Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs de Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Mission d'étude

Rapport de diagnostic de phase 1

Rapport de phase 2

Rapport de phase 3

E. Soncourt / Hydrogéologue

ARTELIA
Passion & Solutions

Février 2022

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs de Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Mission d'étude

Rapport de diagnostic de phase 1

Février 2022

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Mission d'études

Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques du Haut-Doubs

Rapport de phase 1

VERSION	ÉTABLI(E) PAR	CONTROLÉ(E) PAR
B		

ARTELIA Ville & Transport - INE
Agence Bourgogne - Franche-Comté
21 000 DIJON

SOMMAIRE

INTRODUCTION 11

A. CADRE LEGISLATIF 13

1. DIRECTIVE CADRE EUROPÉENNE SUR L'EAU 14
2. SDAGE RHONE-MÉDITERRRANNÉE-CORSE 15
3. SAGE HAUT-DOUBS HAUTE LOUE 17

B. ETAT DES LIEUX 18

1. LOCALISATION DU SECTEUR D'ÉTUDE 19
2. CONTEXTE HYDROLOGIQUE 20
   - 2.1. Le bassin versant 20
   - 2.2. Hydrologie du Doubs 21
     - 2.2.1. Débits caractéristiques (A mettre à jour) 21
     - 2.2.2. Débits classés 21
   - 2.3. Pertes du Doubs 22
3. OUVRAGES HYDRAULIQUES DU SECTEUR 23
   - 3.1. Ouvrages représentés sur la carte de Cassini 23
   - 3.2. Documents retrouvés aux archives 24
   - 3.3. Ouvrages ROE 28
     - 3.3.1. Barrages et seuils 29
       - 3.3.1.1. Barrage (ROE 27980) et prise d'eau (ROE 27981) d'Arçon 29
       - 3.3.1.2. Barrage de Taillanderie à Maisons du Bois (ROE27978) 30
       - 3.3.1.3. Barrage de la scierie de Maisons du Bois (ROE27977) 31
       - 3.3.1.4. Barrage de Remonot (ROE27973) 32
       - 3.3.1.5. Barrage du pont du diable (ROE7490) 33
       - 3.3.1.6. Ouvrage des Combes 34
       - 3.3.1.7. Ouvrage de la Corchère 35
       - 3.3.1.8. Barrage de Morteau (ROE6710) 36
     - 3.3.2. Localisation 36

3.3.3. Linéaire influencé 38
4. CONTEXTE HYDRAULIQUE 41
4.1. Risque inondation 41
4.1.1. Débits maximaux connus 41
4.1.2. Laisses de crue 41
4.1.3. PPRI 43
4.2. Modelisation hydraulique 47
4.2.1. Topologie du modèle 48
4.2.2. Calage du modèle 49
4.2.3. Etat initial 50
4.2.3.1. Détermination des débits de plein-bord 50
4.2.3.2. Impacts des ouvrages 53
4.2.3.3. Inondations et cohérence avec le PPRI 55
5. FONCTIONNEMENT GÉOMORPHOLOGIQUE 58
5.1. Caractéristiques morphométriques 59
5.1.1. Données d'entrée 59
5.1.2. Tracé en plan 60
5.1.2.1. Evolution du tracé 60
5.1.2.2. Indice de sinuosité 64
5.1.3. Profil en long 65
5.1.3.1. Evolution du profil en long 65
5.1.3.2. Analyse du profil en long 66
5.1.4. Section en travers 68
5.1.4.1. Evolution de largeur du lit plein bords 68
5.1.4.2. Analyse de la largeur et de la profondeur de plein bord 69
A. Largeur de plein bord 69
B. Profondeur de plein bord 71
C. Rapport largeur/profondeur de plein bord 72
5.1.5. Analyse de la morphométrie 72
5.1.5.1. Analyse de la largeur du Doubs 72
5.1.5.2. Alternance de faciès morphologiques 74
5.2. Facteur d'évolution et conséquences 78
5.2.1. Actions anthropiques 78

5.2.1.1. Eclusées du barrage du lac Saint Point 78
5.2.1.2. Flottage du bois sur le Doubs 78
5.2.1.3. Scierie du cours d'eau 79
5.2.1.4. Aménagement du cours d'eau 79
5.2.2. Conséquences 79
5.3. Analyse Morpho-sédimentaire 80
5.3.1. Activité sédimentaire 80
5.3.1.1. Notion d'apports solides 80
5.3.1.2. Observation de terrain 81
5.3.1.3. Capacités de charriage 85
5.3.2. Capacités d'ajustement morphologique 87
5.3.2.1. Puissance spécifique 87
5.4. Tendance évolutive 89
5.4.1. Profil en long 89
5.4.2. Mobilité latérale 89
5.5. Synthèse des résultats 89
6. COMPOSANTE PHYSIQUE ET HABITATIONNELLE 89
6.1. Méthode 89
6.1.1. Sectorisation 90
6.1.2. Description physique 90
6.1.3. Notation 91
6.2. Qualité physique et habitationnelle 92
6.2.1. Sectorisation 92
6.2.1.1. Descriptions des tronçons homogènes 96
6.2.2. Résultats 102
6.2.2.1. Hétérogénéité 103
6.2.2.2. Attractivité 105
6.2.2.3. Connectivité 105
6.2.2.4. Stabilité 106
6.2.2.5. Synthèse des résultats 106
7. COMPOSANTE HYDRO-ÉCOLOGIQUE 109
7.1. Qualité physico-chimique 109
7.1.1. Qualité globale 109

7.1.2. Impacts de la STEP de Pontarlier 111
7.2. Qualité hydrobiologique 112
7.2.1. Macro-invertébrés 112
7.2.2. Peuplement piscicole 113
7.2.2.1. Niveau typologique 113
7.2.2.2. Résultats des pêches sur le secteur 114
7.3. Milieu rivulaire et végétation du lit 117
7.3.1. Ripisylve 117
7.3.2. Espèces invasives 118
7.3.3. Végétation du lit 118
7.4. Espaces naturels patrimoniaux 120
7.4.1. Les ZNIEFF 120
7.4.2. Arrêté de protection de biotope 121
7.4.3. Zones protégées au droit de notre secteur d'étude 121
7.4.3.1. Le Moray (430020470) 123
7.4.3.2. Les défilés d'Entre-Roches et du coin de la Roche (430007824) 123
7.4.3.3. La plaine alluviale du Doubs à Morteau (430007823) 124
7.4.3.4. Les corniches calcaires du département du Doubs (FR3800749) 125
7.4.4. Zones humides 125
8. ANALYSE DES PERTES DU SECTEUR 129
8.1. Contexte géologique 130
8.2. Contexte hydrogéologique 133
8.2.1. Systèmes aquifères 133
8.2.1.1. Karst des calcaires du Jurassique 133
8.2.1.2. Crétacé 133
8.2.1.3. Terrains fluvio-glaciaires 134
8.2.2. Traçages 134
8.2.3. Localisation des pertes 136
8.2.3.1. Pertes ponctuelles 136
8.2.3.2. Pertes diffuses 139
8.2.4. Débits 139
8.2.5. Evolution dans le temps 141
8.2.5.1. Evolutions passées 141

8.2.5.2. Evolutions prévisibles 141
8.3. Caractérisation de l'assec de 2018 142
8.4. Incidence potentielle des travaux 143
9. CONTEXTE SOCIO-ÉCONOMIQUE 144
9.1. Occupation et vocation des sols 144
9.2. Usages de l'eau 149
9.2.1. Eau potable 149
9.2.2. Pêche 149
9.3. Autres enjeux 150
9.3.1. Patrimoine et monuments historiques 150
9.3.2. Site classé et inscrit 150
10. DÉLIMITATION DE L'ESPACE DE BON FONCTIONNEMENT .. 151
10.1. Rappel du concept 151
10.1.1. Délimitation du style fluvial de référence 152
10.1.2. Méthodologie 153
10.2. Détermination des différents périmètres 155
10.2.1. Périmètre morphologique 155
10.2.1.1. Périmètre optimal 155
10.2.1.2. Périmètre nécessaire 155
10.2.1.3. Cartographie 156
10.2.2. Périmètre hydraulique 160
10.2.2.1. Périmètre optimal 160
10.2.2.2. Périmètre nécessaire 160
10.2.2.3. Cartographie 160
10.2.3. Contexte biologique 164
10.2.4. Contexte hydrogéologique 164
10.2.5. Contexte biogéochimique 164
10.3. Choix du périmètre de l'Espace de Bon Fonctionnement 165
11. CONCLUSIONS DU DIAGNOSTIC 167

TABLEAUX

Tableau 1 Débits caractéristiques de la station de Ville-du-Pont 21
Tableau 2 Liste des ouvrages ROE 28

Tableau 3 Liste des crues de 1990 à 2019 (source : BanqueHydro) 41
Tableau 4 – Données utilisées dans le cadre de l'analyse historique 59
Tableau 5 Synthèse des résultats de l'analyse granulométrique par la méthode Wolman 82
Tableau 6 calcul du critère de Shields pour la crue de janvier 2018 87
Tableau 7 Liste des puissances spécifiques et forces tractrices calculées sur le Doubs 88
Tableau 8 Critères de sectorisation 96
Tableau 9: Résultats des mesures des paramètres physico-chimiques effectuées sur le Doubs (Source : rapport stage immersion M2 QuEST 2015/2016) 110
Tableau 10 Concentrations en éléments traces métalliques (Source : rapport stage immersion M2 QuEST 2015/2016) 111
Tableau 11 Notes IBGN, Robustesse et Cb2 pour l'ensemble des stations étudiées (Source : rapport stage immersion M2 QuEST 2015/2016) 113
Tableau 12 Synthèse des principes de détermination de chaque périmètre 154

FIGURES

Figure 1 Localisation des sous-bassins versants du Doubs 11
Figure 2 – Articulation entre le SDAGE et le programme de mesures 16
Figure 3 Communes du secteur d'étude 19
Figure 4 Bassin versant du Doubs sur le secteur à l'étude 20
Figure 5 Courbe des débits classés du Doubs sur le secteur d'étude 21
Figure 6 Schématisation et localisation des pertes du secteur 22
Figure 7 Localisation des moulins sur la carte de Cassini (1740) 23
Figure 8 Ancien plan du Moulin d'Arçon 24
Figure 9 Ancien plan datant de 1890 de l'usine du Sr Michel (actuellement barrage de la Taillanderie) 25
Figure 10 Ancien plan datant de 1891 du moulin de Loie-Longe (actuellement scierie de Maisons-du-Bois) 25
Figure 11 Plans du moulin du Creux 26
Figure 12 Plans du Moulin Remonot 26
Figure 13 Plan su moulin Vernot 27
Figure 14 Autorisation d'installation d'une scierie (1806) 27
Figure 15 Barrage et prise d'eau d'Arçon 29
Figure 16 Barrage de Taillanderie 30
Figure 17 Barrage de la scierie de Maisons du Bois 31
Figure 18 Ensemble hydraulique de Remonot 32
Figure 19 Barrage du pont du diable 33
Figure 20 Seuil des Combes 34
Figure 21 Seuil de la Corchère 35
Figure 22 Barrage de Morteau 36
Figure 23 Laisses de crue à Arçon 42
Figure 24 Laisse de crue à Montbenoît 42
Figure 25 Laisses de crue au moulin de Remonot 43
Figure 26 Localisation des levés topographiques 48
Figure 27 Exemple de coupe réalisée sur le secteur 49
Figure 28 Représentation du secteur modélisé sous HECras 50
Figure 29 Localisation des profils analysés (1/2) 51
Figure 30 Localisation des profils analysés (2/2) 52
Figure 31 Graphique des débits de plein-bord du secteur 52
Figure 32 Lignes d'eau modélisées sur la partie amont du secteur 53

Figure 33 Lignes d'eau modélisées sur la partie médiane du secteur 54
Figure 34 Lignes d'eau modélisées sur la partie du défilé 54
Figure 35 Lignes d'eau modélisées sur la partie aval du secteur d'étude 55
Figure 36 Carte des zones préférentielles de débordements (1/2) 56
Figure 37 Carte des zones préférentielles de débordements (2/2) 57
Figure 38 Chenaux secondaires 58
Figure 39 Tracé du Doubs géoréférencé à partir de la carte de l'Etat-Major 60
Figure 40 Illustration du phénomène de vallée en toit 64
Figure 41 Ancienne carte postale 65
Figure 42 Profil en long des grandes forces hydrauliques 65
Figure 43 Profil en long du secteur 67
Figure 44 Traces d'incision sur le secteur d'étude 69
Figure 45 Evolution de la largeur de plein-bord 70
Figure 46 Localisation des profils analysés (1/2) 70
Figure 47 Localisation des profils analysés (2/2) 71
Figure 48 Evolution de la hauteur de plein bord 71
Figure 49 Evolution du rapport largeur sur profondeur 72
Figure 50 Evolution de la largeur de plein bord 74
Figure 51 Evolution des distances inter-faciès 75
Figure 52 Distance (m) entre les différents faciès à l'amont d'Arçon 75
Figure 53 Distance (m) entre les différents faciès entre Arçon et Maisons-du-Bois 76
Figure 54 Distance (m) entre les différents faciès entre Maisons-du-Bois et Montbenoît 76
Figure 55 Distance (m) entre faciès entre Montbenoît et Ville du Pont 77
Figure 56 Distance (m) entre faciès en amont de Remonot 77
Figure 57 Exemple de zone d'apport au droit des gorges 81
Figure 58 Synthèse des courbes granulométriques cumulatives sur les radiers 83
Figure 59 Localisation des granulométries (1/2) 84
Figure 60 Localisation des granulométries (2/2) 85
Figure 61 Critère de Shields en fonction du profil en long 86
Figure 62 Illustration schématique des 4 composantes de la qualité physique 91
Figure 63 Sectorisation du linéaire à l'étude sur le profil en long 93
Figure 64 Localisation des différents tronçons (1/2) 94
Figure 65 Localisation des différents tronçons (2/2) 95
Figure 66 Tronçon 1 96
Figure 67 Tronçon 2 97
Figure 68 Tronçon 3 97
Figure 69 Tronçon 4 98
Figure 70 Tronçon 5 98
Figure 71 Tronçon 7 99
Figure 72 Tronçon 8 100
Figure 73 Tronçon 9 100
Figure 74 Tronçon 11 101
Figure 75 Tronçon 12 101
Figure 76 Annexe présente sur le tronçon 2 en amont du pont de l'ancien chemin de fer 103
Figure 77 Bras secondaire sur le Doubs en amont de Maison du Bois 104
Figure 78 Bras mort connecté au droit des gorges 104
Figure 79 Saules blancs présentant des branches immergées 105
Figure 80 Berges du Doubs à l'aval du secteur d'étude 106
Figure 81 Notes des différents tronçons (1/2) 107
Figure 82 Notes des différents tronçons (2/2) 108

Figure 83 Berges du secteur entre Arçon et Maisons-du-Bois..... 117
Figure 84 Ilot de joncs sur le secteur 119
Figure 85 Zone colonisées par la végétation algale au droit de Montbenoit 120
Figure 86 Chamois observés au sein de la ZNIEFF lors d'une visite de site 124
Figure 87: Drains localisés en amont de Ville-du-Pont 129
Figure 88 Coupe géologique de la haute chaîne au voisinage de Pontarlier 132
Figure 89 Corrélation entre débit amont et débit des pertes 141
Figure 90 Caractérisation climatique de l'été 2018 (source : Météo France) 142
Figure 91 Débits d'étiage mensuels du Doubs à Labergement..... 143
Figure 92 Zone de pâturage sur le secteur d'étude 149
Figure 93 Paysage au sein des gorges..... 150
Figure 94 Localisation des sites inscrits ou classés sur le secteur d'étude 151
Figure 95 Clé de détermination des différents styles fluviaux (Church 2006) et identification des 5 grands types fluviaux 153
Figure 96 Relation entre la largeur de corridor rivulaire et le gain biogéochimique 165

INTRODUCTION

Le Doubs est le principal affluent de la Saône. Il prend sa source dans le Doubs, sur la commune de Mouthe à une altitude de 937m, puis effectue un parcours de 453km jusqu'à sa confluence avec la Saône.

Il s'écoule majoritairement dans le département du Doubs et forme une boucle dans les Cantons de Neufchâtel et du Jura en Suisse, traverse une partie du Jura puis rejoint la Saône, dans le département de la Saône-et-Loire, drainant un important bassin versant d'une superficie de 7 710km2.

De sa source jusqu'à sa confluence avec la Saône, 5 sous bassins versant se distinguent (au sens du SDAGE) :

- Le Haut Doubs ;
- Le Doubs franco-suisse ;
- Le Doubs médian ;
- Le Doubs moyen ;
- La basse vallée du Doubs.

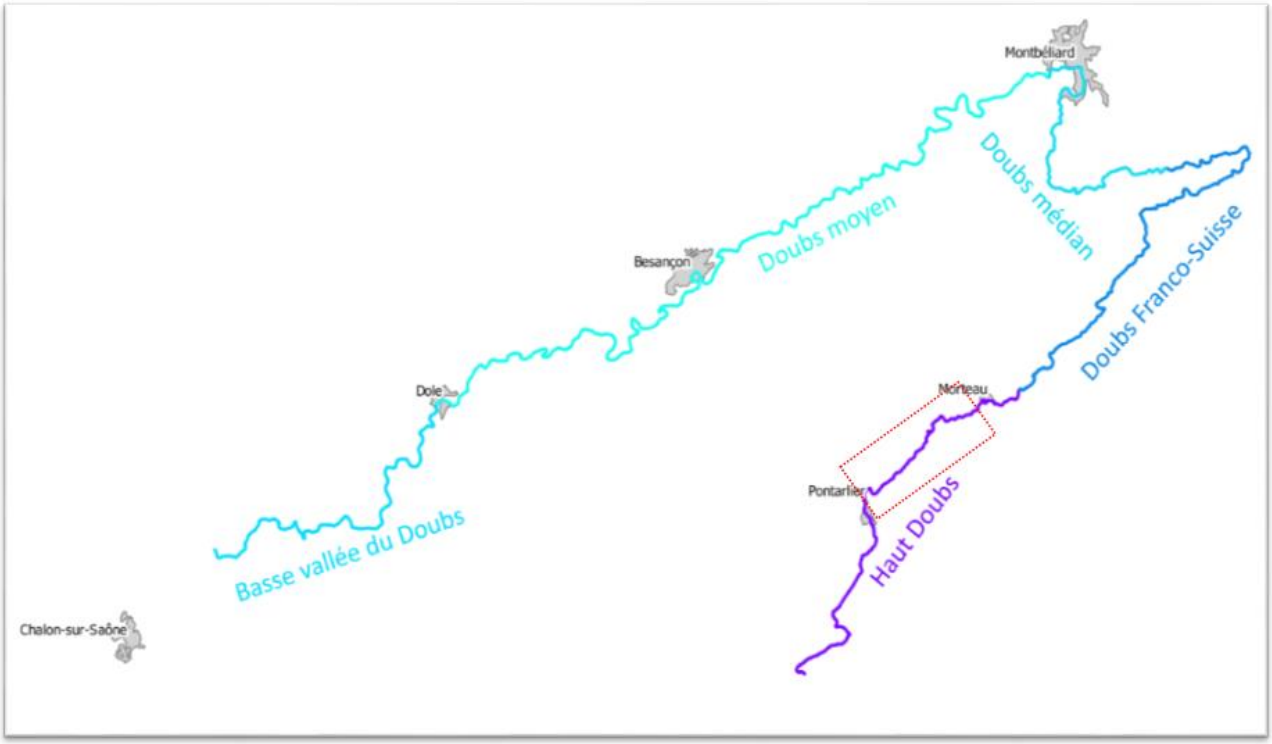


Figure 1 Localisation des sous-bassins versants du Doubs

Notre zone d'étude s'étend sur près de 25 km, de la confluence avec le Drugeon jusqu'à l'aval du défilé d'Entreroche et est donc située dans la partie du Haut-Doubs. Le Doubs sur notre secteur reçoit un de ses principaux affluents, le Drugeon, avant de s'écouler dans le val de Saugeais. Il s'insère ensuite dans le défilé d'Entreroche et le défilé du Coin de la Roche, une série de gorges escarpées débouchant sur le val de Morteau.

Le site est par ailleurs caractérisé par un contexte karstique important entrainant des pertes de débits. Les pertes du Doubs sont un phénomène naturel ancien lié à la nature karstique des terrains. Leur lien avec la source de la Loue a été

mis en évidence lors de l'incendie de l'usine Pernod de Pontarlier en août 1901, et confirmé par plusieurs traçages artificiels dès 1910. Le phénomène se manifeste principalement sur un linéaire de près de 5 km entre Arçon et Maisons-du-Bois, sous forme de pertes diffuses ou localisées. L'été 2018 a dramatiquement illustré ce phénomène avec un important assec du cours d'eau sur la presque totalité du linéaire à l'étude depuis Arçon / Maisons du Bois jusqu'en aval de Morteau.

Le secteur est situé sur la masse d'eau FRDR638 – Le Doubs de l'amont de Pontarlier à l'amont du bassin de Chaillexon (sous bassin DO_02_12 Haut-Doubs). Cette masse d'eau fait l'objet d'une mesure « réaliser une opération de restauration de grande ampleur de l'ensemble des fonctionnalités d'un cours d'eau » dans le programme de mesure du SDAGE 2016-2021. Le sous bassin est intégré au SAGE du Haut Doubs Haute Loue et au contrat de territoire associé.

Les cartes présentées dans la suite du rapport sont disponibles en format A3 au sein de l'atlas cartographique réalisé.

A. CADRE LEGISLATIF

1. DIRECTIVE CADRE EUROPEENNE SUR L'EAU

La Directive Cadre européenne sur l'Eau (DCE – 2000/60/CE) a été transposée en droit français en 2004. Cette directive définit un certain nombre d'objectifs environnementaux, dont l'objectif global vise l'atteinte du bon état de toutes les masses d'eau à l'horizon 2027 (cours d'eau, lacs, eaux côtières, eaux souterraines).

Parmi ces objectifs environnementaux, on retrouve notamment :

- La prévention de la détérioration supplémentaire de l'état des masses d'eau, c'est-à-dire ne pas dégrader l'état actuel,
- L'amélioration de la qualité des eaux, passant par l'élimination des rejets de substances dangereuses prioritaires, le respect des normes de rejets fixées,…
- Assurer la continuité écologique latérale et longitudinale des cours d'eau (libre circulation piscicole et rétablissement du transit sédimentaire),
- La préservation ou restauration des conditions morphologiques (diversité des faciès d'écoulement, connectivité latérale avec les milieux annexes),
- Le maintien de berges naturelles et diversifiées, passant notamment par une gestion efficace de la végétation rivulaire,
- …

Comme on peut le voir, la notion de « bon état » comprend plusieurs composantes que sont le bon état chimique et le bon état écologique des eaux :

- Le bon état écologique comprend à la fois la qualité biologique (composante vivante qu'est la faune et la flore) et la qualité physique des milieux de vie (composante mésologique comme la diversité des milieux, la morphologie, la qualité des eaux, …). L'état écologique est appréhendé au travers d'éléments biologiques (IBGN, IBD et IPR classés en 5 classes), d'éléments physico-chimiques généraux (en 5 classes également) et d'éléments polluants spécifiques (en 3 classes).
- Le bon état chimique est relatif à la pollution des eaux, appréhendée au travers de 41 substances prioritaires et dangereuses (classées en 2 classes de qualité).

Afin de déterminer l'état des eaux, des valeurs-seuils provisoires sont mentionnées dans la circulaire DCE 2005/12 pour l'état écologique, et la circulaire DCE 2007/23 pour l'état chimique (composé de 41 substances).

Pour atteindre le bon état sur une masse d'eau « cours d'eau », il faut que l'état écologique ainsi que chimique soient au minimum classés comme bons. D'où l'importance d'intervenir en parallèle sur la gestion et l'amélioration de la qualité des eaux et de la qualité physique des hydrosystèmes.

Le Doubs sur notre secteur a un objectif de « Bon État » pour l'année 2027

Haut Doubs - DO_02_12			
FRDR638	Le Doubs de l'amont de Pontarlier à l'amont du bassin de Chaillexon	Cours d'eau	Masse d'eau naturelle

Objectif d'état écologique :	bon état **Echéance :** 2027	**Objectif d'état chimique sans ubiquiste -** **Echéance :**	2015
		Objectif d'état chimique avec ubiquiste - **Echéance :**	2027
Motivations en cas de recours aux dérogations :	Faisabilité technique, Coûts disproportionnés	**Motivations en cas de recours aux dérogations :**	Faisabilité technique
Paramètres faisant l'objet d'une adaptation :	Continuité, morphologie, hydrologie, substances dangereuses, matières organiques et oxydables	**Paramètres faisant l'objet d'une adaptation :**	Benzo(g,h,i)perylène + Indeno(1,2,3-cd)pyrène

Objectif plus strict au titre des zones protégées :

Mesures pour atteindre les objectifs de bon état		
Pression à traiter :	**Altération de la morphologie**	
	MIA0203	Réaliser une opération de restauration de grande ampleur de l'ensemble des fonctionnalités d'un cours d'eau et de ses annexes
Pression à traiter :	**Altération de l'hydrologie**	
	RES0202	Mettre en place un dispositif d'économie d'eau auprès des particuliers ou des collectivités
	RES0701	Mettre en place une ressource de substitution
Pression à traiter :	**Pollution ponctuelle par les substances (hors pesticides)**	
	IND0101	Réaliser une étude globale ou un schéma directeur portant sur la réduction des pollutions associées à l'industrie et de l'artisanat
	IND0201	Créer et/ou aménager un dispositif de traitement des rejets industriels visant principalement à réduire les substances dangereuses (réduction quantifiée)
	IND0301	Mettre en place une technologie propre visant principalement à réduire les substances dangereuses (réduction quantifiée)
	IND0901	Mettre en compatibilité une autorisation de rejet avec les objectifs environnementaux du milieu ou avec le bon fonctionnement du système d'assainissement récepteur
Pression à traiter :	**Pollution ponctuelle urbaine et industrielle hors substances**	
	ASS0201	Réaliser des travaux d'amélioration de la gestion et du traitement des eaux pluviales strictement
Mesures pour atteindre l'objectif de réduction des émissions de substances		
	IND0901	Mettre en compatibilité une autorisation de rejet avec les objectifs environnementaux du milieu ou avec le bon fonctionnement du système d'assainissement récepteur
	IND12	Mesures de réduction des substances dangereuses

2. SDAGE RHONE-MEDITERRRANNEE-CORSE

L'ambition du SDAGE est de (re)donner leur juste place aux milieux aquatiques sur le territoire. De ce point de vue, la préservation et la reconquête progressive des espaces de bon fonctionnement des milieux aquatiques est un enjeu essentiel.

Cette étude sur notre secteur du Doubs répond tout particulièrement à l'orientation fondamentale n°6A intitulée « Agir sur la morphologie et le décloisonnement pour préserver et restaurer les milieux aquatiques » du Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) Rhône-Méditerranée (2016-2021).

En association avec les orientations fondamentales du SDAGE et leurs dispositions, le Programme De Mesures regroupe les moyens d'action que se donne le bassin pour réussir à atteindre les objectifs du SDAGE.

Le programme de mesures (PDM), arrêté par le Préfet coordonnateur de bassin, recense les actions clés dont la mise en œuvre est nécessaire pour l'atteinte des objectifs environnementaux du schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE).

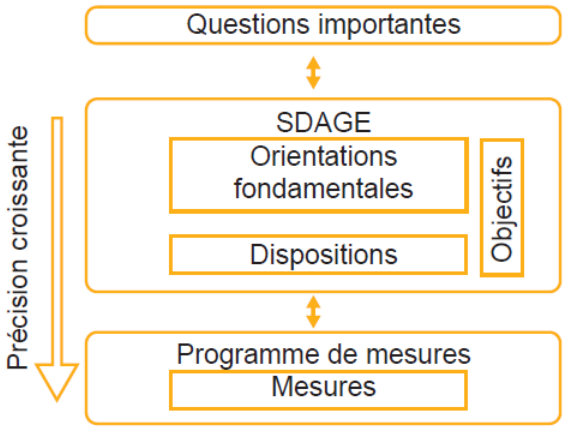


Figure 2 – Articulation entre le SDAGE et le programme de mesures

Le Programme De Mesures (PDM) 2016 - 2021 du SDAGE Rhône-Méditerranée prévoit, entre autres, sur le bassin du Haut-Doubs les mesures suivantes :

- Concernant l'altération de la morphologie :
  - MIA0101 Réaliser une étude globale ou un schéma directeur visant à préserver les milieux aquatiques ;
  - MIA0202 Réaliser une opération classique de restauration d'un cours d'eau ;
  - MIA0203 Réaliser une opération de restauration de grande ampleur de l'ensemble des fonctionnalités d'un cours d'eau et de ses annexes ;
  - MIA0602 Réaliser une opération de restauration d'une zone humide ;
- Concernant l'altération de l'hydrologie :
  - MIA0303 Coordonner la gestion des ouvrages ;
  - RES0202 Mettre en place un dispositif d'économie d'eau auprès des particuliers ou des collectivités ;
  - RES0701 Mettre en place une ressource de substitution
- Concernant les pollutions ponctuelles par les substances :
  - IND0101 Réaliser une étude globale ou un schéma directeur portant sur la réduction des pollutions associées à l'industrie et de l'artisanat ;
  - IND0201 Créer et/ou aménager un dispositif de traitement des rejets industriels visant principalement à réduire les substances dangereuses (réduction quantifiée) ;
  - IND0301 Mettre en place une technologie propre visant principalement à réduire les substances dangereuses (réduction quantifiée) ;
  - IND0901 Mettre en compatibilité une autorisation de rejet avec les objectifs environnementaux du milieu ou avec le bon fonctionnement du système d'assainissement récepteur ;
- Concernant les pollutions ponctuelles urbaines et industrielles hors substances :
  - ASS0101 Réaliser une étude globale ou un schéma directeur portant sur la réduction des pollutions associées à l'assainissement ;

- ASS0201 Réaliser des travaux d'amélioration de la gestion et du traitement des eaux pluviales strictement ;
- ASS0302 Réhabiliter et ou créer un réseau d'assainissement des eaux usées hors Directive ERU (agglomérations de toutes tailles) ;
- ASS0502 Equiper une STEP d'un traitement suffisant hors Directive ERU (agglomérations >=2000 EH) ;

- Concernant les prélèvements :
  - RES0202 Mettre en place un dispositif d'économie d'eau auprès des particuliers ou des collectivités ;
  - RES0701 Mettre en place une ressource de substitution.

3. SAGE HAUT-DOUBS HAUTE LOUE

Les Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) sont des procédures définies dans la Loi sur l'Eau du 03 janvier 1992, rénovées et confortées par la LEMA du 30 décembre 2006 (portée juridique, contenu, conception, élaboration, mise en œuvre). Il s'agit d'un document de planification à l'échelle d'une Unité Hydrographique Cohérente (UHC), c'est-à-dire d'un bassin versant. Il recherche un équilibre durable entre la protection des milieux aquatiques (ressource en eau) et la satisfaction des usagers, en répondant à l'objectif de bon état des masses d'eau introduit par la DCE.

Le SAGE formalise les règles de gestion et les objectifs négociés et définis par les acteurs locaux réunis au sein de la Commission Locale de l'Eau (CLE). Les enjeux centraux du SAGE identifiés sont le rétablissement du bon fonctionnement des milieux aquatiques et la gestion durable de la ressource tant en quantité qu'en qualité, tenant compte du contexte karstique du bassin. Parallèlement à ces deux enjeux majeurs, quatre enjeux transversaux ont été identifiés :

- Le développement de la connaissance, du suivi et de la communication ;
- L'amélioration de la gouvernance et des services publics locaux ;
- La conciliation des usages de loisirs ;
- La maîtrise du foncier.

	Enjeu majeur 1 : milieux	**Enjeu majeur 2 : ressource**	Enjeu transversal 1 : connaissance	Enjeu transversal 2 : gouvernance	Enjeu transversal 3 : usages loisirs	Enjeu transversal 4 : foncier
Objectif général A : fonctionnalité milieux						
Objectif général B : équilibre quantitatif						
Objectif général C : qualité de l'eau						
Objectif général D : qualité de l'eau potable						
Objectif général E : mise en œuvre SAGE						
Objectif général F : sports de loisirs						

B. ETAT DES LIEUX

1. LOCALISATION DU SECTEUR D'ETUDE

Le projet est localisé sur les 8 communes de Doubs, Arçon, Maisons du bois Lièvremont, Hauterive-le-Fresse, Montbenoit, Ville du Pont, les Combes, Grand Combes-Châteleu.

Il concerne un linéaire de 24.6 km sur le Doubs, de la confluence du Drugeon à la sortie du défilé d'Entreroche (lieudit le Mauvais Pas).

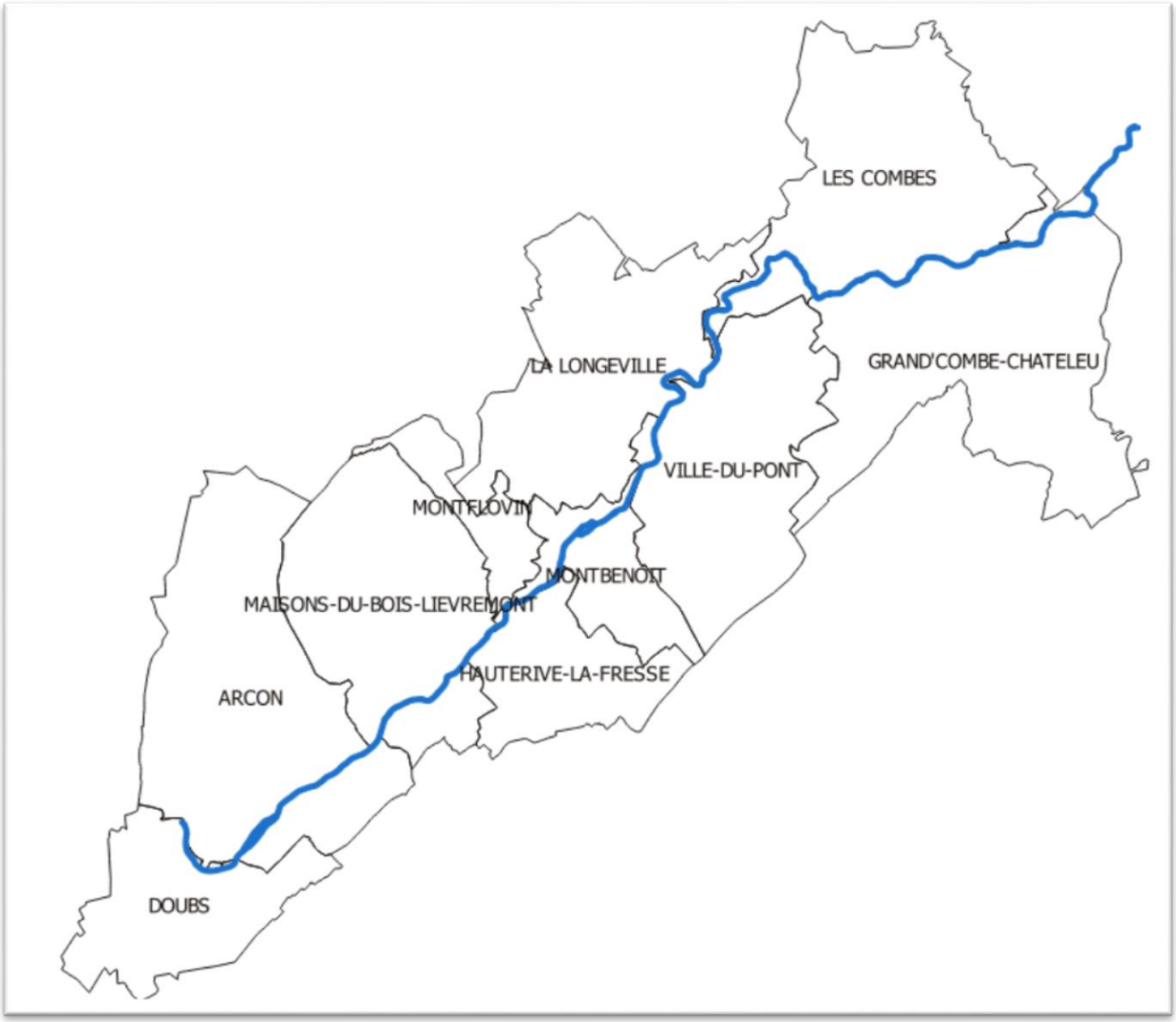


Figure 3 Communes du secteur d'étude

2. CONTEXTE HYDROLOGIQUE

2.1. LE BASSIN VERSANT

Le Doubs est le principal affluent de la Saône, son bassin versant mesure 7 290 km². Au droit du secteur à l'étude, à Ville-du-Pont le bassin est réduit à 576 km².

Le Doubs prend sa source au droit de la commune de Mouthe à une altitude de 945 m. Il débute ensuite son cours par une alternance de faciès traversant de larges dépressions synclinales et d'étroites gorges. Vingt-deux kilomètres en aval de sa source, il forme alors un vaste lac naturel, le lac de Saint-Point. Après avoir traversé la cluse au pied du fort de Joux, le cours d'eau atteint Pontarlier puis conflue avec l'un de ses principaux affluents, le Drugeon. Cette confluence marque le début du secteur à l'étude, au travers duquel le Doubs va s'écouler dans le val du Saugeais pour ensuite entrer dans le défilé d'Entreroche débouchant sur Morteau et marquant l'aval de la zone d'étude.

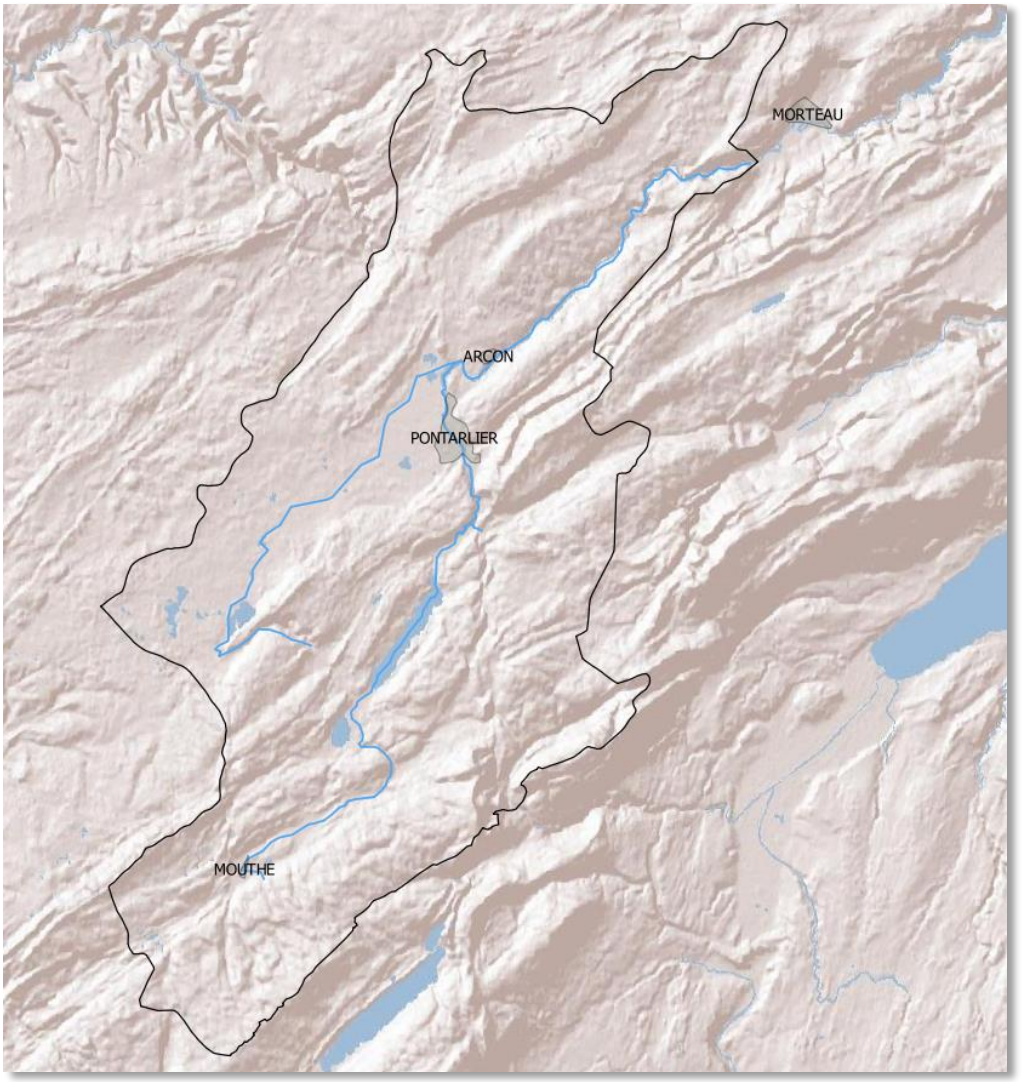


Figure 4 Bassin versant du Doubs sur le secteur à l'étude

Du fait du relief du secteur et de la forme allongée du bassin versant, le Doubs réagit rapidement aux précipitations.

2.2. HYDROLOGIE DU DOUBS

Une station hydrométrique est située sur notre secteur d'étude à Ville-du-Pont (U2102010). Cette station est gérée par la DREAL Bourgogne – Franche-Comté et les données collectées sont disponibles via le site de la Banque Hydro.

2.2.1. Débits caractéristiques (A mettre à jour)

Les débits caractéristiques retenus pour l'étude sont donnés ci-dessous.

La station considérée est exploitée depuis plus de 41 ans. Cela est suffisant pour justifier son intérêt statistique et l'exploiter afin de déterminer un régime hydrologique relatif au secteur géographique étudié.

Les débits caractéristiques du Doubs au droit de la station hydrométrique sont synthétisés dans le tableau suivant :

Tableau 1 Débits caractéristiques de la station de Ville-du-Pont

Cours d'eau	Surface BV topographique (km²)	Débits caractéristiques (m^3/s) - Module et étiage -			Débits caractéristiques QIX (m^3/s) - Crues Période de retour					Source
		Module	Etiage QMNA5	Etiage VCN10 2 ans	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	
DOUBS à Ville-du-Pont	576	11.4	0.23	0.18	100	140	160	180	210	Banque HYDRO

2.2.2. Débits classés

La courbe des débits classés est réalisée à partir des données hydrologiques de la station à Ville-du-Pont.

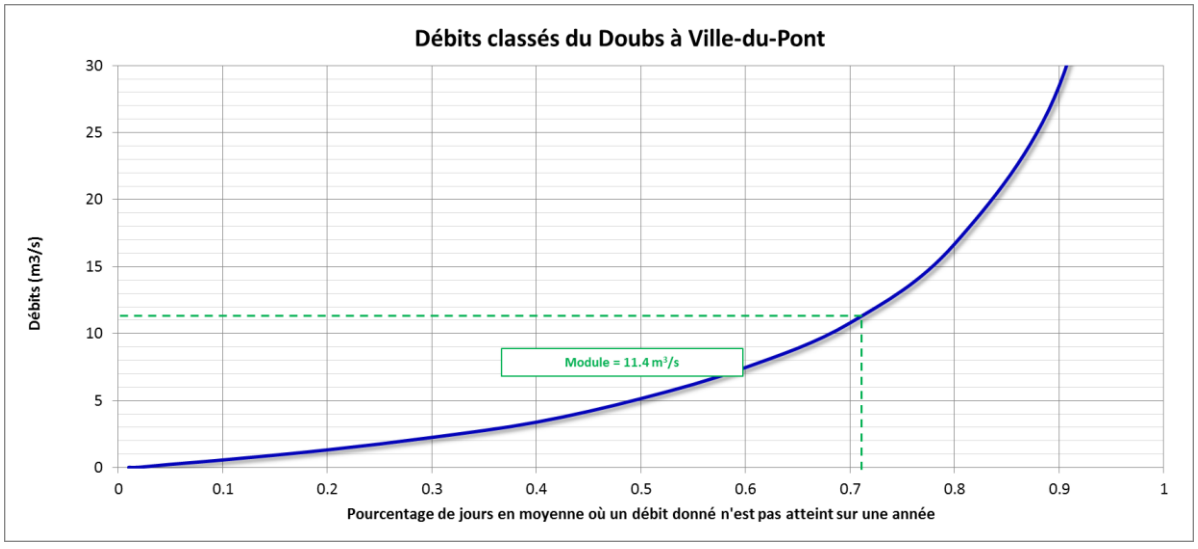


Figure 5 Courbe des débits classés du Doubs sur le secteur d'étude

2.3. PERTES DU DOUBS

L'incendie des usines Pernod de Pontarlier en 1901 a permis de mettre en évidence la relation souterraine existante entre le Doubs et la Loue. La relation a ensuite été confirmée en 1913 par E. Fournier.

Ainsi sur près de 15 km, le lit du Doubs est affecté par des pertes plus ou moins localisées dans les calcaires portandiens fracturés, directement affleurants ou recouverts de dépôts glaciaires ou fluvatiles.

L'importance de ce phénomène va jusqu'à provoquer l'assèchement du lit du Doubs sur le secteur à l'étude, entre Arçon et Ville-du-Pont lors d'étiages sévères. Illustration de ce phénomène, les basses eaux de 2018 ont vu l'assèchement exceptionnel du Doubs sur un linéaire de 18 km allant d'Arçon à Grand Combe-Chateleu.

Une étude hydrologique réalisée dans les années 1980 a permis d'estimer le débit des pertes à une valeur de 1,5 à 3 m³/s. Notons que le réseau karstique a un fonctionnement atypique et complexe car en étiage un débit amont inférieur à 3 m3/s n'entraîne pas forcément un assèchement du lit dans la zone de perte. De même en hautes eaux le phénomène est atténué voir supprimé.

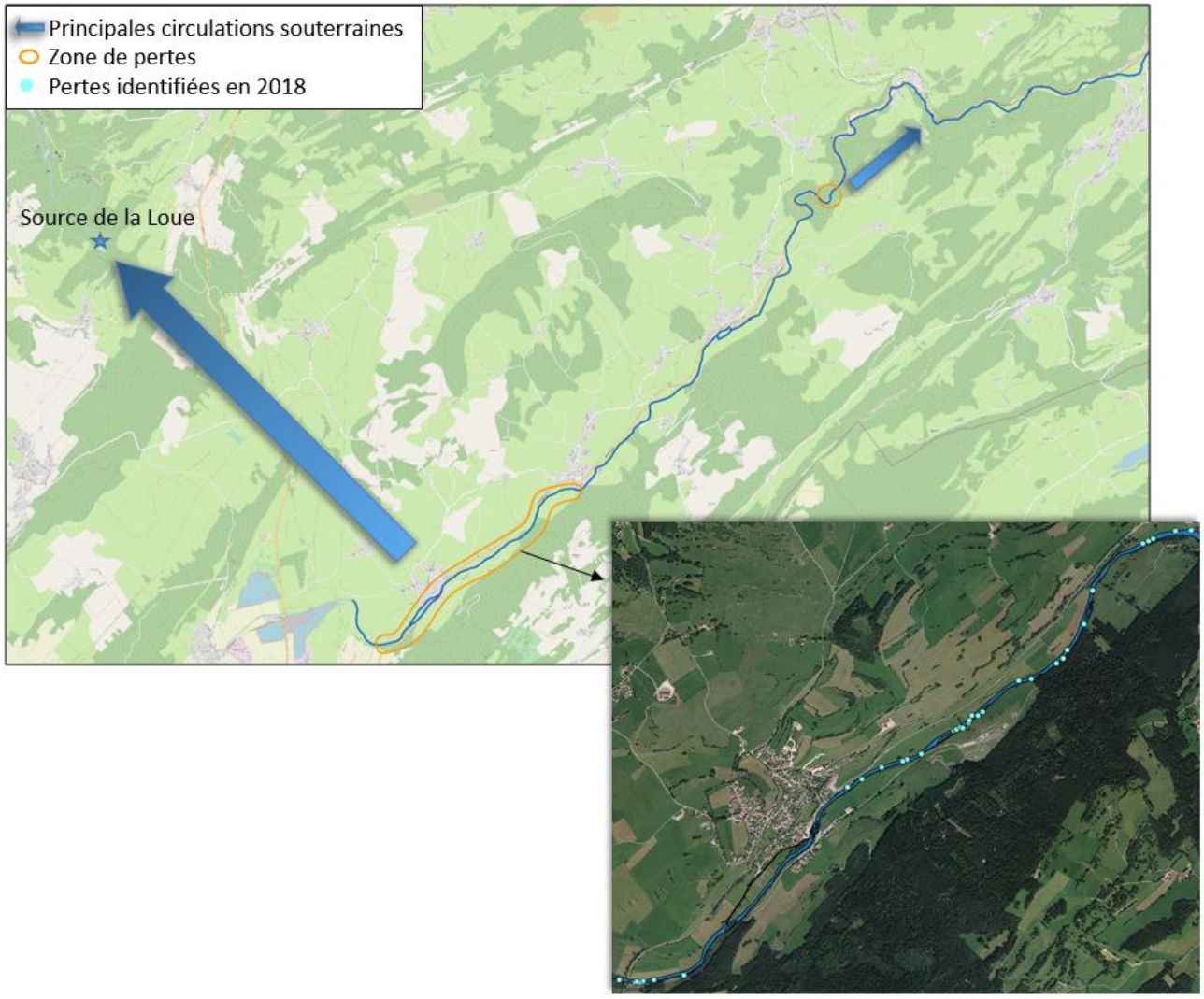


Figure 6 Schématisation et localisation des pertes du secteur

Suite aux assecs de l'été 2018, différents traçages ont été réalisés par le Cabinet Reilé afin d'approfondir la connaissance de la dynamique de capture des eaux du Doubs. Le fonctionnement des pertes est détaillé plus amplement dans la suite du présent rapport.

3. OUVRAGES HYDRAULIQUES DU SECTEUR

3.1. OUVRAGES REPRESENTES SUR LA CARTE DE CASSINI

L’analyse de la carte de Cassini au droit du secteur a permis de localiser 11 différents moulins au droit de notre secteur d’étude.

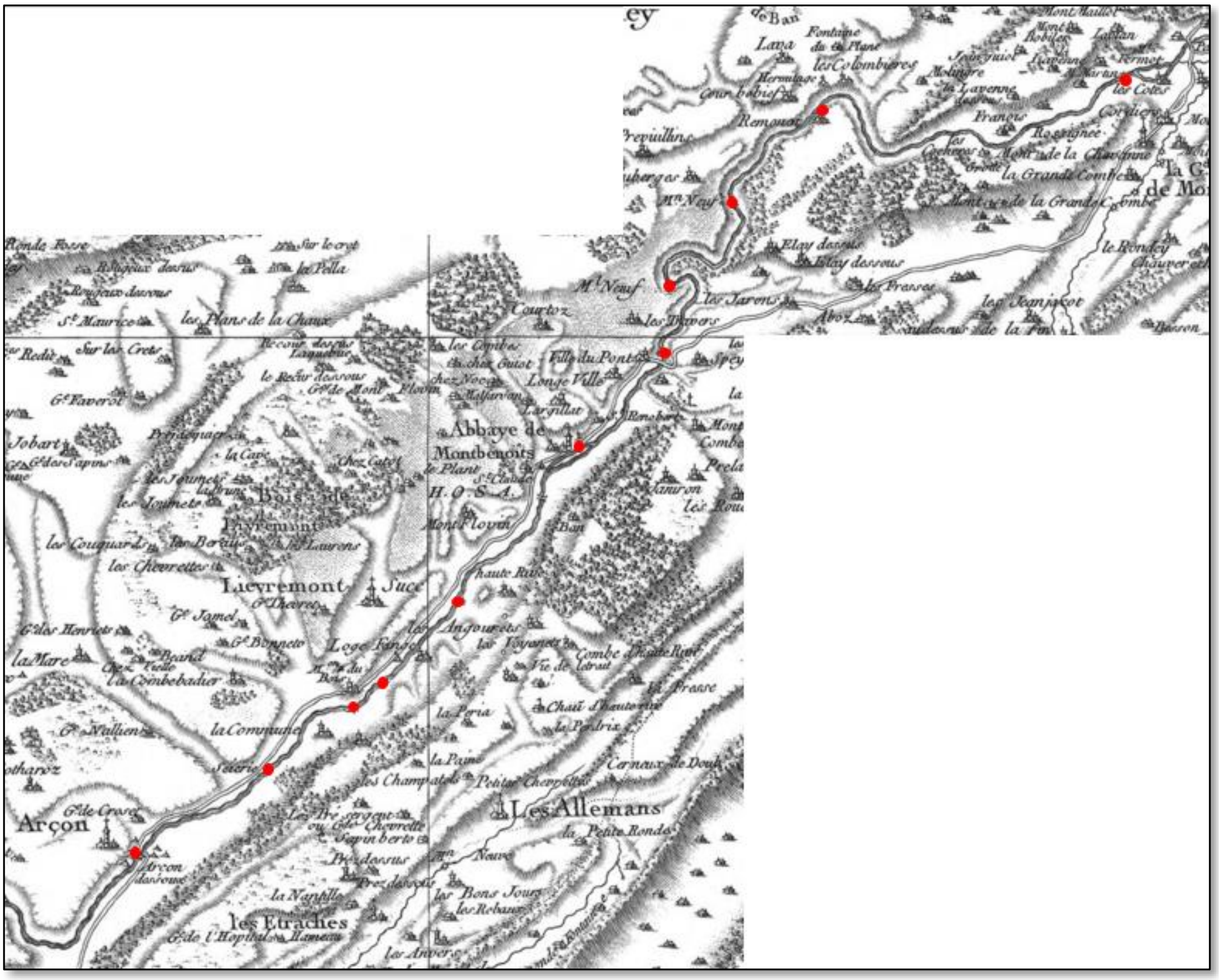


Figure 7 Localisation des moulins sur la carte de Cassini (1740)

Un nombre important de ces ouvrages a aujourd’hui disparu. En effet, les ouvrages encore présents sur site sont :

- Le barrage d’Arçon (ROE27979) ;
- Les deux barrages de Maisons-du-Bois (ROE27977, ROE27978) ;
- Le barrage de Remonot (ROE27974) ;
- Ouvrage de la Cochère.

3.2. DOCUMENTS RETROUVES AUX ARCHIVES

Les documents suivants ont été retrouvés aux archives :

- Plans du Moulin d'Arçon datant de 1824 et demande de modification du règlement (1887) suite à l'installation d'un barrage au droit de la prise d'eau ;

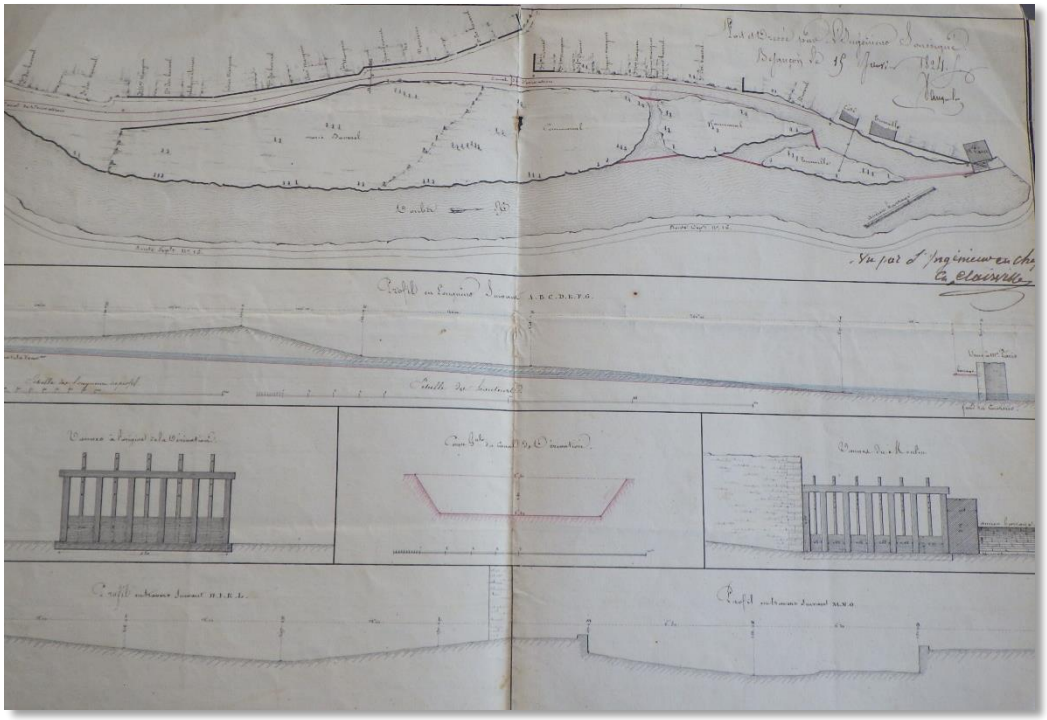


Figure 8 Ancien plan du Moulin d'Arçon

Sur les documents retrouvés aux archives, il apparait que l'ouvrage a appartenu successivement au Sieur Paris puis au Sieur Guy. Le plan ci-dessus illustre la mise en place de différents barrages au droit des bras secondaires que présentaient anciennement le Doubs sur ce secteur. A la lecture des différents documents, il apparait que l'ouvrage amont actuellement toujours visible a été construit sans autorisation préalable, sa régularisation a été demandée en 1887 par le Sieur Guy ;

- Plans et règlement des moulins Michel et Loie-Longe à Maisons-du-Bois ;

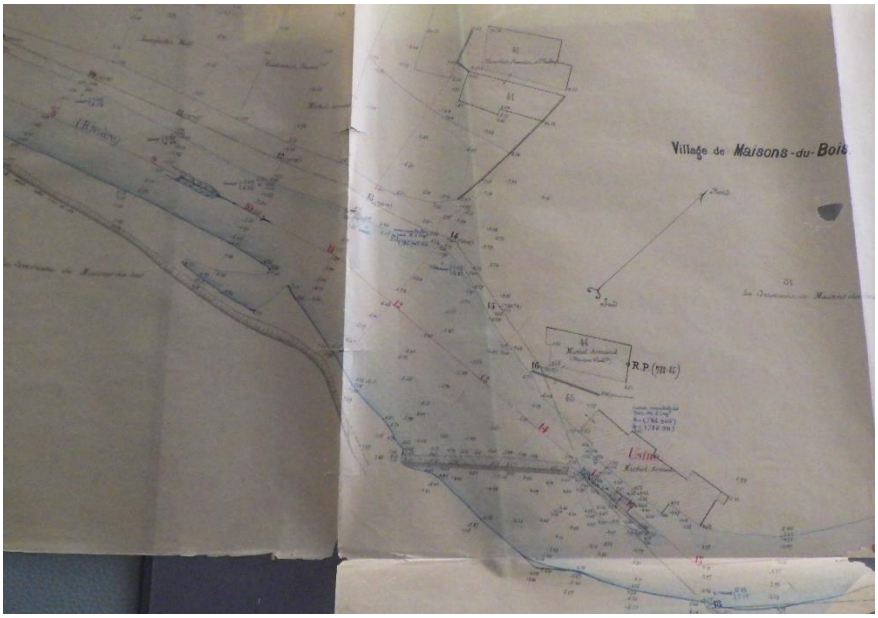


Figure 9 Ancien plan datant de 1890 de l'usine du Sr Michel (actuellement barrage de la Taillanderie)

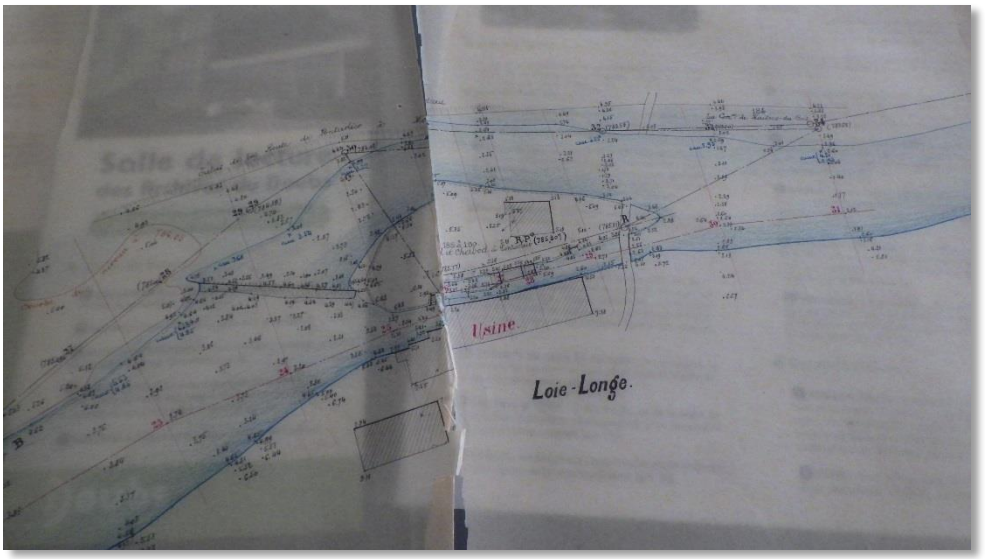


Figure 10 Ancien plan datant de 1891 du moulin de Loie-Longe (actuellement scierie de Maisons-du-Bois)

- Règlement d'eau (1850) du moulin dit du Creux à Ville-du-Pont et plans. L'ouvrage n'est aujourd'hui plus existant ;

Figure 11 Plans du moulin du Creux

- Plans du Moulin Remonot ou usine Monnin (1857) ;

Figure 12 Plans du Moulin Remonot

- Plans du Moulin Vernot (1856) et autorisation d'installation d'une scierie sur le bief du Moulin Vernot (1806)

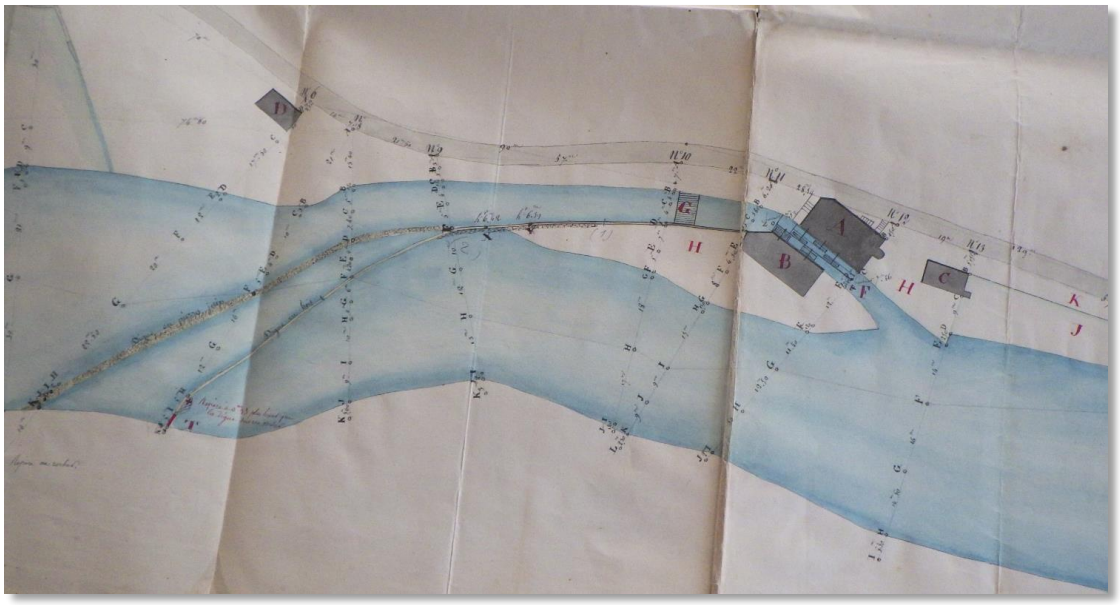
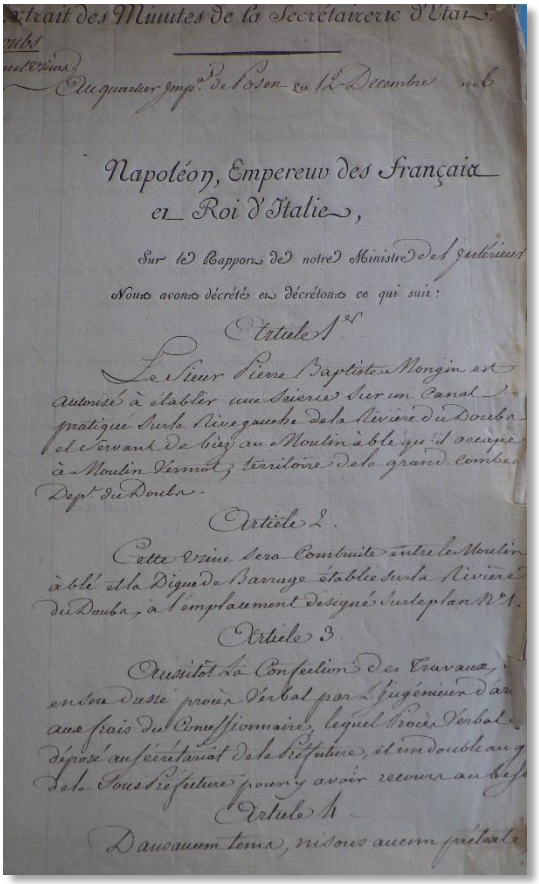


Figure 13 Plan su moulin Vernot



Extrait des Minutes de la Secrétairerie d'Etat.

