85
Annexe 3	Protection des eaux	86
Annexe 4	Carte géologique	87
Annexe 5	Carte des glissements	88
Annexe 6	Sous-sol	89
Annexe 7	Aspects fonciers (propriétaires et liste des servitudes)	92
Annexe 8	Carte d'inondation du temps de retour 30 ans, état 2006	93
Annexe 9	Carte d'inondation du temps de retour 100 ans, état 2006	96
Annexe 10	Analyse géomorphologique	99
Annexe 11	Impact foncier	101
Annexe 12	Optimisation du tracé revitalisé	102
Annexe 13	Carte d'inondation du temps de retour 30 ans, état revitalisé	103
Annexe 14	Carte d'inondation du temps de retour 100 ans, état revitalisé	106
Annexe 15	Planification des travaux	109

1 Introduction

1.1 Mandat

La présente étude fait suite à la commande du SESA¹, Etat de Vaud, selon courrier de Mr F. Matthey. Elle est conforme à l'offre du groupement AcoR datant du 13 mai 2005.

1.2 Objectif général

L'objectif général du mandat concerne *une étude de revitalisation du tronçon canalisé de la Venoge entre Eclépens et Lussery-Villars*. Pour des raisons hydrauliques et cadastrales, différents tronçons ont été distingués à la Figure 1. Le point A se situe au départ de la partie canalisée de la Venoge, tandis que le point B représente le barrage de Gravey et le point C le moulin de Lussery. Finalement, le point D représente la limite communale entre Lussery-Villars et Cossonay.

Ces différents tronçons sont étudiés jusqu' à la mise à l'enquête publique.

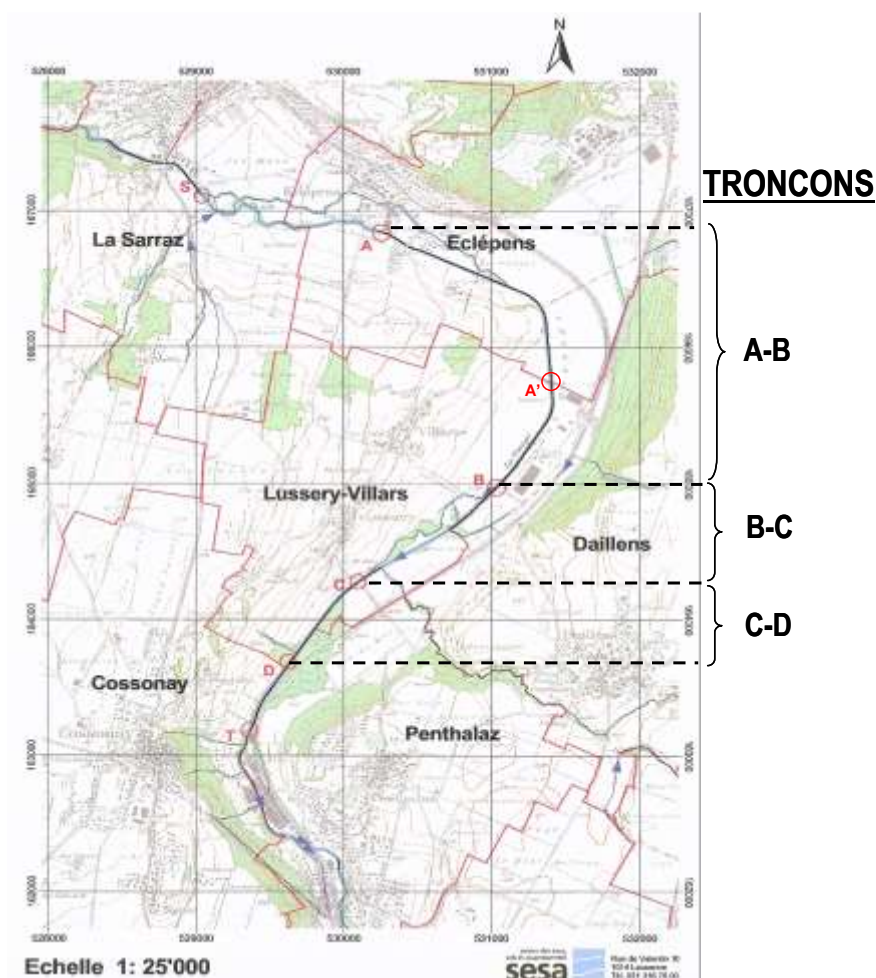


Figure 1 Zone sous étude et découpage par tronçons.

¹ Service des Eaux, Sols et Assainissement de l'Etat de Vaud

2 Données de base

2.1 Bassin versant

Le bassin versant de la Venoge a une superficie totale de 243 km² et des altitudes comprises entre 1680 m (Mont-Tendre) et 370 m (embouchure à St-Sulpice). L'altitude moyenne est de 680 m. Le bassin versant se décompose en trois sous-bassin versants. Deux des trois sous-bassin versants ont leur exutoire à Lussery : le premier en provenance des versants du jura dans l'axe Mollens- L'Isle, et le deuxième dans la plaine amont dans l'axe Bière – Tine de Conflens. L'Annexe 1 présente une description du bassin versant de la Venoge et de sa courbe hypsométrique (source : HYDRAM-EPFL).

2.2 Topographie

2.2.1 Orthophotos

Les orthophotos « Swisstopo » datent de 1998 et donnent une image de la couverture végétale le long des berges de la Venoge. A titre d'exemple, il s'avère que le tronçon canalisé entre le barrage de Gravey (point B) et le Moulin de Lussery (point C) est fortement dépourvu de végétation riveraine (Figure 2). Il en va de même pour toute la Venoge entre Eclépens et Cossonay.



Figure 2 Orthophoto du tronçon B-C illustrant l'absence de couverture végétale le long de la Venoge.

2.2.2 Kilométrage

La base kilométrique pour cette étude a été générée selon la digitalisation et le lissage de l'axe central de la Venoge et démarre au Lac Léman à Prévéranges. Les kilométrages des ouvrages le long de la Venoge dans la zone d'étude sont donnés en Annexe 2.

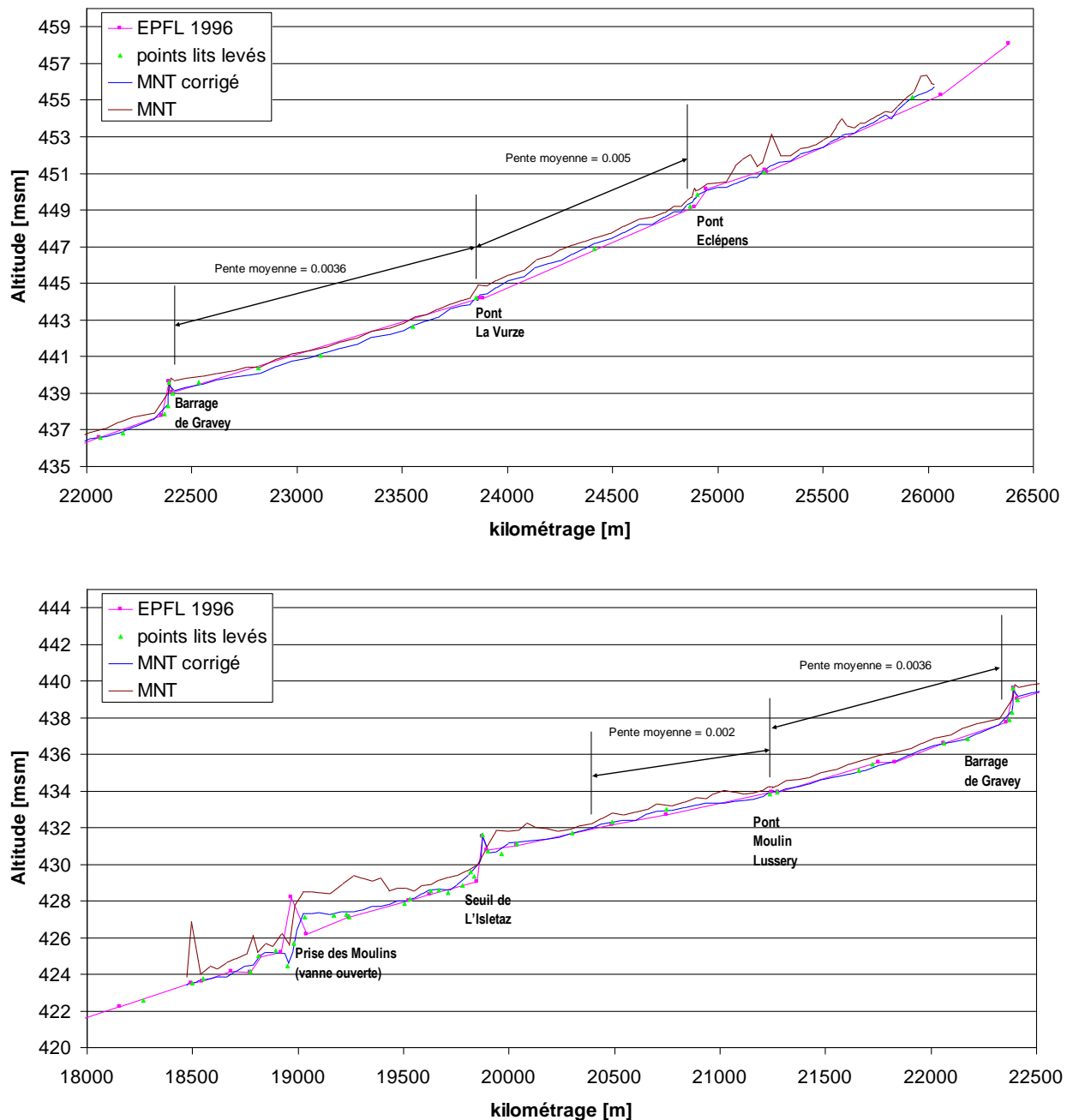


Figure 3 Profil en long de la Venoge entre Eclépens et Cossonay Gare.

2.2.3 *Modèle Numérique de Terrain (MNT)*

Le modèle numérique de terrain (MNT) se base sur les données LIDAR 2001-2002 de Swisstopo et a été transmis par le SIT², Etat de Vaud, pour la description de la topographie. Pour le fond de la Venoge, cette description est insuffisante et a dû être corrigée.

Egalement, dans les zones riveraines végétalisées, le MNT est imprécis et la description des berges a dû être corrigée. Le chenal dans ces zones a été repris du MNT développé dans la thèse de Beck (2006). Pour la correction du lit, le bureau de géomètres Jan et Courdesse SA a procédé à des relevés du lit de la Venoge. Ces relevés ont permis d'intégrer le lit de la Venoge dans le MNT de base. Le profil en long à la Figure 3 illustre le thalweg de la Venoge du MNT et les points du calage du lit.

2.2.4 *PAC Venoge*

Le Plan d'Affectation Cantonal (PAC) N° 284 de la Venoge est un instrument d'aménagement du territoire, voté et accepté par le peuple vaudois en 1990. Il vise à maintenir un équilibre entre les divers intérêts en présence dans le but de garantir le développement harmonieux de la rivière et de sa région d'influence de façon à assurer la sécurité et améliorer le cadre de vie de la population.

Il affecte les terrains situés dans le couloir de la Venoge et du Veyron et contient des principes et des dispositions accessoires de protection. Le PAC Venoge se présente sous la forme d'un plan directeur des mesures d'assainissement et de restauration de la Venoge et du Veyron (PDM), avec un plan cantonal au 1:25'000, englobant les 58 communes du bassin hydrographique de la Venoge, ainsi que des plans au 1:5'000, limités au territoire des 37 communes riveraines. Un règlement, accompagné d'un glossaire et d'une liste des ouvrages protégés liés à l'usage de l'eau, complète le PAC.

Le périmètre N°2 du PAC Venoge appelé « Couloir de la Venoge » définit une zone de 30 m de part et d'autre du lit mineur préconisant des règles spéciales, notamment au niveau de l'occupation des sols. C'est la surface de référence réservée à une future réoccupation du terrain par la Venoge. Le périmètre N°3 du PAC Venoge définit tout simplement la Vallée de la Venoge. Les périmètres entre Eclépens et Cossonay figurent à la Figure 15 et à la Figure 16.

Le présent projet a été calé dans le périmètre N°2 du couloir de la Venoge tel que déterminé par le PAC Venoge. Il comprend notamment les berges, les zones alluviales, les zones de libre évolution du cours d'eau et les surfaces nécessaires à sa restauration. Le tracé de ce périmètre a été fourni par les services de l'Etat.

2.3 **Hydrologie et hydraulique**

La base hydrologique utilisée provient de l'étude EPFL/IATE/HYDRAM (Lance et Consuegra, 1997). Les débits de pointes utilisés sont donnés dans le Tableau 1. La courbe des débits classés provient également de l'étude EPFL/IATE/HYDRAM et a été utilisée en combinaison avec les débits de pointes pour générer une série de 50 ans, utilisée pour élaborer les calculs morphologiques sur le long terme. A la fin de cette série, une crue de période de retour de 100 ans a également été rajoutée (Figure 4).

² Service d'Information du Territoire, Etat de Vaud

Débit [m³/s]	Temps de retour					
	2 ans	5 ans	10 ans	30 ans	50 ans	100 ans
Lussery	35	49	58	72	79	87
Ecublens	47	65	75	92	100	110

Tableau 1 Débits de pointes à Ecublens et à Lussery

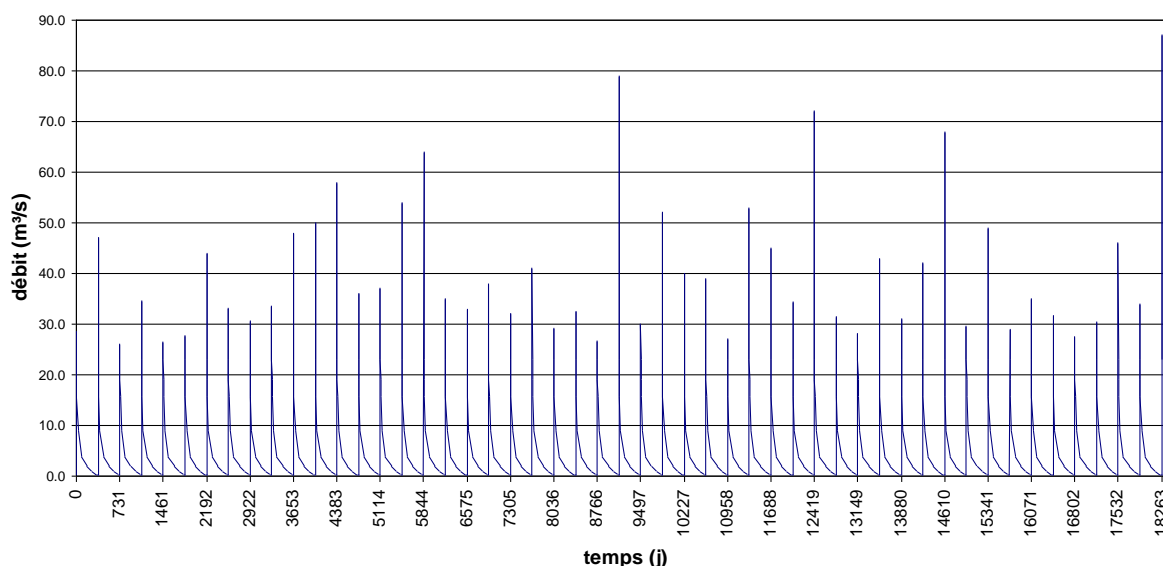


Figure 4 Série temporelle de 50 ans basée sur la courbe des débits classés et les débits de projets.

La base hydraulique provient de l'étude EPFL/IATE/HYDRAM (Lance et al., 1997a). Les lignes d'eau y ont été générées par des calculs de la hauteur uniforme et en calant avec des hauteurs d'eau observées et documentées à plusieurs endroits le long de la Venoge. Les lignes d'eau ainsi définies ont ensuite servi pour élaborer les cartes d'inondation (Lance et al., 1997b) tout le long de la Venoge jusqu'au Lac Léman.

2.4 Transport sédimentaire

2.4.1 Historique

Très peu d'informations existent sur l'historique du transport solide de la Venoge entre Eclépens et Lussery-Villars. Néanmoins, basé sur les études EPFL/IATE/HYDRAM, une brève analyse du transport sédimentaire lors des événements de crue historiques a pu être esquissée :

Crue du 19-21 janvier 1910

Extrait des Archives Cantonales : « Rupture des barrages industriels au moment du passage du débit de pointe de 110-120 m³/s (barrage du Crozet sous Ferreyres et de la Gouille Noire – fabrique de

couvertures). Entraînement d'un grand volume de matériaux qui a complètement inondé la plaine depuis la route de la Sarraz jusqu'à la gare d'Eclépens. « Il faut également noter l'obstruction du pont du Bois de Vaux par des arbres charriés et le blocage de troncs d'arbres à l'aval du seuil du Moulin de Lussery. Finalement, le pont d'Eclépens a été presque coupé de par l'affouillement.

Crue du 24-26 janvier 1916

La station de Cossonay a enregistré un débit de pointe de 78 m³/s (~ Q₅₀ à Lussery). Extrait des Archives Cantonales : « De gros matériaux (graviers) se sont déposés (0.6 à 1.0 m d'épaisseur) entre le pont (du Moulin) de Lussery et le barrage de l'Isletaz provoquant des débordements locaux sur 1 km environ. Entre le Moulin de Lussery et le barrage de Gravey, l'eau a arrosé la crête des berges, en amont du barrage une marge de 1 m restait. »

Crue du 24-26 décembre 1918

La station a enregistré un débit de pointe de 93 m³/s (~ Q₁₀₀ à Lussery). Extrait des Archives Cantonales : « Dans la partie aval vers le bois de Vaux, l'eau a déversé par-dessus les berges par le fait que le lit était en partie plein de gravier. Entre le pont de Lussery et le barrage de Gravey, le niveau de l'eau a atteint la berge sans déverser. En amont du barrage, il a avait une marge de 0.20 m.

Dans la zone d'Eclépens, une importante érosion s'est produite dans le lit de la Venoge, allant de 0.6 à 1.0 m de profondeur. Ceci correspond à 10'000 à 16'000 m³ de matériaux qui ont été transférés vers l'aval.

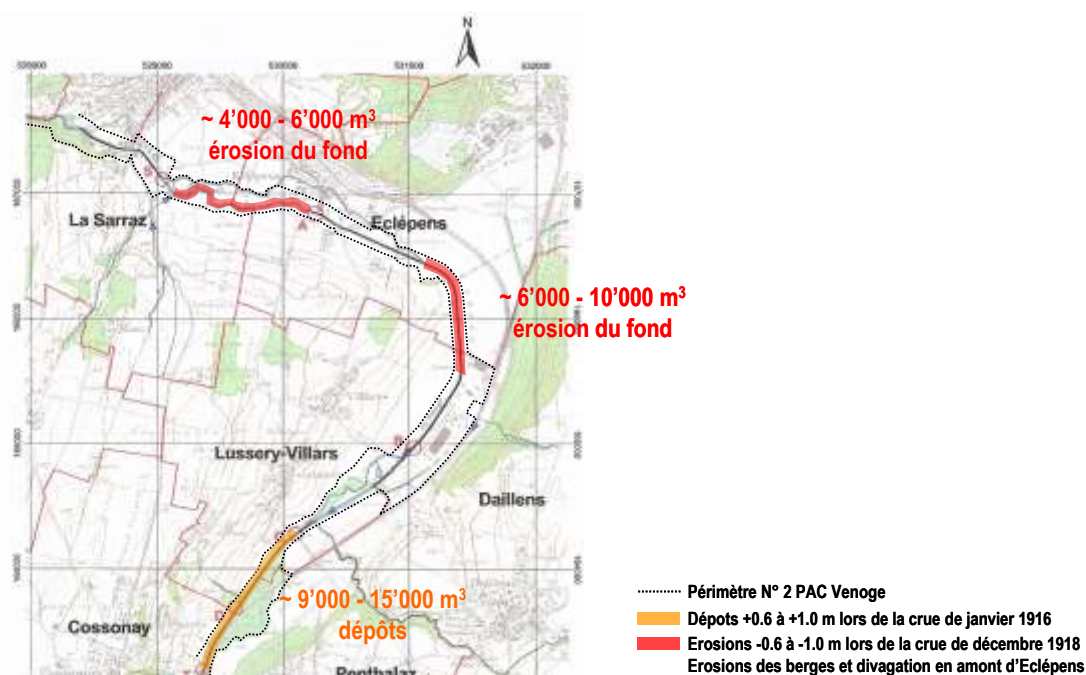


Figure 5 Historique des érosion et dépôts entre Eclépens et Cossonay

2.4.2 Granulométrie et MES

Selon des relevés de terrain effectués en 2006 dans la zone de Bussigny, trois courbes granulométriques typiques de la Venoge ont été définies (Figure 6, AquaVision Engineering 2006). La courbe grossière « banc gravier » est considérée représentative de la couche de pavage qui se forme sur le lit de la Venoge et pour les graviers compris dans les berges. La courbe inférieure (trouvée dans des zones calmes du lit de la Venoge) représente des zones de repos sur le lit de la Venoge, tandis que la courbe moyenne est représentative des matériaux constituant les berges de la Venoge.

Ainsi, il convient de remarquer que, de par l'érosion des berges lors des crues, la courbe moyenne se décompose en une partie fine, entraînée vers l'aval et/ou déposée le long du lit, et une partie grossière, formant des bancs de graviers souvent vers la rive opposée.

Pendant la crue du 10 avril 2006 ($Q_{\max} = 87 \text{ m}^3/\text{s}$ à Ecublens), la concentration de MES relevé par deux échantillons au Moulin de Lussery a été de 0.55 g/l et par deux autres échantillons à Bussigny de 0.8 g/l (relevés par AquaVision Engineering, analyse des échantillons par LMS-EPFL). De ce fait, la Venoge se charge en MES lors du passage des zones à méandres et à érosion des berges.

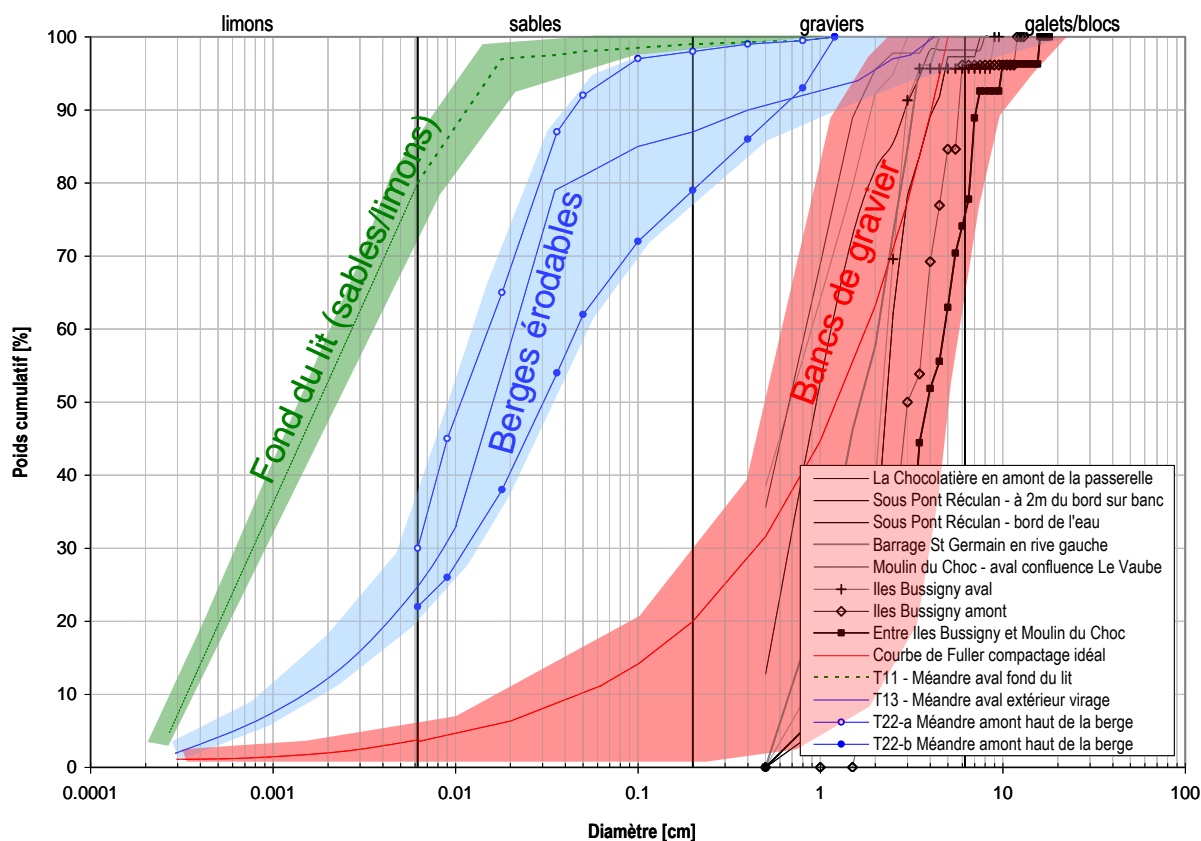


Figure 6 Granulométrie de la Venoge à Bussigny (AquaVision Engineering, 2006)

2.5 Environnement

Il existe peu de données nature sur le tronçon canalisé de la Venoge, en raison principalement des caractéristiques actuelles de ce tronçon. Les données de base à disposition permettent toutefois de relever les points suivants :

- L'inventaire des biotopes du canton de Vaud a été réalisé sur les communes de Lussery-Villars et d'Eclépens au milieu des années 1980. Il décrit les objets et consigne les éléments de la faune et de la flore notés lors de la visite. En ce qui concerne la Venoge, cet inventaire souligne que le tronçon canalisé « mériterait d'être mieux aménagé car il contraste beaucoup avec les cours amont et aval riches et variés ».
- Le castor est présent dans la Venoge en amont et en aval du secteur d'étude. A ce niveau, ce cours d'eau figure en 1ère priorité au niveau du bassin Lémanique et vallée du Rhône avec comme objectifs « Protection, encouragement et mise en réseau des différentes localités du castor ».
- L'inventaire piscicole des cours d'eau vaudois indique la présence de quatre espèces de poissons : la truite de rivière, le chabot, le vairon et la loche franche. L'ombre n'est plus présent sur le tronçon canalisé, mais cette espèce menacée devra également être prise en compte au niveau des espèces cible.
- Le problème du réchauffement de l'eau de la Venoge en été dû au manque d'ombrage est particulièrement important. Une des conséquences directes de ce réchauffement est la maladie rénale proliférative (MRP) des poissons. Le déclenchement de cette maladie est fortement dépendant de la température. La MRP a été identifiée dans le cadre du projet FISCHNETZ comme une entrave importante au développement des populations de truites de rivière.
- La zone alluviale d'importance nationale du Bois de Vaux (n° 122) est située en rive gauche de la Venoge en aval du Pont de Lussery (tronçon C-D). Elle fait l'objet d'un plan de gestion établi en 1998. La fiche C28 du plan directeur des mesures du PAC Venoge concerne la revitalisation de cette zone.
- Le bief du Moulin de Lussery est aménagé en canal d'élevage dans sa partie amont. Habituellement, des alevins de truites y sont mis à l'eau au printemps et récolté à l'automne afin de repeupler la Venoge. Actuellement, cet élevage a été arrêté en raison de problèmes sanitaires (présence de la maladie rénale proliférative et forte mortalité chez les truitelles).
- Un projet de création d'un biotope a été élaboré par la Conservation de la nature sur une parcelle située entre la Venoge et le bief du Moulin de Lussery dont elle est propriétaire. Ce projet consistait à créer des bassières susceptibles d'accueillir castors, oiseaux divers dont limicoles, batraciens, libellules, etc. Ce projet pourrait être tout ou partiellement intégré à la revitalisation du tronçon B-C.

2.5.1 Protection des eaux

Deux zones de protection des eaux se situent dans le secteur concerné (voir Annexe 3). La première zone se trouve juste en aval d'Eclépens, en rive gauche, au lieu-dit « La Vurze ». La deuxième zone se situe dans la zone industrielle en rive gauche, juste en amont des bâtiments de La Poste.

2.6 Géologie et géotechnique

La constitution géologique globale de la zone sous étude est présentée à l'Annexe 4, basée sur l'Atlas Géologique de la Suisse. A part les alluvions récentes aux abords de la Venoge, la plaine est principalement constituée de moraine rhodanienne, avec quelques affleurements de molasse chatiennes vers Eclépens. A part le cône de déjection du Criaud, aucune singularité géologique n'est à signaler sur le tronçon A-D.

De plus, les glissements potentiels du secteur figurent à l'Annexe 5. Une zone de glissements actifs (i.e. vitesse de glissement > 2 cm/an) se trouve en rive gauche, en amont du barrage de Gravey, à l'endroit de la zone industrielle de Daillens.

2.7 Sous-sol et équipement

Les détails sur les différentes canalisations en sous-sol ont été présentés en Annexe 6. Les principaux aspects qui y figurent sont :

- lignes téléphoniques, câbles électriques divers, etc.
- Gazoduc, Cosvegaz
- ligne de chauffage à distance
- eaux claires et eaux usées

3 Diagnostic état actuel

3.1 Situation générale

Dans son état actuel, la Venoge entre Eclépens et Lussery-Villars se trouve entièrement canalisée (voir Figure 7). Cette canalisation a été effectuée au début du 20^{ième} siècle dans le but d'une meilleure exploitation agricole de la plaine. Les premières crues ont néanmoins démontré le risque inhérent à toute forme de canalisation : d'importantes érosions du lit et des berges se sont produites, avec des incisions dépassant 1 m.



Figure 7 Topographie de la Venoge : a) Amont du pont d'Eclépens ; b) aval du barrage de Gravey.

Suite aux érosions lors des crues, le lit a été renforcé et les digues ont été rehaussées. De ce fait, le profil actuel de la Venoge est parfaitement trapézoïdal, avec une double rangée de blocs de protection au pied des berges et une couche de perrés relativement grossiers au fond du lit. La longueur totale du tronçon canalisé est d'environ 4.7 km et s'étend d'Eclépens jusqu'au Bois de Vaux.

3.2 Aspects fonciers

La situation foncière est décrite en détail en Annexe 7. A noter que les données cadastrales de la commune de Lussery-Villars ont été mises à jour et digitalisées dans le cadre du présent projet.

Entre Eclépens et Lussery-Villars, le DP occupe actuellement une surface d'environ 12 ha.

La majeure partie des propriétaires le long de la Venoge sont des agriculteurs, avec toutefois une zone industrielle en rive gauche juste en amont du barrage de Gravey. La rive droite entre le barrage de Gravey et le Moulin de Lussery appartient principalement à l'Etat de Vaud, tandis que les parcelles en aval du pont de Lussery appartiennent principalement aux communes de Penthalaz et de Lussery-Villars ainsi qu'à l'Etat de Vaud en rive gauche, mais sont entièrement privées en rive droite.

Les aspects fonciers sont traités avec plus de détail dans la partie avant-projet de la présente étude.

3.3 Topographie

Comme illustrée à la Figure 7, la Venoge dans son état actuel entre Eclépens et Lussery-Villars représente un tracé quasi complètement rectiligne. Les pentes moyennes du thalweg fluctuent de 0.6 % à Eclépens à seulement 0.3 % en amont du barrage de Gravey et à 0.2 % en aval du Moulin de Lussery. Le profil en travers est de forme trapézoïdale et quasi identique tout le long de ce tracé. Les digues actuelles le long des berges se situent légèrement plus élevées que les terrains avoisinants, de l'ordre de 0.50 à 1.0 m plus haut. Aucune diversité topographique n'existe donc sur ce tronçon, que ce soit sous forme de gouilles dans le lit ou encore des ondulations ou formes naturelles des berges.

3.4 Hydraulique

3.4.1 Conditions générales en étiage (selon HYDRAM-EPFL)

La courbe des débits classés présentée au Tableau 2 montre que, en étiage, la Venoge a un débit très faible, de l'ordre de quelques centaines de l/s seulement. Cette situation est typique pour les mois d'été et, de par la canalisation, conduit à une lame d'eau très mince de seulement quelques dizaines de cm. Les étiages prononcés sont à mettre en relation avec les faibles pluies d'été, spécifiques au bassin versant et au couloir de Cossonay, qui présente de plus une forte évapotranspiration.

Débit classés [m³/s]	Nombre de jours					
	7	30	90	184	273	347
Lussery	15.70	8.97	3.76	1.80	0.82	0.31
Ecublens	21.72	11.31	5.43	2.75	1.26	0.52

Tableau 2 Courbe des débits classés à Ecublens et à Lussery

3.4.2 Calcul numérique des lignes d'eau dans l'état actuel

Les zones inondées lors des crues ont été simulées par une modélisation numérique filaire (1D). Basé sur le MNT avec intégration des profils relevés par le géomètre, 177 profils en travers ont été extraits pour la modélisation 1D (Figure 8). Les valeurs de rugosité du lit et des berges de la Venoge sont attribuées selon des zones de rugosité (Figure 8). Les valeurs de rugosité (K Strickler) pour les différentes zones sont basées sur l'expérience acquise lors de projets antérieurs et suivent les recommandations usuelles dans ce domaine (USACE, 2002) :

Zone	K Strickler [m ^{1/3} /s]
Lit de la rivière	30-50
Champ, herbe	20-40
Végétation légère	15-30
Végétation moyenne	10-20
Végétation forte	5-15

Les digues du canal empêchent tout écoulement efficace en dehors du lit principal. Ainsi, les zones derrière ces digues ont été définies comme zones mortes (sans écoulement). Des zones mortes sont également été définies au Bois de Vaux, à l'est de la ligne CFF, au niveau des bâtiments des câbleries, et en aval du pont d'Eclépens.



Figure 8 Profils en travers extraits du MNT pour la simulation numérique des lignes d'eau dans l'état actuel. Les zones à rugosité constante sont indiquées en rouge.

3.4.3 Résultats des calculs dans l'état actuel

Les mesures in-situ des lignes d'eau, résumées dans le rapport HYDRAM-EPFL (Lance et Consuegra, 1997), ainsi que des observations faites in-situ par AquaVision Engineering lors de la crue du 10 avril 2006, ont été utilisées pour caler le modèle numérique. Les lignes d'eau ont été simulées pour des temps de retour de 30 ans respectivement 100 ans. Les lignes d'eau sont données à la Figure 9 et comparées avec les niveaux des rives gauche et droite et les ponts.

Pour la crue d'un temps de retour de 30 ans, la Venoge entre Eclépens et Lussery-Villars a quasi partout une capacité de débit suffisante. A l'amont du pont d'Eclépens, la capacité est insuffisante en rive gauche et rive droite. La zone du Bois de Vaux, sous influence du seuil de l'Islétaz, manque largement de capacité pour la crue trentennale. Dans la zone des câbleries de Cossonay, il y a un manque de capacité aux ponts en rive gauche. En aval de la prise des moulins, il y a des débordements en rive droite et ensuite en rive gauche, vers le camping de Cossonay.

Les tirants d'air sous les ponts sont donnés dans le Tableau 3. Une marge de 0.50 m minimum est nécessaire afin d'éviter tout risque d'embâcles dus au coincement des arbres, etc. Le pont d'Eclépens amont, la passerelle des pêcheurs, la passerelle dans les Bois de Vaux, le pont aval des câbleries et le pont CFF risquent de générer des embâcles.

Finalement, pour la crue centennale, la Venoge connaît d'importants problèmes de capacité de débit. A peu près toute la plaine avoisinant la Venoge en autour du seuil de Gravey serait inondée. De plus, d'importantes inondations se produiraient juste en amont d'Eclépens, principalement en rive gauche. Dans la zone amont des câbleries en rive gauche, les profondeurs d'eau seraient importantes. Les tirants d'air aux ponts seraient largement insuffisants et le risque d'embâcles est bien réel.

Pont	Q 30 ans [m]	Q 100 ans [m]
Eclépens Amont	0.35	0.16
Ecépens Aval	2.01	1.76
La Vurze	0.66	0.43
Lussery Passerelle des Pêcheurs	0.45	0.20
Lussery Pont des Moulins	0.60	0.41
Lussery Passerelle Bois de Vaux	-0.02	-0.23
Câblerie amont	0.71	0.53
Câblerie aval	0.27	0.08
Cossonay Gare CFF	0.40	0.16

Tableau 3 Tirants d'air à l'état actuel dans la zone d'étude

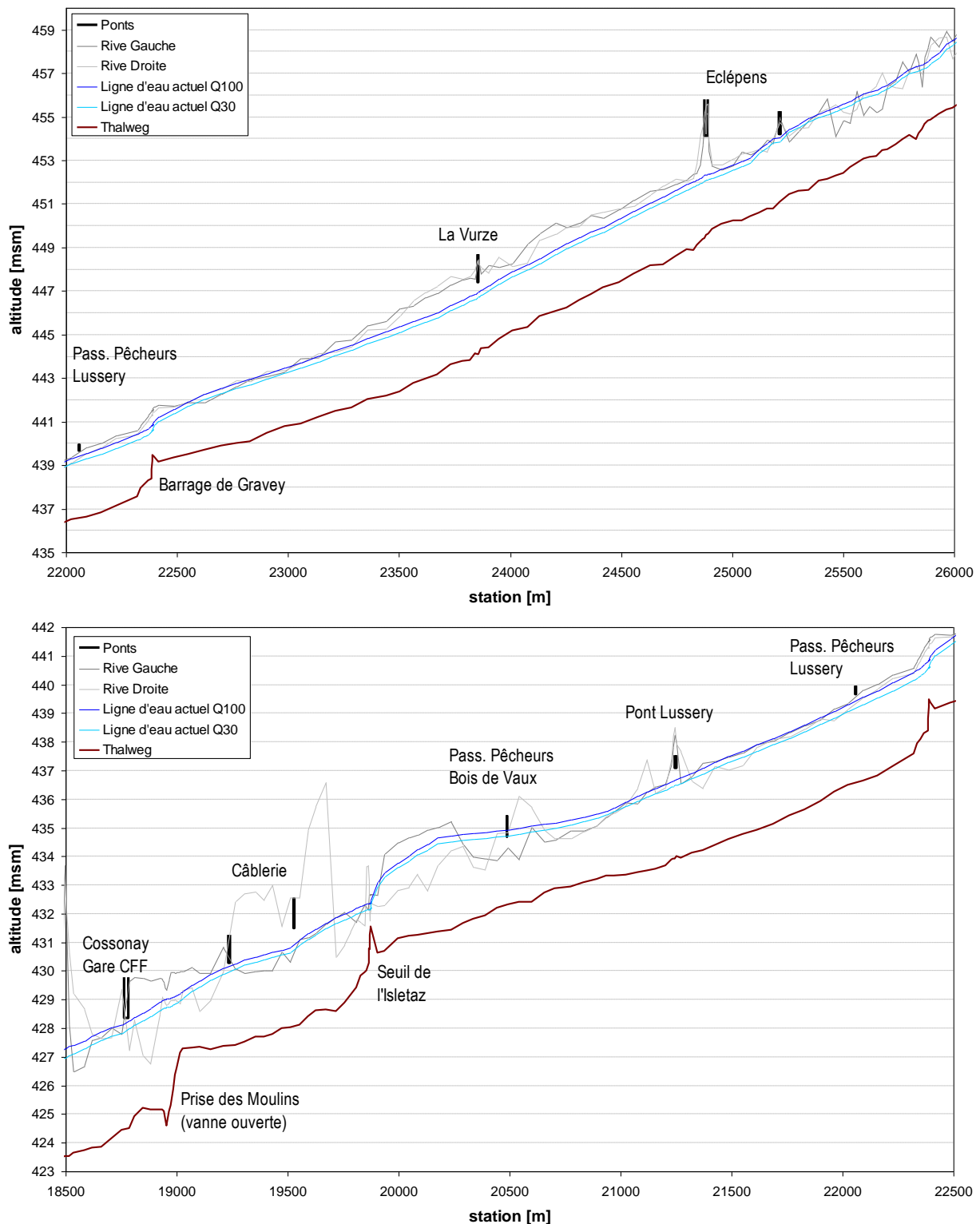


Figure 9 Comparaison des lignes d'eau et du fond pour Q30 et Q100 dans l'état actuel.

3.5 Morphologie et transport solide

Dans la zone sous étude, la Venoge ne subit actuellement quasi aucune érosion du lit. Le lit est fait de perrés grossiers et constitue une couche de fond apparemment très résistante aux crues.

Pour mieux cerner l'état actuel, des calculs numériques du transport sédimentaire ont été effectués sur le long terme, c'est-à-dire en modélisant une séquence de crues équivalent à 50 ans de débits. Ceci a notamment permis de déterminer les diamètres d_{50} (moyen) et d_{90} (max.) qui ne bougent pas lors des crues et qui procurent donc une stabilité du lit tel qu'observée dans l'état actuel. La Figure 10b montre la variabilité spatiale des d_{50} et d_{90} du lit après les calculs. Des valeurs de références pour chaque tronçon d'étude sont indiquées en noir. Les diamètres stables sont de l'ordre de 6 à 9 cm en moyenne, confirmant la situation observée in-situ.

Cette analyse démontre que, dans l'état actuel, un lit constitué de matériaux très grossiers est indispensable pour éviter une incision du lit et des berges. Ceci est logique étant donné la canalisation de la Venoge à cet endroit, résultant en des pentes moyennes du thalweg plus élevées et des vitesses d'écoulement supérieures à celles de l'état d'origine du cours d'eau.

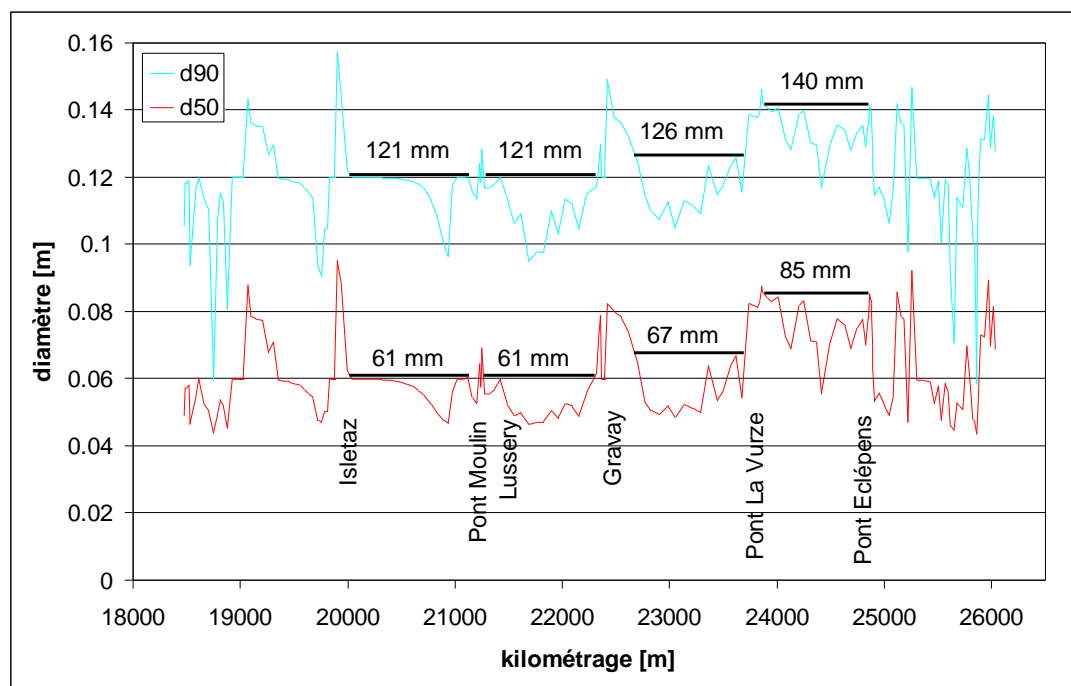
Une analyse théorique a été effectuée de la capacité de transport solide par charriage et en suspension de la Venoge dans son état actuel (Figure 10b). Le tronçon en amont de La Vurze, i.e. autour d'Eclépens, connaît une pente moyenne du thalweg de 0.6 % et une capacité de transport de 7'000 m³/an en suspension et de 4'000 - 6'000 m³/an par charriage.