Napoléon, Empereur des Français et Roi d'Italie,

Sur le Rapport de notre Ministre de l'intérieur

Nous avons décrété et décrétons ce qui suit :

Article 1er

Le Sieur Pierre Baptiste Mongin est autorisé à établir une scierie sur un Canal pratiqué sur la rive gauche de la Rivière du Doubs et servant de bief au Moulin à blé qu'il occupe à Moulin Vernot, territoire de la grand combe Dept. du Doubs.

Article 2.

Cette prise sera construite entre le Moulin à blé et la Digue de Barrage établie sur la Rivière du Doubs, à l'emplacement désigné sur le plan N°1.

Article 3.

Aussitôt la Confection des Travaux, il en sera dressé procès Verbal par l'Ingénieur d'arr aux frais du Concessionnaire, lequel Procès Verbal déposé au secrétariat de la Préfecture, et un double au g de la Sous Préfecture pour y avoir recours au beso

Article 4

Dans aucun tems, ni sous aucun prétexte

Figure 14 Autorisation d'installation d'une scierie (1806)

3.3. OUVRAGES ROE

Sur les 25 km de la zone d'étude, on dénombre 21 ouvrages identifiés au ROE induits par des radiers de ponts ou des seuils en rivières. Ces ouvrages sont autant de blocages pour les continuités écologiques. Une grande partie du linéaire à l'étude est concernée par la zone de remous d'un ouvrage avec des faciès d'écoulement lentiques, un réchauffement des eaux et un colmatage des fonds dommageable pour la vie aquatique (notamment pour ce cours d'eau de première catégorie piscicole).

Les différents ouvrages ROE sont listés ci-dessous :

Tableau 2 Liste des ouvrages ROE

ID ROE	Nom	Type	Sous-type
ROE27974	Prise d'eau du barrage de Remonot	Seuil en rivière	Déversoir
ROE27975	Passage à Gué sur le canal	Seuil en rivière	Radier
ROE27976	Pont de Ville du Pont	Obstacle induit par un pont	Radier de pont
ROE27977	Scierie de Loye Longe	Seuil en rivière	Déversoir
ROE27978	Barrage de Taillanderie de Maisons du Bois	Seuil en rivière	Déversoir
ROE8935	pont de la roche	Obstacle induit par un pont	Radier de pont
ROE27979	Sortie du canal d'Arçon	Seuil en rivière	Déversoir
ROE27980	Barrage d'Arçon	Seuil en rivière	Déversoir
ROE8937	pont de Morteau	Obstacle induit par un pont	Radier de pont
ROE27981	Prise d'eau du canal d'Arçon	Seuil en rivière	Déversoir
ROE27989	Pont de Remonot	Obstacle induit par un pont	Radier de pont
ROE27991	Passerelle de Montbenoît	Obstacle induit par un pont	Radier de pont
ROE6710	barrage de Morteau	Seuil en rivière	Déversoir
ROE27992	Pont du Camping de Montbenoît	Obstacle induit par un pont	Radier de pont
ROE27993	Passerelle d'Hauterive	Obstacle induit par un pont	Radier de pont
ROE27994	Pont d'Hauterive la Fresse	Obstacle induit par un pont	Radier de pont
ROE27995	Pont de Maisons du Bois	Obstacle induit par un pont	Radier de pont
ROE29536	Passerelle de la Scierie Mougin à Loye Longe	Obstacle induit par un pont	Radier de pont
ROE27997	Pont d'Arçon	Obstacle induit par un pont	Radier de pont
ROE27998	Pont des Oyes SNCF Gilley	Obstacle induit par un pont	Radier de pont
ROE7490	barrage du pont du diable	Seuil en rivière	Enrochements
ROE27973	barrage de Remonot (détruit)	Seuil en rivière	Déversoir

Au total cette liste contient :

- 10 ouvrages hydrauliques de type seuil, dont le barrage de Morteau. En effet, bien que celui-ci soit hors secteur d'étude sa zone d'influence s'étend jusqu'à l'aval du défilé ;
- 12 ouvrages de franchissement de type pont ou passerelle.

3.3.1. Barrages et seuils

Comme détaillé précédemment, notre secteur d'étude comporte 10 ouvrages hydrauliques inscrits au ROE. En complément, deux seuils en enrochement ont été localisés au sein du défilé lors des visites de site.

Les parties suivantes s'attachent à présenter les différents ouvrages du secteur.

3.3.1.1. Barrage (ROE 27980) et prise d'eau (ROE 27981) d'Arçon

Le barrage d'Arçon constitue le premier obstacle du secteur. Il est constitué d'un seuil ayant un coursier en enrochement recouvert d'une carapace béton. En rive gauche du barrage est située la prise d'eau du canal. Celle-ci se compose de 3 vannes :

- Deux de ces vannes sont ajustées grâce à des poutrelles calées à 1 m environ par rapport au fond du lit ;
- La troisième vanne est manœuvrable grâce à un système de crémaillère.

Figure 15 Barrage et prise d'eau d'Arçon

Les caractéristiques du barrage sont les suivantes :

- Etat de l'ouvrage : dégradé avec carapace détruite et armature apparente ;
- Longueur déversante : 58 m ;
- Hauteur de chute : 80 centimètres avec des veines induisant des chutes plus faibles ;
- Longueur remous : 230 m en étiage

- Franchissabilité : barrage franchissable à la montaison mais pouvant entraîner une fatigue ou un retard à la migration, barrage ne représentant pas un obstacle à la dévalaison ;
- Propriétaire : canal appartenant à la commune, parcelle au droit de l'ancien moulin appartenant à M. Guyot ;
- Usage : alimentation du canal d'Arçon.

En complément, à l'aval de cet ouvrage, des restes d'un ancien barrage existe (ROE27979), celui-ci est fondé sur un affleurement rocheux et ne représente un obstacle qu'en période d'étiage.

3.3.1.2. Barrage de Taillanderie à Maisons du Bois (ROE27978)

Le Barrage est situé à l'entrée de Maisons du Bois. Il est placé au fil de l'eau et est constitué d'un seuil fixe et de 3 vannes, 2 en rive gauche et 1 en rive droite.

Figure 16 Barrage de Taillanderie

Les caractéristiques du barrage sont les suivantes :

- Etat de l'ouvrage : légèrement dégradé ;
- Longueur déversante : 59 m ;
- Hauteur de chute : 1.7 m ;
- Longueur remous : 402 m en étiage
- Franchissabilité : barrage infranchissable à la montaison, franchissable à la dévalaison ;
- Propriétaire : M et Mme Buisson ;
- Usage : aucun usage actuellement, anciennement utilisé pour la production d'hydroélectricité.

3.3.1.3. Barrage de la scierie de Maisons du Bois (ROE27977)

Le barrage est situé au droit de la scierie Rufenacht Père et fils. Celui-ci est actuellement sans usage et le canal usinier de l'ensemble a été comblé.

Figure 17 Barrage de la scierie de Maisons du Bois

Les caractéristiques du barrage sont les suivantes :

- Etat de l'ouvrage : dégradé ;
- Longueur déversante : 51 m ;
- Hauteur de chute : 1.25 m ;
- Longueur remous : 500 m en étiage
- Franchissabilité : barrage infranchissable à la montaison ;
- Propriétaire : M Ruffenacht ;
- Usage : ancien barrage permettant le fonctionnement de la scierie, actuellement sans usage.

3.3.1.4. Barrage de Remonot (ROE27973)

L'ensemble hydraulique du Barrage de Remonot est situé au droit de la commune des Combes. L'ouvrage est actuellement détruit et ne représente pas un obstacle pour le franchissement. Le bief du moulin est lui toujours connecté par l'aval, aussi une partie de son linéaire reste en eau. L'ouvrage étant sans usage, aucun projet de reconstruction n'est prévu.

Figure 18 Ensemble hydraulique de Remonot

Les caractéristiques du barrage sont les suivantes :

- Etat de l'ouvrage : détruit ;
- Longueur déversante : 62 m ;
- Hauteur de chute : 0.27 m, pas de chute en soi mais un delta de niveau d'eau est observé entre l'amont et l'aval de l'ouvrage ;
- Franchissabilité : barrage franchissable ;
- Propriétaire : Mme Michel ;
- Sans usage.

3.3.1.5. Barrage du pont du diable (ROE7490)

Le barrage est situé à l'aval de la commune des Combes et est constitué d'enrochement.

Figure 19 Barrage du pont du diable

Les caractéristiques de l'ouvrage sont les suivantes :

- Etat de l'ouvrage : détérioré ;
- Longueur déversante : 35.43 m ;
- Hauteur de chute : 0.5 m ;
- Longueur remous : 575m ;
- Franchissabilité : barrage franchissable par la truite hors étiage à la montaison, barrage franchissable à la dévalaison ;
- Sans usage.

3.3.1.6. Ouvrage des Combes

Situé 350 m en aval du barrage du pont du diable, l'ouvrage se situe au droit d'un important banc végétalisé. La rive gauche du secteur est enrochée. Cet ouvrage n'est pas référencé aux ROE.

Figure 20 Seuil des Combes

Les caractéristiques de l'ouvrage sont les suivantes :

- Etat de l'ouvrage : détérioré ;
- Longueur déversante : 23 m ;
- Hauteur de chute : 0.4 m ;
- Longueur remous : 200m ;
- Franchissabilité : barrage franchissable par la truite hors étiage à la montaison, franchissable à la dévalaison ;
- Sans usage.

3.3.1.7. Ouvrage de la Corchère

Le seuil est situé dans la partie aval du défilé proche du lieu-dit de la Corchère.

Figure 21 Seuil de la Corchère

Les caractéristiques de l'ouvrage sont les suivantes :

- Etat de l'ouvrage : détérioré ;
- Longueur déversante : 28.2 m ;
- Hauteur de chute : 0.43 m ;
- Longueur remous : 1000m ;
- Franchissabilité : difficilement franchissable à la montaison ;
- Sans usage.

3.3.1.8. Barrage de Morteau (ROE6710)

L'ouvrage est situé hors secteur d'étude mais sa zone d'influence remonte jusqu'à l'aval du défilé. Aussi, pour l'optimisation du modèle hydraulique l'ouvrage a été levé dans le cadre de la topographie.

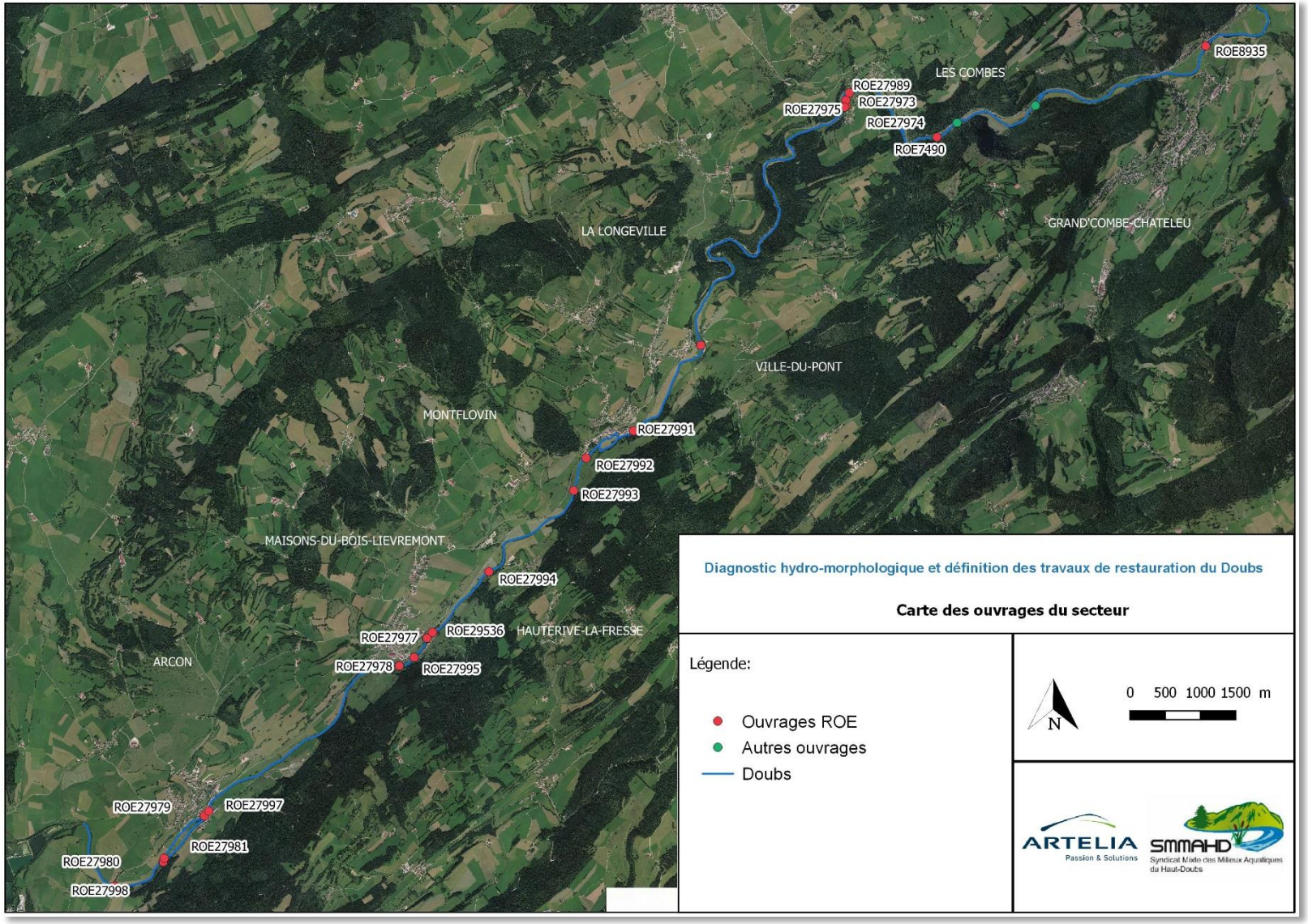
Figure 22 Barrage de Morteau

Les caractéristiques du barrage sont les suivantes :

- Etat de l'ouvrage : bon ;
- Longueur déversante : 45 m ;
- Hauteur de chute : 1.5 m ;
- Longueur remous : 4.2 km ;
- Franchissabilité : infranchissable.

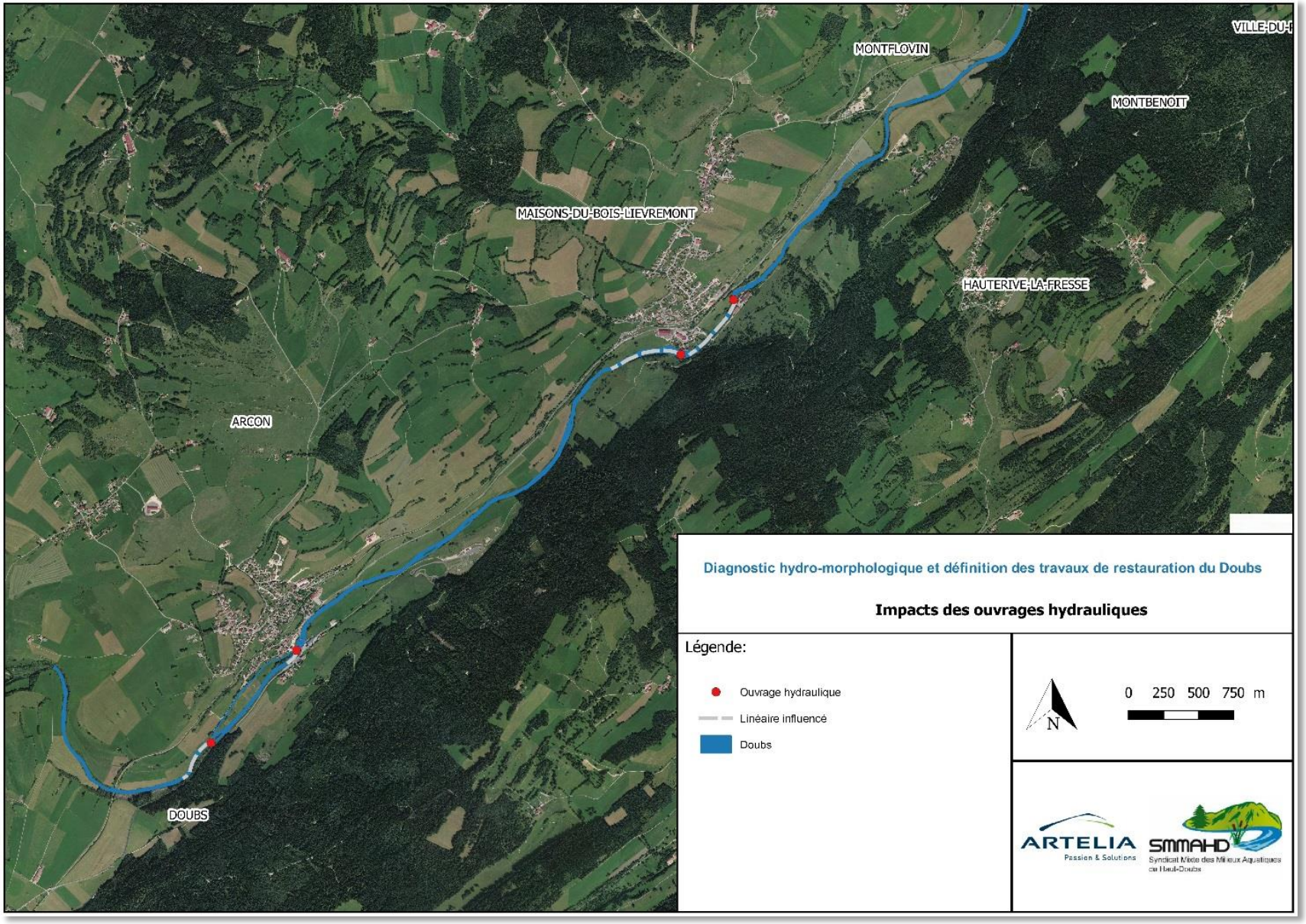
3.3.2. Localisation

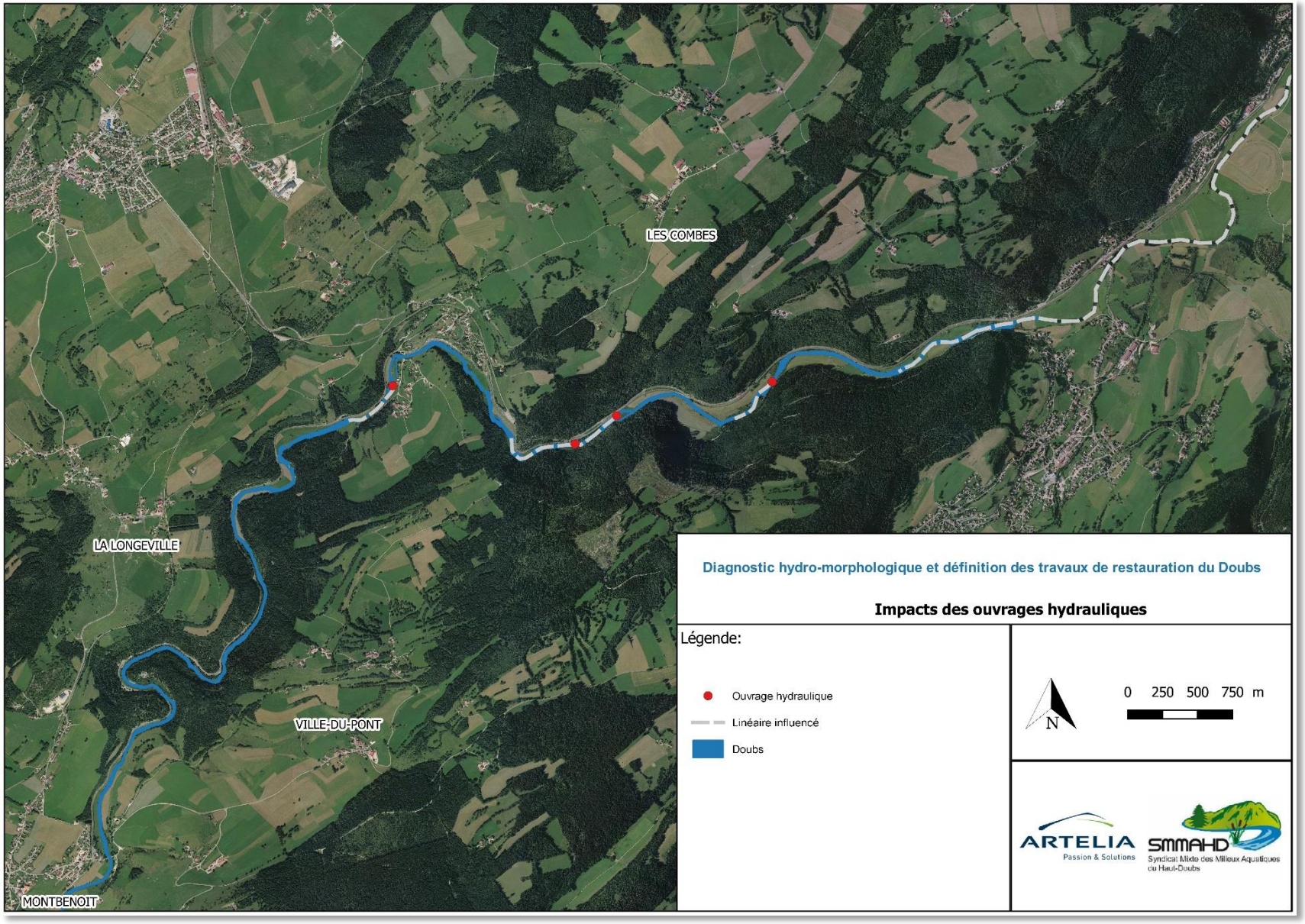
La carte ci-après localise les différents ouvrages évoqués.


ROE8935
LES COMBES
ROE27989
ROE27973
ROE27975
ROE27974
ROE7490
LA LONGEVILLE
GRAND'COMBE-CHATELEU
VILLE-DU-PONT
MONTFLOVIN
ROE27991
ROE27992
ROE27993
MAISONS-DU-BOIS-LIEVREMONT
ROE27994
ROE27977
ROE29536
HAUTERIVE-LA-FRESSE
ARCON
ROE27978
ROE27995
ROE27979
ROE27997
ROE27981
ROE27980
ROE27998
Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs
Carte des ouvrages du secteur
Légende:
Ouvrages ROE
Autres ouvrages
Doubs
N
0 500 1000 1500 m
ARTELIA
Passion & Solutions
SMMAHD
Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques du Haut-Doubs

3.3.3. Linéaire influencé

L'ensemble des zones de retenues engendrées par les ouvrages a été cartographié. Au total on comptabilise un linéaire influencé égal à 3.46 km. Notons par ailleurs que sur la partie aval des gorges, à l'aval de Remonot, sur un linéaire total de 5.6 km on observe 2.38 km influencé par des ouvrages soit 42 % de la rivière sur ce secteur.


MONTFLOVIN
MONTBENOIT
MAISONS-DU-BOIS-LIEVREMONT
HAUTERIVE-LA-FRESSE
ARCON
DOUBS
Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs
Impacts des ouvrages hydrauliques
Légende:
Ouvrage hydraulique
Linéaire influencé
Doubs
N
0 250 500 750 m
ARTELIA
Passion & Solutions
SMMAHD


LES COMBES
LA LONGEVILLE
VILLE-DU-PONT
MONTBENOIT
Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs
Impacts des ouvrages hydrauliques
Légende:
Ouvrage hydraulique
Linéaire influencé
Doubs
N
0 250 500 750 m
ARTELIA
Passion & Solutions
SMMAHD
Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques du Haut-Doubs

4. CONTEXTE HYDRAULIQUE

4.1. RISQUE INONDATION

4.1.1. Débits maximaux connus

Les crues les plus importantes enregistrées sur la période 1990-2019 sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 3 Liste des crues de 1990 à 2019 (source : BanqueHydro)

Date	Débit (m3/s)	Validité	Récurrence
15 fév. 1990	273	#	PLUS QUE VICENNALE HUMIDE
02 janv. 1991	62.7		TRIENNALE SECHE
16 mar. 1992	62.5	#	QUADRIENNALE SECHE
08 avr. 1993	68.2		BIENNALE
04 janv. 1994	76.8		ENTRE BIENNALE ET TRIENNALE HUMIDE
26 janv. 1995	145		QUINQUENNALE HUMIDE
09 juil. 1996	64.2		ENTRE BIENNALE et TRIENNALE SECHE
27 fév. 1997	51.7		ENTRE QUINQ. ET DECENNALE SECHES
07 janv. 1998	34.6		PLUS QUE DECENNALE SECHE
22 fév. 1999	201	#	PLUS QUE DECENNALE HUMIDE
10 fév. 2000	71.8		BIENNALE
14 mar. 2001	106		QUADRIENNALE HUMIDE
28 fév. 2002	62.1		QUADRIENNALE SECHE
04 janv. 2003	55.9		QUINQUENNALE SECHE
14 janv. 2004	173		ENTRE QUINQ. ET DECENNALE HUMIDES
13 fév. 2005	85.6		TRIENNALE HUMIDE
10 mar. 2006	102		QUADRIENNALE HUMIDE
11 avr. 2008	81.8		ENTRE BIENNALE ET TRIENNALE HUMIDE
01 janv. 2010	68.1		ENTRE BIENNALE et TRIENNALE SECHE
13 janv. 2011	32.4		PLUS QUE VICENNALE SECHE

La plus importante crue recensée sur cette période correspond à celle du 15 février 1990. C'est d'ailleurs cette crue qui constitue la crue de référence pour le PPRI du Haut Doubs.

4.1.2. Laisses de crue

Différentes laisses de crue sont présentes sur le secteur d'étude. A l'amont du secteur, au droit de la commune d'Arçon, 4 repères sont présents.

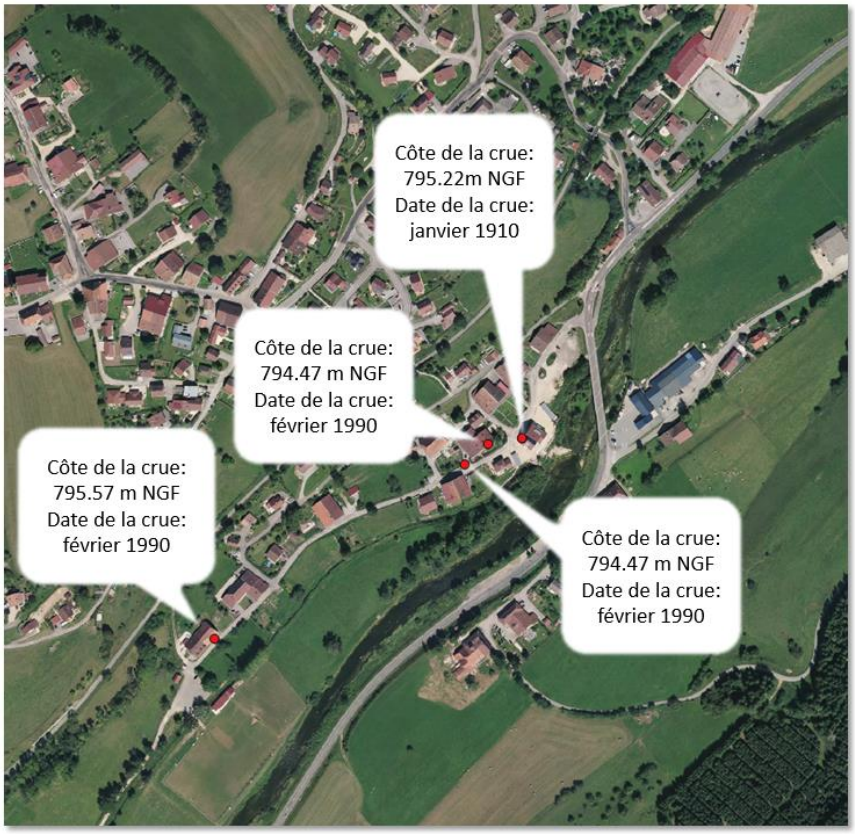


Figure 23 Laisses de crue à Arçon

La crue décennale de février 1999 a inondé la scierie de Montbenoît, une laisse y a été tracée à cette occasion.

Figure 24 Laisse de crue à Montbenoît

Quatre laisses sont de même présentes au droit du Moulin de Remonot.

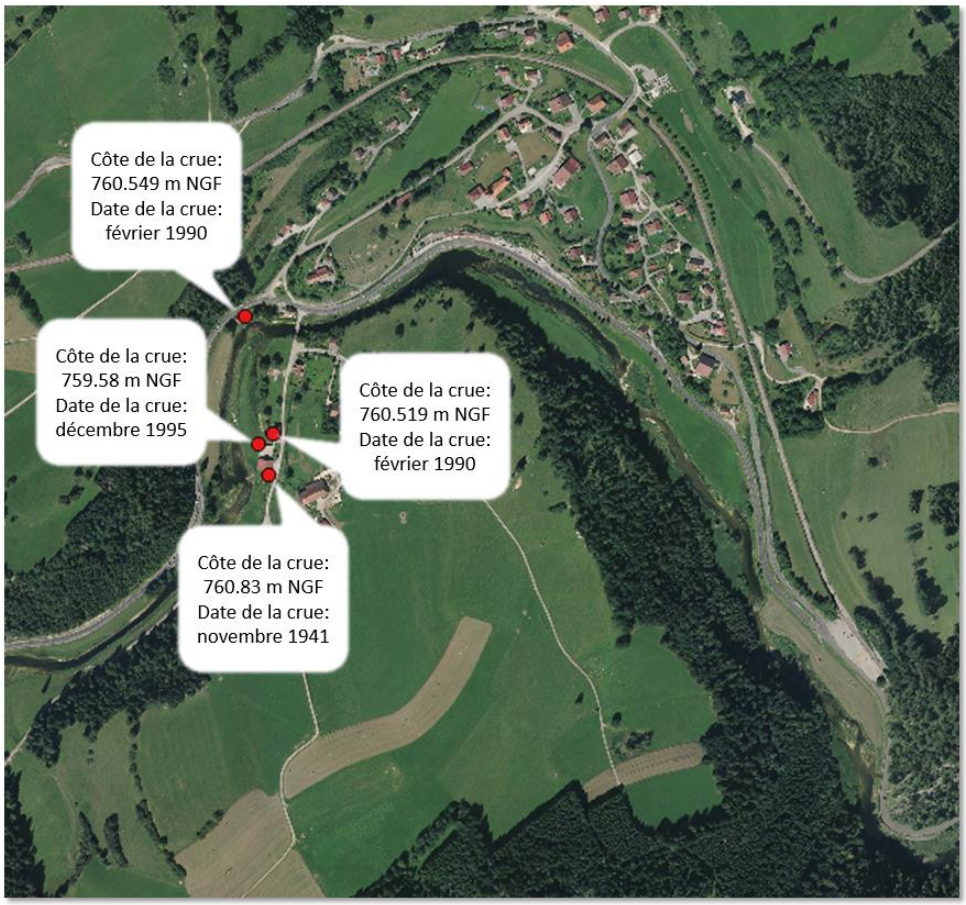


Figure 25 Laisses de crue au moulin de Remonot

4.1.3. PPRI

Le Plan de Prévention des Risques d'Inondation du Doubs amont date de 2012, celui-ci a été déterminé à partir d'une analyse hydrogéomorphologique du secteur, c'est-à-dire sans modélisation hydraulique. La crue de référence du PPRI est la crue de février 1990, dont le débit de pointe sur notre secteur a été estimé à de 273 m3/s.

Les différentes cartes d'aléas sont présentées ci-après :

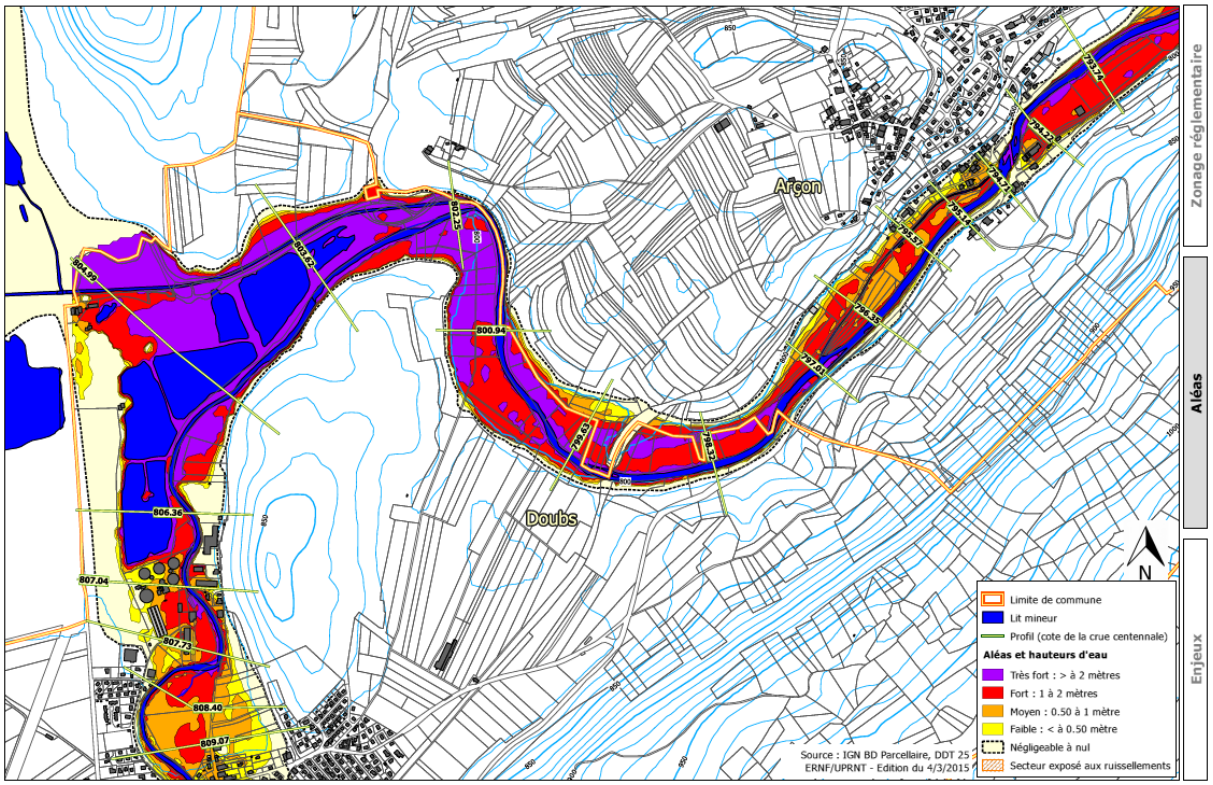
Plan de Prévention des Risques d'inondation du Doubs amont

Aléas et hauteurs d'eau

Planche 16

1:10 000

Page 18



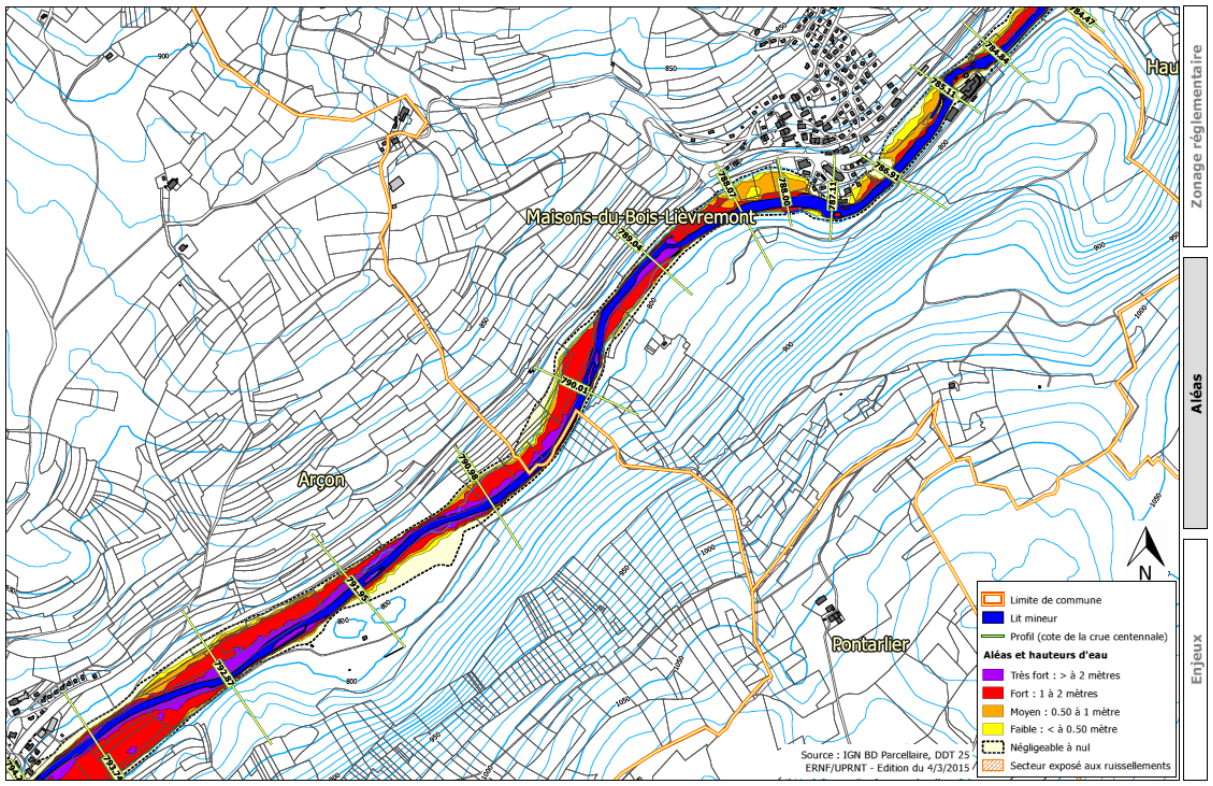
Plan de Prévention des Risques d'inondation du Doubs amont

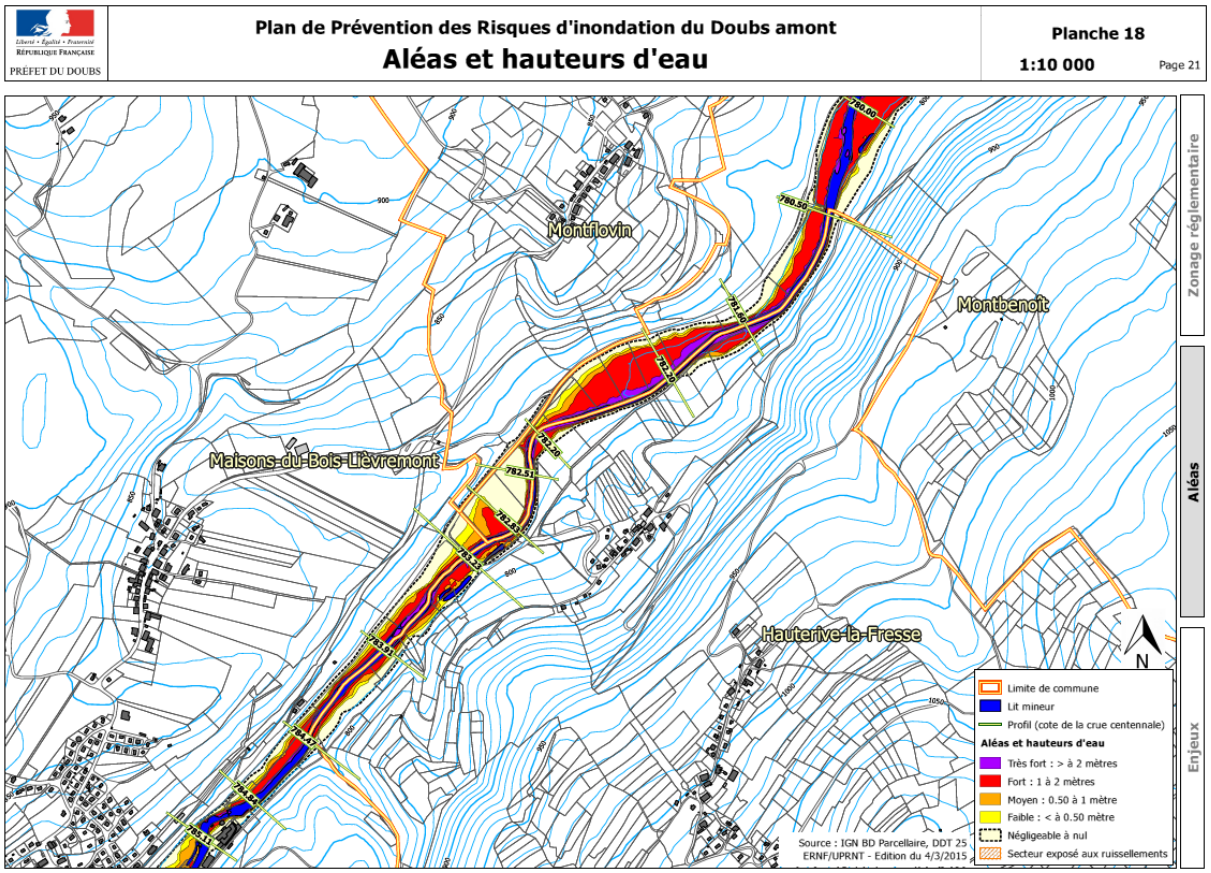
Aléas et hauteurs d'eau

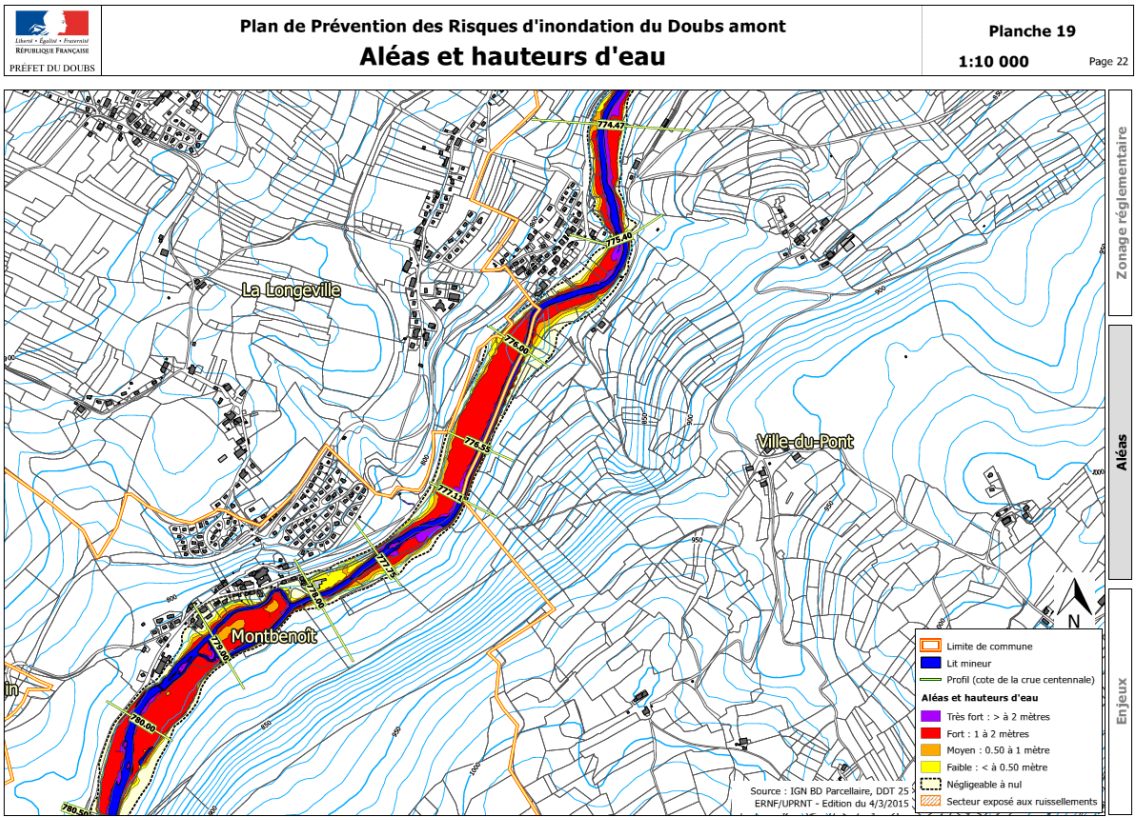
Planche 17

1:10 000

Page 20




Plan de Prévention des Risques d'inondation du Doubs amont
Aléas et hauteurs d'eau
Planche 18
1:10 000
Page 21
Montflovin
Montbenoît
Maisons-du-Bois-Lièvremont
Hauterive-la-Fresse
Zonage réglementaire
Aléas
Enjeux
Limite de commune
Lit mineur
Profil (cote de la crue centennale)
Aléas et hauteurs d'eau
Très fort : > à 2 mètres
Fort : 1 à 2 mètres
Moyen : 0.50 à 1 mètre
Faible : < à 0.50 mètre
Négligeable à nul
Secteur exposé aux ruissellements
Source : IGN BD Parcellaire, DDT 25
ERNF/UPRNT - Edition du 4/3/2015


Plan de Prévention des Risques d'inondation du Doubs amont
Aléas et hauteurs d'eau
Planche 19
1:10 000
Page 22
La Longeville
Ville-du-Pont
Montbenoît
Zonage réglementaire
Aléas
Enjeux
Limite de commune
Lit mineur
Profil (cote de la crue centennale)
Aléas et hauteurs d'eau
Très fort : > à 2 mètres
Fort : 1 à 2 mètres
Moyen : 0.50 à 1 mètre
Faible : < à 0.50 mètre
Négligeable à nul
Secteur exposé aux ruissellements
Source : IGN BD Parcellaire, DDT 25
ERNF/UPRNT - Edition du 4/3/2015

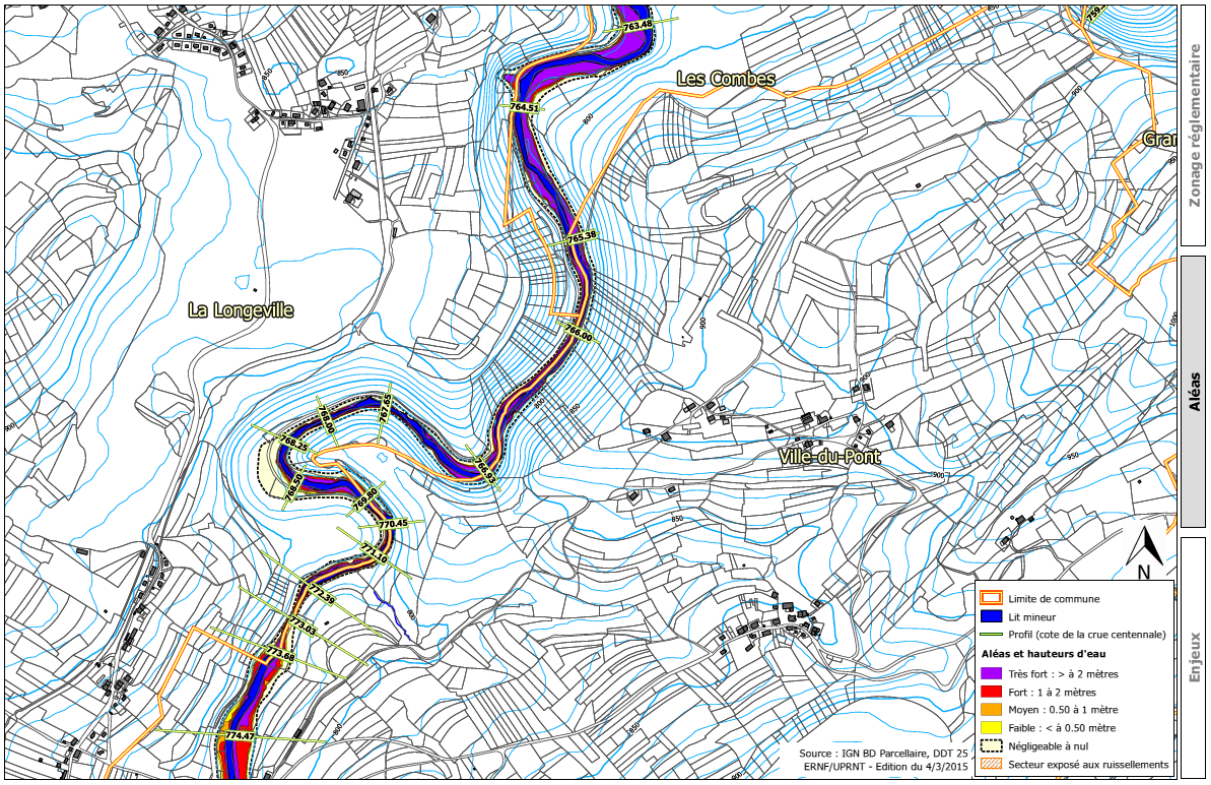
Plan de Prévention des Risques d'inondation du Doubs amont

Aléas et hauteurs d'eau

Planche 20

1:10 000

Page 24



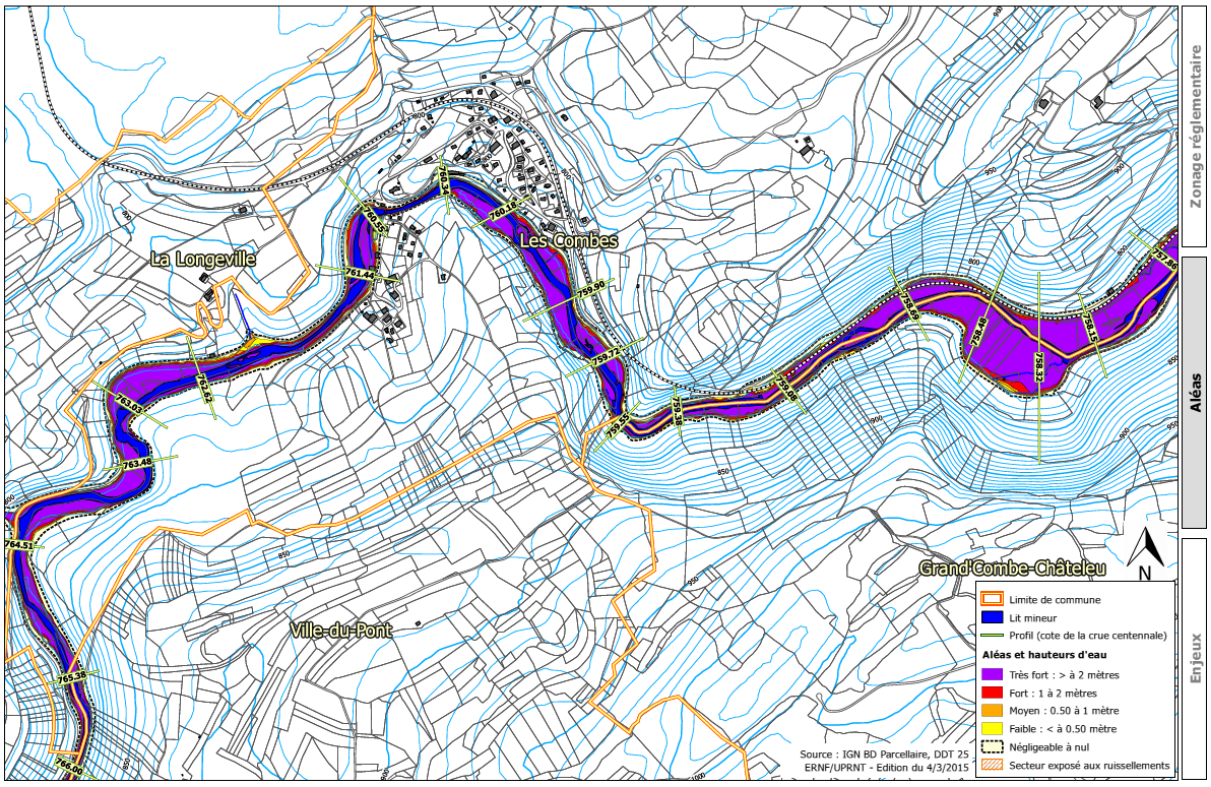
Plan de Prévention des Risques d'inondation du Doubs amont

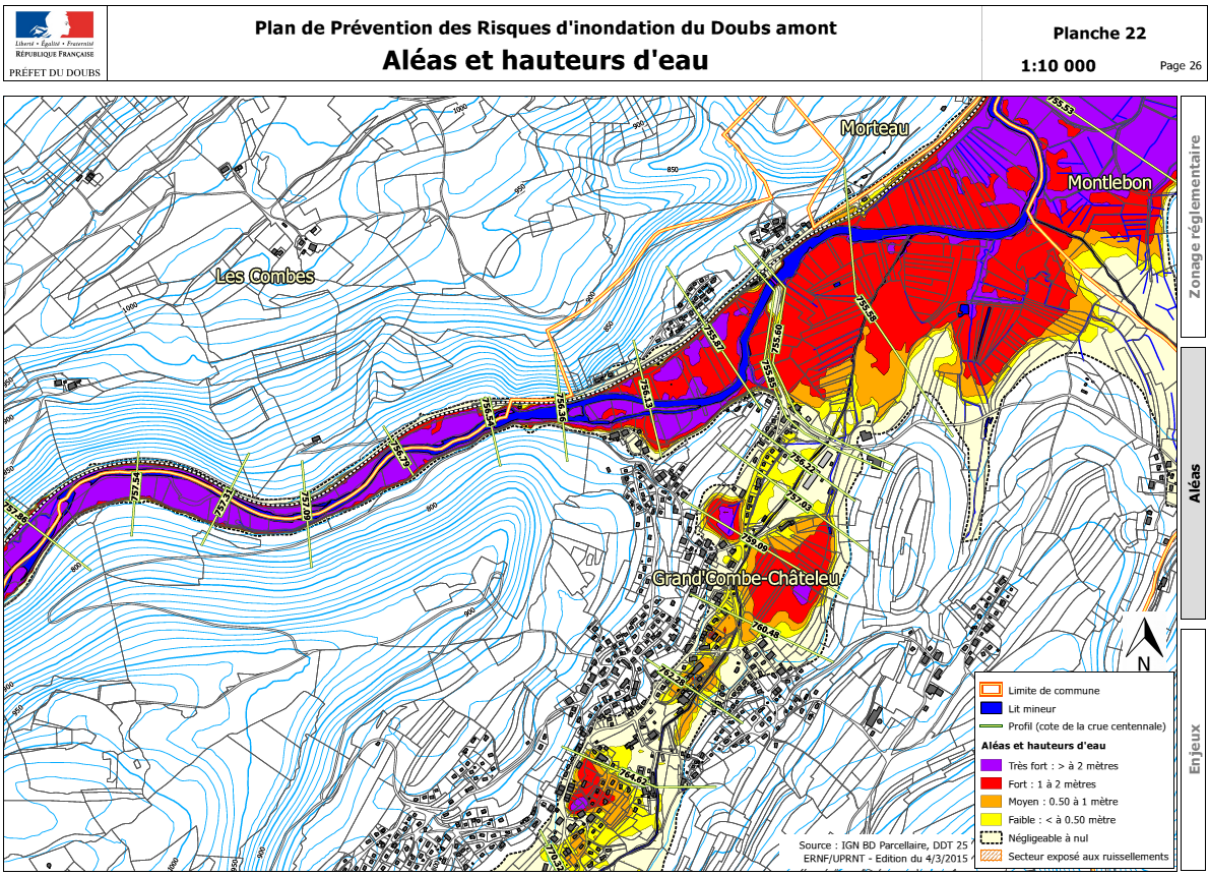
Aléas et hauteurs d'eau

Planche 21

1:10 000

Page 25





Il est évoqué au sein du PPRI que sur notre secteur, lors de la crue de 1990, le Doubs a débordé au niveau de la scierie d'Arçon, dans la rue du canal, en amont rive gauche du pont de la RD437, où la hauteur atteignait 0.7m. L'usine située en aval du pont en rive droite n'a pas été inondée.

A Montbenoît, le bâtiment de la scierie a été inondé.

Dans le secteur de Rémonot, quelques caves et les grottes ont été inondées.

A l'aval du secteur, à Grand'Combe Châteleu, seul le hameau des Douffrans a été touché.

4.2. MODELISATION HYDRAULIQUE

Pour apprécier et quantifier les écoulements (les hauteurs et vitesses d'écoulement) du cours d'eau dans l'état actuel et dans l'état aménagé, une modélisation hydraulique a été réalisée.

Le modèle hydraulique (HEC-RAS) a été construit sur la base de relevés réalisés par HYDROTOPO en avril 2019.

Il s'agit ici d'un modèle dit « filaire ramifié » : le lit mineur est représenté par une suite de profils en travers entre lesquels la courbe de remous est calculée par résolution numérique des équations de Saint-Venant.

Rappelons que tout modèle est une représentation « mathématisée » de la réalité. En hydraulique, un modèle est un outil pour :

- Estimer les cotes d'eau pour différentes situations hydrologiques ;
- Tester d'autres fonctionnements possibles par l'aménagement des cours d'eau, de leurs abords et/ou des ouvrages ;

- Estimer les débits de plein-bord des secteurs, débits qui accomplit le travail géomorphologique total le plus important en termes d'ajustement des chenaux.

4.2.1. Topologie du modèle

Le modèle réalisé représente la configuration hydrographique du Doubs sur le secteur à l'étude. Sa topologie s'appuie sur les éléments suivants :

- 61 profils du lit mineur et des rives ;
- Levé des 12 ouvrages de franchissement de type pont ;
- Levé des ouvrages hydrauliques (seuil, prise d'eau) ;
- Profil en long du secteur allant de la confluence avec le Drugeon jusqu'à l'aval du barrage de Morteau.

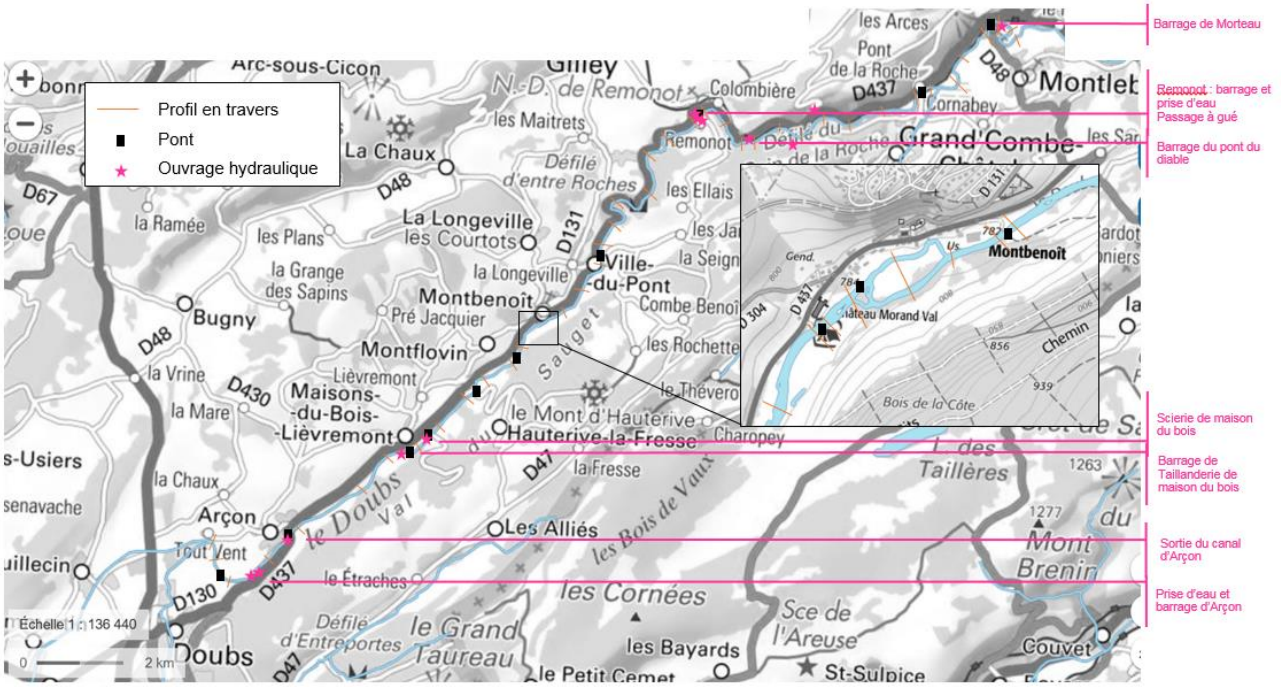


Figure 26 Localisation des levés topographiques

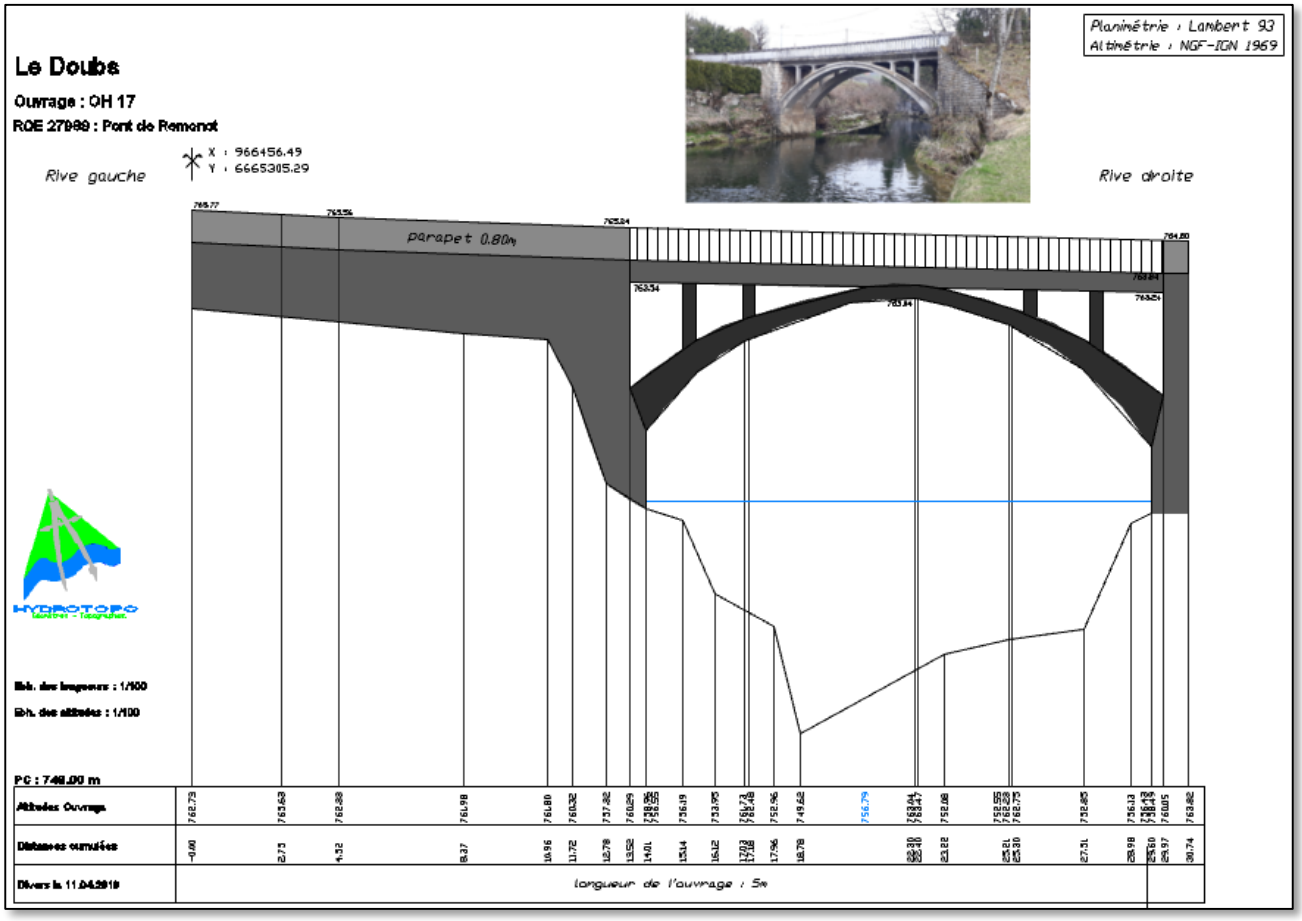


Figure 27 Exemple de coupe réalisée sur le secteur

4.2.2. Calage du modèle

Le calage du modèle a été réalisé à partir des mesures de niveaux relevés lors de la réalisation de la topographie. Au vu de la complexité du secteur en étiage, de par le phénomène des pertes du secteur, il est important de noter que ce calage s'appuie sur des niveaux de moyennes eaux. Le calage en basse eaux n'a pas été réalisé.