Plus en aval, depuis le barrage de Gravey, la capacité de transport chute vers des valeurs de l'ordre de seulement 2'000 – 4'000 m³/an en suspension et de 2'000 m³/an par charriage. Ceci est dû à la diminution importante de la pente du thalweg vers Cossonay (0.2 - 0.3 %).

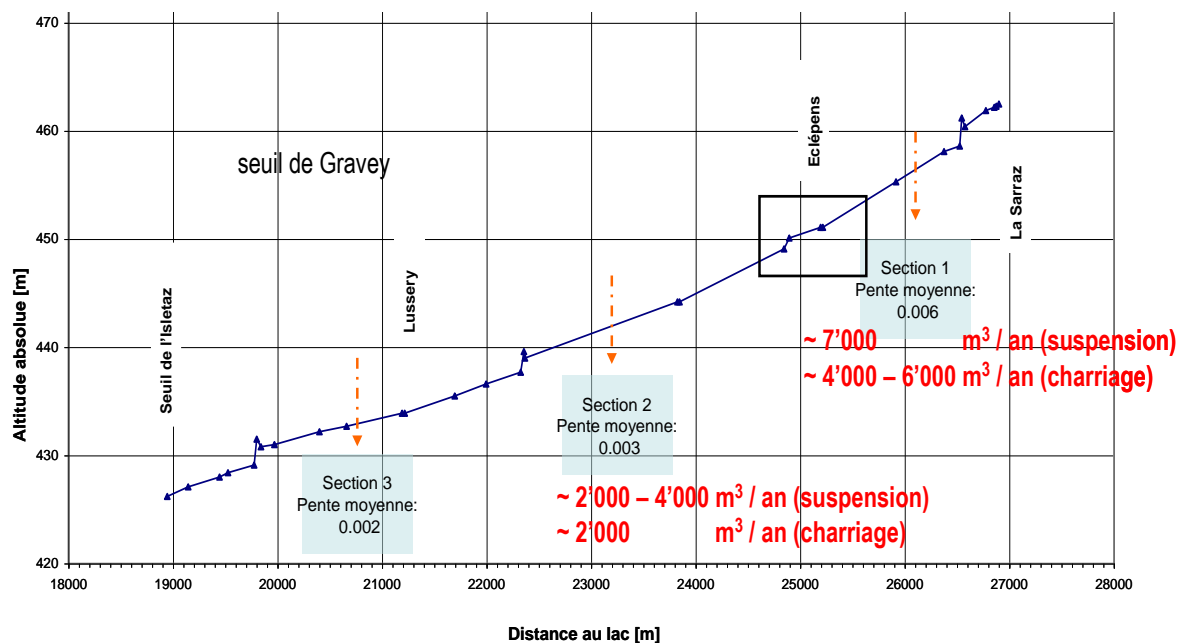
Ainsi, en supposant que ces matériaux transportables sont effectivement disponibles lors des crues de la Venoge, la différence de capacité de transport de l'amont vers l'aval laisse augurer que d'importants dépôts (~ 10'000 m³/an) devraient être observés en aval du barrage de Gravey et ceci jusqu'à Cossonay.

Or, ceci n'est pas le cas, démontrant que ces matériaux ne sont tout simplement pas disponibles depuis l'amont et que la Venoge se trouve actuellement dans une situation de déficit de matériaux ou encore avec un risque accru d'incision de son thalweg sur le long terme.

Cette incision n'a pas été observée depuis la crue de 1918 (voir § 2.4.1), qui avait fortement érodé le chenal de la Venoge, et qui a donné lieu à d'importants travaux de stabilisation du thalweg à cet endroit.



a)



b)

Figure 10 a) Diamètres stables du lit actuel de la Venoge dans la zone d'étude et après 50 ans de simulation de crues ; b) Capacité théorique annuelle de transport solide en suspension et par charriage de la Venoge dans son état actuel.

3.6 Protection contre les crues

Suite aux calculs numériques effectués, les cartes des inondations dans l'état actuel ont été définies et figurent dans l'Annexe 8 et l'Annexe 9. Les niveaux d'eau sont interpolés linéairement entre profils en travers pour avoir une grille des niveaux d'eau. Les situations qui ont demandé des traitements spéciaux sont :

- rive gauche vers La Poste à Daillens (km 22.97 à 23.23) : le niveau d'eau pour la crue centennale déborde par-dessus les digues vers km 22.97. Ce niveau d'eau pourrait refouler vers l'amont. Ainsi, l'inondation à l'amont en rive gauche est calculée avec ce niveau d'eau.
- rive gauche vers les câbleries à Cossonay (km 19.52 à km 19.67) : le niveau d'eau pour la crue trentennale déborde en rive gauche vers km 19.52. Ce niveau d'eau pourrait refouler vers l'amont. Ainsi, l'inondation à l'amont en rive gauche est calculée avec ce niveau d'eau.

Il convient de relever également que les affluents n'ont pas été pris en compte. De ce fait, aucune inondation ne se produit le long de ces affluents selon les cartes. Par contre, les cartes contiennent également les inondations conditionnelles, qui peuvent se produire par remontée de la nappe ou d'une brèche des digues de la Venoge. Par exemple, lors de la crue d'avril 2006, la rive gauche juste en amont du pont de Lussery a été inondée par remontée de la nappe (observation AquaVision Engineering).

En résumé, dans son état actuel, les dégâts par suite d'inondations lors de la crue trentennale sont quasi inexistantes. Même pour la crue centennale, ils restent relativement faibles. Les dégâts potentiels les plus importants se produiraient dans la zone industrielle de Daillens en rive gauche et des câbleries en rive gauche, le solde des terrains inondés étant principalement des terrains agricoles. La STEP d'Eclépens serait entourée par des inondations bien que le bâtiment même ne soit pas inondé.

3.7 Entretien du cours d'eau

Dans son état actuel, la Venoge entre Eclépens et Lussery-Villars n'a besoin que de très peu d'entretien. A part la présence d'herbes le long des berges, aucune végétation ne se situe au voisinage immédiat du cours d'eau. L'entretien est actuellement à charge de l'Etat de Vaud.

3.8 Qualité de l'eau

3.8.1 *Qualité chimique*

L'évolution de la qualité chimique de la Venoge depuis 1987 est suivie grâce aux prélèvements hebdomadaires effectués à la station d'Ecublens-Les Bois (532.040/154.160). Une tendance très significative à la diminution des concentrations en éléments majeurs dans les eaux est observée ces dernières années.

En ce qui concerne les micropolluants, la synthèse des résultats 1989-1994 d'un groupe de travail interdépartemental ayant travaillé sur plusieurs indicateurs, montre que la santé de la Venoge n'est pas préoccupante en ce qui concerne les micropolluants organiques (hydrocarbures et composés halogénés) et métalliques recherchés. Reconduite en 2002, cette étude a montré que les mousses aquatiques (bryophytes) de la basse Venoge présentaient une teneur normalisée en métaux lourds très sensiblement moindre qu'en 1989.

Parmi les pesticides régulièrement détectés dans les eaux, certains pourraient présenter un problème potentiel, particulièrement dans la basse Venoge. Ce postulat est étayé par les constats et conclusions sur cette rivière, suivie en 2002 dans le cadre du projet Fischnetz. La Venoge, en effet, présente comparativement les plus fortes concentrations en pesticides parmi celles rencontrées dans les quatre rivières test étudiées (Emme, Necker, Liechtensteiner Binnenkanal, Venoge).

D'autres produits (hormones, retardateurs de flamme, résidus de médicaments, filtres UV, cétones musquées, etc.), non recherchés, sont probablement présents dans les eaux. Ils pourraient exercer, par synergie, un effet préjudiciable à la qualité du milieu aquatique.

Le tronçon d'étude est situé en amont des principales activités polluantes et l'on peut considérer que la qualité chimique de l'eau est bonne. La pollution diffuse liée aux pratiques agricoles (fumure, emploi de produits phytosanitaires) n'est toutefois certainement pas négligeable.

Sur ce tronçon, le principal facteur limitant est le réchauffement important de l'eau en été en raison du manque d'ombrage, avec des températures maximales qui peuvent dépasser largement 20°C, voir 25°C par moment.

3.8.2 *Qualité biologique*

La qualité biologique de la Venoge est étudiée depuis 1990. Actuellement, la surveillance de cette rivière se fait à la même fréquence que les autres cours d'eau du canton, soit tous les 3 ans. La dernière campagne date de 2006.

La diversité de la macrofaune benthique ainsi que la présence de certains animaux dits sensibles permet d'établir un indice de qualité biologique appelé indice RIVAUD sous la forme d'une note variant de 0 (absence de faune) à 20 (excellente qualité biologique).

De manière générale, la qualité biologique de la Venoge diminue lorsqu'on descend le long de la rivière (d'amont vers l'aval). Cette tendance reste bien marquée sur toute la période. Elle est due à l'augmentation d'amont en aval des perturbations d'origine humaine. Toutefois, il apparaît clairement que la qualité biologique s'est nettement améliorée depuis 1990.

Au niveau d'Eclépens et de Lussery-Villars, la qualité biologique qui était mauvaise en 1990 s'est améliorée grâce à la mise en place efficace de l'épuration des eaux. De bonnes conditions hydrologiques avec suffisamment d'eau favorisent également une telle tendance. Depuis 2000, la qualité biologique est très bonne à Eclépens (indice compris entre 15 et 20) et bonne à Lussery-Villars (indice compris entre 12 et 14).

3.9 **Milieux naturels**

3.9.1 *La Venoge*

La valeur biologique et piscicole de la Venoge est très faible pour les raisons suivantes :

- Le principal facteur limitant est l'absence de diversité. Le milieu est très homogène (courant, profondeur et substrat) et dépourvu de bancs de graviers pour la reproduction des salmonidés et d'abris nécessaires au développement de la faune piscicole. Il n'y a notamment aucune structure pouvant servir de refuge lors des crues.

- Un second problème majeur est l'absence d'ombrage (pas de végétation riveraine), qui induit un fort réchauffement de l'eau en été. Les températures peuvent devenir limites pour la survie des espèces les plus sensibles (truites et ombres), notamment du fait de la présence de la MRP dans la Venoge. A noter que ce problème a probablement des incidences négatives bien en aval du secteur canalisé.
- La configuration actuelle aggrave sensiblement la prédation par les oiseaux piscivores (observation de nombreux harles sur le secteur). Les poissons ne disposent d'aucune cache (ex. sous-berges) où ils peuvent s'abriter. Les prédateurs bénéficient d'un terrain de pêche particulièrement facile où ils peuvent exploiter au maximum les maigres ressources piscicoles.
- En conséquence, la valeur piscicole de ce secteur est faible. Par ailleurs, compte tenu de l'absence de micro habitats diversifiés, il est vraisemblable que la diversité de la faune benthique soit également fortement réduite.



Figure 11 Vues de la Venoge canalisée en aval du pont d'Eclépens et en amont du centre de tri postal

3.9.2 Les milieux riverains

La valeur biologique des milieux riverains est très faible pour les raisons suivantes :

- Les rives de la Venoge sont sans intérêt du point de vue nature. Elles sont en totalité constituées de talus herbeux avec stabilisation minérale en pied (très faible diversité floristique). Il n'y a pratiquement pas d'arbres ou arbustes, ni aucune structure pouvant représenter un quelconque intérêt pour la faune riveraine.
- Au-delà des rives, la plus grande partie des surfaces adjacentes sont sans intérêt biologique. Elles sont essentiellement constituées de terrains agricoles de part et d'autre de la Venoge (grandes cultures). Seul un chemin de berge (souvent en terre, parfois goudronné), sépare les surfaces agricoles des rives du canal. Compte tenu de cette configuration, la flore et la faune riveraine sont très peu abondantes et peu diversifiées. Il n'y a sans doute pas de grande faune présente sur la plus grande partie des rives de ce secteur de la Venoge.
- A noter encore que la configuration du canal représente actuellement un important obstacle au déplacement de la faune de part et d'autre du cours d'eau.



Figure 12 Vues de la Venoge canalisée à l'embouchure du bief d'Eclépens et au niveau du Bois de Vaux

3.9.3 Les milieux annexes

Dans le couloir de la Venoge, quelques milieux annexes présentent encore un certain intérêt du point de vue biologique. D'amont vers l'aval, il s'agit de :

- Le bief d'Eclépens : Ce canal de dérivation provenant d'un captage dans la Venoge abrite des truites et des vairons. Son embouchure dans la Venoge est artificielle mais franchissable par la faune piscicole. Les fonds sont relativement naturels et la configuration présente, en tout cas localement, quelques potentialités pour la reproduction et le grossissement des truites. A noter que son eau est utilisée par la SVPR d'Eclépens pour la pisciculture. Un massif boisé d'environ 120 m de long et quelques dizaines de mètres de large existe vers l'embouchure mais ne présente que peu de valeur biologique (trop petit et isolé au milieu de grandes cultures).
- La Vieille Venoge : il s'agit d'un affluent en rive gauche appelé Le Criau sur sa partie amont, qui coule en marge d'un petit massif forestier sur sa moitié aval et dans un étroit cordon boisé sur sa moitié amont, puis est enterré à partir de 500 m de l'embouchure jusqu'en amont de la voie CFF. Le cours, naturel et assez diversifié, abrite un petit peuplement piscicole (vairons et truites). L'embouchure est franchissable et il est probable que quelques truites de la Venoge remontent ce cours d'eau pour s'y reproduire. La qualité de l'eau est toutefois douteuse. A noter la présence du local de la SVPR de Penthalaz à proximité de l'embouchure.
- Le bief de Lussery : issu d'une dérivation à la chute de Gravay, ce canal est fortement aménagé sur sa partie amont (anciennement utilisée pour la pisciculture) et de configuration plus naturelle sur sa partie aval jusqu'à la restitution au Moulin de Lussery. Il coule dans un étroit cordon boisé sur sa partie amont et en marge de massifs forestiers sur sa partie aval. Ce bief présente un certain intérêt pour la faune piscicole mais il n'est pas accessible depuis la Venoge (chute devant le Moulin). La faune riveraine y trouve un des rares secteurs boisés dans la plaine entre la Sarraz et Cossonay.
- L'étang « sous Villars » : Ce plan d'eau forestier d'environ 80 mètres de long se trouve en rive droite de la Venoge peu en amont de l'embouchure de la Vieille Venoge. Il est alimenté par un captage sur la Venoge et il aboutit à un exutoire souterrain qui dirige l'eau dans le bief de Lussery.

Ce milieu présente sans doute de bonnes potentialités pour une petite faune (amphibiens, libellules, oiseaux, voire castors, etc.), mais son intérêt est limité du fait qu'il est trop isolé au milieu des grandes cultures. Il s'agit d'un bassin de rétention pour les améliorations foncières.

- La roselière de Bossaton : il s'agit d'une petite dépression humide en rive gauche de la Venoge, dans laquelle s'est développée une roselière. A noter la présence d'une dizaine de grands peupliers qui ont peut-être été plantés là dans le but d'assainir ce milieu humide. Le volume d'eau libre est faible, mais le site peut présenter quelques potentialités pour des amphibiens et libellules. Comme le précédent, il est toutefois trop isolé au milieu des grandes cultures.
- La Malombe : cet affluent piscicole qui abrite des truites aboutit en rive gauche en face du Moulin de Lussery. Son cours naturel coule dans un étroit cordon boisé sur environ 120 mètres avant de passer sous la voie CFF. En amont, il est connecté à des massifs boisés plus importants. L'embouchure est pratiquement infranchissable pour la faune piscicole, ce qui est dommage car le cours d'eau présente sans doute quelques potentialités pour la reproduction des truites de la Venoge. En revanche, le passage sous la voie CFF est franchissable.
- Le Bois de Vaux : situé à l'extrémité aval du secteur d'étude, ce massif forestier représente un vestige de l'ancienne Venoge. Bien que le caractère alluvial ne soit plus dynamisé par les crues de la rivière, ce secteur fait partie des zones alluviales d'importance nationale et un plan de gestion a été établi dans le but de valoriser le site. Ce milieu présente encore un intérêt considérable pour la faune et la flore mais, comme les précédents, il est trop isolé et de plus coupé en deux par la voie CFF.

3.10 Aspects paysagers

Comme aucun cordon boisé n'accompagne le cours de la Venoge, celle-ci n'est pratiquement pas visible à distance et elle est donc occultée aussi bien dans sa présence visuelle que dans ses fonctions biologiques. Cette absence de visibilité à distance participe au fait que la Venoge est une rivière « oubliée » et donc sans grande importance pour la majeure partie de la population riveraine.



Figure 13 Vues de la vallée de la Venoge en direction d'Eclépens et en aval. Le canal de la Venoge n'est presque pas perceptible dans le paysage.

3.11 Aspects sociaux et récréatifs, loisirs

Mis à part quelques promeneurs et cavaliers qui parcourent les chemins de rives, les abords de la Venoge sont relativement peu fréquentés par la population régionale.

La pêche en rivière y est encore pratiquée par quelques amateurs, mais l'activité est marginale en raison du peu d'intérêt de ce secteur et probablement d'une productivité piscicole plutôt faible.

Compte tenu du peu d'attractivité que présentent les abords de la Venoge, sa valeur en tant que lieu de délasserement est limitée. Comme personne n'y va faire de « pique-niques en famille » de « partie de pêche » ou de « concours de ricochets », les jeunes n'ont pas l'occasion de nouer de relation privilégiée avec la rivière et ont peu de chance de devenir ses défenseurs dans le futur.

Tout cela participe à un processus qui fait de la Venoge une rivière oubliée et réduite à une fonction d'exutoire pour les eaux de surface.

4 Potentialités, objectifs et contraintes

4.1 Cadre légal de la revitalisation en Suisse

Pour assumer ses fonctions, un cours d'eau doit disposer d'un espace plus étendu que le seul plan d'eau visible. D'où l'intérêt à coordonner: la protection contre les crues, la protection des eaux, l'agriculture, la protection de la nature et du paysage ainsi que la planification des activités qui se déroulent à proximité du cours d'eau. Les instruments de l'aménagement du territoire permettent de coordonner tous ces aspects. Cette approche globale se reflète également au niveau législatif :

- Plan d'Affectation Cantonal de la Venoge (PAC Venoge, 1990) : article de loi accepté par votation du peuple vaudois en 1990, visant à maintenir un équilibre entre les divers intérêts d'influence de façon à assurer la sécurité et améliorer le cadre de vie de la population, dans le but de garantir un développement harmonieux de la rivière et de sa région.
- Ordonnance fédérale sur l'Aménagement des Cours d'Eau (OACE, 1994) : si l'on veut atteindre les nouveaux objectifs, il faut tout d'abord assurer un espace suffisant aux cours d'eau (cf. article 21). Depuis 1999, les cantons sont ainsi tenus de déterminer l'espace nécessaire à leurs rivières et de veiller à le préserver.

L'expérience a démontré que la canalisation, comme elle fut pratiquée en Suisse dès la fin du 19^{ème} siècle, nuit gravement à la qualité d'une rivière et ne règle pas les problèmes de crues exceptionnelles. Au contraire, comme démontré au § 3.5, les eaux en crue s'écoulent très rapidement dans leur voie rectiligne et peuvent provoquer des dégâts très importants à l'intérieur et à l'extérieur du cours d'eau. En cas de fortes pluies, il vaut mieux qu'une rivière puisse s'étendre dans des zones inondables et perdre ainsi son énergie dans un parcours sinueux, tout en s'infiltrant en partie dans le sol.

Dans le canton de Vaud, par revitalisation il faut comprendre un ensemble de mesures diverses visant à améliorer la qualité écologique des cours d'eau et de leurs abords immédiats. Ces mesures peuvent être regroupées en trois domaines:

- l'assainissement qualitatif de l'eau,
- l'assainissement quantitatif du régime des eaux,
- l'amélioration de la qualité écomorphologique du lit et des berges et de la qualité écologique des abords immédiats des cours d'eau.

Afin d'obtenir le meilleur équilibre entre les différents intérêts en jeu, toute revitalisation doit s'accrocher sur les besoins réellement « nécessaires » et non pas sur les besoins excédentaires ou encore « luxueux ». La non-application de cette règle conduirait à nuire gravement à un ou plusieurs des intérêts d'influence de la Venoge.

Dans ce qui suit, et basé sur cette vision globale, les potentialités de revitalisation ont tout d'abord été énoncées aux niveaux biologiques et piscicoles, suivi par la formulation des principaux objectifs de la revitalisation ainsi que les principales contraintes pour y parvenir.

4.2 Potentialités biologiques et piscicoles

Les potentialités biologiques et piscicoles de la Venoge sont très importantes :

- Ce secteur étant situé en amont des principales activités polluantes, la qualité de l'eau est bonne et le potentiel hydrobiologique et piscicole est élevé. Ce secteur pourrait sans doute être un des plus riches et productifs du canton de Vaud mais ce potentiel est anéanti par le réchauffement excessif de l'eau en été et par l'absence de diversité du cours et des rives.

Les potentialités biologiques des milieux riverains sont importantes :

- Dans une configuration renaturée, les rives de la Venoge pourraient concentrer sur une largeur limitée une multitude de biotopes permettant à toute une flore et une faune de se développer (glariers abritant une végétation et une microfaune typique des zones alluviales ; zones d'érosion et de dépôt ; petites falaises à martins-pêcheurs ; saulaies aulnaies favorables aux castors ; petits bras morts favorables aux amphibiens, reptiles et libellules, etc.).
- Dans une configuration renaturée, le cours de la Venoge pourrait jouer un rôle d'axe de déplacement et de connexion particulièrement important pour la faune, notamment en relation avec la partie amont du bassin versant. Les possibilités de passages de part et d'autre du cours d'eau seraient par ailleurs rétablies avec un lit plus large et diversifié offrant des gués naturels et des rives moins raides.

Les milieux annexes pourront être mis en valeur et pleinement intégrés dans le cadre du présent concept global de revitalisation de la Venoge :

- Le bief d'Eclépens : aménagement d'une embouchure naturelle, extension du massif boisé et mise en réseau avec le nouveau cordon boisé riverain de la Venoge.
- La Vieille Venoge : élargissement du cordon boisé sur la moitié amont et mise en réseau avec le nouveau cordon boisé riverain de la Venoge.
- Le bief de Lussery : renaturation de la partie aménagée et élargissement du cordon boisé sur la partie amont, connexion avec l'étang et mise en réseau avec la Venoge.
- La roselière de Bossaton : intégration de la dépression dans la nouvelle rive de la Venoge, permettant de reconstituer les échanges biologiques avec la rivière renaturée.
- La Malombe : élargissement du cordon boisé entre la Venoge et la voie CFF, création d'une embouchure naturelle et franchissable par les poissons.
- Le bois de Vaux : connexion avec la Venoge renaturée permettant de reconstituer des échanges de faune (ex. castors) ; éventuellement augmentation de l'alimentation de la forêt alluviale lors des crues.

4.3 Potentialités paysagères, sociales et récréatives

La valeur paysagère de la plaine pourrait être améliorée :

- La création d'un cordon boisé riverain, plus ou moins en continu le long de la Venoge, redonnerait son identité à la rivière et créerait une présence paysagère forte dans la plaine.

La valeur sociale et récréative de la Venoge pourrait être améliorée :

- Dans une configuration renaturée, la pratique traditionnelle de la pêche en rivière pourrait potentiellement devenir un secteur productif et intéressant.
- Par ailleurs, il est probable que l'attractivité restaurée des abords du cours d'eau amènerait une partie de la population riveraine à renouer le contact avec la rivière. Celle-ci représenterait alors une nette plus-value pour la qualité de vie des riverains (promenade, pique-nique, trempette, etc.). Pour en tenir compte, le concept de renaturation devra prévoir les infrastructures nécessaires pour harmoniser les accès et gérer la pression humaine le long du cours d'eau (parkings, cheminements, périmètres de pique-nique ou protégés, etc.).

4.4 Objectifs de la revitalisation

Le projet de revitalisation de la Venoge a pour principal objectif de reconstituer un cours ombragé proche du naturel avec une forte valeur biologique et piscicole tout en garantissant la capacité hydraulique et l'équilibre morphologique du lit sur le long terme et sur toute la longueur de la Venoge (amont + aval). En parallèle, le projet doit aussi augmenter la valeur paysagère et récréative du cours d'eau. En d'autres termes, ce projet a pour but de :

- permettre une certaine dynamique/divagation de la Venoge à l'intérieur d'un gabarit prédéfini et protégé sur ses bords ;
- garantir un degré de protection contre les crues qui est adapté au contexte local (cartes de dangers ; occupation du sol ; risques résiduels) ;
- maîtriser le dépôt, le transit et l'érosion des sédiments sur le nouveau lit et les berges afin de préserver un équilibre dynamique de la Venoge sur le long terme ;
- restituer un cours d'eau ombragé proche du naturel qui permettra de lutter contre le réchauffement de l'eau en été ;
- augmenter la valeur biologique du cours d'eau et de ses rives en diversifiant l'habitat ;
- augmenter la valeur paysagère et récréative du cours d'eau ;

La liberté du cours d'eau serait donc limitée à une bande de terrain (corridor) de largeur prédéfinie et stabilisée le long de ces bords. L'objectif principal consiste donc en la recherche d'une revitalisation qui garantit la capacité hydraulique et l'équilibre morphologique sur le long terme et sur toute la longueur de la Venoge (amont + aval), et ceci en permettant de reconstituer un cours ombragé proche du naturel bien intégré dans le paysage actuel et accepté par les riverains.

4.5 Contraintes de la revitalisation

Les principales contraintes à prendre en compte pour ce projet sont les suivantes :

- emprise sur les terrains agricoles et perte de surface agricole utile ;
- protection de la zone industrielle située en rive gauche ;
- protection de la ligne CFF ;
- prise en compte du réseau routier, des ponts/passerelles, des dessertes agricoles ;
- protection de la STEP de Lussery-Villars ;
- présence de multiples canalisations d'eau, de gaz, etc.
- drainage des terrains agricoles en amont du Moulin de Lussery ;
- zones S de protection des nappes souterraines (captage) ;
- barrage de Gravey et prise d'eau du bief du Moulin de Lussery ;
- ruisseau d'élevage piscicole (SVPR Penthalaz) au niveau du bief du Moulin de Lussery ;
- pisciculture SVPR section Eclépens et bief d'Eclépens ;
- plusieurs affluents, dont la Vieille Venoge ;
- roselière au lieu-dit « Bossaton ».

La réalisation des objectifs, le respect des contraintes techniques locales et la prise en compte des contraintes de financement mènent à un projet de revitalisation où la liberté du cours d'eau est limitée à une bande de terrain de largeur prédéfinie et stabilisée le long de ses bords et où les principes d'aménagement sont proportionnés.

4.6 Espace nécessaire au cours d'eau

Un espace de cours d'eau naturel doit permettre la libre divagation du lit mineur et du lit majeur. Le premier peut se transformer lors des crues modérées à fortes, tandis que le deuxième ne se transforme que pendant de fortes crues.

La libre divagation peut ainsi être définie comme la liberté du cours d'eau de modifier le nombre, le tracé, la forme et le substrat de ces lits mineur et majeur au cours de sa vie hydrologique et morphologique, c'est-à-dire lors des crues.

C'est cette liberté qui lui confère bon nombre de ses fonctions et valeurs primordiales, i.e. protection contre les crues et régulation du transport des matériaux solides, habitat pour les communautés animales et végétales, préservation d'une eau de qualité, espace récréatif pour l'homme, etc.

En Suisse, la notion d'espace nécessaire au cours d'eau pour remplir toutes ses fonctions a été définie au niveau fédéral (OACE, 1994). Cet espace est généralement défini en délimitant un corridor permettant au cours d'eau de remplir ses fonctions élémentaires et nécessaires.

Actuellement, la Venoge canalisée dispose d'une bande d'une vingtaine de mètre de large entre les sommets de digue, avec un lit mineur de 7-8 m de large et des talus de chaque côté. Si l'on tient compte des chemins situés en sommet de berges sur chaque rive, la largeur totale est d'environ 30 m.

Le fond du lit (= largeur du lit mineur) constitue la valeur de référence pour la détermination de la largeur de la zone riveraine (lit majeur). Pour la Venoge, sur la base des tronçons de référence restés à l'état naturel, on peut admettre un fond du lit de 8 m de large sur le tronçon à revitaliser.

Selon l'abaque utilisé par l'OFEV pour déterminer la largeur de la zone riveraine (voir ci-contre), un cours d'eau présentant un fond du lit de 8 m de large a besoin d'une zone riveraine de 10 m de large (une rive) pour la protection contre les crues et le maintien des fonctions écologiques. Cette largeur est portée à 15 m si l'on souhaite garantir la biodiversité, soit une largeur totale de 38 m dans le cas présent (fond du lit + zone riveraine). En rajoutant de l'espace pour les talus, l'on arrive même au-dessus de 40 m de largeur nécessaire.

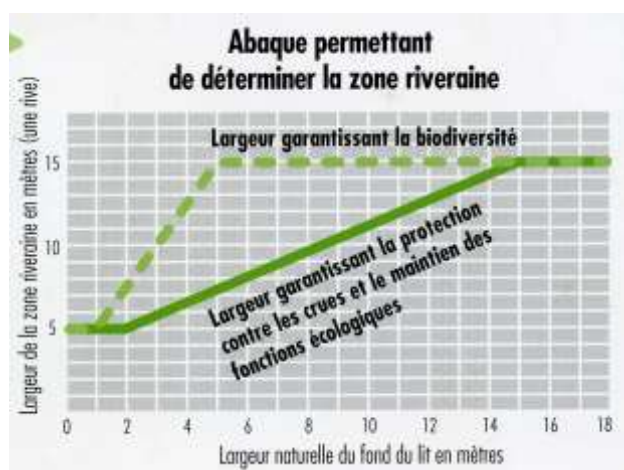


Figure 14 : Abaque illustrant la largeur nécessaire des zones riveraines pour garantir la biodiversité des cours d'eau (source : OFEN)

Une autre notion s'ajoute à celle de la zone riveraine, il s'agit de la bande de divagation, c'est-à-dire l'emprise nécessaire à la formation naturelle des méandres. Cette bande devrait atteindre 5 à 6 fois la largeur du fond du lit naturel, ce qui fait dans le cas présent une bande de divagation de 48 mètres de large au maximum. A noter que la forme des anciens méandres de la Venoge entre Eclépens et Lussery (tracé 1849) montre une bande de divagation sensiblement plus large (de l'ordre de 150 m, voir également § 4.7).

Finalement, la Venoge est facilement accessible et présente un attrait particulier en tant qu'espace récréatif. Il convient donc de prévoir un espace supplémentaire d'au moins 3 m (p.ex. pour un chemin), voire 6 m si l'on souhaite garantir un cheminement sur les deux rives. Par ailleurs, il importe également de réserver suffisamment de place pour des espaces de loisirs, ceci afin de tenir compte des souhaits d'aménagements des collectivités locales.

L'espace total nécessaire pour la revitalisation de la Venoge, tel que défini ci-dessus, représente une bande de 55 à 60 m de large, soit environ le double de l'emprise actuelle du cours d'eau mais sensiblement moins que la bande de divagation originelle de la Venoge à ce niveau. Le facteur d'élargissement par rapport à la largeur actuelle est donc de 2.0 à 2.2.

4.7 La revitalisation de la Venoge : un besoin ou un luxe ?

En appliquant les bases légales énoncées ci-dessus, la Venoge doit être élargie afin de pouvoir exercer toutes ses fonctions nécessaires.

Une multitude d'options se dessinent alors, allant d'un élargissement considérable sur toute sa longueur jusqu'à l'instauration d'une surlargeur locale et très modérée.

Sans entrer en détail dans l'avant-projet présenté au § 7, une palette d'options d'élargissement est présentée ici afin de pouvoir déterminer avec davantage de précision ce qui est « nécessaire » et ce qui est plutôt « luxueux ». La présentation des options suit la logique d'espace maximum possible vers espace minimum possible.

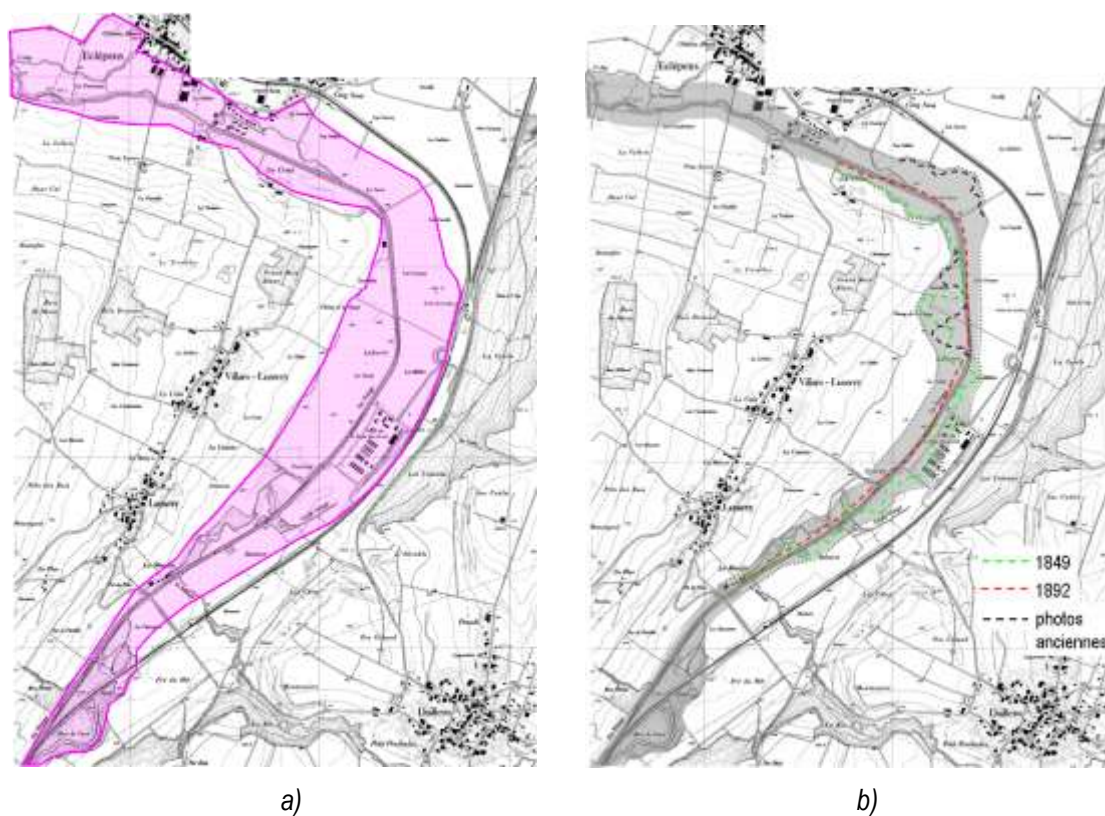


Figure 15 : Elargissement de la Venoge : a) Surface couverte d'alluvions récents ; b) Occupation historique observée depuis 1849

Option 1 : Elargissement dans la plaine géomorphologique de la Venoge

L'élargissement maximal réalisable est délimité par la plaine géomorphologique de la Venoge. Cette plaine a été façonné par l'historique géologique glacio-lacustre de la région. Entre Eclépens et Lussery-Villars, la partie de la plaine couverte d'alluvions récents connaît des largeurs de l'ordre de 200-500 m. Elle est présentée à la Figure 15a.

Option 2 : Elargissement dans l'espace occupé historiquement par la Venoge

L'espace historiquement occupé correspondrait à un retour complet dans l'emprise d'origine, façonné par la Venoge à travers la plaine au fil du temps. Basé sur des photos historiques depuis 1849, les méandres et l'espace occupée par la Venoge entre Eclépens et Lussery-Villars ont pu être reconstitués et sont illustrées à la Figure 15b. La largeur de la bande occupante fluctuait entre 100 et 300 m.

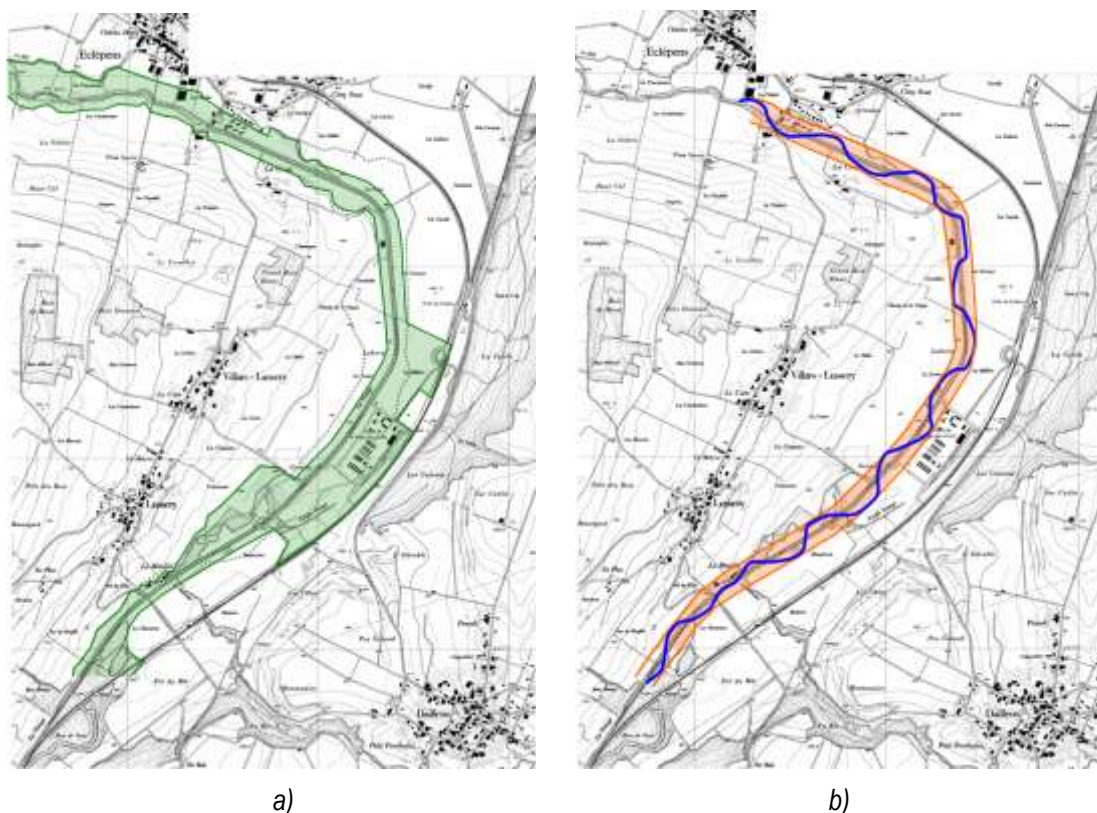


Figure 16 : Elargissement de la Venoge : a) Périmètre N°2 PAC Venoge (« Couloir » Venoge) ; b) Corridor d'espace nécessaire selon l'OACE (1994)

Option 3 : Elargissement dans le périmètre N°2 du PAC Venoge (le « Couloir » de la Venoge)

Dans le cadre du PAC Venoge, le périmètre N°2 a été défini comme le « couloir » de la Venoge. C'est l'espace dans lequel le cours d'eau devrait pouvoir retrouver ses fonctions élémentaires et nécessaires, tout en tenant compte de l'aménagement du territoire. Cet espace constitue en quelque sorte la référence légale actuelle dans laquelle la revitalisation pourrait raisonnablement être imaginée et se situe à la Figure 16a.

Option 4 : Elargissement dans le corridor d'équilibre morphologique de la Venoge

Basé sur les caractéristiques géométriques (pente, largeur, longueur), hydrauliques (débits de crue) et morphologiques (substrat, transport solide lors des crues), un état d'équilibre dynamique morphologique peut être défini pour tout cours d'eau.

Cet équilibre correspond en quelque sorte à l'état moyen du cours d'eau et de ses dimensions sur le long terme, un état qui pourrait certes être légèrement perturbé lors des crues (« dynamique »), mais qui ne suit aucune évolution notable (érosion, dépôts, etc.) dans le temps et qui revient toujours à l'état d'équilibre.

La mise en place de cet état garantit en quelque sorte une sécurité contre des déplacements massifs du lit, tels que la divagation des méandres, ou encore contre des phénomènes de transport solide excessifs, tels que la formation de dépôts majeurs.

Le corridor ainsi défini constitue une enceinte à l'intérieur de laquelle le cours d'eau peu librement se déformer, divaguer, etc. mais d'où il ne pourra pratiquement plus sortir.

Selon les caractéristiques de la Venoge, cet équilibre nécessiterait une largeur pendulaire du lit majeur de l'ordre de 95-110 m (voir § 5). Cette largeur a été présentée de manière qualitative à la Figure 16b.

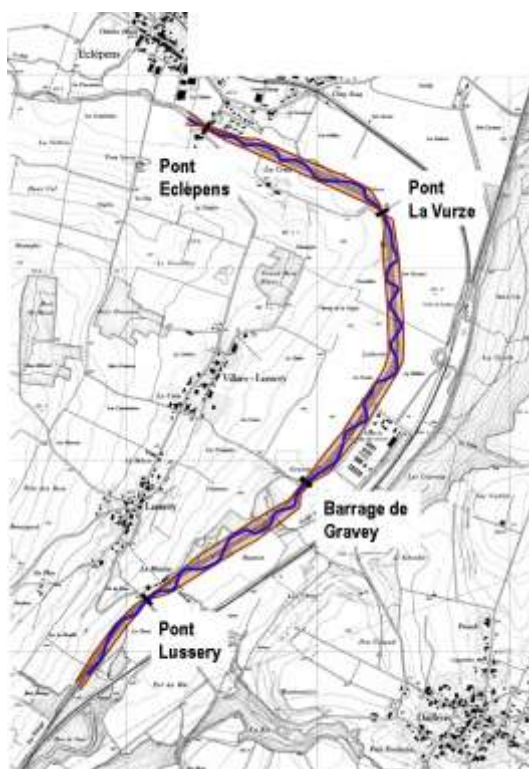


Figure 17 : Elargissement de la Venoge : Espace minimum en restant dans le gabarit actuel.

Option 5 : Elargissement en réduisant le corridor d'équilibre morphologique

Le corridor d'équilibre morphologique empêche toute divagation excessive et toute formation d'érosion et de dépôts majeurs sur le long terme. La largeur nécessaire y relative (~ 95-110 m) a été définie en fonction de la pente moyenne du thalweg, le substrat actuellement en place à l'intérieur des berges actuelles de la Venoge et les valeurs des débits liquides et solides lors des crues.

En faisant l'hypothèse que le substrat futur de la Venoge peut être artificiellement renforcé par la mise en place d'une granulométrie plus grossière que celle que l'on retrouve de manière naturelle dans les

berges, et en protégeant de manière adéquate les limites latérales du corridor, par exemple par des enrochements en pied de berge, la largeur du corridor d'équilibre morphologique peut être réduite.

Ceci a été faite à la Figure 17, où une largeur moyenne de 60-65 m est représentée. A cela s'ajoute que certains endroits le long de la Venoge contiennent des ouvrages d'art qui ne peuvent pas être contournés : le pont d'Eclépens, le pont de la Vurze, le barrage de Gravey et le pont de Lussery. A ces endroits, une remise au gabarit actuel s'impose. Ces endroits fonctionnent donc comme des points de contrôle de la morphologie sur le long terme.

Option 6 : Elargissement dans le gabarit actuel de la Venoge

L'OACE (1994) définit au niveau fédéral la notion d'espace nécessaire au cours d'eau. Cette ordonnance constitue la base nécessaire pour qu'un cours d'eau retrouve ses fonctions élémentaires et nécessaires. Autrement dit, en dessous de cet espace, le gain fonctionnel de l'élargissement ne peut plus être garanti et la revitalisation devient partiellement voir totalement inefficace. La détermination de l'espace nécessaire se base sur une méthode simple et applicable aux cours d'eau de petites et moyennes dimensions et a été expliqué au § 4.6.

4.7.1 Comparaison avec les zones naturelles de la Venoge plus en aval

Trois zones alluviales se trouvent à l'aval de la zone sous étude : la Roujarde, la Lovateire, et les Îles de Bussigny. Ces trois zones montrent à quoi pourrait ressembler la Venoge dans la zone d'Eclépens et Lussery-Villars. La Figure 18 montre la zone de la Roujarde. Bien qu'en rive gauche à l'aval de cette zone, la divagation de la rivière soit contenue par la topographie, la Venoge dans cette zone a tendance à divaguer sur une bande de 160-200 m.



Figure 18 La bande de divagation de la Venoge dans la zone de la Roujarde est large de 160 à 200 m

4.7.2 Conclusion

En comparant les données historiques et géomorphologiques, et en considérant la Venoge actuelle sur des tronçons naturels, on s'aperçoit qu'un élargissement jusqu'à environ 100 m de largeur serait a priori nécessaire afin de retrouver une Venoge « d'origine et en équilibre géomorphologique avec sa vallée ».

Tout projet de revitalisation proposant une largeur moyenne supérieure pourrait être qualifiée de projet de « luxe » au niveau environnemental, tandis que tout projet proposant une largeur moyenne inférieure à cette valeur ne valoriserait que partiellement le potentiel environnemental à disposition.

La variante proposée constitue un compromis remplissant le principe de proportionnalité.

5 Analyse géomorphologique

Le but de cette analyse est de mettre en évidence les caractéristiques géomorphologiques actuelles de la Venoge et de déterminer le tracé et les dimensions géométriques stables dans un état revitalisé ou élargi. La géomorphologie gère la relation entre les débits liquides et solides Q et Q_s , la granulométrie d des sédiments et la pente S du cours d'eau (voir Figure 19) : $Q_s \cdot d \propto Q \cdot S$ (Lane, 1955).

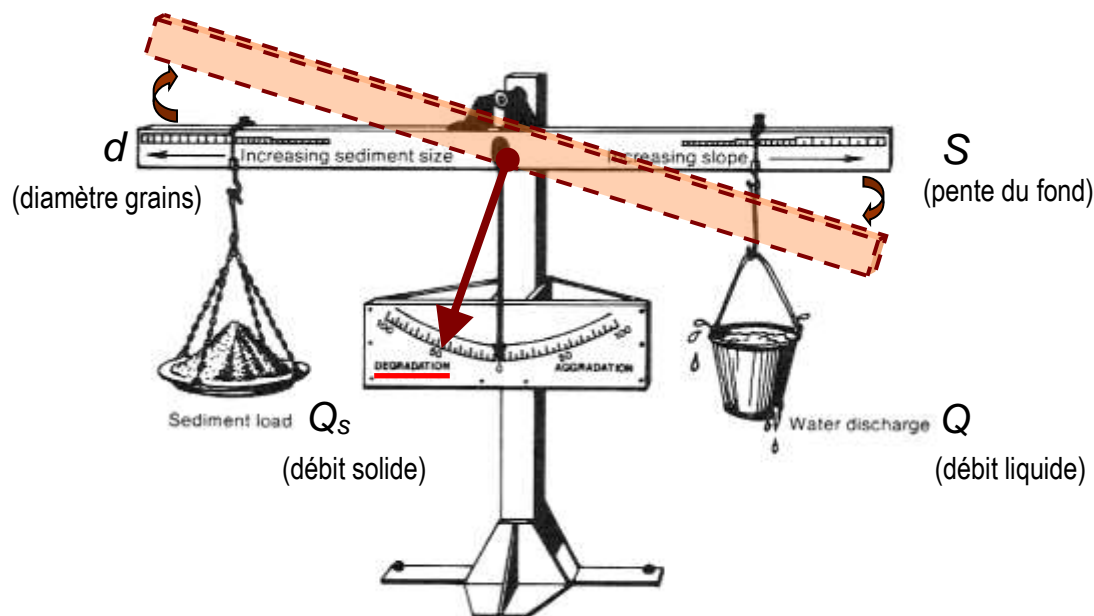


Figure 19 Relation entre débit solide Q_s , débit liquide Q , la granulométrie d et la pente S de la rivière (Lane, 1955).

La situation géomorphologique actuelle de la Venoge peut être résumée par le déséquilibre montré à la Figure 19. Pour un débit de crue et une pente du fond fixe, la Venoge a une certaine capacité de transport solide. Or, en réalité elle n'arrive pas à transporter suffisamment de sédiments. Le manque de sédiments est dû à des berges non-érodables et un pavage du lit très résistant. Donc, elle a une charge de sédiments plutôt faible.

Comme les débits de crue ne varient guère (la moyenne ne change pas dans le temps), un équilibre pourrait seulement être retrouvé en augmentant les diamètres de grains transportés ou en diminuant la pente du fond. Les diamètres des matériaux disponibles sur le bassin versant étant considérés fixes, c'est la pente qui s'adapterait par l'incision ou la divagation du lit. En réalité, la Venoge est empêchée d'inciser à cause d'une couche de pavage formée par les matériaux grossiers disponibles dans les alluvions de la Venoge.

En revitalisant, le fond devient érodable et l'espace pendulaire à disposition va déterminer la pente minimale du thalweg. Dès la mise en place du tronçon revitalisé, la Venoge cherchera l'équilibre entre les différentes variables de la relation selon la Figure 19. Ainsi, pour éviter d'importantes érosions du fond et des berges du tronçon revitalisé, il est impératif de mettre en place des dimensions (largeur,

profondeur) « stables » qui correspondent à la granulométrie du fond et la pente du fond du projet en respectant la relation à la Figure 19.

Ce chapitre présente les caractéristiques géomorphologiques de la Venoge et les dimensions stables calculés pour le tronçon à revitaliser. Une gamme de valeurs de granulométries et de pentes est explorée pour voir l'implication du choix de ces valeurs sur le projet.

5.1 Caractéristiques géomorphologiques de la Venoge

L'analyse géomorphologique des tronçons naturels de la Venoge à l'état actuel et passé montre des largeurs du chenal principal d'environ 23 m avec des hauteurs des berges d'environ 1.7 m (Tableau 4). Avec une largeur du lit de l'ordre de 7-8 m et une hauteur des berges d'environ 3-4 m, la Venoge canalisée entre Eclépens et Lussery-Villars ne correspond plus du tout à ces dimensions.

Zone (actuel)	Largeur B (m)	Hauteur D (m)	Capacité hydraulique (temps de retour)	Pente (-)	Sinuosité simple (-)	Sinuosité (-)
Roujarde	22	1.4	1-2 ans	0.0032	1.19	1.80
Bussigny	24	2.0	1-2 ans	0.0024	1.34	1.54
Lussery	20	3.2	30-50 ans	0.0034	1.03	1.03
Zone (passé)						
Lussery (~ 1840)	-	-		0.0022	-	1.47

Tableau 4 Caractéristiques géomorphologiques de la Venoge

La sinuosité d'un cours d'eau s'exprime par le rapport entre la longueur linéaire du cours d'eau et la longueur de la vallée. La sinuosité à la Roujarde et aux Iles de Bussigny est de 1.8 et 1.5 respectivement. Ces sinuosités résultent néanmoins de méandres très complexes (cours d'eau sinusoïdal dans de longs méandres). Ainsi, la sinuosité des méandres simples est de seulement 1.2 à 1.3. La sinuosité de la Venoge réduit donc la pente de son thalweg vers des valeurs de 0.2 à 0.4 % seulement. Les méandres simples se caractérisent par leur longueur d'onde et leur rayon de courbure (Figure 20). Les rayons de courbure sont dans la gamme de 20 à 40 m et les longueurs d'onde de 80 à 160 m. La Venoge dans ses zones alluviales se classe comme rivière à méandre avec bancs de gravier (Figure 21).

Des tracés historiques ont été étudiés à l'EPFL (Lance et Consuegra, 1997). Le tracé historique datant de 1840 montre une sinuosité dans la zone de Lussery de 1.47, réduisant la pente du cours d'eau à 0.22 % seulement.

La pente de la vallée de la Venoge entre Eclépens et Cossonay se situe actuellement entre 0.3 et 0.6 %. En revitalisant et en utilisant le substrat naturel, qui a une granulométrie en partie fine (sables-limons), la Venoge cherchera donc à réduire sa pente en incisant le lit et/ou en divaguant.

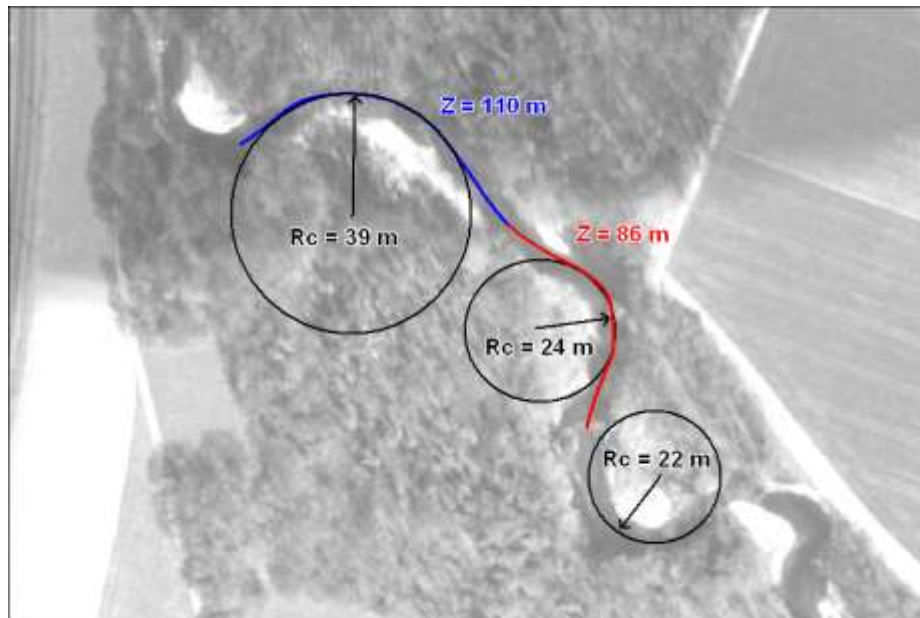


Figure 20 Rayons de courbure typiques des tronçons naturels de la Venoge. Exemple à la Roujarde.

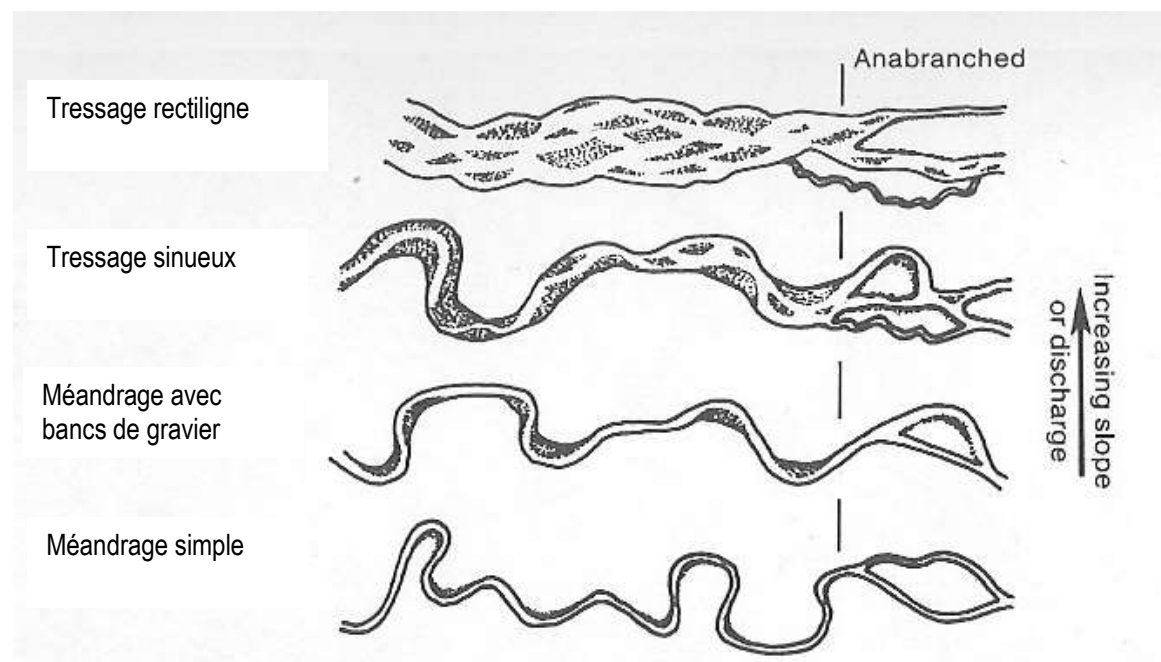


Figure 21 Classification des styles fluviaux (Brice, 1983)

5.2 Dimensions stables

Les dimensions stables d'un cours d'eau dépendent des conditions de transport sédimentaire en relation avec le régime hydrologique et la topographie locale. Les dimensions du lit mineur sont liées au débit « efficace ». Ce débit est le débit qui transporte la plus grande quantité de sédiments en termes annuels. Il est considéré responsable pour le façonnage et les dimensions stables du lit mineur.

Le débit efficace pour un cours d'eau naturel est souvent proche de la crue annuelle ou bisannuelle. Pour la Venoge à Lussery-Villars, il a été défini à 27 m³/s. Des formules empiriques et analytiques déterminent les dimensions stables en fonction de ce débit, mais elles ne résument pas toutes les variables qui caractérisent le transport sédimentaire, le régime hydrologique et la topographie locale. Ceci explique la variabilité des résultats en appliquant ces formules.

En appliquant ces formules à la Venoge pour deux types de substrats, une gamme de valeurs possibles est obtenue. Ne connaissant pas exactement la courbe granulométrique du substrat in-situ, les calculs sont faits pour deux types de granulométrie observés le long des berges de la Venoge à Bussigny et qui ont une probabilité élevée d'être représentatifs pour le tronçon Eclépens-Lussery : les diamètres moyens sont de $d_{50} = 2.3$ mm and de $d_{50} = 25$ mm.

Les calculs pour $d_{50} = 2.3$ mm sont délicats puisqu'à la limite entre un lit sableux et un lit graveleux, donc à la limite d'applicabilité de deux formules différentes. Néanmoins, les pentes plutôt raides du thalweg de la Venoge ne permettraient probablement pas à un lit sableux de se mettre en place. Donc, les résultats pour un lit sableux sont à considérer avec précaution dans le Tableau 5.

	B (m)	D (m)	Pente
<i>Formules lit sableux</i>	<i>d50=2.3 mm</i>		
Rational Chang canal	27	1.0	0.0017
Rational Chang cours d'eau nat.	32	1.0	0.0031
Rational Chang cours d'eau nat.	35	1.0	0.0034
<i>Formules lit graveleux</i>	<i>d50=2.3 mm</i>		
Hey et Thorne	22	1.7	0.0012
Rational Chang canal	24	0.4	0.0017
Lit sableux	22-35	1.7-1.0	
<i>Formules lit graveleux</i>	<i>d50=25 mm</i>		
Hey et Thorne	22	1.3	0.0037
Rational Chang canal	15	1.2	0.0017
Rational Chang canal	15	1.0	0.0034
Force tractrice (lit fixe)	28	0.7	0.0034
	19	1.1	0.0025
	14	1.7	0.0020
Lit graveleux	15-22	1.0-1.3	

Tableau 5 Dimensions stables de la Venoge selon différentes théories et pour un lit sableux ou graveleux.

En résumé, pour un lit graveleux, la largeur stable est de 15 - 22 m et la profondeur stable de 1.0 – 1.3 m. Pour un substrat sableux, la largeur stable est de 22 - 35 m et la profondeur stable de 1.0 - 1.7 m. Ces résultats démontrent que, en revitalisant, le lit mineur actuel devra être élargi et rendu moins profond qu'actuellement.

5.3 Largeur pendulaire et sinuosité

Plusieurs formules empiriques permettent de déterminer la largeur pendulaire et la sinuosité nécessaire pour un cours d'eau naturel dans un état stable. Williams (1986) a développé une base de données de formules basée sur 194 sites et mis en tableur sous « STREAMS – Regime Equations » (ODNR, 2005). Ces modules sont utilisés pour déterminer des ordres de grandeur de la géométrie en plan nécessaire pour la revitalisation de la Venoge entre Eclépens et Lussery-Villars (tracé, sinuosité) (Figure 22 et Tableau 6). Les valeurs de base sont une largeur de 20 m pour le lit mineur et une sinuosité de 1.3, basée sur une sinuosité simple (une sinuosité plus élevée n'est pas possible dans la zone d'étude puisque le périmètre N°2 (« Couloir Venoge ») du PAC Venoge ne permet pas de méandres complexes). Les longueurs d'onde et rayons de courbure se situent autour de valeurs médianes de 215 m et 43 m respectivement. La largeur pendulaire devrait être de minimum 103 m en moyenne.

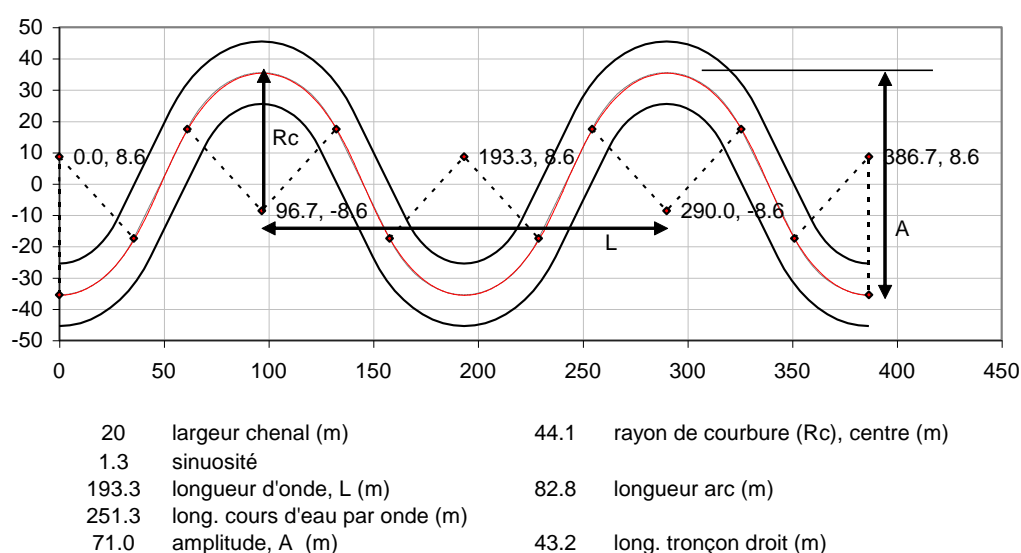


Figure 22 Géométrie en plan proposée pour la Venoge revitalisée à Lussery-Villars

Largeur	Longueur d'onde			Amplitude			Rayon de courbure			Longueur cours d'eau par onde		
20	131	215	355	51	103	194	28	43	67	178	292	482

Tableau 6 Géométrie en plan. Valeur médiane en gras et valeurs à l'écart type en normal.

5.4 Erosion du fond

Comme expliqué au § 3, la Venoge entre Eclépens et Lussery-Villars se trouve actuellement en régime érosif à cause d'un manque de sédiments depuis l'amont lors des crues. Ainsi, un pavage du lit se forme par érosion sélective des fines, ne laissant que les graviers en place.

En mettant en place un nouveau substrat naturel lors de la revitalisation, le pavage doit se refaire. Des calculs empiriques donnent des ordres de grandeur de l'érosion du fond à attendre. En utilisant les formules empiriques proposées par Julien (2002) avec une hauteur d'inondation de 2.4 m et une pente de 0.0037 (pente du cours d'eau revitalisé à Eclépens), le diamètre stable pour cette hauteur sera de

0.09 m. Avec une granulométrie ayant 10 % de sédiments égale ou plus grand que 0.09, le calcul empirique prévoit une érosion pouvant aller jusqu'à maximum 1.59 m.

5.5 La Venoge après revitalisation

A quoi ressemblera la Venoge après la revitalisation ? Les lits mineur et majeur ressembleront-ils aux zones alluviales à l'aval ? Les méthodes utilisées dans les sections 5.2 et 5.3 ont permis de définir les gammes de dimensions stables pour le lit mineur. Pour mieux répondre à la question du « style fluvial » qu'aura la Venoge revitalisée, plusieurs approches théoriques sont également appliquées au lit majeur afin de déterminer son style fluvial.

Léopold et Wolman (1957) ont proposé de déterminer le style fluvial selon la pente du cours d'eau et le débit à plein bords. En définissant les débits de plein bord du lit mineur ($\sim 20 \text{ m}^3/\text{s}$) et du lit majeur ($\sim 100 \text{ m}^3/\text{s}$), l'abaque de Léopold et Wolman indique que le lit mineur de la Venoge à Lussery-Villars est légèrement du côté des rivières à méandre et que le lit majeur est du style de tressage (Figure 23).

D'autres auteurs ont proposé d'autres paramètres pour la discrimination des styles. Les abaques de Yalin & Da Silva (2001) et de Chang (1988) (Annexe 10) utilisent le diamètre médian du fond comme paramètre et sont donc utiles pour identifier le style fluvial que la Venoge adoptera en fonction de la granulométrie trouvée lors des futures excavations. Pour un lit sableux, les abaques de Da Silva et Chang montrent que les lits mineurs et majeurs auront tendance à former des bancs de gravier alternés et des méandres. Pour un lit graveleux, la Venoge aura moins tendance à faire des bancs alternés et pourra former un canal sinueux à fond plat pour le lit mineur.

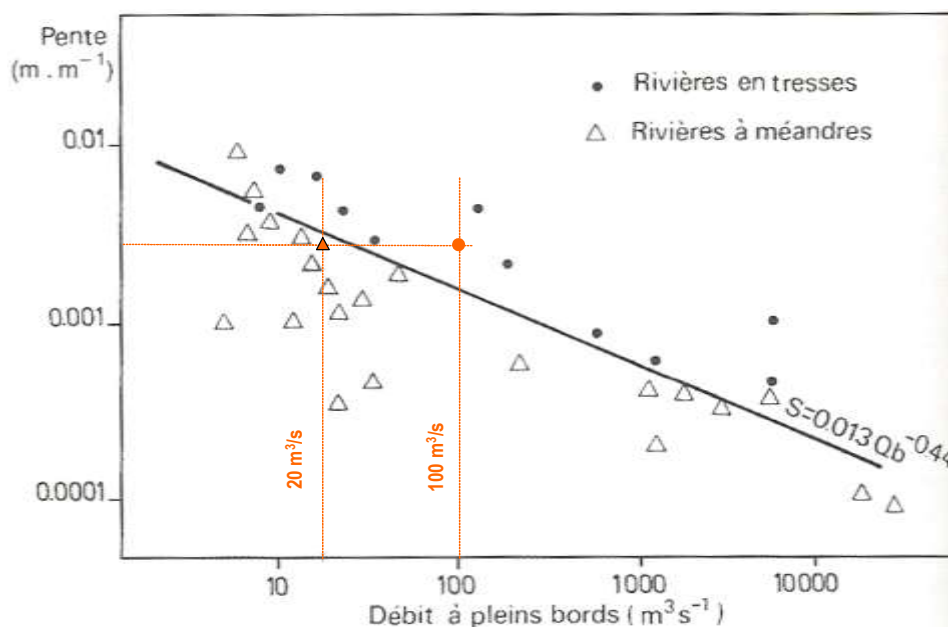


Figure 23 Style fluvial de la Venoge revitalisée selon Leopold et Wolman (1957)

ETAT HISTORIQUE EN 1849			ETAT ACTUEL			ETAT REVITALISE		
Type régime	[]	Eclépens-Lussery fond meuble	Eclépens-Lussery fond dur	Roujarde	Zones alluviales îles de Bussigny	THEORIE	Fond du lit	
							fond sableux	fond graveleux
Lit mineur (Q ~ 30 m³/s)		méandres	canalisé	méandres avec bancs	méandres avec bancs	Régime morphologique (Chang, 1985)	tresses avec bancs	sinueux avec bancs
	Largeur	[m]	8-12	22	24	Méthode rationnelle (Chang, 1985)	27	15
						Hey and Thorne (1985)	-	22
	Profondeur	[m]	4-5	1.4	2.0	Régime morphologique (Chang, 1985)	30	13
						Méthode rationnelle (Chang, 1985)	1.0	1.2
						Hey and Thorne (1985)	-	1.3
Lit majeur (Q ~ 100 m³/s)	Pente	[]	0.002-0.006	0.0032	0.0024	Régime morphologique (Chang, 1985)	1.1	1.4
						Méthode rationnelle (Chang, 1985)	0.0017	0.0017
						Hey and Thorne (1985)	-	0.0037
	Sinuosité	[]	aucune	1.19	1.34	Régime morphologique (Chang, 1985)	0.0023	0.0023
						Méthode rationnelle (Chang, 1985)	-	-
						Hey and Thorne (1985)	-	-
	Largeur pendulaire selon sinuosité	[m]	8-12	~ 50	~ 50	Régime morphologique (Chang, 1985)	1.30	1.30
						Tracé idéale selon sinuosité (ODNR, 2005)	107	94
	Type régime	[]	canalisé	méandres avec bancs	méandres avec bancs	Régime morphologique (Chang, 1985)	tresses avec bancs	tresses avec bancs
	Largeur	[m]	8-12	~50	~50	Méthode rationnelle (Chang, 1985)	52	29
Lit majeur (Q ~ 100 m³/s)						Hey and Thorne (1985)	-	27
	Profondeur	[m]	4-5	~ 3.0	~ 3.0	Régime morphologique (Chang, 1985)	114	49
						Méthode rationnelle (Chang, 1985)	1.9	1.3
						Hey and Thorne (1985)	-	2.1
	Pente	[]	0.002-0.006	0.0032	0.0024	Régime morphologique (Chang, 1985)	1.36	1.95
						Méthode rationnelle (Chang, 1985)	0.0008	0.003
						Hey and Thorne (1985)	-	0.0026
	Sinuosité	[]	aucune	-	-	Régime morphologique (Chang, 1985)	0.003	0.003
						Méthode rationnelle (Chang, 1985)	-	-
						Hey and Thorne (1985)	-	-
						Régime morphologique (Chang, 1985)	aucune	aucune

Tableau 7 Résumé de la géomorphologie de la Venoge.

Le Tableau 7 donne les plages de dimensions nécessaires pour le lit mineur et lit majeur pour que le cours d'eau soit en équilibre. Il donne également la largeur pendulaire selon les formules empiriques de Williams (1986) dans STREAMS (ONDR, 2005). Ces formules empiriques ont été créées avec les caractéristiques observées de 194 rivières. La largeur pendulaire pour un lit sableux est de 107 m et pour un lit graveleux de 94 m.

5.6 Conclusions analyse géomorphologique

En guise de conclusion, le Tableau 8 résume les dimensions et caractéristiques stables en cas d'une revitalisation (élargissement) de la Venoge entre Eclépens et Lussery-Villars, en supposant un substrat naturel par excavation du fond du nouveau lit.

Paramètres du gabarit stable

<div> <div>✓ intégrable dans concept</div> <div>✗ non-intégrable dans concept</div> </div>				
1. Largeur	✓	B	15-22 m	théorie fond graveleux
		B	22-35 m	théorie fond sableux/limoneux
		B	22-24 m	zones alluviales Venoge
2. Profondeur	✓	D	1.0-1.3 m	théorie fond graveleux
		D	1.0-1.7 m	théorie fond sableux/limoneux
		D	1.4-2.0 m	zones alluviales Venoge
3. Pente	✓	S	0.0025	théorie fond graveleux
		S	0.0031	théorie fond sableux/limoneux
		S	0.0022	zones alluviales Venoge
4. Sinuosité simple	✗	λ	1.34	théorie fond graveleux
		λ	1.10	théorie fond sableux/limoneux
		λ	~1.30	zones alluviales Venoge
5. Largeur pendulaire	✗	b	94	théorie fond graveleux
		b	107	théorie fond sableux/limoneux
		b	-	zones alluviales Venoge

Tableau 8 Résumé des dimensions stables du nouveau gabarit de la Venoge suite à une revitalisation.

En fonction des contraintes de l'aménagement du territoire, notamment le périmètre N°2 du PAC Venoge et l'utilisation des terrains agricoles avoisinants la Venoge, seuls les paramètres de largeur B, profondeur D et pente moyenne S peuvent raisonnablement être satisfaits lors d'une revitalisation.

Pour obtenir une sinuosité simple de l'ordre de 1.34 et une largeur pendulaire totale de l'ordre de 95-110 m, le nouveau gabarit total de la Venoge sortira passablement du périmètre N°2 du PAC Venoge et occuperait passablement les terrains agricoles.

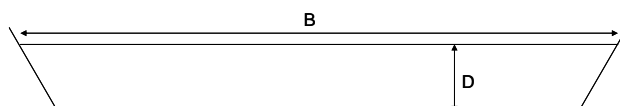


Figure 24 Paramètres de base du gabarit stable de la Venoge revitalisée

6 Etude préliminaire de maintien du barrage de Gravey

Préalablement à l'avant-projet, une étude préliminaire de revitalisation a été menée avec pour but de déterminer le maintien ou non du barrage de Gravey. L'impact potentiel du barrage sur les lignes d'eau et le transport solide suite à un élargissement de la Venoge ont notamment été étudiés de manière détaillée, ainsi que les éventuels impacts sur les volumes de terrassement et l'environnement.

Comme illustré à la Figure 25, le barrage de Gravey dans son état actuel constitue un obstacle non franchissable aux espèces piscicoles.

Dans ce qui suit, la variante 1 représente une revitalisation avec adaptation du barrage de Gravey vers une rampe franchissable par les poissons, et la variante 2 représente une revitalisation sans le barrage de Gravey, avec mise à niveau du fond actuel du lit par rapport au voisinage immédiat (pente constante du thalweg entre La Vurze et le Moulin de Lussery).



Figure 25 Vue vers l'amont du barrage de Gravey dans son état actuel.

6.1 Hydraulique et morphologie

Basé sur le modèle numérique unidimensionnel décrit sous § 3.4, les lignes d'eau ont été calculés pour la crue centennale avec le fond actuel, avec le fond futur après revitalisation et avec le fond futur 50 ans après revitalisation (remodelé suite à 50 ans d'évolution morphologique), et ceci avec ou sans le barrage de Gravey.

Pour les calculs avec fond futur, les profils dans l'état actuel ont été remplacés par des profils élargis (~ 60 m) comme illustré à la Figure 26.

6.1.1 Profil type

Le profil type utilisé pour modéliser la revitalisation de la Venoge avec ou sans le barrage de Gravey est présenté à la Figure 26.

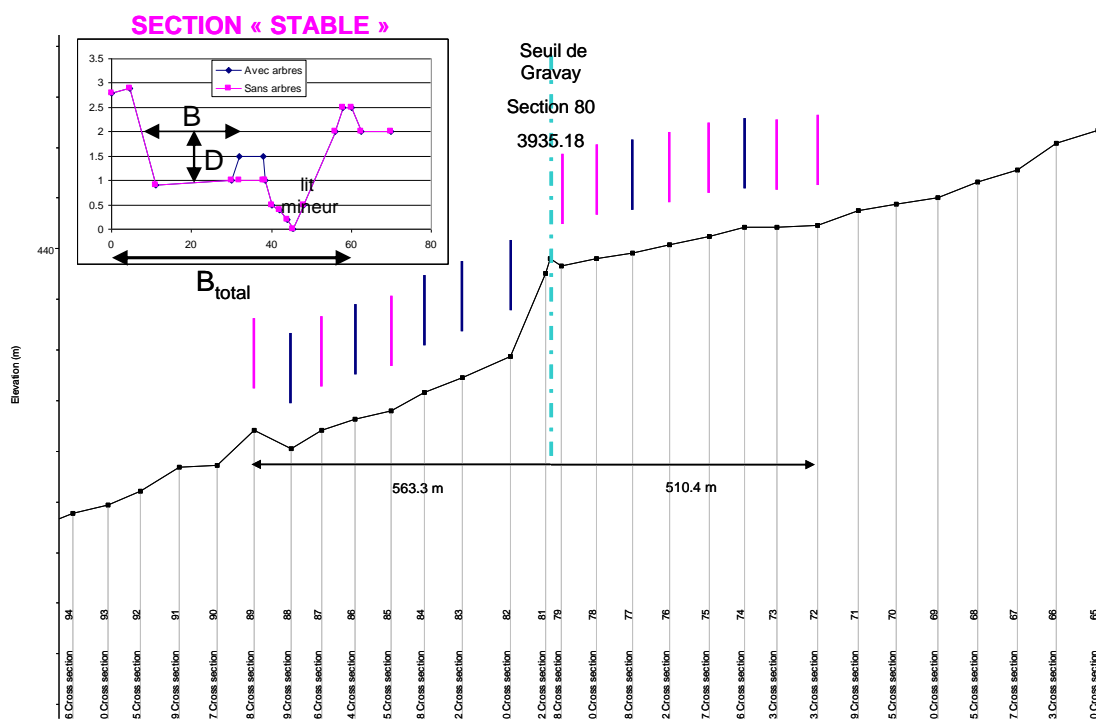


Figure 26 Profils en travers utilisés pour modéliser la revitalisation avec ou sans le barrage de Gravey.

6.1.2 Comparaison Q100 avec ou sans Gravey (fond du lit actuel)

La Figure 27 compare les lignes d'eau calculées pour la crue centennale dans l'état actuel et dans l'état revitalisé, avec ou sans le barrage de Gravey. Les simulations ont été effectuées pour le fond actuel et fixe (pas d'érosions/dépôts). La variante sans le barrage présente une ligne d'eau passablement plus basse autour du barrage. Cette influence se propage sur environ 500 m vers l'amont.

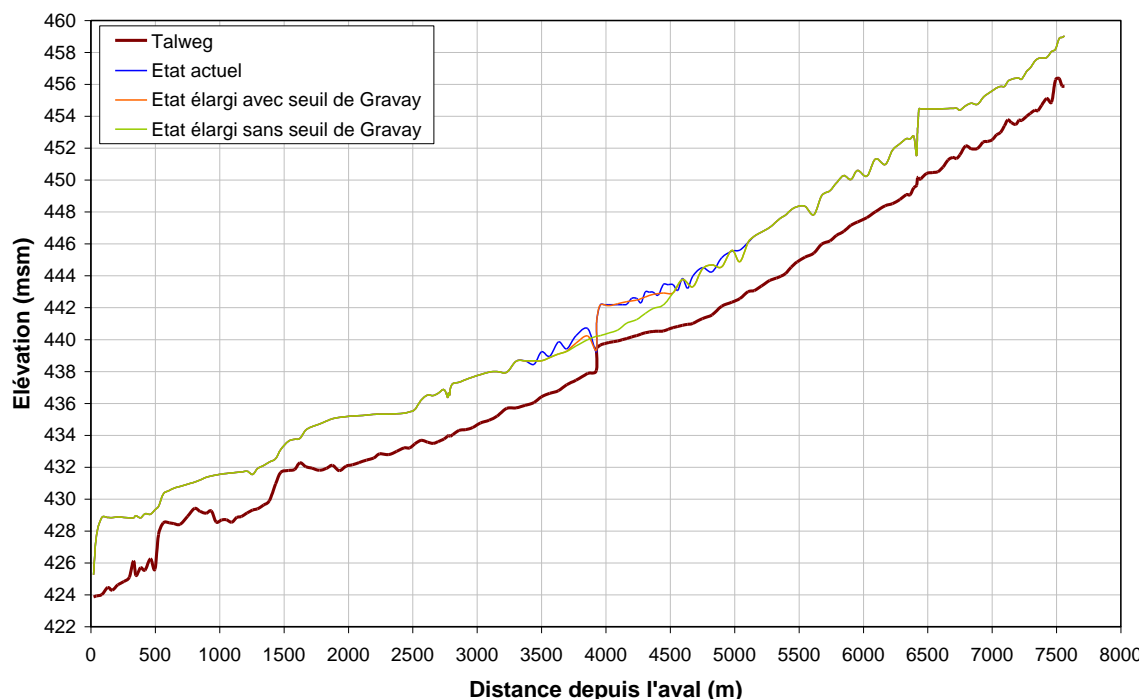


Figure 27 Lignes d'eau pour la crue centennale dans l'état actuel et dans l'état revitalisé (avec ou sans le barrage de Gravey)

Il convient de mentionner que la présence ou non du barrage de Gravey n'a aucune influence sur les futures zones inondables entre Eclépens et Lussery-Villars lors de la crue centennale.

6.1.3 Comparaison Q100 avec ou sans Gravey (fond du lit après 50 ans de crues)

Les lignes d'eau ont été calculées pour la crue centennale dans l'état revitalisé, avec ou sans le barrage de Gravey. Les simulations ont été effectuées pour un fond mobile suite à 50 ans de crues consécutives. Le fond du lit en amont et en aval du barrage est considéré érodable (par enlèvement du substrat grossier protecteur actuellement en place). En ce qui concerne le seuil même du barrage, deux cas de figure ont été calculés: seuil érodable (donc enlevé) et rampe non-érodable (seuil remplacé par une rampe franchissable par les poissons). Les profils type décrits sous § 6.1.1 ont été utilisés pour les calculs.

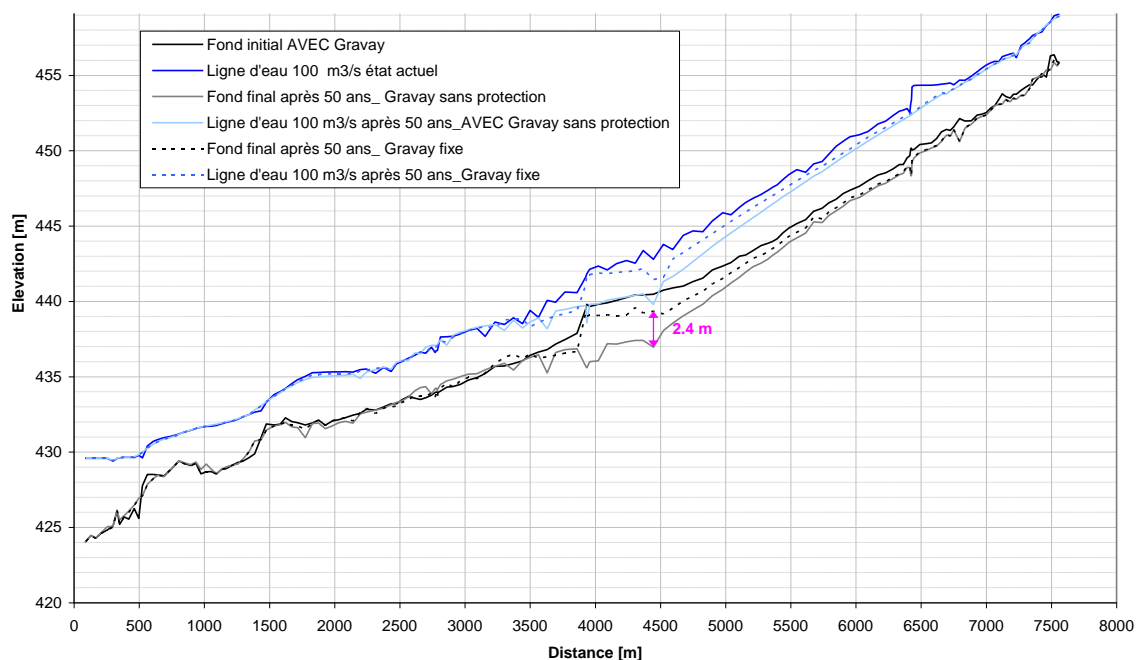


Figure 28 Lignes d'eau pour la crue centennale dans l'état revitalisé (avec ou sans barrage de Gravey)

La Figure 28 illustre les résultats des calculs AVEC le barrage de Gravey (variante 1) et compare le cas d'une rampe fixe (« Gravey fixe ») avec le cas d'un seuil érodable (« sans protection »).

En supposant que le seuil a été enlevé, une importante érosion régressive se produit sur une longueur d'environ 3 km entre le Moulin de Lussery en aval et le pont de la Vurze en amont (ligne grise). La profondeur d'érosion peut atteindre plusieurs mètres après 50 ans sans intervention humaine, mais ne se produit que sur le thalweg. Dans les zones élargies et revitalisées, d'importants dépôts se forment, par contre. Ces dépôts proviennent de l'érosion massive du thalweg juste en amont. En d'autres termes, dans l'absence d'une couche de pavage grossière et protectrice, et en enlevant le seuil du barrage même, le futur thalweg de la Venoge subira une incision significative de son lit mineur, avec des dépôts le long du lit majeur. Ce résultat confirme les calculs effectués dans l'état calcul et décrit sous § 3.5.

Par contre, en supposant que le seuil même du barrage reste en place sous forme d'une rampe, un point dur est maintenu localement et l'érosion du thalweg sur 50 ans reste maîtrisable.