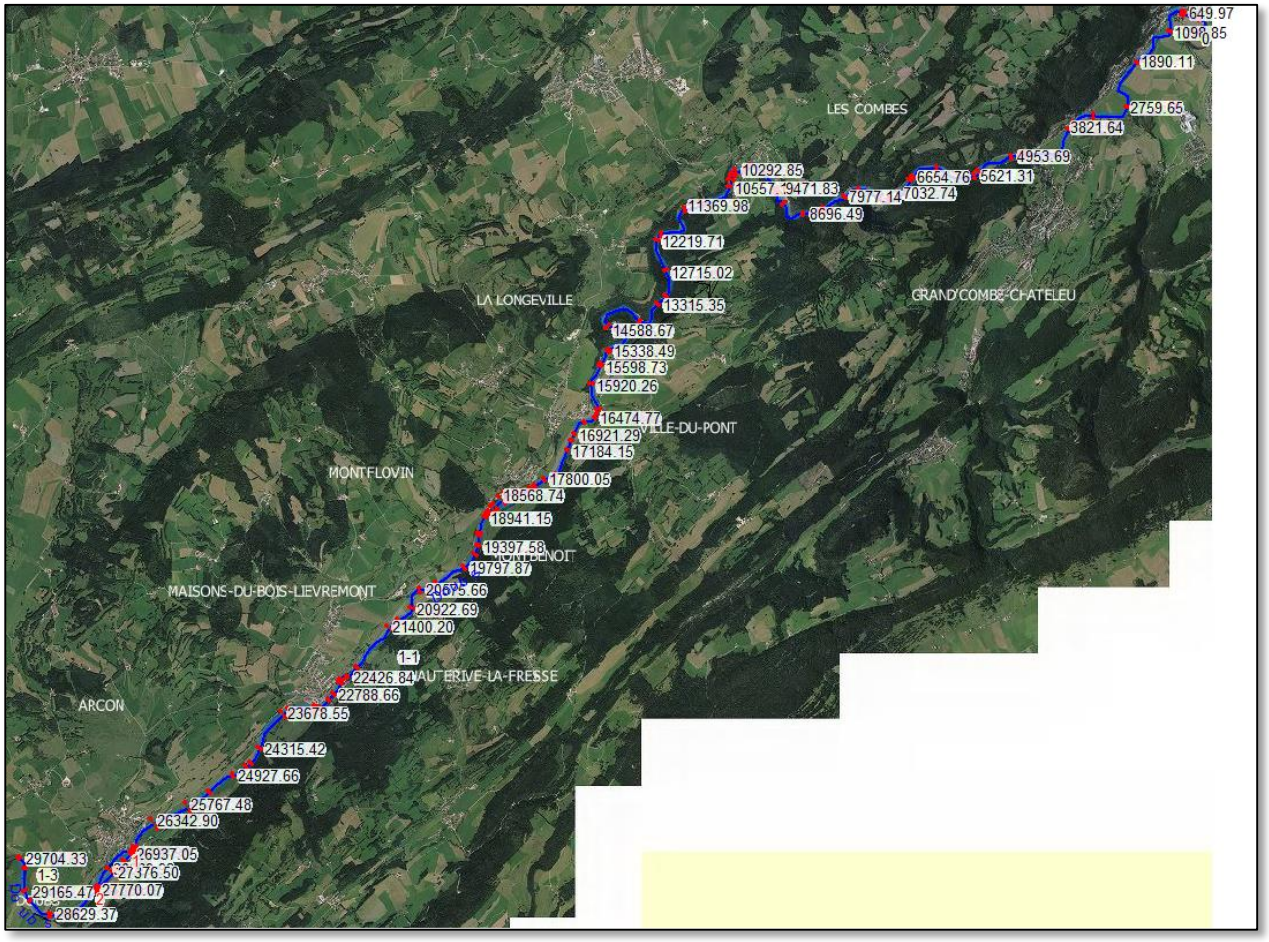


Figure 28 Représentation du secteur modélisé sous HECras

Les hypothèses retenues pour la modélisation hydraulique sont les suivantes :

- Modélisation en régime uniforme, permanent ;
- Conditions aval/amont : pente moyenne du profil et régime uniforme ;
- Rugosité du lit mineur : coefficient de Manning-Strickler variant entre 25 et 40 (secteur des gorges).

4.2.3. Etat initial

La modélisation a permis d'apprécier le fonctionnement global du tronçon, et déterminer quelques grandeurs indispensables à la suite de l'étude, comme le débit de plein bord, que l'on considère comme le débit morphogène du cours d'eau.

4.2.3.1. Détermination des débits de plein-bord

Le débit de plein bord correspond à la capacité d'écoulement du lit mineur juste avant débordement en lit majeur. Pour les rivières alluviales en fonctionnement naturel, il joue un rôle important du point de vue de la structuration de la morphologie. Cette donnée est aussi importante d'un point de vue biologique. En effet, d'une part le débit de plein bord correspond à la limite de connexion entre les différents lits, d'autre part, il permet d'assurer l'entretien du substrat. Il

définit alors les conditions limitantes pour certains organismes (végétaux, alevins,..) de par son intensité, sa fréquence et sa durée.

Sur le secteur, les débits de plein bord ont été estimés à partir de la modélisation hydraulique. Les profils ayant été analysés sont localisés ci-dessous :

Figure 29 Localisation des profils analysés (1/2)

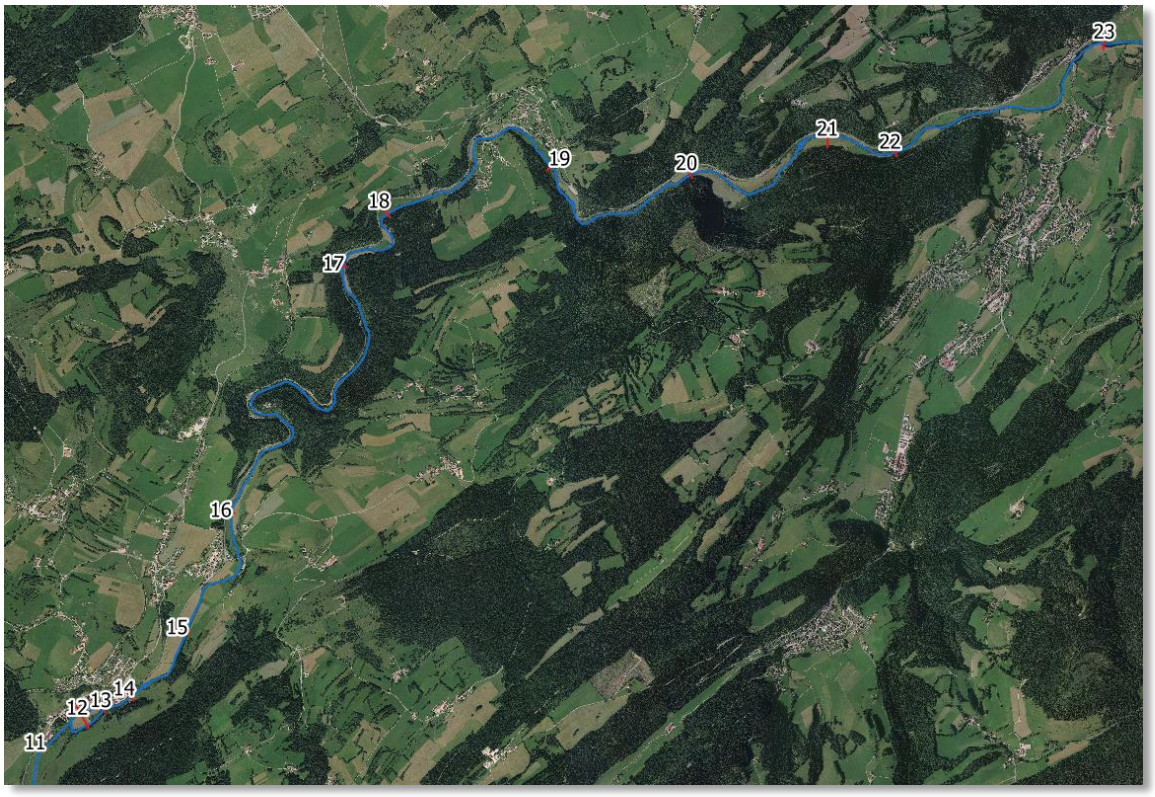


Figure 30 Localisation des profils analysés (2/2)

A noter qu'au vu du fort encaissement au droit des gorges, aucune station de mesure n'y a été placée.

Les différents débits de plein-bord sont présentés ci-dessous :

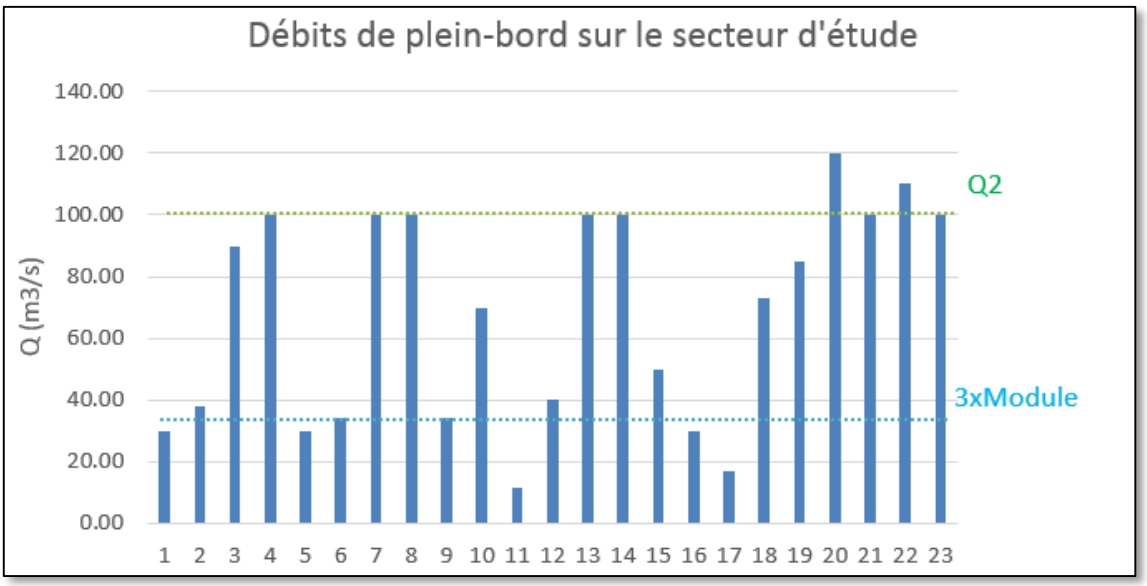


Figure 31 Graphique des débits de plein-bord du secteur

Globalement, on remarque que la majorité des débits sont compris entre le triple du module et la crue biennale. Il est classiquement admis qu'une rivière en bon état possède une fréquence de débordement d'environ 2 ans (Malavoi et Bravard, 2010). Sur les rivières de plateaux telles que le Doubs sur notre secteur, cette fréquence est inférieure et les débordements interviennent pour des crues de période de retour voisine de 1 ans.

L'aval du secteur, à partir de P18, au droit du défilé présente des débits de débordement supérieurs à la partie amont. Ceci s'explique par les fortes hauteurs de berges que présente la rivière sur ce secteur.

Sur la partie amont, les débits de débordements les plus importants sont systématiquement situés au droit de secteurs anthropisés :

- P3 est localisé au droit du tronçon court-circuité dans la traversée d'Arçon ;
- P4 est accolé à une route perchée à 5 mètres au-dessus de la rivière ;
- P7 et P8 se situent dans la traversée de Maisons-du-Bois ;
- P13 et P14 sont aussi en traversée urbaine au sein de la commune de Montbenoît, secteur au droit d'une zone remblayée (scierie Barrand).

4.2.3.2. Impacts des ouvrages

Le modèle a permis d'estimer les lignes d'eau pour différents débits, et d'illustrer ainsi les impacts des ouvrages du secteur.

Ci-dessous est représenté le profil en long du secteur pour différentes conditions hydrologiques (Module, 3xModule, Q2) :

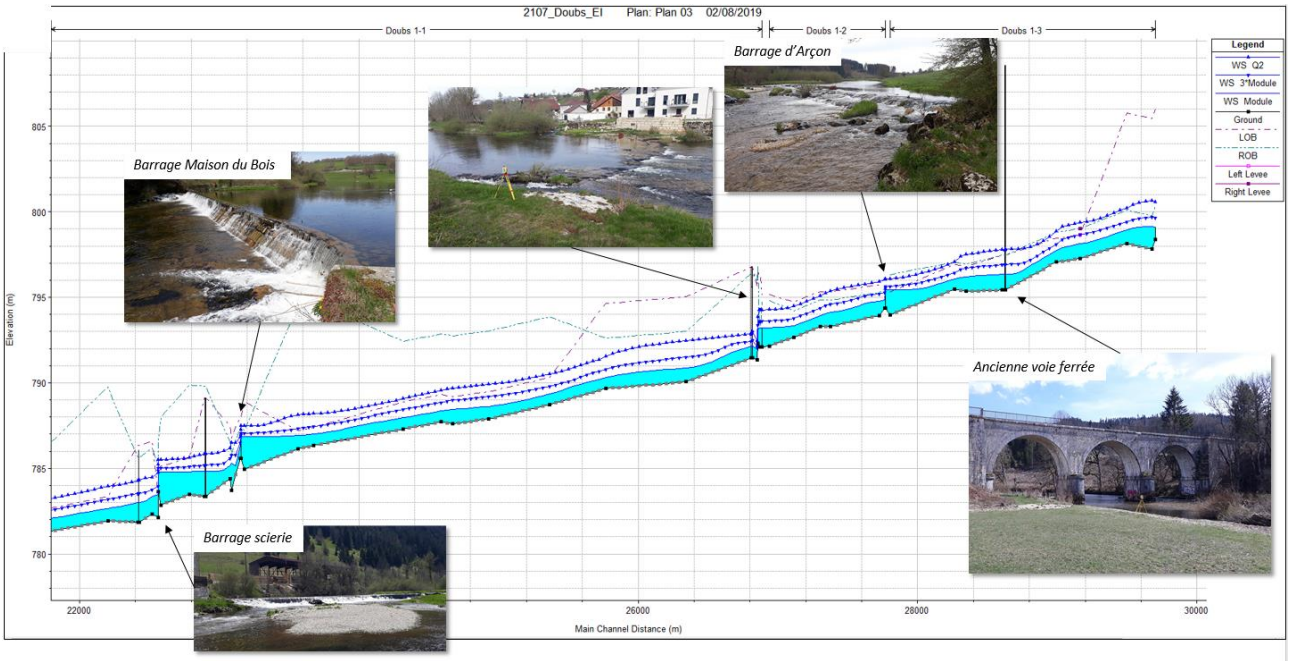


Figure 32 Lignes d'eau modélisées sur la partie amont du secteur

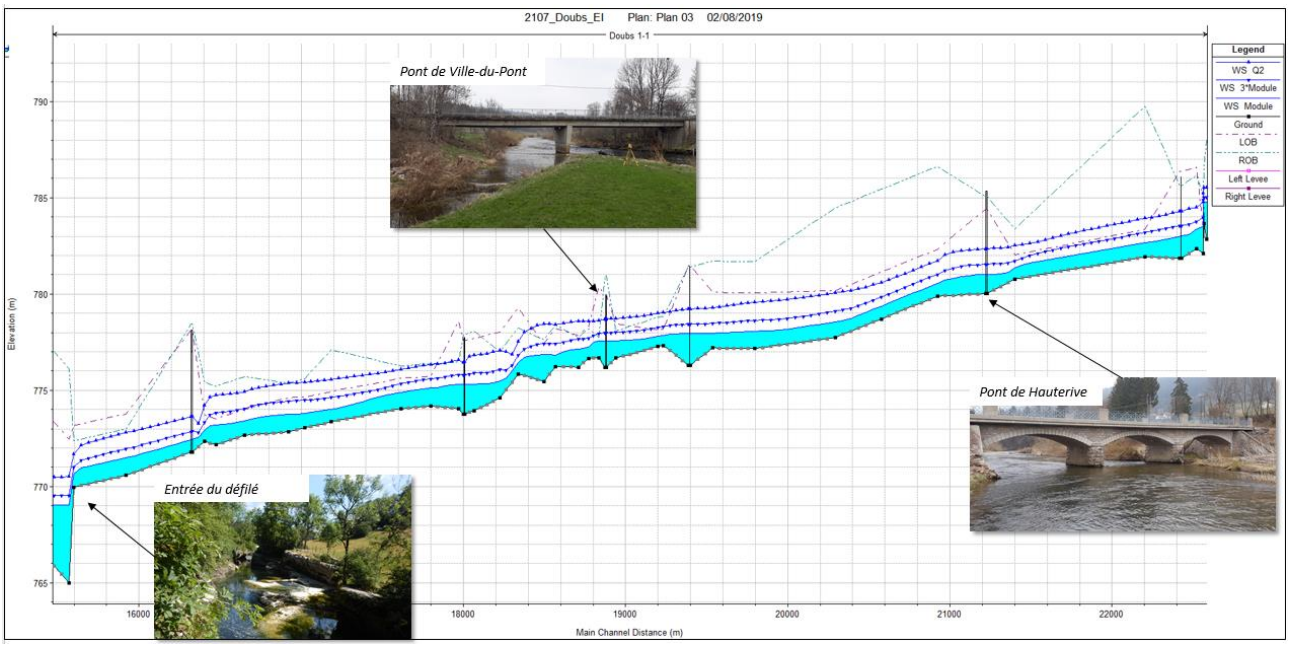


Figure 33 Lignes d'eau modélisées sur la partie médiane du secteur

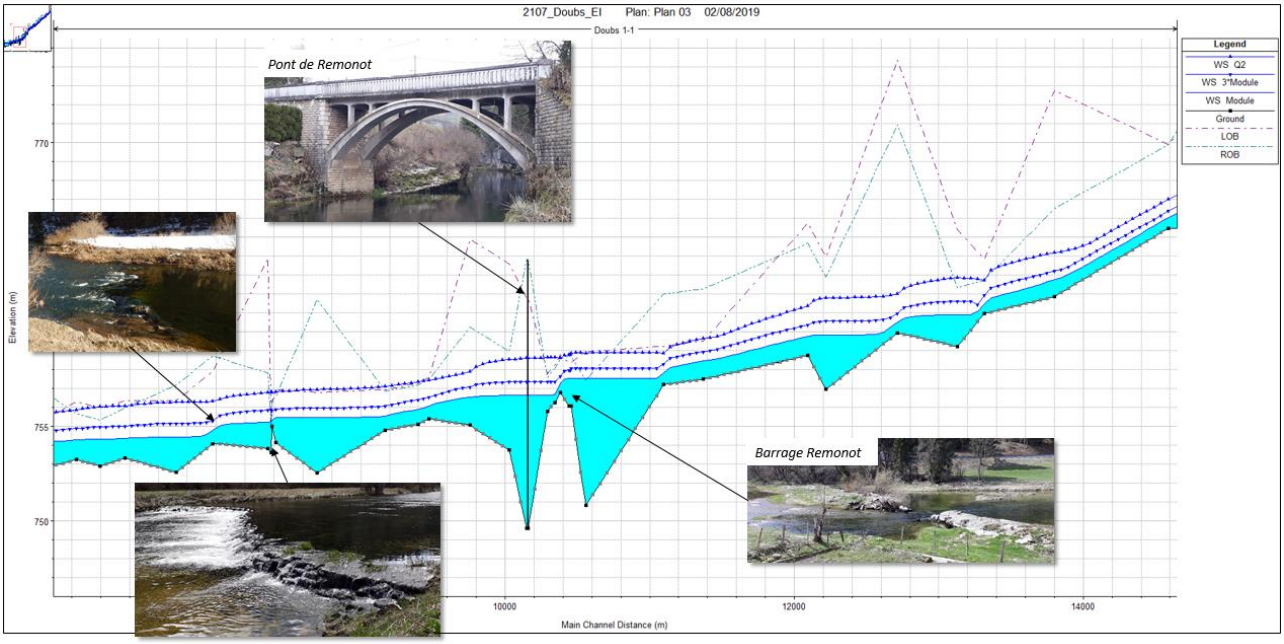


Figure 34 Lignes d'eau modélisées sur la partie du défilé

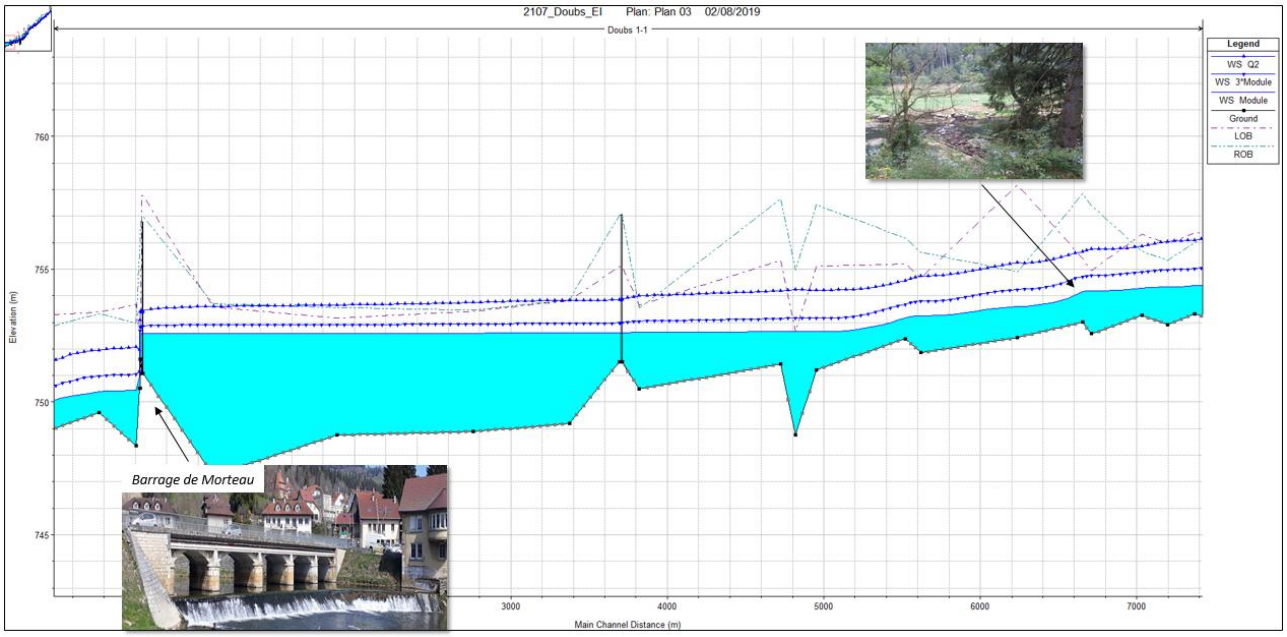


Figure 35 Lignes d'eau modélisées sur la partie aval du secteur d'étude

Bien que les problématiques liées aux continuités écologiques ne soient pas au cœur de l'étude, il est malgré tout intéressant de noter l'impact des ouvrages sur le secteur et particulièrement à l'aval de la zone d'étude comme expliqué précédemment dans le rapport. En effet au droit de ce secteur, la quasi intégralité du secteur est sous l'influence d'ouvrages induisant des faciès d'eau calme très homogènes.

Concernant les ouvrages situés à l'amont du secteur, leurs impacts sur la morphologie restent limités de par la présence de nombreux seuils naturels crées par des affleurements rocheux. Aussi la présence des barrages n'influence que très ponctuellement le profil de la rivière, cette zone est limitée à la zone de remous des ouvrages.

4.2.3.3. Inondations et cohérence avec le PPRI

Les débordements et le comportement de la rivière en crue ont été étudiés. Pour ce faire, les profils topographiques ont été étendus sur le fond de vallée grâce aux données LIDAR. Les crues suivantes ont été modélisées :

- Q2 : 100 m3/s ;
- Q5 : 140 m3/s ;
- Q10 : 160 m3/s ;
- Q20 : 180 m3/s ;
- Q50 : 210 m3/s ;
- Q100 : 273 m3/s (conformément au PPRI).

Les premières zones débordantes sont localisées sur les cartes ci-dessous :

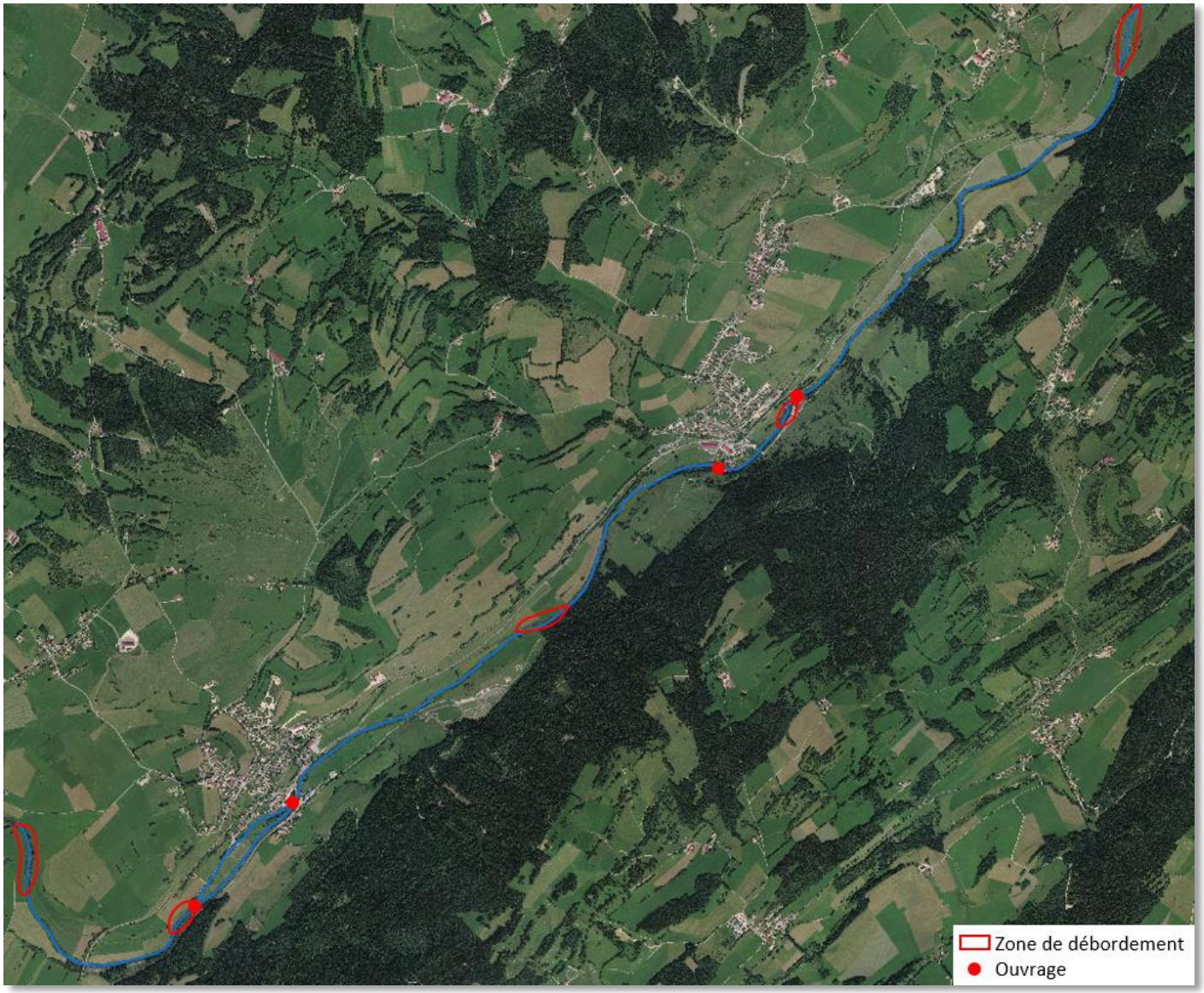


Figure 36 Carte des zones préférentielles de débordements (1/2)

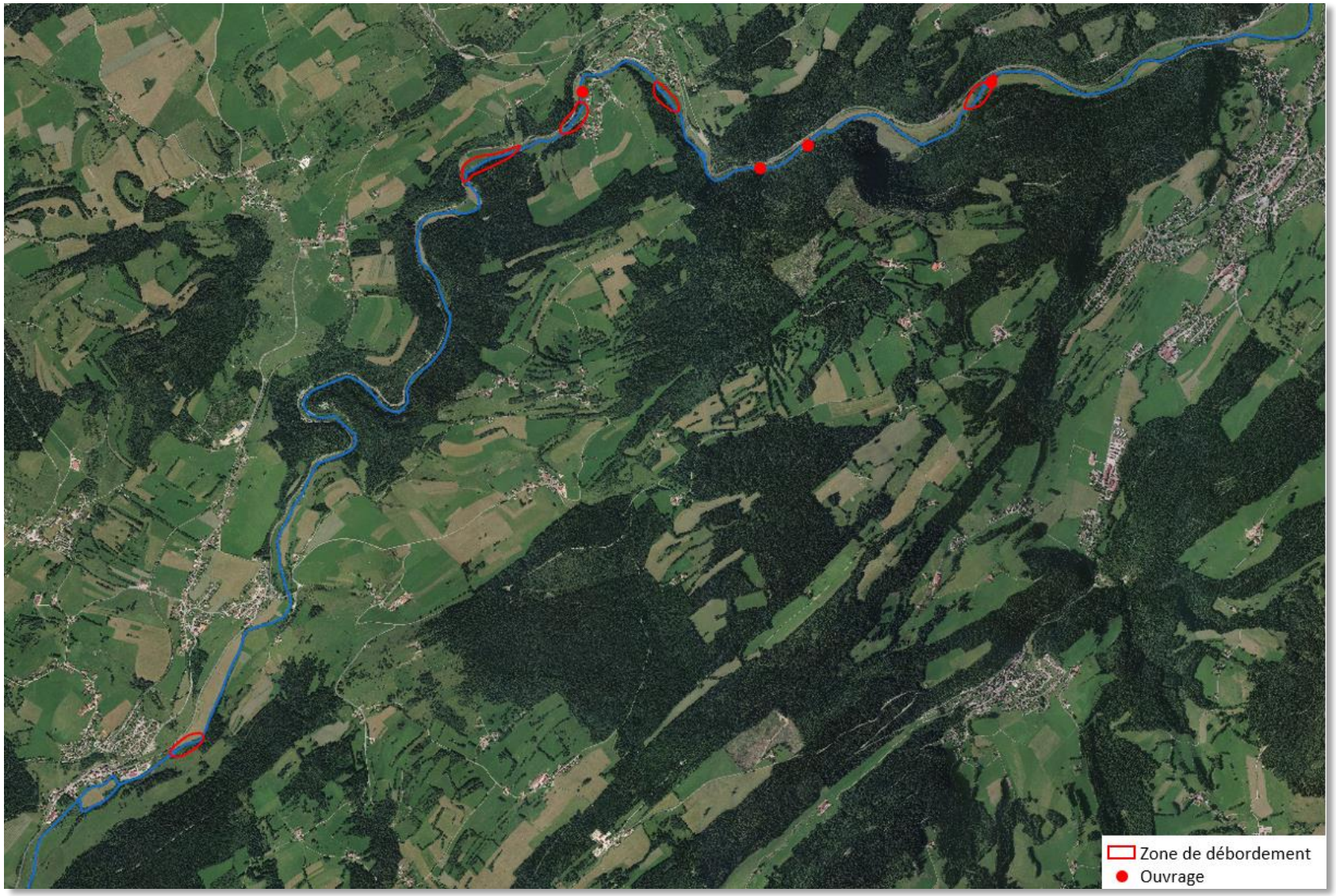


Figure 37 Carte des zones préférentielles de débordements (2/2)

Les débordements ont principalement lieux à l'amont des ouvrages hydrauliques du secteur. Par ailleurs, certains secteurs (aval de la confluence avec le Drugeon en rive droite, secteur entre Arçon et Maisons du Bois,…), présentent des berges peu hautes et débordent très facilement.

Il est par ailleurs intéressant d'observer la formation en crue de chenaux secondaires. Ceux-ci présentent un intérêt certain puisqu'ils peuvent faire office de zones de stockage temporaire, et sont le lieu d'une faune et flore diversifiée sous réserve d'une bonne connectivité.

Ces chenaux peuvent être mobilisés pour des crues importantes, comme ceux situé à l'amont du secteur d'étude à Arçon, ou simplement durant des périodes de hautes eaux comme on peut le voir sur la photographie ci-dessous.

Figure 38 Chenaux secondaires

Concernant la cohérence avec les résultats du PPRI, celui-ci a été réalisé à partir de considérations hydromorphologiques et de données historiques telles que des témoignages ou d'anciennes photographies. Il est donc expliqué que les lignes d'eau de la crue issues du PPRI ont une précision de l'ordre de 0.3 m et que ces résultats sont à exploiter avec précaution.

En complément, d'autres facteurs d'incertitudes apparaissent :

- Les côtes de niveaux d'eau répertoriées pour le PPRI ne correspondent pas forcément au niveau réel observé lors du pic mais peuvent avoir été mesurés lors de la montée des eaux ou durant la décrue ;

- La localisation des profils du PPRI ne sont pas situés aux mêmes endroits que les profils réalisés par notre géomètre, aussi, lors de telles conditions hydrauliques, les niveaux d'eau peuvent grandement varier en quelques mètres.

Sur la base de notre modèle, l'écart moyen avec le PPRI est de l'ordre de 0.4 m. Par ailleurs l'enveloppe de crue du modèle, au droit des profils étirés grâce aux LIDAR, est cohérente avec celle du PPRI.

5. FONCTIONNEMENT GEOMORPHOLOGIQUE

L'objet de ce paragraphe est de comprendre l'évolution de la vallée du Doubs et de déterminer le style morphologique de la rivière. Le cours d'eau est dépendant des variables de contrôle qui sont la géologie et le climat. Les variables de réponse sont plutôt des degrés de liberté dont dispose le cours d'eau pour transporter le débit liquide et le débit solide (sédiment).

Ainsi, dans le département du Doubs, après le retrait de la mer, la région va adopter un style tectonique compressif montrant plusieurs phases de surrections (élévations), plissements et fractures. Ceci va engendrer l'orientation des structures suivant un axe préférentiel Nord-Est / Sud-Ouest.

La région, n'étant plus submergée par les mers, se retrouve soumis à l'érosion par les eaux météoriques qui démantèlent les reliefs créés par l'orogenèse alpine. Cette abrasion des formations amène au creusement de vallées atteignant, par endroit, les niveaux du Trias à l'Ouest. Les produits de cette érosion sont transportés par les réseaux fluviatiles et déposés sur les différents terrains sédimentaires de l'ère secondaire.

Enfin, les glaciations de l'ère quaternaire, vont donner à la région sa morphologie actuelle. L'alternance de périodes glaciaires et inter-glaciaires a mis en place des alluvions fluviatiles de graviers et de sables qui se sont déposées dans les vallées.

La vallée du Doubs est donc inscrite dans des mouvements tectoniques qui ont engendrés, par le retrait de la mer, une succession de failles et d'érosion, provoquant le creusement de la vallée.

Sur notre secteur d'étude, la rivière présente sur la partie amont allant jusqu'à l'entrée du défilé, des caractéristiques de cours d'eau de plaine avec un régime d'écoulement assez calme.

La rivière s'écoule sur des dépôts fluvio-glaciaires et présente une sinuosité réduite contrainte par la géologie du secteur. En effet, le Doubs s'écoule dans l'axe des synclinaux d'Arçon, Maisons du Bois et Montbenoît. Ces synclinaux sont bordés par des versants redressés au sud-est et en pente douce côté nord-ouest. Le fond de la vallée possède une largeur comprise entre 100 et 200 mètres avec quelques resserrements locaux.

Sur la partie aval, le Doubs, en sortant du synclinal de Montbenoît, a creusé un profond canyon dans les calcaires du Portlandien et du Kimméridgien, le défilé d'Entreroche. Au droit de ces gorges, le lit majeur est très réduit et la rivière fortement contrainte. Le Doubs, à l'aval du défilé, débouche ensuite sur la vaste plaine de Morteau.

5.1. CARACTERISTIQUES MORPHOMETRIQUES

5.1.1. Données d'entrée

Les analyses historiques du tracé du cours d'eau ont été réalisées à partir de documents cartographiques transmis par le Maître d'Ouvrage (ex : Orthophotos récentes) ainsi que les cartographies disponibles sur le site Géoportail (Cassini, etc.)

La liste exhaustive des documents utilisés est présentée ci-après :

Tableau 4 – Données utilisées dans le cadre de l'analyse historique

Nom	Date de la donnée	Échelle	Source
Cassini	XVIII^{è} siècle	1/86 400	Géoportail
Cadastre Napoléonien	1834	Variable	Maître d'Ouvrage
Etat-Major	1835	1/40 000	Maître d'Ouvrage
Photographies aériennes	1951	-	IGN
Photographies aériennes	1969	-	IGN
Photographies aériennes	2017	-	Maître d'Ouvrage
LIDAR du secteur d'étude	2018	-	Maître d'Ouvrage

À noter que, compte tenu de leur manque de précision, les cartes de Cassini ne peuvent être utilisées dans le cadre d'analyses fines. Elles ont principalement été utilisées de manière à dater les ouvrages ainsi qu'à tenter de mettre au jour de grandes évolutions du tracé du cours d'eau.

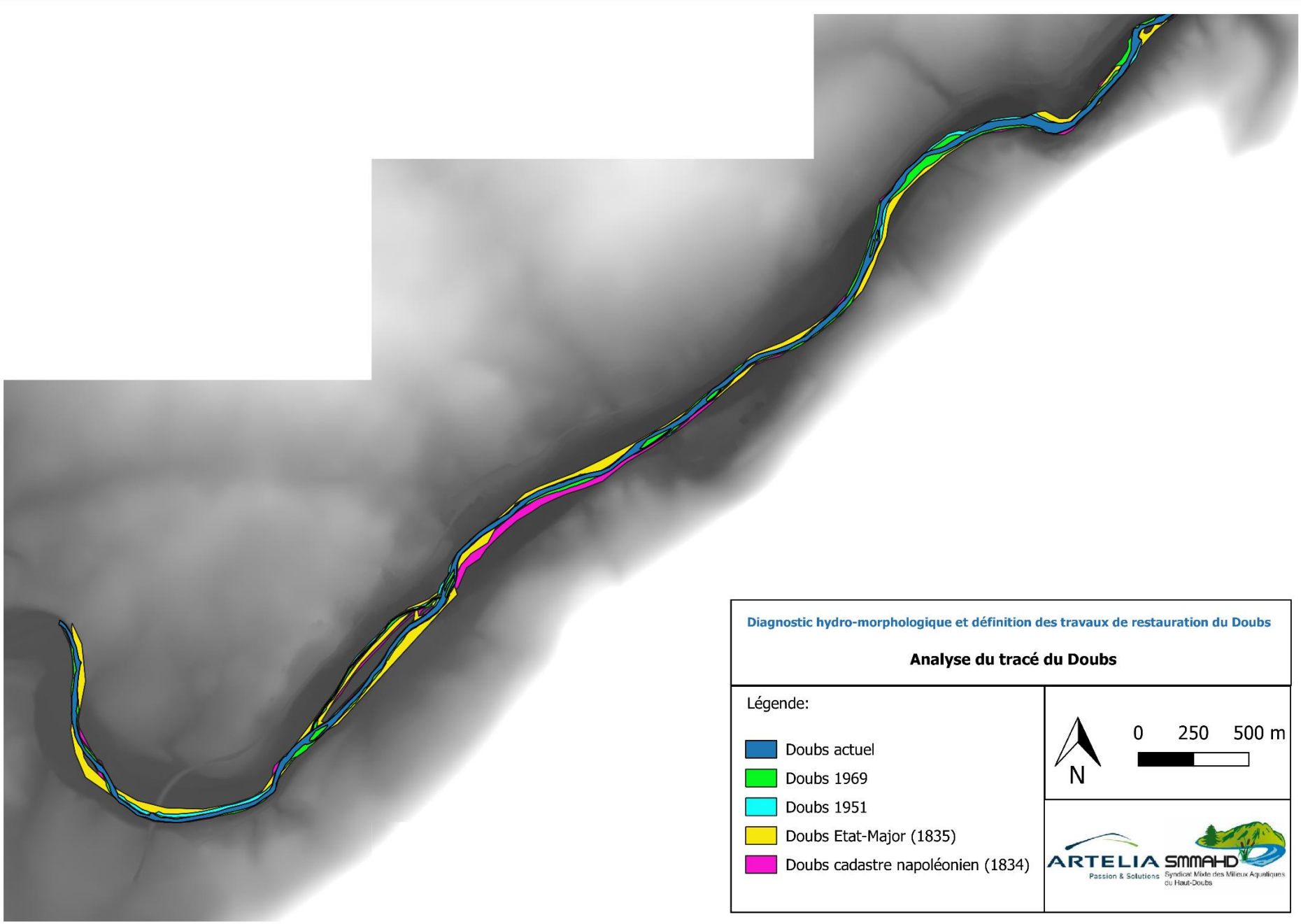
Figure 39 Tracé du Doubs géoréférencé à partir de la carte de l'Etat-Major

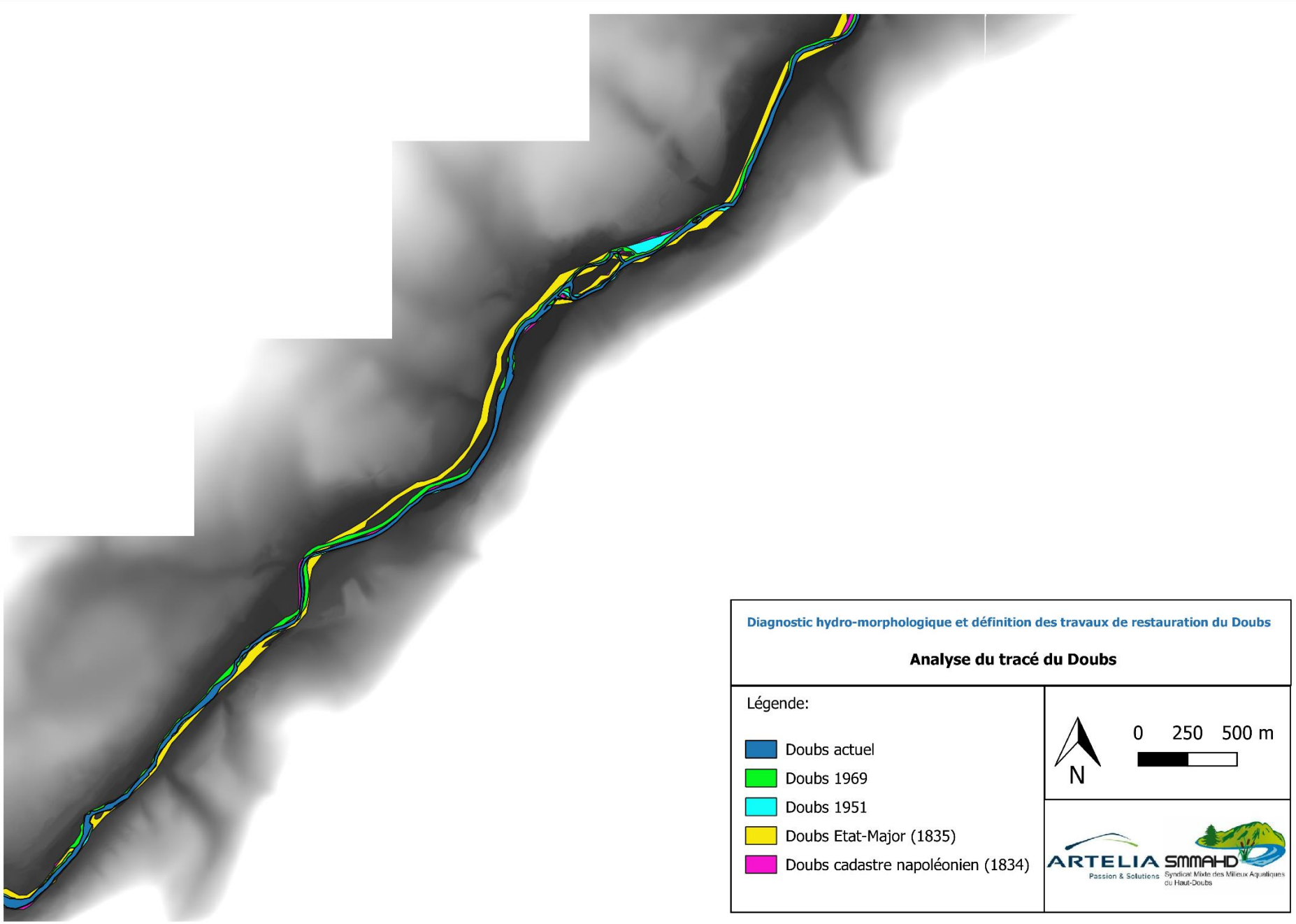
En complément, une recherche de document a été effectuée aux archives départementales du Doubs permettant d'obtenir des informations concernant certains ensembles hydrauliques du secteur. De plus, le profil des grandes forces hydrauliques (1923) a été récupéré et analysé au droit de notre secteur d'étude.

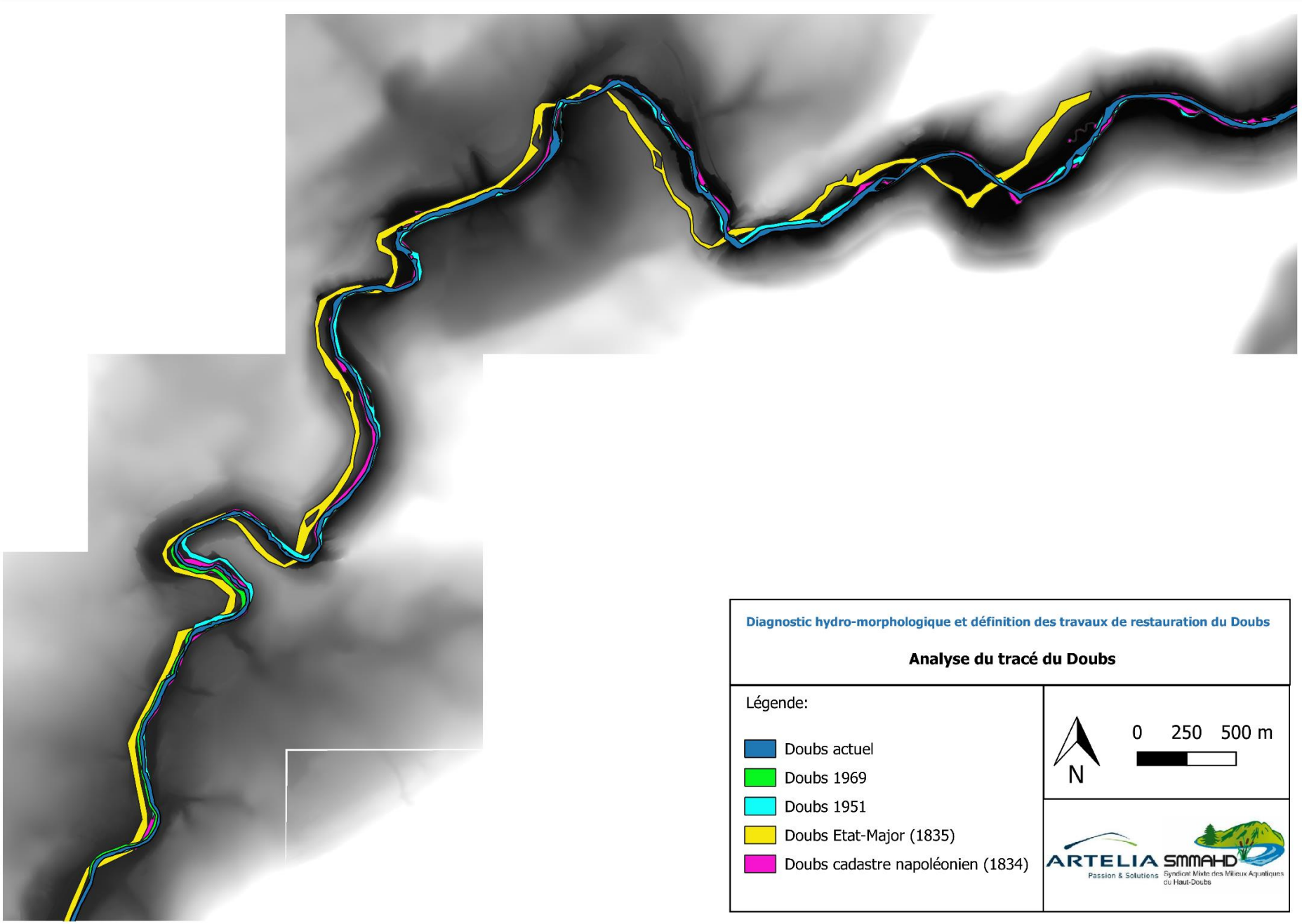
5.1.2. Tracé en plan

5.1.2.1. Evolution du tracé

Les cartes ci-dessous présentent l'évolution du tracé de la rivière au cours du temps.


Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs
Analyse du tracé du Doubs
Légende:
Doubs actuel
Doubs 1969
Doubs 1951
Doubs Etat-Major (1835)
Doubs cadastre napoléonien (1834)
N
0
250
500 m
ARTELIA
Passion & Solutions
SMMAHD
Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques du Haut-Doubs


Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs
Analyse du tracé du Doubs
Légende:
Doubs actuel
Doubs 1969
Doubs 1951
Doubs Etat-Major (1835)
Doubs cadastre napoléonien (1834)
N
0 250 500 m
ARTELIA
Passion & Solutions
SMMAHD
Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques du Haut-Doubs


Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs
Analyse du tracé du Doubs
Légende:
Doubs actuel
Doubs 1969
Doubs 1951
Doubs Etat-Major (1835)
Doubs cadastre napoléonien (1834)
N
0 250 500 m
ARTELIA
Passion & Solutions
SMMAHD
Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques du Haut-Doubs

Au regard de ces différentes cartes, on remarque que le Doubs sur notre secteur a subi peu de modification de son tracé. La majorité des différences de tracés constatées est causée par l'impossibilité de superposer correctement les différents fonds cartographiques (carte anciennes peu précises, imprécision de géoréférencement, etc).

Aussi, si d'importantes modifications ont été effectuées, celles-ci sont antérieures au XVIIIème siècle. Par ailleurs, du fait de la faible étendue de la couche des alluvions récents, il semble peu probable que sur le secteur la rivière ait eu une importante mobilité.

Lors des différentes visites de site, de légères dépressions du fond de la vallée ont été observées à différents endroits. Au droit de ces dépressions, il n'est pas rare de trouver des traces de végétation hydrophile. Ces dépressions pourraient constituer des indices de modifications du tracé du cours d'eau, cependant il nous parait plus vraisemblable que ces zones soient en fait une conséquence des dépôts de lessivage de la rivière lors des crues.

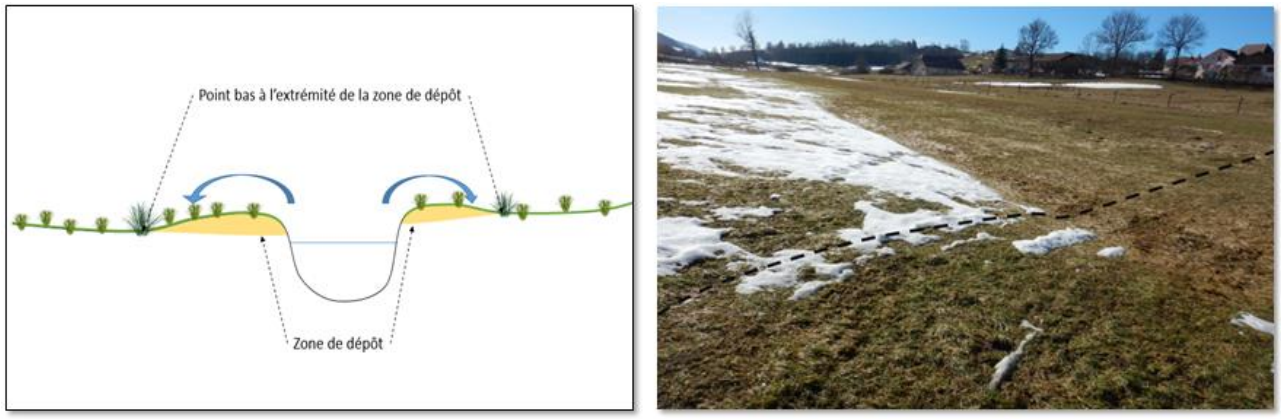


Figure 40 Illustration du phénomène de vallée en toit

5.1.2.2. Indice de sinuosité

Le calcul de l'indice de sinuosité permet d'apprécier le type morphologique du cours d'eau ainsi que les évolutions globales du tracé du cours d'eau (ex : rectification).

Selon la classification de Bravard et Malavoi (2010), les typologies de sinuosités sont les suivants (avec SI : Indice de Sinuosité):

- **SI < 1,05** : le cours d'eau est quasiment rectiligne (c'est souvent le cas du lit moyen des rivières en tresses, c'est le cas aussi de nombreuses rivières chenalisées…) ;
- **1,05 < SI < 1,25 :** le cours d'eau est sinueux ;
- **1,25 < SI < 1,5 :** le cours d'eau est très sinueux ;
- **SI > 1,5 :** le cours d'eau est méandriforme.

L'indice a été calculé sur la partie amont entre l'amont d'Arçon et l'aval de Ville du Pont et est égal à 1.1 caractérisant un lit sinueux. En aval de Remonot cet indice augmente légèrement et devient égal à 1.12, pour un style morphodynamique globalement comparable. Notons que sur le secteur la sinuosité du cours d'eau est fortement contrainte par la géologie.

5.1.3. Profil en long

5.1.3.1. Evolution du profil en long

Comme expliqué dans le paragraphe concernant les ouvrages hydrauliques, l'analyse de la carte de Cassini a permis de localiser 11 différents moulins au droit de notre secteur d'étude.

Lors de la recherche aux archives départementales, seuls 7 droits d'eau ont été retrouvés. Sur les plus anciennes orthophotographies retrouvées, seuls 6 de ces ouvrages subsistent. La suppression la plus récente en date est celle de l'ouvrage de Montbenoit qui a eu lieu autour des années 50.

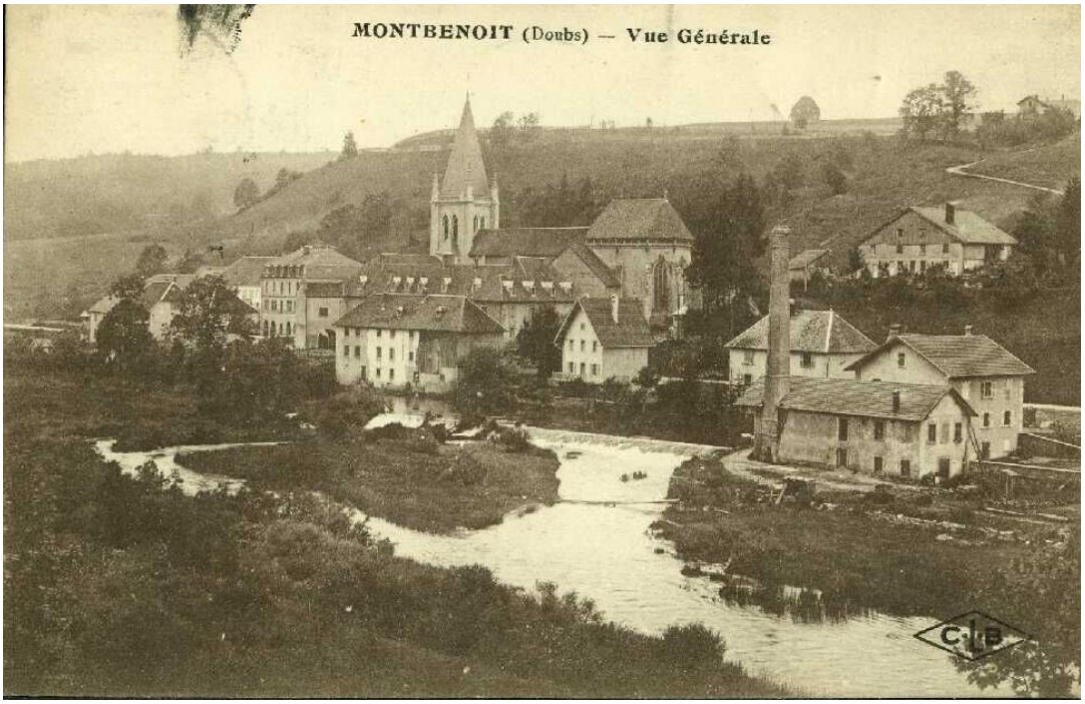


Figure 41 Ancienne carte postale

Ces différentes suppressions d'ouvrage sont donc anciennes, néanmoins les plus récentes peuvent encore avoir des conséquences sur le profil de la rivière. En effet, la destruction des ouvrages provoque des phénomènes d'érosion régressive dans le cours d'eau. De par la présence de nombreux affleurement rocheux, ces phénomènes restent cependant peu étendus.

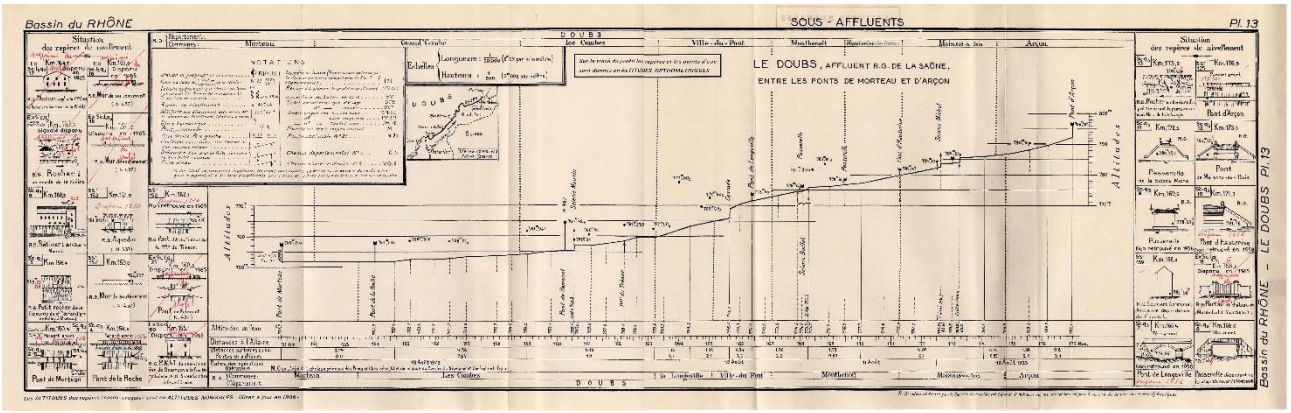


Figure 42 Profil en long des grandes forces hydrauliques

Le profil en long des grandes forces hydrauliques a été récupéré, cependant aucun point de comparaison n'a permis le recalage du profil afin d'obtenir une analyse des profils cohérente.

5.1.3.2. Analyse du profil en long

Le profil en long du secteur a été tracé sur près de 30 km, le linéaire est plus important que celui réellement à l'étude mais cela s'explique de par la nécessité de lever le barrage de Morteau ayant un remous qui s'étend sur l'aval de la zone d'étude.

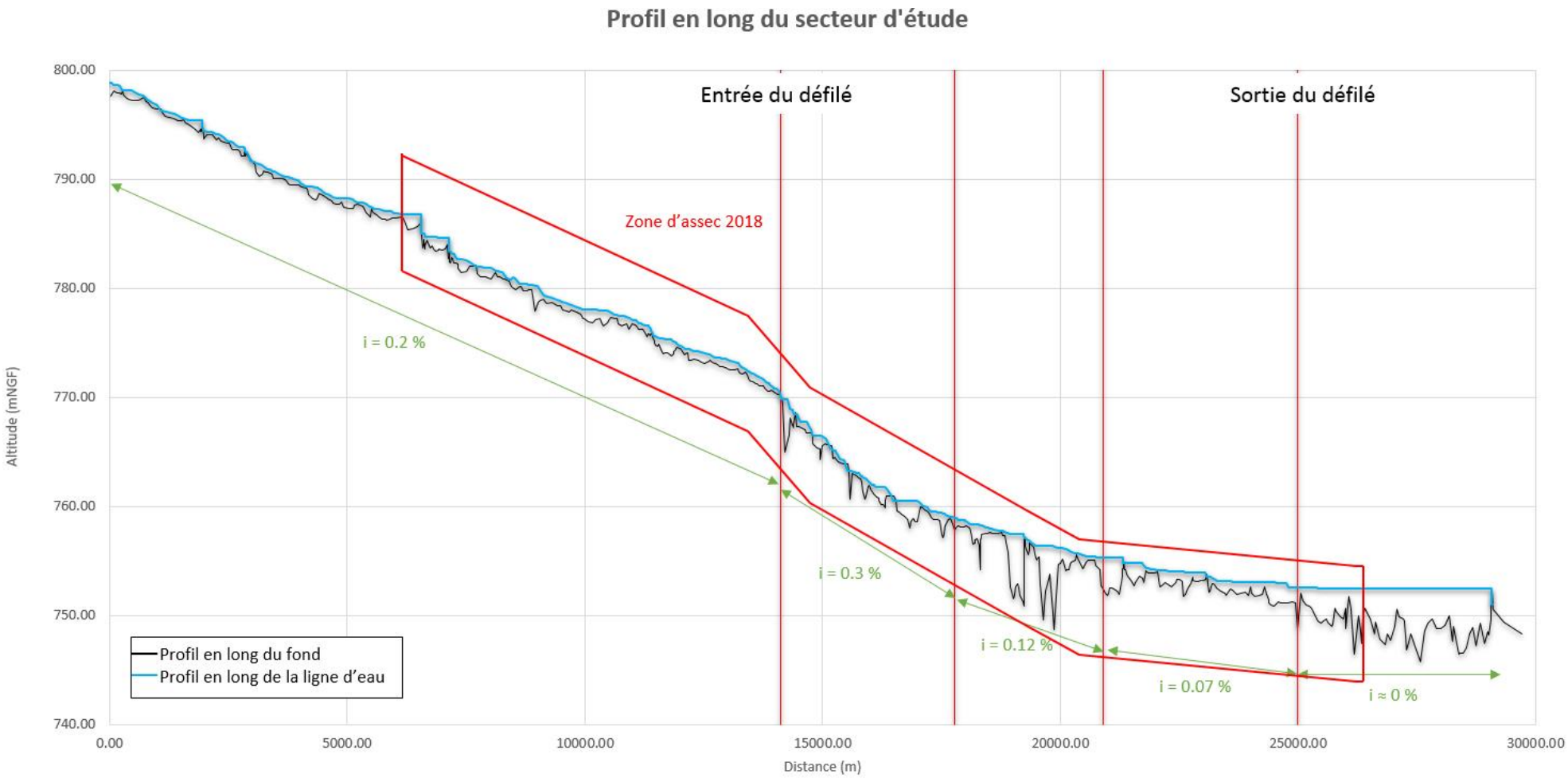


Figure 43 Profil en long du secteur

A la lecture de ce profil, on peut délimiter 5 tronçons à pente homogène (pente de ligne d'eau) :

- D'Arçon jusqu'à l'entrée du défilé avec une pente de 0.2 % ;
- L'amont du défilé jusqu'à l'amont de la grotte du Trésor avec une pente de 0.13 % ;
- Le tronçon de l'amont de la grotte jusqu'à la sortie des Combes avec une pente de 0.12% ;
- Le secteur aval du défilé sous l'influence de différents ouvrages avec une pente de 0.07 % ;
- Le secteur aval hors zone d'étude situé totalement dans le remous du barrage de Morteau 0%.

En l'absence de données comparatives anciennes, il est difficile de statuer quant à l'état d'équilibre morphodynamique.

5.1.4. Section en travers

5.1.4.1. Evolution de largeur du lit plein bords

L'évolution de la morphologie du Doubs est visible au travers de l'évolution de la largeur de cours d'eau. Cette évolution a été analysée à partir de la surface de la bande active du cours d'eau. L'évolution des surfaces au cours du temps est visible dans le tableau ci-dessous.

Année	Surface (km²)	Différence par rapport à l'état actuel
Cadastre Napoléonien (1834)	0.805409	+ 50 %
1951	0.620775	+ 18 %
1969	0.607982	+ 15 %
2019	0.525854	-

Au regard du tableau précèdent, on peut conclure que la surface de la rivière a diminué avec le temps. Pour l'analyse de ces résultats nous ne considérerons que ceux tirés des orthophotographies. Le cadastre napoléonien confirme la tendance observée mais son tracé reste trop imprécis. Par ailleurs, précisons que les vues aériennes étudiées datent du 16 juin 1951 et du 14 juillet 1969 et correspondent ainsi à des vues en étiage. En effet, sur la station de la Cluse et Mijoux, en amont de Pontarlier le débit mesuré le 14 juillet 1969 est égal à 2.83 m3/s sachant que le débit moyen enregistré en juillet est égal à 4.13 m3/s. Malheureusement, aucune station sur le Doubs ou le Drugeon n'a permis de vérifier le débit observé en juin 1951.

Les largeurs moyennes de la rivière ont donc tendance à diminuer au cours du temps avec 25 mètres en 1951 contre 21 mètres actuellement.

Cette diminution de largeur est la conséquence de phénomène d'incision du cours d'eau. En effet, lors de la visite du site de nombreuses traces d'incision ont été retrouvées.

Figure 44 Traces d'incision sur le secteur d'étude

Notons par ailleurs que cette analyse s'appuie sur la largeur de plein bord comprenant le lit moyen de la rivière et ses systèmes latéraux. Aussi les conclusions tirées s'appliquent sur la surface plein bord (surface utile, bancs et système latéraux compris) et non sur la surface utile en soi. Cette diminution peut donc possiblement traduire un enfoncement de la rivière avec une disparition des systèmes latéraux mais pas forcément une diminution de la largeur du lit moyen de la rivière.

5.1.4.2. Analyse de la largeur et de la profondeur de plein bord

A. Largeur de plein bord

La largeur à plein bord est l'une des variables géomorphologique les plus intéressantes. Elle exprime souvent l'ampleur des actions d'aménagements entreprises par l'Homme (recalibrage, curage…) Elle peut en outre avoir une importante signification biologique puisqu'elle exprime de manière simplifiée la « capacité d'accueil » du milieu aquatique.