La Figure 30 présente les résultats SANS barrage de Gravey (variante 2), i.e. en enlevant le seuil et en remodelant le thalweg de sorte à obtenir une pente constante entre Eclépens et le Moulin de Lussery. Les résultats sont similaires à ceux obtenus lors du calcul AVEC barrage mais sans le seuil protecteur.

Ceci souligne que, en supposant le barrage même ainsi que le fond autour érodable, la présence du barrage n'a quasi aucune influence sur l'évolution morphologique sur le long terme de la Venoge revitalisée. De la même manière, en supposant le seuil du barrage non-érodable, le barrage même constitue un point fixe du futur thalweg. Ceci permettrait de minimiser l'érosion future du thalweg en amont et en aval et de contrôler l'évolution morphologique de la Venoge revitalisée.

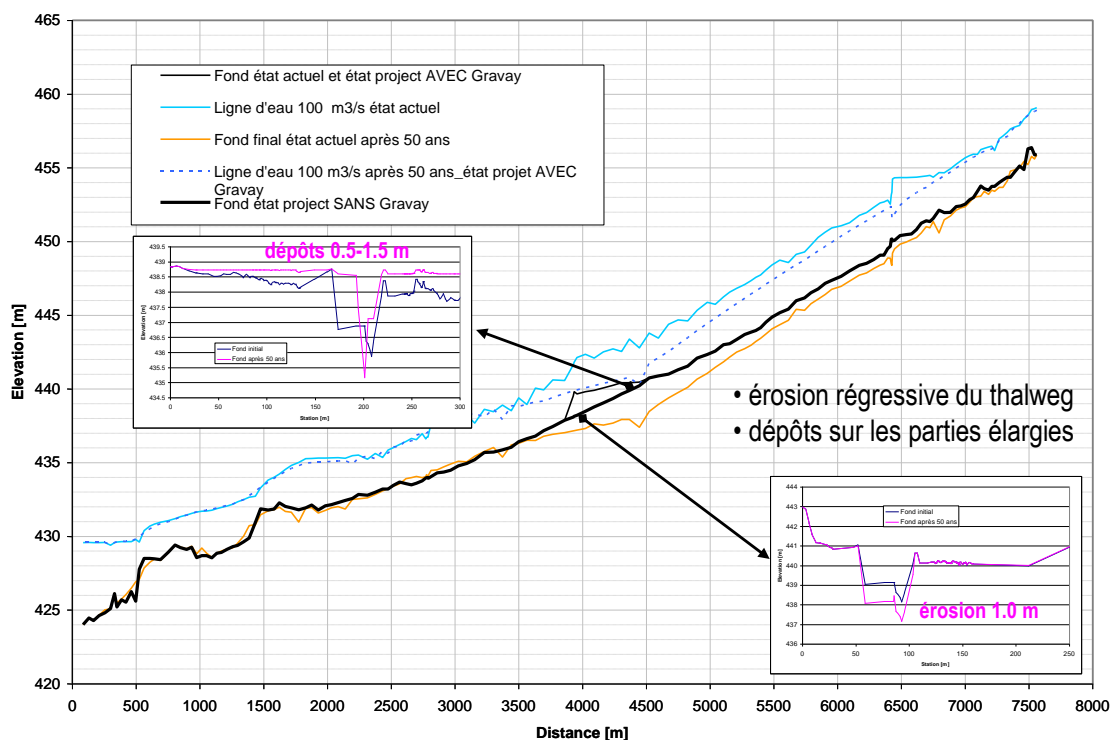


Figure 29 Lignes d'eau pour la crue centennale dans l'état revitalisé (SANS barrage de Gravey)

6.1.4 Conclusions

- maintenir le barrage de Gravey ne risque pas a priori de rehausser les lignes d'eau vers l'amont,
- maintenir le barrage sous forme d'une rampe créerait un point dur (fixe) dans le futur corridor revitalisé et permettrait ainsi de contrôler les développements morphologiques futurs,
- enlever le seuil du barrage en rendant le fond du lit érodable générerait une érosion potentiellement très significative du thalweg revitalisée (pour un substrat naturel et fin), et ceci sur des centaines de mètres vers l'amont et vers l'aval.

En résumé, d'un point de vue purement hydraulique et morphologique, il n'y a a priori pas de raison pour démolir le barrage de Gravey à l'occasion de la revitalisation de la Venoge entre Eclépens et Lussery-Villars.

Au contraire, maintenir le barrage sous forme d'une rampe franchissable par les espèces piscicoles générerait un point fixe dans le futur corridor libre de divaguer, et permettrait donc de mieux contrôler cette divagation et les développements morphologiques y relatifs. La variante 2 est donc préférable.

6.2 Environnement

6.2.1 Variante 1 : Adaptation du barrage de Gravey

La variante qui consiste à adapter le barrage de Gravey et à maintenir la prise d'eau du Bief du Lussery présente les particularités suivantes du point de vue du tracé du projet et des aspects topographiques :

- Maintien d'une rupture dans le profil en long (thalweg) d'environ 1.5 m de haut au droit de l'ancien barrage qui est remplacé par une rampe en enrochements d'une vingtaine de mètres de long pour restaurer la libre circulation du poisson.

- Maintien du lit mineur en amont de la rampe en enrochements au même niveau que le lit mineur actuel (pas d'incision du lit).
- Maintien au droit de la rampe et de la prise d'eau du Bief du Moulin de Lussery d'un profil en travers proche de l'actuel (pas d'élargissement, pas de lit majeur).
- Maintien de l'alimentation du bief du Moulin de Lussery.

L'influence de la variante 1 sur les principes d'aménagement proposés est donc limitée aux abords directs du barrage (environ 100 à 150 m de long). En amont du barrage, sur une longueur supplémentaire de 400 m environ, la seule différence entre les 2 variantes résulte du maintien ou non du niveau du lit dans son état actuel.

6.2.2 Variante 2 : Suppression du barrage de Gravey

La variante qui consiste à supprimer le barrage de Gravey et la prise d'eau du Bief du Lussery permet d'appliquer les principes d'aménagement proposés sur la totalité du tronçon A-D, à l'exception du passage des ponts et passerelles qui seraient maintenus, avec un thalweg régulier et un lit majeur présent de manière quasi continue.

La suppression de la prise d'eau prive le bief du Moulin de Lussery de son alimentation principale depuis la Venoge. Ce canal, d'une longueur de 1'200 m environ, sera asséché sur une grande partie.

6.3 Comparatif des variantes

La Figure 30 présente une comparaison détaillée des deux variantes sous les angles de l'hydraulique, la morphologie, la sécurité, l'environnement et l'économie.

Au niveau de la sécurité et l'hydraulique, les deux variantes sont quasi semblables. Par contre, en ce qui concerne la morphologie, la variante 1 avec barrage de Gravey a un net avantage dans le sens qu'elle permettrait de préserver un point dur (fixe) le long du nouveau corridor libre de divagation. Ce point dur permettrait de mieux contrôler toute évolution morphologique potentielle dans le futur, telle que divagation, branchements, dépôts de sédiments, incisions du lit et des berges, etc.

Au niveau environnemental, globalement parlant, les deux variantes permettent d'atteindre les objectifs de revitalisation. La variante 2 présente toutefois un meilleur bilan environnemental en autorisant une meilleure continuité dans la renaturation du cours et des rives de la Venoge, permettant ainsi d'effacer un verrou biologique. Dans ce cas, le bief du Moulin de Lussery perdrait sa valeur piscicole ce qui serait toutefois largement compensé par la restauration de la migration dans la Venoge et la remise en état naturel du cours au droit de l'ouvrage. L'ancien tracé de ce canal pourrait être conservé et aménagé pour favoriser d'autres valeurs biologiques. Grâce aux apports d'eau latéraux, des biotopes à libellules et amphibiens pourraient par exemple y être créés. Cette variante implique un abandon définitif de l'élevage de truitelles dans le Bief de Lussery et privera le canal d'amenée du Moulin d'une grande partie de l'eau. La concession liée au Moulin étant radiée et l'activité de « pisciculture » pouvant être déplacée vers un autre site plus approprié, ces inconvénients de la variante 2 ne sont pas rédhibitoires.

Finalement, au niveau économique, les deux variantes se valent. Les volumes de terrassements nécessaires seront très similaires, ainsi que l'estimation des coûts totaux par m linéaire de revitalisation. De ce fait, il a été décidé de maintenir le barrage de Gravey en le transformant en rampe franchissable par les espèces piscicoles.

Critères d'évaluation		VARIANTE 1 AVEC seuil de Gravey franchissable)		VARIANTE 2 SANS seuil de Gravey (fond érodable)		% PONDERATION
		qual.	quant.	qual.	quant.	
Aspects hydrauliques / morphologiques	débordements lors de crues (T=30 ans)	x	0.0	x	0.0	
	débordements lors de crues (T=100 ans)	+	1.0	++	2.0	
	stabilité du lit/berges lors des crues	x	0.0	-	-1.0	
	risque résiduel crue extrême	+	1.0	+	1.0	
	évolution morphologique du fond (formation érosions/dépôts)	+	1.0	-	-1	
Sous-total		amélioration	3.0	amélioration	1.0	40
Aspects avant-métré terrassements	bilan des volumes d'excavation/remblayage	---	-3	---	-3	
	degré de réutilisation des matériaux sur place	-	-1	-	-1	
Sous-total		nette déterioration	-4	nette déterioration	-4	0
Aspects environnementaux (Hydrobiologie)	Diversité du lit et des berges	++	2.0	+++	3.0	
	Qualité de l'eau, régime hydrologique	++	2.0	++	2.0	
	Ombrage	++(+)	2.5	+++	3.0	
	Amplitude thermique	++(+)	2.5	+++	3.0	
	Libre circulation du poisson	+	1.0	+++	3.0	
	Renouvellement du substrat, risque de colmatage du lit	++	2.0	+++	3.0	
	Autres facteurs limitants	++	2.0	++	2.0	
	Milieux annexes aquatiques (Bief Lussery)	x	0.0	-	-1.0	
	Espace à disposition du cours d'eau et largeur des rives	++(+)	2.5	+++	3.0	
	Diversité des milieux terrestres et de la végétation riveraine	++(+)	2.5	+++	3.0	
Aspects environnementaux (Milieux riverains)	Connexion / Mise en réseau	++(+)	2.5	+++	3.0	
	Valeur paysagère	++(+)	2.5	++(+)	2.5	
	Cheminement	x	0.0	x	0.0	
	Espace récréatif	+	1.0	+	1.0	
Sous-total		nette amélioration	11	nette amélioration	13	40
Aspects coûts terrassements / protection berges	Terrassements	3273 CHF/m	-3	3297 CHF/m	-3	
	Revêtement des berges (lit mineur + majeur)	600 CHF/m	-3	600 CHF/m	-3	
Sous-total		nette déterioration	-6	nette déterioration	-6	20
TOTAL			4.4		4.2	

Figure 30 Tableau comparatif des variantes de revitalisation AVEC ou SANS le barrage de Gravey

7 Avant-projet de revitalisation

7.1 Concept

7.1.1 Définition

Basé sur la variante d'emprise « nécessaire » présentée au § 4.7, un concept de revitalisation a été mis en place. Ce concept reprend donc les bases légales de la revitalisation telle qu'elle est définie en Suisse selon l'OACE (1994) et le PAC Venoge (1990) et y intègre les objectifs majeurs définis sous § 4.4. Ainsi, le présent concept met l'accent sur la nécessité des mesures à prendre plutôt que sur le potentiel des mesures à prendre. En d'autres termes, l'équilibre harmonieux entre les différents intérêts et intervenants autour de la Venoge est absolument primordial et ne saurait en aucun cas être mis en péril par l'intégration d'une mesure trop contraignante.

Dans ce qui suit, le concept de revitalisation proposée est présenté sous forme de profils types et de tracé, et chacun des objectifs majeurs est décrit de manière détaillée.

7.1.2 Eléments constitutifs de la Venoge

Pour satisfaire les objectifs énumérés ci-dessus, les éléments nécessaires à intégrer dans le concept de base sont présentés au

Tableau 9.

A part les lits mineur et majeur, on distingue les îlots végétalisés pour créer de l'ombrage du lit mineur, les élargissements locaux du corridor afin de pouvoir intégrer des éléments biologiques existants, tels que par exemple des biotopes, des surfaces inondables lors des crues extrêmes (par exemple terrains agricoles), et finalement des digues aux bornes extérieurs du corridor en cas de nécessité d'une protection accrue contre les crues.

Elément	Paramètres	Critères prépondérants
lit mineur	largeur, profondeur, tracé, pente	température d'eau en été, migration piscicole, liberté de divagation
lit majeur	largeur, profondeur, tracé, pente	périmètre N°2 PAC Venoge largeur minimum OACE largeur pendulaire et sinuosité stables zones inondées (cartes de danger) contraintes tractrices fond et berges
îlots végétalisés	longueur, largeur, emplacement	température d'eau en été, proximité du lit mineur, couverture d'ombrage
élargissement local du lit majeur	longueur, surlargeur, emplacement	biodiversité, connectivité entre milieux, diversité des milieux, intégration paysagère
zones inondables	surface, affectation, emplacement	utilité de laminage, dégâts potentiels
endiguement du lit majeur	hauteur, largeur	protection contre les inondations

Tableau 9 Eléments constituant le futur corridor de la Venoge revitalisée.

7.2 Emprise

7.2.1 Profils types

Le futur profil en travers présente les caractéristiques suivantes :

- un lit mineur de 8 m de large avec un niveau du fond du lit qui se situe au niveau du fond du lit actuel ;
- un lit majeur (ou lit de crue) d'une trentaine de mètres de large dont l'altitude est fixée de manière à permettre une inondation de ces terrains plusieurs fois par an ;
- une arrière-digue de protection contre les crues si cela s'avère nécessaire (pas de protection des terrains agricoles situés dans le périmètre « couloir ») ;
- des îlots végétalisés afin de garantir un ombrage suffisant du lit mineur et limiter ainsi un réchauffement de l'eau.

Lit mineur

Les études du gabarit et tracé stable d'une Venoge revitalisée (voir § 5.6) ont démontré que le nouveau lit mineur devrait idéalement posséder une largeur de l'ordre de 15 à 20 m (pour un substrat grossier) et une profondeur d'eau lors des crues de l'ordre de 1.0-1.3 m. Autrement dit, par rapport au lit mineur actuel, un élargissement du fond accompagné par une diminution de la hauteur des berges seraient a priori souhaitables. Le niveau du futur thalweg a été choisi au niveau du thalweg actuel.

Néanmoins, pour baisser les températures d'eau en été, une partie du lit mineur devra être ombragée. Pour cela, une végétation aux abords immédiats du lit mineur est nécessaire et la largeur totale du lit mineur devra être limitée afin de permettre à la végétation riveraine de couvrir en ombrage la majeure partie du lit. Cet ombrage peut être obtenu en intégrant par endroit des îlots végétalisés séparant le lit mineur et le lit majeur (lit de crues).

Sachant que, en plein été, une végétation riveraine de 12 m de hauteur est nécessaire pour totalement ombrager un lit mineur de 8 m de large, il devient clair que le lit mineur d'été devrait être le moins large que possible. Afin de satisfaire simultanément les critères d'ombrage en été (lit étroit et profond) et de dimensions stables sur le long terme (lit large et peu profond), le profil type esquissé à la Figure 31 a été proposé pour concilier ces critères a priori opposés.

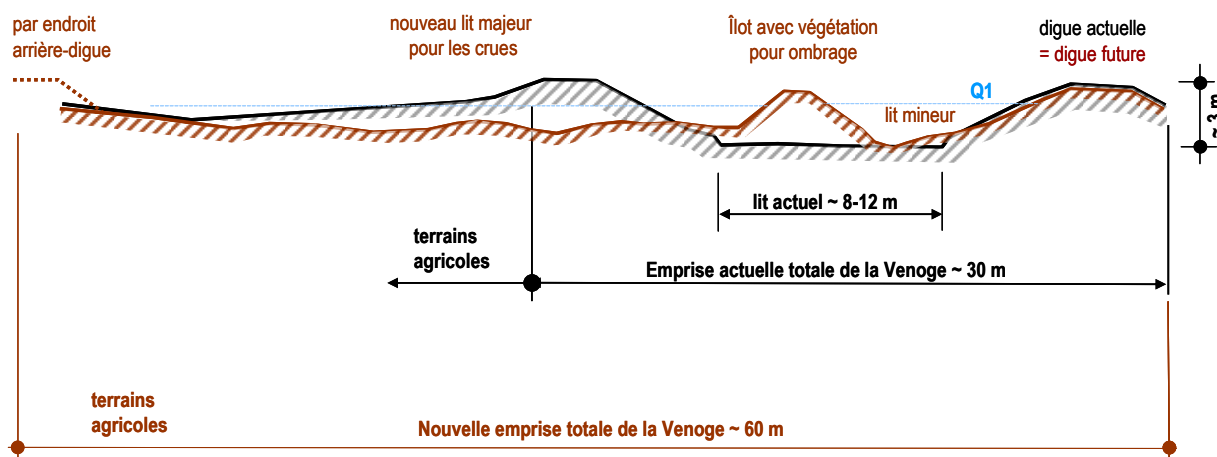


Figure 31 Esquisse de principe comparant la Venoge actuelle avec la Venoge revitalisée.

Le lit mineur utilisé en conditions d'étiage a une forme triangulaire, permettant un minimum de profondeur d'eau même pour des débits très petits, et une largeur totale de 8 m environ. A cela s'ajoute des talus en rive gauche et rive droite avec une pente douce ($\sim 1V$ sur $2H$ à $3H$), permettant le développement d'une végétation riveraine allant des herbacées jusqu'aux arbustes. Selon l'orientation et l'emplacement du profil, une des rives contient un îlot végétalisé garantissant l'ombrage d'une partie du lit mineur d'étiage. La largeur totale du lit mineur (bande d'étiage + talus), correspondant aux hautes eaux annuelles, est d'environ 15-20 m, répondant au critère des dimensions stables.

L'utilisation d'enrochements doit permettre de stabiliser le pied de berge au niveau du lit mineur aux endroits les plus sensibles du point de vue de l'érosion qui sont :

1. le pied du corridor, en particulier lorsque le lit mineur est proche des limites de l'emprise;
2. l'extérieur des courbes (zone d'érosion potentielle),
3. le pied de berge des îlots végétalisés.

Au niveau du lit majeur, les enrochements situés au pied des arrières-digues seront enfouis dans le terrain. Il s'agit d'une protection qui reste nécessaire pour garantir que la Venoge reste dans l'espace mis à disposition, même si le tracé du lit mineur est amené à changer localement.

Le corps des îlots végétalisés (matériaux graveleux/terreux) sera stabilisé au moyen d'une natte de protection et d'une végétalisation adaptée (ensemencement, bouturage, plantation de plants forestiers). Le solde des talus du lit mineur pourrait consister en un mélange de sédiments fins et grossiers, des bancs de graviers, et des développements d'herbacées. Les talus des arrières-digues seront aménagés en pente douce afin de limiter au maximum les forces d'arrachement et permettre leur stabilisation avec des graminées et des arbres et arbustes là où est prévu un cordon boisé.

Le lit majeur sera laissé à l'état brut et une végétation pionnière pourra s'y développer.

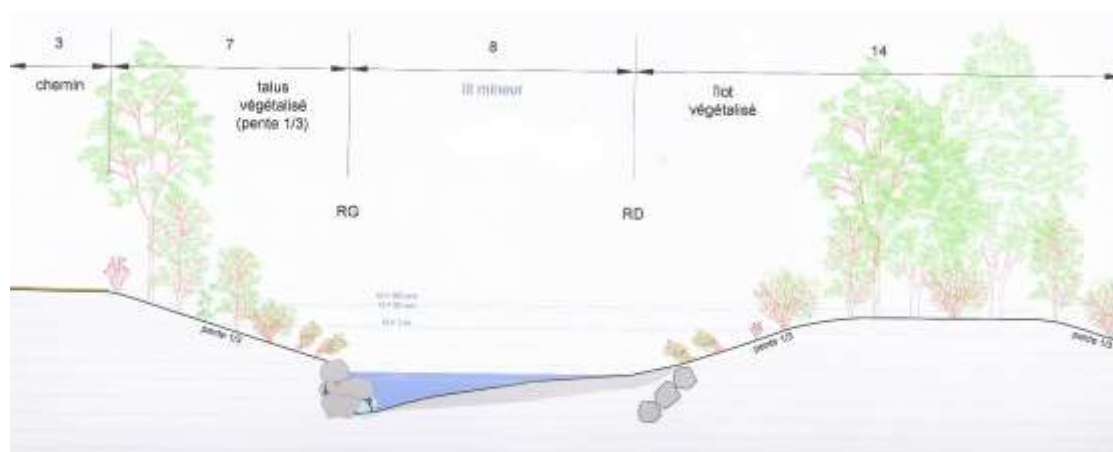


Figure 32 Exemple de profil type « habillé » du lit mineur de la Venoge revitalisée

Les talus ont des pentes maximales de $1V : 2H$. Les largeurs du lit mineur ont été adaptées selon la pente moyenne de la vallée de la Venoge à chaque endroit, en appliquant les critères de largeur stable : ainsi, pour des pentes de la vallée de 0.002, 0.0036 et 0.005, la largeur stable du lit mineur est de 9 m, 7.5 m, and 6 m, respectivement.

La Figure 32 présente une coupe du lit mineur avec îlot végétalisé et habillage final: enrochements de protection du pied de berge, végétalisation des talus, végétation arborée sur le sommet de l'îlot, chemin pédestre en rive gauche, pentes douces et indication des futurs niveaux atteints lors de crues de différents temps de retour.

La nouvelle largeur du lit mineur de l'ordre de 8 m correspond au gabarit naturel de la Venoge. Ce gabarit est en eau pour un débit moyen de l'ordre de 2-3 m³/s. En étiage, lorsque le débit est de l'ordre de 300 à 500 l/s, le lit mineur est partiellement exondé (banc de sédiments émergés) et l'eau se concentre dans les zones les plus profondes.

Corridor et lit majeur

Deuxièmement, le lit majeur et le futur corridor revitalisé de la Venoge devront donc distinguer entre un lit majeur (à talus progressif) sans îlot et un lit majeur (plat) avec îlot végétalisé (Figure 33). En combinant ceci avec des méandres, ces deux types de lit majeur permettent de définir 5 profils types :

1. méandre à gauche progressif et sans îlot (GP);
2. méandre à droite progressif et sans îlot (DP);
3. méandre à gauche plat avec îlot (GI);
4. méandre à droite plat avec îlot (DI) ;
5. milieu progressif (MP).

Le dernier profil type représente un profil en travers reliant un méandre gauche avec un méandre à droite ou vice versa (Figure 33). L'altitude du lit majeur doit permettre des débordements depuis le lit mineur plusieurs fois par année. Sa largeur est définie telle que la crue centennale passe sans débordements au-delà du corridor Venoge. Ainsi, les hauteurs uniformes des profils types fluctuent entre 2.2 m et 2.4 m pour la crue centennale et entre 2.65 à 2.85 m pour la crue extrême.

Les enrochements situés aux extrémités ou au pied des arrières-digues du lit majeur seront enfouis dans le terrain. Il s'agit d'une protection qui reste nécessaire pour garantir que la Venoge reste dans l'espace mis à disposition, même si le tracé du lit mineur est amené à changer localement. Les talus des arrières-digues seront aménagés en pente douce afin de permettre leur stabilisation avec des graminées et des arbres et arbustes là où est prévu un cordon boisé. Le lit majeur sera laissé à l'état brut et une végétation pionnière et/ou des plantations diverses pourront s'y développer.

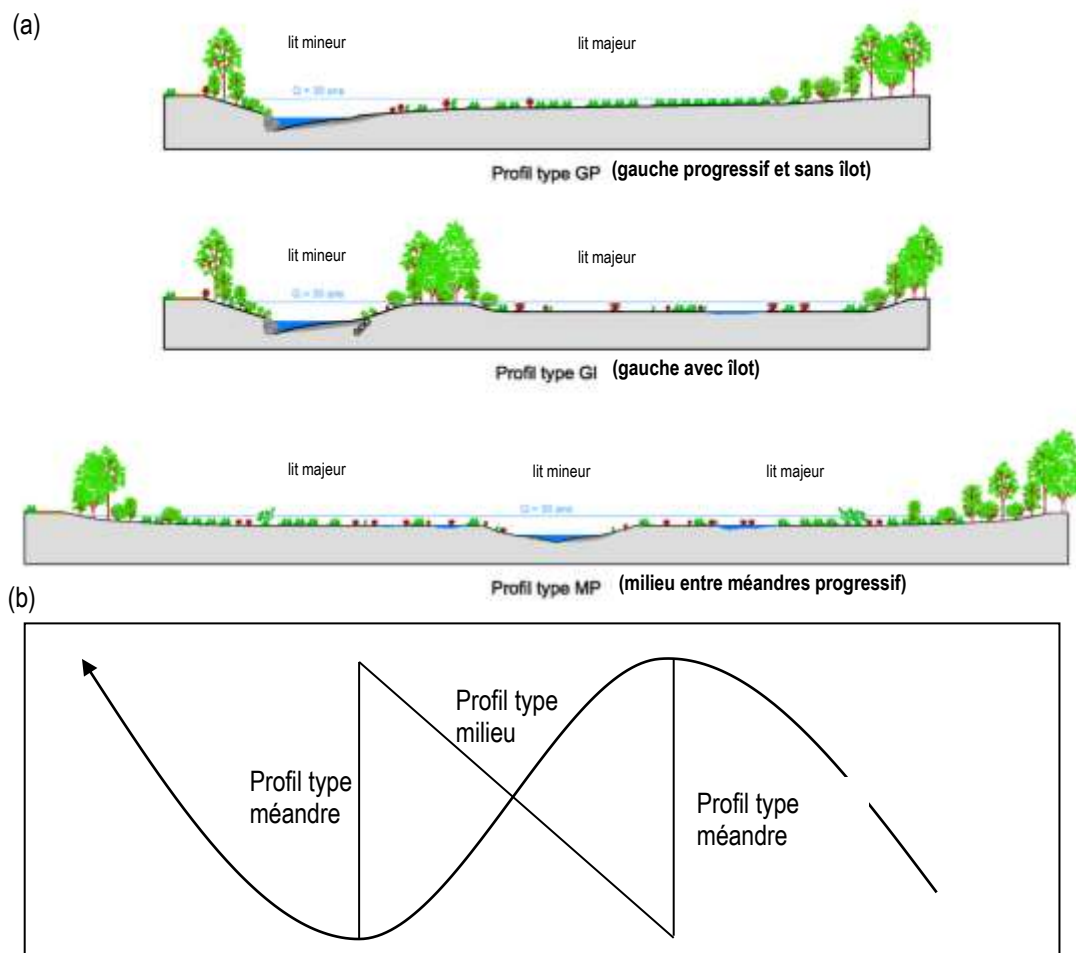


Figure 33 (a) profils types lit majeur, (b) vue en plan de l'implémentation des profils types

7.2.2 Tracé

Conforme les bases de la divagation des cours d'eau naturels, le tracé des lits mineur et majeur futurs devront présenter une certaine sinuosité. La sinuosité simple (= du lit mineur tout seul) devrait idéalement se situer autour de 1.3. De par les contraintes d'espace imposées par le périmètre N°2 du PAC Venoge, le lit majeur (et le corridor Venoge en général) ne peut quasiment pas divaguer dans le terrain environnant et ne peut donc que très rarement bénéficier d'une sinuosité. Son tracé est donc plutôt rectiligne. En d'autres termes, on parle alors d'une sinuosité simple.

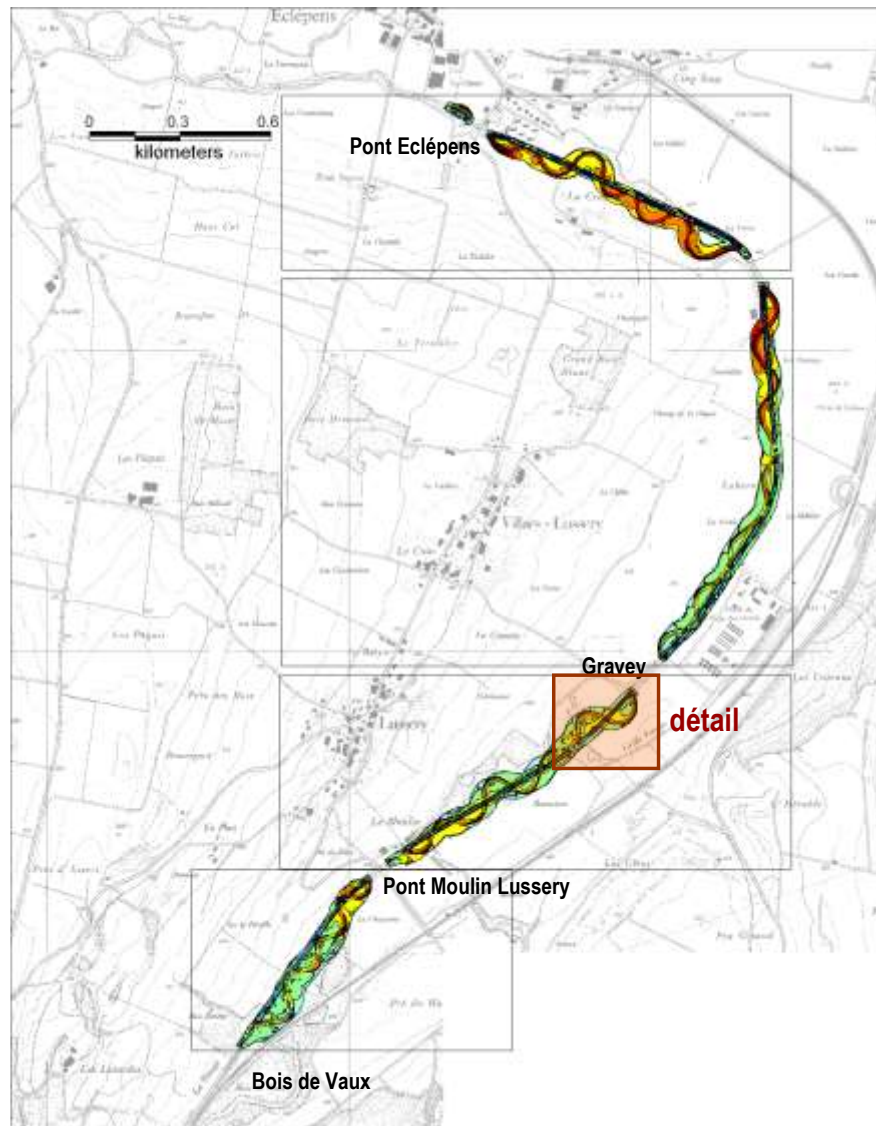


Figure 34 Tracé et implantation de la Venoge revitalisée dans le terrain

La Figure 35 présente une vue en plan détaillée de la zone revitalisée juste en aval du barrage de Gravey, esquissant les lits mineur et majeur, un îlot végétalisé, la jonction avec la Vieille Venoge, et le déplacement des conduites du sous-sol.



Figure 35 Vue en plan détaillée de la zone revitalisée juste en aval du barrage de Gravey.

Le tracé du lit mineur proposé présente une sinuosité qui va lui permettre de se diversifier, tant au niveau du profil en long (alternance pool/radiers) que du profil en travers (intérieur/extérieur courbe). Localement, lorsque cela est possible compte tenu de l'aménagement actuel de la plaine, le tracé du lit mineur se situe au niveau de l'ancien lit de la Venoge.

Par rapport à la situation actuelle, le tracé sinueux proposé correspond à un allongement du linéaire du lit mineur de l'ordre de 15%, soit d'environ 720 m sur la totalité du tronçon A-D (de 4'607 m à 5'326 m). La pente du thalweg diminue quant à elle du même pourcentage.

Des points durs, qui garantissent un habitat pour la faune aquatique (zones profondes) et le développement d'une végétation assurant un ombrage suffisant sur le cours d'eau, fixent partiellement le tracé du lit mineur.

7.2.3 Espace cours d'eau, emprise du projet et impact foncier

L'emprise du cours d'eau correspond à une bande de 50-60 m de large qui comprend le fond du lit (lit mineur), le lit majeur, la zone riveraine et l'espace récréatif. Sur l'ensemble du tronçon A-D, l'espace cours d'eau représente une surface d'environ 27 ha.

Cette future emprise se trouve partiellement sur l'emprise actuelle (DP cantonal) et en alternance sur une rive puis sur l'autre. Cela permet d'une part de conserver une des deux digues existantes et d'autre part d'augmenter la sinuosité du lit mineur. Localement l'emprise future du cours d'eau s'écarte de l'emprise actuelle.

Hormis le domaine public, le projet touche 27 parcelles privées, dont 3 sont propriété de l'Etat de Vaud et 4 des communes riveraines. L'emprise du projet sur les 20 parcelles privées restantes est d'environ 9 ha (voir tableau ci-dessous).

Le tableau en annexe liste les parcelles qui sont situées le long de la Venoge sur le tronçon A-D, ainsi que leurs propriétaires. L'emprise du projet sur chacune des parcelles privées est également donnée.

Type de propriété	Emprise actuelle	Emprise du projet
Domaine public	Environ 12 ha	Environ 11 ha
Parcelles privées - Etat de Vaud	-	2.7 ha
Parcelles privées - Communes	-	3.8 ha
Parcelles privées - Autres	-	9.1 ha
TOTAL	Environ 12 ha	Environ 27 ha

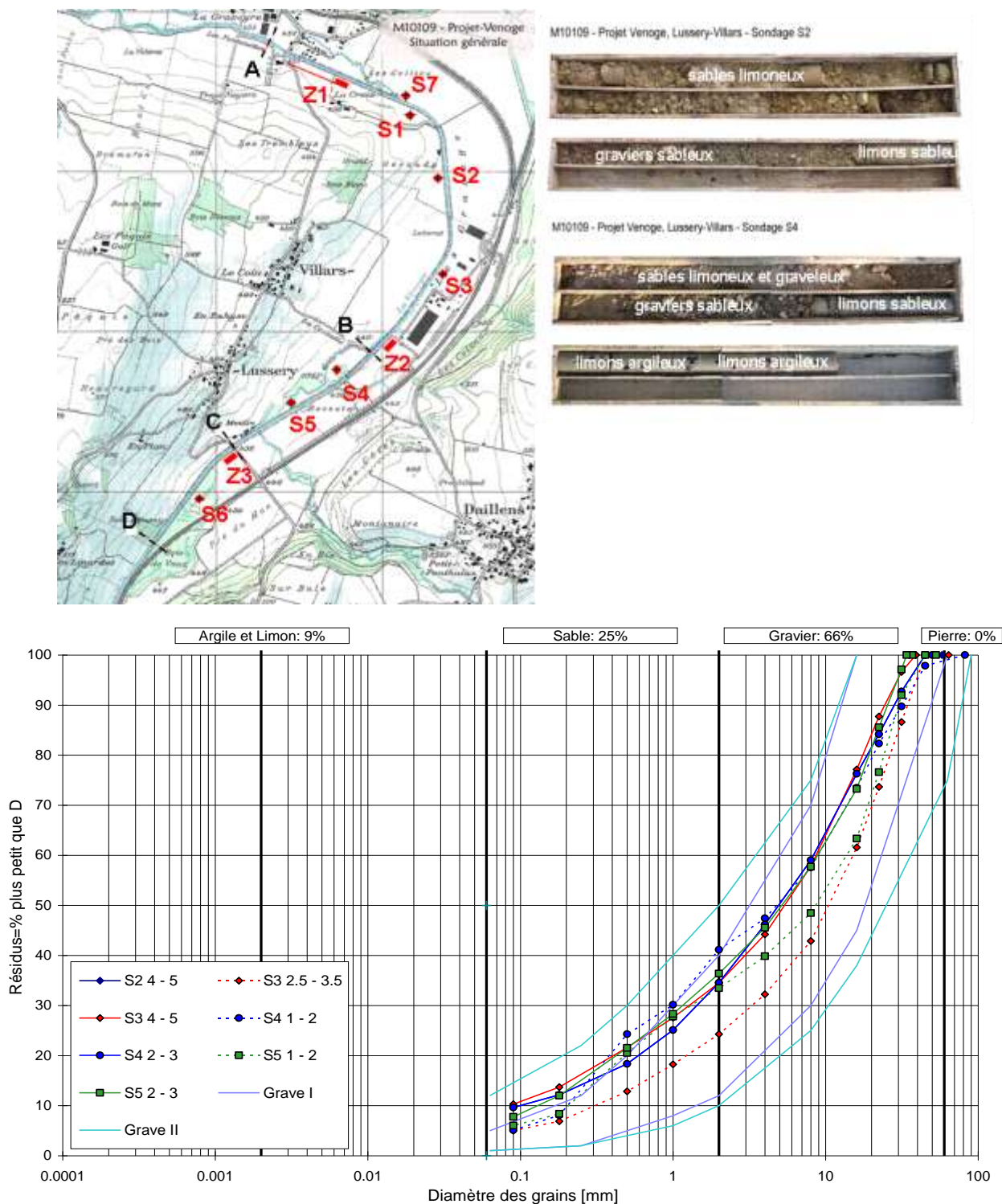
Tableau 10 Emprise actuelle et future de la Venoge selon le type de parcelles

Il convient de souligner ici que la proposition de tracé constitue une version plausible d'un point de vue technique et environnemental, sans pour autant avoir la prétention de fixer ses limites et son emplacement définitif. Ces derniers font l'objet d'une étape d'optimisation de l'emprise de revitalisation en étroite collaboration avec les propriétaires des parcelles potentiellement touchées.

Dans ce sens, suite aux premiers contacts avec les propriétaires le long du tronçon A'-C, une optimisation de l'emprise a été effectuée. Bien que cette optimisation fasse partie du projet d'ouvrage au sens propre, elle a déjà été incluse dans les plans figurant en Annexe 12.

7.3 Matériaux du fond et des berges

Afin de mieux connaître les matériaux du fond et des berges de la future Venoge revitalisée, une campagne de sondages a été menée en été 2006. Cette campagne a permis de déterminer la nature et la courbe granulométrique des matériaux constituant les berges de la Venoge. La Figure 36 présente l'emplacement et les courbes granulométriques des sondages effectués.



La Figure 37 montre que, depuis le sommet des berges actuel, la première couche consiste en des sables fins voir limoneux, avec une épaisseur allant de 2 m (en amont du barrage de Gravey) jusqu'à plus de 3 m (en aval du barrage de Gravey). En-dessous de cette couche de surface se situe une couche de graviers sableux, d'une épaisseur moyenne de 3-4 m.

Tous les relevés granulométriques ont été effectués dans cette couche de graviers sableux, comme le montre la Figure 37. Ainsi, les courbes sont constituées de 66 % de graviers, 25 % de sables, quelques pierres et seulement 9 % d'argiles et/ou limons.

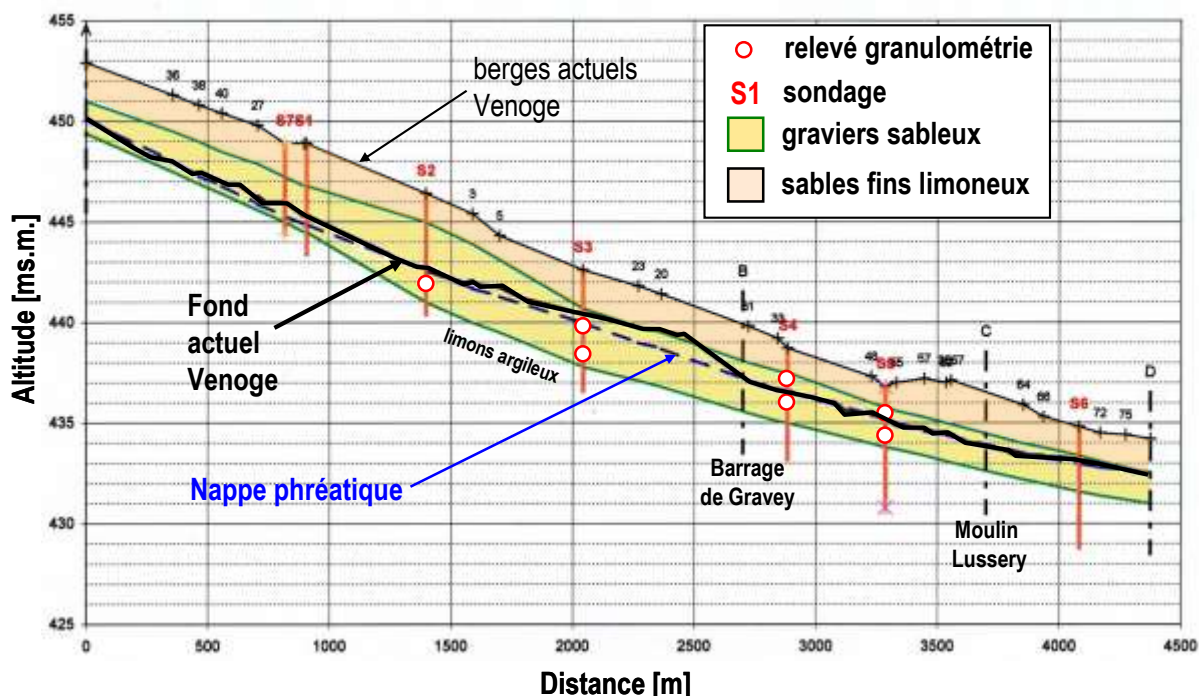


Figure 37 Profil en long géotechnique illustrant les sondages, relevés granulométriques et couches du sous-sol dans l'état actuel.

Etant donné que le fond du futur lit mineur se situera au même niveau que le fond actuel, et que le fond du futur lit majeur se trouvera environ 1-1.5 m au-dessus de ce niveau, l'on s'aperçoit que, le long du tronçon A-B, le fond du futur lit majeur sera principalement constitué de graviers sableux. Le long du tronçon B-C et juste en amont du barrage de Gravey, par contre, ce fond serait plutôt constitué d'une couche de sables fins limoneux, d'une épaisseur de l'ordre de max. 0.5-1.0 m. Ceci indique des problèmes potentiels d'érosion de ce fond lors des crues, jusqu'au niveau de la couche de graviers sableux. Le même constat est fait vers la fin du tronçon C-D (Bois-de-Vaux).

La Figure 38 illustre ce propos pour les sondages S3 et S4, pour lesquels le fond du futur lit majeur se situera clairement à l'intérieur de la couche de sables fins limoneux.