La largeur plein-bord varie de 17 à 54 m sur le linéaire du Doubs à l'étude, avec une moyenne de 29.7 m. Sur le graphique ci-dessous, les profils sont présentés d'amont en aval, il apparait clairement que la largeur augmente en allant vers l'aval. On note aussi des augmentations de largeurs au droit des traversées urbaines ou ouvrages. En effet, les profils 7, 8 et 11 au niveau desquels on constate une augmentation de la largeur sont situés au droit de Maisons-du-Bois et à Montbenoît. Cette augmentation traduit donc l'impact des ouvrages et des secteurs urbanisés sur le cours d'eau.

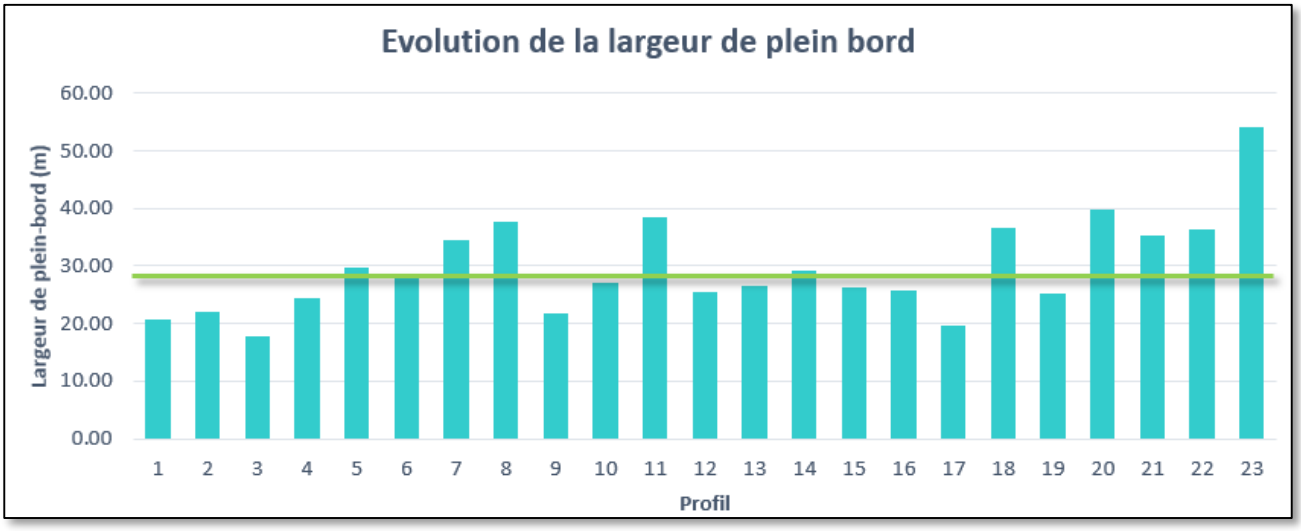


Figure 45 Evolution de la largeur de plein-bord

La localisation des profils étudiés est présentée ci-après :

Figure 46 Localisation des profils analysés (1/2)

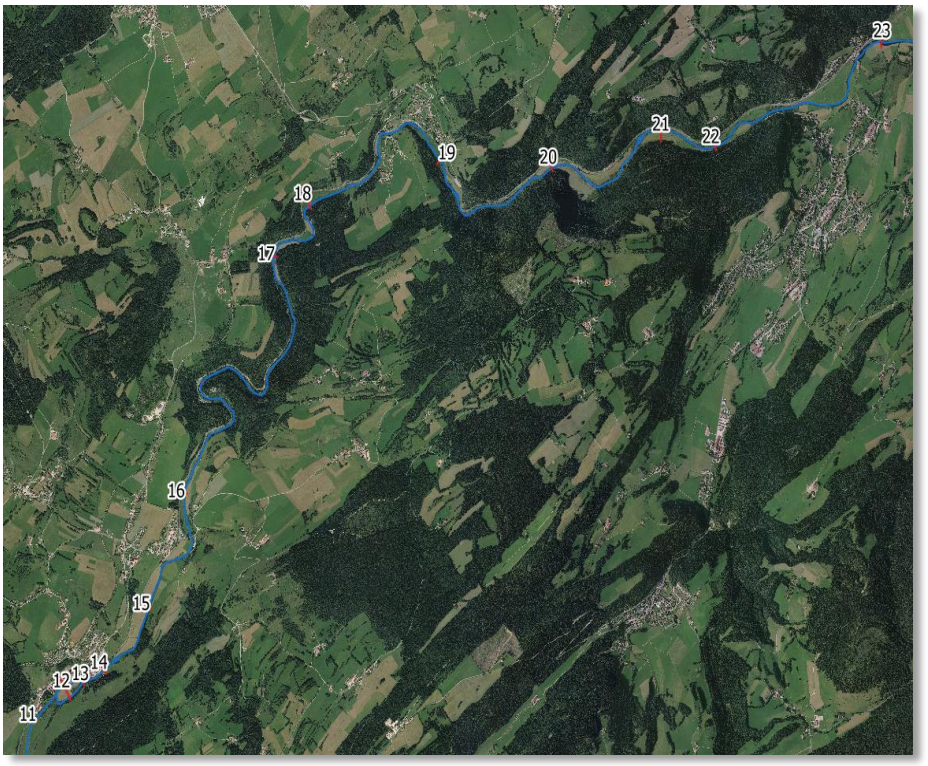


Figure 47 Localisation des profils analysés (2/2)

B. Profondeur de plein bord

La profondeur ou hauteur à plein bord correspond à la différence verticale entre le niveau du point d'inflexion de la berge la plus basse, permettant de passer du lit mineur au lit majeur, et le niveau du fond.

Sur chaque profil présenté précédemment, la hauteur à plein bord a été mesurée, soit 23 mesures sur le périmètre élargi.

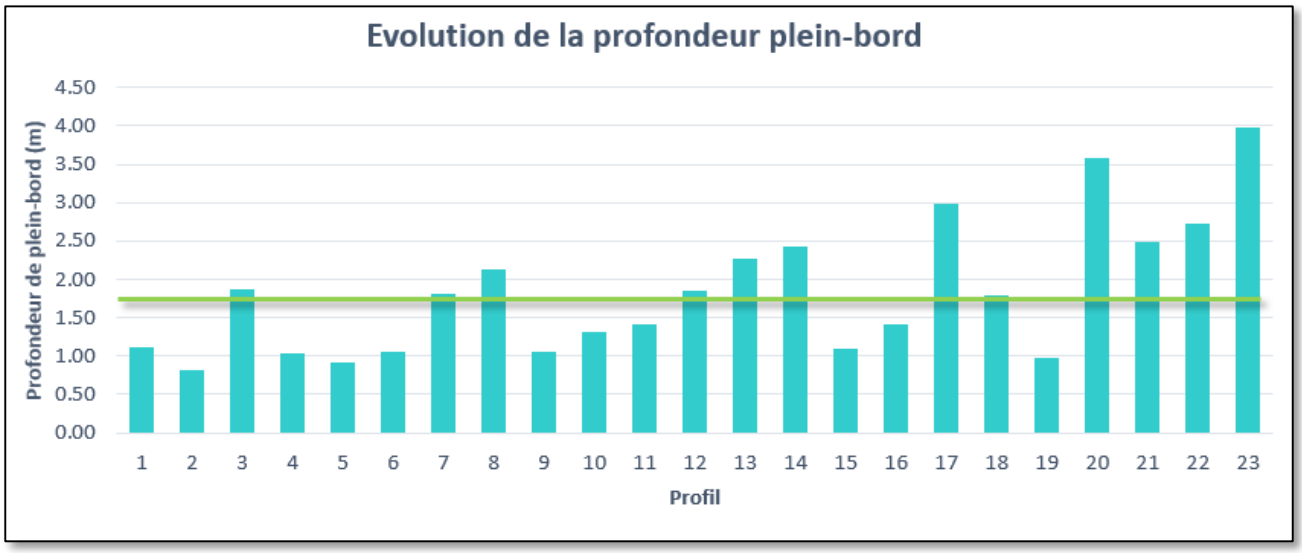


Figure 48 Evolution de la hauteur de plein bord

On obtient une profondeur moyenne de 1.83 m avec des profondeurs minimales observées en amont sur des zones non influencées par des ouvrages. Les hauteurs les plus importantes sont rencontrées sur la partie aval du secteur à la sortie du défilé dans l'importante zone de remous.

C. Rapport largeur/profondeur de plein bord

Le rapport de la largeur (L) sur la profondeur (p) moyenne à pleins bords est une caractéristique géométrique intéressante à plusieurs titres.

D'un point de vue hydromorphologique, c'est un paramètre typologique indicateur de l'activité géodynamique d'un cours d'eau.

Ainsi, les cours d'eau à dynamique plutôt active, caractérisés par des processus érosifs latéraux importants et des apports solides assez élevés, ont des rapports L/p plutôt forts (vingt ou plus).

Les rivières en tresses ont souvent des rapports L/p proches de ou supérieurs à cent.

En moyenne, le rapport L/p est de 18.6 ce qui caractérise une dynamique du cours d'eau faible à moyenne. Ponctuellement le rapport atteint des valeurs supérieures à 25 sur les secteurs non influencés.

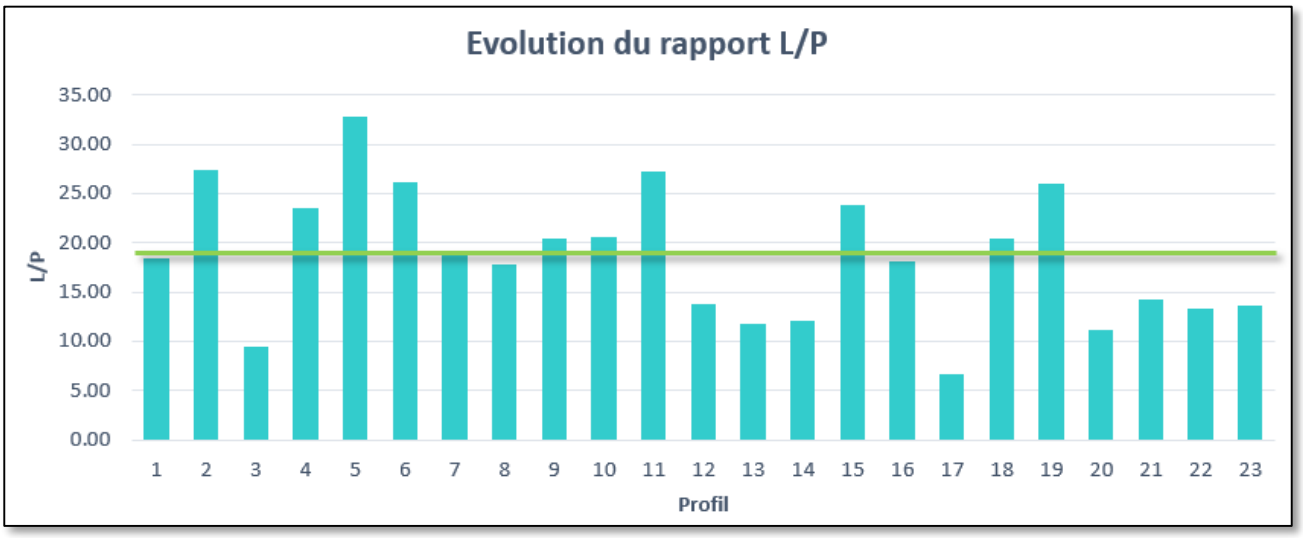


Figure 49 Evolution du rapport largeur sur profondeur

5.1.5. Analyse de la morphométrie

Au regard de l'évolution du cours d'eau et du ressenti de terrain, il a paru intéressant de comparer les caractéristiques du cours d'eau mesurées sur le terrain aux caractéristiques théoriques que devrait présenter un cours d'eau de ce type.

5.1.5.1. Analyse de la largeur du Doubs

A. Approche théorique

En parallèle à l'ajustement dans le plan vertical, tout cours d'eau possédant un minimum d'espace d'ajustement et une puissance suffisante, peut ajuster sa géométrie en travers aux fluctuations naturelles, à nuancer en fonction du caractère local (berges cohésives, enrochées…). De la même manière que pour le profil en long, les cours d'eau sont capables de développer une géométrie en travers d'équilibre.

Les travaux pionniers sont ceux de Leopold et Maddock (1953) et Hey et Thorne (1986). Leurs observations ont permis de démontrer les fortes corrélations existant entre le débit entrant dans un cours d'eau et les caractéristiques géométriques. Les mesures de géométrie en travers qui ont la signification géomorphologique la plus importante sont celles qui correspondent aux caractéristiques du lit moyen à pleins bords.

La formule de Hey et Thorne, la plus couramment utilisée, fait intervenir la végétation dans ses équations. Le domaine d'application des équations est le suivant :

- Débit à pleins bords (Q) : 3.9 – 424 m3/s ;
- Débit solide à plein bord (Qs) : 0.001 – 14.14 kg/s ;
- Diamètre médian des alluvions (d50) : 0.014 – 0.176 m ;
- Texture des berges : composite, gravier, sable, limon, argile ;
- Type de végétation rivulaire :
    - 1 : 0% d'arbres et arbustes ;
    - 2 : < 5 % d'arbres et arbustes ;
    - 3 : 5 – 50 % d'arbres et arbustes ;
    - 4 : > 50 % d'arbres et arbustes.
- Pente de la vallée (Sv) : 0.00166 – 0.0219 ;
- Tracé en plan : rectiligne à méandriforme ;
- Faciès dominants : radiers / mouilles.

Suivant le type de végétation, les équations sont les suivantes :

- $W = 4.33Q^{0.5}$ (type 1) ;
- $W = 3.33Q^{0.5}$ (type 2) ;
- $W = 2.73Q^{0.5}$ (type 3) ;
- $W = 2.34Q^{0.5}$ (type 4)

Avec W = largeur de plein bord en mètre

Considérant que la rive droite est fortement boisée lorsque la rivière vient s'appuyer sur les terrasses, alors qu'en rive gauche ou hors de ces secteurs la végétation est peu présente, nous retiendrons un type 3 de végétation. Concernant le débit de plein-bord pris en compte, le modèle a permis d'estimer celui-ci entre un débit égal à 3*Module et le débit de la crue biennale. Aussi, en tenant compte de ces paramètres, on obtient selon la formule de Hey et Thorne, une largeur de plein bord oscillant entre 16 et 27 m.

B. Observation de terrain

En l'absence de tronçon de référence et de données cartographiques avant toute modification anthropique, le Doubs doit être restauré avec une largeur de plein bord adaptée aux écoulements.

Pour rappel, la largeur plein-bord varie de 17 à 54 m sur le linéaire du Doubs à l'étude avec une moyenne de 29.7 m.

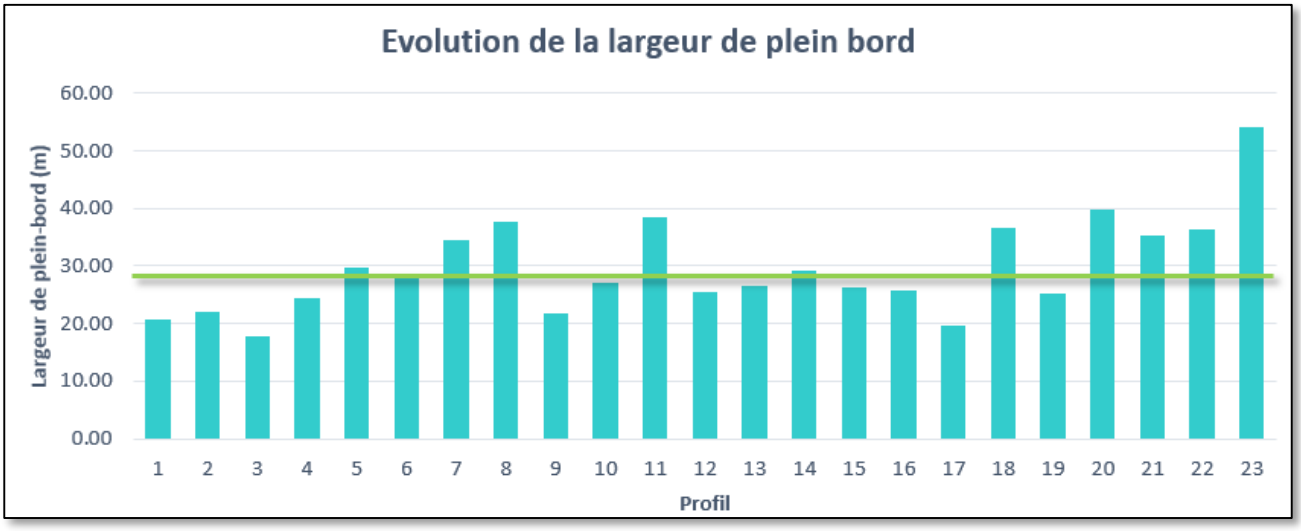


Figure 50 Evolution de la largeur de plein bord

C. Synthèse

L'approche théorique confrontée aux résultats du terrain tend à souligner une légère sur-largeur du cours d'eau. En effet des largeurs proches de 16 mètres devraient être observées à l'amont du secteur et la largeur du cours d'eau devrait ensuite augmenter pour atteindre 27 mètres. En réalité, en dehors des secteurs sous influence de seuils on observe à l'amont une largeur de 20 mètres. En allant vers l'aval, celle-ci augmente pour attendre 35 mètres environ.

5.1.5.2. Alternance de faciès morphologiques

A. Approche théorique

L'étude des paramètres physiques des formes fluviales apparaît comme une étape essentielle de la caractérisation des faciès. Parmi les principaux paramètres physiques figurent la longueur d'onde (λ), ou longueur de la forme, et l'amplitude (A), c'est-à-dire sa hauteur. La largeur du chenal (W) est une variable morphologique directement liée au débit.

Le rapport de la longueur d'onde des faciès sur la largeur mouillée (λ/W), il permet d'apprécier l'influence de la largeur sur l'espacement des séquences de faciès. Les géomorphologues ont réalisé de nombreux travaux sur les longueurs (λ) des séquences répétées de seuils et de mouilles, qu'ils évaluent en moyenne à 5 à 7 fois la largeur (W) du lit mouillé (distance de seuil à seuil) (Leopold et Wolman, 1957 ; Gregory et al., 1994) :

$$\lambda = [5;7] \times W$$

Malavoi et Souchon (2002) considèrent cet espacement comme un bon guide pour évaluer dans le temps les effets de certaines modifications sur la morphologie des cours d'eau (chenalisation, déboisement, reboisement, autres changements d'occupation des sols, aval de barrages) ou pour des questions de restauration morphologique (Newbury et Gaboury, 1993).

Pour rappel, les largeurs de plein bord oscillent théoriquement entre 16 et 27 m. Ainsi, en prenant nos deux valeurs extrêmes, la longueur d'onde varie entre 80 et 189 m. Avec la largeur moyenne de 29.7m, la longueur d'onde varie de 148.5 à 208 m.

B. Observations de terrain

Le parcours du terrain à pied a permis de relever les différents points amont et aval des radiers sur le secteur. Le graphique ci-dessous présente les distances entre les points amont des radiers localisés.

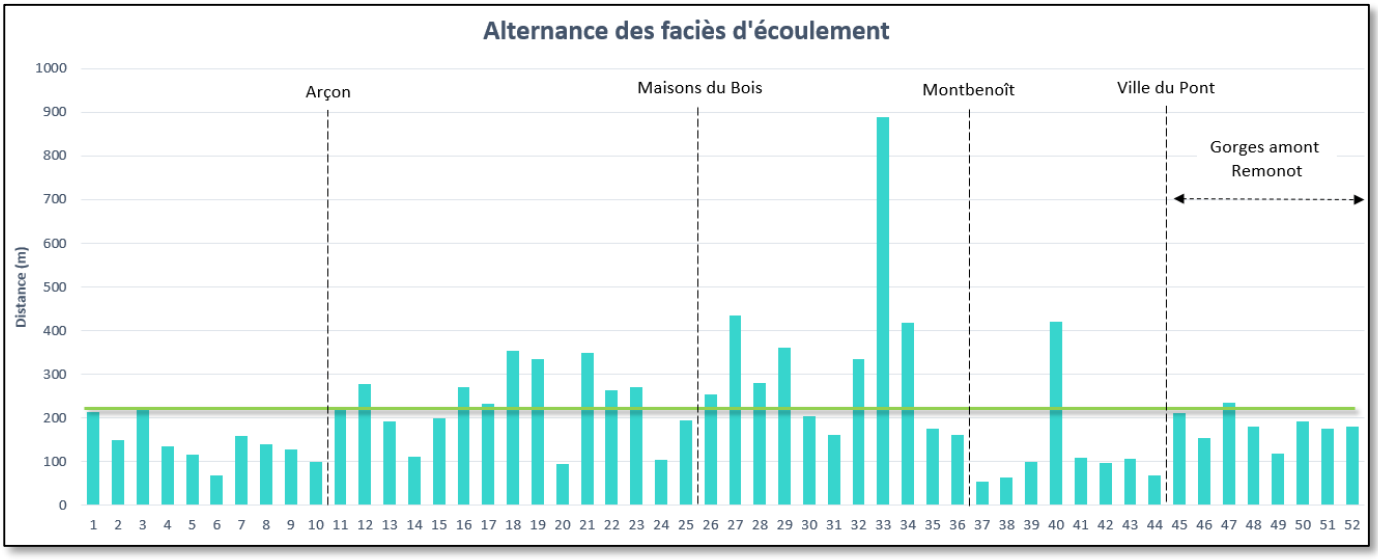


Figure 51 Evolution des distances inter-faciès

Figure 52 Distance (m) entre les différents faciès à l'amont d'Arçon

Figure 53 Distance (m) entre les différents faciès entre Arçon et Maisons-du-Bois

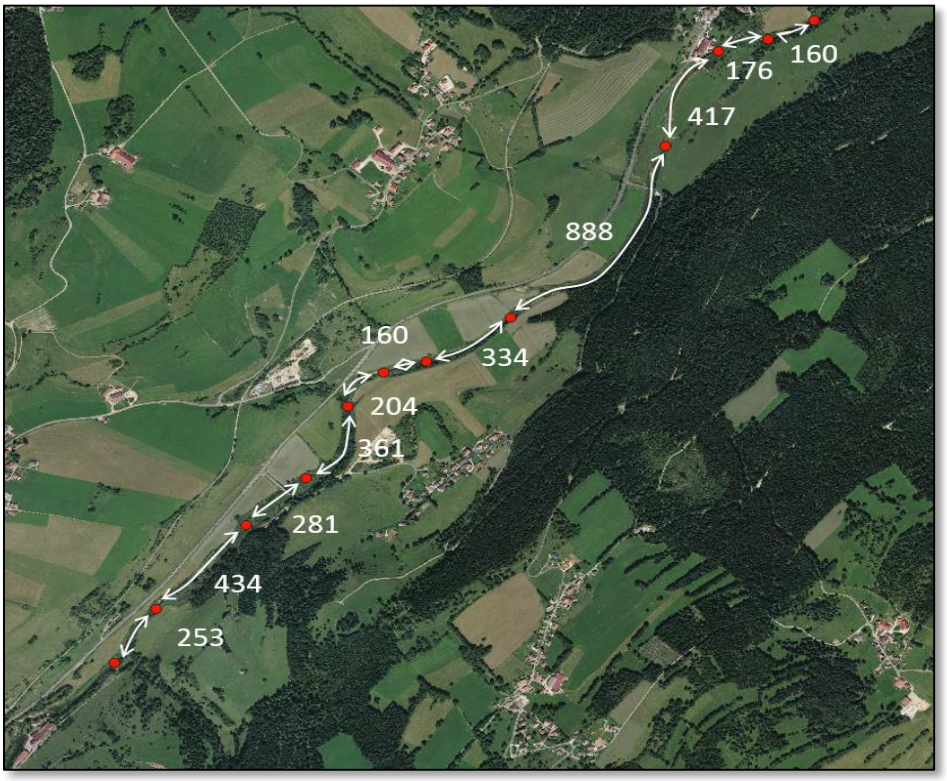


Figure 54 Distance (m) entre les différents faciès entre Maisons-du-Bois et Montbenoît

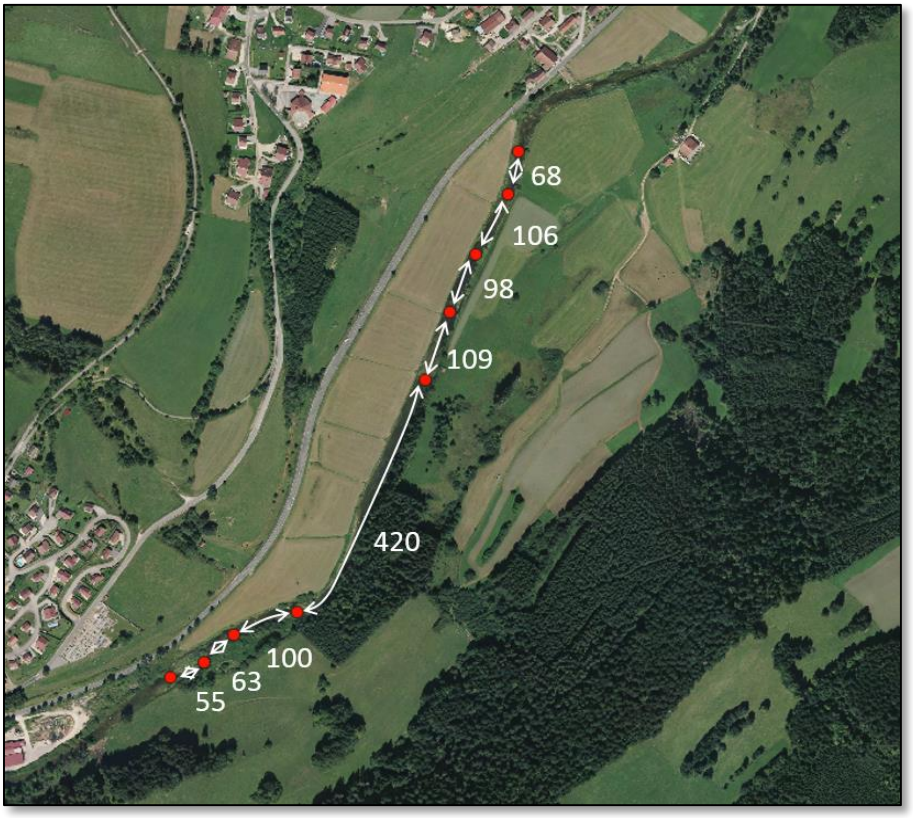


Figure 55 Distance (m) entre faciès entre Montbenoît et Ville du Pont

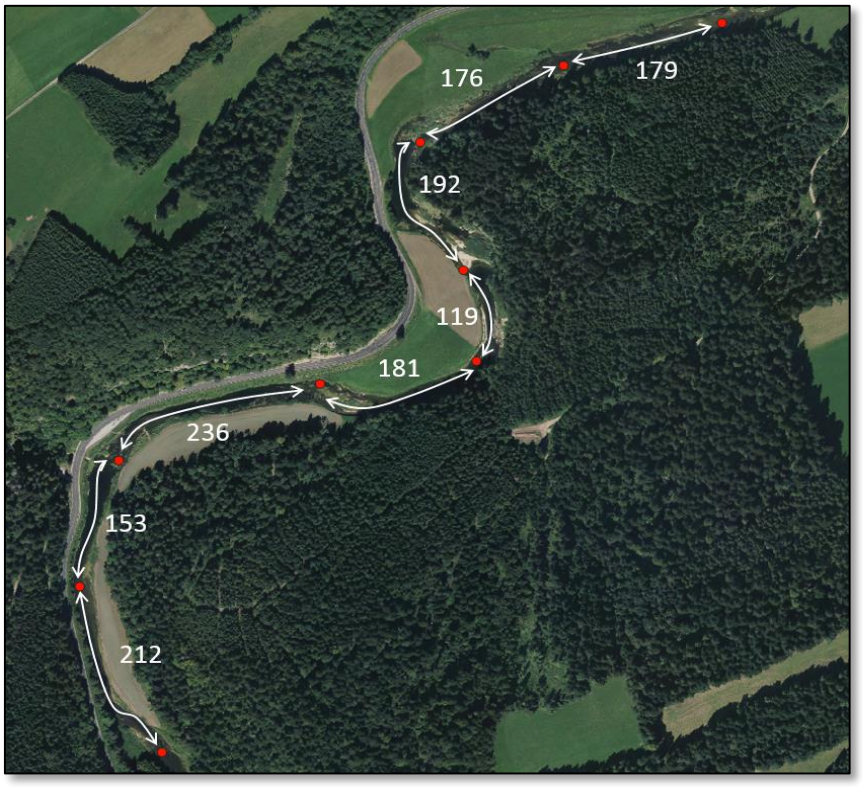


Figure 56 Distance (m) entre faciès en amont de Remonot

C. Synthèse

Les inter-distances observées sur le terrain ont une valeur moyenne de 212 mètres ce qui est supérieur à la valeur théorique calculée. Si l'on regarde secteur par secteur les distances moyennes entre faciès on a :

- 143 m à l'amont d'Arçon ;
- 231 m entre Arçon et Maisons du Bois ;
- 334 m entre Maisons du Bois et Montbenoît ;
- 127 m entre Montbenoît et Ville-du-Pont ;
- 181 m au droit des gorges.

Les écarts entre les valeurs théoriques et observées sont maximaux sur le secteur compris entre Arçon et Montbenoît. Cet écart traduit ainsi une largeur de cours d'eau trop importante.

5.2. FACTEUR D'EVOLUTION ET CONSEQUENCES

5.2.1. Actions anthropiques

5.2.1.1. Eclusées du barrage du lac Saint Point

Même si ce n'est actuellement plus le cas, le barrage de Saint Point fonctionnait anciennement en éclusées. Ce type de fonctionnement entraine l'augmentation de la fréquence des forts débits en aval des barrages et induit de nombreuses conséquences sur la morphologie des cours d'eau :

- Raréfaction et redistribution des classes granulométriques graviers et petits galets, qui sont entraînées vers l'aval ;
- Sur-calibrage des cours d'eau.

5.2.1.2. Flottage du bois sur le Doubs

Comme un grand nombre de rivières françaises, le Doubs a connu longtemps une assez vive animation autour du flottage du bois. La rivière traverse en effet une région où la densité forestière est considérable et les communications terrestres difficiles. Bien que le cœur de cette activité soit situé en aval du saut du Doubs, elle fut aussi développée au droit du secteur à l'étude. Ceci induit d'importante modification du cours d'eau en vue de le rendre praticable.

Sur des courtes distance comme cela devait être le cas su notre secteur d'étude, le flottage était du type à « bûches perdues ». Ce type de flottage de bois implique de récurer, calibrer et mettre les rivières au gabarit des troncs qu'elles devaient véhiculer. Le caractère ancien et progressif de ces modifications du paysage fluvial fait qu'il est aujourd'hui difficile de prendre la mesure des impacts engendrés par ce trafic. De plus, les travaux réalisés tout au long de ces années ont souvent été trop menus pour avoir été consignés dans les procès-verbaux des ingénieurs, surtout lorsque l'initiative venait des mariniers ou des populations rurales. Néanmoins, un document d'archive datant de 1852 mentionne la pratique du flottage du bois « à buches perdues » sur le secteur.

5.2.1.3. Scierie du cours d'eau

En complément du flottage du bois évoqué précédemment, les nombreuses scieries du secteur ont de même eu un impact important. En effet, au-delà des conséquences engendrées par la mise en place du barrage d'alimentation, les exploitant, afin d'optimiser la productivité de leur installation avaient l'habitude de curer la rivière afin d'y laisser transiter un important volume d'eau lié aux éclusées (remplissage la nuit, vidange le jour).

5.2.1.4. Aménagement du cours d'eau

Les recherches menées aux archives se sont centrées sur l'historique des ouvrages du secteur. Cependant suite à des échanges avec les services de l'état, des informations sur l'aménagement du Doubs sur le secteur à l'étude ont été transmises. Il en ressort les points suivants :

- Avis d'autorisation de 1828-1830 pour la mise en place d'un pont sur le Doubs à Maison-du-Bois comprenant l'aménagement du Doubs pour recevoir un pont à deux piles ;
- Etude pour la gestion des inondations en 1858 projetant la réalisation de divers aménagements hydrauliques, le document ne précise pas si des travaux ont été effectués suite à l'étude ;
- Enlèvement de 300 m3 de gravas dans la rivière suite à la grande crue de 1882 qui a provoqué un apport important de blocs dans le lit du Doubs ;
- Aménagement de la rivière en 1883 au niveau du pont de Hauterive suite à l'endommagement de celui-ci par la crue de 1882.

L'ensemble de ces points illustrent donc les actions humaines ayant été mises en œuvre sur le cours d'eau et explique en partie les dysfonctionnements observés sur le terrain (sur largeur au niveau des ouvrages de franchissement et hydraulique, déficit sédimentaire,…).

5.2.2. Conséquences

Les diverses visites du site à l'étude ont permis d'identifier des indices de dysfonctionnement morphologiques. En effet, sur le linéaire des phénomènes d'incision et de pavage ont été observés.

Ces phénomènes sont le résultat d'une perturbation des apports sédimentaires (installation de barrages amont, prélèvement, colonisation végétale des versants, ...). Bien que sur le secteur les entrées sédimentaires ne soient pas naturellement importantes, l'équilibre qui en résulte demeure fragile, aussi une diminution même minime peut engendrer des conséquences. Ainsi cet amenuisement s'est manifesté sur le Doubs par une nette tendance à l'incision, à l'enfoncement de la bande active et à la mise en place d'un pavage stable dans le fond du lit. Cette rétractation a d'ailleurs été mise en évidence par les analyses diachroniques menées sur le cours d'eau.

Des relations entre ces trois phénomènes ont déjà été mis en évidence par certains auteurs (Richard et Clifford, 1991 ; Tsujimoto et Kitamura, 1996). La diminution de la bande active a entraîné une canalisation des écoulements induisant le façonnement d'un nouveau chenal, incisé dans l'ancienne surface active. Cette incision a principalement progressé par évacuation des particules les plus fines (graviers, galets fins) faiblement réalimentées par l'amont, générant ainsi une concentration progressive des particules grossières dans le fond du lit et entrainant ainsi le pavage actuellement visible. L'ensemble de ces phénomènes a ainsi conduit à une chenalisation du cours d'eau.

5.3. ANALYSE MORPHO-SEDIMENTAIRE

5.3.1. Activité sédimentaire

5.3.1.1. Notion d'apports solides

Au-delà de la seule capacité de transport solide d'une rivière, se pose la question des apports sédimentaires morphologiquement intéressants, c'est-à-dire la charge plus ou moins grossière susceptible d'être transportée par charriage (sables grossiers, graviers, galets), en opposition avec la charge fine plus ou moins organique transportée en suspension (limons, vases, sables).

En effet, pour un transit sédimentaire actif, l'hydrosystème doit disposer d'apports en matériaux et d'une capacité suffisante pour les transporter :

- Des apports externes :
    - Production primaire : il s'agit des apports en sédiments grossiers parvenant directement au cours d'eau (écoulement, reptation, glissement), comme par exemple des éboulis de pente, des glissements de terrain, … ;
    - Production secondaire : il s'agit des apports des affluents.
- Des apports internes :
    - Stock en lit mineur comme le matelas alluvial en fond de lit mineur ;
    - Stock en lit majeur et terrasses : il s'agit d'apports externes se faisant par le biais d'érosions latérales.

Concernant notre secteur d'étude, des apports sont présents en lien avec la géologie du bassin versant et la morphologie du Doubs. En effet, lorsque la rivière vient s'appuyer sur les versants calcaires de nombreux apports ont lieux, par ailleurs, bien que celles-ci soient ponctuelles, des terrasses sont présentes sur le linéaire et permettent une érosion latérale.

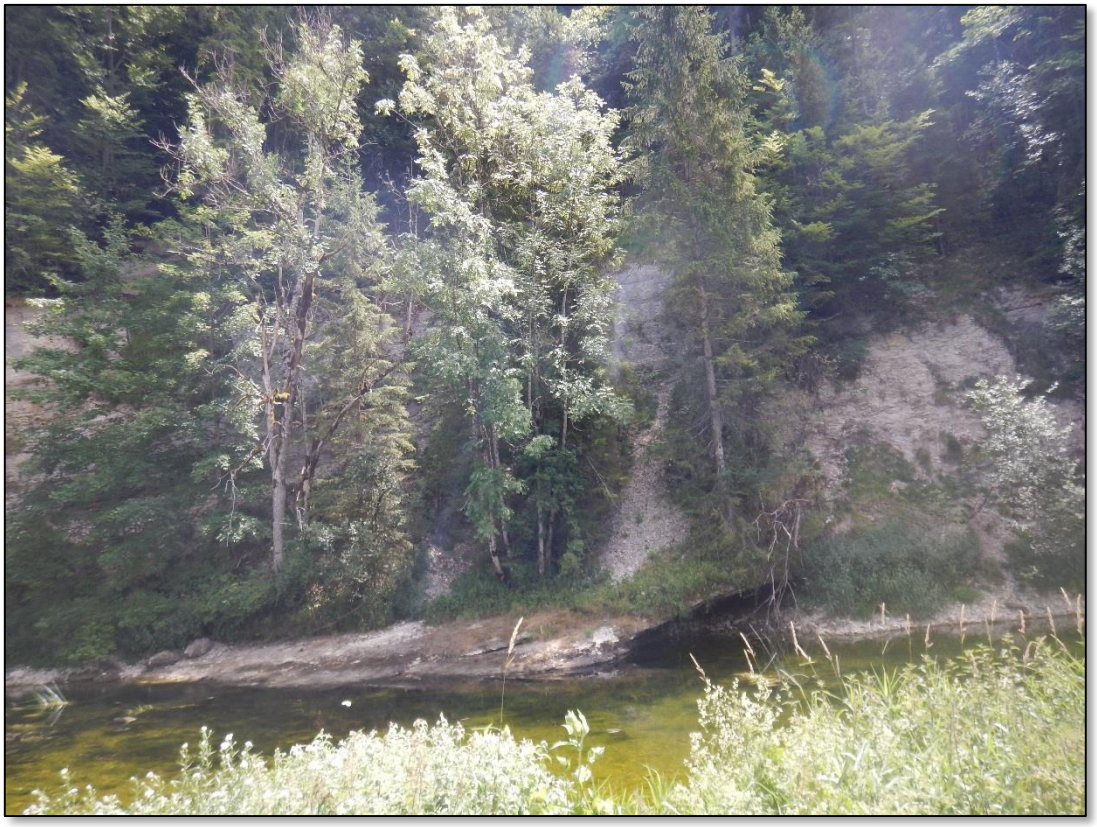


Figure 57 Exemple de zone d'apport au droit des gorges

Les gorges sont le lieu principal des apports sédimentaires externes, sur le terrain cela est clairement visible de par l'aspect « angulaire » des alluvions rencontrés, en effet sur le secteur les alluvions sont trop récents pour avoir été lissés par la rivière.

Ainsi, le Doubs présente les caractéristiques d'un cours d'eau peu dynamique, ce qui transparait sur plusieurs aspects :

- Un lit stable ayant une mobilité très faible ;
- La faible présence de bancs de sédimentation témoins du stock de matériaux alluvionnaires ;
- La végétalisation des bancs en présence.

Néanmoins, ces constats sont moins importants sur la partie aval du secteur, au droit du défilé du aux nombreux apports du secteur. Notons par ailleurs que le Doubs sur le secteur à l'étude présente les caractéristiques d'un cours d'eau de plaine et charrie donc peu d'éléments.

5.3.1.2. Observation de terrain

Les matériaux déposés en surface ont ici été étudiés, ils constituent une couche d'armurage et sont plus grossiers que les matériaux composant le matelas alluvionnaire. Les matériaux plus grossiers se sont en effet accumulés, à l'origine d'une première strate granulométrique. Les matériaux originels du lit se sont accumulés, et en l'absence d'apports amont, un tri granulométrique s'est fait au gré des crues (et des remobilisations), constituant un armurage en surface protégeant les alluvions de tailles inférieures en sub-surface.

Les radiers naturels constituent pour leur part les points plus ou moins stables et donc structurants (en dehors des affleurements rocheux) d'un profil en long d'une rivière. Il a donc été réalisé des mesures sur plusieurs radiers afin de caractériser leur granulométrie. Les mesures granulométriques de surface ont été réalisées selon la méthode de Wolman (échantillon global de près de 840 mesures) ont permis de mettre en évidence les éléments suivants :

- Un diamètre moyen D50 compris entre environ 44.5 mm et 82 mm sur le secteur d'étude ;
- Sur l'ensemble du secteur on observe une granulométrie assez uniforme (résultats rapport D60/D10 et forme de la courbe).

Tableau 5 Synthèse des résultats de l'analyse granulométrique par la méthode Wolman

Dm (mm)	Radier 1	Radier 2	Radier 3	Radier 4	Radier 5	Radier 6	Radier 7	Radier 8
10	38	42	55.2	44	22.7	23	30.7	24.9
30	62	59.3	75	60.1	47.1	40.8	42	35
50	73	70	82	71	62.5	49.5	51.5	44.5
90	96.4	99	116.4	93	98	75.1	93.3	63
D90/D30	1.55	1.67	1.55	1.55	2.08	1.84	2.22	1.80
Dmax	130	135	137	114	143	122	143	92

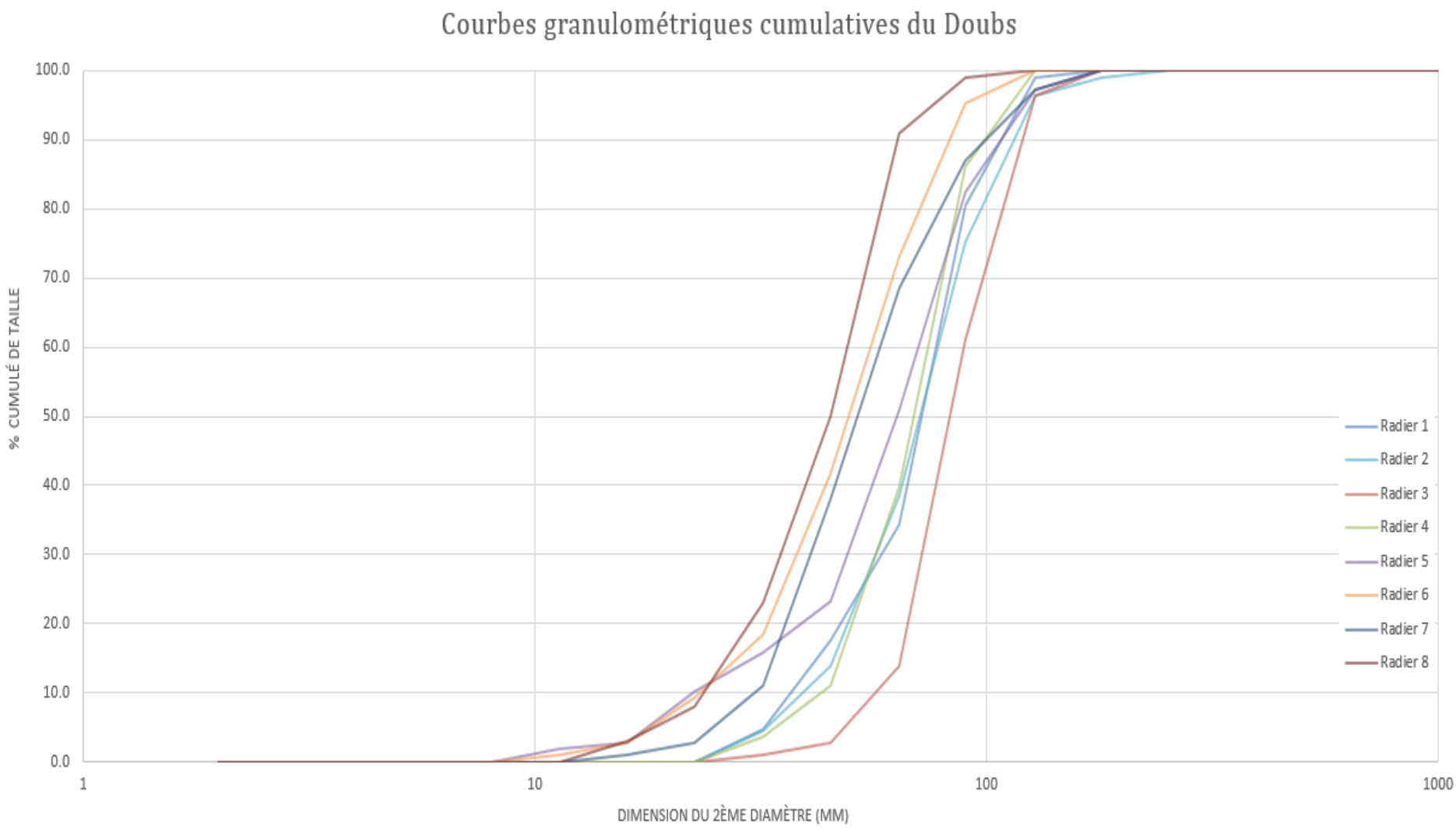


Figure 58 Synthèse des courbes granulométriques cumulatives sur les radiers

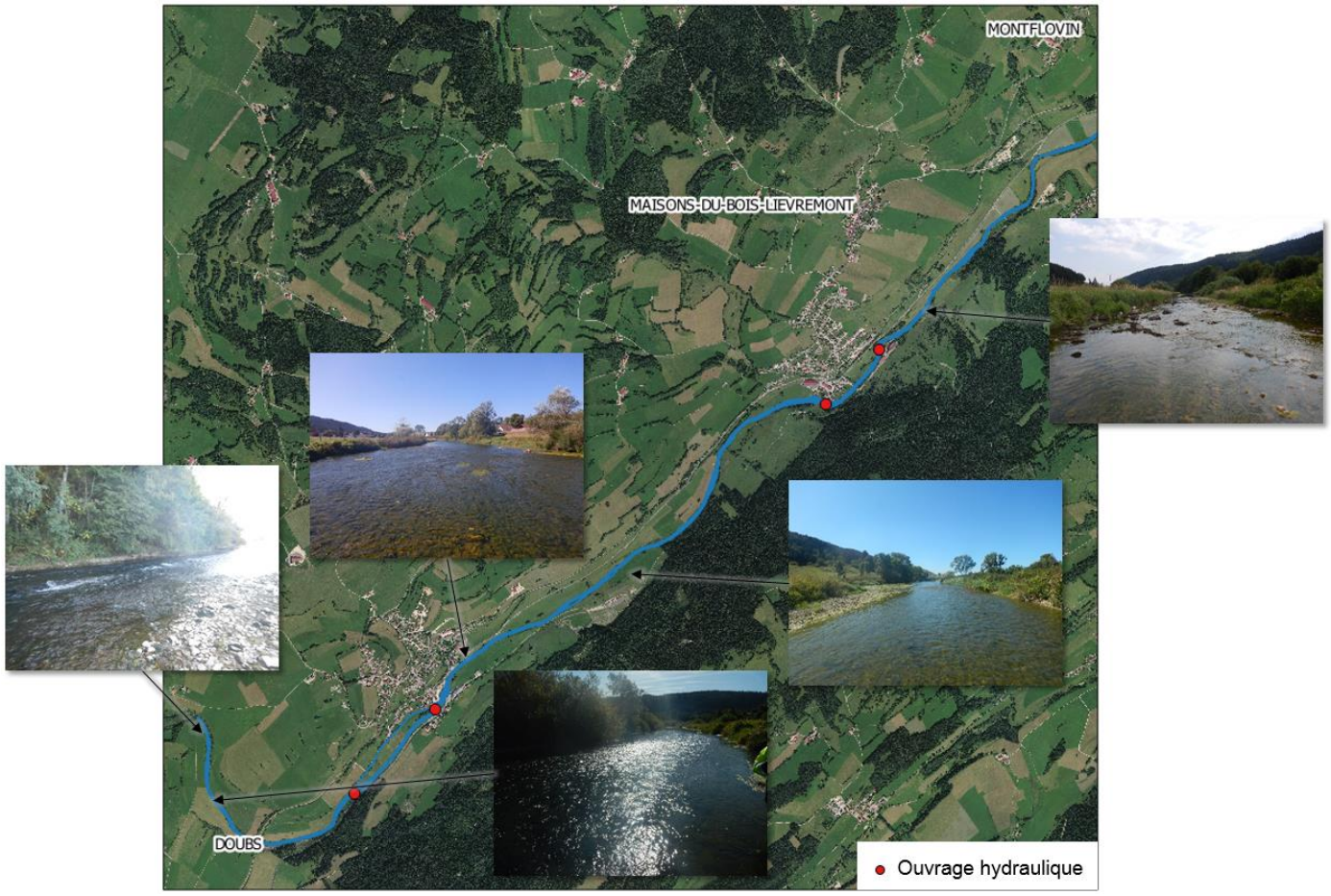


Figure 59 Localisation des granulométries (1/2)

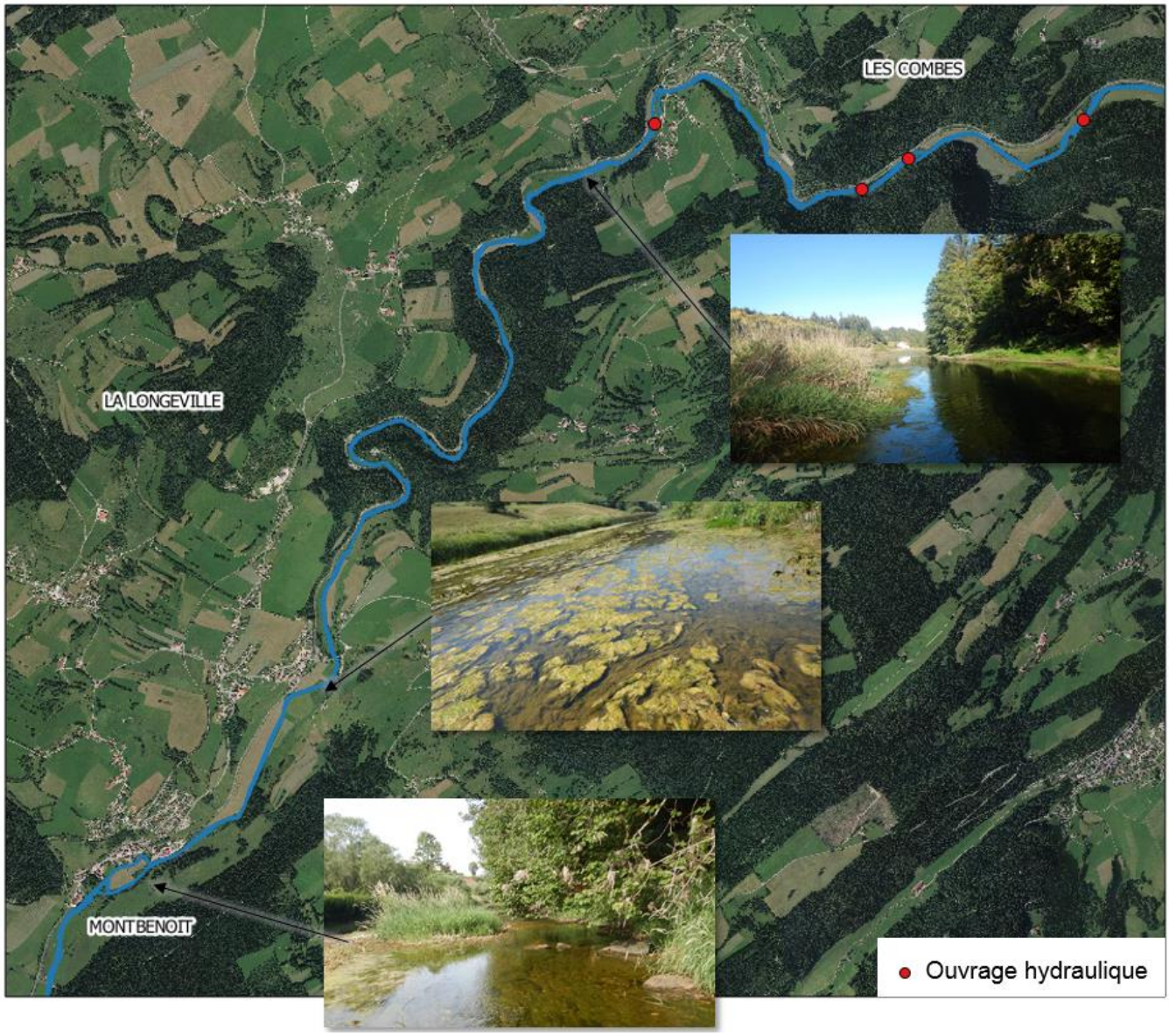


Figure 60 Localisation des granulométries (2/2)

Globalement on observe un diamètre de matériaux décroissant d'amont en aval. L'augmentation du d50 au droit du radier 3 situé en aval d'Arçon peut traduire un effet des ouvrages sur le transit sédimentaire. En effet l'augmentation du diamètre des matériaux en aval des ouvrages peut traduire le piégeage des sédiments dans les retenues.

5.3.1.3. Capacités de charriage

Afin d'estimer le transport sédimentaire par charriage, nous nous sommes basés sur les courbes granulométriques obtenues lors de notre visite du site.

Le débit solide d'un cours d'eau est une composante difficilement quantifiable et de nombreuses formules théoriques et empiriques ont été établies dans le but de déterminer cette grandeur. Chacune d'entre elles présentent un domaine de validité spécifique (diamètre D des sédiments et pente S du cours d'eau notamment), qu'il est indispensable de respecter pour obtenir des résultats cohérents et représentatifs de la réalité.

A noter que les mesures effectuées incluent l'armurage certain en surface. Même si la granulométrie dans la masse serait inférieure, ces mesures nous permettent d'appréhender la capacité de mobilisation effective de la charge, et donc de destruction de la couche d'armurage.

Le critère de Shields permet d'évaluer la capacité de mise en mouvement des sédiments présents. Il est déterminé par la formule suivante :

$$\tau^* = \frac{\tau}{g(\rho_s - \rho)D} \approx \frac{hJ}{1.65D}$$

Toute rivière possède un seuil de critère de Shields en-deçà duquel l'équilibre du fond du lit est assuré, il est appelé le critère de Shields critique. Lorsque le critère de Shields d'un tronçon de rivière dépasse le seuil critique, la mobilisation des sédiments est active, et induit le début de transport par charriage. Cette grandeur permet ainsi de définir si le cours d'eau a atteint une pente d'équilibre, ou si des processus de réajustement sont encore à attendre.

L'état de l'art ne permet pas aujourd'hui de définir une valeur de référence traduisant une mise en mouvement des matériaux. Ainsi, pour une rivière naturelle à galets et blocs (d'après Recking) celle-ci est égale à 0.045, tandis que selon Parker (1982), en présence d'une granulométrie étendue, une valeur de 0.138 est annoncée pour permettre la destruction de l'armure.

Au vu de l'uniformité de la granulométrie des radiers constatée dans le paragraphe précèdent, nous comparerons les résultats au critère proposé par Recking.

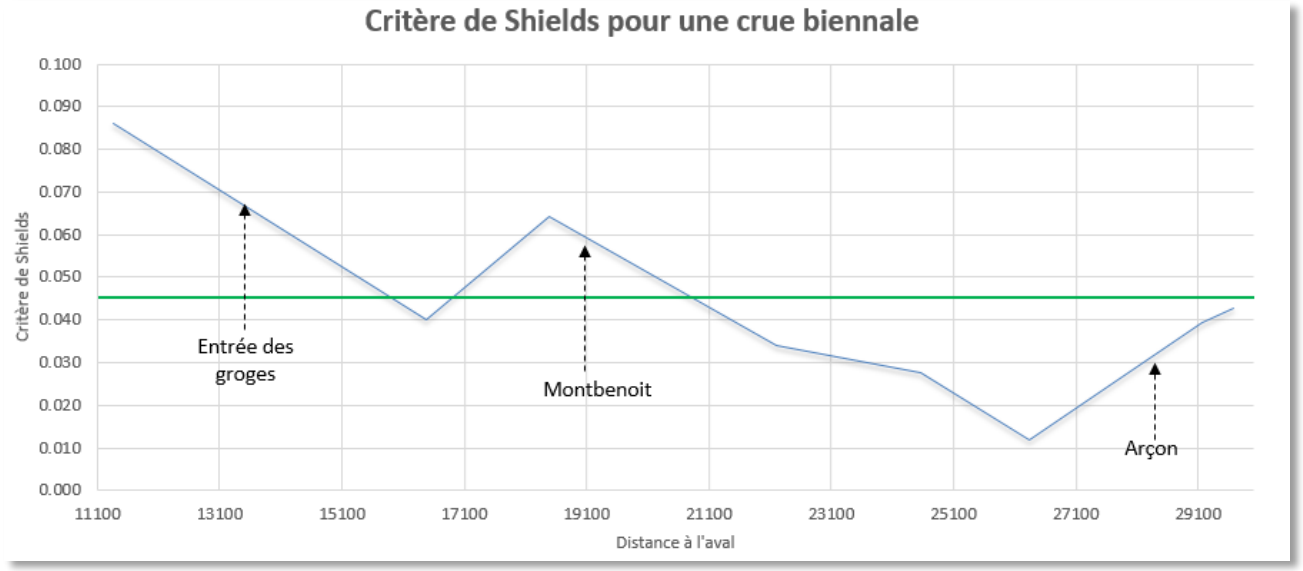


Figure 61 Critère de Shields en fonction du profil en long

Dans le cas présent, on observe des valeurs majoritairement inférieures au seuil de mise en mouvement de Recking. Notons tout de même que ces valeurs s'appuient sur la granulométrie au droit des radiers, et donc sur des dimensions importantes en comparaison aux éléments pouvant être rencontrés sur des bancs. Par ailleurs, rappelons que le Doubs sur notre secteur n'a pas les caractéristiques d'un cours d'eau charriant une importante quantité de matériaux.

Par ailleurs, sur la base du modèle et des mesures de terrain le critère de Shields a été calculé avec le débit de la crue de janvier 2018. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 6 calcul du critère de Shields pour la crue de janvier 2018

Débit	Valeur Débit (m3/s)	Diamètre médian matériaux (d50 en m)	Pente moyenne de la ligne d'énergie (m/m)	Hauteur d'eau (m)	Critère de Shields	Mise en mouvement théorique des matériaux du fond	Profil en long
Crue janvier 2018	170	0.073	0.0029	3.39	0.082	Mobilisation possible	aval confluence Drugeon
Crue janvier 2018	170	0.070	0.0029	2.57	0.065	Mobilisation possible	amont Arçon
Crue janvier 2018	170	0.082	0.00149	2.53	0.028	NON - Pas de mobilisation	aval Arçon
Crue janvier 2018	170	0.071	0.00148	2.31	0.029	NON - Pas de mobilisation	amont Maisons du Bois
Crue janvier 2018	170	0.063	0.00209	2.56	0.052	Mobilisation possible	aval Maisons du Bois
Crue janvier 2018	170	0.050	0.00043	3.50	0.018	NON - Pas de mobilisation	Montbenoît
Crue janvier 2018	170	0.052	0.00137	2.81	0.045	Pas ou peu de mobilisation	Ville du Pont
Crue janvier 2018	170	0.045	0.00138	3.44	0.065	Mobilisation possible	amont Remonot

Si l'on compare les critères de Shields obtenue à 0.045 (Shields critique pour des matériaux uniformes) on s'aperçoit que des matériaux ont pu être mobilisés sur certains secteurs.

5.3.2. Capacités d'ajustement morphologique

5.3.2.1. Puissance spécifique

La puissance d'un cours d'eau est la quantité d'énergie que possède l'écoulement pour transporter sa charge sédimentaire et qui doit être absorbée par friction. Si l'énergie est non suffisante pour transporter la charge sédimentaire, les sédiments se déposeront au fond du cours d'eau. Si l'énergie ne peut être absorbée par friction, le fond du cours d'eau et/ou le talus seront érodés par l'écoulement. Ainsi, la quantification de cette grandeur est une manière simple de voir la capacité de travail d'un cours d'eau

La puissance peut être définie comme la puissance brute (Ω) : Ω = ρ g Qb S

Ω = puissance (kg m s--2) (W m-1)

ρ = masse spécifique de l'eau (1000 kg m3)

g = accélération gravitationnelle (9,8 m s-2)

Qb = débit plein bord (m3 s-1)

S = pente du cours d'eau (m m-1)

La puissance spécifique (ω) est calculée comme suit : ω = Ω/l

ω = puissance (watt/m²)

Ω = puissance (kg m s--2) (W m-1)

l la largeur du lit pour le débit de plein bord (m)

Les puissances spécifiques ont été calculées sur l'ensemble du linéaire à l'étude, les profils analysés sont les mêmes que ceux choisis pour le débit de plein-bord. Leur localisation est disponible au sein des figures 38 et 39.

Tableau 7 Liste des puissances spécifiques et forces tractrices calculées sur le Doubs

Localisation	Débit plein bord (m3/s)	Puissance spécifique (W/m²)	Force tractrice (Pa)
1	29.70	**26.7**	**20.4**
2	38.00	**33.8**	**25.2**
3	90.00	**57.0**	**31.5**
4	100.00	**30.4**	**20.9**
5	29.98	**16.1**	**12.0**
6	34.20	**19.2**	**12.8**
7	100.00	**52.8**	**24.2**
8	100.00	**45.1**	**18.0**
9	34.20	**18.6**	**16.0**
10	70.00	**36.0**	**25.4**
11	11.40	**5.1**	**8.1**
12	40.00	**26.3**	**20.5**
13	100.00	**67.9**	**29.4**
14	100.00	**61.6**	**32.7**
15	50.00	**25.4**	**19.9**
16	30.00	**19.7**	**14.9**
17	17.00	**11.9**	**27.8**
18	73.00	**27.5**	**17.7**
19	85.00	**17.5**	**10.6**
20	120.00	**21.3**	**17.8**
21	100.00	**20.0**	**11.4**
22	110.00	**21.3**	**13.9**
23	100.00	**11.5**	**18.8**

En fonction des secteurs et des profils en travers, la puissance spécifique calculée pour le débit de plein bord varie entre 15 et 70 W/m². D'après la bibliographie le seuil de 35W/m² séparerait les cours d'eau non sujets aux érosions de berges et les cours d'eau susceptibles de se réajuster après des travaux de rectification.

Aussi, la faiblesse des résultats observés illustrent la faible résilience de la rivière, et plus particulièrement sur le secteur à l'amont des gorges. Par ailleurs, il est important de noter que ces données étant des valeurs théoriques qui tiennent

compte de la pente, du débit et de la largeur à plein bord de la rivière, elles peuvent être artificiellement modifiées par les différentes interventions effectuées sur le cours de la rivière (curage, rectification…). Ce qui est pleinement le cas sur les secteurs des profils 3, 7, 8, 13 et 14.

5.4. TENDANCE EVOLUTIVE

5.4.1. Profil en long

De façon générale, ne disposant que de peu d'élément de comparaison, seule la tendance d'incision du fond du lit du Doubs est constatée, par les observations de terrain. Cependant, dans le respect du fonctionnement hydraulique et morphodynamique actuel, et au vu du pavage actuel, cette tendance ne devrait logiquement pas s'aggraver.

Notons par ailleurs que ce phénomène d'incision est responsable du décapage des fonds et pourrait donc avoir un impact sur l'aggravation des pertes du secteur puisque ce décapage engendre la mise à nu de siphons.

5.4.2. Mobilité latérale

Nous avons pu constater que la mobilité latérale du lit du Doubs reste très limitée, voire même figée. En effet, le cours d'eau s'écoule dans un contexte de vallées encaissées ou de gorges, ce qui limite la mobilité latérale. Même après restauration de sa morphologie, il n'est pas attendu que la mobilité du Doubs sur ce secteur soit active.

5.5. SYNTHESE DES RESULTATS

L'analyse des paramètres morphologiques de la rivière et les différentes observations de terrain ont permis de démontrer un enfoncement de la rivière ainsi qu'une légère sur-largeur. La combinaison de ces deux dysfonctionnements tend donc à indiquer la disparition des milieux annexes et connectifs suite à l'enfoncement de la rivière et donc la simplification du fonctionnement morphologique de la rivière et l'homogénéisation des habitats.

6. COMPOSANTE PHYSIQUE ET HABITATIONNELLE

6.1. METHODE

La méthode utilisée pour caractériser l'ensemble des composantes de la qualité physique et habitationnelle du Doubs est la méthode dite « des tronçons », telle que définie par le cabinet Téléos.

La méthode « des tronçons » présente les avantages suivants :

- Elle fournit des résultats qui sont interprétés par rapport à une référence propre ;
- Elle garde une portée globale, adaptée à ce type d'étude ;

- Sa capacité à quantifier un état et à en différencier les causes permet d'exploiter les résultats obtenus dans le cadre de ce diagnostic.

Elle est structurée en 3 étapes : La sectorisation, la description physique et la notation.

6.1.1. Sectorisation

Une première sectorisation, avant reconnaissances de terrain, a été effectuée par analyse cartographique. Les grands tronçons homogènes ont été délimités sur la base des variables suivantes :

- Vallée :
    - Largeur de la vallée ;
    - Sinuosité de vallée ;
    - Occupation du sol ;
    - Géologie ;
    - …
- Réseau hydrographique :
    - Principales confluences/diffluences ;
    - Principaux ouvrages ;
- Lit mineur du Doubs :
    - Sinuosité ;
    - Degré d'aménagement ;
    - Rupture de pente ;
    - Largeur à plein bord ;
    - …

6.1.2. Description physique

Les tronçons du Doubs sont parcourus à pied et les différentes entités physiques constitutives de l'hydrosystème (lit mineur, berge, lit moyen et lit majeur) sont décrites. Ce qui permet ensuite de caractériser la capacité biogène de chaque tronçon par la description de 4 grandes composantes structurant un écosystème aquatique :

- L'**Hétérogénéité** du lit mineur : Appréciation de la diversité notamment morphologique pour l'accueil d'habitats diversifiés (diversité d'écoulements, variations de section,…),
- L'**Attractivité écologique**, en lien avec la diversité des habitats aquatiques susceptibles d'accueillir la vie (diversité et qualité d'habitats aquatiques, présence de caches,…),

- La **Connectivité longitudinale** (cloisonnement par la présence de barrages ou de radier de ponts) **et latérale** du lit mineur avec les milieux annexes (lit moyen, lit majeur, berges) ;

- La **Stabilité** du lit permettant de caractériser l'état d'équilibre du lit.