Ainsi, pour les simulations numériques de l'érosion potentielle du lit et des berges après revitalisation, deux types de fond ont été testés :

1. fond en graviers/blocs (granulométrie grossière)
2. fond en sables fins et limons (granulométrie fine)

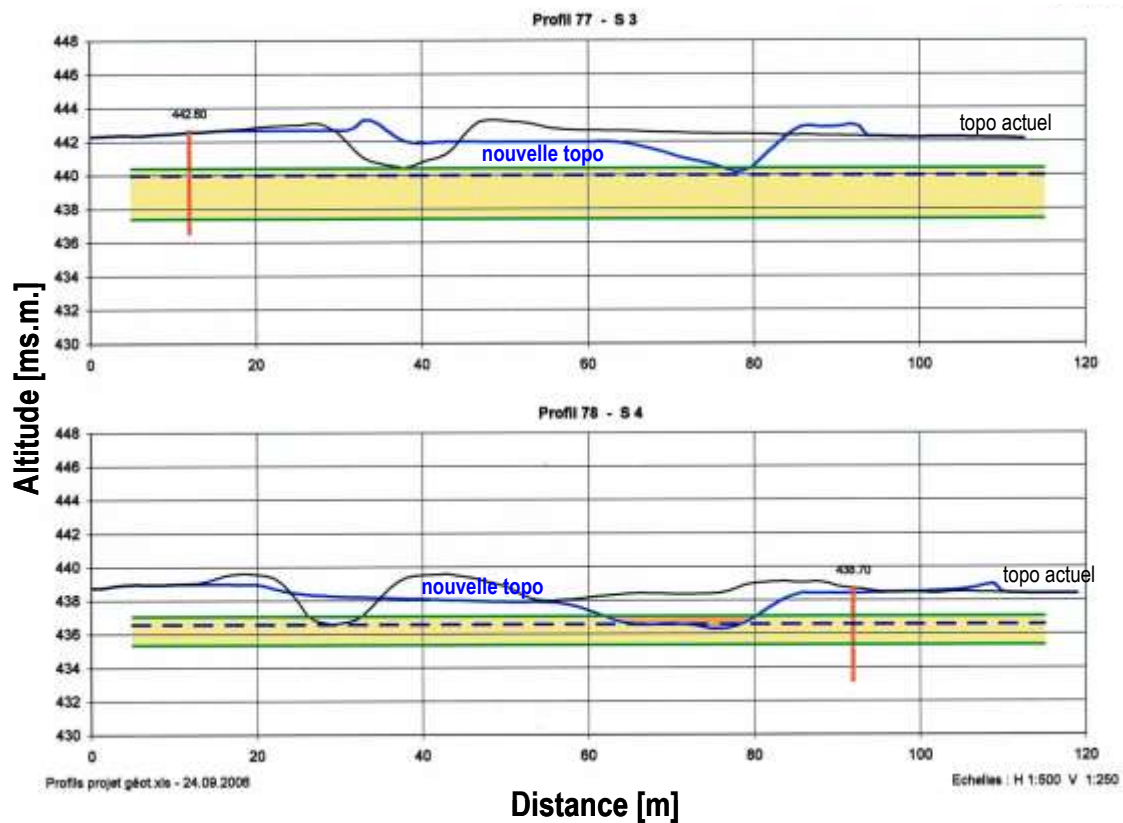


Figure 38 Profil en travers géotechnique aux sondages S3 et S4 illustrant la future couche de fond de la Venoge revitalisée.

La nappe phréatique au mois d'août 2006 se situait quasi partout au même niveau que le fond actuel du lit de la Venoge, sauf sur une distance de 1 km en amont du barrage de Gravey, où la nappe se trouve environ 1 m plus bas. Etant donné que le niveau de la nappe suit parfaitement la pente moyenne de la vallée, ceci est probablement dû à l'aménagement du lit fait à l'époque de la réalisation de cet ouvrage.

7.4 Hydraulique et morphologie

7.4.1 Conditions d'étiage

La forme actuelle canalisée du lit mineur a été transformée en une forme triangulaire avec une diversité du lit : des gouilles, zones profondes, caches pour poissons, rétrécissements, etc. Ainsi, les profondeurs d'eau en étiage seront certainement très variables et, de manière générale, plus importante que dans l'état actuel.

Pour des débits d'étiage de typiquement 1 m³/s, une profondeur d'eau locale de min. 0.50 – 1.00 m a été recherchée afin de minimiser le réchauffement de l'eau en été.

La morphologie du lit mineur en étiage consistera en une partie eau et une partie sédiments fins et/ou grossiers, tel que cela peut être observé actuellement sur la Venoge plus en aval, par exemple à la Roujarde ou encore aux Iles de Bussigny.

Les crues faibles à modérées seront capables de faire varier le substrat fin mis en place et de générer une dynamique alluviale du lit mineur. Ainsi, le lit mineur pourrait se déplacer et se déformer là où le corridor principal et ces points de protection en dur le lui permettent, i.e. partout sauf aux îlots végétalisés. Générateurs d'ombrage, ces derniers seront réalisés de manière durable et forceront localement le lit mineur à passer par l'ombrage qu'ils créent.

En cas de déplacement majeur du lit mineur entre les îlots, ou encore lors de la création d'un deuxième lit mineur suite à une forte crue, il sera nécessaire de faire un entretien du corridor de sorte à forcer de nouveau le passage du lit mineur à travers les zones d'ombrage avant l'été prochain.

7.4.2 Protection contre les crues

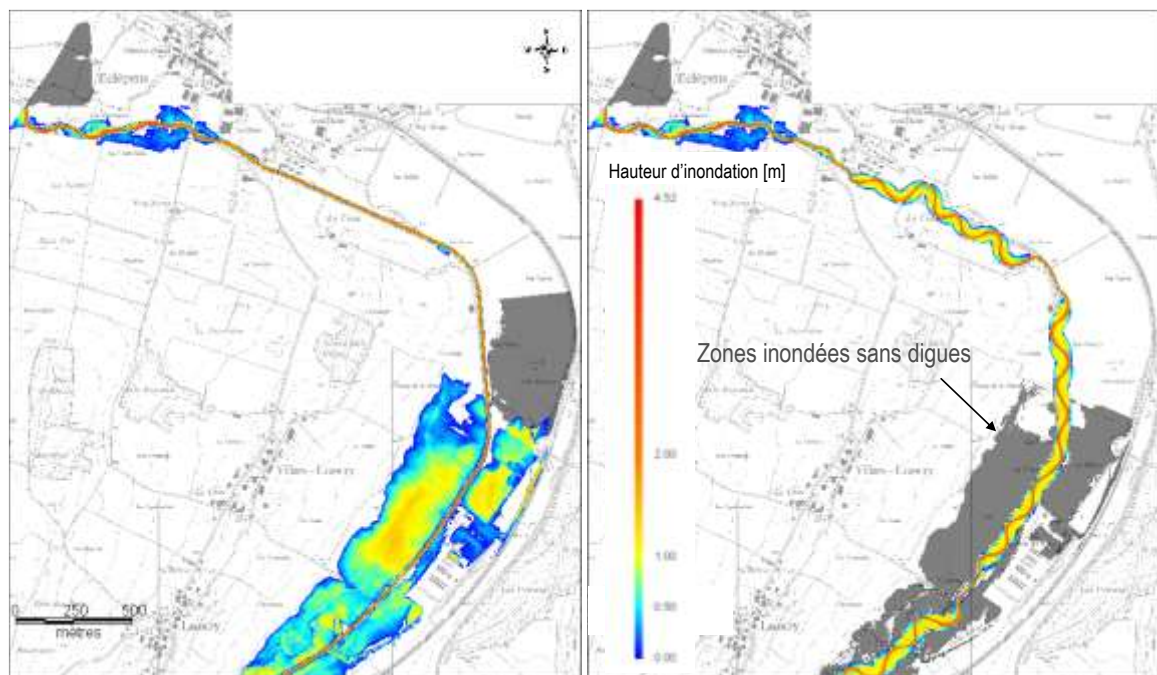
La protection contre les crues fait partie intégrante de tout projet de revitalisation de cours d'eau. Ainsi, les futures lignes d'eau lors des crues ont été simulées et optimisées numériquement de manière à obtenir une protection contre les crues qui est au moins égale à la protection actuelle.

Pour cela, le modèle numérique de terrain de la Venoge dans son état revitalisé a permis de déterminer 383 profils à travers sur une longueur totale de 4.3 km. Les valeurs de rugosité (Manning) suivantes ont été utilisées : 0.08 pour les talus des lits mineur et majeur, 0.04 pour le fond du lit mineur et 0.065 pour le fond du lit majeur. Ces valeurs tiennent compte de la végétation qui se développera au fil du temps le long des berges et du fond du lit.

La Figure 39 (en amont du Moulin de Lussery) et la Figure 40 (en aval du Moulin de Lussery) comparent les zones inondées pour la crue centennale dans les états actuel et projeté (voir l'Annexe 13 et l'Annexe **Error! Reference source not found.** 14 pour les cartes d'inondation projetées). En appliquant le principe des arrières-digues tout le long du corridor de revitalisation, aucune zone en dehors du lit majeur n'est inondée dans l'état projeté, sauf dans la région du Bois de Vaux.

Néanmoins, comme mentionné auparavant, la protection des terrains agricoles ne se fait pas d'habitude pour des crues d'un tel temps de retour. La protection des zones agricoles se fait généralement pour des temps de retour de l'ordre de 30 ans seulement. Ainsi, par endroit et à définir en fonction de l'utilité, on peut s'imaginer d'utiliser les terrains agricoles comme zones d'épandage de la crue centennale. Dans un tel cas, les zones qui seraient inondées correspondent plus ou moins aux zones inondées

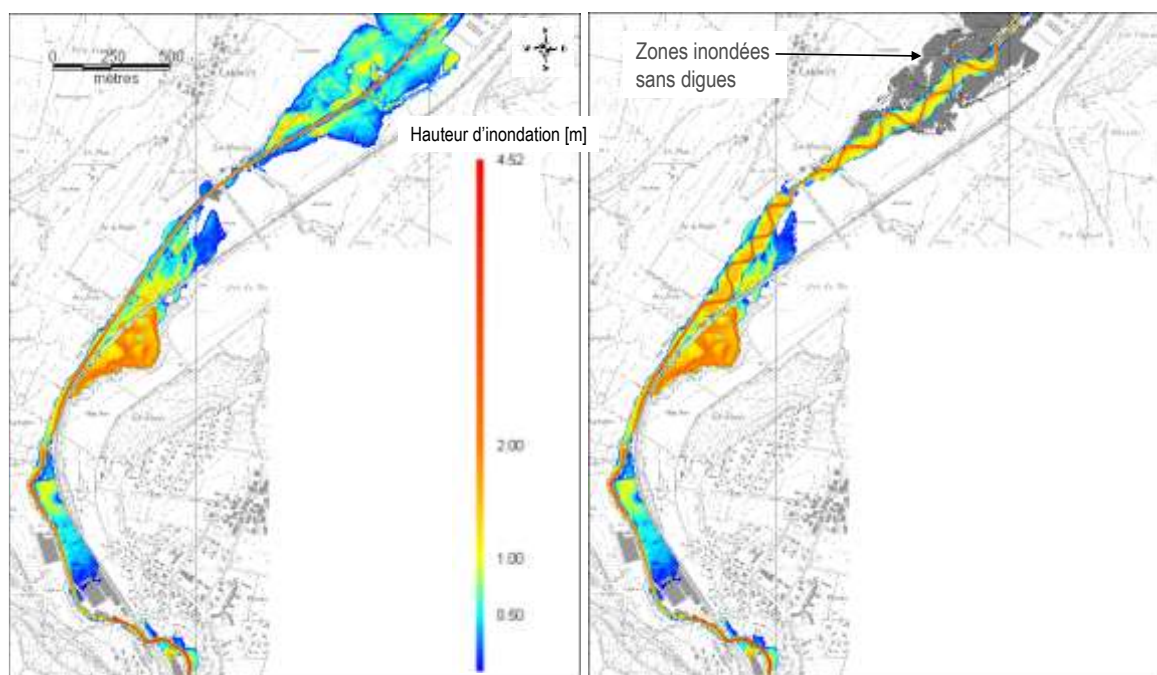
dans l'état actuel. Elles sont présentées en gris sur les figures respectives. A noter que, lors d'événements de crue, des remontées de la nappe se font par endroit, provoquant des inondations sur certaines parcelles agricoles, même sans débordements de la Venoge.



a) ETAT ACTUEL ;

b) ETAT PROJETE

Figure 39 Zones inondées pour Q_{100} en amont du Moulin de Lussery : a) état actuel ; b) état projeté.



a) ETAT ACTUEL ;

b) ETAT PROJETE

Figure 40 Zones inondées pour Q_{100} en aval du Moulin de Lussery : a) état actuel ; b) état projeté.

Il convient de souligner également que le projet de revitalisation du tronçon A-D entre Eclépens et Lussery-Villars n'a aucune influence sur les zones inondées plus en aval, i.e. la région de Cossonay.

7.4.3 *Equilibre morphologique sur le long terme*

Les zones inondées dans l'état revitalisé ont été définies pour le gabarit théorique présenté au § 7.2. Il est évident que, au fil du temps, les événements de crues vont remodeler la morphologie des lits mineur et majeur. Puisque ces lits ont été conçus en appliquant la théorie du gabarit stable (en équilibre) sur le long terme, l'évolution morphologique du fond et des berges ne devraient pas être significative ou encore remettre en question le concept mis en place.

Néanmoins, afin de vérifier ce postulat et pour tenir compte des conditions spécifiques du site, une modélisation numérique unidimensionnelle (1D) et bidimensionnelle (2D) a été effectuée de l'évolution morphologique du fond de la Venoge (tronçon A-D en 1D et tronçon B-C en 2D, respectivement) sur une période de 50 ans de crues, conforme à l'hydrologie de crues présentée à la Figure 4.

Les crues de la Venoge sont théoriquement capables de transporter une certaine quantité de sédiments en suspension dans l'eau et/ou par charriage sur le fond. Bien que ces quantités puissent être estimées par des approches théoriques, la réalité nous apprend que les sédiments ne sont pas toujours disponibles depuis l'amont (voir § 3).

Ainsi, les simulations morphologiques distinguent entre deux situations de transport solide:

1. les crues de la Venoge ne transportent pas de sédiments depuis l'amont ;
2. les crues de la Venoge transportent une importante quantité de sédiments depuis l'amont, quantité déterminée à partir d'approches théoriques vérifiées par les observations de MES lors des crues de 2006 et 2007 (§ 2.4.2).

La première situation correspond à une capacité érosive maximale de la Venoge et a été simulée afin de déterminer les limites supérieures de l'érosion du lit et des berges de la Venoge revitalisée. Le risque existe notamment qu'une quantité incontrôlable de sédiments du lit mineur et du lit majeur (sables et graviers) sera érodée et entraîné vers l'aval. Ces matériaux risquent de se déposer aux câbleries de Cossonay, où une vanne règle le niveau de l'eau et une importante chute des vitesses d'écoulement se produit. Il en résulterait un rehaussement significatif des lignes d'eau et donc des inondations majeures. Un tel phénomène s'est d'ailleurs déjà produit en 1918 (voir § 2.4), avec des dépôts allant jusqu'à 1 m à Cossonay.

La deuxième situation correspond à une capacité érosive minimale de la Venoge et donc une tendance maximale de déposition des sédiments depuis l'amont. Elle a été simulée afin de déterminer les rehaussements maximum à attendre le long du tronçon B-C même de la Venoge revitalisée.

Le substrat de la Venoge après revitalisation correspondra a priori à la granulométrie naturelle suite aux excavations. Les sondages démontrent la présence de sables-limons et de graviers, mais les graviers ne se situent pas toujours à la bonne profondeur (§ 7.3). Par endroit, on pourrait donc se retrouver avec un substrat limoneux-sableux.

Les courbes granulométriques théoriques utilisées lors des simulations numériques sont comparées avec la granulométrie de la couche graveleuse telle qu'observée sur site à la Figure 41.

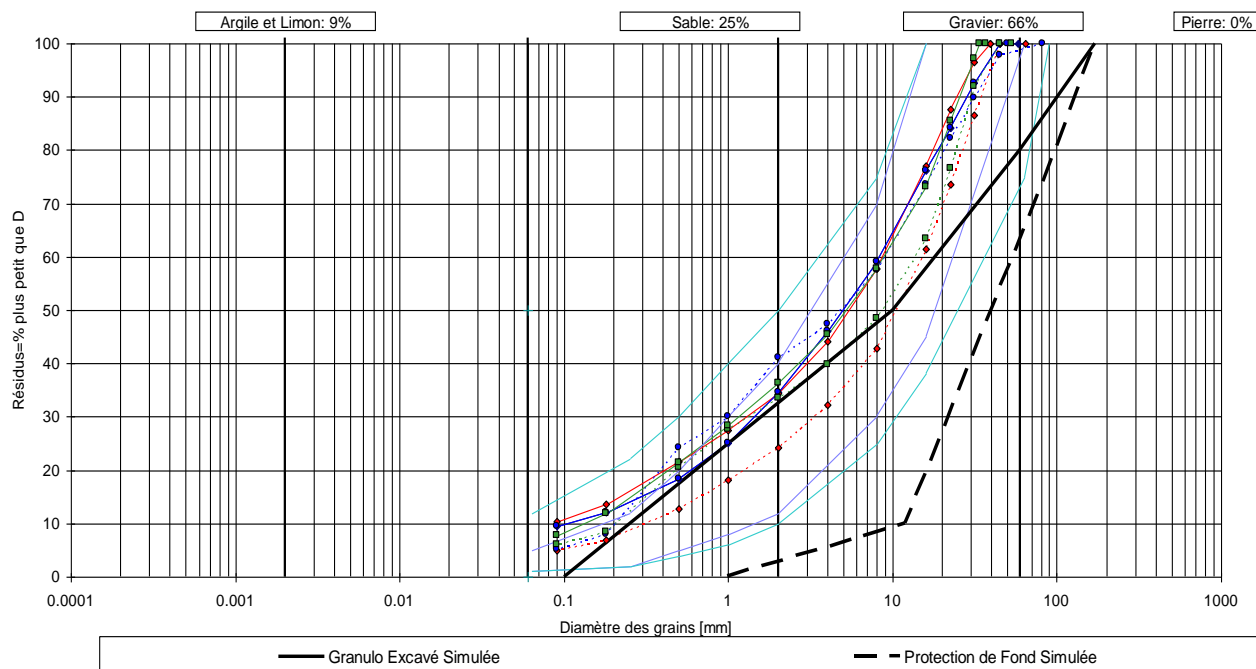


Figure 41 Granulométrie utilisée par les simulations morphologiques par rapport à la granulométrie du substrat observée lors des sondages

La granulométrie utilisée pour représenter la couche de graviers sur site a un d_{50} de l'ordre de 10 mm, tandis que la granulométrie utilisée pour représenter une couche protectrice du substrat naturel a un d_{50} de l'ordre de 40 mm.

Simulations sans sédiments depuis l'amont (mode érosif)

Les résultats de la simulation numérique unidimensionnelle sur 50 ans montrent la tendance du cours d'eau à ajuster sa pente de fond pour s'équilibrer avec la charge sédimentaire et la granulométrie du fond (Figure 42). Des érosions de l'ordre de max. 1.80 m sont remarquées au début de la zone de revitalisation à l'aval du pont d'Eclépens. Ailleurs, l'érosion est de max. 0.50 à 1.00 m. Les passages sous les ponts (La Vurze et Pont de Moulin à Lussery) et par-dessus le barrage de Gravey agissent comme points fixes et empêchent des érosions trop importantes. Des dépôts importants se produisent au pont du Moulin de Lussery et dans la zone du Bois de Vaux, augmentant la ligne d'eau dans cette dernière zone. Ailleurs, la ligne d'eau est généralement plus basse que les niveaux actuels. Une partie des sédiments arrive à dépasser le seuil d'Isletaz et se dépose à l'aval, avant l'entrée dans le lit canalisé aux câbleries de Cossonay.

Au fil du temps, un pavage se développe le long du lit. Cette granulométrie d'équilibre du lit après 50 ans de simulation est donnée à la Figure 43. Les diamètres d_{50} stables sont plus petits qu'à l'état actuel, ce qui est logique puisque les vitesses d'écoulements sont inférieures aux vitesses actuelles de par l'élargissement important de la Venoge. Bien que les d_{50} stables soient plus petits, ils sont toujours plus grossiers que la granulométrie observée dans la couche graveleuse des sondages (Figure 41). De ce fait, une couche protectrice sur le substrat naturel sera nécessaire afin d'éviter une érosion trop importante (voir Figure 42).

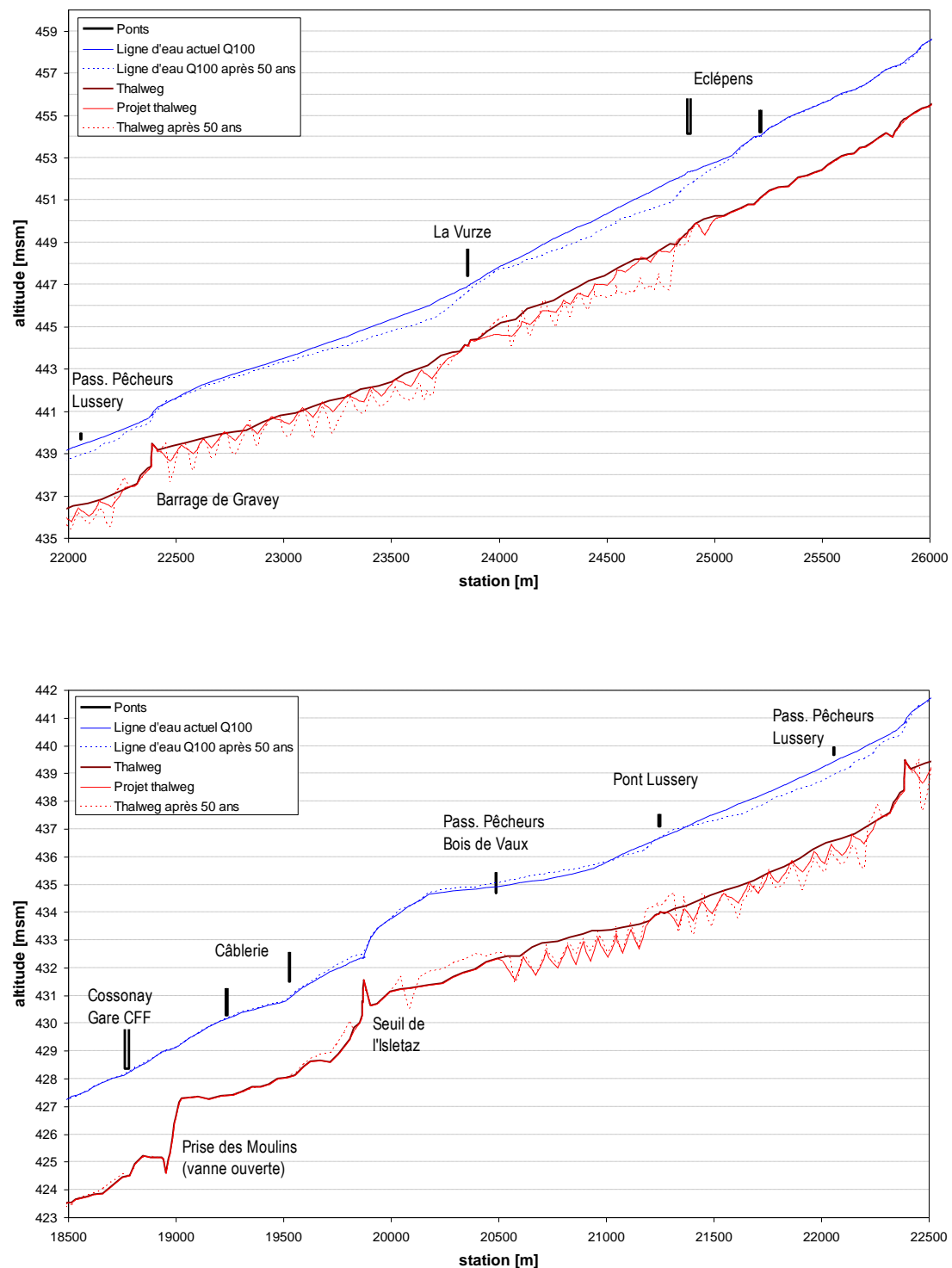


Figure 42 Résultats de la simulation numérique 1D de l'évolution morphologique sur 50 ans, sans input de sédiments depuis l'amont (mode érosif)

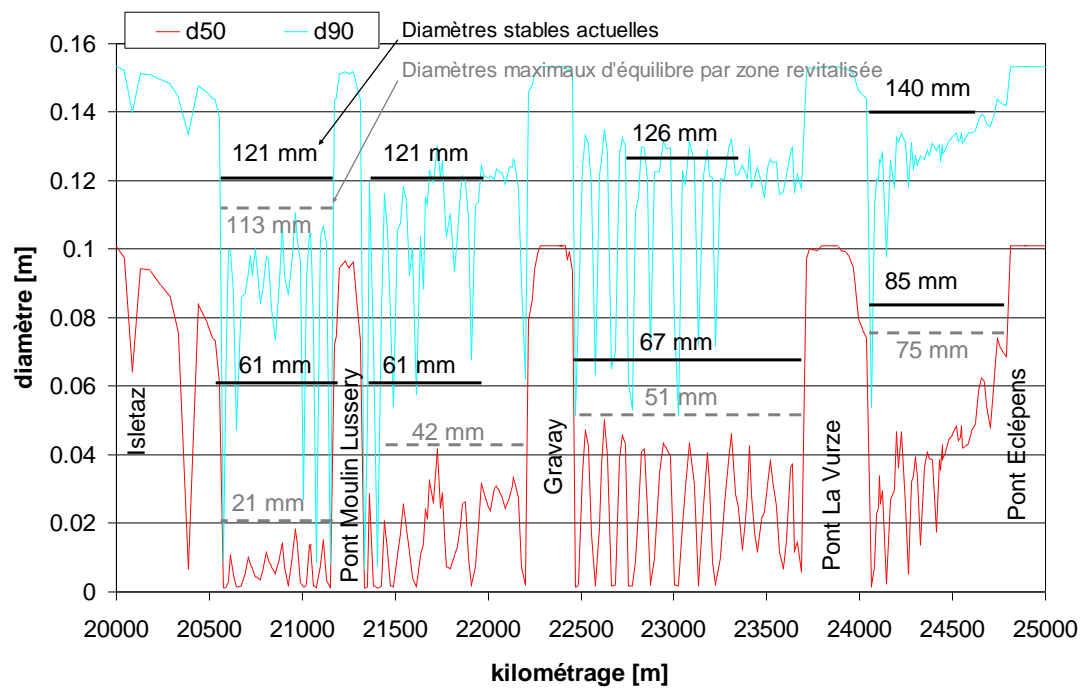


Figure 43 Diamètres d'équilibre des sédiments simulés par modélisation numérique 1D et comparés avec les diamètres stables à l'état actuel.

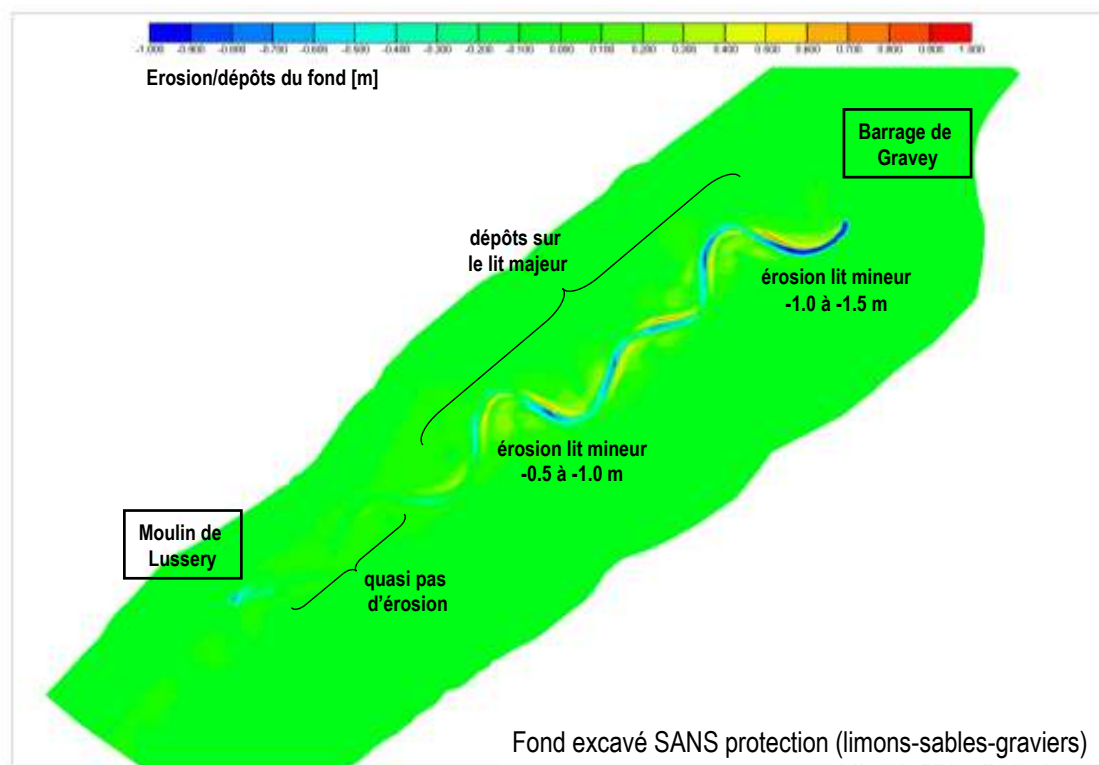


Figure 44 Modélisation numérique 2D des érosions et dépôts de sédiments le long du tronçon B-C suite au passage de la crue centennale et avec le substrat naturel sur le fond du lit.

Deuxièmement, une modélisation numérique 2D a été effectuée du passage de la crue centennale le long du tronçon B-C.

Dans un premier temps, la modélisation a été effectuée pour un substrat naturel sur le fond des lits mineur et majeur. Comme attendu, d'importantes érosions se produisent dans la partie amont du tronçon, de l'ordre de 1.0 à 1.5 m. Plus en aval, l'érosion devient moins importante. En même temps, des dépôts se produisent sur le lit majeur tout le long du tronçon B-C, sauf dans la partie aval, proche du Moulin de Lussery. Le diamètre stable sur le fond du lit mineur est de 2 à 3 cm.

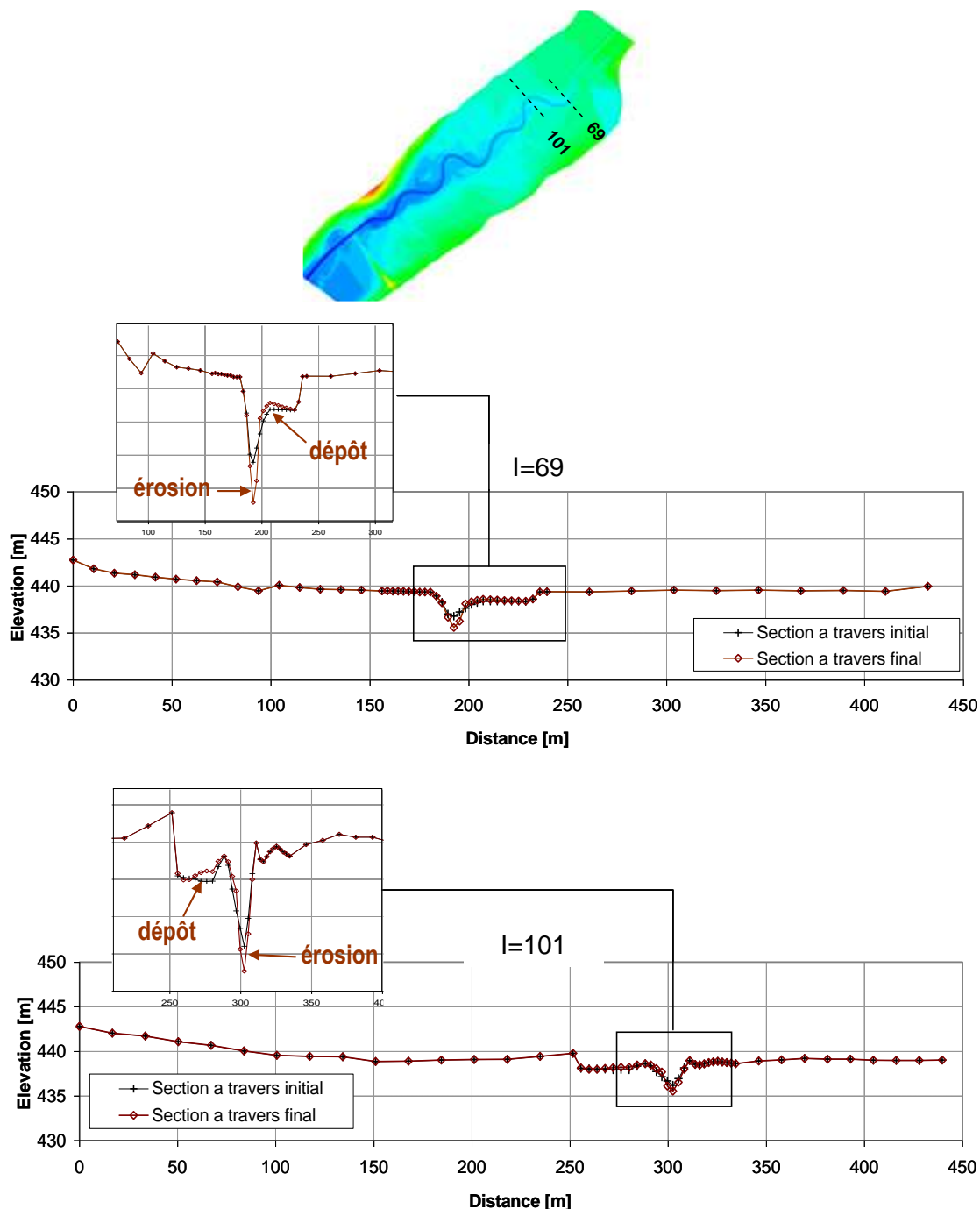


Figure 45 Profils à travers de la modélisation numérique 2D des érosions et dépôts de sédiments le long du tronçon B-C suite au passage de la crue centennale et avec le substrat naturel sur le fond du lit.

La Figure 45 illustre deux profils en travers pris juste en aval du barrage de Gravey. Ces profils confirment la présence d'une érosion significative du thalweg du lit mineur, combinée avec des dépôts sur le lit majeur.

Dans un deuxième temps, le même calcul a été effectué mais pour un fond protégé par une couche de graviers, galets et blocs de diamètres importants (i.e. 5-10 cm). Le résultat est présenté à la Figure 46 et montre que l'érosion du lit mineur a fortement diminué, ainsi que les dépôts dans la partie amont du lit majeur.

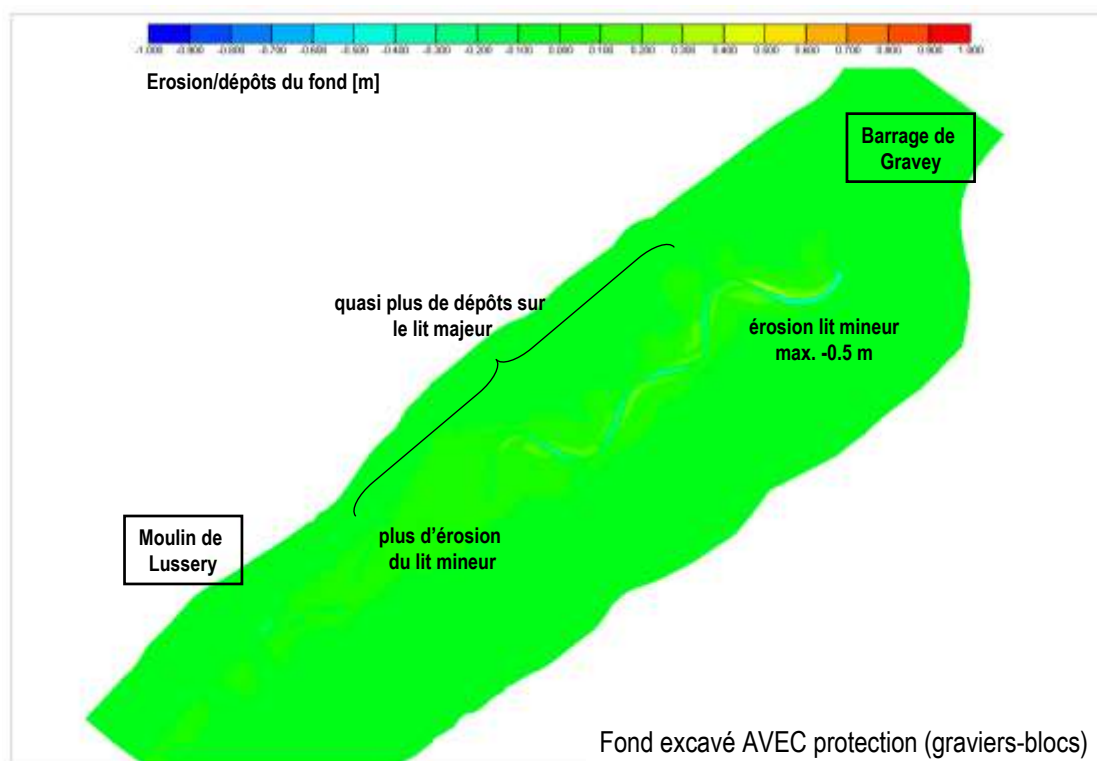


Figure 46 Modélisation numérique 2D des érosions et dépôts de sédiments le long du tronçon B-C suite au passage de la crue centennale et avec une couche de protection sur le fond du lit.

Simulations avec sédiments depuis l'amont (mode déposition)

Une simulation de 16 ans de durée, suivie par la crue centennale, a été faite avec input de sédiments depuis l'amont. La quantité de sédiments injectés lors des calculs correspond à la concentration observée lors des crues de 2006 et 2007 (§ 2.4.2).

Comme attendu, les résultats montrent que l'érosion du lit est moins importante que dans la simulation sans sédiments injectés depuis amont et que les dépositions sont plus importantes (Figure 47). Les dépositions à l'aval d'Islétaz deviennent telles qu'elles rehaussent les lignes d'eau de manière significative.

Etant donné que les dépôts à l'aval de l'Islétaz dépendent fortement de la granulométrie admise lors des calculs, davantage de mesures de charge sédimentaire de l'amont sont nécessaires pour quantifier la concentration et la granulométrie des sédiments en suspension lors des crues de la Venoge.

Ainsi, si les sédiments en suspension étaient plus fins qu'admis dans la simulation avec charge sédimentaire amont, le problème de déposition ne se produirait pas ou beaucoup moins.

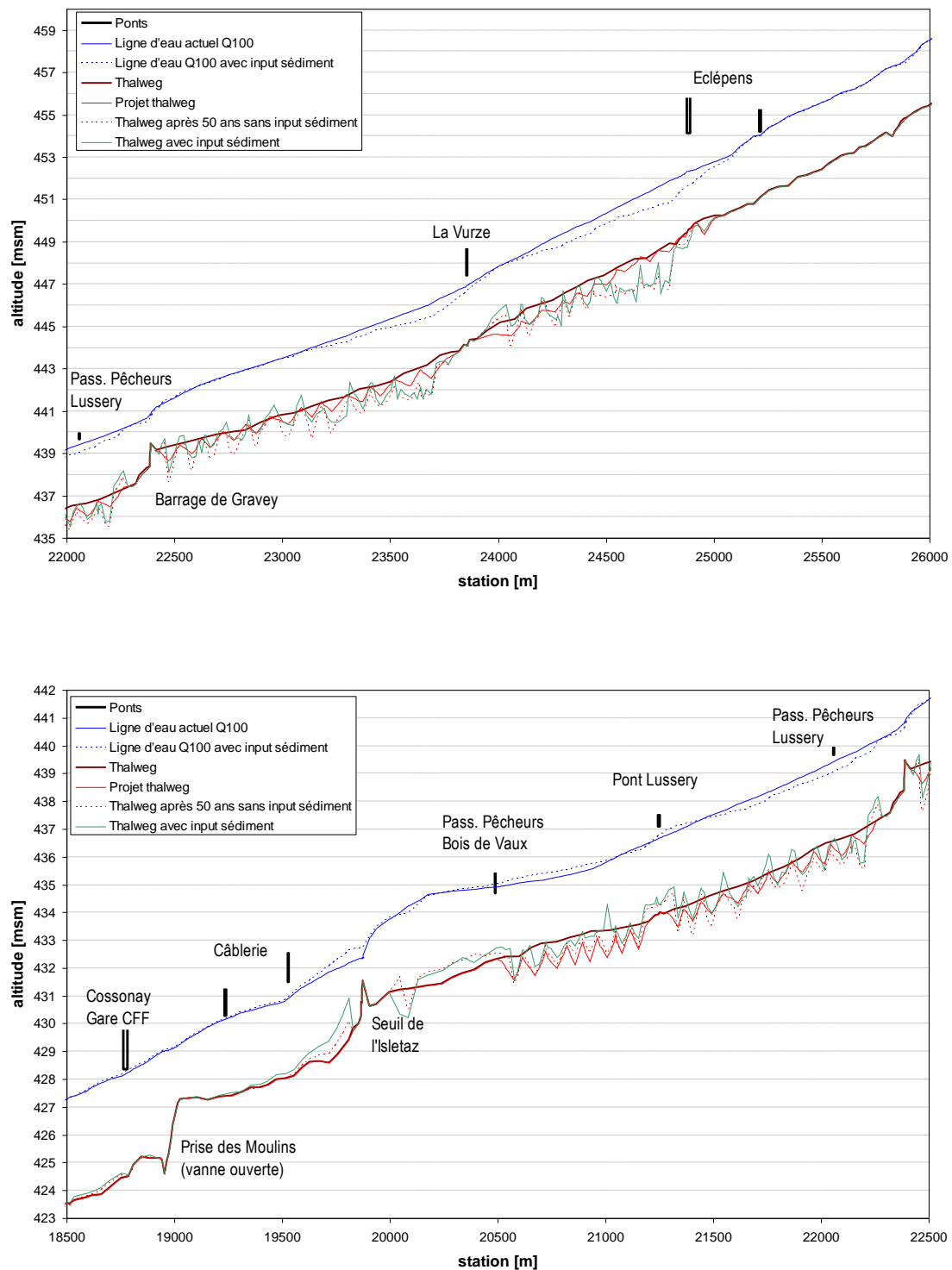


Figure 47 Résultats de la simulation numérique 1D de l'évolution morphologique sur 50 ans, avec input de sédiments depuis l'amont (mode dépôts)

La Figure 48 présente le niveau du thalweg du lit mineur et la ligne d'eau pour Q_{100} dans l'état actuel, l'état revitalisé tout de suite après la construction et finalement l'état revitalisé après 50 ans de crues consécutives. Les lignes d'eau de l'état revitalisé se situent bien en dessous des lignes actuelles, même après 50 ans de développements morphologiques sans aucune intervention humaine. Ceci confirme le postulat du gabarit stable et en équilibre morphologique sur le long terme.