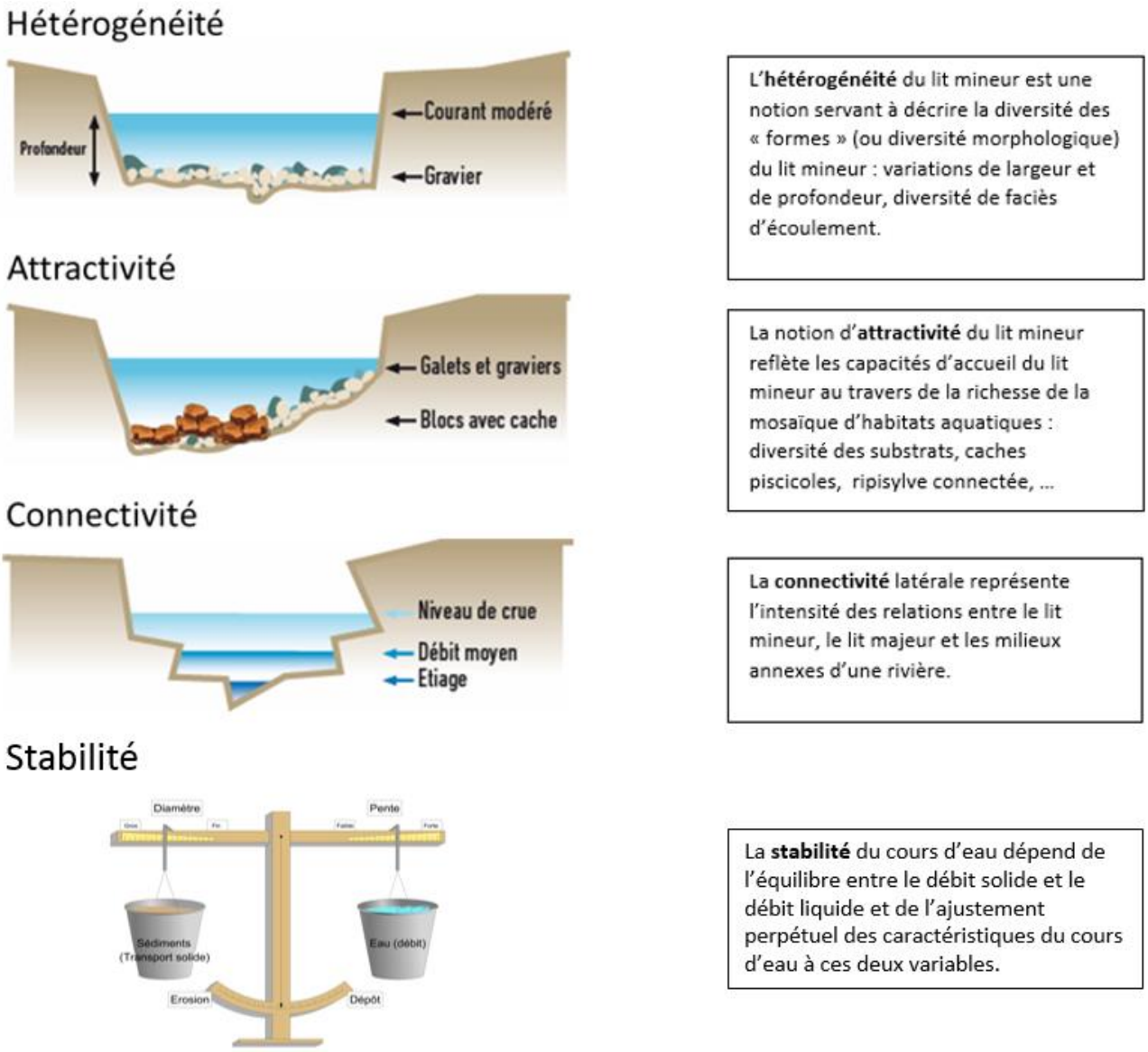


Figure 62 Illustration schématique des 4 composantes de la qualité physique

6.1.3. Notation

Les éléments favorables et défavorables recensés sont quantifiés et des notes sont attribuées pour chaque composante afin d'aboutir finalement à un score synthétique. Cette notation est adaptée au type de cours d'eau étudié, ce qui permet d'estimer un positionnement de la qualité physique actuelle par rapport à une qualité physique théoriquement envisageable sur chaque tronçon.

L'**interprétation** peut être fondée sur les notes obtenues sur un secteur « référentiel » ou « sub-référentiel » présentant une qualité physique intacte dont témoignent des peuplements et des populations piscicoles de bonne qualité (en relation avec le niveau typologique auquel le secteur de référence peut être rattaché). Toutefois, la démarche idéale consiste, lorsque les données existent, à pouvoir évaluer le degré d'altération de chaque tronçon d'après l'évolution historique de sa qualité physique.

Dans cet esprit, chaque composante est définie par 5 classes de A à E. La classe supérieure **- A -** répondant en fait à une condition conforme pour le tronçon étudié.

Les tableaux de notation des différents paramètres descriptifs, des différentes composantes et des limites de classes retenues pour les scores de qualité physique sont présentés en annexes.

Le tableau de relevé de terrain est lui aussi présenté en annexe.

6.2. QUALITE PHYSIQUE ET HABITATIONNELLE

6.2.1. Sectorisation

Le découpage en tronçons morphologiquement homogènes est basé sur l'étude des cartes IGN et géologiques ainsi que sur l'analyse du profil en long pour repérer les ruptures de pentes, les dimensions et forme du lit, la sinuosité, les changements de substratum. Cette sectorisation a ensuite été affinée par une visite de site en période d'étiage.

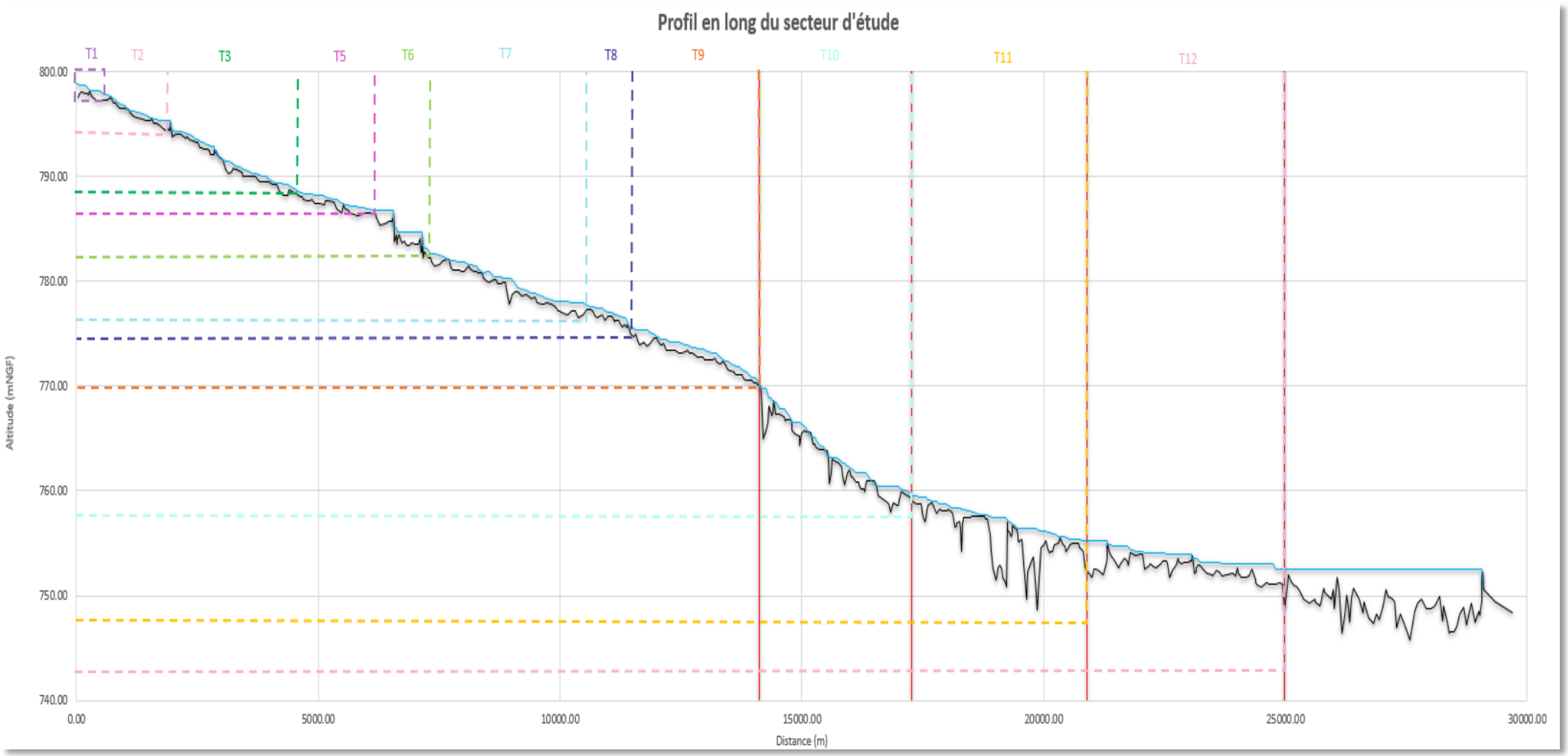


Figure 63 Sectorisation du linéaire à l'étude sur le profil en long

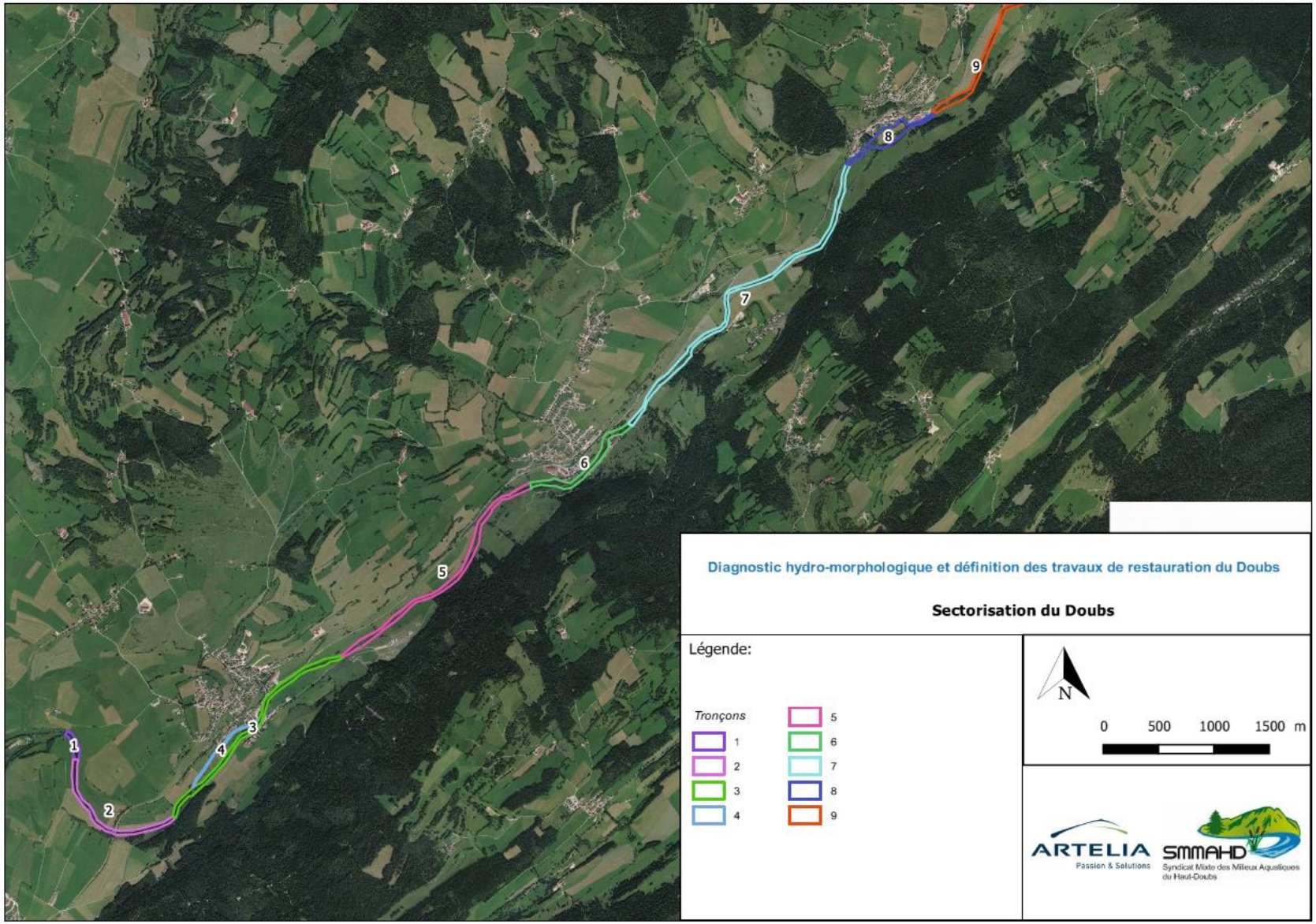


Figure 64 Localisation des différents tronçons (1/2)

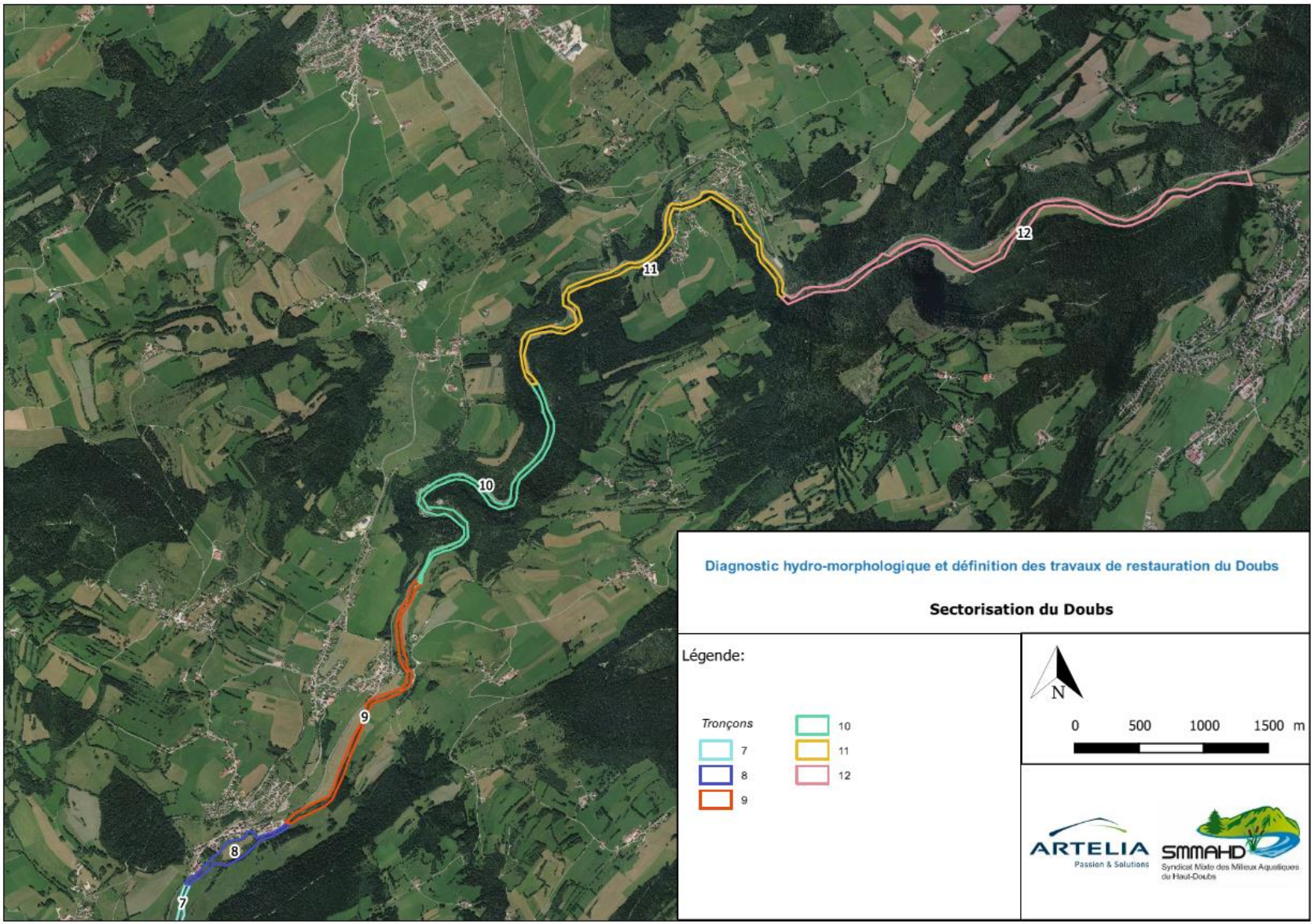


Figure 65 Localisation des différents tronçons (2/2)

Les critères des sectorisations sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 8 Critères de sectorisation

Nom	Longueur (m)	Facteur(s) de sectorisation
1	263	Géologie
2	1387	Largeur
3	2187	Largeur +occupation des sols
4	872	Largeur
5	2518	Largeur
6	1176	Ouvrages
7	3330	Occupations des sols
8	1055	Largeur
9	2391	Occupations des sols
10	2969	Pente + géologie
11	3642	Pente + géologie
12	4180	Pente + largeur

6.2.1.1. Descriptions des tronçons homogènes

A. Tronçon 1

Ce tronçon de 263 mètres débutant à l'amont du secteur d'étude est longé en rive gauche par une terrasse calcaire. Le tronçon est constitué d'une alternance de faciès radier-plat et présente une absence de systèmes latéraux.

Les fonds présentent une certaine rugosité au travers de galets et blocs. Par ailleurs, sur ce secteur la ripisylve est très connective permettant la création de cache piscicole parfois profonde. La présence de blocs est aussi un avantage pour le poisson.

Enfin, la hauteur de berge sur ce secteur est très faible et l'on observe ainsi des débordements très fréquents sur ce secteur.

Figure 66 Tronçon 1

B. Tronçon 2

Le tronçon débute lorsque la rivière n'est plus accolée au pied de versant en rive droite. La limite aval du secteur correspond au début de la zone de remous du barrage d'Arçon qui engendre un élargissement du lit. Sur ce secteur, le lit majeur est barré par le talus SNCF.

De même que pour le tronçon précédent, les principaux faciès rencontrés sont du type radiers et plats. La ripisylve est encore bien connective, mais un peu moins présente que sur le tronçon précédent. Par ailleurs, des herbiers intéressants apparaissent sur ce tronçon. Notons cependant l'apparition d'un léger colmatage sur les zones plus calmes.

Enfin, des traces d'incision ancienne ont été notées sur le secteur.

Là encore, la hauteur de berge est faible permettant une bonne connectivité, par ailleurs une annexe alluviale est présente en amont du pont SNCF.

Figure 67 Tronçon 2

C. Tronçon 3

Ce tronçon d'environ 2 km débute en amont du barrage d'Arçon et termine à l'aval de la commune lorsque la rivière s'écarte du remblai routier.

Le tronçon est constitué de radiers alternant avec des plats lotiques et lentiques. Ce tronçon se caractérise par le fort impact de la traversée urbaine sur la rivière, avec l'existence de deux ouvrages ainsi que des protections de berges et remblais contraignant la rivière.

Au droit des retenues, un important colmatage par les algues est présent, par ailleurs le fond apparait comme pavé.

La ripisylve, sur ce secteur, est beaucoup moins présente et connective (dû à l'augmentation des hauteurs de berges). On constate l'apparition de zones colonisées par des hélophytes. Là encore, des indices d'incision ont été retrouvés.

Figure 68 Tronçon 3

D. Tronçon 4 (canal d'Arçon)

Ce tronçon constitue le canal usinier de la prise d'eau d'Arçon. Au vu de son ancienneté, il a été choisi de le considérer comme un tronçon à part entière.

Le canal présente une importante hauteur de berge et est constitué d'une succession de courts radiers et plats. D'importants blocs ont été disposés sur son cours, constituant ainsi des abris pour le poisson. Des herbiers et hélophytes sont aussi présents. Notons cependant que l'alimentation de canal est parfois coupée.

Figure 69 Tronçon 4

E. Tronçon 5

Ce tronçon mesure 2.5 km environ et termine au droit du remous du barrage amont de Maisons-du-Bois. Sur ce secteur, le Doubs vient se plaquer contre le versant gauche. Au droit de ce site, la rivière présente une zone très profonde qui n'avait jusque-là pas été rencontrée sur le linéaire. Lors de la visite, le courant sur cette zone était quasiment nulle.

Par ailleurs, sur ce tronçon sont disposés plusieurs regards autour des pertes.

A l'aval du linéaire, dû à la présence du barrage de Maisons-du-Bois, d'importantes figures sédimentaires sont présentes. Des chenaux de crues ont également été observés.

Figure 70 Tronçon 5

F. Tronçon 6

Hors domaine d'application : Succession de remous d'ouvrage.

G. Tronçon 7

Ce tronçon s'étend sur 3.3 km entre Maisons-du-Bois et Montbenoit, on y retrouve les mêmes faciès qu'au sein du tronçon 5, la principale différence réside dans l'augmentation de la hauteur des berges. Notons qu'un remblai en lit majeur est présent sur ce tronçon et que ce secteur a subi un important enfoncement. Lors du terrain en période d'étiage le tronçon était très colmaté par endroit.

Enfin, à l'aval du tronçon, un grand chenal de crue occupe le pied du versant droit.

Figure 71 Tronçon 7

H. Tronçon 8

Le tronçon 8 débute au pont 782 de Montflovin pour terminer à l'aval de la scierie de Montbenoît. Sur ce secteur la rivière est divisée en deux bras, l'un appuyé sur les remblais bâtis de Montbenoît, le second sur le pied de versant droit. Les deux bras ont une largeur d'une dizaine de mètre, cette diffluence provient originellement de la présence d'une scierie fonctionnant grâce à l'énergie hydraulique, aujourd'hui le barrage est détruit mais les deux bras subsistent.

En période d'étiage, ce tronçon est très colmaté, une épaisseur importante d'algue verte est présente dans le fond de la rivière. Cet important colmatage s'étend jusqu'à l'entrée des gorges.

Néanmoins sur ce tronçon des blocs permettent de créer des caches piscicoles et des figures sédimentaires diversifient le milieu.

Figure 72 Tronçon 8

I. Tronçon 9

Ce tronçon de 2.4 km s'étend jusqu'à l'entrée des gorges, la partie amont présente une importante hauteur de berge. Celle-ci diminue une fois Ville-du-Pont traversée. Les fonds du tronçon sont en partie composés d'affleurements rocheux notamment en amont des gorges. Sur ce tronçon la ripisylve est très peu présente.

Figure 73 Tronçon 9

J. Tronçon 10

Tronçon non visité du fait des importantes hauteurs d'eau et de la difficulté d'accès.

K. Tronçon 11

Tronçon de 3.6km au sein des gorges présentant des zones très profondes alternant avec des plats et radiers. Les fonds sont constitués de matériaux plus fins qu'à l'amont, et de nombreux bancs sont présents témoignant du stock alluvionnaire du secteur. La rivière circule entre des terrasses erodables et le pied de versant droit. Les eaux y sont fraiches de par la présence de résurgences mais aussi grâce à l'ombre apportée par les versants.

Au milieu du tronçon, le barrage de Remonot crée une légère zone de remous.

En allant vers l'aval, de nombreux ilots d'hélophytes apparaissent.

Figure 74 Tronçon 11

L. Tronçon 12

Ce tronçon constitue la partie aval du secteur et débute au droit du coude en aval de Remonot. Plusieurs ouvrages parsèment le cours du tronçon provoquant des zones lentes. Hors secteur d'influence, quelques radiers et plats courants sont présents avec des ilots sédimentaires et d'importante zone d'hélophyte.

La partie à l'extrême aval du tronçon, trop profonde pour être parcourue à pied, présente des berges hautes, raides et instables.

Figure 75 Tronçon 12

6.2.2. Résultats

Le tableau et la carte ci-après récapitulent les scores et classes de la qualité physique et habitationnelle sur les tronçons du Doubs :

	Linéaire (m)	Hétérogénéité	Classe	Attractivité	Classe	Connectivité	Classe	Stabilité	Classe	Qualité physique	Classes
Tronçon 1	263	15	D	53	A	65	A	-19	érosion	4420	B
Tronçon 2	1387	23	D	53	A	69	A	-13	érosion	5244	B
Tronçon 3	2187	16	D	52	A	61	B	7	équilibre	3525,8	B
Tronçon 4	872	14	D	48	A	65	A	-11	érosion	4030	B
Tronçon 5	2518	38	C	50	A	82	A	-5	équilibre	6133,6	B
Tronçon 6											
Tronçon 7	3330	31	C	45	A	64	B	3	équilibre	4134,4	B
Tronçon 8	1055	40	B	26	C	74	A	-1	équilibre	4151,4	B
Tronçon 9	2391	48	B	28	C	61	B	-10	équilibre	3940,6	B
Tronçon 10											
Tronçon 11	3642	52	A	35	B	64	B	6	équilibre	6960	A
Tronçon 12	4180	45	B	42	B	61	B	-17	érosion	5307	B

Pour rappel, le tronçon 6 n'a pas été analysé puisqu'il est constitué de la succession de deux remous et ne présente aucune diversité de faciès. Le tronçon 10, situé à l'entrée du défilé, n'a lui aussi pas été analysé car difficilement accessible et présentant des zones dangereuses et profondes.

6.2.2.1. Hétérogénéité

Au vu des résultats, le facteur le plus discriminant dans l'obtention des scores est l'hétérogénéité. Les notes pour ce critère vont de très bon à médiocre, aussi ce critère est celui présentant le plus de diversité de classes.

La partie amont ressort comme très homogène avec une faible diversité de faciès. En effet, celle-ci est principalement constituée d'une alternance de radier-plat et présente une quasi-absence de systèmes latéraux.

En outre sur le secteur le seul système latéral existant est situé au droit du pont de l'ancien chemin de fer.

Figure 76 Annexe présente sur le tronçon 2 en amont du pont de l'ancien chemin de fer

L'hétérogénéité s'améliore en progressant vers l'aval avec l'apparition d'une diversité de faciès plus importante. Par exemple, d'importantes mouilles sont présentes lorsque la rivière longe le versant en rive droite. Par ailleurs, une fois Arçon traversé des systèmes latéraux apparaissent (bancs, bras secondaires,…).

Figure 77 Bras secondaire sur le Doubs en amont de Maison du Bois

Figure 78 Bras mort connecté au droit des gorges

6.2.2.2. Attractivité

L'attractivité reste une métrique maitresse dans l'obtention des bons scores en présence. Ceci dû en grande partie à la présence importante de caches diversifiées et de qualités. En effet bien que la ripisylve soit peu présente sur l'ensemble du linéaire, celle-ci lorsqu'elle existe est très connective et permet la création de caches.

Figure 79 Saules blancs présentant des branches immergées

Bien que la quantité et la qualité des caches disponibles s'amenuise avec la progression vers l'aval (élargissement du cours d'eau et berges moins connectives), l'attractivité reste très bonne.

Notons par ailleurs que les dernières années, bien qu'inscrites dans un contexte de dérèglement climatique restent hors norme en termes de facteurs de stress hydrique. La situation mesurée en 2019 ne reflètera donc pas forcement des conditions standards du cours d'eau, notamment en matière de colmatage organique/ de dépôt fins (transport sédimentaire modifié) et d'algues. Ce colmatage et l'importante densité algale observés sur sites peuvent en effet masquer les frayères.

6.2.2.3. Connectivité

La **connectivité** est également une métrique grandement contributive du **bon état général**. Les scores restent proches avec en moyenne 66,6 ± 6.7. Le bon état / très bon état est à mettre en lien avec une ripisylve connective et ainsi que peu voire pas d'obstacles (du moins à l'amont). Les notes plus basses à l'aval sont paradoxales. Bien que les systèmes latéraux soient bien plus nombreux que dans la partie plus aval les notes sont plus basses. L'explication à ceci tiens en partie à la disparition de la ripisylve, l'augmentation des hauteurs de berges et la présence de seuils.

Ce constat est clairement visible à l'extrême aval du secteur, au droit duquel les hauteurs de berges sont très importantes.

Figure 80 Berges du Doubs à l'aval du secteur d'étude

6.2.2.4. Stabilité

En ce qui concerne la stabilité, à l'exception de trois tronçons (1, 2, 4 et 12) tout le reste du linéaire est à l'équilibre.

Les tronçons 1 et 2 sont sous l'influence d'une part du seuil à l'amont de la commune d'Arçon mais également profitent du regain lié à l'arrivée du Drugeon (en amont du tronçon1). Le tronçon 4 cour-circuite le seuil d'Arçon. Le tronçon 12 quand à lui, est sous l'influence du seuil de Morteau.

6.2.2.5. Synthèse des résultats

Globalement les tronçons étudiés sont classés en **bon** avec un secteur classé comme très bon.

Pour finir, bien que le bilan de la méthode paraisse positif, il reste cependant une certaine **marge d'action/ de manœuvre**. Par ailleurs, la méthode et plus particulièrement le score de connectivité ne met malheureusement pas en évidence les dysfonctionnements observés lors du diagnostic morphologique notamment l'incision que présente certains secteurs

Enfin, le paramètre le plus discriminant de la méthode est l'hétérogénéité. Cela est donc en cohérence avec l'analyse morphologique effectuée sur la rivière qui met en avant un déficit de systèmes latéraux en lien avec l'enfoncement de la rivière.

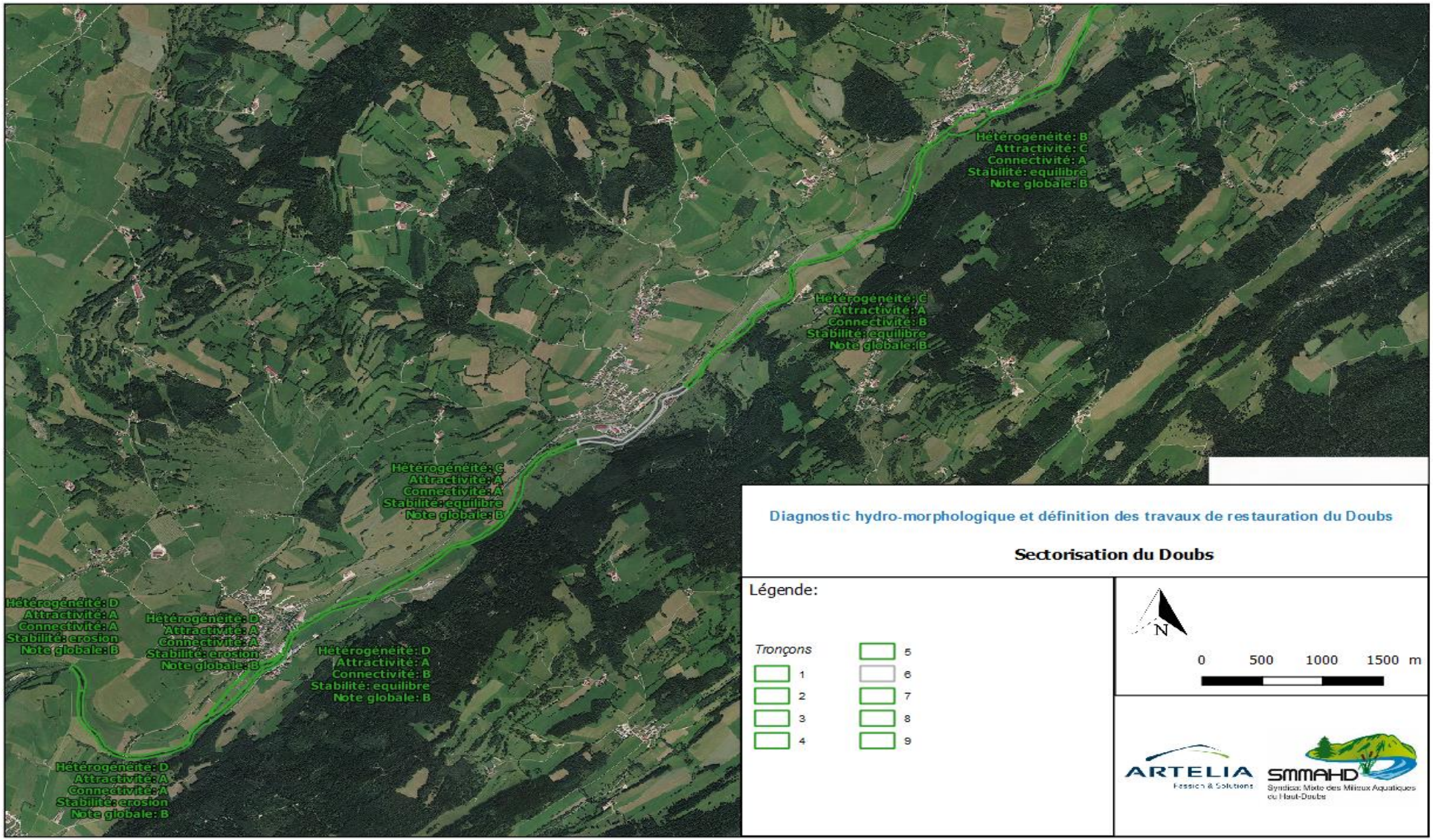


Figure 81 Notes des différents tronçons (1/2)

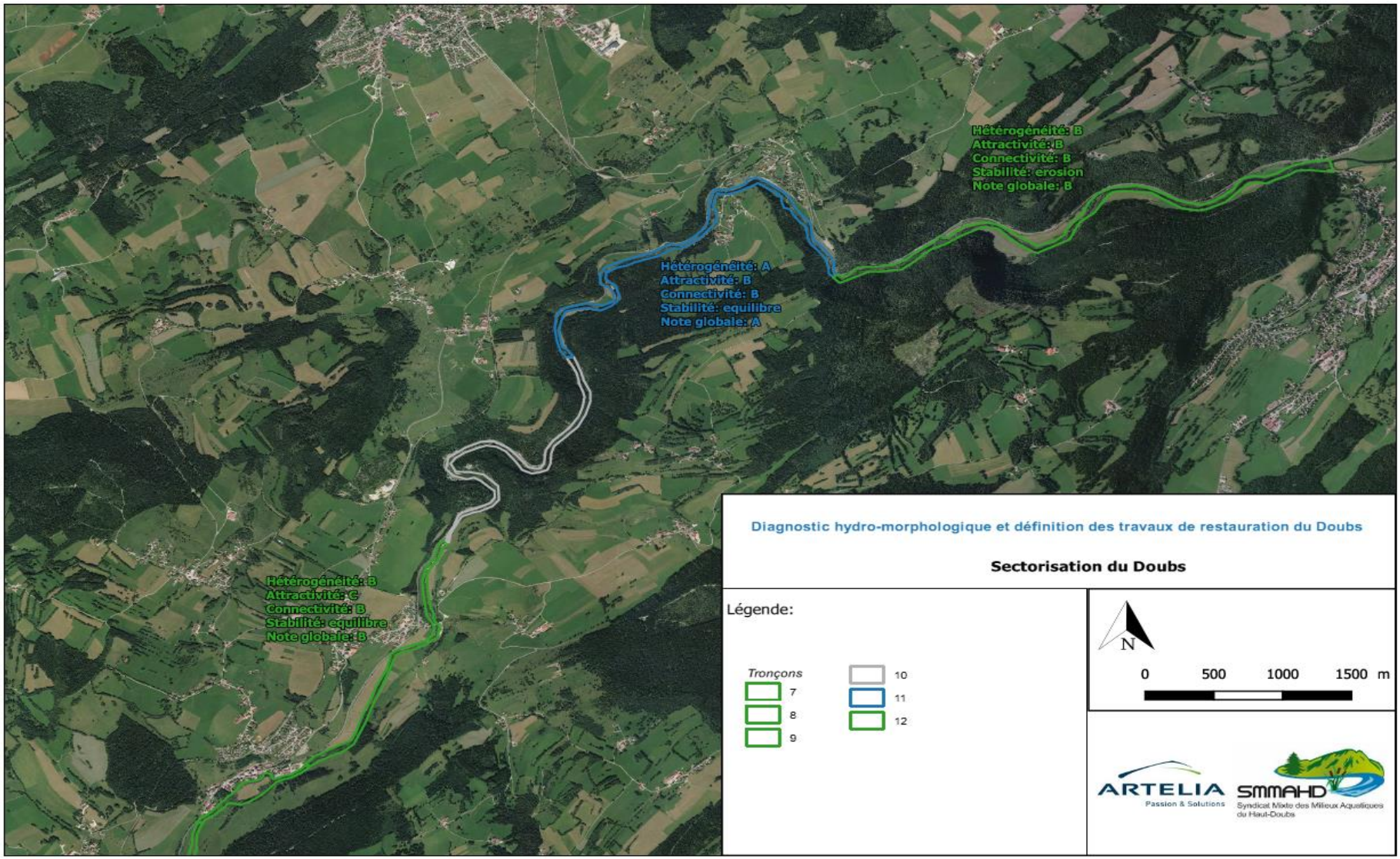


Figure 82 Notes des différents tronçons (2/2)

7. COMPOSANTE HYDRO-ECOLOGIQUE

Les perturbations morphologiques du Doubs énoncées plus haut vont avoir de **nombreuses incidences sur la faune et la flore inféodées au cours d'eau**. Couplées à d'autres facteurs de pression (notamment : polluants chimiques et organiques, agriculture, …), ces perturbations vont avoir des incidences sur :

- Les habitats : disparition d'habitats, perte de diversité et de qualité ;
- La flore aquatique et riveraine : disparition des peuplements : défrichement, …
- La faune aquatique et riveraine : glissement typologique des peuplements, perte de diversité, déclin des populations, …

Cette partie s'attache à décrire les caractéristiques écologiques du Doubs sur la base d'éléments de bibliographie et du diagnostic de terrain.

7.1. QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE

7.1.1. Qualité globale

En 2015/2016, une étude portant sur les impacts de l'agglomération de Pontarlier sur le Doubs a été réalisée. Dans le cadre de cette étude, différentes mesures ont été effectuées. Le tableau ci-dessous présente les résultats des analyses physico-chimiques de la rivière.

Tableau 9: Résultats des mesures des paramètres physico-chimiques effectuées sur le Doubs (Source : rapport stage immersion M2 QuEST 2015/2016)

SEQ eau	N°	Oye et Pallet (Doubs)	Doubs (Doubs)	Amont Step (Doubs)	Aval proche Step (Doubs)	Arçon (Doubs)	Hauterive (Doubs)	Ville du Pont (Doubs)	Grotte du Tresor (Doubs)	Pont-Rouge (Drugeon)
		1	4	5	6	7	8	9	10	2
pH		7,80	7,90	7,83	8,30	7,60	7,50	7,90	7,50	7,64
Conductivité	µS/cm	297,0	292,4	339,0	487,0	298,0	311,0	423,0	318,0	540,0
Turbidité	NTU	54,0	45,3	8,20	0,20	7,60	4,60	7,30	12,10	0,30
Alcalinité TAC	°F	18,00	17,00	19,00	19,00	20,00	18,00	18,00	19,00	25,00
Calcium	mg/L	65,80	63,80	76,00	65,20	65,00	65,70	70,00	74,00	69,20
Magnésium		1,30	2,10	1,00	2,40	1,70	2,50	1,40	1,80	5,30
Dureté		67,10	65,90	77,0	67,60	66,70	68,20	71,4	75,8	74,5
Dureté	°F	17,00	17,00	19,0	17,00	17,00	18,00	18,0	20,0	20,0
Hydrogénocarbonate	mg/L	224,50	205,00	231,80	226,90	248,90	217,20	222,00	236,70	306,20
Chlorure		21,30	28,80	11,70	ND	10,50	17,50	32,00	17,50	31,50
Sulfates		8,70	5,80	9,40	6,60	10,90	7,80	9,20	7,30	6,00
Phosphates		0,08	0,38	0,03	0,05	0,01	0,05	0,08	0,09	0,09
Nitrate	mg/L	4,20	3,10	5,70	2,30	9,30	7,90	6,30	8,10	ND
Ammonium		0,10	0,40	0,50	0,20	0,9	0,50	0,50	0,10	0,20
Azote Kjehldahl		0,65	0,40	1,11	1,58	3,8	2,3	0,88	0,87	ND
Azote total		1,6	1,1	2,4	2,1	5,9	4,1	2,3	2,7	1,0
COT (mg/L)	mg/L	4,10	5,60	4,80	2,60	2,50	5,40	5,60	4,70	3,10
DBO5 (mg O2 /L)	mg O2/L	ND	1,00	0,60	2,20	ND	1,70	ND	0,70	ND
Oxydation Permanganate		ND	ND	3,5	3,8	ND	4,0	ND	3,6	ND
Σ anions	mg/L	4,5	4,3	4,4	8,3	4,8	4,3	4,8	4,7	ND
Σ cations		3,6	ND	4,1	4,7	ND	3,8	3,9	ND	4,9
Balance ionique	%	79,7	ND	93,4	56,5	ND	86,7	80,7	ND	ND

Ces résultats permettent de qualifier la qualité des eaux du secteur mais aussi de caractériser les impacts de la STEP en amont de notre secteur.

Globalement, l'ammonium, les chlorures et la matière organique sont retrouvés en excès dans le biotope. Ces apports peuvent avoir différentes causes :

- La traversée de l'agglomération de Pontarlier, cependant les capacités d'autoépuration du Doubs devraient atténuer ces valeurs en allant vers les stations aval ;
- L'importante activité agricole visant à la production laitière pour la réalisation du Comté et entrainant un amendement et des pratiques intensives.

En complément, des analyses sur les métaux ont été réalisées.

Tableau 10 Concentrations en éléments traces métalliques (Source : rapport stage immersion M2 QuEST 2015/2016)

	Amont lointain	Amont proche	Aval proche	Arçon	*Arçon (5ans)*	Remonot	Drugeon	Limite LDM	Limite LQM
Eléments traces métalliques (µg/L)									
B	57,1	10,3	60,6	13,257	*10*	< LQM	119,7	1,5	5,0
Co	< LDM	< LDM	< LDM	< LDM	*0,05*	< LQM	13,7	0,9	3,0
Cu	< LQM	< LQM	< LQM	7,6	*0,7*	< LQM	7	1,4	6,6
Mn	2,6	< LQM	2,2	< LDM	/	< LDM	< LQM	0,4	1,4
Ni	< LDM	15,6	< LDM	< LDM	*0,5*	< LDM	156	1,3	4,4
P	25,1	29,5	9,9	61,8	*20*	41,6	55,9	2,8	9,4
Sn	< LQM	17,2	< LDM	< LDM	*0,5*	< LDM	< LQM	2,5	8,5
Sr	103,9	84,5	84.9	78,8	/	86,5	47,3	0,1	0,2
Zn	1,3	194,05	1,8	2,6	*1*	2	53,4	0,2	0,7
Eléments majeurs (mg/L)									
Ca	63,1	72,0	95,1	64,5	/	73,2	53,7	7,9	26,4
K	2	2,4	2,7	2,4	/	1,9	3,6	33,3	111,1
Mg	3,4	2,5	4,6	2,5	/	2,6	2,4	13,6	45,4
Na	3,7	4,2	2,1	5,3	/	3,5	9,4	15,3	51,0
S	2,4	2,3	3,3	2,4	/	2,5	3,3	4,6	15,3
Si	1,1	1,0	0,9	1,2	*2,8*	1,1	1,5	9,5	31,8

Les analyses réalisées permettent de révéler la présence d'un nombre significatif d'éléments métalliques. Bien que certains d'eux soient présents naturellement dans le milieu, une partie semble être provoquée par les activités anthropiques de l'agglomération de Pontarlier.

Les quantifications réalisées sont très probablement sous-estimées puisque les matières en suspension n'ont pas était prise en compte. Malgré cela, les résultats décrivent la présence d'éléments (zinc, nickel, etc.) dans des concentrations potentiellement néfastes. Il est donc fortement envisageable que ces éléments soient présents dans des proportions plus importantes.

7.1.2. Impacts de la STEP de Pontarlier

En 2016, A. CHIFFRE a réalisé sa thèse sur l'évaluation de la variabilité temporelle des impacts de rejet des stations d'épuration dans les rivières calcaires. Son étude s'est appuyée sur une analyse détaillée des impacts de la STEP de Pontarlier sur le Doubs et de la STEP d'Ornans sur la Loue.

Globalement l'étude met en évidence un impact de la STEP de Pontarlier sur l'augmentation des concentrations en ammonium. Par ailleurs le volume des apports de la STEP en comparaison aux débits transitant dans la rivière implique une faible dilution des substances rejetées. En ce qui concerne l'ammonium, les flux issus de la STEP peuvent représenter jusqu'à 80% des flux mesurés dans le Doubs.

La qualité de l'eau a aussi été évaluée grâce à l'analyse des Matières En Suspension (MES), une pollution par les HAP et les pyréthrinoides (principalement retrouvé dans les insecticides) a été observée. Ces micropolluants sont très toxiques notamment pour les populations de macros-invertébrés.

Deux substances médicamenteuses ont été par ailleurs retrouvées dans les eaux de la rivière illustrant encore une fois les impacts de la STEP.

L'étude s'attache aussi à étudier les populations de gammares en amont et aval de la STEP, il a été observé une importante augmentation des populations en aval lointain témoignant des impacts de l'agglomération de Pontarlier et de la STEP.

Notons par ailleurs que d'autres facteurs sont impactant sur la qualité physico chimique de la rivière, notamment le débordement fréquent des postes de refoulement sur le secteur d'étude.

7.2. QUALITE HYDROBIOLOGIQUE

Les perturbations des milieux évoquées au sein de ce diagnostic ont des conséquences directes sur la vie aquatique, qui reste le principal indicateur de l'état écologique du cours d'eau. Les paragraphes ci-après présentent les données disponibles en matière de macro-invertébrés et peuplement piscicole.

7.2.1. Macro-invertébrés

La qualité du macrofaune benthique est un autre compartiment biologique indicateur de la qualité des cours d'eau. Cette qualité est notamment qualifiée par l'intermédiaire du calcul de l'indice biologique global normalisé (IBGN) ou du coefficient d'aptitude biogène (Cb2).

Des analyses ont été effectuées en amont et sur notre secteur en 2015/2016. Les résultats sont présentés ci-dessous :

Tableau 11 Notes IBGN, Robustesse et Cb2 pour l'ensemble des stations étudiées (Source : rapport stage immersion M2 QuEST 2015/2016)

	Drugeon - Pont Rouge	Drugeon - Zillon	Doubs - amont DO	Doubs - amont STEP
Variété taxonomique	32	38	31	27
Groupe indicateur	Leptoceridae (4)	Heptageneiidae (5)	Leuctridae (7)	Hydroptilidae (5)
Note IBGN (/20)	12	15	15	12
Groupe indicateur	Polycentropodidae (4)	Leptoceridae (4)	Hydroptilidae (5)	Leptoceridae (4)
Robustesse (/20)	12	14	13	11
Cb2 (/20)	13	15	14	13

	Doubs - aval proche STEP	Doubs - Arçon	Doubs - Hauterive	Doubs - Remonot
Variété taxonomique	33	42	41	34
Groupe indicateur	Polycentropodidae (4)	Lepidostomatidae (6)	Lepidostomatidae (6)	Nemouridae (6)
Note IBGN (/20)	13	17	17	15
Groupe indicateur	Rhyacophilidae (4)	Sericostomatidae (6)	Hydroptilidae (5)	Hydroptilidae (5)
Robustesse (/20)	13	17	16	14
Cb2 (/20)	14	16,5	16	14,5

Il ressort de ces analyses une diminution des espèces polluo-sensibles et une dominance d'espèce saprobiontes. En comparaison aux analyses datant d'une quarantaine d'année, de nombreux taxons sensibles ont aujourd'hui disparus. Cela se traduit par des notes IBGN et Cb2 loin de la valeur de référence de 20/20, qui était habituellement retrouvée sur ce type de biotope.

7.2.2. Peuplement piscicole

7.2.2.1. Niveau typologique

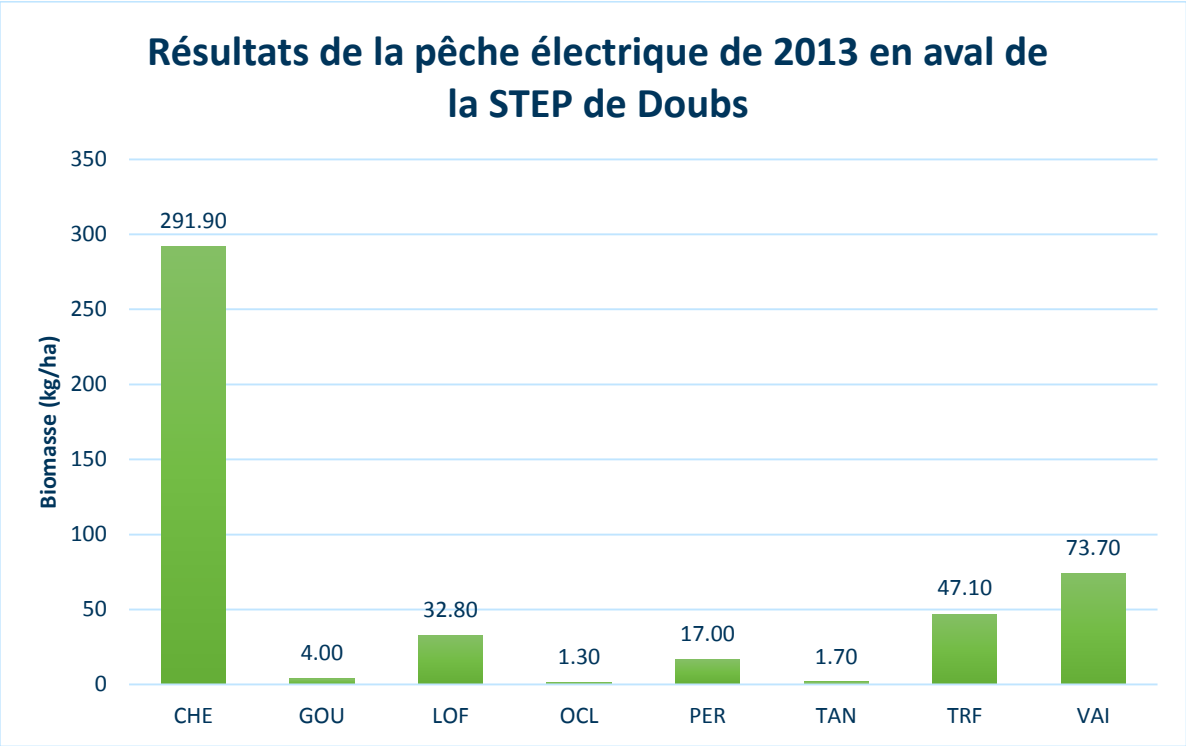
Le niveau typologique théorique d'un secteur correspond à la position du site sur le continuum fluvial théorique établi par Verneaux (1973). Ce niveau se détermine à partir d'une formule mettant en jeu des facteurs thermiques, trophiques ou encore morphodynamiques.

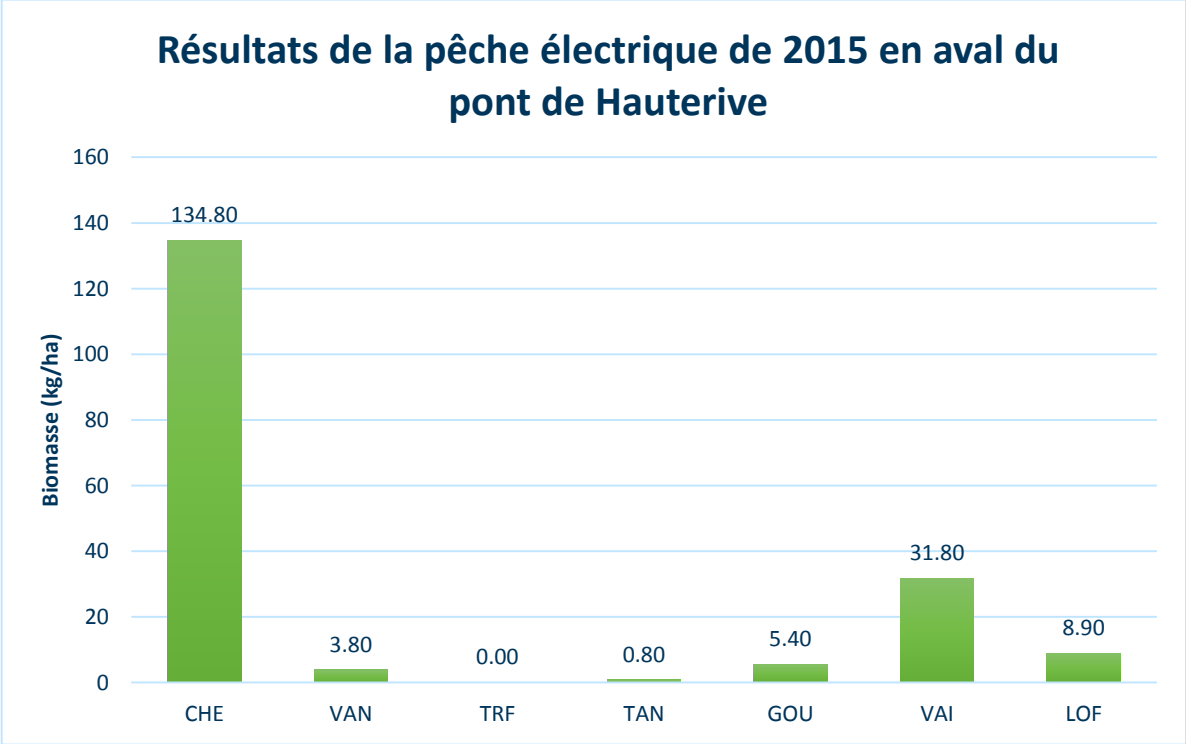
Le niveau typologique théorique du secteur correspond à un niveau B6, B6.5 caractérisant les rivières fraiches et les parties aval des rivières de pré-montagne. Ces cours d'eau possèdent un peuplement type groupement à cyprinidés d'eau vive. Selon cette hypothèse, le peuplement attendu sur le cours d'eau serait notamment composé du Blageon, Toxostome, Barbeau, Chevaine, Brochet, Goujon, Loche Franche, Ombre.

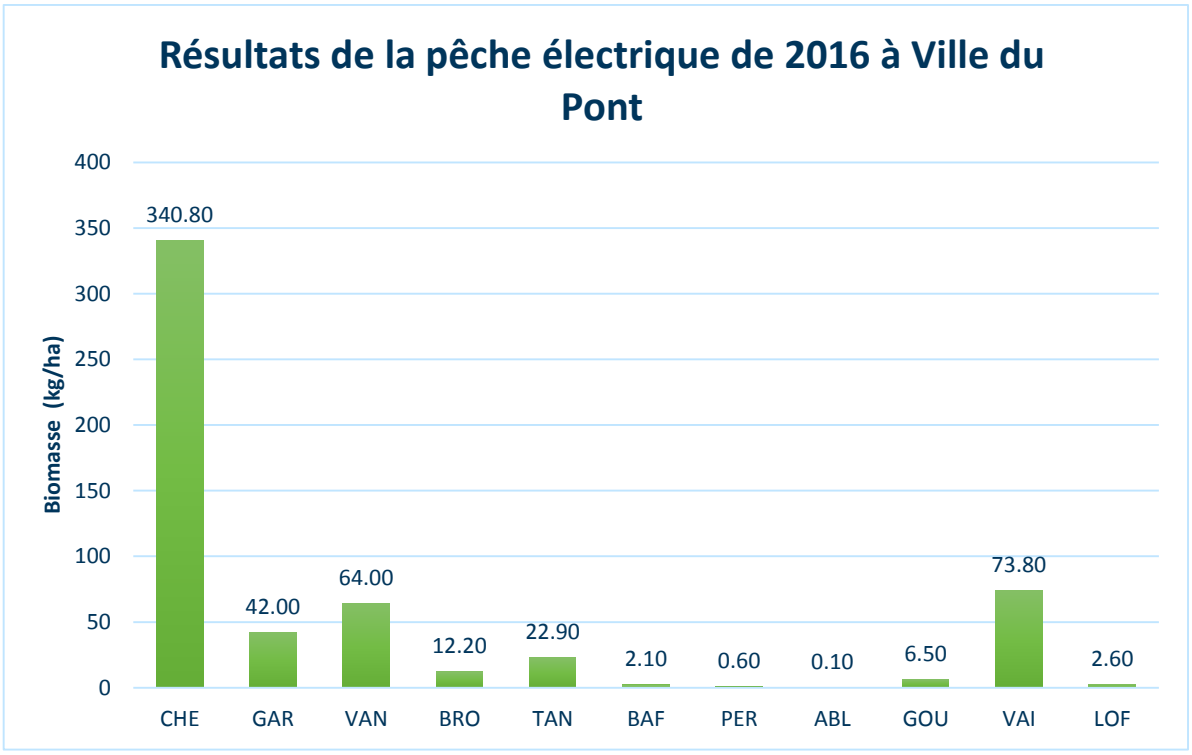
7.2.2.2. Résultats des pêches sur le secteur

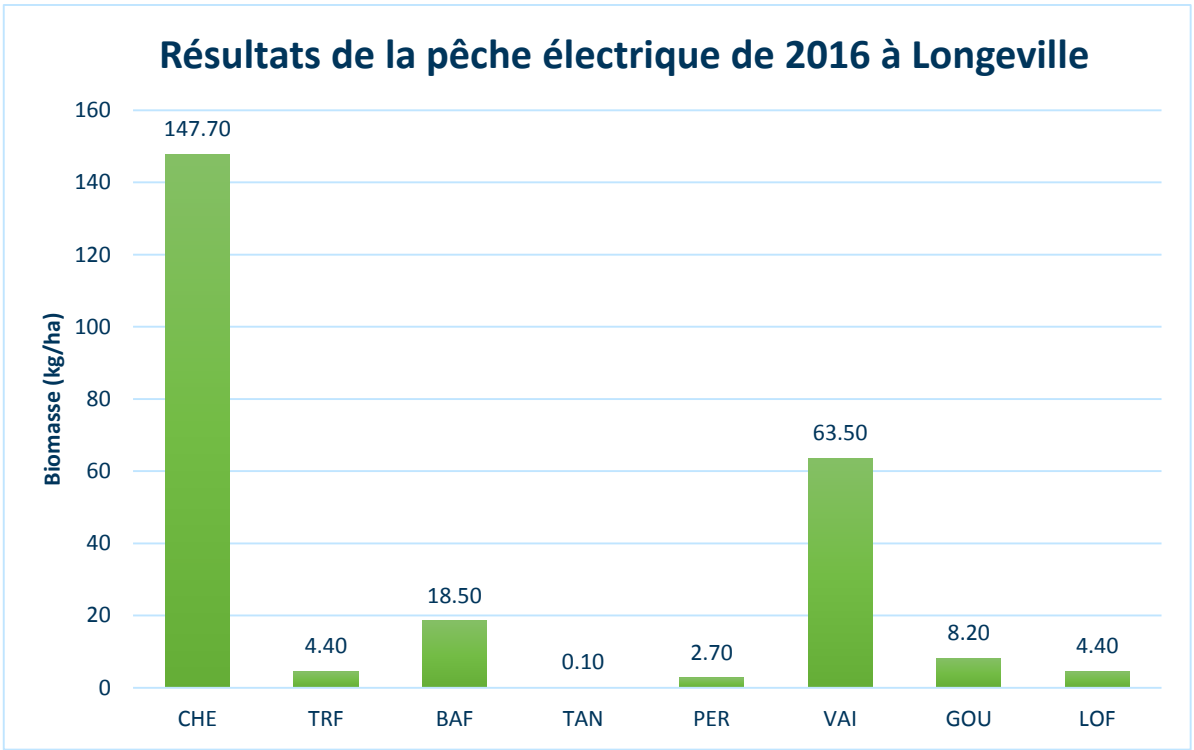
Différentes pêches ont été effectuées sur le secteur par la fédération du Doubs ou, dans le cas de la station d'Arçon, par l'ONEMA.

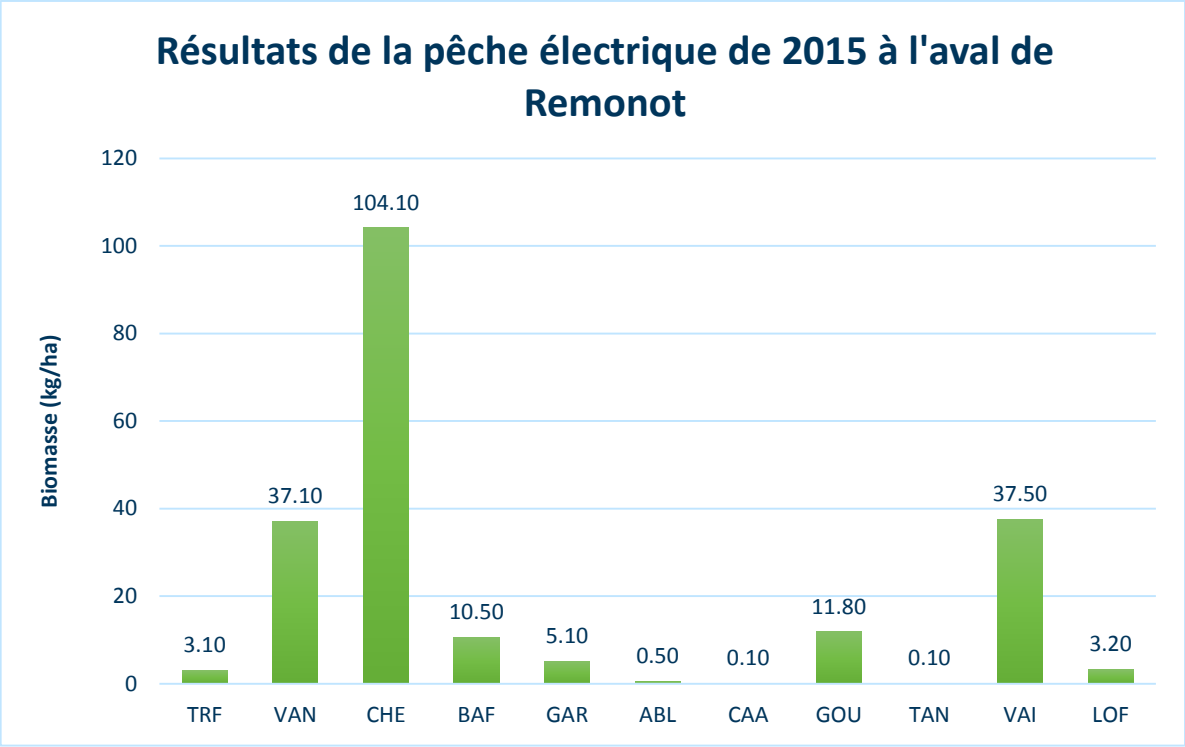
Les résultats sont présentés ci-après :






Résultats de la pêche électrique de 2016 à Ville du Pont
Biomasse (kg/ha)
400
350
300
250
200
150
100
50
0
340.80
42.00
64.00
12.20
22.90
2.10
0.60
0.10
6.50
73.80
2.60
CHE
GAR
VAN
BRO
TAN
BAF
PER
ABL
GOU
VAI
LOF


Résultats de la pêche électrique de 2016 à Longeville
Biomasse (kg/ha)
160
140
120
100
80
60
40
20
0
147.70
4.40
18.50
0.10
2.70
63.50
8.20
4.40
CHE
TRF
BAF
TAN
PER
VAI
GOU
LOF



Sur l'ensemble des pêches, le peuplement piscicole de la rivière apparait bien loin du peuplement théorique observé généralement sur ce type de cours d'eau. Le groupe des cyprinidés rhéophiles est majoritairement représenté par le chevesne, espèce très peu sensible. La vandoise, peu présente à l'amont du secteur, voit sa population augmenter à l'aval reflétant ainsi une amélioration des conditions abiotiques du cours d'eau.

Le vairon est, de même que le chevesne, très présent sur l'ensemble de la zone. Cette abondance peut s'expliquer par l'occupation d'une niche écologique vacante du fait de l'absence ou de la faible présence des cyprinidés classiquement présent sur ce type de milieu (hotu, barbeau, toxostome,…). Son abondance indique néanmoins l'absence majeure de perturbations liées aux ETM.

La loche voit sa population décroitre d'amont en aval en lien avec la probable charge permanente en matière organique présente à l'aval de la STEP de Doubs.

Concernant la truite, l'espèce est rencontrée en très faible proportion sur le linéaire. Ce faible taux s'explique par la thermie excessive du tronçon. De même, malgré la localisation du tronçon en zone à Ombre, aucun ombre n'a été recensé sur les différentes stations du secteur. En effet, l'ombre est un poisson appréciant les eaux fraiches et riches en oxygène.