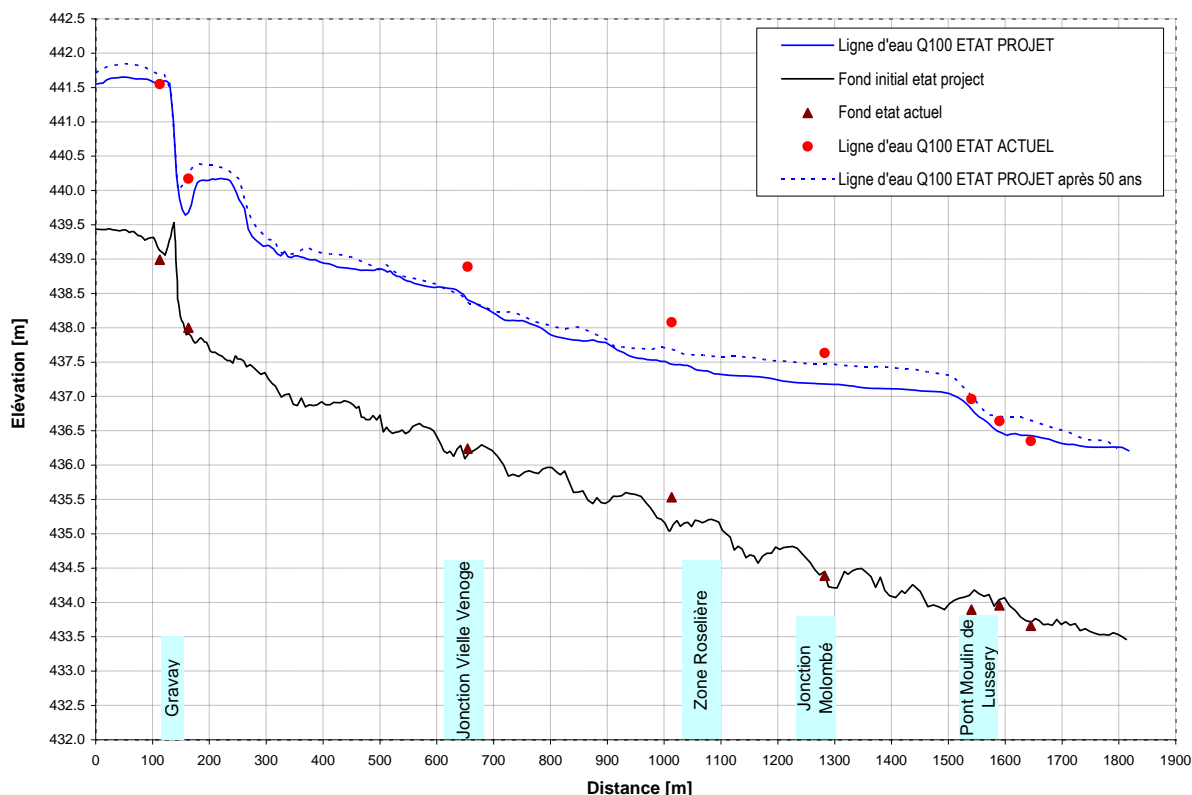


Figure 48 Comparaison des lignes d'eau pour Q_{100} sur le tronçon B-C pour l'état actuel et pour l'état revitalisé après 50 ans de développements morphologiques.

7.4.4 Vitesses d'écoulement

La Figure 49 donne une vue en plan de la distribution spatiale 2D des vitesses d'écoulement et des contraintes tractrices exercées par l'écoulement sur le fond et les berges de la Venoge revitalisée. La zone modélisée correspond au tronçon B-C.

Il s'avère que, sur les premières centaines de m depuis le barrage de Gravey, les vitesses et contraintes sont passablement supérieures aux valeurs simulées plus en aval de la zone revitalisée. Des vitesses moyennes de 3.5 à 4.5 m/s sont calculées, avec des contraintes allant jusqu'à 110-120 N/m^2 . Plus en aval, ces valeurs se réduisent à 2.5 à 3.0 m/s respectivement 40-50 N/m^2 , sauf pour les contraintes tractrices à l'extérieur des courbes du lit mineur, où l'écoulement « attaque » en quelque sorte les berges non-protégées du lit mineur afin de pénétrer dans le lit majeur. Ce processus est tout à fait naturel et contribue à la divagation et la formation de méandres.

A noter également que, sur les bords du lit majeur, les vitesses et contraintes sont plutôt modestes, avec des valeurs de vitesses en dessous de 1 m/s et des contraintes inférieures à 30-40 N/m^2 .

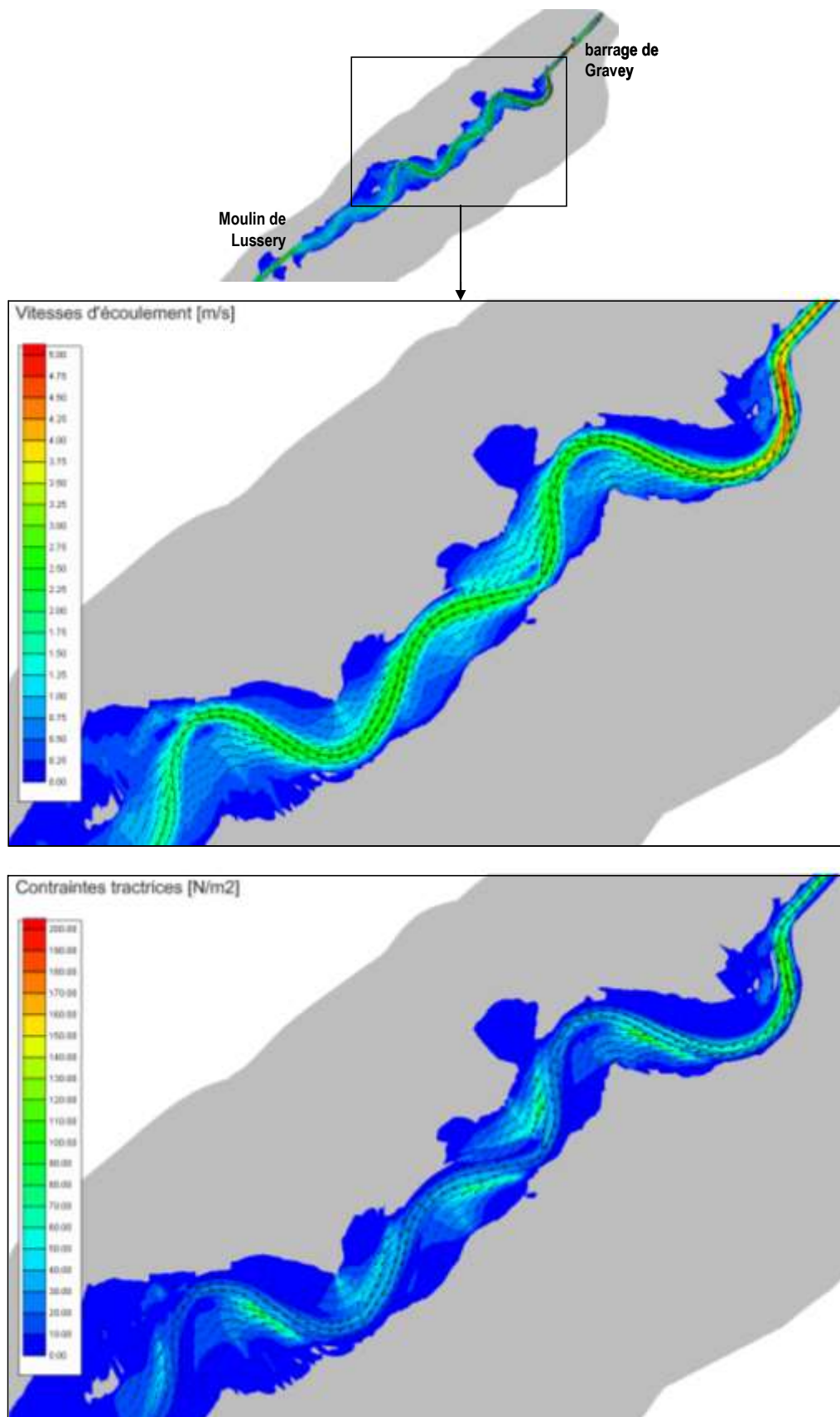


Figure 49 Vitesses d'écoulement et contraintes tractrices sur le fond et les berges du tronçon B-C pour $Q_{100} (= 87 \text{ m}^3/\text{s})$.

7.4.5 Conclusions sur le substrat

Basé sur les simulations numériques 1D et 2D de l'hydraulique et de la morphologie sur le long terme, il s'avère nécessaire de protéger le fond du futur lit, particulièrement le lit mineur, où d'importantes érosions peuvent se produire lors des crues.

En laissant le substrat naturel après excavation, l'érosion pourrait même être excessive si l'on se situe dans une couche sablo-limoneuse. Basé sur les résultats des sondages, néanmoins, l'érosion de cette couche tomberait relativement vite sur la couche dessous, faite de sables et de graviers, qui elle est beaucoup plus résistante.

Les calculs indiquent un diamètre stable de l'ordre de 2 à 3 cm, voir plus élevé dans le lit mineur juste en aval du barrage de Gravey. Même si un pavage de la couche de sables et de graviers va se produire au fil du temps, il serait bien de protéger le lit mineur en rajoutant davantage de matériaux grossiers, i.e. des graviers voir des galets par endroit.

Une attention particulière devra être portée à la zone revitalisée immédiatement en aval du barrage de Gravey, puisque l'érosion du futur lit mineur semble particulièrement importante dans le premier méandre.

7.5 Milieux annexes, connections, mise en réseau

Les milieux naturels présents dans la plaine à proximité de la Venoge sont conservés et leur lien avec la Venoge est renforcé. Les affluents sont connectés à la Venoge au niveau de leurs embouchures, tandis que la roselière de Bossaton et autres dépressions sont intégrées dans l'espace du cours d'eau (lit majeur).

En rive droite, entre la Venoge et le bief de Lussery, l'espace nécessaire à la réalisation du projet du SFFN (création de bassières) est rattaché au cours d'eau.

7.6 Zones de loisirs et de détente, cheminements

L'aménagement de zones de loisirs est envisagée le long du cours d'eau pour accueillir les promeneurs et le public. Ces zones engazonnées parsemées d'arbres isolés sont équipées de bancs et de tables. Elles sont placées en tenant compte des accès routier et/ou pédestre et des places de parking sont prévues si nécessaire. Le nombre et l'implantation de ces zones de loisirs sera défini en concertation avec les communes.

Les cheminements existants sont soit maintenus soit déplacés s'ils se trouvent dans l'emprise du futur lit de la Venoge. Entre Eclépens et Lussery, le projet ne modifie pas les possibilités de déplacements pour le trafic agricole, les cavaliers et les piétons.

7.7 Valeur biologique et paysagère

7.7.1 Valeur hydrobiologique et piscicole

Diversité du lit et des berges

L'augmentation très importante de la diversité du lit et des berges va se traduire par une augmentation de la capacité d'accueil tant pour la macrofaune benthique que pour le poisson. Les truites et les ombres trouveront des habitats (en termes de profondeur d'eau, vitesses d'écoulements et granulométrie) correspondant à leurs besoins, ceux-ci dépendant de la période de l'année ainsi que de leur taille. Les bancs de graviers présents dans le lit constitueront pour leur part des zones de frai pour les truites et les ombres qui font actuellement défaut sur le tronçon canalisé.

Qualité de l'eau

La qualité physico-chimique et biologique de l'eau de la Venoge entre la Sarraz et Lussery-Villars est bonne car les sources de pollution domestique sont faibles sur la partie amont du bassin versant. La pollution diffuse liée aux pratiques agricoles (engrais, produits phytosanitaires) peut toutefois affecter la faune aquatique (poissons et insectes aquatiques leur servant de nourriture). Le projet de revitalisation proposé permettra d'améliorer le pouvoir d'auto-épuration du cours d'eau, mais surtout il augmentera de manière très significative les bordures tampons entre la zone agricole intensive et le lit mineur. La végétation présente dans le lit majeur permettra de filtrer les apports diffus provenant des champs.

Ombrage

L'absence d'ombrage sur le tronçon canalisé de la Venoge entraîne un fort réchauffement de l'eau en été (radiation solaire) et les températures sont limites pour la survie des espèces sensibles telles que la truite et l'ombre, d'autant plus que la maladie rénale proliférative (MRP) est très présente. Il n'y a actuellement pas d'arbres sur les berges du cours d'eau et seuls quelques massifs boisés situés derrière les digues créent localement un ombrage très partiel du cours de la Venoge (environ 10% du linéaire du tronçon A-D).

La modification du tracé de la Venoge pour que celui-ci longe les zones boisées existantes, ainsi que la reconstitution d'un cordon boisé discontinu le long du cours d'eau (nouvelles plantations), vont permettre d'ombrager à terme de l'ordre du tiers du linéaire de la Venoge sur le tronçon A-D, soit environ 1'800 m. Cette évaluation ne prend en compte que les cordons boisés orientés correctement (l'orientation Est-Ouest est optimale) et situés le long du lit mineur. La couverture végétale devra présenter une hauteur de l'ordre de 12-15 m pour obtenir un écran maximal contre l'ensoleillement pendant les heures les plus chaudes compte tenu de l'angle du rayonnement solaire. Néanmoins, une végétation riveraine moins élevée mais en surplomb pourrait également offrir des perspectives d'ombrage.

Amplitude thermique

L'augmentation de l'ombrage sur le tronçon revitalisé va avoir pour conséquence une réduction de l'amplitude thermique de l'eau en période d'étiage estival de plusieurs degrés. Cette baisse de la température de l'eau va limiter l'expression de la maladie rénale proliférative et augmenter ainsi le taux de survie des truitelles au cours de leur premier été.

A titre de comparaison, une modélisation numérique sur l'Orbe à la Vallée de Joux a montré que la mise en place, sur un tronçon de 5 km, d'un couvert végétal dense réparti en 3 zones et totalisant entre 400 et 800 m de long permet d'abaisser significativement la température maximale de l'eau à l'étiage (de 25 °C à 22 °C). On se rapproche ainsi de l'optimum supérieur de température pour la truite et l'ombre (18-19 °C).

Des calculs numériques sont actuellement en cours permettant de définir le nombre, l'emplacement et les dimensions des îlots végétalisés nécessaires afin de pouvoir atteindre les objectifs de baisse de température.

Libre circulation du poisson

Le remplacement du seuil du Gravey par une rampe en enrochements d'une vingtaine de mètre de long (pente de l'ordre de 5%) permet de rétablir la libre circulation du poisson sur l'ensemble du tronçon A-D.

Les embouchures des affluents (Molombe, Criau) et du bief d'Eclépens sont également aménagées de manière à permettre la libre circulation du poisson et en particulier des truites.

Renouvellement du substrat, risque de colmatage du lit

Actuellement, le lit du canal est pavé par un substrat grossier et aucun banc de graviers ou autre dépôt de sédiments n'est présent.

Le futur lit mineur sera aménagé avec les matériaux graveleux qui sont présents dans les terrains et qui ont été mis en évidence dans les sondages géologiques de reconnaissance. Compte tenu de la granulométrie des matériaux et des apports limités depuis l'amont, la dynamique de renouvellement du substrat devrait être assez faible, mais suffisante pour éviter un risque de colmatage du lit.

L'effet de piégeage d'une partie des matériaux graveleux en amont de la rampe en enrochements qui remplacera le seuil de Gravey devrait n'être que temporaire. A terme (équilibre dynamique atteint), le transport solide se fera normalement sur le tronçon A-D.

Milieux aquatiques annexes

Les biefs de dérivation des eaux de la Venoge (bief d'Eclépens, bief de Lussery) sont conservés et un débit permanent y est maintenu.

Localement des petits milieux humides et des bassières seront aménagés dans le lit majeur. En fonction du substrat et de l'imperméabilisation ou non du fond de ces dépressions, certaines présenteront un caractère temporaire favorable à des espèces particulières d'amphibiens et d'invertébrés.

7.7.2 Biotopes riverains

Espace à disposition du cours d'eau et largeur des rives

Le projet prévoit globalement de doubler l'espace à disposition du cours d'eau afin que ce dernier puisse se diversifier. D'autre part, il permet d'obtenir une largeur des rives suffisante pour garantir la protection contre les crues, le maintien des fonctions écologiques et la biodiversité. L'espace à disposition permet également d'intégrer des espaces récréatifs pour le public ainsi que des cheminements et dessertes agricoles.

L'espace cours d'eau présenté sur les plans d'avant-projet correspond à une surface totale de 27 ha, soit une largeur moyenne sur le tronçon A-D de 60 m environ.

Seul le maintien des emprises actuelles au niveau des ponts et du seuil/prise d'eau du barrage du Gravey limite l'espace à disposition du cours d'eau sur environ 300 m de long, soit 6 % du tronçon A-D.

Diversité des milieux terrestres et de la végétation riveraine

Le projet permet d'augmenter fortement la diversité des milieux terrestres et de la végétation riveraine. Les différents milieux qui seront présents dans l'espace cours d'eau, ainsi que quelques exemples d'espèces inféodées, sont :

- rives boisées à pente 1:3 avec pied de berge minéral (extérieur de méandre):
espèces de futaie: *aune, saule blanc, érables, frêne, peupliers* – espèces arbustives: *noisetier, saules* ;
- dépôt graveleux et/ou sableux temporairement exondés (intérieur de méandre):
espèces pionnières arbustives: *saules* – herbacées: *roseau, laiches, alpiste roseau, salicaire, épilobes*;
- rives ouvertes à faible pente inondées plusieurs fois par année avec colonisation partielle par une végétation pionnière (lit majeur) : espèces pionnières arbustives: *saules* – herbacées: *roseau, massette, scirpes, iris, laiches, glycérie, véroniques, menthe aquatique, joncs* ;
- îlots boisés séparant le lit mineur du lit majeur
espèces de futaie et arbustives: *aune, tremble, frêne, saules* – herbacées : *laiches, prêles* ;
- prairie inondée que lors des crues extrêmes (talus du lit majeur)
espèces arbustives: *aubépines, chèvrefeuilles, viorne, troène, sureau, noisetier* - herbacées: *alpiste roseau, épilobes, scrophulaire, pâturins, canches, dactyle* ;
- bosquets / haies situés en retrait du lit mineur - espèces arbustives: *fusain, cornouiller, églantier, aubépines, prunellier, viorne, troène, sureau, noisetier*.

Type de milieu	Aménagement	Surface (m ²)	% de l'espace cours d'eau
Lit mineur	Localement enrochements en pied de berge	50'000	20
Cordon boisé riverain	Stabilisation natte de coco, ensemencement, boutures, plantations	30'000	10
Rives inondables avec végétation pionnière	Terrassements laissés bruts	140'000	52
Dépôts graveleux/sableux	Dépôts de graviers localement en fonction des risques d'érosion	10'000	4
Îlots boisés	Stabilisation natte de coco, ensemencement, boutures, plantations	5'000	2
Prairie	Ensemencement avec mélange grainier adapté à la station	30'000	10
Bosquets/haie	Ensemencement, plantations	5'000	2
TOTAL « Espace cours d'eau »		270'000	100

Tableau 11 Espace cours d'eau

Valeur pour la faune terrestre

De nombreuses espèces animales vont profiter de l'élargissement de l'espace cours d'eau et de la diversification des habitats qui en résultera. Parmi elles, on peut mentionner :

- Le *castor* ; cette espèce en danger d'extinction en Suisse est présente dans la Venoge en amont et en aval du secteur d'étude. Le tronçon à revitaliser figure à ce titre en 1ère priorité au niveau du bassin Lémanique et vallée du Rhône et le projet permet d'atteindre les objectifs fixés (Protection, encouragement et mise en réseau des différentes localités du castor).
- La renaturation du lit et le développement de milieux liés au charriage et aux inondations profiteront grandement aux odonates (libellules au sens large), et tout particulièrement à des espèces fortement menacées en Suisse. Le *gomphe à crochets*, le *gomphe vulgaire* sont typiques des rivières à zones nues et s'installeront dans les tronçons faiblement végétalisés. Parmi les autres espèces de rives végétalisées, mentionnons les *calopteryx (vierge et splendide)*, l'*agrion à larges pattes* et le *cordulégastre annelé*. Les milieux marécageux (roselières, jonchaies, cariçaies) créés dans le lit majeur seront des sites très favorables pour l'*aeshne printannière*, l'*agrion nain* et l'*agrion joli*. En dernier lieu, le plan d'eau alimenté par la nappe d'accompagnement de la Venoge pourra favoriser l'installation d'espèces comme le *gomphe joli* et la *leucorrhine à front blanc*.
- L'avifaune inféodée aux milieux riverains est l'une des plus menacée au niveau national et sera fortement favorisée par ce projet. Citons comme espèces phare liées aux dépôts alluvionnaires des rivières le *petit gravelot* et le *chevalier guignette*. De plus, si des parois sableuses venaient à se former, l'*hirondelle de rivage* pourrait y nicher. Plusieurs espèces typiques des cours d'eau aux berges naturelles viendront se reproduire : *martin pêcheur d'Europe*, *cincle plongeur* et éventuellement la *bergeronnette des ruisseaux*. Les secteurs à végétation marécageuse, herbacée et ligneuse, offriront des sites de reproduction pour le *pouillot fitis*, le *blongios nain* et les *roussettes*, alors que les boisements riverains accueilleront entre autre le *loriot d'Europe* et la *mésange boréale*. Finalement, signalons qu'une telle rivière favoriserait le *faucon hobereau* et

offrirait des sites d'escale de grande valeur pour les oiseaux migrateurs, passereaux et limicoles en particulier.

- Les amphibiens, comme par exemple les *grenouilles rousse et agile*, le *crapaud commun*, les *tritons alpestre et palmé* trouveront dans le lit majeur des zones humides et des mouilles pour leur reproduction. Les milieux alluviaux comprenant des milieux aquatiques temporaires seront également potentiellement favorables à des espèces fortement menacées telles que le *crapaud calamite*, le *sonneur à ventre jaune* ou le *crapaud accoucheur*.
- Les parties bien exposées du lit majeur et les abris dans la berge (gros blocs, rochers) seront favorables aux reptiles. La *couleuvre à collier* est présente dans la région (données CSCF); plusieurs espèces de lézards (*lézards agile, vivipare et des murailles*), l'*orvet*, la *coronelle* pourraient également profiter de cette revitalisation. Une réintroduction de *lézard vert*, présent dans la zone de l'embouchure de la Venoge, serait à étudier.
- L'aménagement de rives diversifiées et la plantation d'un cordon boisé discontinu le long de la Venoge constitueront un habitat de qualité pour les micromammifères et les mustélidés. De plus le cours d'eau revitalisé représentera pour la grande faune (*cerf, chevreuil, sanglier*) un corridor de déplacements et d'échanges entre les différents massifs boisés situés de part et d'autre de la plaine.

7.8 Terrassements

7.8.1 Volumes

Basé sur la topographie de la Venoge revitalisée, les excavations et remblayages des terrassements ont été calculés avec précision dans un environnement SIG. Le MNT après revitalisation est soustrait du MNT actuel pour donner les épaisseurs d'excavation et de remblayage (Figure 50). Les volumes par tronçon de revitalisation (A-B, B-C, C-D) sont donnés à la Figure 51. Le concept de revitalisation prévoit un lit majeur de la Venoge bien plus large que le canal existant, expliquant le bilan global de 270'000 m³ de matériaux à évacuer.

Le bilan des matériaux par tronçon montre un excédent de matériaux pour tous les tronçons. A titre d'exemple, le tronçon B-C possède un excédent de matériaux de l'ordre de 60'000 m³. Ces matériaux seraient à évacuer et à mettre en décharge, ce qui aura une influence significative sur les coûts des travaux.

Ainsi, l'étude de variantes d'évacuation de ces matériaux est actuellement en cours et fera l'objet d'un rapport spécifique.

Entre autre, un rehaussement des terrains agricoles pourrait être envisagé. Un premier contact avec les propriétaires privés (agriculteurs) et industriels en rive gauche du tronçon B-C a démontré que cette solution n'est a priori pas à exclure dans la suite des études, mais qu'un effort particulier devra être fait pour démontrer la faisabilité technique et le taux de réussite d'une telle opération.

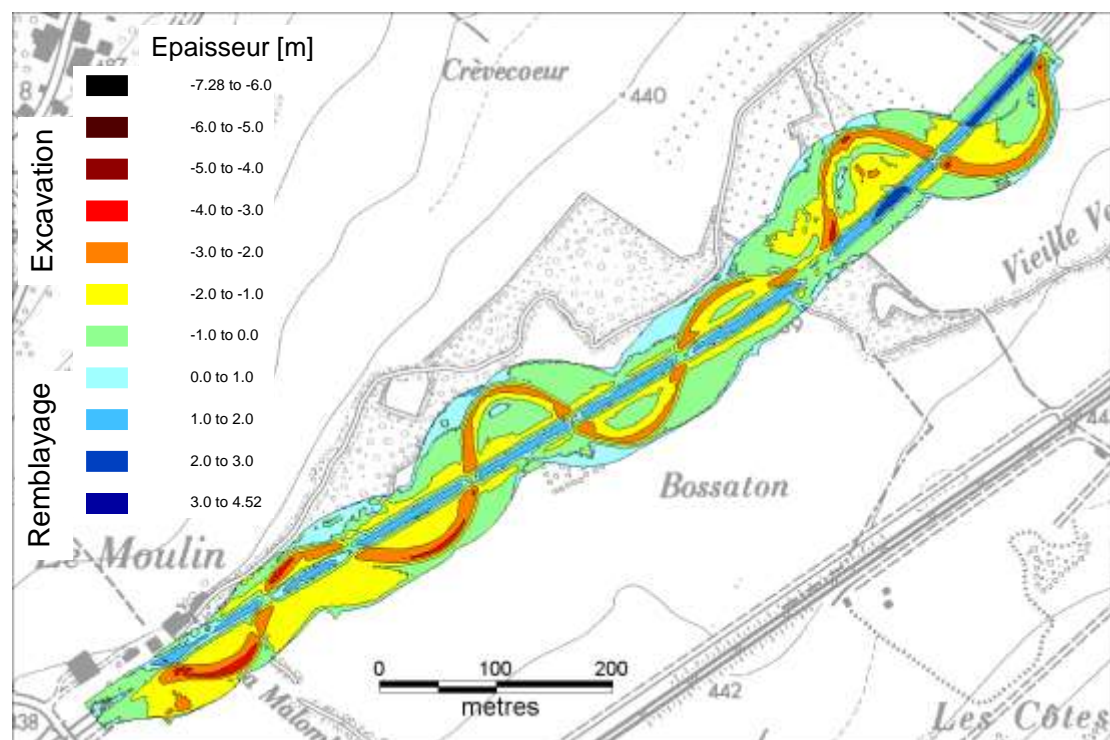


Figure 50 : Remblayage et excavation dans la zone de revitalisation de Lussery-Villars

Bilan local des matériaux

1.	surface [m ²]	prof. moy. [m]	volume [m ³]
excavation	62116	1.97	122490
remblayage	14558	1.29	18790
2.	surface [m ²]	prof. moy. [m]	volume [m ³]
excavation	74859	1.28	95640
remblayage	22007	0.94	20620
3.	surface [m ²]	prof. moy. [m]	volume [m ³]
excavation	61883	1.13	70060
remblayage	16901	0.69	11610
4.	surface [m ²]	prof. moy. [m]	volume [m ³]
excavation	42664	1.03	43760
remblayage	16236	0.68	11086
différence en m ³ à évacuer			270'000

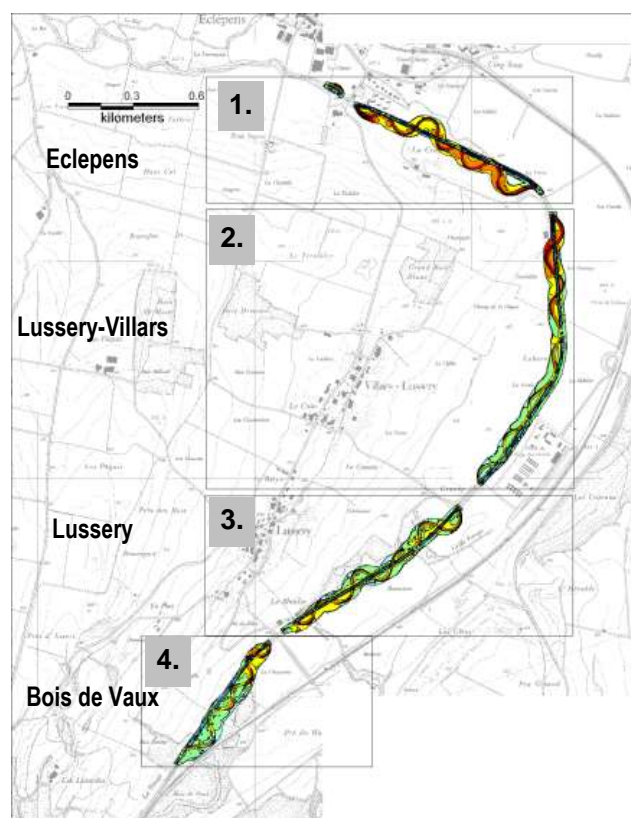


Figure 51 : Bilan local des matériaux d'Eclépens à Lussery-Villars

7.9 Planification des travaux

La planification des travaux est illustrée à l'Annexe 15. Les accès et installations de chantier (Z1, Z2 et Z3) ont été présentés à la Figure 36. Une piste de chantier devra être réalisée en aval du pont d'Eclépens, en rive droite. Les autres installations de chantier sont accessibles via les routes existantes.

L'avancement des travaux est prévu de l'aval vers l'amont. Ceci est souhaitable afin d'éviter des déplacements importants de matériaux de fond mis en place lors d'une crue en phase de chantier. Ainsi, en procédant de l'amont vers l'aval, des mouvements morphologiques en amont pourraient gêner le chantier en aval.

Les travaux seront effectués par tronçons d'environ 300 m. Ceci permet aux machines de chantier de faire des allers et retour entre la mise en place et le stockage provisoire des matériaux, en utilisant un pont provisoire à travers la Venoge. Le pont provisoire est déplacé d'un tronçon à l'autre. En fonction de la longueur des méandres, ceci correspond à un ou deux méandres par tronçon. Chaque fois le tronçon terminé, le tronçon juste en amont est entamé.

Les étapes majeures suivantes peuvent être distinguées par tronçon :

1. Excavation du lit majeur en rive droite de la Venoge actuelle, en utilisant un chemin d'évacuation longeant le lit actuel.
2. Excavation d'une partie du lit mineur en rive droite, en stockant les matériaux entre les lits mineur actuel et futur. Une protection en enrochement peut éventuellement être mis en place dans la partie extérieure du méandre du nouveau lit mineur.
3. Le nouveau méandre du lit mineur est connecté au nouveau lit mineur du tronçon aval. L'eau remonte maintenant dans le nouveau lit mineur.
4. Le nouveau méandre du lit mineur est connecté à l'ancien lit mineur du tronçon amont. L'eau passe localement dans deux lits mineurs à la fois.
5. L'ancien lit mineur est comblé au fur et à mesure de l'amont vers l'aval.
6. Excavation du lit majeur en rive gauche et réutilisation immédiate des matériaux pour combler l'ancien lit mineur à sec.
7. Finition des enrochements et îlots végétalisés nécessaires.

7.10 Entretien du nouveau gabarit

L'entretien du nouveau corridor Venoge consistera notamment des aspects suivants :

1. Fauchage annuel des berges du lit majeur en cas de développement excessif de la végétation.
2. Nettoyage annuel des bancs de gravier et du fond du lit majeur en général en cas de développement excessif de la végétation.
3. Ajustement éventuel du fond des lits mineurs et/ou majeurs suite à des développements morphologiques inacceptables en vu des objectifs de protection locaux (mise en danger de biens et/ou personnes). A prévoir seulement suite à un événement extrême, i.e. tous les 10-20 ans.
4. Suite à d'importants remaniements morphologiques, ajustement éventuel d'une partie très locale du lit mineur en été afin de forcer l'écoulement d'étiage à traverser les zones d'ombrage mis en place. A prévoir tous les 1-3 ans et de manière très ponctuelle et locale.

La responsabilité de l'entretien du nouveau gabarit n'est pas définie à ce jour. A noter également qu'une partie du lit majeur pourrait être classifiée comme Surface Agricole Utile (SAU), offrant la possibilité aux agriculteurs de toucher des subventions pour l'entretien.

7.11 Estimation des coûts

L'estimation des coûts tient compte de tous les aspects techniques, mais n'inclut pas les frais des prestations de géomètres et d'ingénieur, ni les éventuels frais d'acquisition de terrains.

Le Tableau 12 montre que le coût total atteigne une valeur de l'ordre de 4'000 CHF par m linéaire. Environ 55 % du coût total est utilisé pour le transport et les taxes de mise en décharge des matériaux d'excavation excédentaires. Comme mentionné auparavant, ceci souligne la nécessité d'étudier des solutions alternatives pour ces matériaux.

Devis estimatif global - Sans frais d'achat de terrains

		Tronçon A-D - Longueur 4280 m		
Désignation	Unité	Quantité	Prix unit.	Somme
Installations de chantier	gl	3	50'000.00	150'000.00
Aménagement de pistes de chantier	m	3900	50.00	195'000.00
Déviations chemin agricole (largeur 3 m, yc. drainage)	m	280	450.00	126'000.00
Déviations canalisations (gaz)	m	750	180.00	135'000.00
Abattage d'arbres	m ²	4000	10.00	40'000.00
Déviations provisoires cours d'eau, ponts provisoires	gl	3	100'000.00	300'000.00
Excavation, yc mise en dépôt sur place	m ³	331950	5.00	1'659'750.00
Evacuation des matériaux à la décharge	m ³	273844	10.00	2'738'440.00
Taxes de décharge	m ³	273844	28.00	7'667'632.00
Remblayage (sols peu graveleux, yc. stockage et reprise)	m ³	41106	10.00	411'060.00
Compactage des matériaux	m ³	41106	5.00	205'530.00
Mise en place de gravier au fond du lit majeur	m ³	21000	5.00	105'000.00
Gravier récupéré (yc. stockage)	m ³	17000	5.00	85'000.00
Fourniture gravier	m ³	4000	60.00	240'000.00
Fourniture et mise en place d'enrochements (5 t/m)	m	4000	500.00	2'000'000.00
Rampe en enrochements (modification seuil de Gravey)	gl	1	150'000.00	150'000.00
Fourniture et pose nattes de coco	m ²	20000	15.00	300'000.00
Ensemencement bord du cours d'eau	m ²	20000	5.00	100'000.00
Ensemencement talus	m ²	60000	5.00	300'000.00
Plantations cordons boisés, plants forestiers (1 plant/m ²)	p	35000	8.00	280'000.00
Plantations bosquets, plants forestiers (1 plant/m ²)	p	10000	8.00	80'000.00
Bouturage (4 plants/mètre)	p	10000	6.00	60'000.00
Espace loisirs / détente + parking	p	3	30'000.00	90'000.00
TOTAL		17'418'412.00		
		Coût au mètre linéaire : 4'069.72		
Entretien des berges et des aménagements détente/loisirs		Frais, CHF par année :		18'000.00

Tableau12 Estimation des coûts des travaux A-D

7.12 Adaptation et optimisation de l'impact foncier

Suite à la première version d'avant-projet de revitalisation présentée ci-dessus, un contact a été pris avec les propriétaires des terrains le long du tronçon B-C afin d'avoir une interaction permettant d'optimiser l'utilisation de l'espace Venoge et l'occupation des terrains agricoles et industriels.

Ces discussions ne sont pas terminées à ce jour, mais ont néanmoins permis de procéder à une première adaptation du tracé de la Venoge entre les points A' et C du tronçon d'étude. Le point A' correspond ici à la frontière entre les communes d'Eclépens et de Daillens, juste en amont de La Poste.

Le long du tronçon A'-B, le tracé initial a été déplacé vers la rive gauche, afin de mieux utiliser les terrains entre la Venoge actuelle et la zone industrielle à cet endroit. En aval du barrage de Gravey, le terrain juste en aval de La Poste en rive gauche a été mieux occupé puisque La Poste serait prêt à entrer en matière sur l'utilisation de ce terrain pour la revitalisation.

Dans la partie plus en aval du tronçon B-C, par contre, le tracé de la future Venoge a été légèrement déplacé vers la rive droite. Ceci permet de minimiser l'occupation des terrains agricoles en rive gauche à une bande de l'ordre de 10-15 m en moyenne.

La dernière version du tracé et de l'occupation des terrains de la revitalisation de la Venoge se trouve en Annexe 12. Néanmoins, il convient de mentionner que la phase d'optimisation du tracé n'est pas encore terminée et donc que d'autres adaptations pourraient voir le jour.

7.13 Bilan final

Suite aux différents aspects primordiaux de l'avant-projet, un bilan sommaire a été dressé. Ce bilan fournit une idée de l'impact global potentiel du projet de revitalisation sur l'environnement naturel et construit entre Eclépens et Lussery-Villars.

Au niveau **socio-économique**, les surfaces privées touchées par le projet ont été minimisées suite à un contact préliminaire avec une partie des propriétaires privés et industriels. Ainsi, seulement un tiers des terrains nouvellement occupés par la Venoge seront pris sur l'agriculture, pour une surface totale de l'ordre de 9 ha. De plus, le projet respecte entièrement le périmètre N°2 du PAC Venoge.

Plusieurs zones de loisirs pourraient être développées autour de la future Venoge, permettant des pratiques telles que les promenades à pied ou à cheval, des places de jeu pour enfants, des places pour barbecues en été, la pêche, des parcours VITA, etc. Le cadre s'y prêtera particulièrement, de par la connectivité de zones d'ombrage et le caractère « naturel » des environs par rapport à l'état actuel.

Finalement, des aspects historiques et/ou fonctionnels autour de la Venoge à Eclépens-Lussery-Villars, comme par exemple l'exploitation du bief de Lussery pour la pisciculture ou encore la passerelle des pêcheurs et le barrage de Gravey, ont été préservés dans leur quasi-intégralité.

Au niveau **environnemental**, l'ombrage en été, l'augmentation considérable de l'espace cours d'eau et la future connectivité biologique permettront d'améliorer substantiellement la qualité de vie aquatique et la diversité des milieux riverains de la Venoge. De plus, en aménagement le barrage de Gravey avec une rampe franchissable, la migration piscicole deviendra possible jusqu'à La Sarraz.

Au niveau des conditions d'étiage en été, la future Venoge revitalisée offrira des profondeurs d'eau beaucoup plus importantes ainsi qu'une diversité du lit mineur bien développée.

Au niveau de la **sécurité**, la revitalisation permettra d'offrir au moins la même sécurité qu'aujourd'hui, voir une amélioration potentiellement substantielle sur certains secteurs, notamment la zone industrielle en amont du barrage du Gravey. Cette sécurité restera en vigueur sur le long terme, même en cas d'évolutions morphologiques soudaines et significatives suite à un événement extrême.

De plus, les futurs gabarits des lits mineur et majeur et les développements morphologiques sont conçus de manière à minimiser les risques d'embâcles, tels qu'une érosion locale des berges par exemple. Dans le même sens, la revitalisation n'influera pas sur la sécurité en aval (notamment vers Cossonay), même sur le long terme.

Finalement, l'**entretien** nécessaire serait limité, i.e. le suivi des développements morphologiques avec correction éventuelle suite à des événements extrêmes, et l'entretien de la végétation le long des berges et sur les îlots végétalisés.

8 Conclusions

8.1 Phasage de la suite du projet

La suite du projet de revitalisation se dessine a priori de la manière suivante :

- Interaction avec les propriétaires des parcelles, gestion de l'utilisation du sol, choix final du tracé et détermination des pertes de surfaces.
- Choix de l'affectation du futur corridor et règlement des aspects fonciers Venoge (domaine public, surface agricole utile, etc.).
- Optimisation hydraulique détaillée de l'entrée amont de la zone revitalisée.
- Choix définitif du type de protection des lits mineurs et majeurs (végétation, caissons, enrochements, herbacées, etc.).
- Campagne de mesures de températures d'eau en été 2007 entre Eclépens et Lussery-Villars.
- Modélisation de l'influence de zones d'ombrage sur la température d'eau en été et dimensionnement et emplacement des zones d'ombrage et du type d'arbustes à mettre en place.
- Etude de variantes pour le dépôt des matériaux d'excavation et choix de la variante optimale, telle que par exemple un rehaussement des terrains avoisinants.
- Définition des procédures applicables pour le projet et de la gestion des matériaux.
- Dossier de mise à l'enquête publique (rapport technique, dessins, adaptation cadastrales)
- Communication / présentation du projet aux organisations et instances concernées en vue de la mise à l'enquête.

8.2 Conclusions

Ce rapport présente l'avant-projet de revitalisation de la Venoge entre Eclépens et Lussery-Villars. Cette revitalisation fait partie intégrante du PAC Venoge, loi votée et acceptée par le peuple vaudois en 1990, et est conforme l'OACE (1994) et les recommandations fédérales dans la matière.

L'avant-projet s'est basé premièrement sur l'ensemble des données et études à disposition sur la Venoge dans ce secteur, notamment en ce qui concerne le bassin versant, l'hydraulique, l'hydrologie et la topographie. D'autres domaines ont nécessités de nouvelles investigations, tel que par exemple le transport solide ou encore le type de matériaux au bord de la Venoge.

Plus en détail, la revitalisation concerne la Venoge depuis le pont amont d'Eclépens jusqu'en aval du Bois de Vaux, mais a été subdivisée en 3 tronçons clés : amont Eclépens - Gravey (A-B), Gravey - Moulin de Lussery (B-C) et Moulin de Lussery - aval Bois-de-Vaux (C-D).

Le concept de revitalisation proposé s'est profondément inspiré des bases géomorphologiques propres à la Venoge dans son état naturel et à sa vallée, ainsi que des objectifs majeurs à atteindre, i.e. un ombrage adéquat en été pour baisser la température d'eau et une augmentation de l'espace cours d'eau pour améliorer l'environnement, actuellement purement artificiel et canalisé.

Néanmoins, tel qu'énoncé au § 4, la revitalisation proposée constitue une variante purement nécessaire et non pas une variante souhaitée pour atteindre ces objectifs écologiques. Autrement dit, d'importantes concessions ont été faites d'office afin de préserver les bases du développement durable, c'est-à-dire une harmonie entre les aspects socio-économiques, environnementaux et sécuritaires.

Ainsi, l'impact foncier du projet a été limité au strict minimum nécessaire, tandis que des solutions sont en cours d'étude pour minimiser les coûts globaux du projet. De plus, la sécurité fait partie intégrante de ce projet et sera au minimum au niveau de la sécurité actuelle dans le secteur. Egalement, la revitalisation offre des opportunités très intéressantes pour l'augmentation de la quantité et qualité de vie sociale autour du cours d'eau (loisirs, paysage, etc).

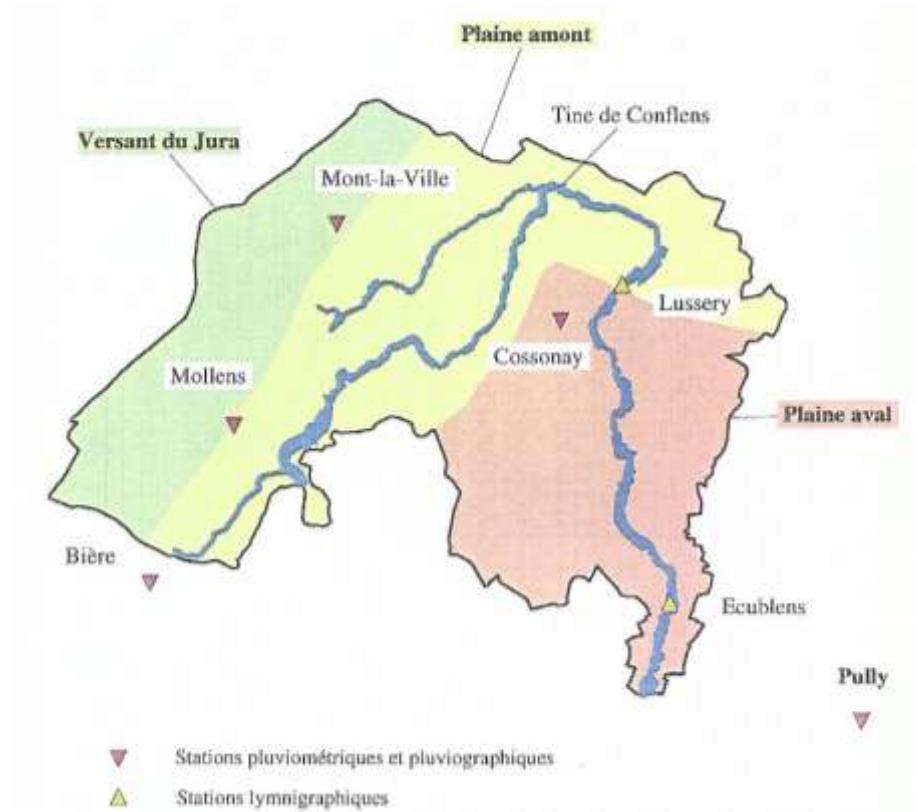
Finalement, des aspects historiques et/ou fonctionnels, comme par exemple l'exploitation du bief de Lussery pour l'élevage de juvéniles ou encore la passerelle des pêcheurs et le barrage de Gravey, ont été préservés dans leur quasi-intégralité.

En guise de conclusion, il s'avère indéniablement que le présent projet a tous les atouts pour améliorer notre environnement naturel et construit tout en respectant les bases du développement durable. Rendre ainsi à la Venoge une partie de son gabarit et de ses caractéristiques historiques constitue en même temps un renchérissement significatif du patrimoine de la région.

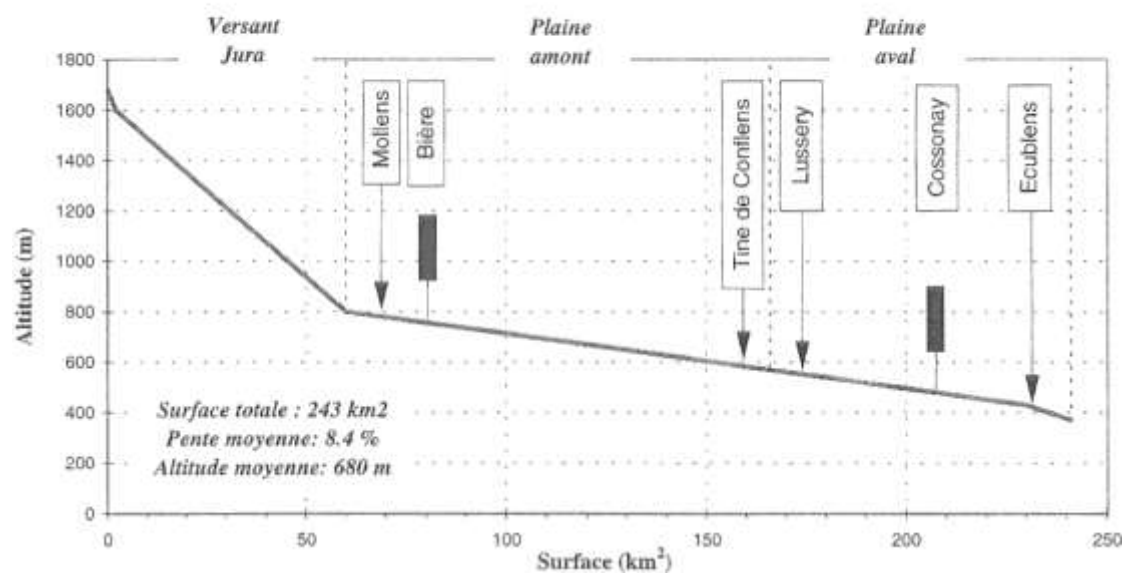
9 References

- Beck, J. (2006), Streambank Erosion Hazard Mapping: Concepts, Methodology and Application on the Venoge River (Switzerland), PhD ENAC-EPFL, Lausanne.
- Brice, J.C. (1983), Planform Properties of Meandering Rivers, River Meandering, Proceedings of the Conference Rivers 83, New Orleans, Louisiana, pp. 1-15.
- Chang, H.H. (1988), *Fluvial Processes in River Engineering*, John Wiley and Sons, Inc.
- Hey, R. (1997), Stable River Morphology, in Colin R. Thorne; Richard D. Hey & Malcolm D. Newson, ed., 'Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management', John Wiley and Sons Ltd.
- Julien, P.Y. (2002), *River Mechanics*, Cambridge University Press.
- Lance, J.-M. & Consuegra, D. (1997), 'Bassin Versant de la Venoge. Etude des risques liés aux inondations. Etude Hydrologique.', Technical report, HYDRAM/EPFL..
- Lance, J.-M.; Thielen, R. & Consuegra, D. (1997a), 'Bassin Versant de la Venoge. Etude des risques liés aux inondations.', Technical report, HYDRAM/EPFL..
- Lance, J.-M.; Thielen, R. & Consuegra, D. (1997b), 'Bassin Versant de la Venoge. Etude des risques liés aux inondations. Dossier de cartes.', Technical report, HYDRAM/EPFL..
- Lane, E. (1955), 'The importance of fluvial geomorphology in hydraulic engineering', *Proceedings ASCE* 81, paper 745, 1-17.
- Leopold, L.B. & Maddock, T. (1957), 'River channel patterns-braided, meandering and straight', *US Geological Survey Prof. Paper 282 B*, p39-85.
- Ohio Department of Natural Resources (ODNR) (2005), 'STREAM Modules: Spreadsheet Tools for River Evaluation, Assessment, and Monitoring', Internet.
- U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (2002), 'HEC-RAS: River Analysis System, Hydraulic Reference Manual, Version 3.1'.
- Williams, G.P. (1986), 'River Meanders and Channel Size', *Journal of Hydrology* **88**, 147-164.
- Yalin M.S. & Da Silva, F. (2001), *Fluvial Processes*, IAHR monograph, A.A. Balkema, The Netherlands.

Annexe 1 Bassin versant de la Venoge

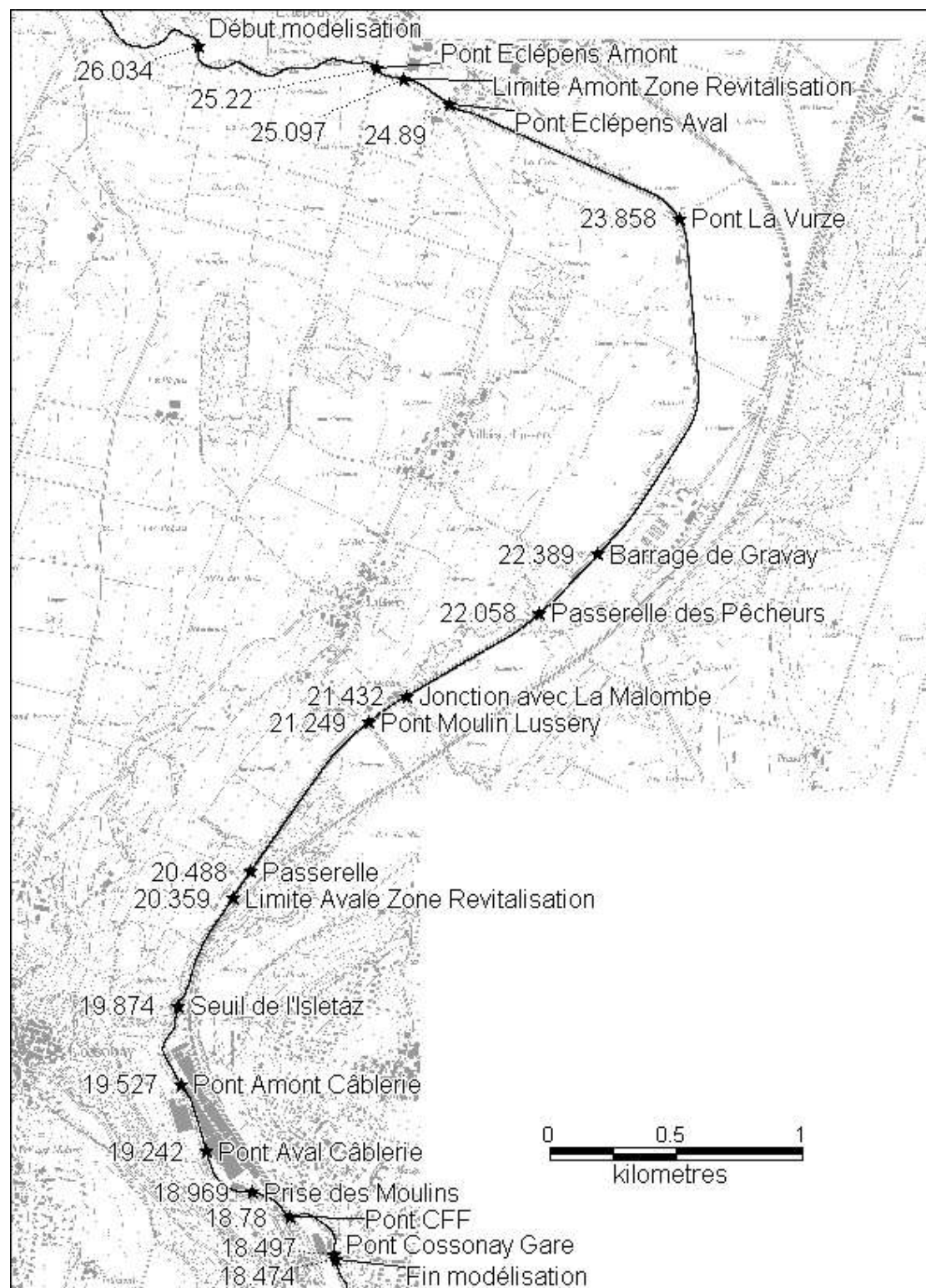


Courbe hypsométrique du bassin versant

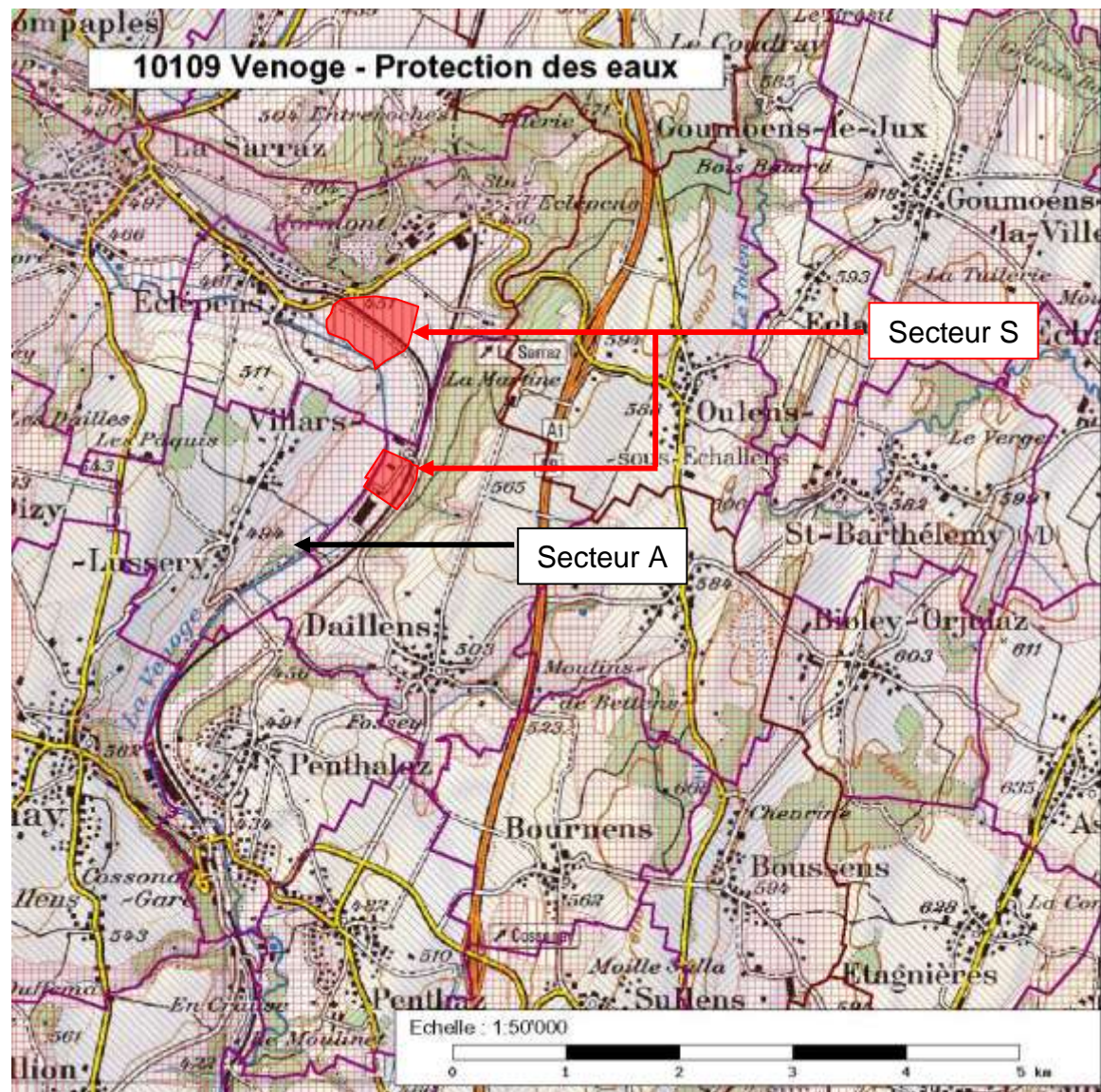


Source : HYDRAM – EPFL (Lance et Consuegra, 1997)

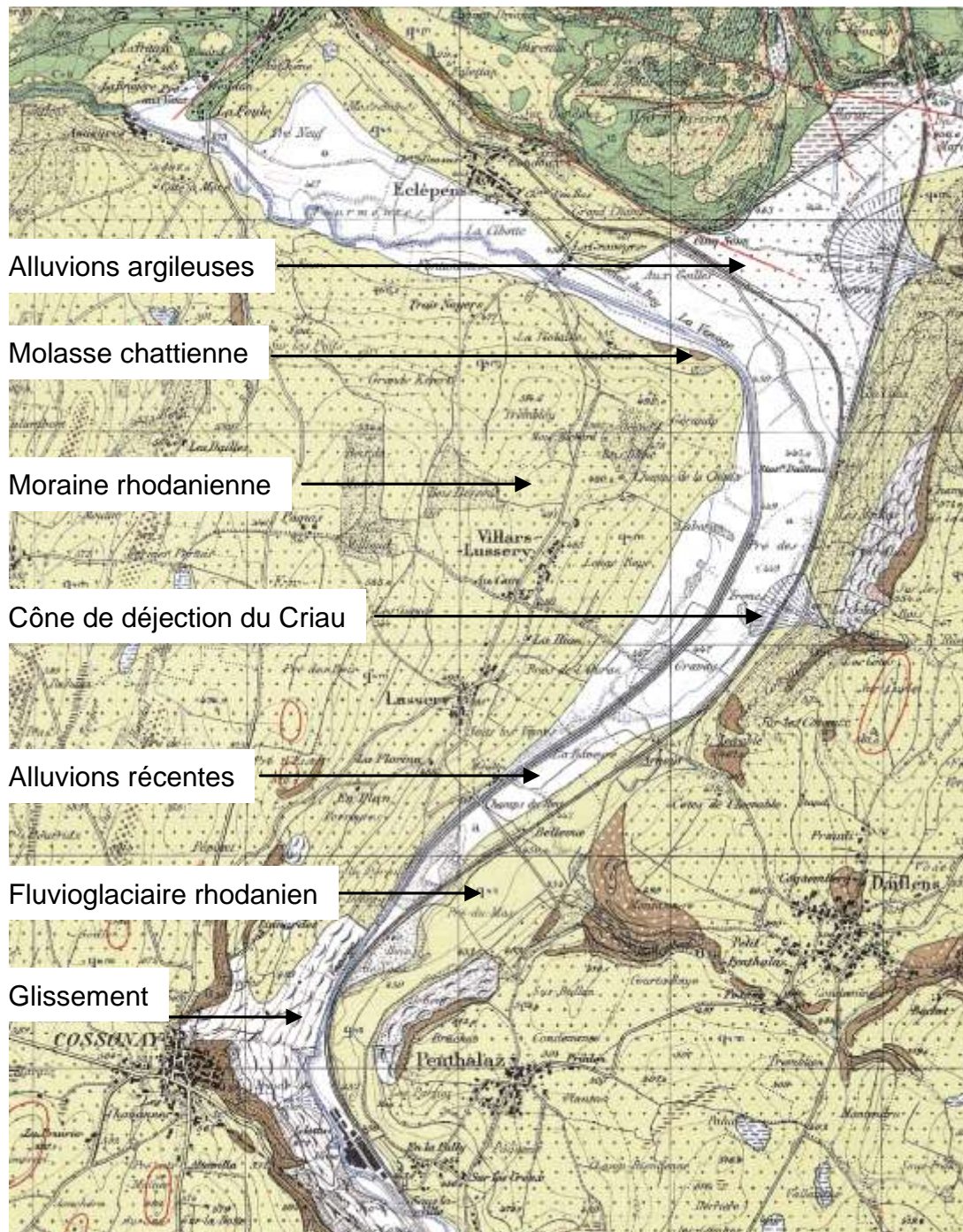
Annexe 2 Kilométrages de la zone sous étude



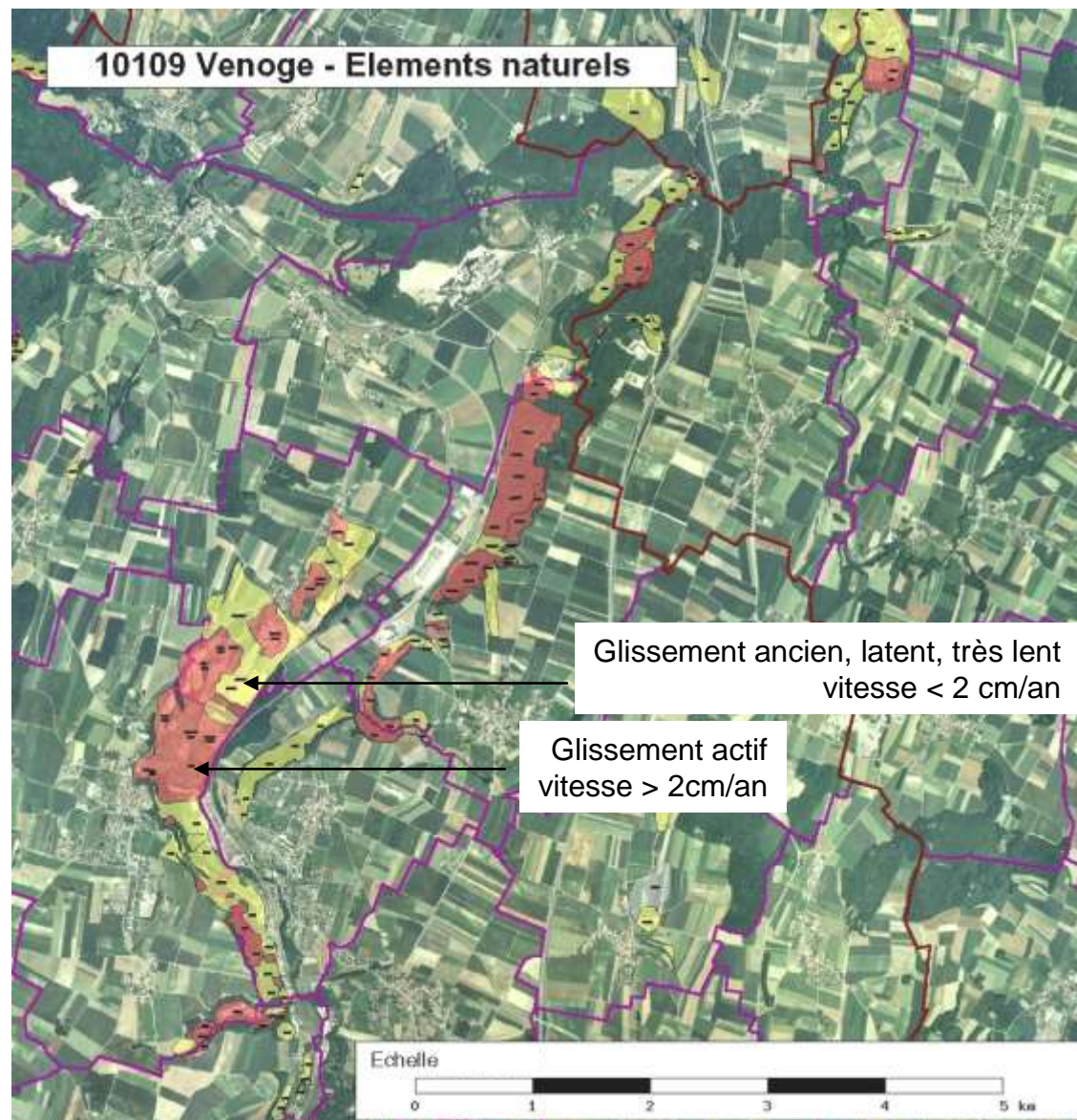
Annexe 3 Protection des eaux



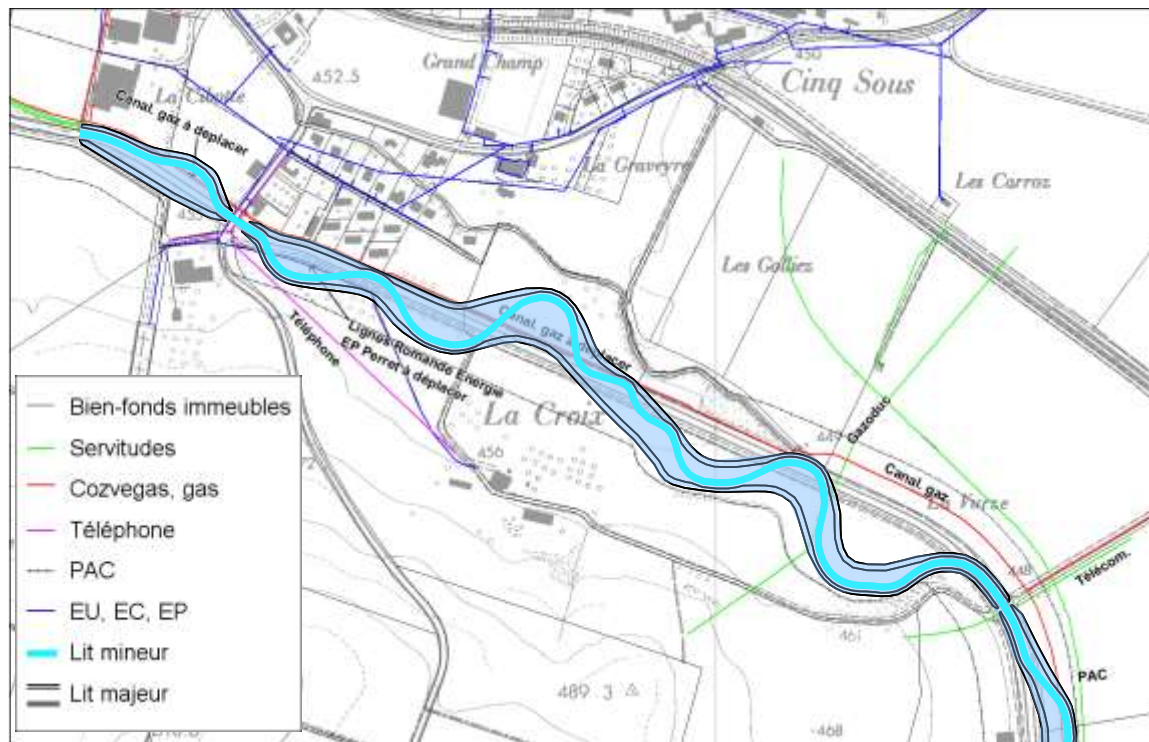
Annexe 4 Carte géologique

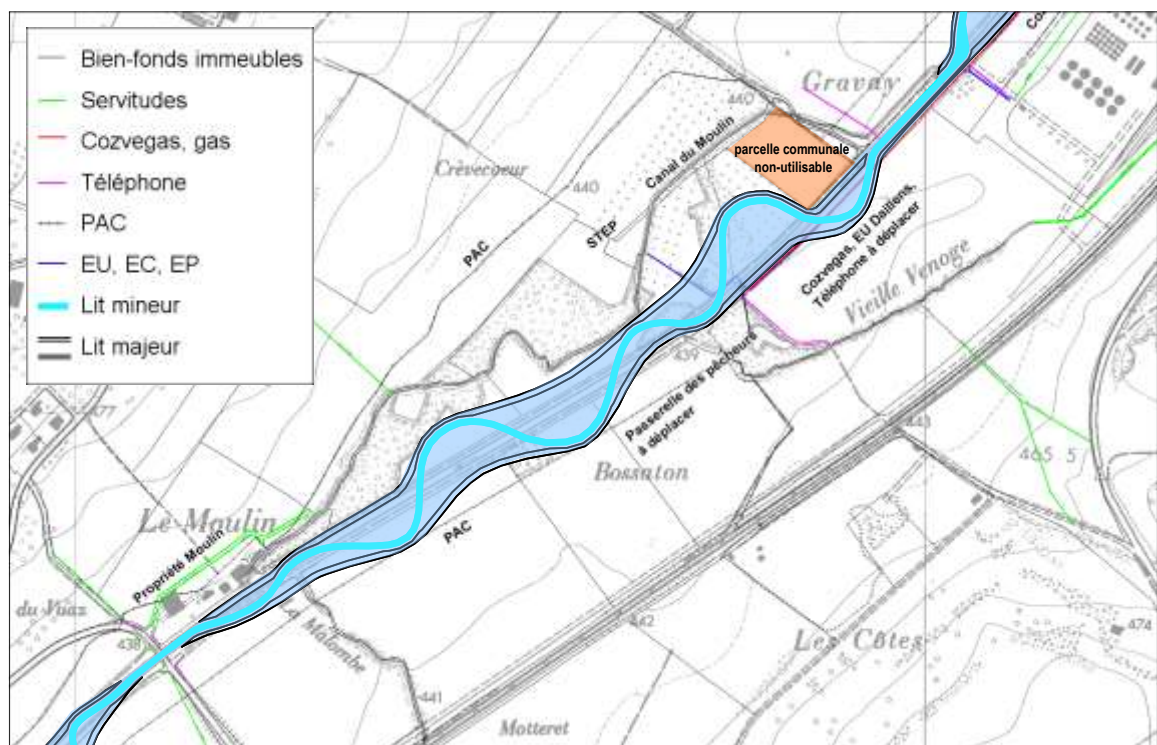
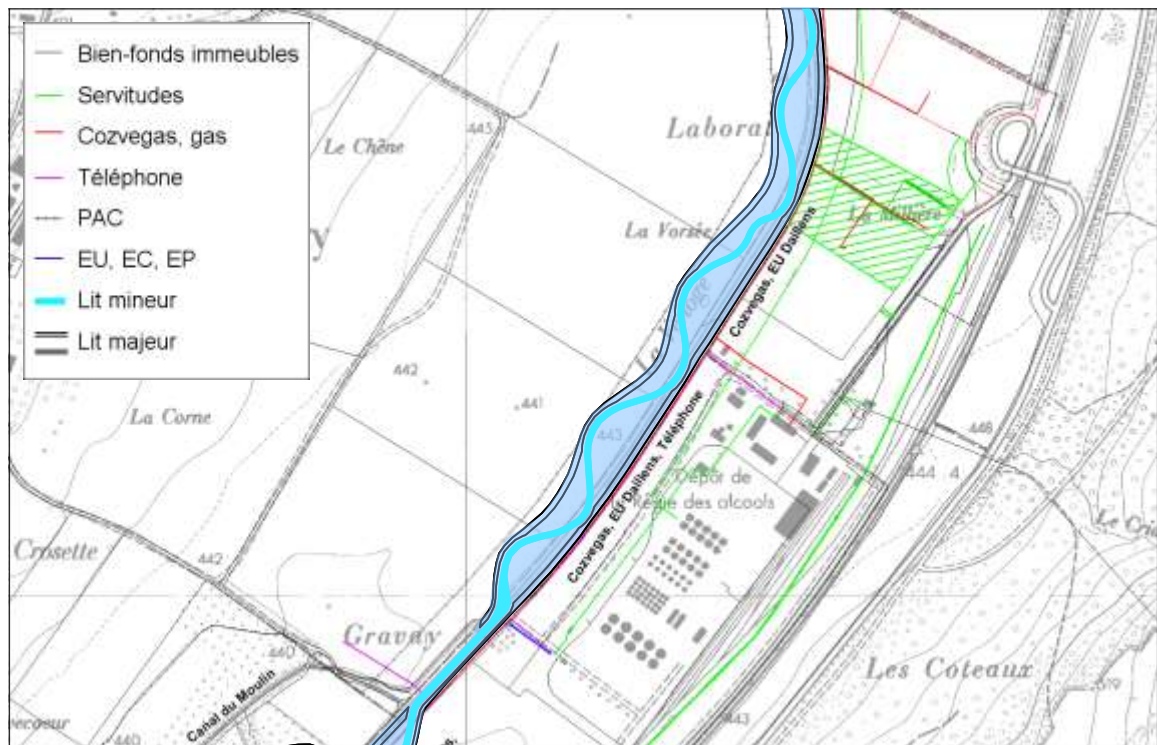


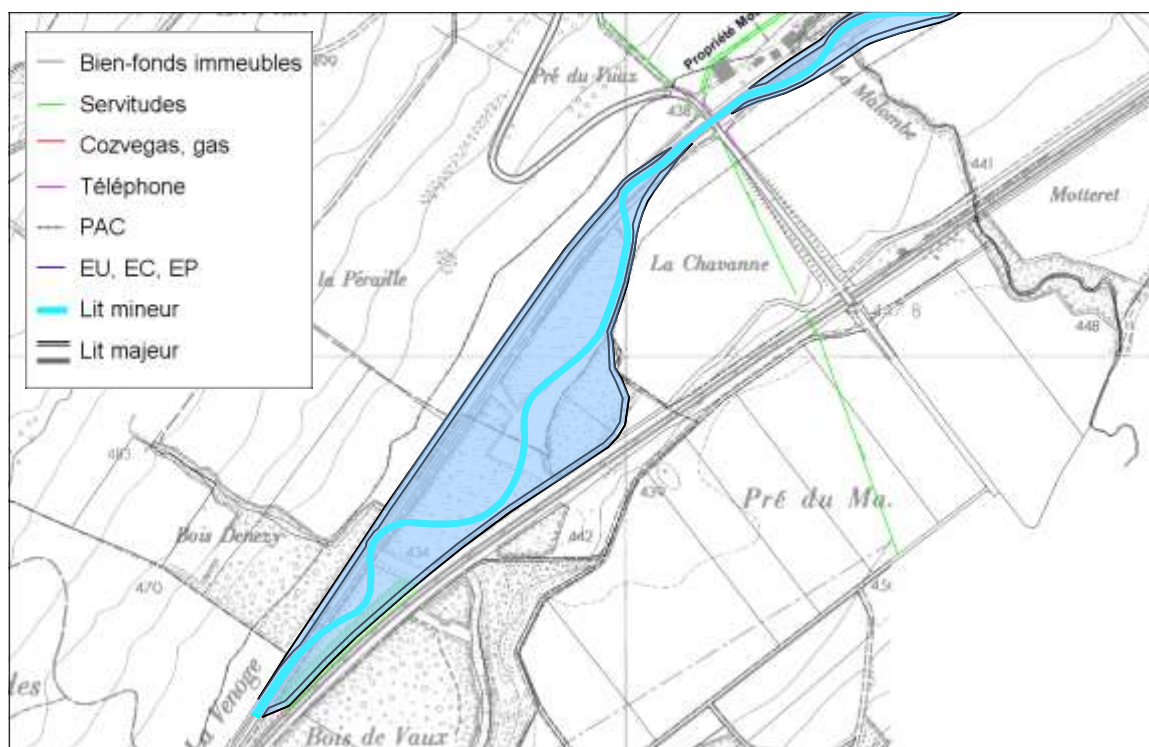
Annexe 5 Carte des glissements



Annexe 6 Sous-sol

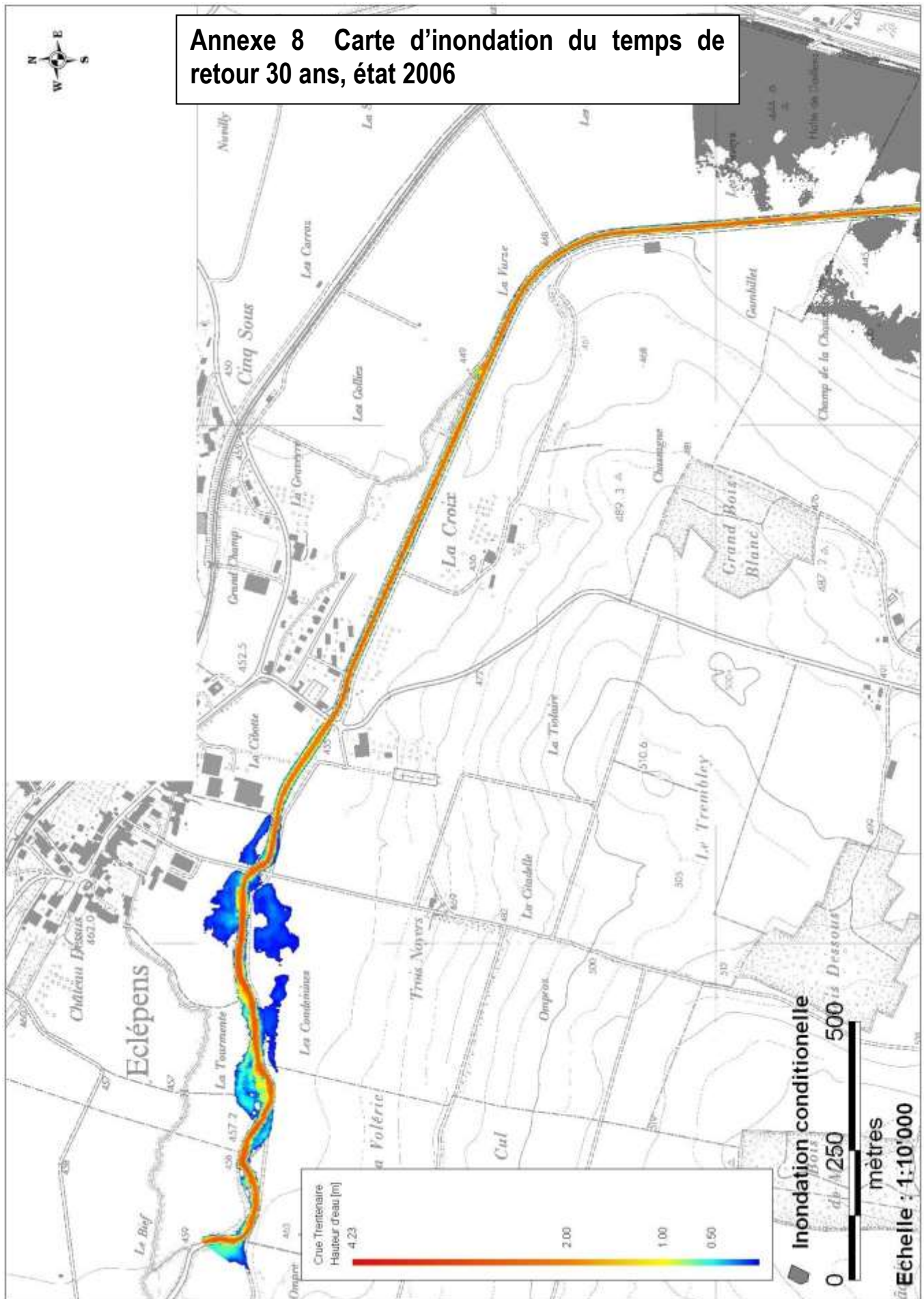




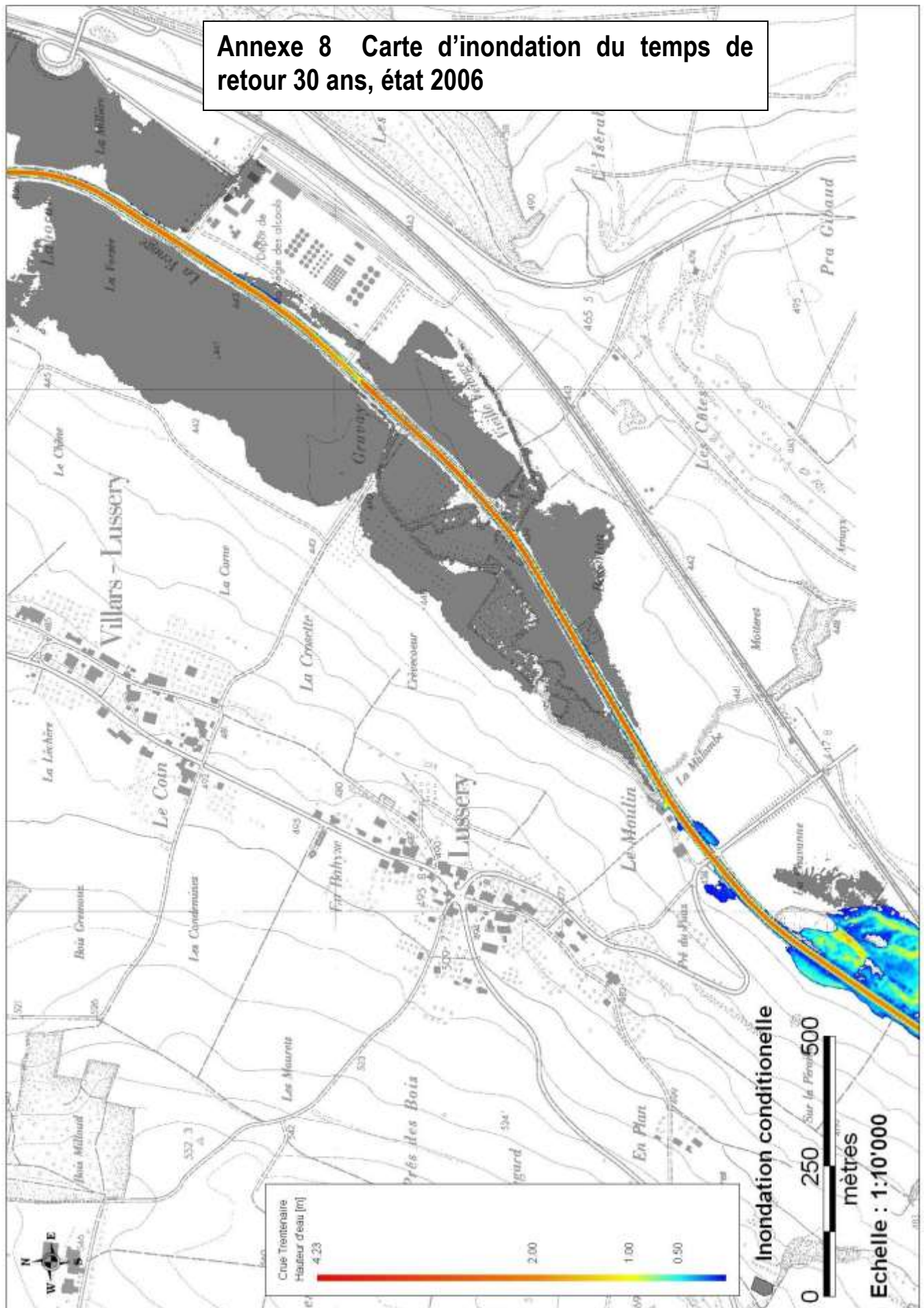


Annexe 7 Aspects fonciers (propriétaires et liste des servitudes)