Notons par ailleurs que le secteur du Haut-Doubs présente la particularité d'être dépourvu de toute population de chabot, également la lamproie de planer et l'apron ne font pas partie des espèces potentiellement présentes.

Globalement, on observe une amélioration des populations rencontrées en allant vers l'aval. Ceci s'explique par une amélioration de la thermie. En effet, le secteur amont est impacté par l'absence de ripisylve et les nombreuses zones soumises à l'influence des barrages. A l'aval, le secteur est plus ombragé dès l'enfoncement dans les gorges et quelques petits affluents froids viennent alimenter le cours d'eau.

Les pêches électriques réalisées témoignent donc d'un peuplement ichtyologique mauvais voir précaire à mettre en lien avec la qualité des eaux, la thermie et la sévérité des étiages du secteur entrainant une mortalité piscicole importante du au réchauffement des eaux.

7.3. MILIEU RIVULAIRE ET VEGETATION DU LIT

La végétation des berges et du lit est une composante essentielle de l'écosystème affilié au cours d'eau :

- Elle participe au **maintien de la qualité des eaux** (ombrage, rôle de filtre, …) ;
- Elle constitue un **habitat** pour les invertébrés, l'avifaune et de petits mammifères (rôle de corridor écologique) ;
- Par l'intermédiaire des **racines**, elle joue aussi un rôle prégnant dans les **habitats du lit mineur** : les racines en elles-mêmes jouent un rôle de refuge pour un certain nombre d'espèces et elles participent à la **diversification des écoulements** (resserrement local du lit, remous, petites zones d'affouillement, …)

7.3.1. Ripisylve

Ce secteur du Doubs se caractérise par une ripisylve arborescente quasi-absente. Sur de rares points du cours d'eau des saulaies ripicoles sont présentes, de même, lorsque la rivière longe le pied de versant en rive droite, elle se retrouve bordée par des forêts mélangées de frênes et d'aulnes, chênes et charmes, hêtres et sapins, érables, tilleuls.

Ce manque de végétation arbustive se traduit par l'apparition locale de zones de sapement des berges déjà fragilisées par le passage du bétail et par une colonisation des berges par une végétation herbacée pauvre et peu diversifiée du fait du contexte agricole. Ce manque de végétation a aussi pour conséquence de réduire fortement les zones ombragées sur le secteur et plus particulièrement la zone allant d'Arçon à Ville-du-Pont. Par ailleurs, lors des étiages sévères comme ceux observés les années précédentes, la ripisylve permet de créer des zones d'abris pour les espèces piscicoles présentes.

Figure 83 Berges du secteur entre Arçon et Maisons-du-Bois

7.3.2. Espèces invasives

Lors de la visite du site de nombreux foyers de plantes invasives ont été observés. Sur la base de ces observations et du rapport de 2016 étudiant la végétation inféodées au Doubs sur notre secteur il apparait que les espèces suivantes sont présentes sur le linéaire :

- La Renouée du Japon (*Reynoutria japonica) ;*
- La Balsamine de l'Himalaya (*Impatiens glandulifera) ;*
- La Berce du Caucase (*Heracleum mantegazzanum*) ;
- Le Cotonéaster horizontal (*Cotoneaster horizontalis*).

Les secteurs les plus impactés sont principalement situés au niveau des traversées urbaines. La partie aval de Montbenoit est particulièrement touchée en lien avec un dépôt de matériaux contaminés à proximité du lit de la rivière.

7.3.3. Végétation du lit

Au sein du lit sont observés de nombreuses plantes semis aquatiques principalement du type jonc des chaisiers. Ces formations localisées ont de nombreux avantages :

- Ils protègent les pieds de berges ;
- Ils jouent un rôle écologique d'abri, de nourriture et de support pour la reproduction des poissons ;
- Ils permettent l'épuration des eaux par assimilation minérale.

Figure 84 Ilot de joncs sur le secteur

Enfin, en période de basses eaux, le secteur d'étude est soumis à une importante prolifération algale. En effet, tous les facteurs favorisant la prolifération sont réunis sur le secteur : vitesse de courant et lame d'eau faible, absence d'ombrage, contexte agricole et températures de l'eau importantes. A partir du moment où le développement devient excessif, les algues jouent un rôle très négatif pour le cours d'eau :

- Occupation de l'espace vital des poissons et des macro-invertébrés ;
- Assombrissement du milieu ;
- Gène pour la photosynthèse ;
- Envasement du cours d'eau par accumulation de la biomasse ;
- Faible diversité du milieu ;
- Dégradation de la qualité de l'eau ;
- Diminution de la vitesse d'écoulement des eaux ;
- Libération de substances toxiques ;
- Apparition d'ammoniac gazeux en phase diurne de photosynthèse maximum.

Figure 85 Zone colonisées par la végétation algale au droit de Montbenoit

Le rapport de SOGREAH datant de 2001 fait état de témoignages de pêcheurs concernant une importante mortalité piscicole nocturne en période chaude. Ce constat est une conséquence de l'importante consommation en oxygène des algues durant la nuit.

Lors de la phase de terrain réalisée en juillet 2019, cette prolifération a bien été visible, celle-ci est particulièrement importante entre l'amont de Montbenoît et l'aval de Ville-du-Pont en amont de l'entrée des gorges. Sur certains tronçons l'envahissement est tel que la vitesse observée dans le chenal apparaît comme quasi nulle.

7.4. ESPACES NATURELS PATRIMONIAUX

7.4.1. Les ZNIEFF

Les **ZNIEFF (Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique)** correspondent à un inventaire lancé à l'initiative du Ministère chargé de l'Environnement en 1982, avec l'appui du Museum National d'Histoire Naturelle de Paris (MNHN). Il a pour objectif de recenser les zones importantes de patrimoine naturel national, régional ou local. Rappelons ici la distinction entre les deux types de ZNIEFF existants :

- ZNIEFF de type I : elles correspondent à des petits secteurs d'intérêt biologique définissent des secteurs à haute valeur patrimoniale et abritent au moins une espèce ou un habitat remarquable, rare ou protégé, justifiant d'une valeur patrimoniale plus élevée que le milieu environnant.

- ZNIEFF de type II : de superficie plus importante, elles correspondent aux grands ensembles écologiques ou paysagers et expriment une cohérence fonctionnelle globale. Elles se distinguent de la moyenne du territoire régional par leur contenu patrimonial plus riche et leur degré d'artificialisation moindre. Ces zones peuvent inclure des ZNIEFF de type I.

L'inscription d'une surface en ZNIEFF ne constitue pas en soi une protection règlementaire mais l'état s'est engagé à ce que tous les services publics prêtent une attention particulière au devenir de ces milieux. Il s'agit d'un outil d'évaluation de la valeur patrimoniale des sites servant de base à la protection des richesses.

7.4.2. Arrêté de protection de biotope

Un arrêté de protection du biotope (APB) est un arrêté fixé par un préfet visant à protéger un habitat naturel, ou biotope, abritant une ou plusieurs espèces animales et /ou végétales protégées. Celui-ci est délimité à partir d'inventaires naturalistes.

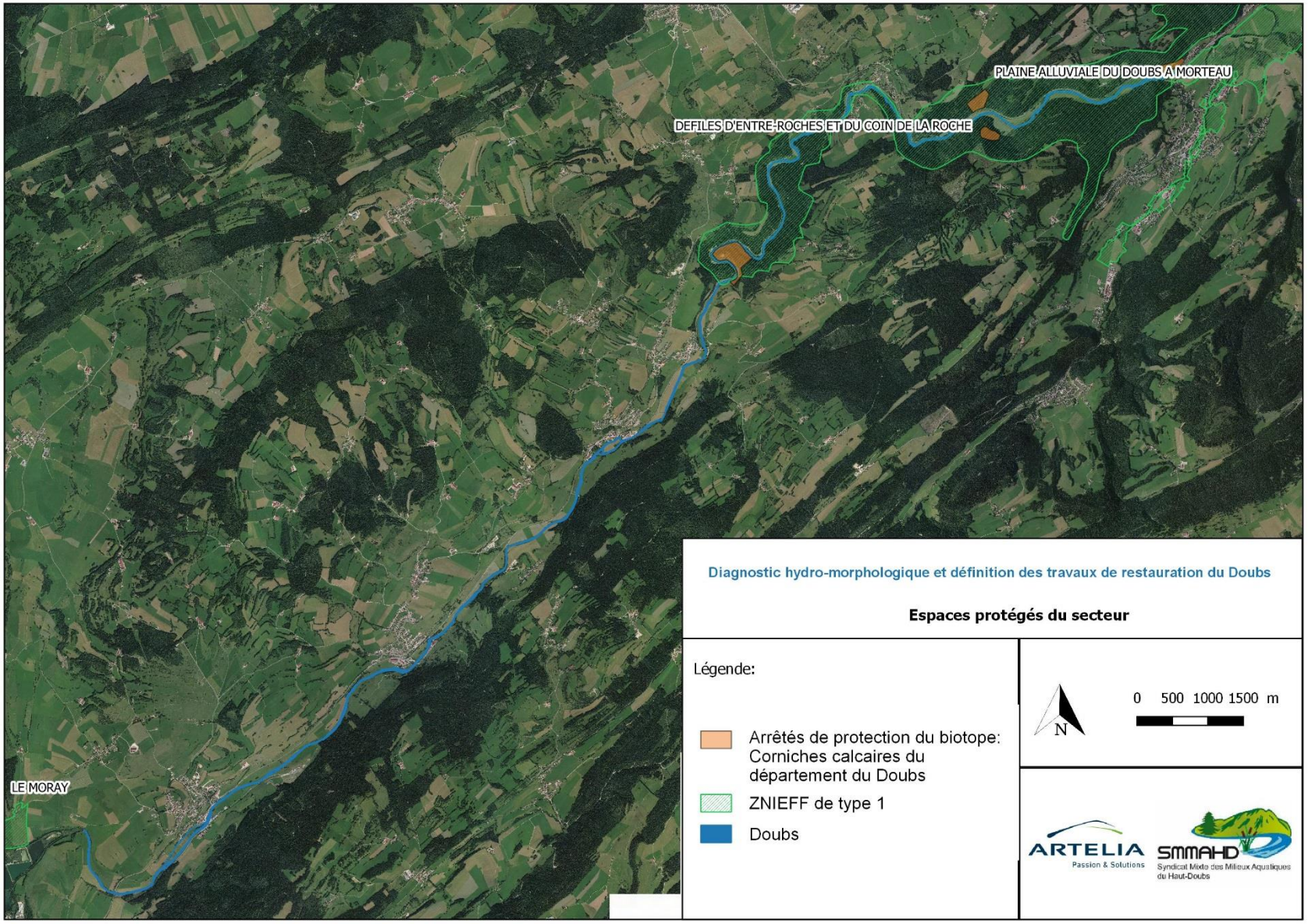
Les APB sont donc des zones protégées à caractère réglementaire. La réglementation instituée par l'arrêté consiste essentiellement en interdictions d'actions ou d'activités pouvant nuire à l'objectif de conservation du ou des biotopes. En plus des interdictions visées, l'arrêté peut également prévoir des mesures visant à améliorer le biotope, par exemple en imposant aux propriétaires de négocier en fin de bail le retour en prairies de terrains labourés.

Les arrêtés de protection de biotope n'ont pas vocation à avoir une durée illimitée, mais doivent être limités dans le temps en fonction de la durée nécessaire au rétablissement de la ou des espèces concernées. Le cas échéant, des arrêtés modificatifs peuvent être pris pour adapter l'arrêté de protection de biotope à la modification des circonstances (apparition de nouvelles menaces, évolution de l'intérêt biologique).

7.4.3. Zones protégées ou d'intérêt au droit de notre secteur d'étude

Les seules zones protégées ou écologiquement intéressantes présentent aux alentours du secteur d'étude sont les suivantes :

- Le Moray (430020470), ZNIEFF de type I située en amont de la confluence avec le Drugeon ;
- Les défilés d'Entre-Roches et du coin de la Roche (430007824), ZNIEFF de type I débutant à l'amont du défilé ;
- La plaine alluviale du Doubs à Morteau (430007823), ZNIEFF de type I à l'aval du secteur d'étude ;
- Les corniches calcaires du département du Doubs (FR3800749), arrêté de protection du biotope avec quelques zones protégées au sein des gorges.


PLAINE ALLUVIALE DU DOUBS A MORTEAU
DEFILES D'ENTRE-ROCHES ET DU COIN DE LA ROCHE
LE MORAY
Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs
Espaces protégés du secteur
Légende:
Arrêtés de protection du biotope: Corniches calcaires du département du Doubs
ZNIEFF de type 1
Doubs
N
0 500 1000 1500 m
ARTELIA
Passion & Solutions
SMMAHD
Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques du Haut-Doubs

7.4.3.1. Le Moray (430020470)

Cet espace est situé au sein de la vallée du Drugeon et est constitué de vastes zones humides ave notamment des tourbières. Au nord de Pontarlier, de part et d'autre de la route N5, la zone du Moray correspond à ce qui subsiste d'un vaste marais en rive gauche du Drugeon. La superficie de cette dernière zone humide avant la confluence avec le Doubs a beaucoup régressé suite à des extractions de matériaux alluvionnaires.

Cet ensemble réunit une grande variété de formations végétales contrastées disposées en mosaïque, ce qui rehausse son intérêt écologique : du fait de la topographie hétérogène, des zones humides et tourbeuses sont étroitement juxtaposées à des formations plus sèches.

Le marais renferme des groupements tourbeux à différents stades d'évolution : bas-marais alcalins et acides, marais de transition et tourbières boisées. Des prairies humides à trolle d'Europe et des mégaphorbiaies (formations humides de hautes herbes) s'étendent en périphérie, ainsi que quelques lambeaux de saulaies riveraines. Les conditions contraignantes de ces milieux entraînent la sélection d'un cortège floristique original, riche en éléments rares et menacés, dont plusieurs sont protégés en France ou dans la région : la laîche en touffe, qui présente une belle population au niveau du Pont Rouge, la polémoine bleue, qui anime les mégaphorbiaies de sa floraison abondante et colorée ainsi que le rumex aquatique.

En outre, des pelouses mésophiles (assez sèches) à gentiane printanière et brome dressé viennent compléter l'ensemble. Cette association caractérise les pâturages d'altitude extensifs jurassiens. La richesse floristique y est généralement très élevée, à la fois en termes de diversité et d'abondance de plantes rares et menacées. C'est le cas de cette pelouse, où l'on note la présence d'une petite population d'une espèce protégée dans la région.

7.4.3.2. Les défilés d'Entre-Roches et du coin de la Roche (430007824)

Au droit des gorges, le caractère atypique du site confère au secteur une importante diversité d'habitats. L'intérêt de ce site réside dans l'agencement des habitats naturels, mais également dans la présence de plusieurs espèces à fort potentiel patrimonial.

Sur le plateau, deux communautés forestières peuvent être distinguées : les hêtraies à Orge des bois (Hordelymo europae - Fagetum sylvaticae) sur les sols les plus profonds et les pessières à Asplenium (Asplenio viride - Piceetum abietis) sur les substrats plus superficiels.

Sur les corniches les mieux exposées se développent des pelouses xérophiles montagnardes (Sedo acris - Poetum alpinae) où l'on retrouve Allium schoenoprasum, une espèce remarquable en Franche-Comté. La paroi proprement dite est colonisée par une végétation saxicole (Kernero saxatilis - Seslerietum caeruleae).

Le fond de la vallée du Doubs est constitué d'un ensemble de prairies (Trollio europaei - Cirsietum rivularis) et de pâturages (Gentiano luteae - Cynosuretum cristati) typiques de l'étage montagnard du massif jurassien. La présence d'une importante population de Fritillaria meleagris, espèce protégée en Franche-Comté, accroit leur intérêt patrimonial. Ces habitats sont très menacés par l'intensification des pratiques agricoles qui entrainent leur évolution vers des communautés eutrophiles présentant un intérêt floristique nettement moindre.

Les fossés et annexes hydrauliques qui entrecoupent ces herbages sont favorables au développement de plusieurs habitats palustres dont le plus remarquable est la cariçaie dominée par Carex cespitosa, taxon rare et protégé au niveau régional.

Ce site est le lieu d'une faune diversifié avec la présence de nombreux oiseaux protégés (faucon pèlerin) mais aussi des amphibiens (triton alpestre), reptiles (orvet fragile), insectes (apollon parnassien) et mammifères (lynx boréal, chamois).

Figure 86 Chamois observés au sein de la ZNIEFF lors d'une visite de site

7.4.3.3. La plaine alluviale du Doubs à Morteau (430007823)

Du débouché du Défilé d'Entreroche jusqu'en amont du lac de Chaillexon, la plaine alluviale du Doubs à Morteau englobe un tronçon du Doubs d'environ 15 kilomètres, ainsi que deux de ses affluents (une portion du cours du Théverot et la Tanche).

Dans sa partie la plus large (jusqu'à 1 kilomètre), la plaine correspond au paléo-lac de Morteau, né il y a environ 12000 ans, suite à l'éboulement des versants au niveau du Saut du Doubs. Ce lac s'est progressivement comblé au fil des millénaires avec l'apport de sédiments par la rivière. Il en subsiste un aperçu lorsque les crues hivernales entraînent l'inondation du val. Le Doubs y décrit des boucles irrégulières. Des dépressions humides marquent l'existence d'anciens méandres, notamment au lieu-dit les Seignes.

Cette configuration géomorphologique est à l'origine de l'implantation de formations herbacées diversifiées. Les prairies humides, majoritaires sur le site, sont surtout exploitées par fauche intensive. La gamme des habitats comprend aussi des prés humides pâturés montagnards à cirse des marais et jonc diffus (communautés acidiclines peu enrichies sur sol tourbeux à paratourbeux), et encore des roselières à prêle, des formations de grandes laîches, des prairies de transition à hautes herbes et des mégaphorbiaies. Ces dernières dérivent des prairies en l'absence d'entretien (secteurs en déprise). La zone est parcourue par un réseau de fossés largement eutrophisés. Sur des terrains topographiquement plus élevés, on retrouve des prés montagnards mésophiles fauchés ou pâturés.

Les formations boisées restent minoritaires. Des galeries d'aulnes blanchâtres soulignent les bords de ces rivières à cours rapide. Ces boisements alluviaux submontagnards, subissant des crues perturbatrices, restent très localisés et méconnus dans la région.

La valeur botanique de cet ensemble alluvial est remarquable. On recense des plantes typiques, adaptées aux inondations périodiques, dont quatre taxons protégés en France ou dans la région (œillet superbe, polémoine bleue, laîche en touffe et fritillaire pintade), ainsi qu'une mousse vulnérable en Europe (Hamatocaulis vernicosus).

Ce vaste secteur ouvert constitue un lieu d'accueil privilégié pour une avifaune rare et en régression : le tarier des prés et le râle des genêts (particulièrement menacé) sont présents en période de nidification. La bécassine des marais, toutefois, n'y a pas été revue récemment. Les prairies humides à hautes herbes hébergent le cuivré des marais, papillon de jour protégé en France.

Enfin, sur le plan piscicole, les cours d'eau relèvent de la zone à truite et certains secteurs longuement inondables constituent des frayères à brochet.

7.4.3.4. Les corniches calcaires du département du Doubs (FR3800749)

L'arrêté préfectoral réglementant ces zones a été approuvé en 2010. Il concerne 94 sites rocheux sur 103 territoires communaux pour une superficie totale de 1814.21 hectares.

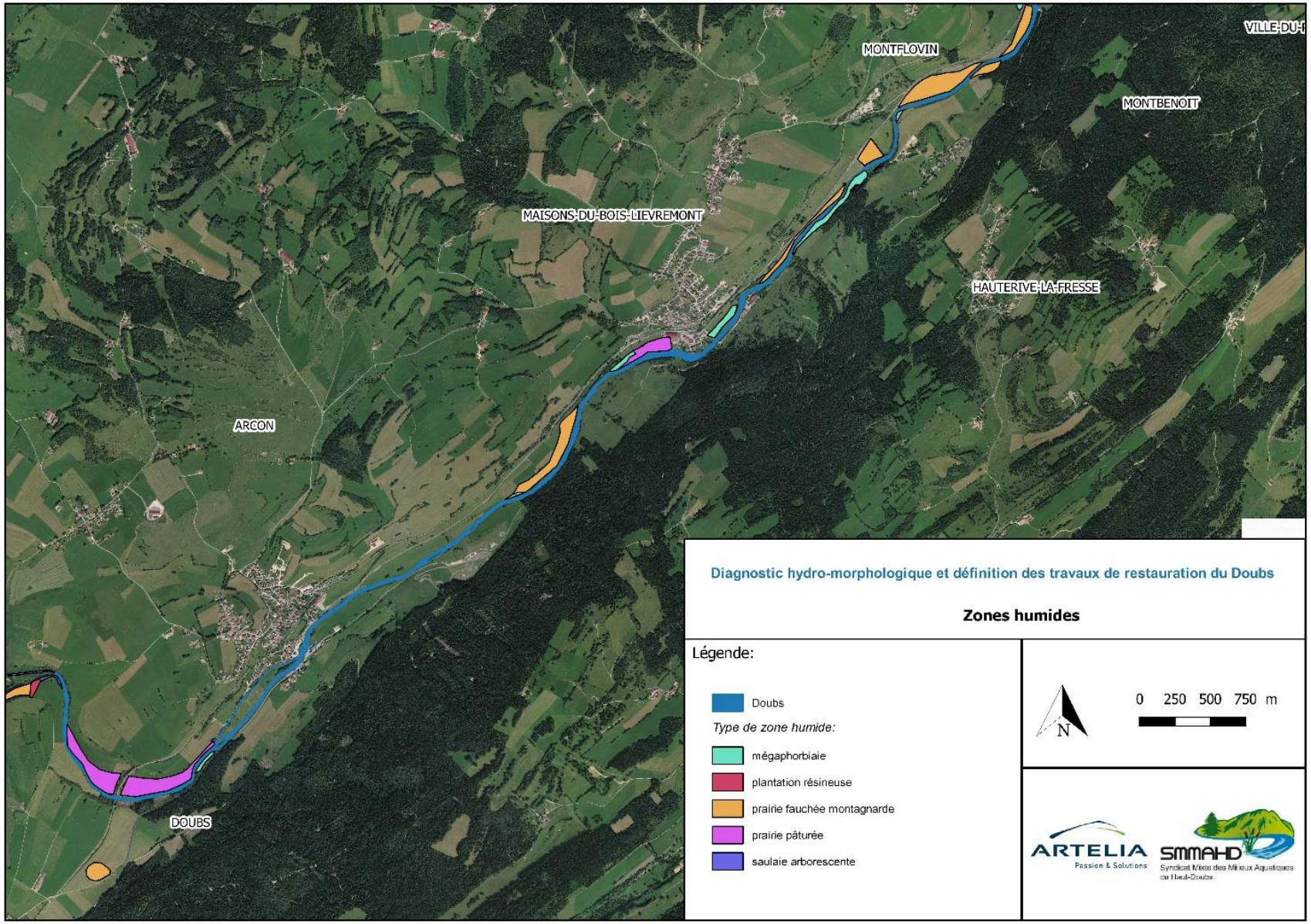
Cette zone de protection biotope a été instaurée afin de garantir l'équilibre biologique des milieux et la conservation des biotopes nécessaires à la reproduction, l'alimentation, au repos et la survie des espèces protégées suivantes :

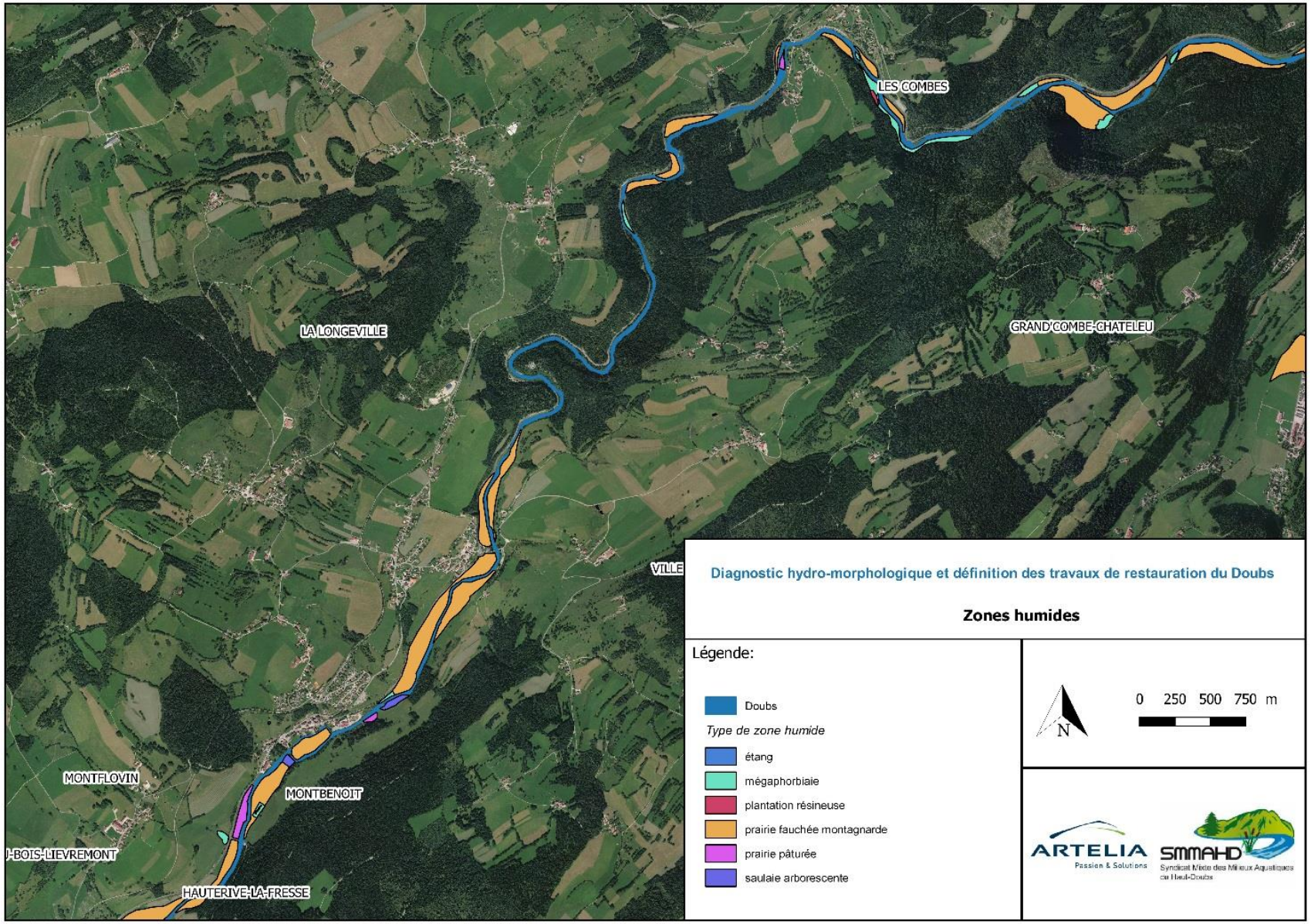
- Le Faucon pèlerin ;
- Le Grand-Duc d'Europe ;
- Le Harle bièvre ;
- Le Grand corbeau ;
- Le Faucon crécerelle ;
- Le Choucas des tours ;
- Le Martinet à ventre blanc ;
- L'Hirondelle de rochers ;
- L'Hirondelle de fenêtre ;
- Le Tichodrome échelette.

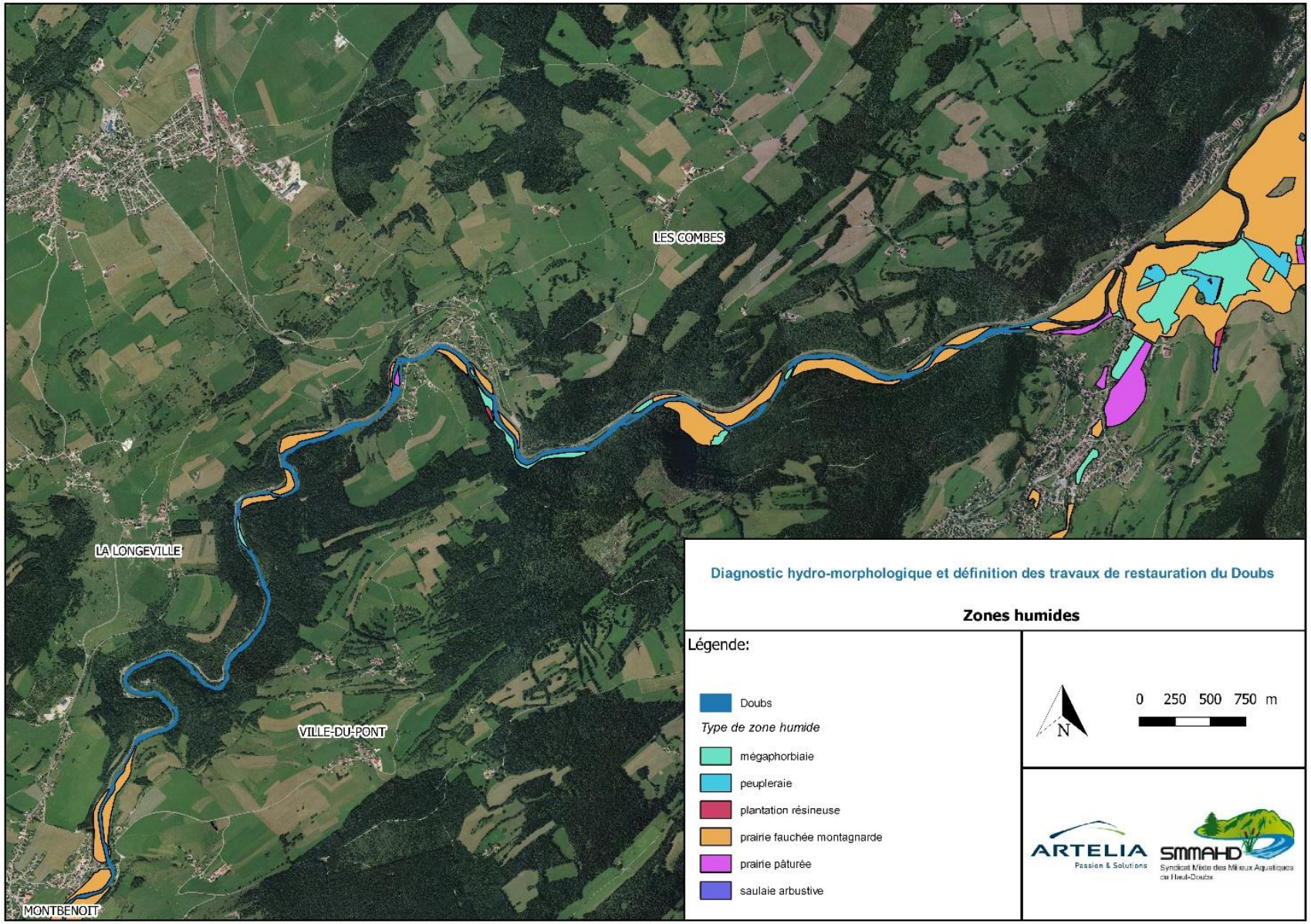
Dans l'ensemble de ces zones, les travaux publics ou privés susceptibles de porter atteinte à l'intégrité des biotopes des espèces mentionnées précédemment sont interdites. En outre, certaines activits (escalade, travaux forestier utilisant des moteur thermique,…) sont totalement interdites durant la période du 15 février au 15 juin.

7.4.4. Zones humides

Le linéaire à l'étude est bordé par différents milieux humides inféodés au cours d'eau. Ceux-ci sont cartographiés ci-dessous.


MONTFLOVIN
MONTBENOÎT
MAISONS-DU-BOIS-LIEVREMONT
HAUTERIVE-LA-FRESSE
ARCON
DOUBS
Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs
Zones humides
Légende:
Doubs
Type de zone humide:
mégaphorbiaie
plantation résineuse
prairie fauchée montagnarde
prairie pâturée
saulaie arborescente
N
0 250 500 750 m
ARTELIA
Passion & Solutions
SMMAHD


LES COMBES
LA LONGEVILLE
GRAND'COMBE-CHATELEU
VILLE
MONTFLOVIN
MONTBENOIT
J-BOIS-LIEVREMONT
HAUTERIVE-LA-FRESSE
Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs
Zones humides
Légende:
Doubs
Type de zone humide
étang
mégaphorbiaie
plantation résineuse
prairie fauchée montagnarde
prairie pâturée
saulaie arborescente
N
0 250 500 750 m
ARTELIA
Passion & Solutions
SMMAHD


LES COMBES
LA LONGEVILLE
VILLE-DU-PONT
MONTBENOIT
Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs
Zones humides
Légende:
Doubs
Type de zone humide
mégaphorbiaie
peupleraie
plantation résineuse
prairie fauchée montagnarde
prairie pâturée
saulaie arbustive
N
0 250 500 750 m
ARTELIA
Passion & Solutions
SMMAHD
Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques du Haut-Doubs

Notons par ailleurs que différents drains ont été identifiés sur le secteur d'étude. Le secteur en amont de Ville-du-Pont présente en effet une densité importante de fossés. Ce secteur est considéré comme une prairie fauchée montagnarde et constitue donc une zone humide.

Figure 87: Drains localisés en amont de Ville-du-Pont

Ces drains induisent donc une altération des zones humides en place. En effet, ils provoquent un abaissement du plafond de la nappe superficielle et une exportation hors du site de l'eau excédentaire. Si les zones humides limitent les effets des inondations, elles ont aussi un rôle primordial en période de sécheresse. Sur le secteur à l'étude, tenant compte de la sévérité des étiages leur bon état est donc déterminant. Ces zones jouent en effet un rôle d'éponge : en cas de pluies elles stockent les eaux et les libère en période de sécheresse.

Egalement, en secteur agricole, ce qui est ici pleinement le cas, le réseau de drainage évacue directement dans la rivière des quantités importantes de nitrates et de phosphates altérant ainsi la qualité des eaux.

Enfin, une étude portée par le SMHDHL devrait être lancé en 2020 portant sur les zones humides du secteur.

8. ANALYSE DES PERTES DU SECTEUR

Le secteur du Doubs à l'étude situé entre Pontarlier et la sortie du défilé d'Entreroche est marqué par des zones de pertes importantes, conduisant à des assecs fréquents de la rivière pendant des périodes et sur des linéaires plus ou moins importants. Depuis plus d'un siècle, ce secteur a fait l'objet de nombreuses études, et la somme des données acquises est considérable, même si certains points restent à préciser.

L'objet de cette partie est de faire un résumé des principaux éléments disponibles, en mettant en évidence ceux qui ont le plus d'importance dans la problématique de la restauration hydro-morphologique de la rivière et qui peuvent influer sur les travaux à réaliser ou la manière de les réaliser.

8.1. CONTEXTE GEOLOGIQUE

Le secteur de Pontarlier se situe dans la haute chaîne plissée du Jura, qui s'étend sur une longueur de 350 km et une largeur de 20 à 30 km. Elle est composée d'une succession de plis et de chevauchements, orientés selon un axe d'orientation globale NE-SW. Au niveau de la ville de Pontarlier, on note la présence d'un accident décrochant majeur d'orientation NordSud, qui peut se suivre sur 70 km de long, du plateau de Valdahon à la rive du lac Léman. De part et d'autre de ce décrochement, les terrains sont décalés de près de 9 km, le compartiment Est étant déplacé vers le Nord par rapport au compartiment Ouest

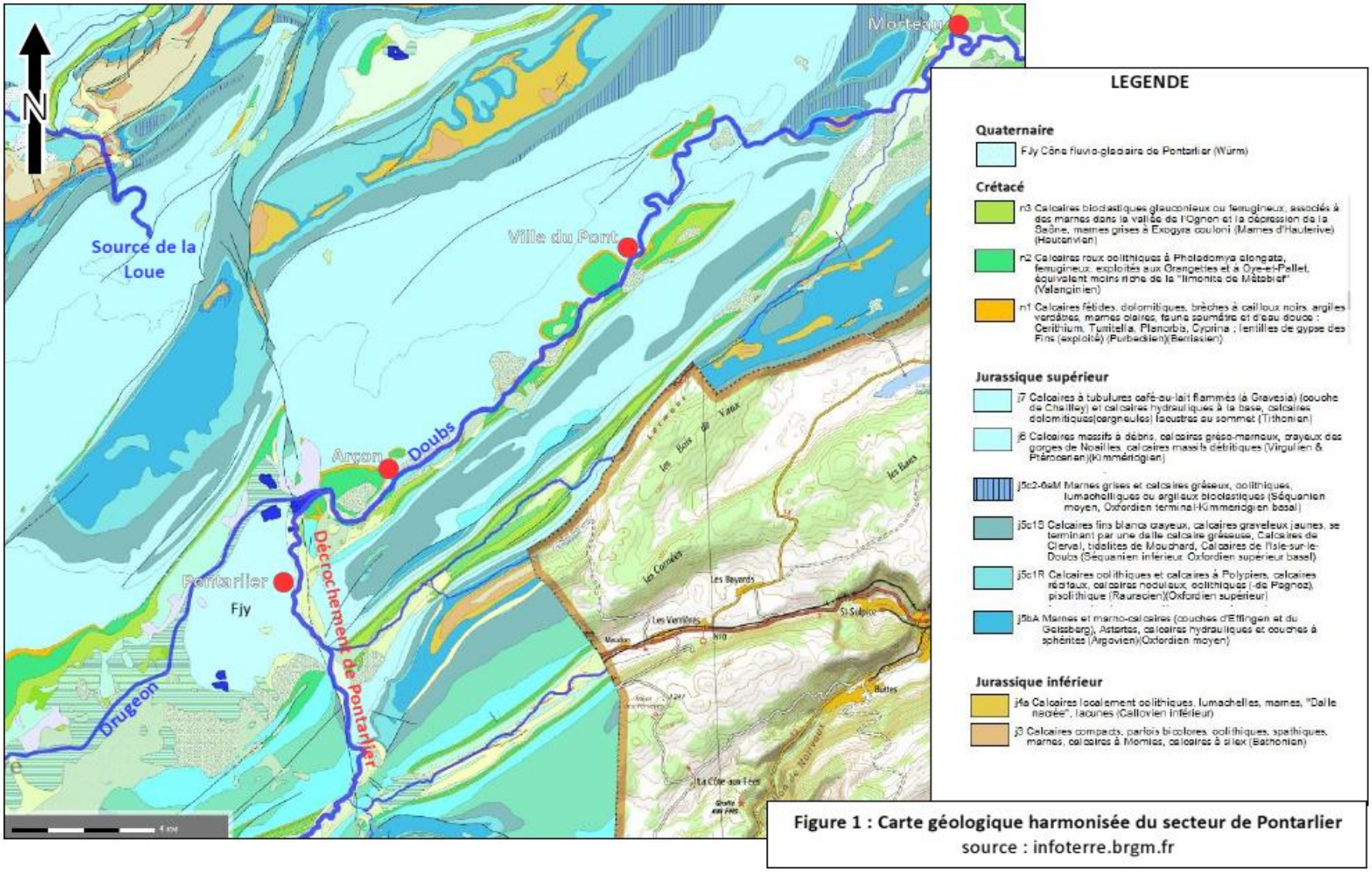


Figure 1 : Carte géologique harmonisée du secteur de Pontarlier
source : infoterre.brgm.fr

L'âge des terrains affleurant s'étend essentiellement du Jurassique moyen au Crétacé, avec présence dans les dépressions de terrains tertiaires et quaternaires (lambeaux de molasses du Miocène, dépôts fluvio-glaciaires, alluvions). La coupe géologique de la figure suivante montre la structure des terrains de la haute chaîne au voisinage de Pontarlier. Le cœur des massifs est constitué de terrains du Jurassique (calcaires et calcaires marneux). Le Crétacé occupe le fond des structures synclinales (« gouttières »). Les montagnes comme celle du Larmont ou du Mont Séverin correspondent souvent à des structures anticlinales (« voûtes »).

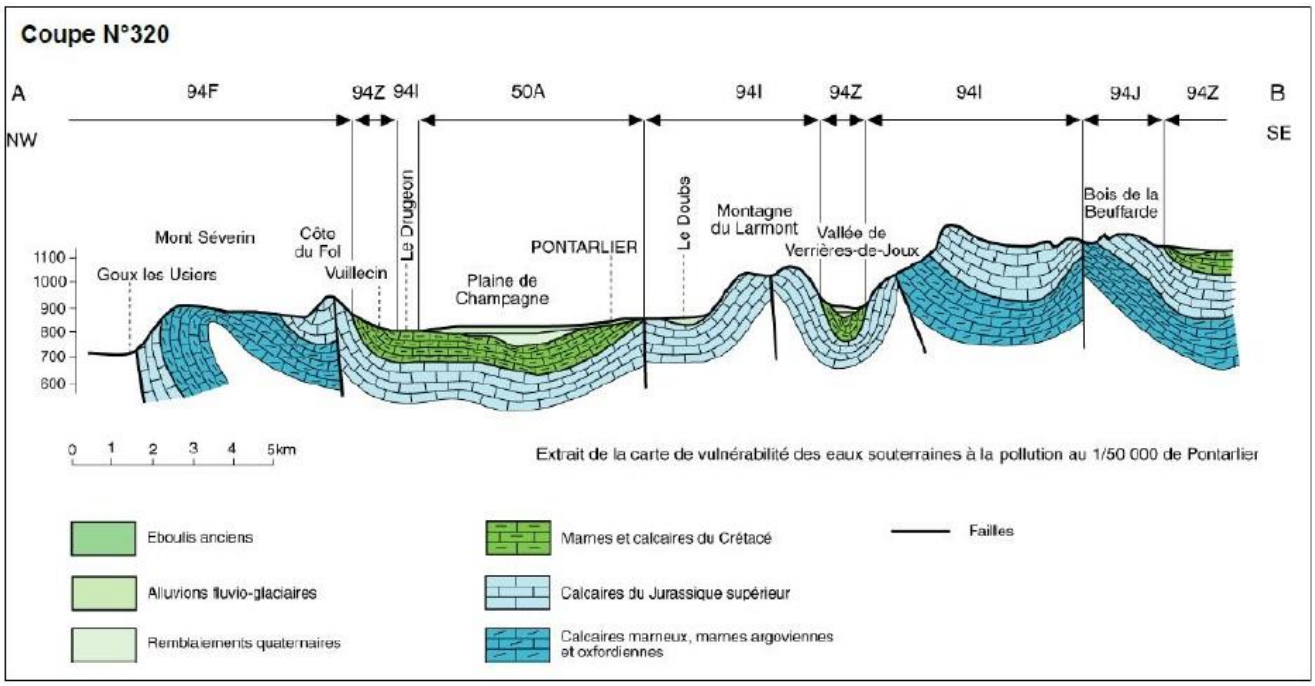


Figure 88 Coupe géologique de la haute chaîne au voisinage de Pontarlier

Si l'on suit le cours du Doubs depuis la sortie du lac de St Point jusqu'à Morteau, la rivière coule sur les terrains suivants:

- Du lac de St Point au château de Joux, le Doubs s'écoule sur les terrains marnocalcaires du crétacé, recouverts de terrains fluvio-glaciaires (marnes, sables et graviers) ;
- Du château de Joux à la confluence du Drugeon, le Doubs longe le décrochement de Pontarlier auquel il se sur-imprime et s'écoule en bordure Est du cône fluvio-glaciaire de Pontarlier ;
- De la confluence du Drugeon à Arçon, on retrouve les terrains du Crétacé ;
- D'Arçon à la Corchère, à l'aval de Rémonot, la rivière coule sur les calcaires du Jurassique supérieur, au creux d'une gouttière structurale (synclinal) ;
- À l'aval de la Corchère, sur 2 km de long, le Doubs traverse un bombement des couches jurassiques, faisant affleurer les argiles et marnes de l'Oxfordien moyen (calcaire hydraulique faciès Argovien, marnes à Creniceras renggeri) et même les calcaires du Jurassique inférieur ;
- De la sortie de défilé du Coin de la Roche à Morteau, le Doubs coule à nouveau sur des dépôts fluvio-glaciaires et des alluvions récentes reposant sur le Crétacé.

8.2. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

8.2.1. Systèmes aquifères

Les terrains présents permettent de distinguer 3 principaux systèmes aquifères :

- L'aquifère karstique des calcaires du Jurassique ;
- L'aquifère karstique et/ou fissural des calcaires du Crétacé ;
- L'aquifère poreux des terrains fluvio-glaciaires.

Ces trois systèmes sont décrits ci-après.

8.2.1.1. Karst des calcaires du Jurassique

C'est le milieu aquifère principal de la région. Les calcaires du Jurassique supérieur (Oxfordien supérieur à Portlandien) constituent une masse de 350 à 400 m d'épaisseur, fissurée et fracturée par la tectonique. Les fissures ont ensuite été élargies par l'action de dissolution de l'eau et ont donné naissance à un réseau important de circulations souterraines, se traduisant en surface par différentes manifestations : lapiez, dolines, gouffres, pertes, émergences, résurgences. Les marno-calcaires de l'Oxfordien (faciès Argovien), épais de 150 à 200 m constituent généralement la base du réservoir. Cependant, à la faveur d'accidents tectoniques importants (tels que le décrochement de Pontarlier), il peut exister des communications avec les calcaires du Jurassique moyen (Aalénien, Bajocien, Bathonien, Callovien). Ce sont alors les marnes du Jurassique inférieur (Lias) qui constituent la base du système.

Les manifestations les plus spectaculaires du karst Jurassique sont :

- Les pertes du Doubs, principalement entre Pontarlier et Ville-du-Pont ;
- • a source de la Loue, qui récupère notamment la plus grosse partie des eaux des pertes du Doubs ;
- • lusieurs sources ou résurgences dans le défilé d'Entre Roches, à l'aval de Ville-du Pont (source du Trésor, source Bleue, source de Rémonot, source du Pont du Diable, source de la Corchère…).

8.2.1.2. Crétacé

Au sommet du Jurassique et dans le crétacé, plusieurs niveaux peu perméables peuvent permettre l'installation d'une nappe indépendante du karst du Jurassique, à condition que leur continuité n'ait pas été altérée par des failles ou des pincements. On signalera :

- Les argiles et marnes du Purbeckien ;
- Les marnes de l'Hauterivien inférieur ;
- Les argiles de l'Albien.

Entre ces horizons, il est donc en théorie possible d'avoir plusieurs niveaux aquifères individualisés :

- Dans les calcaires du Valanginien (entre le Purbeckien et l'Hauterivien inférieur) ;

- Dans l'Hauterivien supérieur et le Barrémien (entre l'Hauterivien inférieur et l'Albien) ;
- Dans le Cénomanien, et éventuellement les formations superficielles (au-dessus de l'Albien).

Le karst y est généralement peu développé, et les circulations y sont plus fissurales que karstiques.

Sur le flanc Nord du Bois de la Côte, entre Arçon et Maison-du-Bois, on peut observer quelques sources provenant du Crétacé, notamment la source du Bois de l'Herse, située un peu en contre-haut du stade de ski nordique d'arçon.

Lorsque le Crétacé affleure en fond de vallée, du fait de la structure en gouttière des couches, l'écoulement est canalisé parallèlement à l'axe des vallons. Ce fait a été démontré par exemple par un traçage réalisé en décembre 2008 dans la vallée du ruisseau de la Morte. Le traceur, injecté au niveau du rejet de la station d'épuration de Verrières-de-Joux est réapparu au niveau du puits perte de Frambourg, à 5 800 m au Sud-Ouest.

8.2.1.3. Terrains fluvio-glaciaires

L'importance de ce système aquifère est directement liée à l'étendue et à l'épaisseur des terrains fluvio-glaciaires. Dans le secteur de Pontarlier, la nappe de l'Arlier et du Drugeon se développe dans un important cône de matériaux fluvio-glaciaires. La présence d'une couche de base plus argileuse permet de retenir l'eau dans la porosité des graviers et d'empêcher sa percolation dans les calcaires sous-jacents. Il peut exister des discontinuités dans la couche argileuse, soit d'origine sédimentaire, soit d'origine karstique (cavité d'effondrement). Ainsi, la doline du Creux au Lard dans la tourbière de Frasne, profonde de 25 m met en communication les eaux superficielles avec le karst crétacé sous-jacent à travers les dépôts fluvio-glaciaires. Selon la situation hydrologique et la pression de l'eau dans le karst, la doline peut être absorbante ou émissive (inversac).

8.2.2. Traçages

Depuis le traçage accidentel à l'occasion de l'incendie des usines Pernod en 1901, de nombreuses expériences ont été réalisées.

La carte de la page suivante représente les traçages réalisés dans la région, y compris ceux réalisés à la demande de la DDT pendant l'assec de 2018.

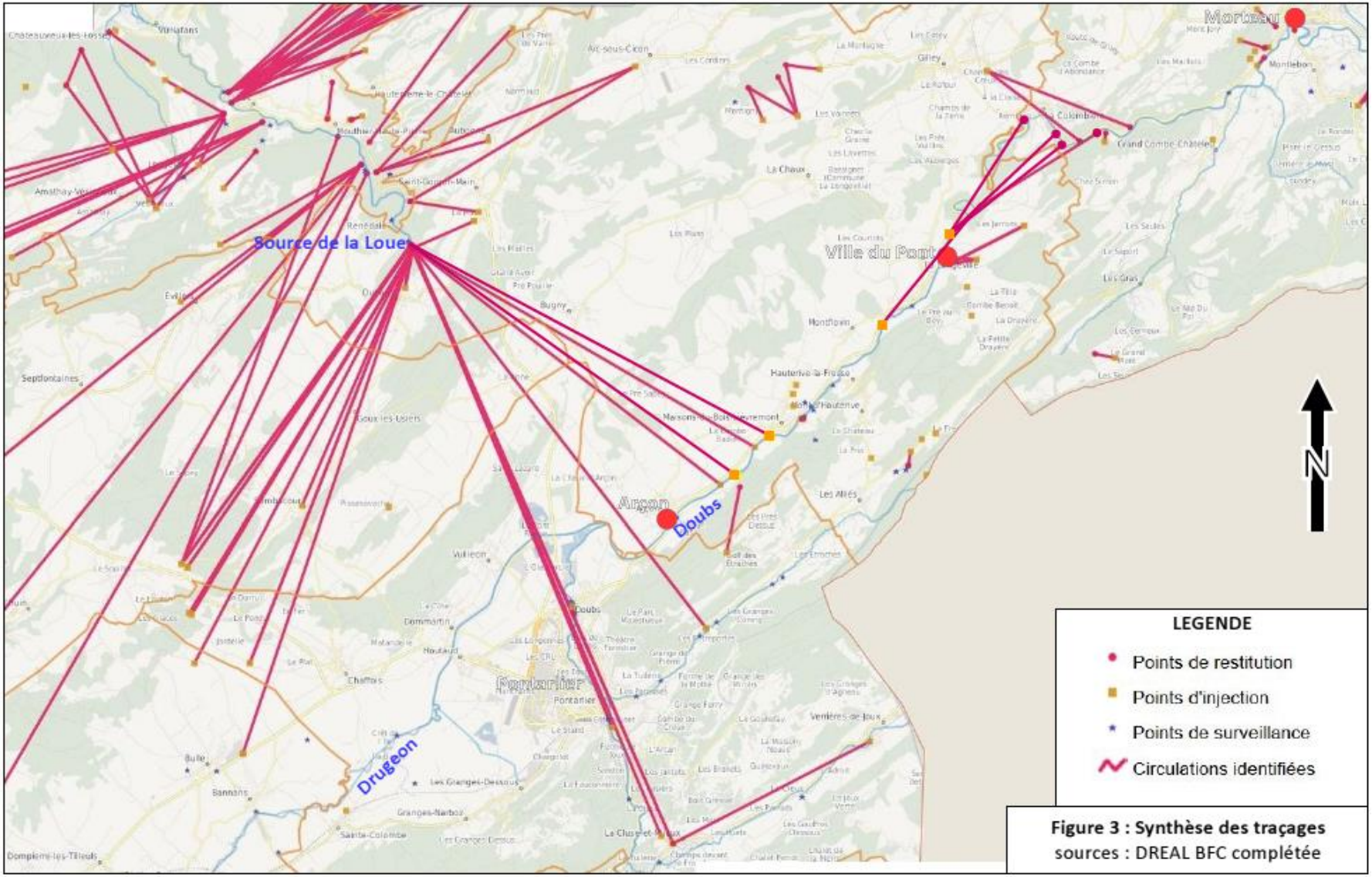


Figure 3 : Synthèse des traçages
sources : DREAL BFC complétée

D'après ces expériences, la source de la Loue constitue le point de convergence des circulations souterraines d'un vaste secteur, dont celui des pertes du Doubs. Plus précisément, on note que tous les traçages réalisés dans le Doubs à l'amont de Maison-du-Bois ressortent à la Loue. En revanche, les injections réalisées à l'aval de Montbenoît ressortent dans le Doubs, dans les défilés d'Entre Roche et du Coin de la Roche, au plus loin à la source de la Corchère.

La structure géologique explique la répartition de ces écoulements :

- Le décrochement de Pontarlier, accident tectonique majeur au plan régional constitue un axe de drainage souterrain de premier ordre qui collecte les eaux vers la haute vallée de la Loue ;

- Le synclinal dans lequel coule le Doubs entre Arçon et la Corchère semble présenter un point haut au voisinage de Maison-du-Bois. A l'amont de ce point, la pente du fond du synclinal guide les eaux vers le décrochement de Pontarlier et le bassin de la Loue. A l'aval de Maison-du-Bois, la pente du synclinal guide les eaux vers le cours aval du Doubs ;

- À l'aval de la source de la Corchère, la remontée des marnes de l'Oxfordien moyen constitue un barrage, obligeant les eaux souterraines à émerger, ce qui explique la présence de plusieurs sources dans ce secteur.

Les traçages mettent globalement en évidence des circulations relativement rapides, sans effet de stockage. La totalité des eaux infiltrées ressort aux émergences, sans passer par un réservoir souterrain significatif.

8.2.3. Localisation des pertes

Les pertes peuvent être soit ponctuelles (infiltration d'eau dans une fissure ou un trou, avec éventuellement formation d'un vortex), soit diffuses (infiltration à travers des dépôts de sable et gravier reposant sur des calcaires fissurés).

La plupart des pertes se situe entre le pont des Oyes à l'amont d'Arçon et l'entrée du défilé d'Entre Roches, et même plus précisément entre Arçon et Maison-du-Bois, sur un tronçon de 5 km. Mais des pertes sont déjà identifiées dès l'aval du lac de St Point et également dans le lit du Drugeon. Le tronçon affecté par les pertes correspond aux zones d'affleurement des calcaires du Jurassique supérieur.

8.2.3.1. Pertes ponctuelles

Les pertes ponctuelles peuvent être repérées visuellement lors de prospections à pied, à des périodes judicieusement choisies. Il faut en effet que le Doubs soit suffisamment bas pour que les pertes soient accessibles et visibles, mais suffisamment haut pour que la perte soit encore active. Il est en effet assez difficile de localiser une perte qui est asséchée. De ce fait, selon la longueur et l'intensité de l'assec, les pertes identifiées peuvent être différentes, sans que cela signifie forcément qu'il y ait eu apparition ou colmatage de certaines d'entre elles.

Du fait de l'utilisation intense de l'énergie hydraulique au XIXe et début du XXe siècle, ces pertes ponctuelles ont fait l'objet de campagnes de rebouchage intenses, provoquant parfois des conflits entre usiniers du Doubs et usiniers de la Loue. Ainsi, un texte de 1906 évoque « une faille à 200 m en amont d'Arçon, longue de 3 m, profonde de 1 m, large de 20 à 50 cm, rebouchée rapidement après sa découverte ».

Une prospection à pied a été réalisée par le Syndicat Mixte Haut-Doubs Haute Loue et la société de pêche locale en 2018. Elle a permis de localiser plus de 30 pertes, dont deux n'étaient pas connues antérieurement. La totalité de ces pertes est localisée entre le pont des Oyes à l'amont d'Arçon et Maison-du-Bois (mais cela est peut être dû à la longueur prospectée).

La carte géologique au 1/50 000 du BRGM, éditée en 1969, identifie 8 pertes, toutes localisées dans le même tronçon que ci-dessus, mais ce document ne peut être considéré comme exhaustif vis à vis de l'inventaire des pertes. Une des pertes de la carte géologique semble ne pas avoir été observée en 2018, mais il peut s'agir de problème d'implantation.

Différentes méthodes ont été mises en œuvre pour essayer de localiser les zones de perte de manière plus précise.

Une auscultation du lit du Doubs par la méthode du géoradar a été réalisée en 1993 entre Arçon et Ville-du-Pont. De très nombreuses anomalies sont relevées (près de 170, dont environ 45 jugées importantes), mais en l'absence de contrôle ultérieur, il n'est pas possible d'affirmer ce ces anomalies correspondent forcément à des pertes.

Une autre campagne de prospection géophysique a été réalisée en 1994 par des méthodes électriques (électromagnétisme, polarisation spontanée) et gravimétriques. Un inventaire des pertes réalisé à cette époque montre l'existence de pertes non observées en 2018, notamment à l'amont immédiat d'Arçon. Cet inventaire s'étend à l'aval de Maison-du-Bois, jusqu'à l'entrée du défilé d'Entre Roches. Sur ce tronçon, 7 secteurs de pertes sont indiqués.

Les différentes pertes mentionnées sont localisées dans la carte ci-après :

Légende
Pertes_Doubs_synthèse
Jaugeage_2018-10-04
Jaugeage_2018-08-31
N
0
500
1000
1500
2000 m

Il semble y avoir une certaine corrélation entre les zones de perte et les zones où les profils électromagnétiques indiquent des résistivités plus fortes (absence de recouvrement sur les calcaires), ce qui est logique. Les profils de polarisation spontanée montrent quelques anomalies interprétées comme correspondant à des courants d'électrofiltration. La corrélation de ces mesures avec les pertes identifiées ne paraît pas évidente. Les mesures de microgravimétrie n'ont concerné que 3 secteurs test. Dans 2 cas, il semble y avoir une corrélation entre zone de perte et anomalie. Dans le troisième cas, cela est moins net. Suite à ces campagnes de reconnaissance géophysiques, 12 forages mécanique ont été réalisés (3 de 25 m de profondeur, dont 2 équipés de piézomètres, et 9 de 10 m de profondeur). Sur ces 12 forages réalisés sur des anomalies géophysiques, seul 1 a rencontré une cavité.

8.2.3.2. Pertes diffuses

Les pertes diffuses ne peuvent être identifiées que par comparaison du débit de la rivière à une date donnée sur plusieurs sections successives, en régime stabilisé (« jaugeages différentiels »). La localisation des pertes est donc comprise entre deux sections de mesures mettant en évidence une baisse de débit.

Une campagne de jaugeages différentiels a été réalisée par la DREAL le 07/08/2018 sur 16 points répartis entre Oye et Pallet et Maison-du-Bois. Le débit total des pertes était de 1,5 m³/s. La majeure partie des pertes est observée au niveau d'Arçon. Des campagnes réalisées en 1979, 1989 et 1994 avaient donné des résultats similaires, avec des pertes localisées essentiellement entre Arçon et Maison-du-Bois. Seule 1 des 5 campagnes avait mis en évidence des pertes significatives entre Maison-du-Bois et Ville-du-Pont.

8.2.4. Débits

La mesure directe du débit des pertes n'est pas possible. Sur les pertes ponctuelles, les conditions d'écoulement ne permettent pas de réaliser de mesures de manière simple. Par ailleurs, il est difficile d'évaluer la part du débit correspondant à des pertes ponctuelles connues et celle correspondant à des pertes ponctuelles non connues ou à des pertes diffuses.

L'évaluation du débit des pertes ne peut se faire que de manière indirecte en comparant le débit du Doubs en 2 points, soit sur les enregistrements des stations de mesure en continu existantes, soit en réalisant des jaugeages différentiels. Compte tenu des incertitudes de mesure, il n'est possible d'avoir une évaluation précise du débit des pertes qu'en basses eaux, lorsque le débit de la rivière est du même ordre de grandeur que celui des pertes.

Si l'on observe les lames d'eau écoulées aux différentes stations hydrométriques du secteur, on note les valeurs suivantes :

- Le Doubs à la Cluse-et-Mijoux : 750 mm ;
- Le Doubs à Doubs : 650 mm ;
- Le Doubs à Ville-du-Pont : 630 mm ;
- Le Drugeon à Vuillecin : 520 mm.

La diminution de la lame d'eau écoulée sur le Doubs dès Doubs et la faible valeur sur le Drugeon à Vuillecin confirment bien l'existence de pertes à l'amont de ces deux stations. A Ville-du-Pont, la superficie du bassin versant est de 576 km². Le déficit d'écoulement de 120 mm correspond à un débit de perte de 2,2 m³/s en moyenne annuelle.

Si l'on s'intéresse aux débits mensuels d'étiage (QMNA, QMNA2, QMNA5) entre la confluence du Doubs et du Drugeon d'une part et Ville-du-Pont d'autre part, on note des pertes de 1,1 à 1,3 m³/s. Le débit des pertes mesuré par la DREAL en août 2018 était de 1,5 m³/s. Les campagnes de jaugeages différentiels de 1979, 1989 et 1994 indiquent des débits de perte compris entre 0,5 et 2 m³/s, augmentant quand le débit du Doubs augmente.

Une modélisation des débits a été réalisée par le BRGM en comparant les hydrogrammes amont et aval et en utilisant l'équation de la diffusivité. D'après ces calculs, le débit des pertes pourrait atteindre 10 m³/s au maximum. Les pertes du Doubs représenteraient 40 % du débit de la Loue à Mouthier-Haute-Pierre, et les 2/3 du débit de la vasque de la source de la Loue. En étiage, la totalité du débit de ce point serait contrôlé par les pertes du Doubs.

Dans l'étude des volumes prélevables, le débit des pertes est estimé entre 3 et 5 m³/s en moyenne. Ce débit est maximum en période de moyennes eaux. En basses eaux, le débit disponible et l'asséchement de certaines pertes réduit le débit de fuite.

En hautes eaux, il semble que le karst se mette en charge et que les pertes n'absorbent plus, voire deviennent émissives (inversac). En effet, dans certaines situations, les mesures de débit mettent en évidence de gros apports entre Arçon et Ville-du-Pont, alors qu'il n'y a aucun affluent et que le bassin versant intermédiaire est peu développé. Par ailleurs, un piézomètre mis en place à côté de la perte du Gros Foyard en 1993 par la DIREN et suivi de décembre 1993 à avril 1996 a montré un niveau du karst habituellement plus bas d'au moins une dizaine de mètres par rapport au Doubs, mais remontant jusqu'au niveau de la rivière en période de crue. Des mesures de température de l'eau à l'entrée de 2 pertes ponctuelles sont en cours pour vérifier ce point.

Une tentative de corrélation entre débit à l'amont (somme des débits du Doubs à Doubs et du Drugeon à Vuillecin) et débit des pertes a été réalisée en retenant une valeur annuelle. Pour chaque année, la valeur retenue est le VCN 10 à l'amont et le débit de perte calculée à la date correspondant au VCN10. Les données utilisées sont celles de la période 1989 – 2019. Des manques de données ne permettent pas de faire les calculs pour les années 2013 et 2014. Cinq valeurs aberrantes ont été éliminées (pertes négatives alors que l'on est en situation d'étiage : années 2001, 2002, 2005, 2012 et 2015). Le graphique correspondant est reproduit ci-après. La ligne pointillée noire matérialise la diagonale du graphique, correspondant à un débit de perte égal au débit amont. Aucun point ne peut se situer au-dessus de cette ligne. Les points situés sur la ligne (1990, 1991, 1992) correspondent à un assèchement total du Doubs à Ville-du-Pont. La forte dispersion des points et l'existence de valeurs aberrantes illustre la difficulté d'établir une telle relation, qui provient des incertitudes instrumentales inhérentes à toute mesure de débit en rivière. On note cependant pour la gamme de débit observée une relation croissante entre débit amont et débit des pertes, et ce jusqu'à un débit d'au moins 1,5 m³/s. On ne note pas de répartition chronologique organisée entre les points situés au-dessus de la droite de régression (semblant indiquer un débit de perte plus fort) et ceux qui sont situés en dessous. Les points sont situés au-dessus de la moyenne de 1989 à 1992, puis passent en dessous en 1994, 1996, 1997, 1998, 2003 et 2004. 2006 et 2007 repassent au-dessus de la courbe. 2016 est en dessous, et 2017 au-dessus. 2018 se distingue surtout par la faiblesse du débit amont, qui est exceptionnelle. 2019 reste dans la fourchette haute.

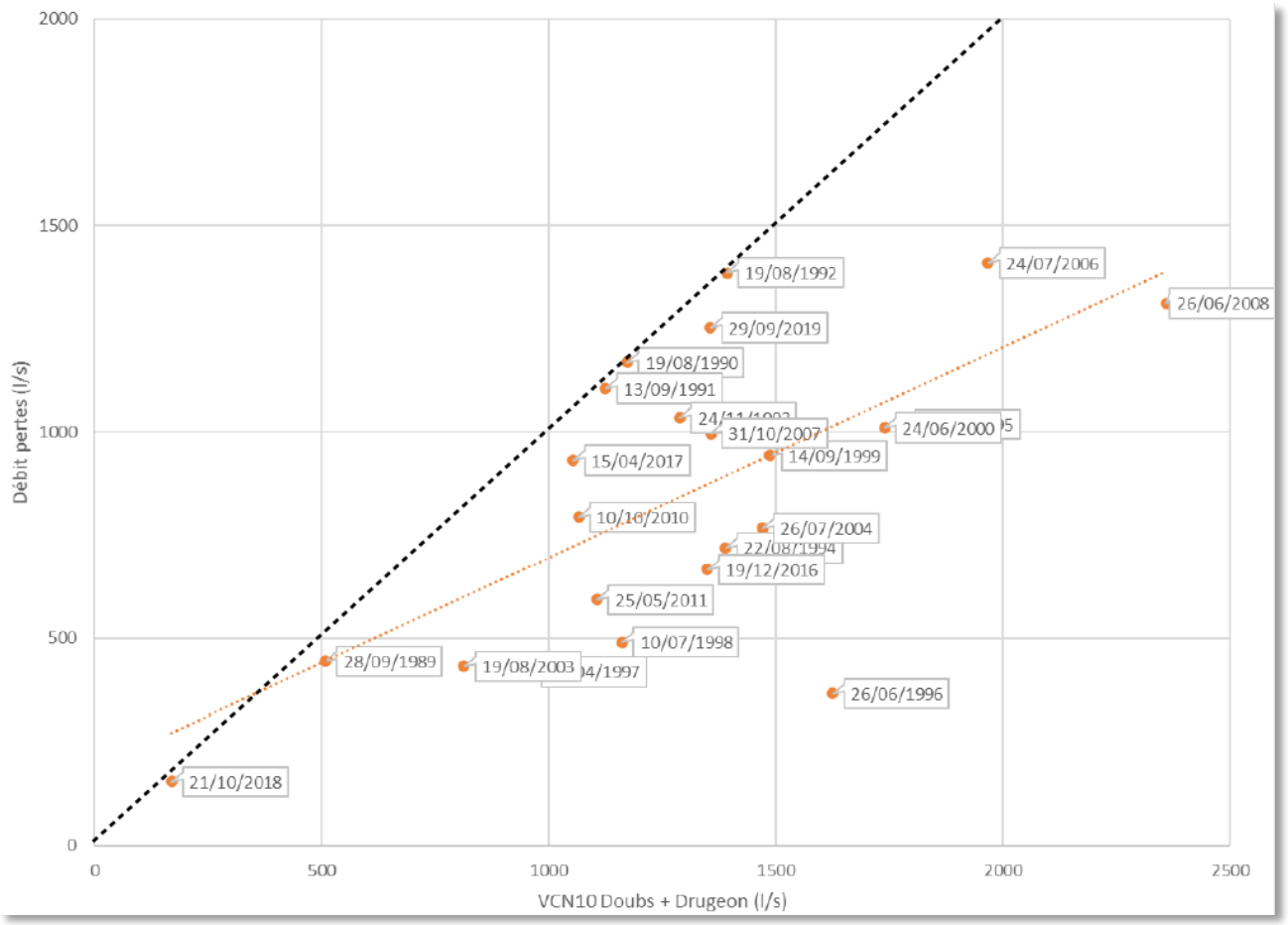


Figure 89 Corrélation entre débit amont et débit des pertes

Le principal enseignement de ce graphique est qu'il n'y a pas, à l'échelle des 30 dernières années, d'évolution sur le long terme du débit des pertes. Par exemple, on note des années 1992 et 2019 tout à fait comparables. C'est également le cas entre 1994 et 2016.

8.2.5. Evolution dans le temps

8.2.5.1. Evolutions passées

Le phénomène des assecs du Doubs est ancien : Un assec total a par exemple été observé en 1906.

Dans le passé, le colmatage des pertes par les usiniers du Doubs contribuait à maintenir un équilibre artificiel entre les deux cours d'eau. L'abandon de ces pratiques peut avoir un rôle dans une éventuelle augmentation du débit des pertes, sans que celui-ci ne puisse réellement être évalué, faute de mesures de débit de référence datant de cette époque.

8.2.5.2. Evolutions prévisibles

Les phénomènes de dissolution sont actifs en permanence, et conduisent à un développement ininterrompu du karst. Pour donner un ordre de grandeur, on peut estimer que chaque m³ d'eau infiltré dissous 50 g de calcaire. A l'échelle d'une année, et sur la base d'un débit de perte moyen de 4 m³/s, c'est plus de 6000 t de calcaire qui sont dissous chaque année.

Par ailleurs, les évolutions liées au réchauffement climatique vont se traduire par une réduction des débits disponibles, en particulier en basses eaux. Cette réduction des débits va forcément exacerber l'influence des pertes, même si leur potentiel n'augmente pas.

8.3. CARACTERISATION DE L'ASSEC DE 2018

Au plan climatologique, l'été 2018 se caractérise comme étant à la fois le plus chaud et le plus sec depuis le début des observations météorologiques sur le secteur. Il a notamment été plus sévère que 2003. Cette situation extrême est illustrée par le graphique suivant.

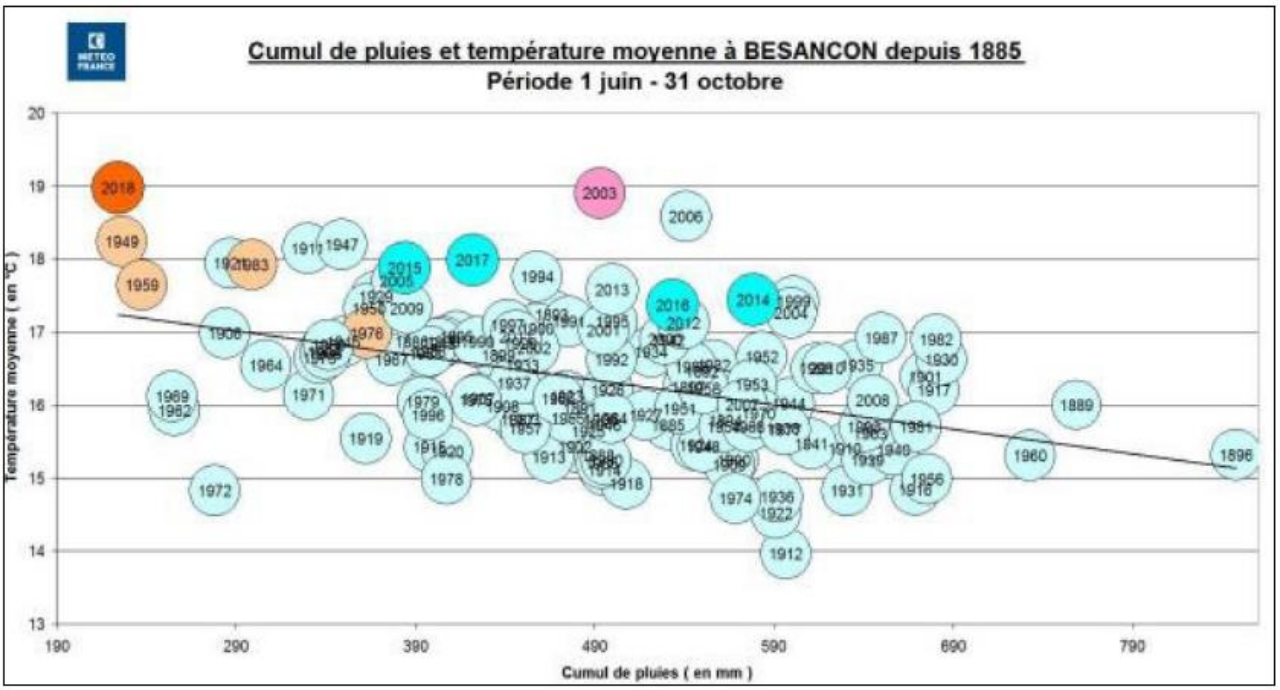


Figure 90 Caractérisation climatique de l'été 2018 (source : Météo France)

En termes de débits des rivières, cette situation s'est très logiquement traduite par des valeurs extrêmement faibles sur l'ensemble du haut Doubs. Le graphique ci-dessous montre les débits d'étiage mensuels (QMNA) de chaque année à la station de Labergement. Le QMNA de 2018 est de loin le plus faible des 60 années d'observations disponibles. La situation correspond sensiblement à une situation cinquantennale sèche. A Ville-du-Pont, l'assec a été particulièrement précoce (fin juillet) et s'est prolongé pendant 150 jours (jusque début décembre), ce qui est exceptionnel (il atteint fréquemment une trentaine de jours, mais ne dépasse habituellement pas 40 jours). La longueur du tronçon asséchée est également remarquable, s'étendant sur 20 km à l'aval de la confluence du Doubs et du Drugeon.

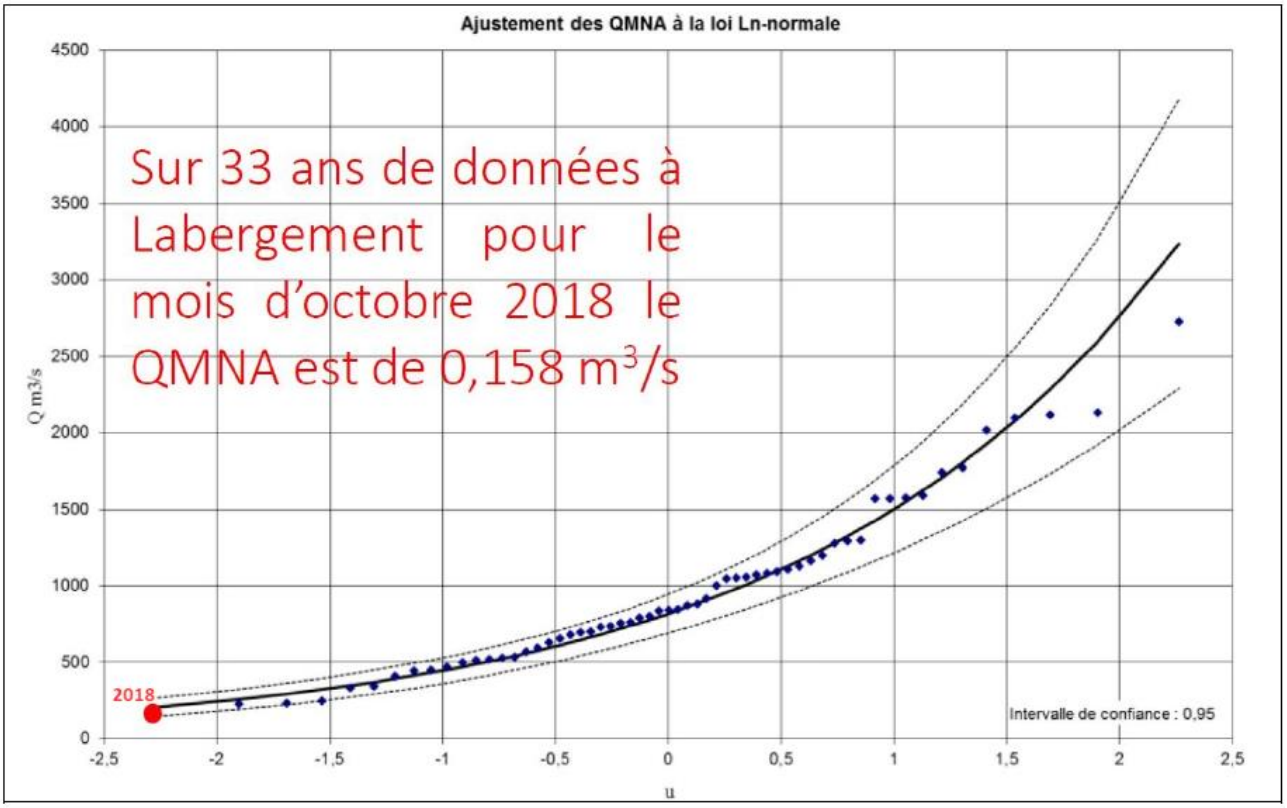


Figure 91 Débits d'étiage mensuels du Doubs à Labergement

A l'aval de la confluence du Doubs et du Drugeon, le débit est descendu en dessous de 1,5 m³/s de début août à début décembre. Les mesures disponibles montrent que le potentiel de perte à l'aval de ce point peut s'élever jusqu'à 2 m³/s. Indépendamment de toute hypothèse concernant une éventuelle augmentation du débit des pertes, le faible débit en entrée de section suffit à lui seul à explique l'assèchement total de la rivière.

Les pertes observées en 2018 ne se distinguent de celles qui étaient connues au par-avant ni par leur localisation, ni par l'importance du débit qu'elles sont susceptibles d'absorber.

8.4. INCIDENCE POTENTIELLE DES TRAVAUX

Des travaux importants modifiant le lit mineur du Doubs peuvent avoir un impact significatif sur le débit des pertes. Un curage du fond ou des berges peut par exemple entraîner un décolmatage de zones de pertes et une augmentation du débit soustrait au Doubs. Le déplacement du lit d'étiage peut selon les cas déconnecter ou reconnecter des zones de pertes à l'écoulement du Doubs. L'aménagement de margelles ou le bétonnage de fissures réduisent le débit des pertes, au moins en étiage (c'est le but recherché de ce type de travaux).

Une augmentation du périmètre mouillé en basses eaux est susceptible de connecter un grand nombre de zones de pertes, alors que la concentration du débit d'étiage dans un lit plus étroit peut contribuer à réduire le débit infiltré.

Une modification du débit des pertes aura un effet direct et immédiat d'une part sur le Doubs à l'aval des pertes, d'autre part sur les émergences qu'elles alimentent. Si les pertes modifiées sont à l'amont de Maison-du-Bois, l'impact se fera sentir sur la Loue. Si elles sont à l'aval de Montbenoît, l'impact se fera sentir sur les sources situées dans les défilés. Outre l'effet visible sur le régime des cours d'eau, une modification du régime des pertes aura un effet sur la température des eaux. En effet, le milieu souterrain a un gros effet régulateur sur la température de l'eau, et la température des émergences est stable au cours de l'année, indépendamment de la température de l'air. En été, les eaux infiltrées dans les pertes se rafraîchissent dans le sous-sol avant de réapparaître dans les résurgences. Plus le débit

des résurgences est important, plus la température du cours d'eau qu'elles alimentent restera fraîche. À l'inverse, plus le débit du Doubs diminuera, plus ses écoulements seront lents, et plus son eau se réchauffera.

Les différents milieux (Doubs dans la zone de pertes, Loue et sources des défilés d'Entre Roches et du Coin de la Roche) sont interdépendants. Toute mesure ayant un impact positif sur le débit d'un de ces milieux aura un impact négatif sur un autre. Il n'est pas possible de privilégier l'un des milieux sans en pénaliser un autre. Les travaux d'aménagement peuvent au mieux maintenir un équilibre précaire, et au pire avoir des effets forts et indésirables. A noter que ne rien faire peut aussi conduire à une modification lente et inéluctable de la répartition des écoulements, la tendance naturelle ne pouvant aller que vers une augmentation du débit soutiré par la Loue.

La mesure la plus précise possible du débit des pertes est un outil de gestion capital pour évaluer l'évolution du milieu, et l'éventuelle incidence de travaux. Pour limiter les incertitudes liées aux variations des courbes de tarage des stations, il semble préférable de recourir directement à des jaugeages réalisés en régime d'étiage stabilisé, sur des sections de mesure amont et aval figées dans le temps. Ces sections peuvent être avantageusement situées au niveau des stations hydrométriques existantes, ce qui permettrait de valoriser les jaugeages de contrôle périodique des dites stations.

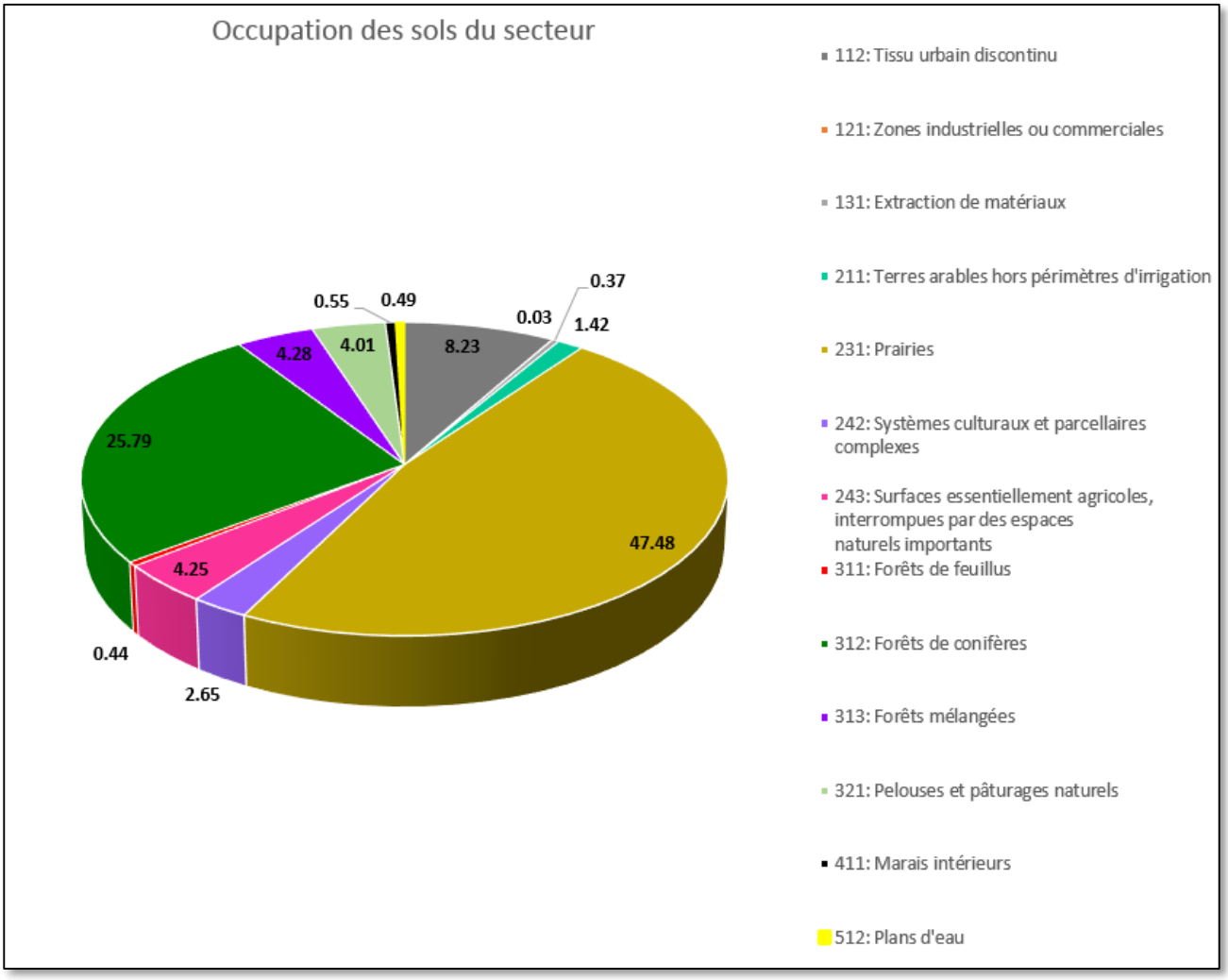
9. CONTEXTE SOCIO-ECONOMIQUE

9.1. OCCUPATION ET VOCATION DES SOLS

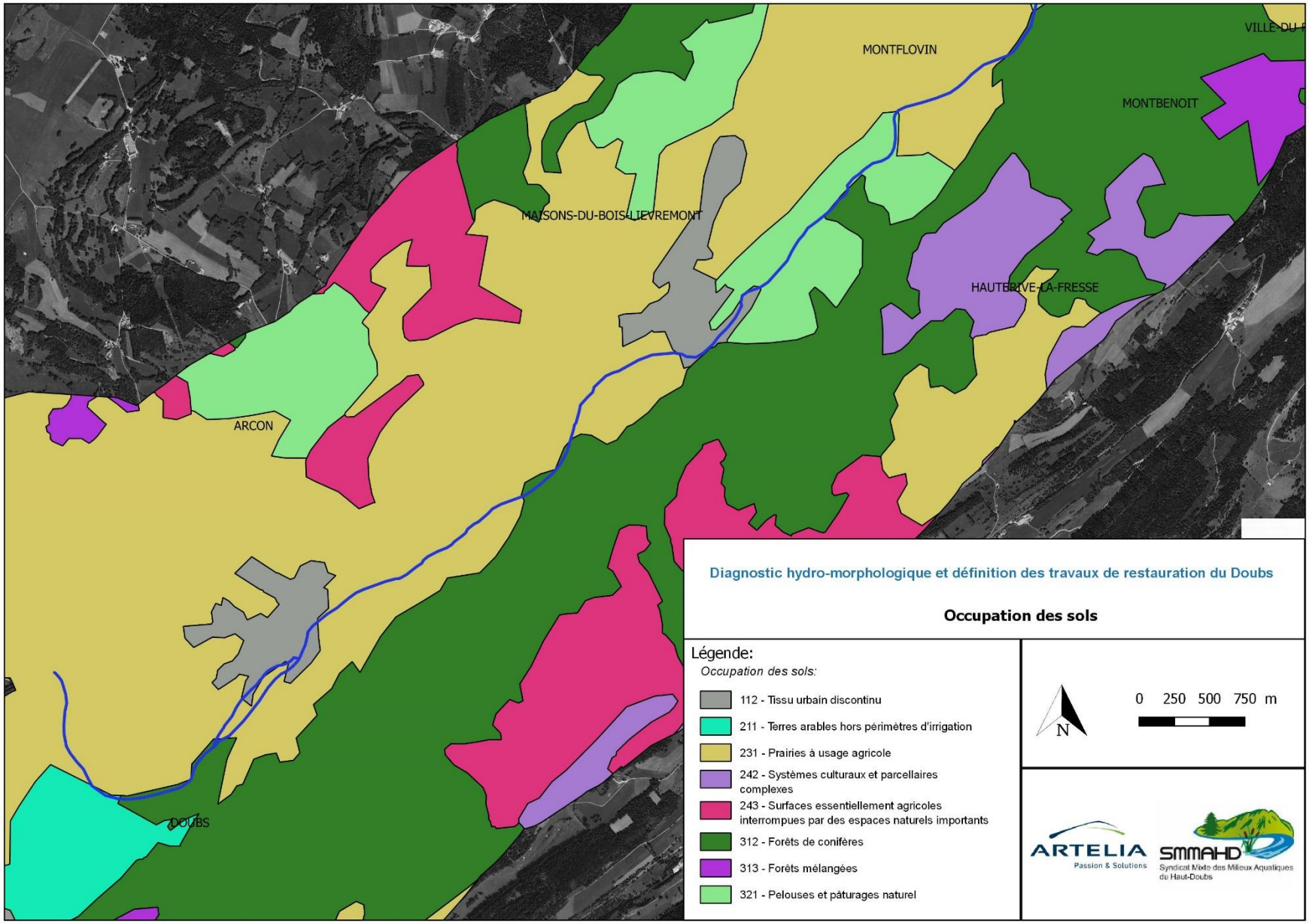
L'analyse de l'occupation des sols s'appuie sur les informations disponibles dans la base de données Corine Land Cover. L'occupation est détaillée sur un périmètre de 4km autour de la rivière. Il apparait que 47 % de la surface est utilisée comme prairie. Ceci s'explique par l'importance de l'élevage bovin dans le secteur visant la production de fromages.

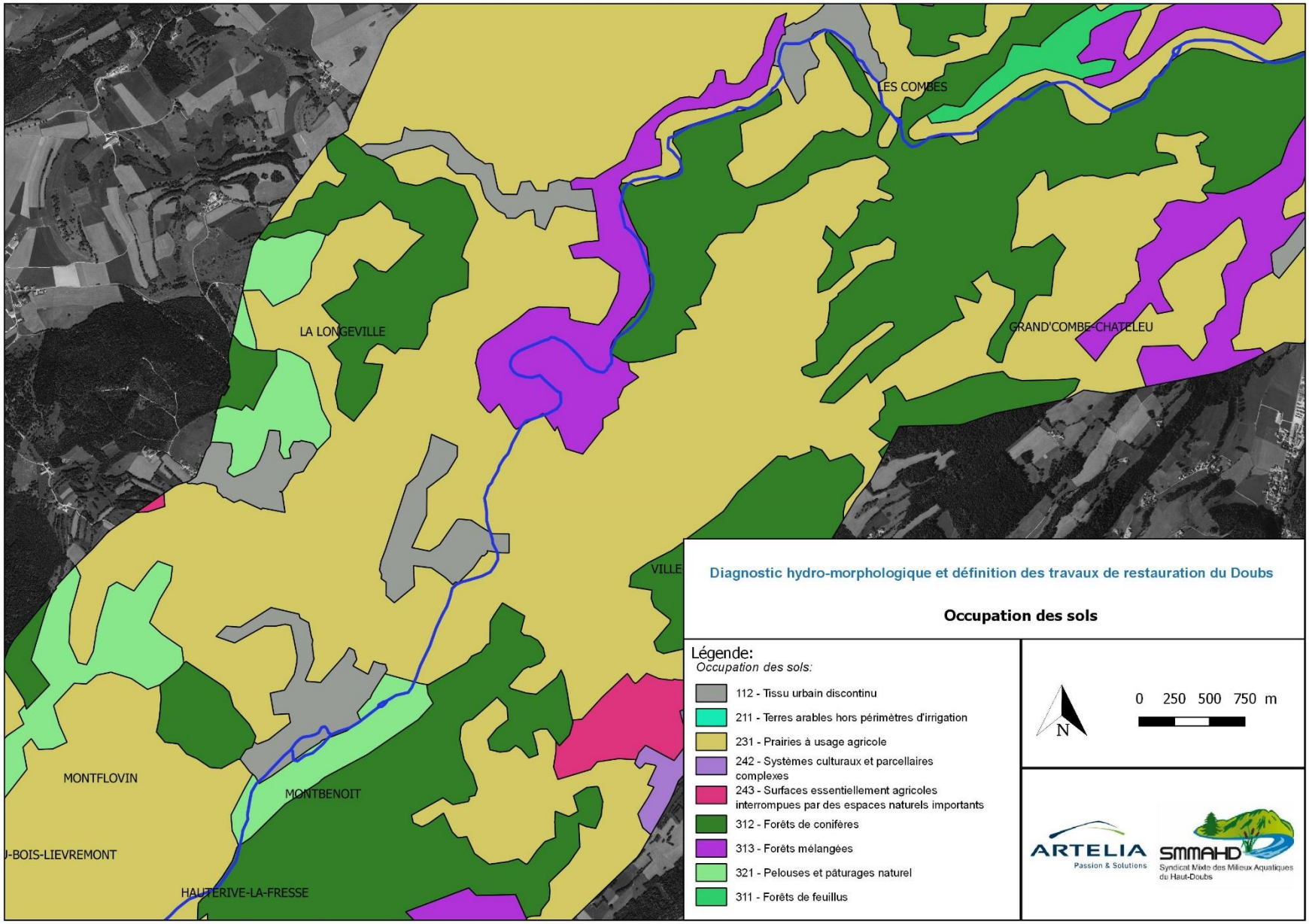
Les forêts sont aussi très présentes sur le secteur avec 27% de l'espace occupé par des forêts de conifères et 4% par de la forêt mixte. A ce titre, rappelons que la Franche-Comté est la région la plus boisée de France métropolitaine avec 42 % de son territoire recouvert de forêts.

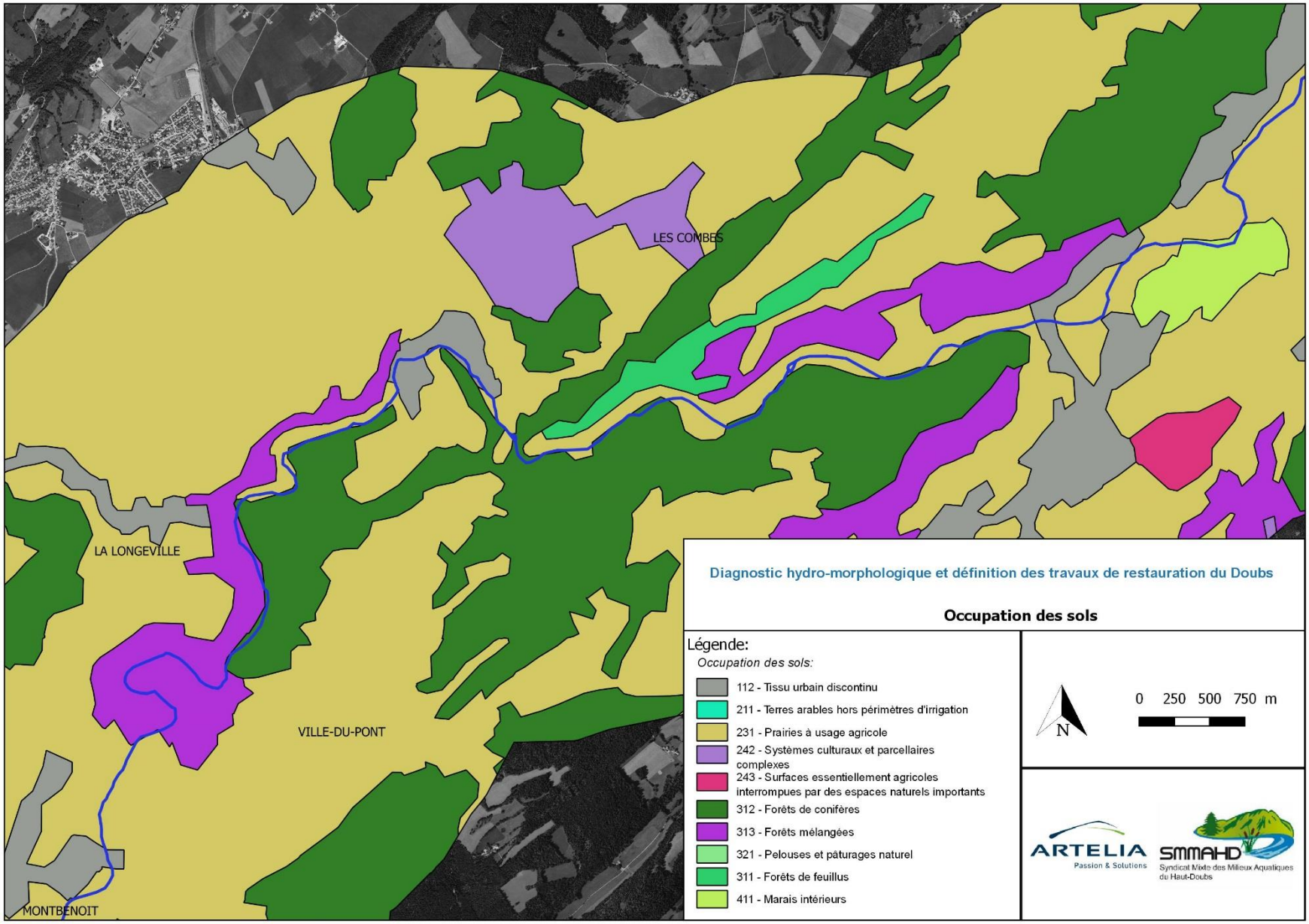
Enfin, les zones urbanisées constituent environ 8% de la zone à l'étude.



Les cartes présentées sur les pages suivantes détaillent l'occupation du sol au droit de notre secteur d'étude.


MONTFLOVIN
VILLE-DU-P
MONTBENOIT
MAISONS-DU-BOIS-LIEVREMONT
HAUTERIVE-LA-FRESSE
ARCON
DOUBS
Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs
Occupation des sols
Légende:
Occupation des sols:
112 - Tissu urbain discontinu
211 - Terres arables hors périmètres d'irrigation
231 - Prairies à usage agricole
242 - Systèmes culturaux et parcellaires complexes
243 - Surfaces essentiellement agricoles interrompues par des espaces naturels importants
312 - Forêts de conifères
313 - Forêts mélangées
321 - Pelouses et pâturages naturel
N
0 250 500 750 m
ARTELIA
Passion & Solutions
SMMAHD
Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques du Haut-Doubs


LES COMBES
LA LONGEVILLE
GRAND'COMBE-CHATELEU
VILLE
MONTFLOVIN
MONTBENOIT
J-BOIS-LIEVREMONT
HAUTERIVE-LA-FRESSE
Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs
Occupation des sols
Légende:
Occupation des sols:
112 - Tissu urbain discontinu
211 - Terres arables hors périmètres d'irrigation
231 - Prairies à usage agricole
242 - Systèmes culturaux et parcellaires complexes
243 - Surfaces essentiellement agricoles interrompues par des espaces naturels importants
312 - Forêts de conifères
313 - Forêts mélangées
321 - Pelouses et pâturages naturel
311 - Forêts de feuillus
N
0 250 500 750 m
ARTELIA
Passion & Solutions
SMMAHD
Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques du Haut-Doubs


LES COMBES
LA LONGEVILLE
VILLE-DU-PONT
MONTBENOIT
Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs
Occupation des sols
Légende:
Occupation des sols:
112 - Tissu urbain discontinu
211 - Terres arables hors périmètres d'irrigation
231 - Prairies à usage agricole
242 - Systèmes culturaux et parcellaires complexes
243 - Surfaces essentiellement agricoles interrompues par des espaces naturels importants
312 - Forêts de conifères
313 - Forêts mélangées
321 - Pelouses et pâturages naturel
311 - Forêts de feuillus
411 - Marais intérieurs
N
0 250 500 750 m
ARTELIA
Passion & Solutions
SMMAHD
Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques du Haut-Doubs

En lien avec l'importance des zones de pâturage se pose la question des impacts liés aux piétinement et aux excréments bovins. En effet ces pressions favorisent les érosions de berges, les apports de MES et favorise le développement algal.

Figure 92 Zone de pâturage sur le secteur d'étude

Enfin, en lien avec le contexte agricole, de nombreux drains ont été localisés sur le secteur, certains localisés en zone humide.

9.2. USAGES DE L'EAU

9.2.1. Eau potable

Sur le secteur à l'étude, l'eau potable provient de la nappe de l'Arlier. La principale utilisation de l'eau est pour la consommation domestique. Par ailleurs pour l'abreuvement du bétail les éleveurs privilégient pour des raisons sanitaires les réseaux collectifs. Ces prélèvements sont une part importante de la consommation en eau.

9.2.2. Pêche

Trois Associations Agréées pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique (AAPPMA) sont présentes sur le secteur à l'étude :

- La Truite du Trésor et du Saugeais gérant un parcours d'environ 23 km entre Arçon et Remonot ;
- La truite du Beugnon à Grand'Combe Châteleu, gérant une partie de l'aval du linéaire à l'étude ainsi que le ruisseau des Gras ;
- La Gaule Mortuacienne à Morteau gérant une portion du linéaire aval.

9.3. AUTRES ENJEUX

9.3.1. Patrimoine et monuments historiques

Deux monuments historiques sont présents sur le secteur d'étude. Il s'agit de l'Abbaye de Montbenoit et de la Grotte-chapelle de Remonot sur la commune des Combes.

9.3.2. Site classé et inscrit

Au sein des gorges du secteur plusieurs sites sont inscrits et/ou classé au titre de leur paysage, à savoir :

- Le Défilé d'Entre Roche (classé + inscrit) ;
- Les gorges de Remonot aux Combes (classé) ;
- Les rochers de la roche fleurie (inscrit) ;
- Le défilé du coin de la roche (inscrit).

Figure 93 Paysage au sein des gorges

Sur ces secteurs tous travaux susceptibles de modifier le paysage sont soumis à l'approbation des gestionnaires des sites.

Figure 94 Localisation des sites inscrits ou classés sur le secteur d'étude

10. DELIMITATION DE L'ESPACE DE BON FONCTIONNEMENT

10.1. RAPPEL DU CONCEPT

La méthode décrite présente la partie technique de l'élaboration de l'EBF, c'est-à-dire celle ne tenant pas compte de la concertation avec les différents acteurs du secteur.

L'intérêt de l'approche est d'intégrer non seulement les fonctions morphologiques du cours d'eau, mais également les fonctions hydrauliques et biologiques, et, selon le contexte, les fonctions liées aux échanges nappe – rivière et les fonctions biogéochimiques. Il s'agit donc d'une démarche intégrée, qui répond bien aux objectifs de la présente étude.

La définition d'un espace de bon fonctionnement, tel qu'il est préconisé par le SDAGE, doit répondre à notre sens à 3 enjeux majeurs :

- La définition d'un EBF n'a de sens que pour répondre à des objectifs et fonctionnalités clairement définis ;
- Le sens physique et opérationnel de l'EBF dépend de la typologie des cours d'eau ;
- La délimitation de l'EBF ne saurait être un acte purement technique ou scientifique : il faut reconnaître que c'est un acte politique d'aménagement du territoire.

A partir de là, la définition de l'EBF doit prendre en compte :

- Les réalités du territoire (enjeux, envies, visions) ;
- Les adaptations pour le rendre politiquement acceptable (au sens noble du terme, c'est-à-dire d'une prise en compte des attentes diverses des populations) tout en assurant une cohérence d'ensemble ; ce qui passe par la concertation afin d'aboutir à un EBF consolidé.

Enfin, la détermination de l'EBF constitue un **outil pour le programme d'action**. Il constituera la base de réflexion pour proposer, par secteurs, des actions **de préservation, de restauration ou de gestion**.

10.1.1. Délimitation du style fluvial de référence

La méthodologie employée diffère selon le style fluvial. **La 1ère étape consiste donc en la définition de ce style**. Celui-ci peut être de 5 types :

- Rectiligne à forte pente, tel que les torrents de montagne ;
- A bancs alternés, qu'on rencontre par exemple en milieu alpin ou préalpin ;
- A méandre avec une différenciation entre :
    - Les méandres développés : migration latérale ;
    - Les méandres migrants : migration par translation ;
- En tresses, qu'on rencontre de même que pour les cours d'eau à bancs alternés en milieux alpins ou préalpins ;
- Anastmosé qui présente une morphologie similaire aux cours d'eau en tresse mais une charge solide plus fine. Ce style est devenu très rare en France.

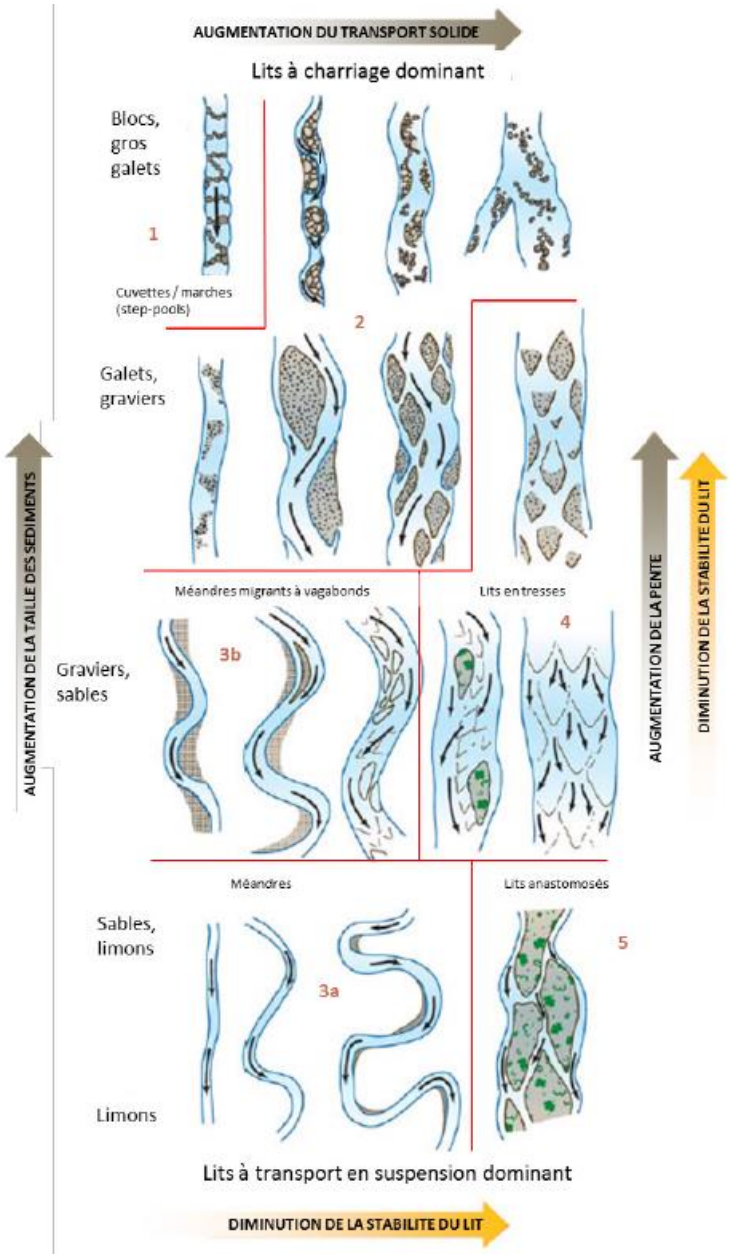


Figure 95 Clé de détermination des différents styles fluviaux (Church 2006) et identification des 5 grands types fluviaux

Le calcul de l'indice de sinuosité effectué précédemment dans le rapport classifie la rivière comme un cours d'eau sinueux. Le style fluvial correspondant le mieux à ce constat et aux caractéristiques du site est donc le style méandriforme. Aussi, le Doubs au sein du secteur d'étude dispose d'un style fluvial **à méandres**, qui peut constituer le style de référence.

10.1.2. Méthodologie

Une fois le style défini (Etape 1), la **délimitation de l'EBF «technique »** repose sur les étapes suivantes :

- Etape 2 : Détermination de l'EBF optimal avec :
    - Périmètre morphologique optimal ;

- Périmètre hydraulique optimal ;

- Etape 3 : Détermination de l'EBF nécessaire avec :
  - Périmètre morphologique nécessaire ;
  - Périmètre hydraulique nécessaire ;
- Etape 4 : Détermination de l'EBF biologique issu des zonages disponibles.
- Etape 5 : Prise en compte des contextes hydrogéologiques/biogéochimiques
- Etape 6 : Synthèse cartographique des périmètres.

Une synthèse méthodologique pour le style fluvial « à méandres » est regroupée dans le tableau suivant :

Tableau 12 Synthèse des principes de détermination de chaque périmètre

Style fluvial de référence	Périmètre	Optimal	Nécessaire
MEANDRES (MIGRANTS OU DEVELOPPES) (types 3a, 3b)	***morphologique***	*Espace permettant la mobilité globale à long terme d'un tronçon dans son ensemble (longitudinale et latérale)*	*Espace permettant la continuité longitudinale et latérale au niveau sédimentaire*
	hydraulique	*Espace permettant l'écoulement et l'expansion des crues : zones inondables par les plus fortes crues, hors influence des aménagements*	*Espace des zones de grand écoulement. Intégration des zones d'expansion des crues si efficaces*
TOUS STYLES	***contexte biologique***	*Sans objet*	*Intégrer à l'EBF nécessaire les annexes fluviales*
	contexte hydrogéologique	*Sans objet*	*Caractériser les échanges nappe – rivière, si possible spatialement*
	contexte biogéochimique	*Sans objet*	*Adapter la fonction de limitation des transferts de pollution aux usages du lit majeur*

L'espace de fonctionnement optimal correspond à l'espace laissé à la rivière pour réaliser ses fonctions écologiques sans aucune contrainte anthropique. La notion d'optimal tient son sens du fait qu'aucune adjonction d'espace supplémentaire par rapport à cet espace n'apporterait de gain significatif.

L'espace de fonctionnement nécessaire correspond à l'espace minimal nécessaire à la rivière pour accomplir durablement ses fonctions écologiques.

10.2. DETERMINATION DES DIFFERENTS PERIMETRES

10.2.1. Périmètre morphologique

Le Bon fonctionnement morphologique d'une rivière repose sur le libre ajustement de celle-ci à des variables d'entrées (débit liquide, débit solide). Cet ajustement repose sur deux points principaux :

- La continuité longitudinale permettant le transit de matériaux de l'amont vers l'aval et permettant ainsi d'atteindre un équilibre sédimentaire longitudinal ;
- La continuité latérale permettant les phénomènes de dépôt et d'érosion.

10.2.1.1. Périmètre optimal

Le périmètre morphologique optimal pour une rivière ayant un style méandriforme, correspond à l'espace permettant le libre développement de ses méandres. Ce développement peut se faire au niveau de l'amplitude, mais aussi au niveau de la dynamique de la rivière que ce soit par des migrations vers l'aval, latérales, ou des recoupements.

Généralement et en fonction des données, la détermination de ce périmètre s'appuie sur l'amplitude d'un méandre non contraint du cours d'eau. Dans ce cas, l'on considère un espace optimal ayant une largeur égal à 1.5 à 2 fois l'amplitude de ce méandre de référence. Cet espace est centré sur l'axe moyen du train de méandres. Pour rappel, un train de méandre correspond à une succession de méandres ayant une amplitude sensiblement similaire.

Dans le cas où les travaux de rectifications sont trop anciens pour pouvoir estimer l'amplitude d'un méandre non contraint, ou encore que le cours d'eau soit peu mobile, la largeur du périmètre morphologique optimal peut être approchée en considérant 3 à 6 fois la largeur à plein bord (15 à 20 fois pour les cours d'eau mobiles).

Dans le cadre de la détermination de ce périmètre sur notre secteur d'étude, il a été choisi au vu de la faible mobilité du cours d'eau ainsi que du fait de l'absence de train de méandre de calculer le périmètre à partir d'une largeur plein-bord.

Cette largeur a été déterminée en faisant la moyenne de largeurs observées sur les différents tronçons. Celle-ci est de 20 mètres environ.

Cette largeur a ensuite été multipliée 6 fois afin d'obtenir le périmètre morphologique.

Le périmètre a ensuite été adapté grâce aux relevés lidar, aux anciens tracés de la rivière et à la géologie du secteur. Les zones du périmètre non incluses dans le secteur des alluvions ou dépôt morainiques ont été retirées, la rivière pouvant difficilement creuser les versants alentours.

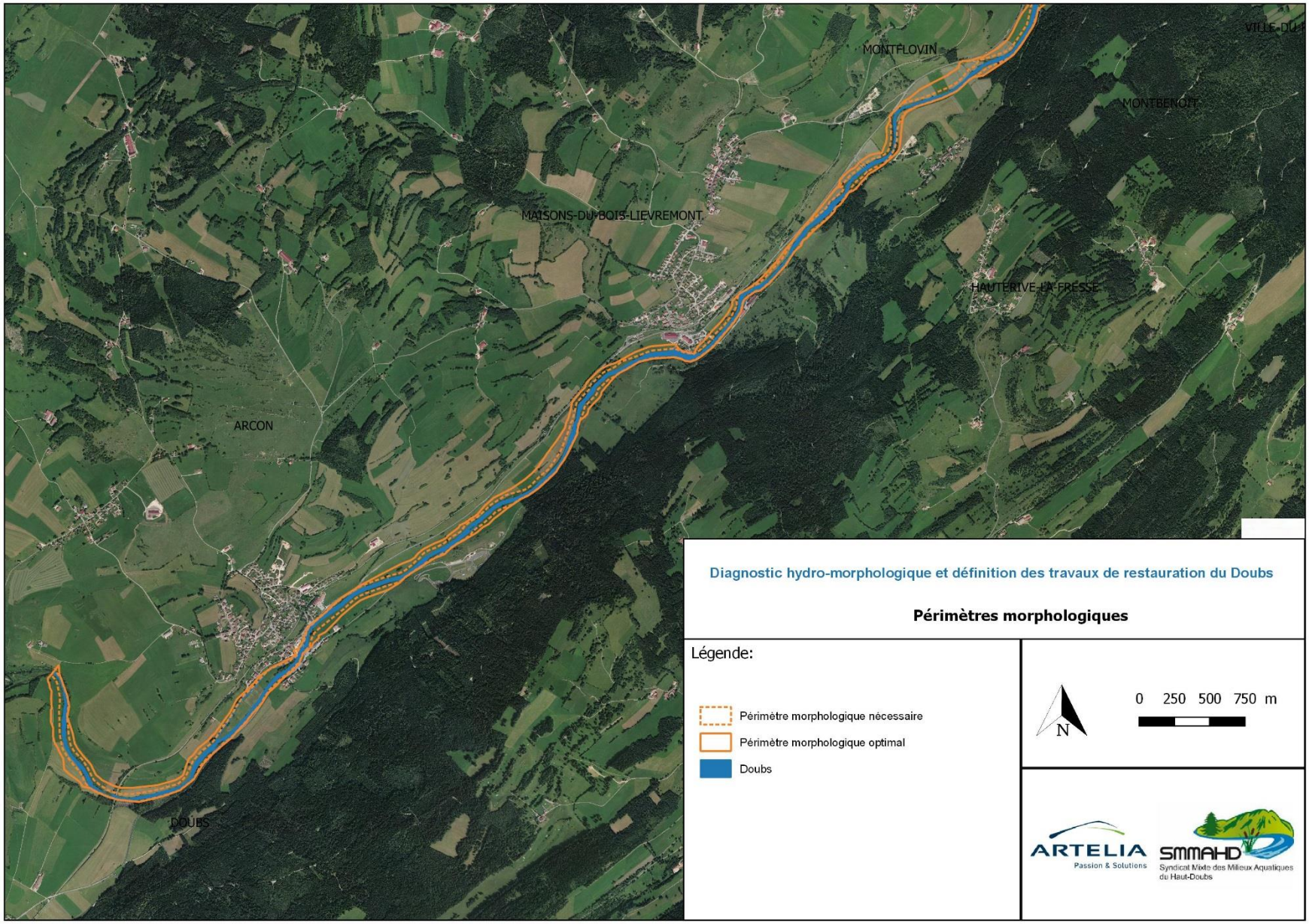
10.2.1.2. Périmètre nécessaire

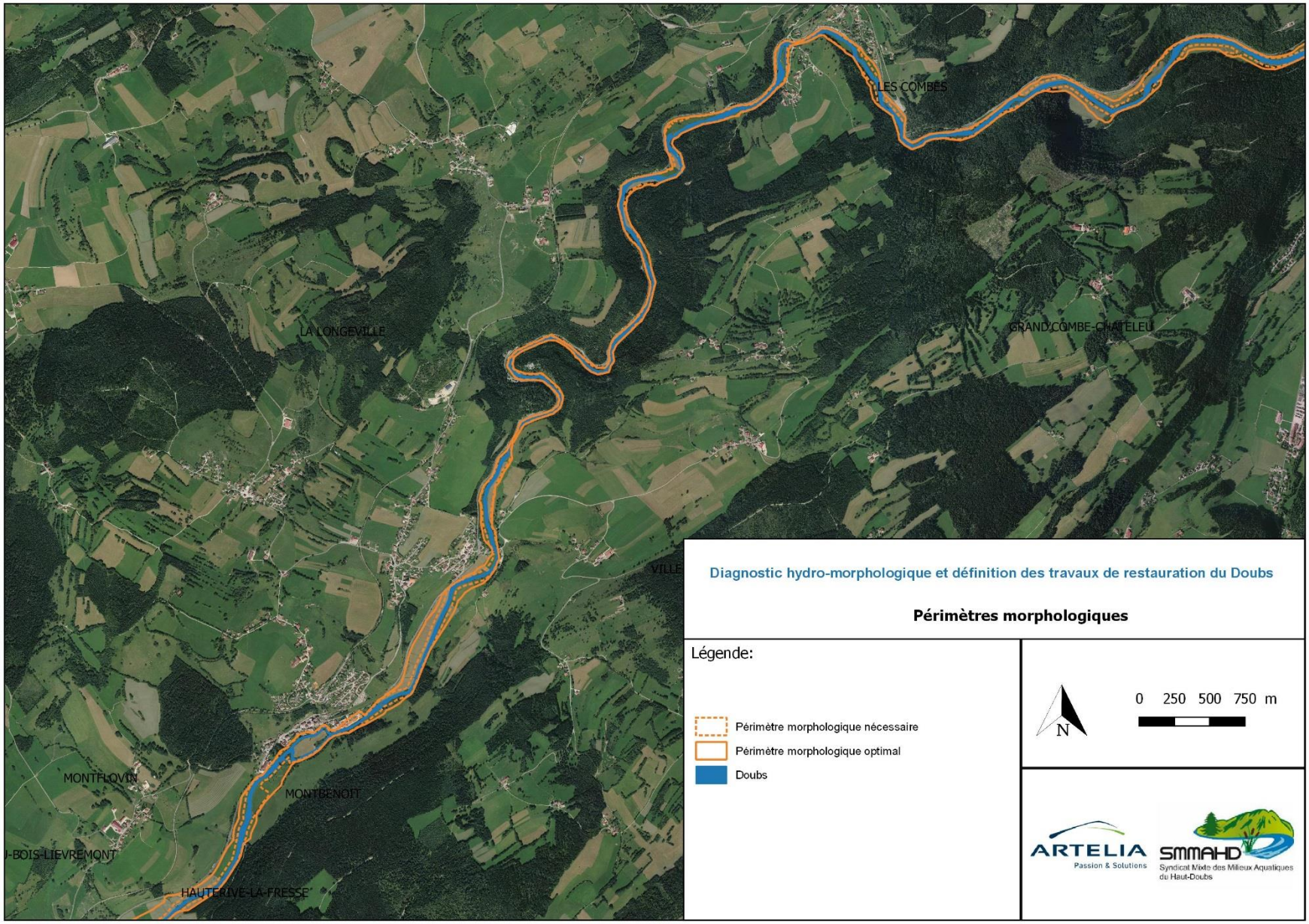
Le périmètre morphologique nécessaire correspond à l'espace permettant le libre développement des méandres et une part de leur dynamique (contrairement au périmètre optimal qui lui doit permettre totalement la dynamique de la rivière). Là encore, la détermination de ce périmètre s'appuie sur l'amplitude d'un méandre non contraint ou la largeur plein-bord. La largeur du périmètre est égale soit :

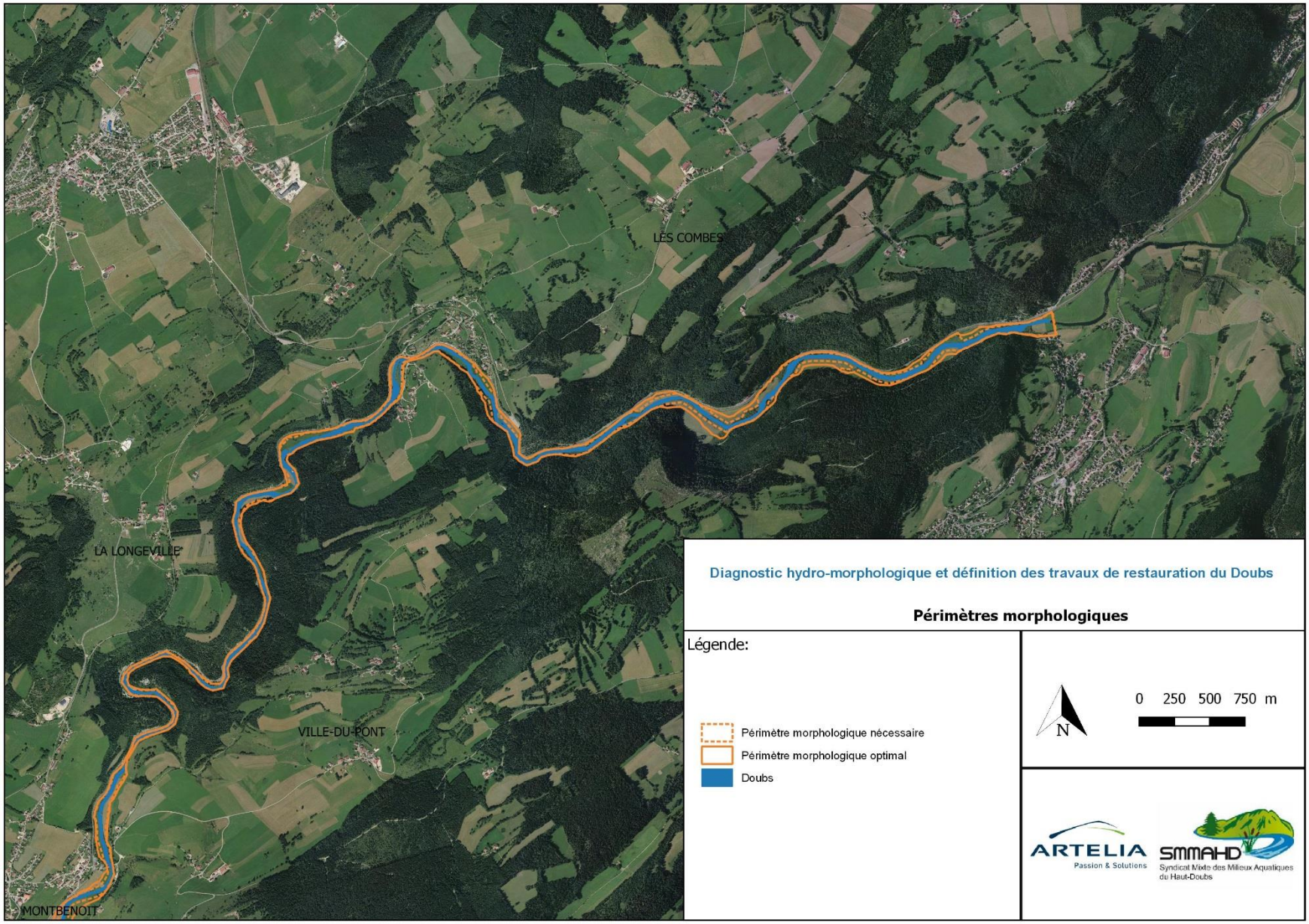
- A l'amplitude maximale observée sur les différents tracés de la rivière ;
- A 2 à 5 fois la largeur plein-bord (6 à 15 fois pour les cours d'eau mobiles).

Dans le cadre de l'étude, la largeur plein-bord moyenne a donc été multipliée par 3 pour obtenir l'enveloppe du périmètre nécessaire. Suite à cela, le périmètre a été ajusté de même que pour le périmètre optimal tenant compte de la géologie et du relief du secteur.

10.2.1.3. Cartographie


MONTFLOVIN
MONTBENOIT
MAISONS-DU-BOIS-LIEVREMONT
HAUTERIVE-LA-FRESSE
ARCON
DOUBS
Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs
Périmètres morphologiques
Légende:
Périmètre morphologique nécessaire
Périmètre morphologique optimal
Doubs
N
0 250 500 750 m
ARTELIA
Passion & Solutions
SMMAHD
Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques du Haut-Doubs


LES COMBES
LA LONGEVILLE
GRAND'COMBE-CHATELEU
MONTFLOVIN
MONTBENOIT
HAUTERIVE-LA-FRESSE
Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs
Périmètres morphologiques
Légende:
Périmètre morphologique nécessaire
Périmètre morphologique optimal
Doubs
N
0 250 500 750 m
ARTELIA
Passion & Solutions
SMMAHD
Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques du Haut-Doubs


LES COMBES
LA LONGEVILLE
VILLE-DU-PONT
MONTBENOIT
Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs
Périmètres morphologiques
Légende:
Périmètre morphologique nécessaire
Périmètre morphologique optimal
Doubs
N
0 250 500 750 m
ARTELIA
Passion & Solutions
SMMAHD
Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques du Haut-Doubs

10.2.2. Périmètre hydraulique

Le bon fonctionnement hydraulique repose sur le libre écoulement des débits de la rivière en lit mineur et majeur. Un bon fonctionnement hydraulique est donc étroitement lié à un fonctionnement morphologique approprié.

10.2.2.1. Périmètre optimal

Le périmètre hydraulique optimal correspond au secteur inondé en cas de crue exceptionnelle en considérant le retrait des infrastructures limitant la crue comme les digues par exemple.

Sur le secteur, la crue ayant permis la réalisation du PPRI est considérée comme centennale, on peut considérer que pour un tel débit, les divers aménagements du secteur sont transparents puisque largement submergés.

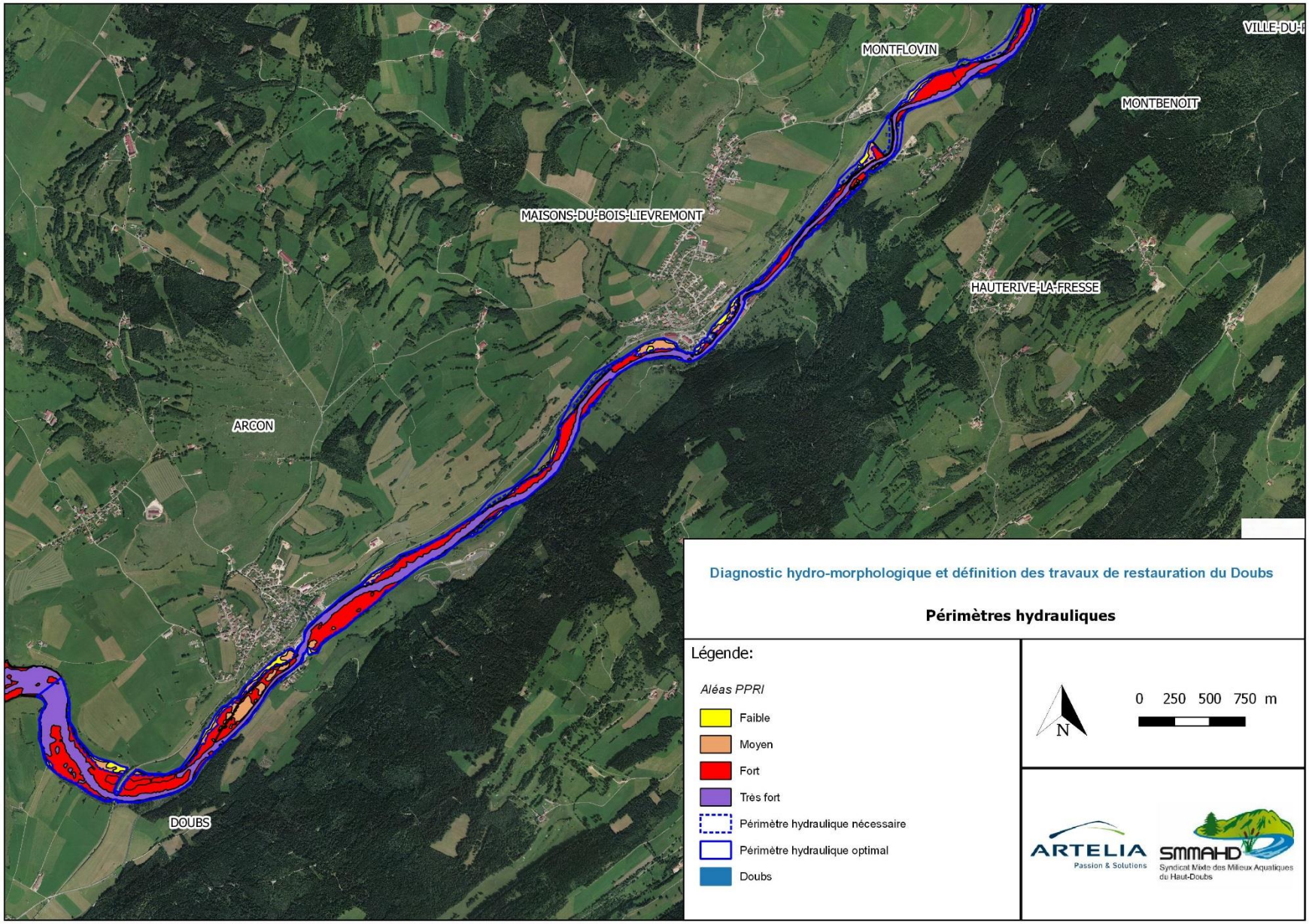
Par ailleurs, le périmètre morphologique étant l'espace permettant la continuité longitudinale et latérale au niveau sédimentaire, cet espace peut donc être, à plus ou moins long terme, potentiellement mobilisé par les écoulements de crue. Aussi, le périmètre hydraulique optimal se doit d'englober le périmètre morphologique optimal.