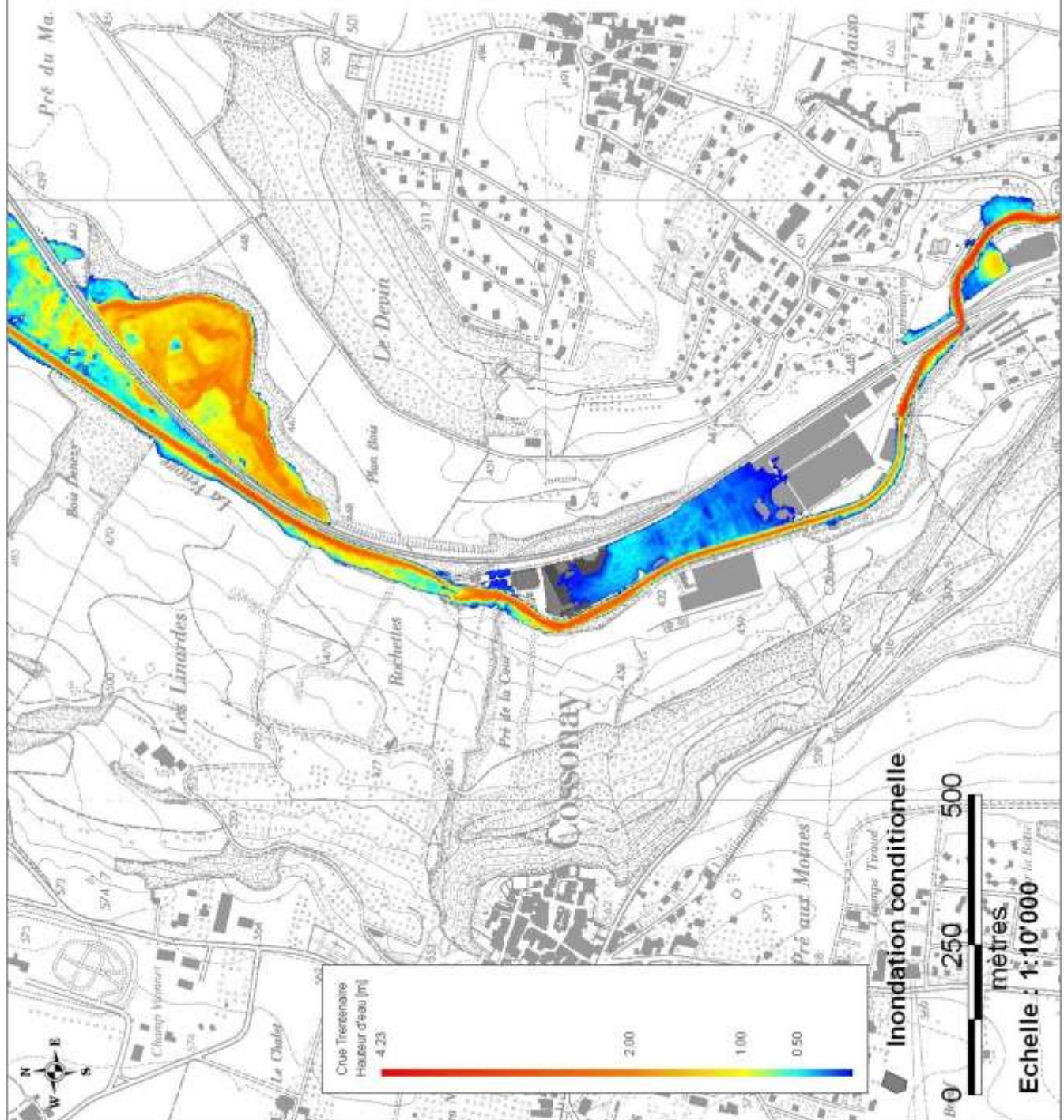
Annexe 8 Carte d'inondation du temps de retour 30 ans, état 2006

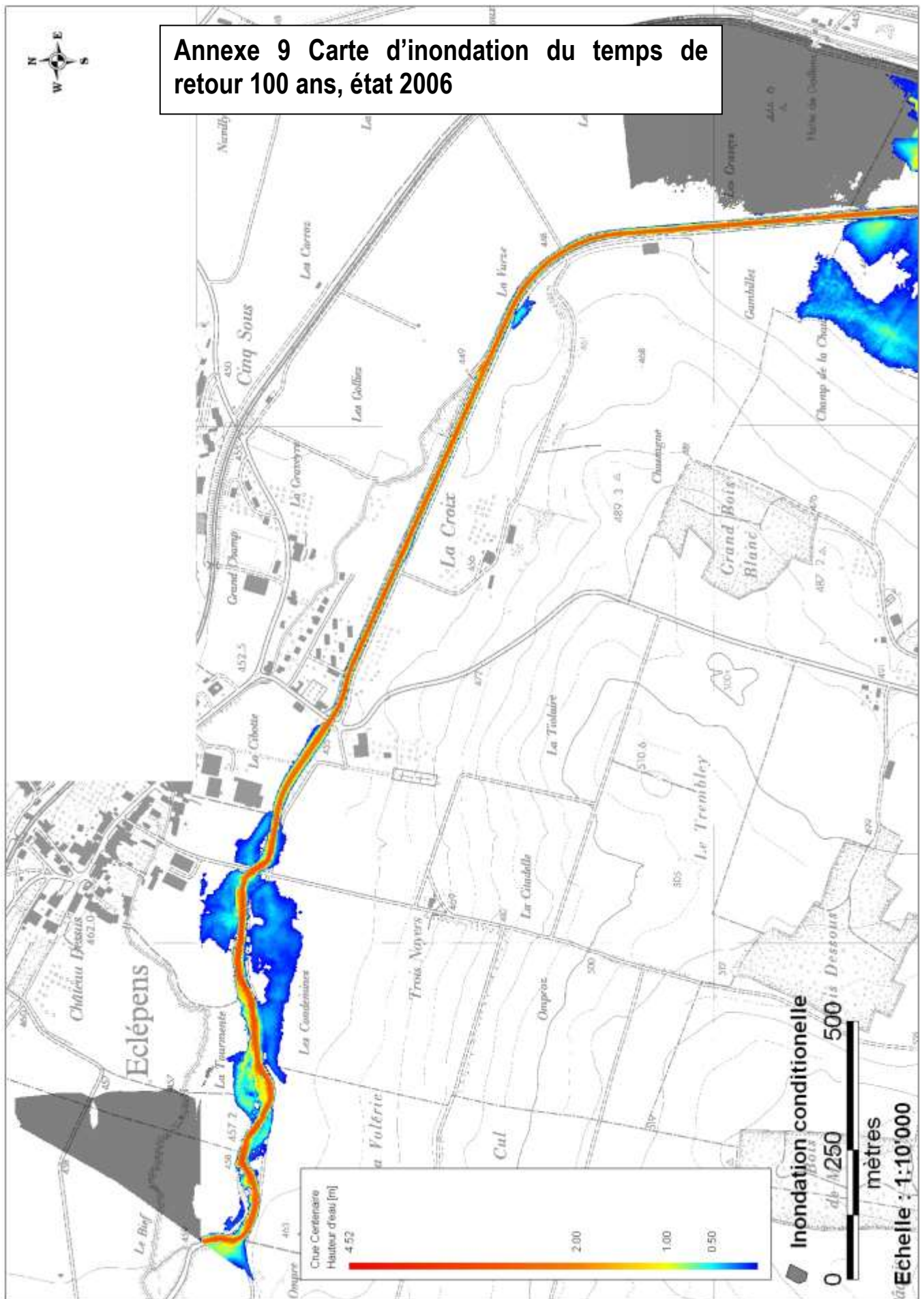


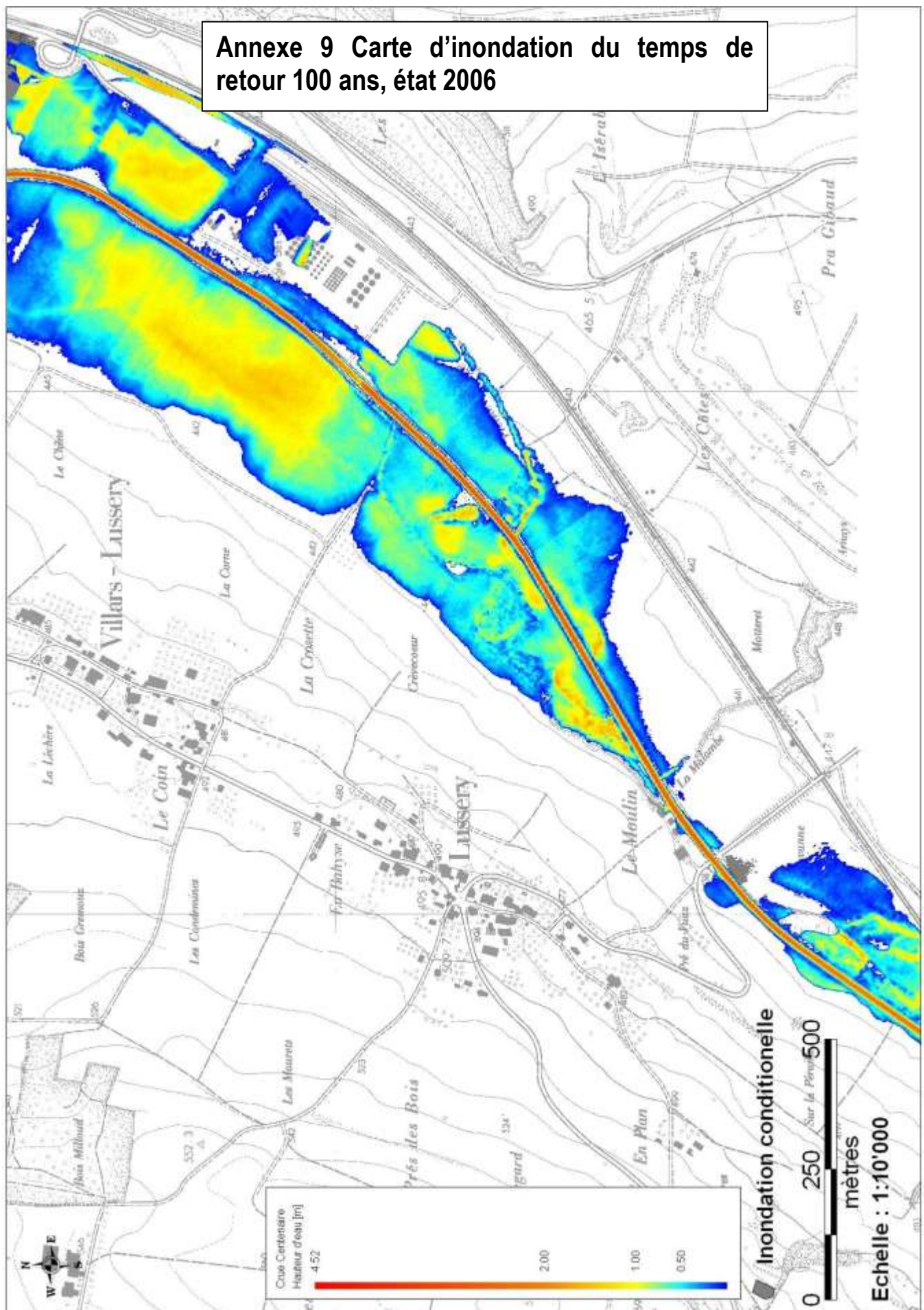
Annexe 8 Carte d'inondation du temps de retour 30 ans, état 2006



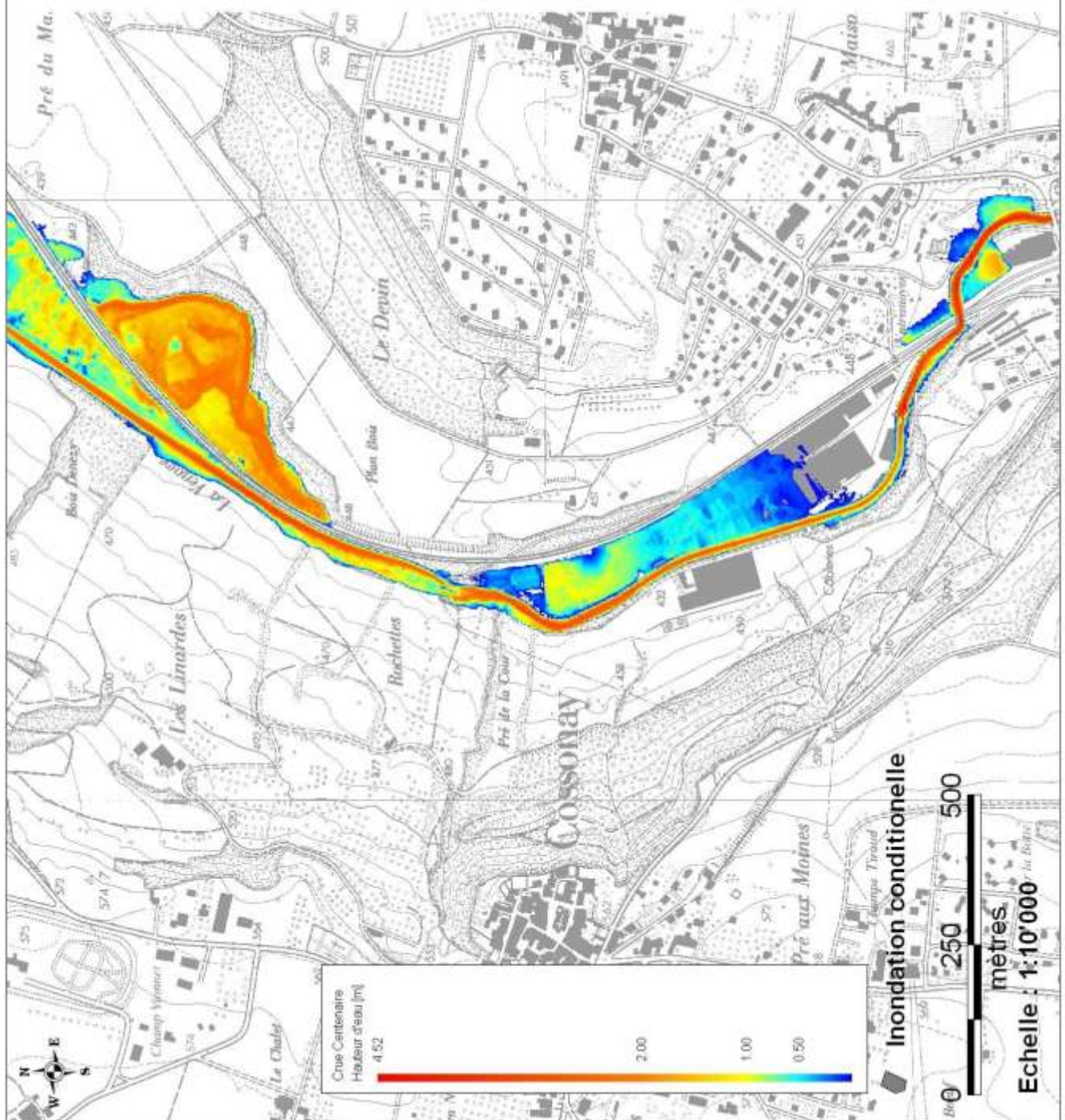
Annexe 8 Carte d'inondation du temps de retour 30 ans, état 2006



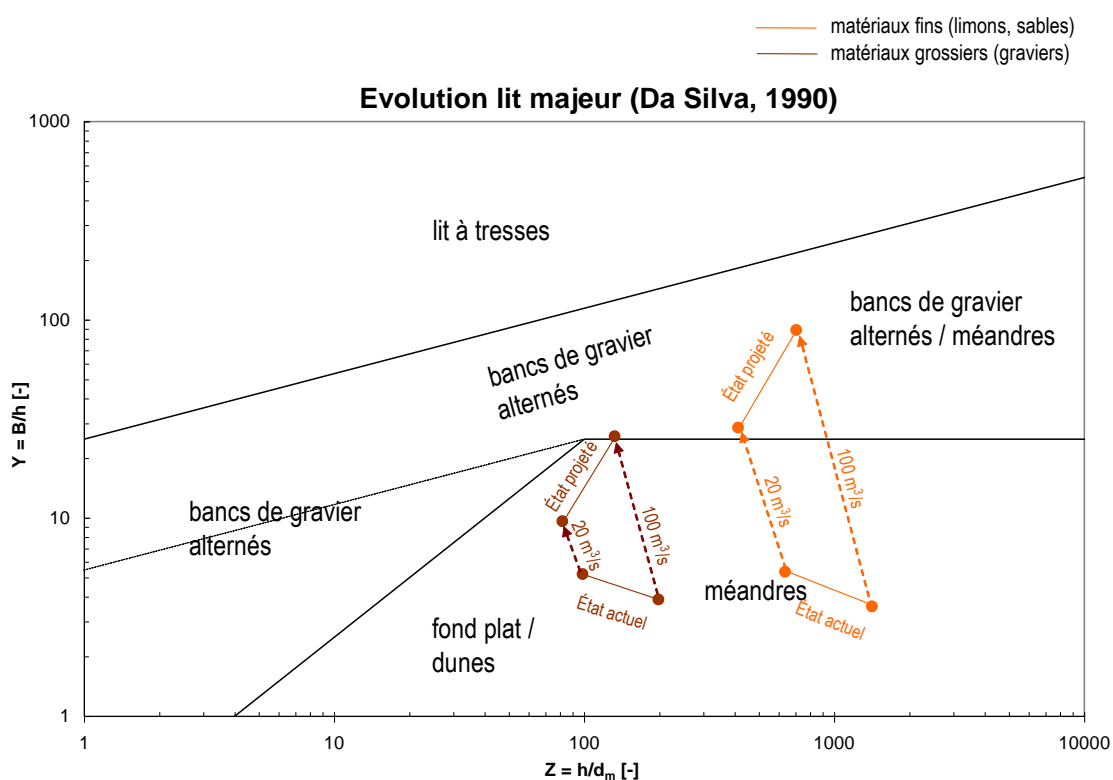
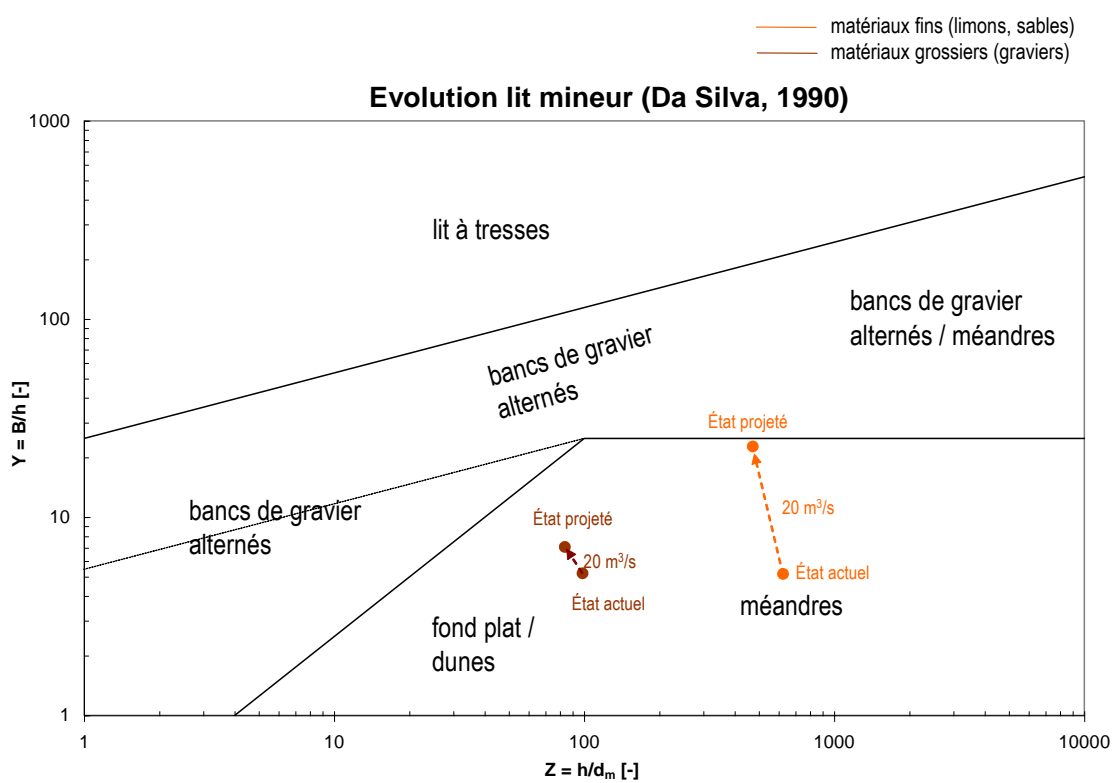




Annexe 9 Carte d'inondation du temps de retour 100 ans, état 2006

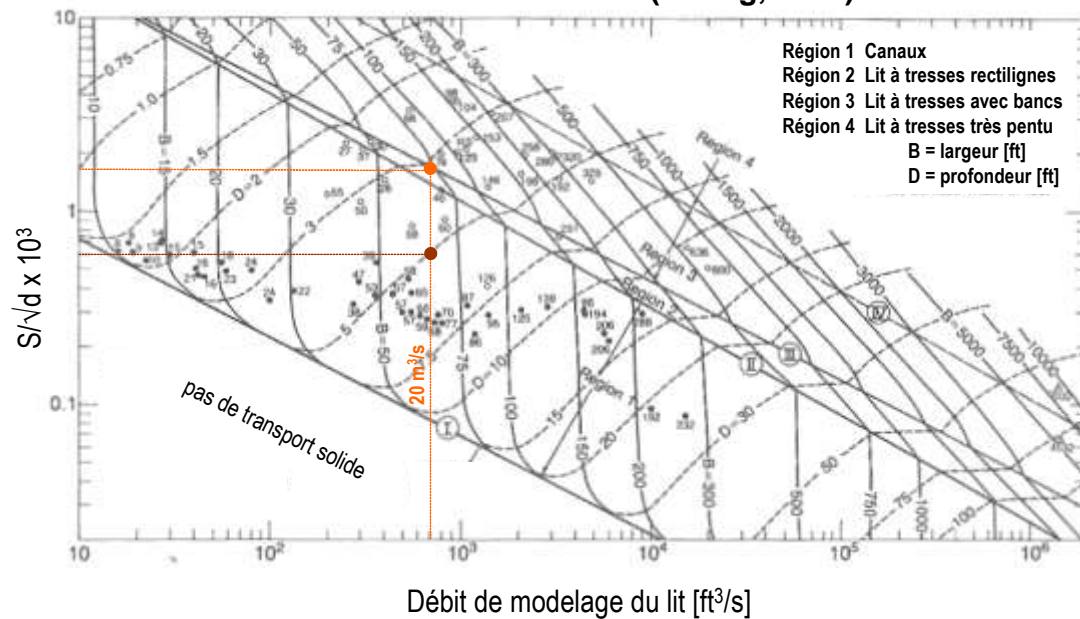


Annexe 10 Analyse géomorphologique



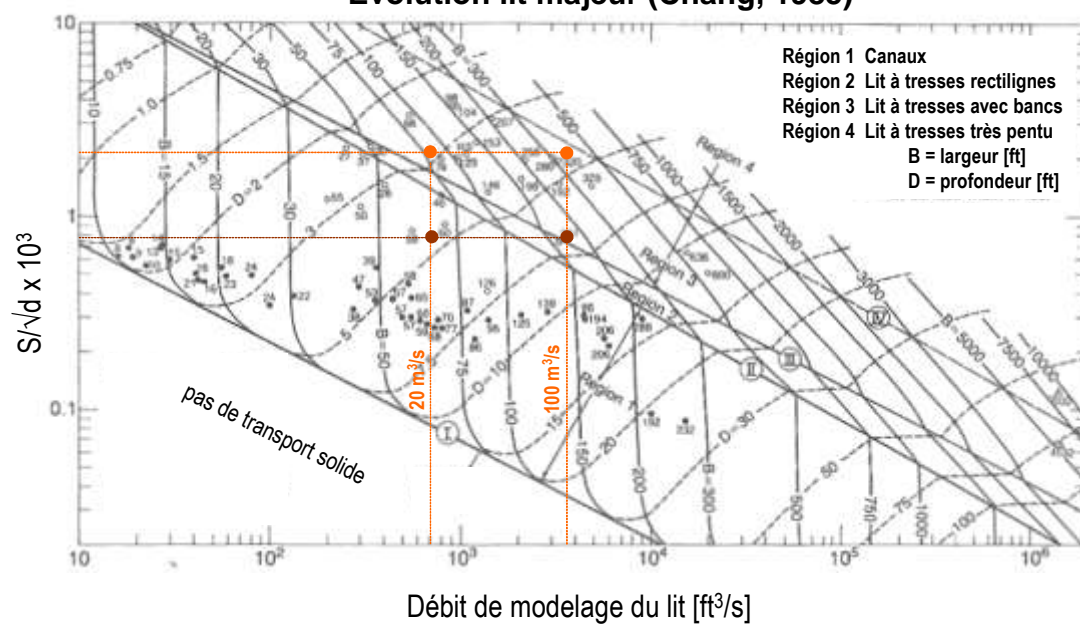
- matériaux fins (limons, sables)
 — matériaux grossiers (graviers)

Evolution lit mineur (Chang, 1985)



- matériaux fins (limons, sables)
 — matériaux grossiers (graviers)

Evolution lit majeur (Chang, 1985)



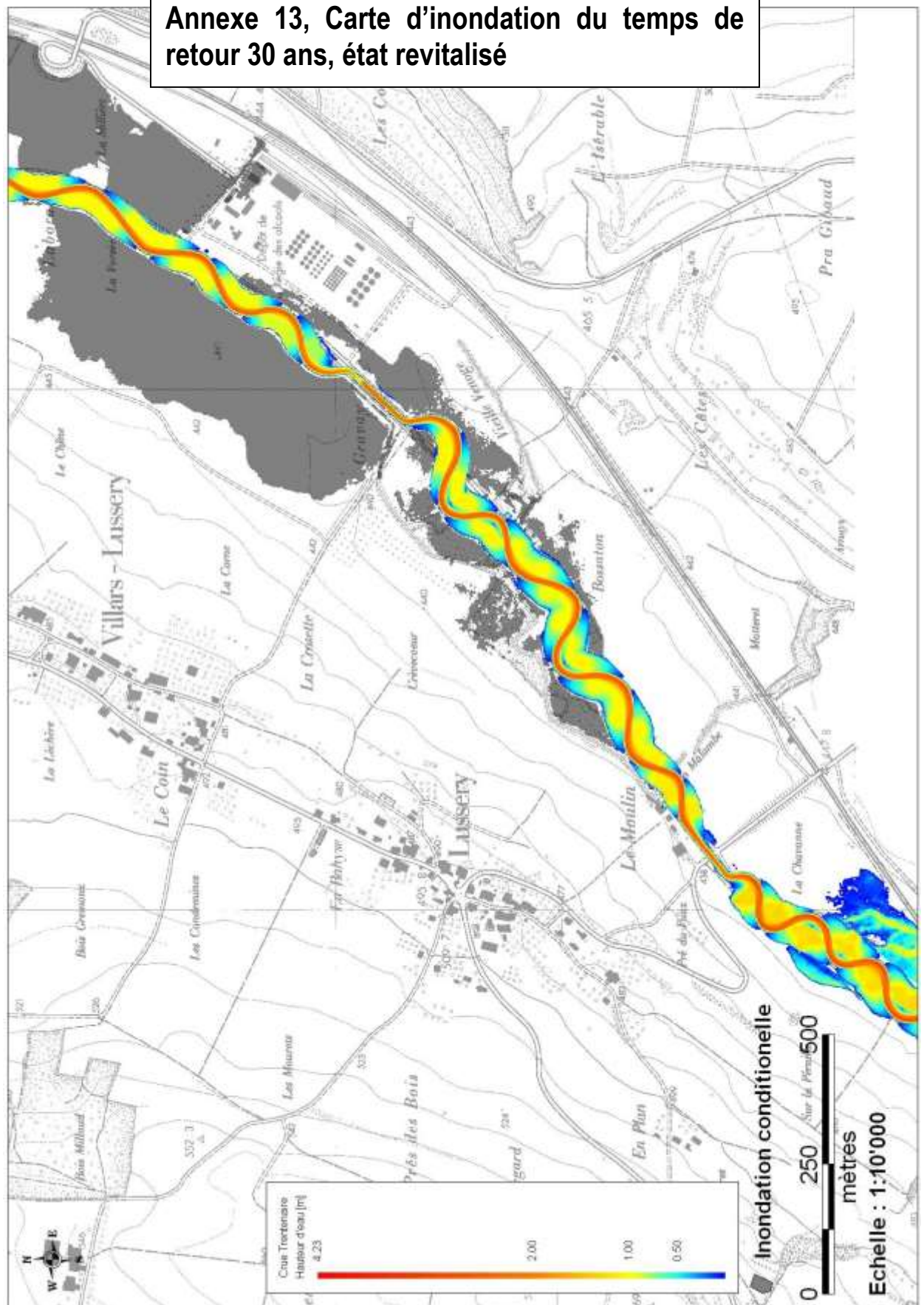
Annexe 11 Impact foncier

Voir plans en annexe du présent rapport

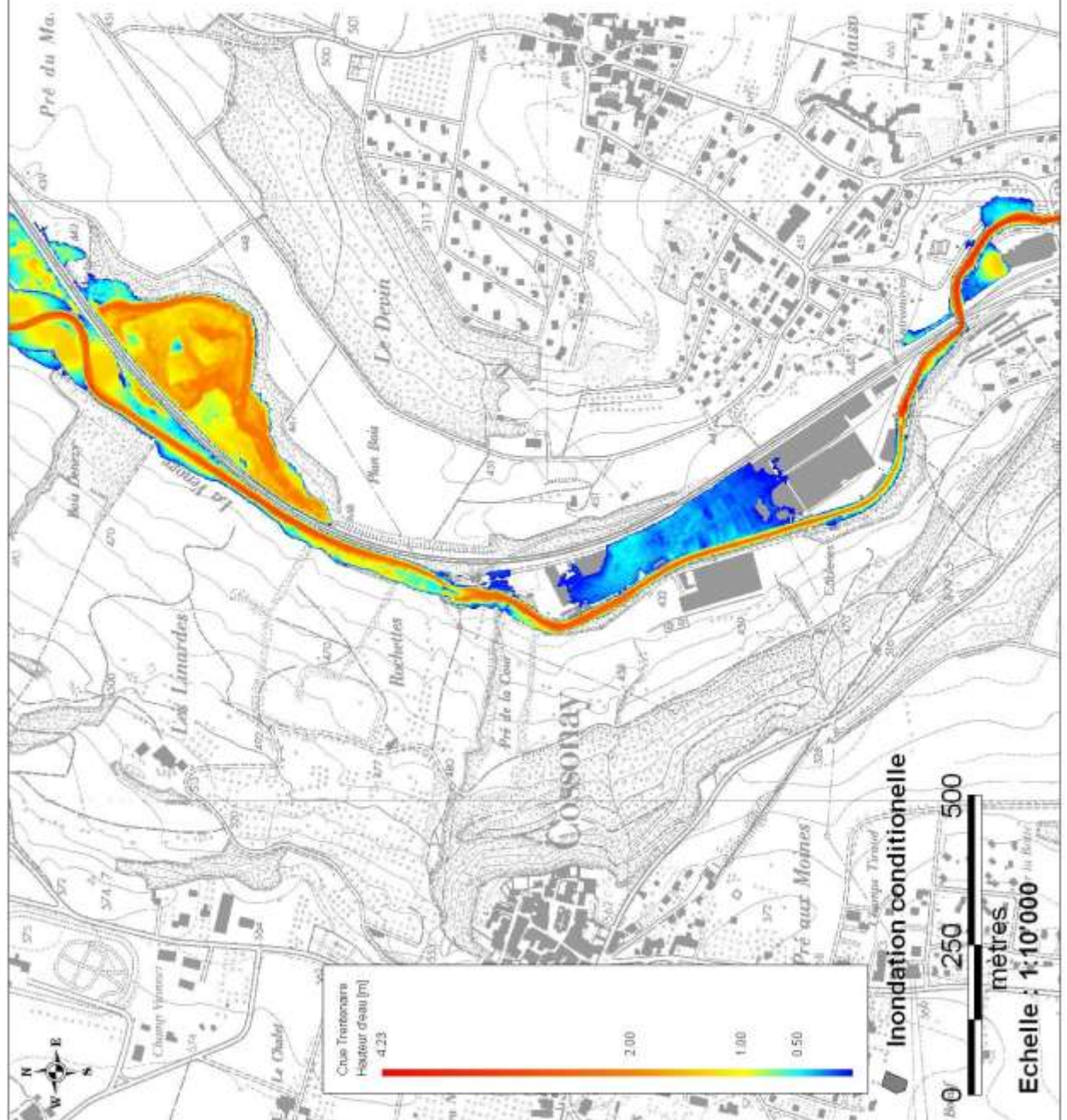
Annexe 12 Optimisation du tracé revitalisé

Voir plans en annexe du présent rapport

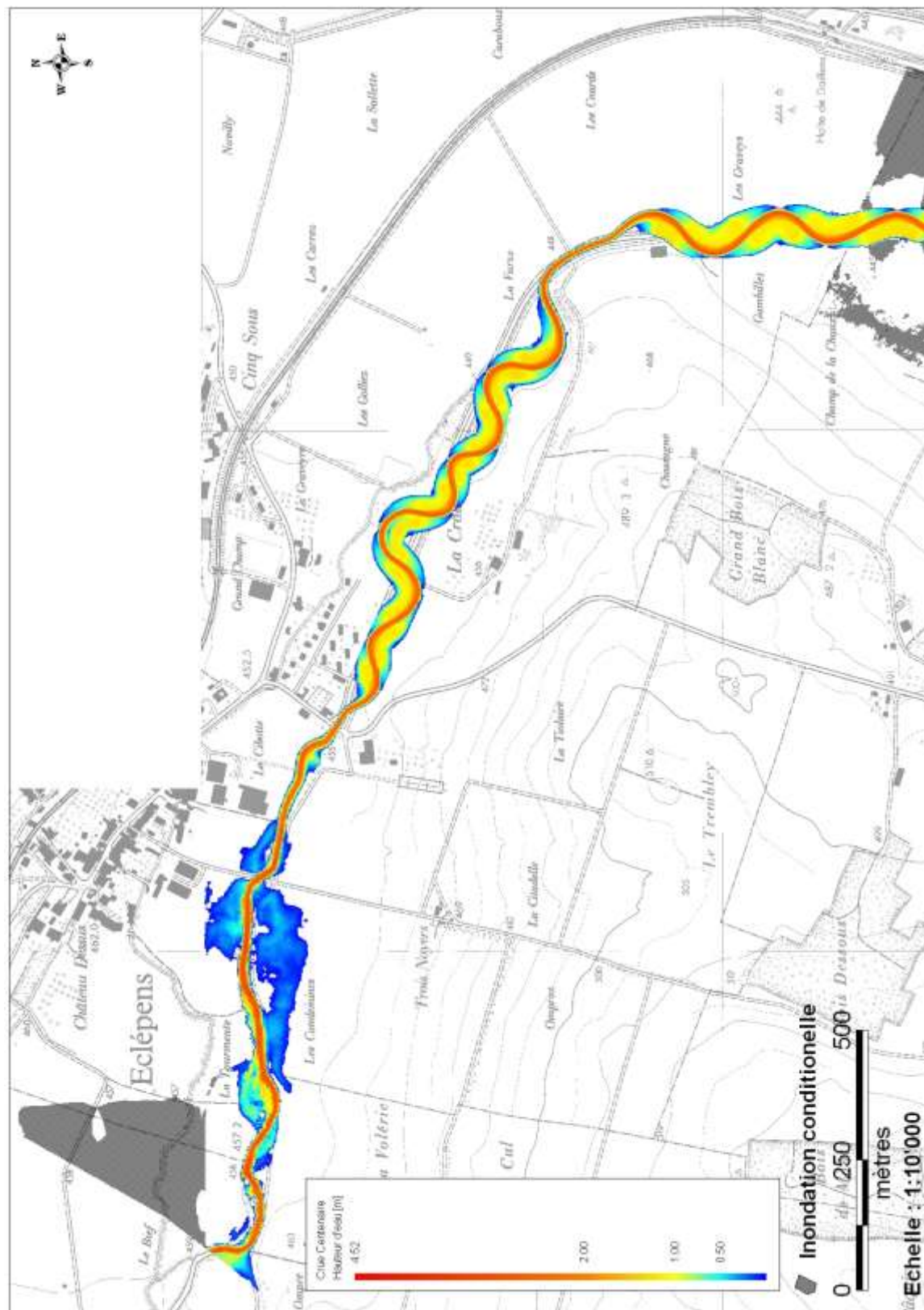
Annexe 13, Carte d'inondation du temps de retour 30 ans, état revitalisé



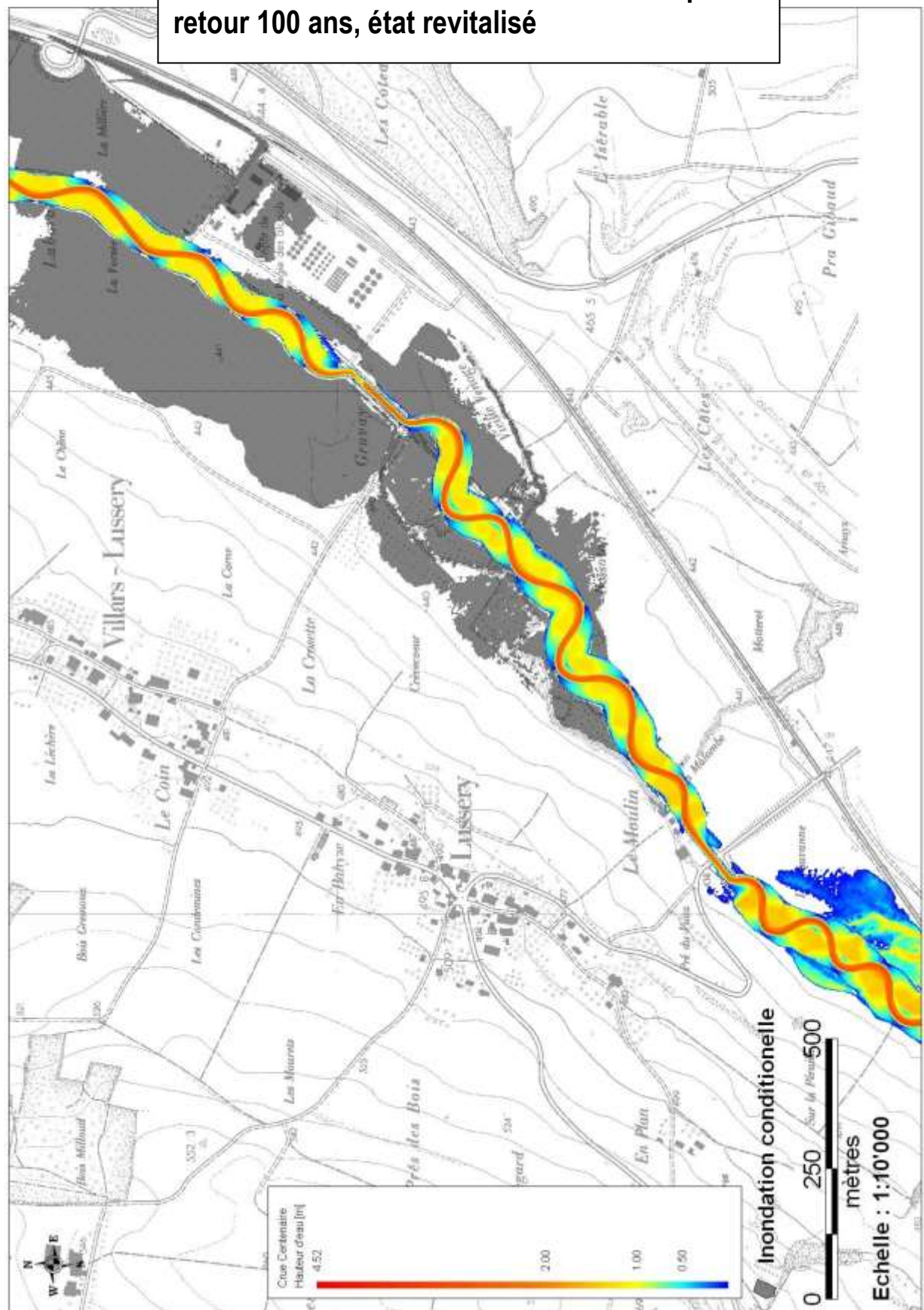
Annexe 13 Carte d'inondation du temps de retour 30 ans, état revitalisé



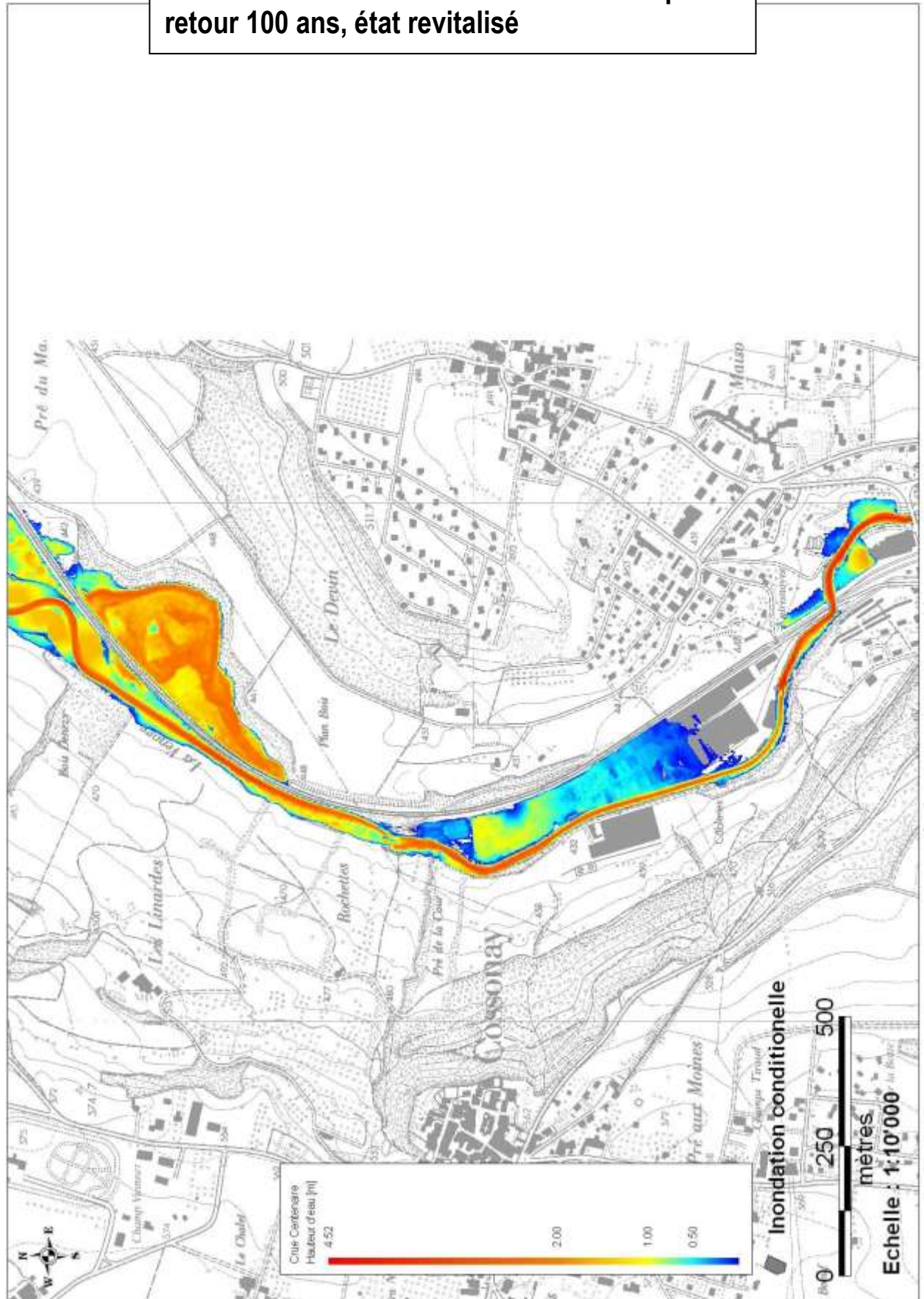
Annexe 14 Carte d'inondation du temps de retour 100 ans, état revitalisé



Annexe 14 Carte d'inondation du temps de retour 100 ans, état revitalisé



Annexe 14 Carte d'inondation du temps de retour 100 ans, état revitalisé



Annexe 15 Planification des travaux

Cas d'un méandre « étroit »