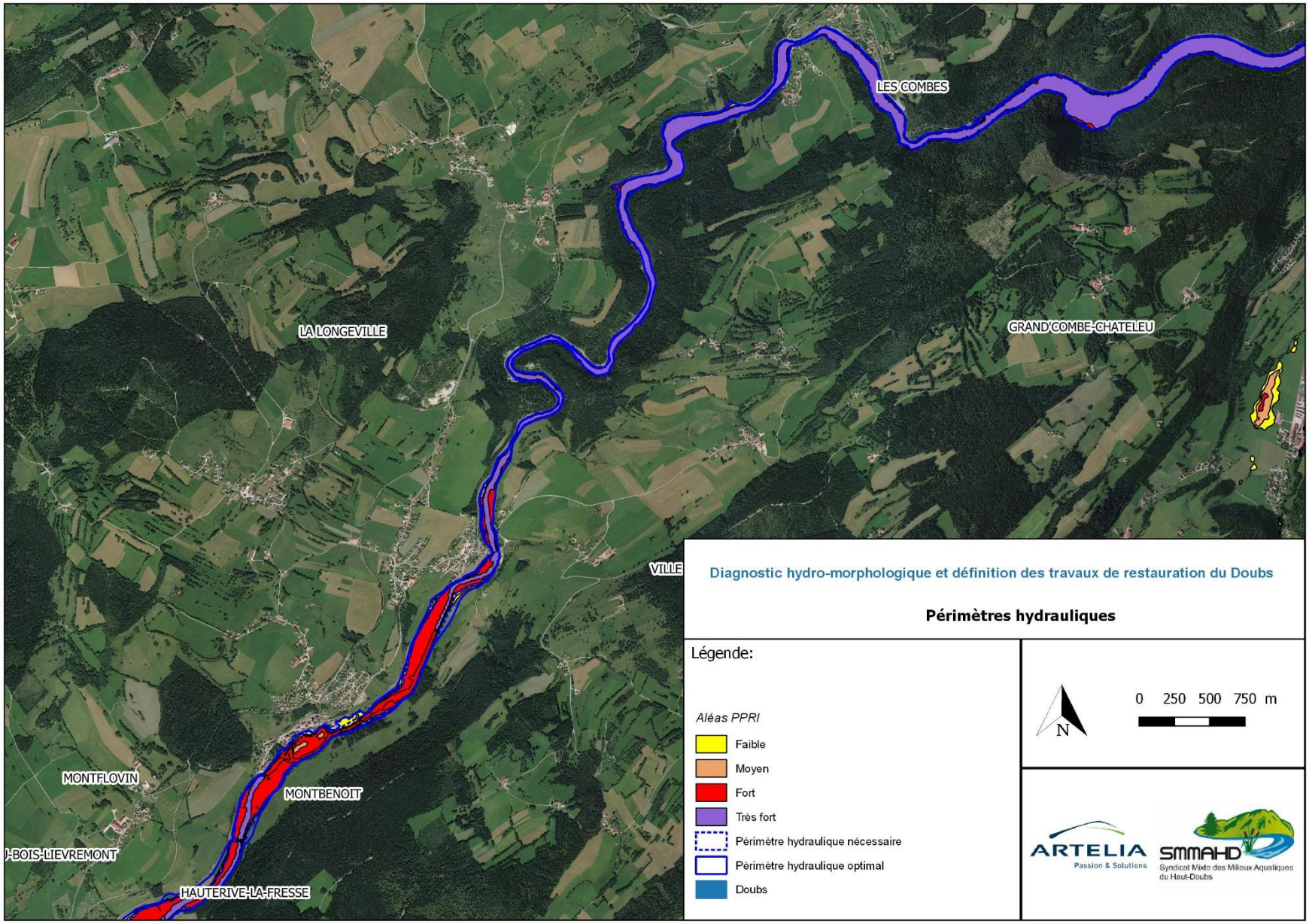
Le périmètre hydraulique optimal sur le secteur correspond donc à l'enveloppe de la crue du PPRI et est ajusté pour que le périmètre morphologique optimal soit englobé.

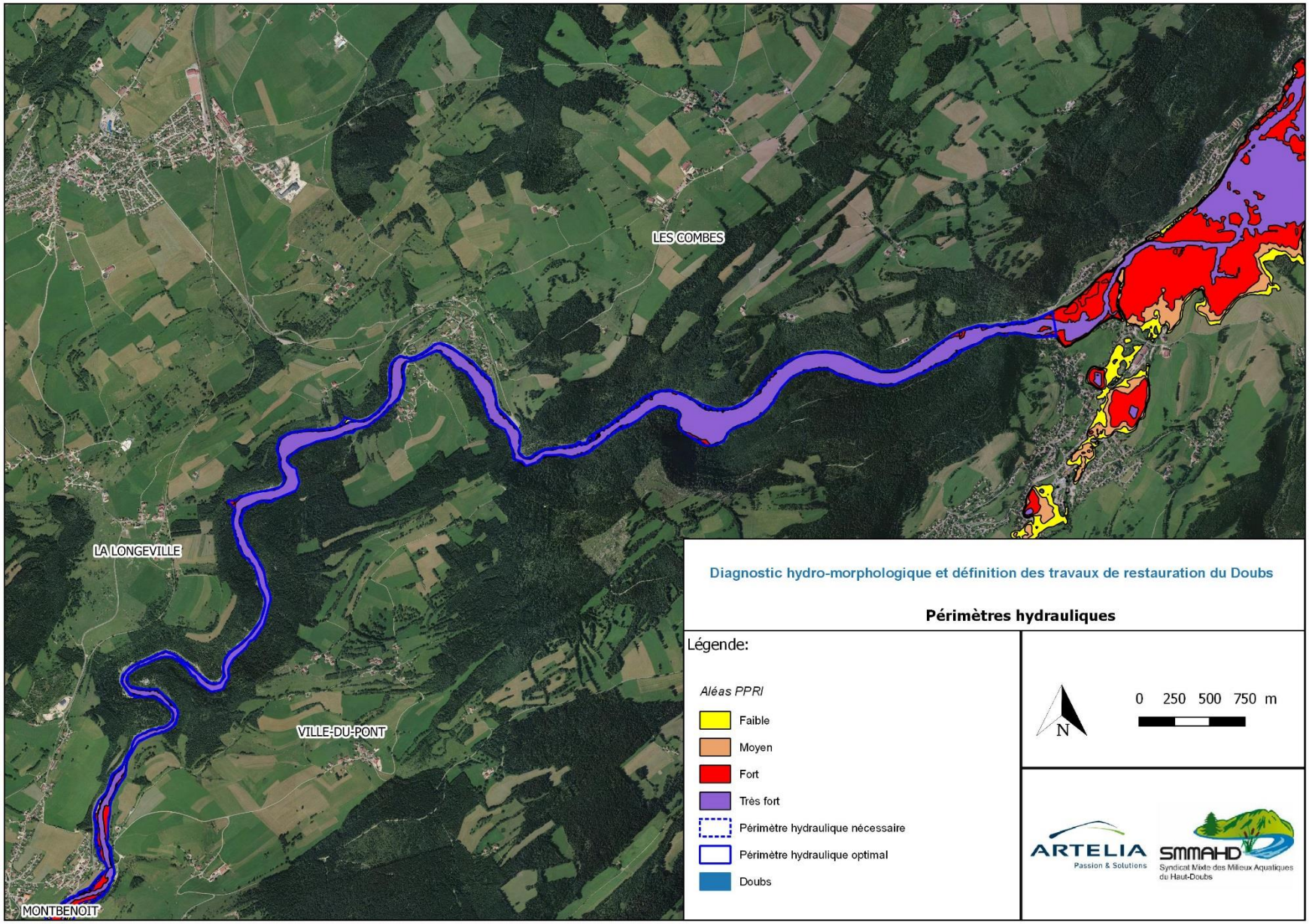
10.2.2.2. Périmètre nécessaire

La détermination du périmètre nécessaire s'appuie de même que pour le périmètre optimal sur l'enveloppe de la crue du PPRI. Dans le cas du périmètre nécessaire seules les zones situées en aléa fort et très fort ont été incluses. Le périmètre a ensuite été adapté afin d'englober le périmètre morphologique nécessaire.

10.2.2.3. Cartographie


MONTFLOVIN
MONTBENOIT
MAISONS-DU-BOIS-LIEVREMONT
HAUTERIVE-LA-FRESSE
ARCON
DOUBS
Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs
Périmètres hydrauliques
Légende:
Aléas PPRI
Faible
Moyen
Fort
Très fort
Périmètre hydraulique nécessaire
Périmètre hydraulique optimal
Doubs
N
0 250 500 750 m
ARTELIA
Passion & Solutions
SMMAHD
Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques du Haut-Doubs


LES COMBES
LA LONGEVILLE
GRAND'COMBE-CHATELEU
VILLE
MONTFLOVIN
MONTBENOIT
J-BOIS-LIEVREMONT
HAUTERIVE-LA-FRESSE
Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs
Périmètres hydrauliques
Légende:
Aléas PPRI
Faible
Moyen
Fort
Très fort
Périmètre hydraulique nécessaire
Périmètre hydraulique optimal
Doubs
N
0 250 500 750 m
ARTELIA
Passion & Solutions
SMMAHD
Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques du Haut-Doubs


LES COMBES
LA LONGEVILLE
VILLE-DU-PONT
MONTBENOIT
Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs
Périmètres hydrauliques
Légende:
Aléas PPRI
Faible
Moyen
Fort
Très fort
Périmètre hydraulique nécessaire
Périmètre hydraulique optimal
Doubs
N
0 250 500 750 m
ARTELIA
Passion & Solutions
SMMAHD
Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques du Haut-Doubs

10.2.3. Contexte biologique

En complément des périmètres morphologiques et hydrauliques, il est intéressant d'analyser le contexte biologique. Ce périmètre correspond théoriquement à l'espace permettant le développement de l'ensemble de la faune et la flore inféodés au cours d'eau.

Il est intéressant, dans ce cadre, de regarder les différents espaces protégées du secteur. Les seules zones à enjeux sont situées au droit du défilé. Cependant inclure l'intégralité de la ZNIEFF ne serait pas cohérent avec le contexte d'EBF. En effet cette zone est principalement protégée pour ses milieux liés à la présence de falaises, aussi ces espaces ne sont plus inféodés au cours d'eau. Seules les terrasses entre lesquelles le Doubs circule sur ce secteur se doivent d'être incluses dans l'EBF. En outre, elles sont liées au cours d'eau et présentent une diversité intéressante de par la présence de différents fossés et annexes hydrauliques qui entrecoupent ces herbages et sont favorables au développement de plusieurs habitats palustres.

10.2.4. Contexte hydrogéologique

Le bon fonctionnement hydrogéologique d'une rivière repose sur des échanges nappe-rivière fonctionnels. Ces échanges sont régis par 3 principaux facteurs :

- La fréquence de débordement de la rivière en lit majeur ;
- La perméabilité du lit majeur ;
- La présence de zones humides ou d'annexes dans le lit majeur.

Au vu des trois points abordés ci-dessus, il apparait clairement que le bon fonctionnement hydrogéologique repose sur un fonctionnement morphologique et hydraulique approprié.

Etant donné l'étendue de la nappe d'accompagnement du secteur et la particularité des zones de pertes, considérer un contexte de bon fonctionnement hydrogéologique étendu sur l'ensemble de la nappe présente peu d'intérêt et s'avère très complexe. Le respect des périmètres hydrauliques et morphologiques entrainent directement un fonctionnement hydrogéologique optimal. Aussi, ce périmètre n'a pas été délimité.

10.2.5. Contexte biogéochimique

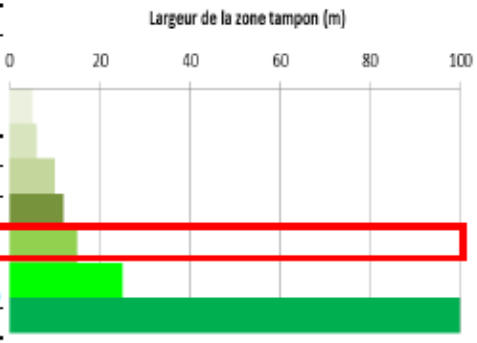
La qualité du fonctionnement biogéochimique d'une rivière repose sur l'évaluation de deux facteurs principaux :

- Les capacités auto-épuratrices qui reposent essentiellement sur le taux d'oxygénation de la rivière et donc de la végétation du lit et des berges ainsi que sur la diversité des écoulements ;
- Les capacités de limitation de transferts provenant de l'extérieur.

Le premier facteur étant complétement intégré au bon fonctionnement morphologique de la rivière, la prise en compte du bon fonctionnement biogéochimique peut se faire grâce à la mise en place d'une bande tampon limitant les transferts de polluant.

Il est conseillé de mettre en place un corridor d'une largeur de 15 mètres depuis le sommet de la berge. Cette largeur permet l'adsorption de 100% du phosphore dissous.

Largeur (m)	Estimation des gains
5	• Limitation du transfert de 50% du phosphore particulaire • Limitation du transfert de 50% de l'azote • Limitation au cours d'ea de 90 des produits en cours de pulvérisation • Influence sur la régulation des températures de l'eau
6	• Limitation du transfert de 60% des produits phytosanitaires
10	• Infiltration de 10% du ruissellement
12	• Limitation du transfert de 80% des produits phytosanitaires
15	• Limitation du transfert de 100% du phosphore particulaire et dissous
25	• Limitation du transfert de 75% de l'azote • Epuration de 80% des polluants diffus (phosphorse, nitrate, pesticides)
100	• Limitation du transfert de 90% de l'azote



Les largeurs proposées correspondent ici à des largeur de corridor rivulaire avec une végétation comprenant les différentes strates arbustives présentes naturellement

Sources

Coll et al. , 2008, L'arbre, la rivière et l'homme, CSPNB
Thèse de Thierry Thormos, Analyse à l'échelle régionale de l'impact de l'occupation du sol dans les corridors rivulaires sur l'état écologique des cours d'eau, 2010, IRSTEA AGROPARITECH
Carluer et al. , 2011, Guides de dimensionnement des zones tampons, IRSTEA, MEDDE
Gril, Henaff, 2010, Guide de diagnostic de l'efficacité des zones tampons rivulaires vis-à-vis du transfert hydrique des pesticides, ONEMA, IRSTEA
Groupe Zone Tampon, 2007, les fonctions environnementales des zones tampons, CORPEN
Paugam, Gril, 2008, Zones tampons et préservation des milieux aquatiques, CORPEN

Figure 96 Relation entre la largeur de corridor rivulaire et le gain biogéochimique

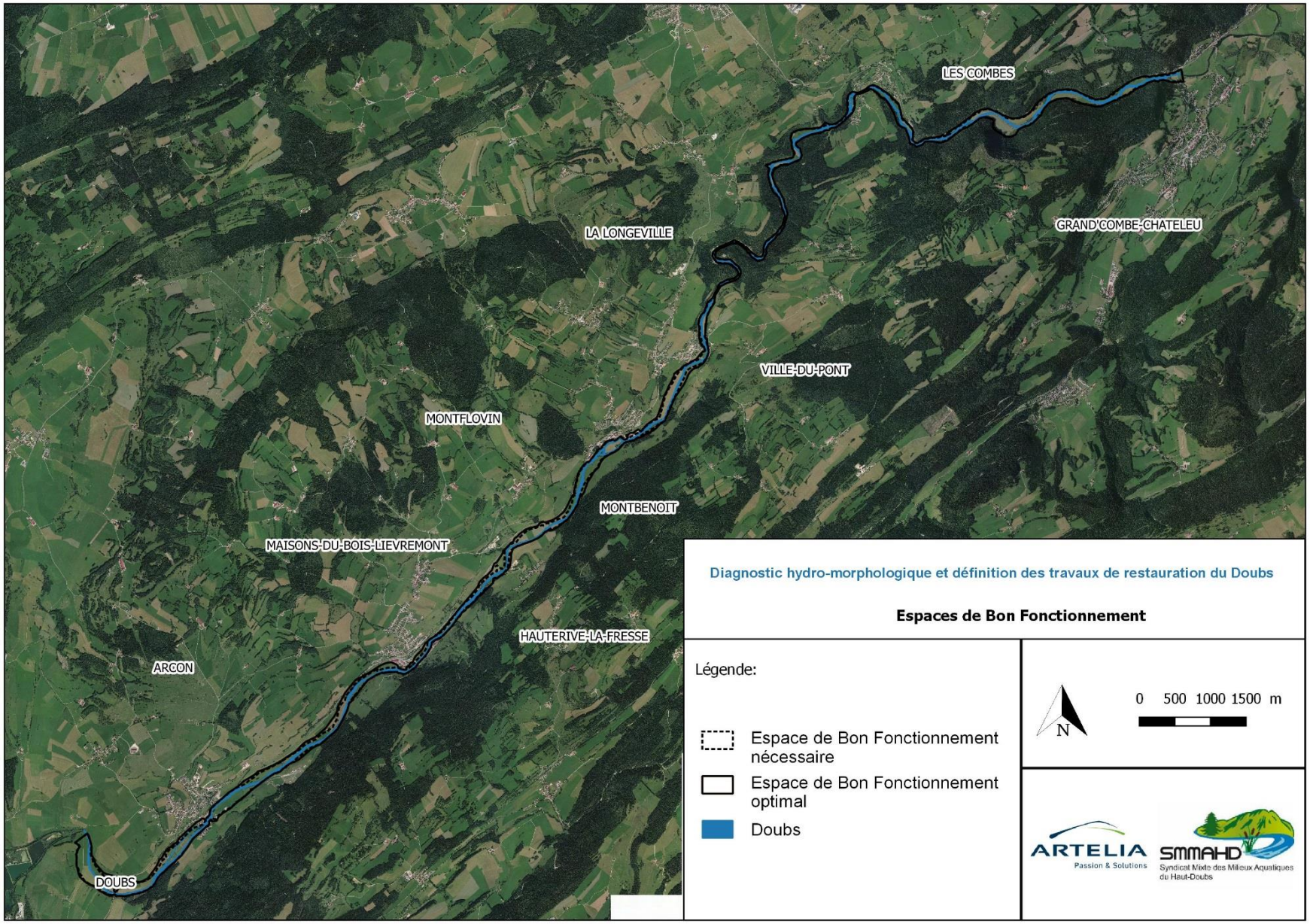
Le périmètre obtenue avec cette approche a donc une largeur de 30 mètres et est donc totalement inclus au sein des périmètres évoqués précédemment.

10.3. CHOIX DU PERIMETRE DE L'ESPACE DE BON FONCTIONNEMENT

Il apparait donc clairement que tous ces critères de bon fonctionnement sont interdépendants. Au regard des caractéristiques de l'étude, le périmètre hydraulique nous semble être le plus avantageux à prendre en compte en tant qu'EBF. Les autres périmètres apparaissent moins intéressant car :

- Le périmètre morphologique est très restreint du fait de la faible mobilité du cours d'eau ;
- La zone tampon découlant de la prise en compte du contexte biogéochimique est incluse dans le périmètre hydraulique ;
- Peu de zones environnementales remarquables liées au cours d'eau ne sont présentes sur notre secteur, les seules sont les terrasses au droit du défilé qui sont comprises dans le périmètre hydraulique.

Par ailleurs, par conception le périmètre hydraulique se doit d'englober le périmètre morphologique.


LES COMBES
GRAND'COMBE-CHATELEU
LA LONGEVILLE
VILLE-DU-PONT
MONTFLOVIN
MONTBENOIT
MAISONS-DU-BOIS-LIEVREMONT
HAUTERIVE-LA-FRESSE
ARCON
DOUBS
Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs
Espaces de Bon Fonctionnement
Légende:
Espace de Bon Fonctionnement nécessaire
Espace de Bon Fonctionnement optimal
Doubs
N
0 500 1000 1500 m
ARTELIA
Passion & Solutions
SMMAHD
Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques du Haut-Doubs

11. CONCLUSIONS DU DIAGNOSTIC

Le Doubs, sur notre secteur est un cours d'eau qui présente des altérations induites par des facteurs multiples. L'hydrologie de la rivière est complexe et interdépendante des pertes du secteur. Celles-ci induisent des étiages très sévères, menant souvent à des assecs et ayant un impact important sur la faune et la flore du secteur.

Les différents ouvrages hydrauliques présents sur le secteur d'étude, ont un impact certain sur le franchissement piscicole. Par ailleurs, la zone aval des gorges est fortement impactée par les ouvrages avec une importante partie de son linéaire située en zone de remous.

Concernant la morphologie du cours d'eau, il apparait que son tracé a été peu modifié au cours du temps. Les principaux dysfonctionnements sont visibles au travers de l'enfoncement de la rivière, le pavage du fond et la disparition de système latéraux induisant une chenalisation de la rivière et un étalement de la lame d'eau en étiage. Egalement, il n'est pas rare d'observer des sur-largeurs sur la rivière en particulier au droit des traversées urbaines ou des ouvrages hydrauliques. Ces dysfonctionnements sont la conséquence des usages passés et présents du cours d'eau (scieries, éclusés, flottage du bois, piétinement, mise en place de barrage,…).

La détermination de la qualité physique du cours d'eau s'est appuyée sur la méthode des tronçons. Globalement, les tronçons analysés sont en classe B avec l'hétérogénéité du secteur comme facteur le plus discriminant. La méthode, et plus particulièrement le score de connectivité, ne met malheureusement pas en évidence les dysfonctionnements observés lors du diagnostic morphologique notamment l'incision que présente certains secteurs. Ce constat peut s'expliquer par une notation issue de la méthode artificiellement soutenue par une incision limitée en raison de la présence de la dalle rocheuse.

Par ailleurs, le contexte économique environnant est la cause de plusieurs désordres impactant la rivière :

- La STEP de Pontarlier située en amont du site à l'étude, et les débordements fréquents des postes de refoulement, provoquent une dégradation de la qualité des eaux et des pollutions dans les sédiments ;

- Le contexte agricole du secteur et les nombreuses zones de pâturages bordant la rivière induisent le piétinement des berges et la pollution des eaux. La présence de drains agricoles au droit des zones humides bordant le cours d'eau a aussi un impact fort notamment lors des étiages.

Enfin, la ripisylve en berge est très appauvrie limitant les caches et zones ombragées pour le poisson. Par ailleurs une problématique liée aux espèces invasives existe sur le cours d'eau.

Toutes ces pressions ont une incidence sur les organismes liés au milieu aquatique. Il a en effet été montré que le peuplement piscicole est manifestement déstructuré avec l'absence ou la faible abondance de nombreuses espèces repères. En complément, un fort développement algal est visible en étiage, conséquence de la qualité de l'eau et des faibles débits transitant. Cette eutrophisation du milieu provoque l'appauvrissement de l'écosystème en place.

Egalement, l'intensification des étiages sévères est un paramètre à prendre en compte. L'assèchement du cours d'eau en 2018 a tristement illustré ce phénomène. En effet, les conditions météorologiques rencontrées étaient extrêmes et ont conduit à un débit transitant sur le secteur d'étude inférieur au débit prélevé par les pertes. Cela a donc inévitablement entrainé l'assèchement du cours d'eau. Les réflexions à mener concernant la gestion des débits d'étiage devront donc s'attacher à tenir compte des pertes en amont du secteur d'étude qui diminuent grandement les débits arrivant sur Arçon.

En concomitance avec ces phénomènes d'assec, l'étalement de la ligne d'eau induite par les diverses actions anthropiques tend à aggraver la situation.

Toutes ces altérations entrainent donc des perturbations impactant les peuplements biologiques du Doubs. Il convient ainsi de déterminer des solutions d'aménagement permettant de rétablir une situation plus conforme à ce vers quoi le Doubs pourrait tendre naturellement.

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs de Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Mission d'étude

Rapport de phase 2

E. Soncourt / Hydrogéologue

ARTELIA
Passion & Solutions

Février 2022

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Mission d'études

Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques du Haut-Doubs

Rapport de phase 2

VERSION	ÉTABLI(E) PAR	CONTROLÉ(E) PAR
B		

ARTELIA - INE
Agence Bourgogne - Franche-Comté
21 000 DIJON

SOMMAIRE

INTRODUCTION 8

A. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'OPERATION 10

1. CADRE LÉGISLATIF 11

1.1. Directive cadre européenne sur l'eau 11

1.2. SDAGE Rhone-Méditerrannée-Corse 12

1.3. SAGE Haut-Doubs Haute Loue 14

2. PÉRIMÈTRE DE LA MISSION 15

3. OBJECTIFS 15

B. SYNTHESE DE L'ETAT DES LIEUX 17

1. SYNTHÈSE 18

2. FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DU DOUBS 21

2.1. Ouvrages hydrauliques du secteur 21

2.1.1. Localisation 22

2.1.2. Linéaire influencé 24

2.2. Contexte hydraulique 27

2.2.1. Détermination des débits de plein-bord 27

2.2.2. Impacts des ouvrages 29

3. FONCTIONNEMENT GÉOMORPHOLOGIQUE 31

3.1. Evolution du tracé 31

3.2. Evolution de la section en travers 35

3.2.1. Evolution de largeur du lit plein bords au cours du temps 35

3.2.2. Analyse de la largeur et de la profondeur de plein bord 36

3.2.2.1. Largeur de plein bord 36

3.2.2.2. Profondeur de plein bord 38

3.3. Facteur d'évolution et conséquences 39

3.3.1. Eclusées du barrage du lac Saint Point 39

3.3.2. Flottage du bois sur le Doubs 39

3.3.3. Scierie du cours d'eau 39
3.3.4. Aménagement du cours d'eau 39
3.4. Conséquences 40
3.5. Analyse Morpho-sédimentaire 40
3.6. Tendance évolutive 44
3.6.1. Profil en long 44
3.6.2. Mobilité latérale 45
3.7. Synthèse des résultats 45
4. COMPOSANTE PHYSIQUE ET HABITATIONNELLE 45
4.1. Sectorisation 45
4.2. Résultats 49
5. COMPOSANTE HYDRO-ÉCOLOGIQUE 52
5.1. Qualité physico-chimique 52
5.2. Qualité hydrobiologique 52
5.3. Milieu rivulaire et végétation du lit 53
5.4. Espaces naturels patrimoniaux 54
5.4.1. Secteur protégé ou écologiquement intéressant 54
5.4.2. Zones humides 56
6. ANALYSE DES PERTES DU SECTEUR 60
6.1. Localisation des pertes 61
6.1.1. Pertes ponctuelles 61
6.1.2. Pertes diffuses 63
6.2. Débits 63
6.3. Evolution dans le temps 65
6.3.1. Evolutions passées 65
6.3.2. Evolutions prévisibles 65
7. CONTEXTE SOCIO-ÉCONOMIQUE 66
7.1. Occupation des sols 66
8. CONCLUSIONS DU DIAGNOSTIC 67
C. PROPOSITION DE STRATEGIE SUR LE DOUBS 69

1. LES ÉLÉMENTS D'UNE STRATÉGIE OPÉRATIONNELLE 70
1.1. Objectifs 70
1.2. Problématiques locales 70
1.3. Notion d'enjeux 70
1.4. La démarche proposée 70
2. HIÉRARCHISATION DES INTERVENTIONS 71
3. LOGIQUE D'INTERVENTION 73
3.1. Réhausse des fonds 73
3.1.1. Principe 73
3.1.2. Dimensionnement 74
3.1.3. Volume de réinjection 75
3.2. Mise en place de banquettes 76
3.2.1. Principe 76
3.2.2. Géométrie 76
3.3. Eléments de diversification 77
3.4. Remodelage 77
3.5. Reméandrement 79
3.6. Restauration de la continuité écologique 79
3.7. Gestion de la ripisylve et des berges 80
4. PRÉSENTATION DES FICHES 80
4.1. Tronçon 1 80
4.1.1. Fiche tronçon 80
4.1.2. Fiche action 82
4.2. Tronçon 2 86
4.2.1. Fiche tronçon 86
4.2.2. Fiches actions 87
4.3. Tronçon 3 96
4.3.1. Fiche tronçon 96
4.3.2. Fiches actions 98
4.4. Tronçon 4 104
4.4.1. Fiche tronçon 104

4.4.2. Fiche action 106
4.5. Tronçon 5 109
4.5.1. Fiche tronçon 109
4.5.2. Fiche action 111
4.6. Tronçon 6 114
4.6.1. Fiche tronçon 114
4.6.2. Fiches actions 116
4.7. Tronçon 7 122
4.7.1. Fiche tronçon 122
4.7.2. Fiches actions 124
4.8. Tronçon 8 131
4.8.1. Fiche tronçon 131
4.8.2. Fiches actions 133
4.9. Tronçon 9 137
4.9.1. Fiche tronçon 137
4.9.2. Fiche action 138
4.10. Tronçon 10 141
4.10.1. Fiche tronçon 141
4.10.2. Fiche action 142
4.11. Tronçon 11 143
4.11.1. Fiche tronçon 143
4.11.2. Fiche action 144
4.12. Tronçon 12 144
4.12.1. Fiche tronçon 144
4.12.2. Fiches actions 146
5. INCIDENCES HYDRAULIQUES 152
6. ELABORATION D'UN TRONÇON TEST 153
7. SYNTHÈSE 154

TABLEAUX

Tableau 1 Liste des ouvrages ROE 21
Tableau 2 Synthèse des résultats de l'analyse granulométrique par la méthode Wolman 41

Tableau 3 – Diamètre maximum mobilisé par la rivière à l'état aménagé pour chaque tronçon .....Erreur ! Signet non défini.
Tableau 4 - Estimation des volumes nécessaires pour rehausser les fonds 75
Tableau 5 Différents scenarii d'effacement d'ouvrage 79
Tableau 6 Différences de niveaux par rapport à l'état initial 153

FIGURES

Figure 1 Localisation des sous-bassins versants du Doubs 8
Figure 2 – Articulation entre le SDAGE et le programme de mesures 13
Figure 3 Communes du secteur d'étude 15
Figure 4 Localisation des profils analysés (1/2) 27
Figure 5 Localisation des profils analysés (2/2) 28
Figure 6 Graphique des débits de plein-bord du secteur 28
Figure 7 Lignes d'eau modélisées sur la partie amont du secteur 29
Figure 8 Lignes d'eau modélisées sur la partie médiane du secteur 30
Figure 9 Lignes d'eau modélisées sur la partie du défilé 30
Figure 10 Lignes d'eau modélisées sur la partie aval du secteur d'étude 31
Figure 11 Traces d'incision sur le secteur d'étude 36
Figure 12 Evolution de la largeur de plein-bord 37
Figure 13 Localisation des profils analysés (1/2) 37
Figure 14 Localisation des profils analysés (2/2) 38
Figure 15 Evolution de la hauteur de plein bord 38
Figure 16 Synthèse des courbes granulométriques cumulatives sur les radiers 42
Figure 17 Localisation des granulométries (1/2) 43
Figure 18 Localisation des granulométries (2/2) 44
Figure 19 Sectorisation du linéaire à l'étude sur le profil en long 46
Figure 20 Localisation des différents tronçons (1/2) 47
Figure 21 Localisation des différents tronçons (2/2) 48
Figure 22 Notes des différents tronçons (1/2) 50
Figure 23 Notes des différents tronçons (2/2) 51
Figure 24: Drains localisés en amont de Ville-du-Pont 60
Figure 25 Corrélation entre débit amont et débit des pertes 65
Figure 26 - Diagramme de Schields-Yalin 75
Figure 27 Schéma de principe d'un remodelage bilatéral 78

INTRODUCTION

Le Doubs est le principal affluent de la Saône. Il prend sa source dans le Doubs, sur la commune de Mouthe à une altitude de 937m, puis effectue un parcours de 453km jusqu'à sa confluence avec la Saône.

Il s'écoule majoritairement dans le département du Doubs et forme une boucle dans les Cantons de Neufchâtel et du Jura en Suisse, traverse une partie du Jura puis rejoint la Saône, dans le département de la Saône-et-Loire, drainant un important bassin versant d'une superficie de 7 710km2.

De sa source jusqu'à sa confluence avec la Saône, 5 sous bassins versant se distinguent (au sens du SDAGE) :

- Le Haut Doubs ;
- Le Doubs franco-suisse ;
- Le Doubs médian ;
- Le Doubs moyen ;
- La basse vallée du Doubs.

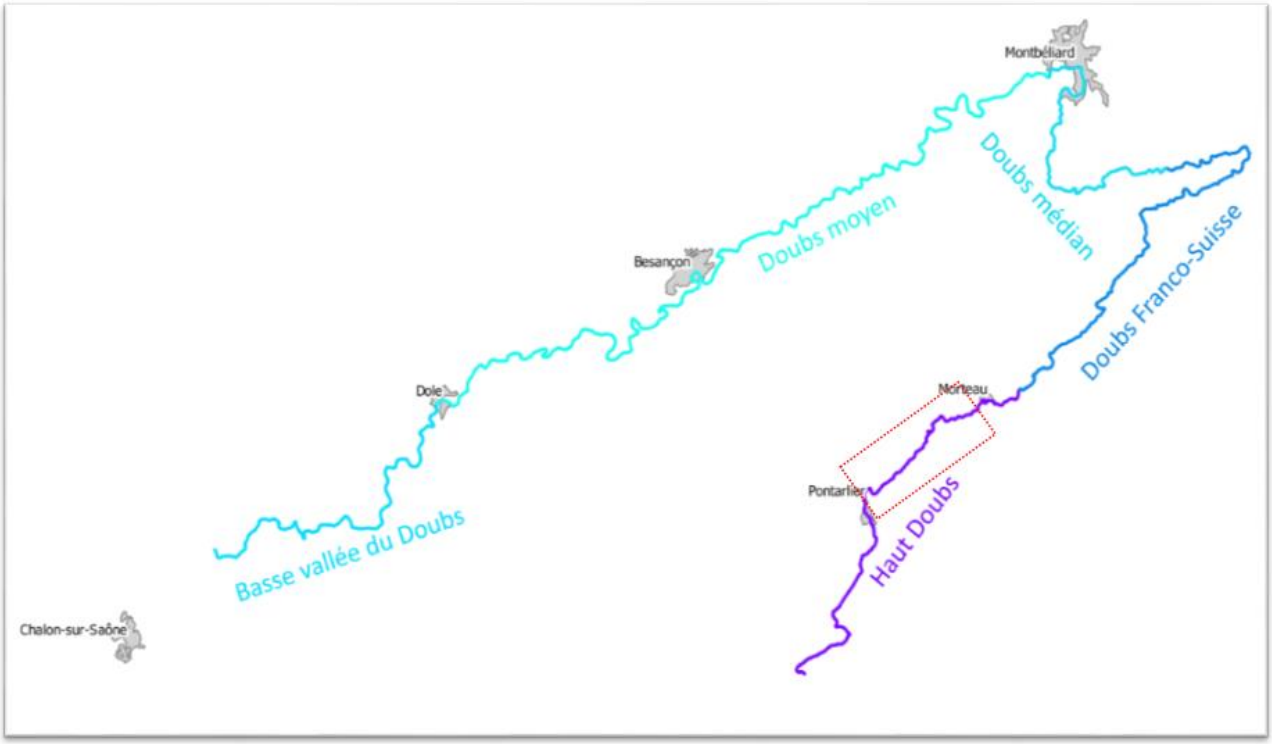


Figure 1 Localisation des sous-bassins versants du Doubs

Notre zone d'étude s'étend sur près de 25 km, de la confluence avec le Drugeon jusqu'à l'aval du défilé d'Entreroche et est donc située dans la partie du Haut-Doubs. Le Doubs sur notre secteur reçoit un de ses principaux affluents, le Drugeon, avant de s'écouler dans le val de Saugeais. Il s'insère ensuite dans le défilé d'Entreroche et le défilé du Coin de la Roche, une série de gorges escarpées débouchant sur le val de Morteau.

Le site est par ailleurs caractérisé par un contexte karstique important entrainant des pertes de débits. Les pertes du Doubs sont un phénomène naturel ancien lié à la nature karstique des terrains. Leur lien avec la source de la Loue a été

mis en évidence lors de l'incendie de l'usine Pernod de Pontarlier en août 1901, et confirmé par plusieurs traçages artificiels dès 1910. Le phénomène se manifeste principalement sur un linéaire de près de 5 km entre Arçon et Maisons-du-Bois, sous forme de pertes diffuses ou localisées. L'été 2018 a dramatiquement illustré ce phénomène avec un important assec du cours d'eau sur la presque totalité du linéaire à l'étude depuis Arçon / Maisons du Bois jusqu'en aval de Morteau.

Le secteur est situé sur la masse d'eau FRDR638 – Le Doubs de l'amont de Pontarlier à l'amont du bassin de Chaillexon (sous bassin DO_02_12 Haut-Doubs). Cette masse d'eau fait l'objet d'une mesure « réaliser une opération de restauration de grande ampleur de l'ensemble des fonctionnalités d'un cours d'eau » dans le programme de mesure du SDAGE 2016-2021. Le sous bassin est intégré au SAGE du Haut Doubs Haute Loue et au contrat de territoire associé.

A. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'OPERATION

1. CADRE LEGISLATIF

1.1. DIRECTIVE CADRE EUROPEENNE SUR L'EAU

La Directive Cadre européenne sur l'Eau (DCE – 2000/60/CE) a été transposée en droit français en 2004. Cette directive définit un certain nombre d'objectifs environnementaux, dont l'objectif global vise l'atteinte du bon état de toutes les masses d'eau à l'horizon 2027 (cours d'eau, lacs, eaux côtières, eaux souterraines).

Parmi ces objectifs environnementaux, on retrouve notamment :

- La prévention de la détérioration supplémentaire de l'état des masses d'eau, c'est-à-dire ne pas dégrader l'état actuel,
- L'amélioration de la qualité des eaux, passant par l'élimination des rejets de substances dangereuses prioritaires, le respect des normes de rejets fixées,…
- Assurer la continuité écologique latérale et longitudinale des cours d'eau (libre circulation piscicole et rétablissement du transit sédimentaire),
- La préservation ou restauration des conditions morphologiques (diversité des faciès d'écoulement, connectivité latérale avec les milieux annexes),
- Le maintien de berges naturelles et diversifiées, passant notamment par une gestion efficace de la végétation rivulaire,
- …

Comme on peut le voir, la notion de « bon état » comprend plusieurs composantes que sont le bon état chimique et le bon état écologique des eaux :

- Le bon état écologique comprend à la fois la qualité biologique (composante vivante qu'est la faune et la flore) et la qualité physique des milieux de vie (composante mésologique comme la diversité des milieux, la morphologie, la qualité des eaux, …). L'état écologique est appréhendé au travers d'éléments biologiques (IBGN, IBD et IPR classés en 5 classes), d'éléments physico-chimiques généraux (en 5 classes également) et d'éléments polluants spécifiques (en 3 classes).
- Le bon état chimique est relatif à la pollution des eaux, appréhendée au travers de 41 substances prioritaires et dangereuses (classées en 2 classes de qualité).

Afin de déterminer l'état des eaux, des valeurs-seuils provisoires sont mentionnées dans la circulaire DCE 2005/12 pour l'état écologique, et la circulaire DCE 2007/23 pour l'état chimique (composé de 41 substances).

Pour atteindre le bon état sur une masse d'eau « cours d'eau », il faut que l'état écologique ainsi que chimique soient au minimum classés comme bons. D'où l'importance d'intervenir en parallèle sur la gestion et l'amélioration de la qualité des eaux et de la qualité physique des hydrosystèmes.

Le Doubs sur notre secteur a un objectif de « Bon État » pour l'année 2027

Haut Doubs - DO_02_12			
FRDR638	Le Doubs de l'amont de Pontarlier à l'amont du bassin de Chaillexon	Cours d'eau	Masse d'eau naturelle

Objectif d'état écologique :	bon état **Echéance :** 2027	**Objectif d'état chimique sans ubiquiste -** **Echéance :**	2015
		Objectif d'état chimique avec ubiquiste - **Echéance :**	2027
Motivations en cas de recours aux dérogations :	Faisabilité technique, Coûts disproportionnés	**Motivations en cas de recours aux dérogations :**	Faisabilité technique
Paramètres faisant l'objet d'une adaptation :	Continuité, morphologie, hydrologie, substances dangereuses, matières organiques et oxydables	**Paramètres faisant l'objet d'une adaptation :**	Benzo(g,h,i)perylène + Indeno(1,2,3-cd)pyrène

Objectif plus strict au titre des zones protégées :

Mesures pour atteindre les objectifs de bon état		
Pression à traiter :	**Altération de la morphologie**	
	MIA0203	Réaliser une opération de restauration de grande ampleur de l'ensemble des fonctionnalités d'un cours d'eau et de ses annexes
Pression à traiter :	**Altération de l'hydrologie**	
	RES0202	Mettre en place un dispositif d'économie d'eau auprès des particuliers ou des collectivités
	RES0701	Mettre en place une ressource de substitution
Pression à traiter :	**Pollution ponctuelle par les substances (hors pesticides)**	
	IND0101	Réaliser une étude globale ou un schéma directeur portant sur la réduction des pollutions associées à l'industrie et de l'artisanat
	IND0201	Créer et/ou aménager un dispositif de traitement des rejets industriels visant principalement à réduire les substances dangereuses (réduction quantifiée)
	IND0301	Mettre en place une technologie propre visant principalement à réduire les substances dangereuses (réduction quantifiée)
	IND0901	Mettre en compatibilité une autorisation de rejet avec les objectifs environnementaux du milieu ou avec le bon fonctionnement du système d'assainissement récepteur
Pression à traiter :	**Pollution ponctuelle urbaine et industrielle hors substances**	
	ASS0201	Réaliser des travaux d'amélioration de la gestion et du traitement des eaux pluviales strictement
Mesures pour atteindre l'objectif de réduction des émissions de substances		
	IND0901	Mettre en compatibilité une autorisation de rejet avec les objectifs environnementaux du milieu ou avec le bon fonctionnement du système d'assainissement récepteur
	IND12	Mesures de réduction des substances dangereuses

1.2. SDAGE RHONE-MEDITERRRANNEE-CORSE

L'ambition du SDAGE est de (re)donner leur juste place aux milieux aquatiques sur le territoire. De ce point de vue, la préservation et la reconquête progressive des espaces de bon fonctionnement des milieux aquatiques est un enjeu essentiel.

Cette étude sur notre secteur du Doubs répond tout particulièrement à l'orientation fondamentale n°6A intitulée « Agir sur la morphologie et le décloisonnement pour préserver et restaurer les milieux aquatiques » du Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) Rhône-Méditerranée (2016-2021).

En association avec les orientations fondamentales du SDAGE et leurs dispositions, le Programme De Mesures regroupe les moyens d'action que se donne le bassin pour réussir à atteindre les objectifs du SDAGE.

Le programme de mesures (PDM), arrêté par le Préfet coordonnateur de bassin, recense les actions clés dont la mise en œuvre est nécessaire pour l'atteinte des objectifs environnementaux du schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE).

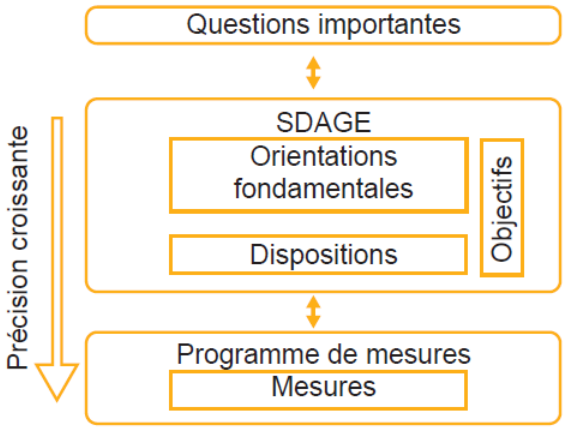


Figure 2 – Articulation entre le SDAGE et le programme de mesures

Le Programme De Mesures (PDM) 2016 - 2021 du SDAGE Rhône-Méditerranée prévoit, entre autres, sur le bassin du Haut-Doubs les mesures suivantes :

- Concernant l'altération de la morphologie :
  - MIA0101 Réaliser une étude globale ou un schéma directeur visant à préserver les milieux aquatiques ;
  - MIA0202 Réaliser une opération classique de restauration d'un cours d'eau ;
  - MIA0203 Réaliser une opération de restauration de grande ampleur de l'ensemble des fonctionnalités d'un cours d'eau et de ses annexes ;
  - MIA0602 Réaliser une opération de restauration d'une zone humide ;
- Concernant l'altération de l'hydrologie :
  - MIA0303 Coordonner la gestion des ouvrages ;
  - RES0202 Mettre en place un dispositif d'économie d'eau auprès des particuliers ou des collectivités ;
  - RES0701 Mettre en place une ressource de substitution
- Concernant les pollutions ponctuelles par les substances :
  - IND0101 Réaliser une étude globale ou un schéma directeur portant sur la réduction des pollutions associées à l'industrie et de l'artisanat ;
  - IND0201 Créer et/ou aménager un dispositif de traitement des rejets industriels visant principalement à réduire les substances dangereuses (réduction quantifiée) ;
  - IND0301 Mettre en place une technologie propre visant principalement à réduire les substances dangereuses (réduction quantifiée) ;
  - IND0901 Mettre en compatibilité une autorisation de rejet avec les objectifs environnementaux du milieu ou avec le bon fonctionnement du système d'assainissement récepteur ;
- Concernant les pollutions ponctuelles urbaines et industrielles hors substances :
  - ASS0101 Réaliser une étude globale ou un schéma directeur portant sur la réduction des pollutions associées à l'assainissement ;

- ASS0201 Réaliser des travaux d'amélioration de la gestion et du traitement des eaux pluviales strictement ;
- ASS0302 Réhabiliter et ou créer un réseau d'assainissement des eaux usées hors Directive ERU (agglomérations de toutes tailles) ;
- ASS0502 Equiper une STEP d'un traitement suffisant hors Directive ERU (agglomérations >=2000 EH) ;

- Concernant les prélèvements :
  - RES0202 Mettre en place un dispositif d'économie d'eau auprès des particuliers ou des collectivités ;
  - RES0701 Mettre en place une ressource de substitution.

1.3. SAGE HAUT-DOUBS HAUTE LOUE

Les Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) sont des procédures définies dans la Loi sur l'Eau du 03 janvier 1992, rénovées et confortées par la LEMA du 30 décembre 2006 (portée juridique, contenu, conception, élaboration, mise en œuvre). Il s'agit d'un document de planification à l'échelle d'une Unité Hydrographique Cohérente (UHC), c'est-à-dire d'un bassin versant. Il recherche un équilibre durable entre la protection des milieux aquatiques (ressource en eau) et la satisfaction des usagers, en répondant à l'objectif de bon état des masses d'eau introduit par la DCE.

Le SAGE formalise les règles de gestion et les objectifs négociés et définis par les acteurs locaux réunis au sein de la Commission Locale de l'Eau (CLE). Les enjeux centraux du SAGE identifiés sont le rétablissement du bon fonctionnement des milieux aquatiques et la gestion durable de la ressource tant en quantité qu'en qualité, tenant compte du contexte karstique du bassin. Parallèlement à ces deux enjeux majeurs, quatre enjeux transversaux ont été identifiés :

- Le développement de la connaissance, du suivi et de la communication ;
- L'amélioration de la gouvernance et des services publics locaux ;
- La conciliation des usages de loisirs ;
- La maîtrise du foncier.

	Enjeu majeur 1 : milieux	**Enjeu majeur 2 : ressource**	Enjeu transversal 1 : connaissance	Enjeu transversal 2 : gouvernance	Enjeu transversal 3 : usages loisirs	Enjeu transversal 4 : foncier
Objectif général A : fonctionnalité milieux						
Objectif général B : équilibre quantitatif						
Objectif général C : qualité de l'eau						
Objectif général D : qualité de l'eau potable						
Objectif général E : mise en œuvre SAGE						
Objectif général F : sports de loisirs						

2. PERIMETRE DE LA MISSION

Le projet est localisé sur les 8 communes de Doubs, Arçon, Maisons du bois Lièvremont, Hauterive-le-Fresse, Montbenoit, Ville du Pont, les Combes, Grand Combes-Châteleu.

Il concerne un linéaire de 24.6 km sur le Doubs, de la confluence du Drugeon à la sortie du défilé d'Entreroche (lieudit le Mauvais Pas).

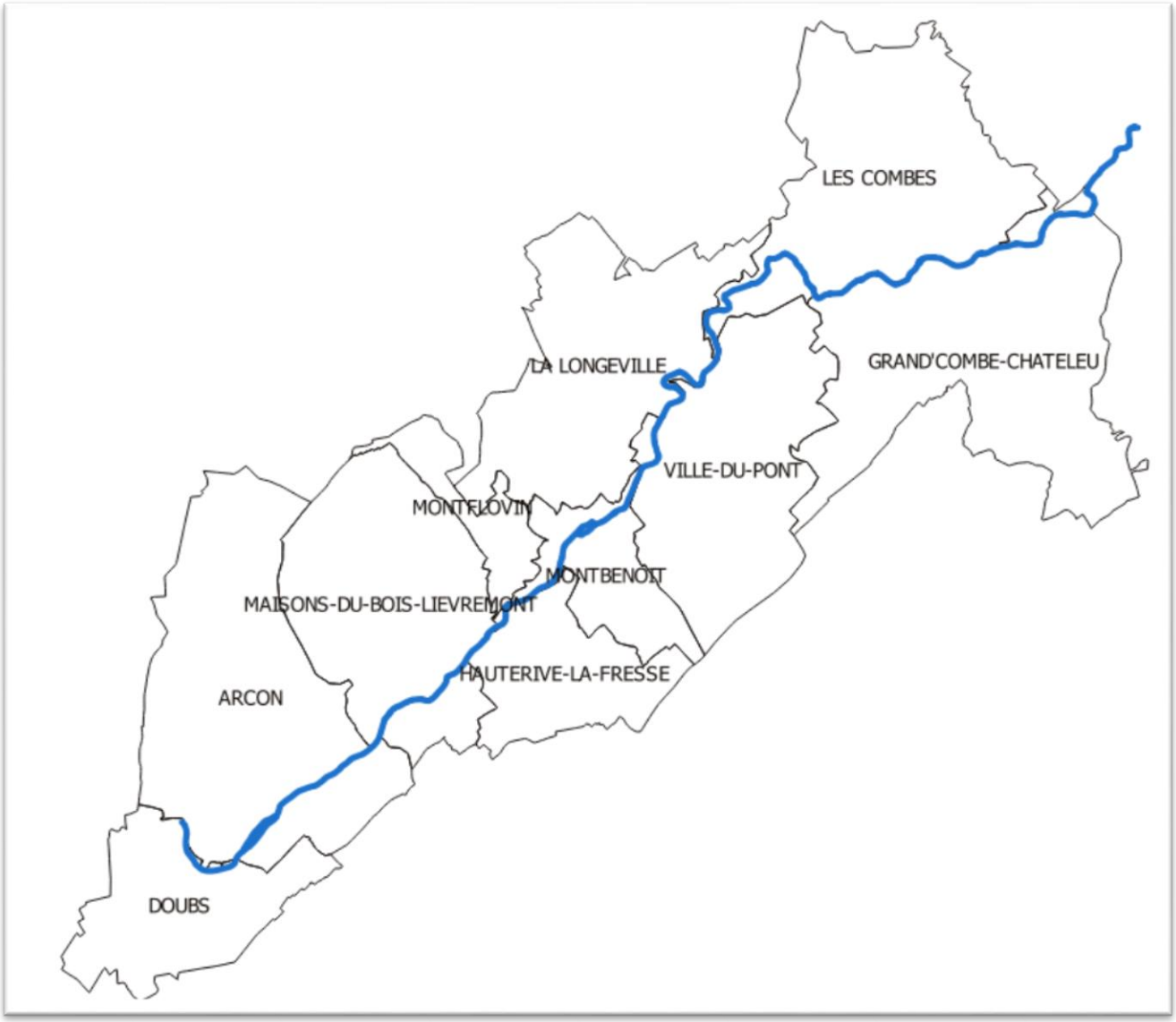


Figure 3 Communes du secteur d'étude

3. OBJECTIFS

La présente étude a pour finalité de constituer un programme de restauration hydromorphologique du Doubs entre Pontarlier et Morteau. Plus concrètement, des avant-projets de restauration seront à proposer, ceux-ci viseront à :

- Améliorer l'hydromorphologie du Doubs ;
- Améliorer les paramètres biologiques du cours d'eau.

L'atteinte de ces objectifs nécessite néanmoins la prise en compte de certains enjeux :

- L'existence de pertes karstiques sur la moitié amont du secteur ;
- La présence de plusieurs bourgs situés sur les berges de la rivière ;
- Un usage agricole du sol dominé principalement par des pâtures.

Ce document correspond à la deuxième phase de la mission. Il fait suite au premier rapport d'etat des lieux / diagnostic qui s'est efforcé de décrire et d'analyser le fonctionnement hydraulique et éco-morphologique du tronçon du Doubs étudié, afin d'en comprendre les particularités dans l'objectif de proposer un programme d'action opérationnel et durable.

L'objet du présent mémoire est de présenter au Comité de Pilotage, un programme de gestion de Doubs et de son lit majeur à l'intérieur de l'espace de bon fonctionnement défini selon le guide technique du SDAGE RMC.

B. SYNTHESE DE L'ETAT DES LIEUX

Les informations présentées dans les paragraphes ci-après se basent sur les éléments du diagnostic réalisé lors de la première phase d'étude.

1. SYNTHESE

Le tableau ci-après s'attache à résumer les différents points mentionnés dans le diagnostic. Les éléments sont ensuite plus amplement détaillés si nécessaire au sein des paragraphes suivants.

Thématique	Contexte sur le secteur
Hydrologie	• Bassin versant de 576 km² ; • Débits caractéristiques disponibles sur la station de Ville-du-Pont ; • Pertes sur la partie amont du linéaire à l'étude impactant fortement l'hydrologie en étiage (assecs fréquents)
Hydraulique	• Nombreux ouvrages sur le secteur avec, sur la partie à l'aval du défilé, près de 42% du linéaire sous influence ; • Débordements compris entre 3*Module et la Q2 avec une augmentation des débits de plein-bords au droit des traversée urbaines
Morphologie	• Analyse diachronique ne montrant pas de modification majeure du tracé en plan postérieure au XVIIème ; • Suppression de plusieurs ouvrages hydrauliques ayant pu avoir un impact localisé sur le profil en long (érosion régressive limitée par la roche affleurante) ; • Bande active du cours d'eau qui a diminué au cours du temps traduisant les phénomènes d'incision existant ; • Sur-largeurs observés au droit des traversées urbaines et des ouvrages (pont ou barrages) ; • Usages historiques ayant eu un impact sur cette morphologie : o Eclusée de barrages en amont du secteur (Saint-Point) ; o Flottage du bois ; o Nombreuses scieries anciennement présentes au fil du Doubs avec curage fréquents des biefs ; o Aménagement divers (gestion des inondations, aménagement de la rivière pour la mise en place d'ouvrages, enlèvement de blocs,…)
Morpho-sédimentaire	• Apports sédimentaires au droit des gorges et sur les versants calcaires ; • Le Doubs sur notre secteur présente les caractéristiques d'un cours d'eau peu dynamique (faible mobilité, bancs végétalisé, peu de stock alluvionnaire) ;
Qualité physique	• Tronçons classés en catégorie B ;

	• Hétérogénéité apparaissant comme le score le plus limitant ; • Connectivité ne reflétant pas l'incision observée dans le contexte morphologique ;
Qualité physico-chimique	• Qualité physico-chimique dégradée par la présence de la STEP en mont, la traversée de plusieurs centres bourgs, l'activité agricole et le débordement fréquent de postes de refoulement ;
Qualité hydrobiologique	• Disparition des espèces piscicoles ou macro-invertébrés sensibles dû à la qualité et la thermie de l'eau ;
Milieu rivulaire	• Ripisylve peu présente en berge ; • Présence d'espèces invasives ; • Prolifération algale en étiage
Espaces naturels et patrimoniaux	• 3 ZNIEFF de type I aux abords du projet ; • 1 secteur situé en arrêté de protection du biotope au sein de la zone à l'étude ; • Nombreuses zones humides situées sur les berges du Doubs
Perte / Géologie	• Pertes situées sur les zones d'affleurement des calcaires du Jurassique supérieur, sur le secteur les pertes affectent principalement le secteur compris entre l'amont d'Arçon et Maisons-du-Bois ; • Pas d'évolution significative du débit des pertes sur les 30 dernières années ; • L'assec de 2018 se caractérise par un contexte climatologique exceptionnel (été le plus chaud et le plus sec observé depuis le début des mesures météorologiques)
Contexte socio-économique	• Occupation des sols dominée par un contexte prairial ; • Deux monuments historiques au droit du secteur ; • Plusieurs sites inscrits ou classés ;
EBF	• Espace de Bon Fonctionnement principalement délimité par le périmètre hydraulique.

2. FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DU DOUBS

2.1. OUVRAGES HYDRAULIQUES DU SECTEUR

Sur les 25 km de la zone d'étude, on dénombre 21 ouvrages identifiés au ROE induits par des radiers de ponts ou des seuils en rivières. Ces ouvrages sont autant de blocages pour les continuités écologiques. Une grande partie du linéaire à l'étude est concernée par la zone de remous d'un ouvrage avec des faciès d'écoulement lentiques, un réchauffement des eaux et un colmatage des fonds dommageable pour la vie aquatique (notamment pour ce cours d'eau de première catégorie piscicole).

Les différents ouvrages ROE sont listés ci-dessous :

Tableau 1 Liste des ouvrages ROE

ID ROE	Nom	Type	Sous-type
ROE27974	Prise d'eau du barrage de Remonot	Seuil en rivière	Déversoir
ROE27975	Passage à Gué sur le canal	Seuil en rivière	Radier
ROE27976	Pont de Ville du Pont	Obstacle induit par un pont	Radier de pont
ROE27977	Scierie de Loye Longe	Seuil en rivière	Déversoir
ROE27978	Barrage de Taillanderie de Maisons du Bois	Seuil en rivière	Déversoir
ROE8935	pont de la roche	Obstacle induit par un pont	Radier de pont
ROE27979	Sortie du canal d'Arçon	Seuil en rivière	Déversoir
ROE27980	Barrage d'Arçon	Seuil en rivière	Déversoir
ROE8937	pont de Morteau	Obstacle induit par un pont	Radier de pont
ROE27981	Prise d'eau du canal d'Arçon	Seuil en rivière	Déversoir
ROE27989	Pont de Remonot	Obstacle induit par un pont	Radier de pont
ROE27991	Passerelle de Montbenoît	Obstacle induit par un pont	Radier de pont
ROE6710	barrage de Morteau	Seuil en rivière	Déversoir
ROE27992	Pont du Camping de Montbenoît	Obstacle induit par un pont	Radier de pont
ROE27993	Passerelle d'Hauterive	Obstacle induit par un pont	Radier de pont
ROE27994	Pont d'Hauterive la Fresse	Obstacle induit par un pont	Radier de pont
ROE27995	Pont de Maisons du Bois	Obstacle induit par un pont	Radier de pont
ROE29536	Passerelle de la Scierie Mougin à Loye Longe	Obstacle induit par un pont	Radier de pont
ROE27997	Pont d'Arçon	Obstacle induit par un pont	Radier de pont

ROE27998	Pont des Oyes SNCF Gilley	Obstacle induit par un pont	Radier de pont
ROE7490	barrage du pont du diable	Seuil en rivière	Enrochements
ROE27973	barrage de Remonot (détruit)	Seuil en rivière	Déversoir

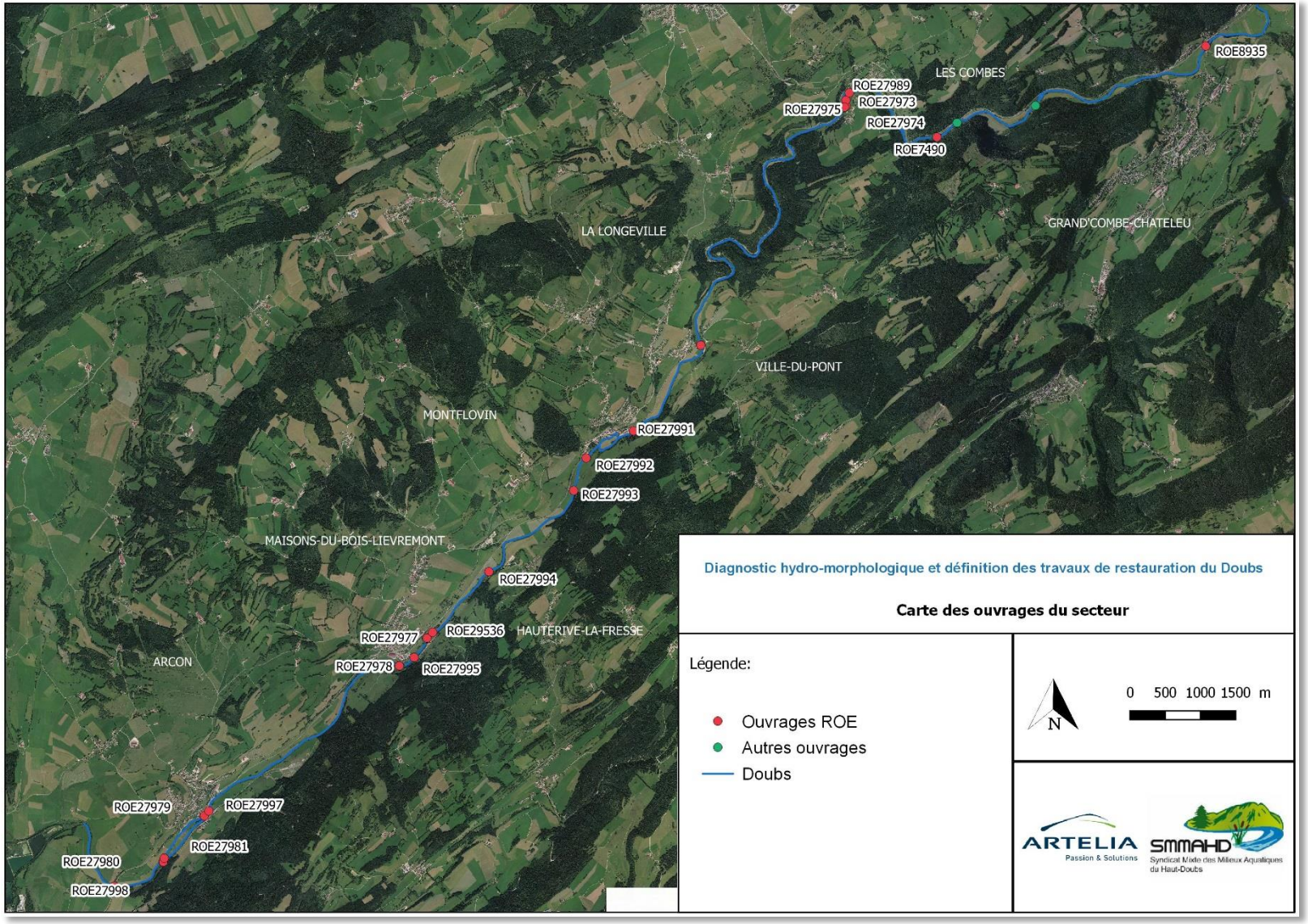
Au total cette liste contient :

- 10 ouvrages hydrauliques de type seuil, dont le barrage de Morteau. En effet, bien que celui-ci soit hors secteur d'étude sa zone d'influence s'étend jusqu'à l'aval du défilé ;
- 12 ouvrages de franchissement de type pont ou passerelle.

En complément, deux seuils en enrochement ont été localisés au sein du défilé lors du parcours de terrain.

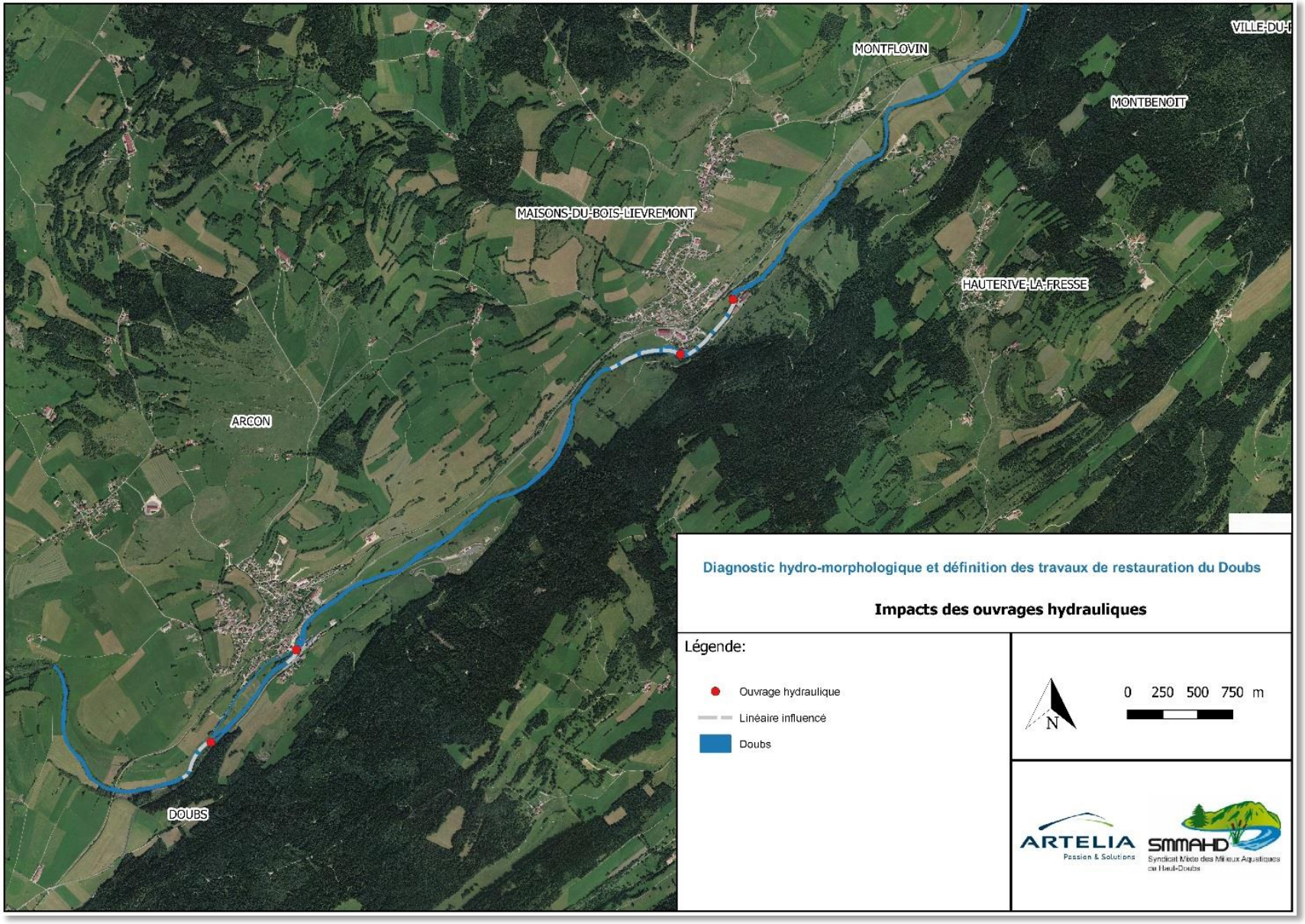
2.1.1. Localisation

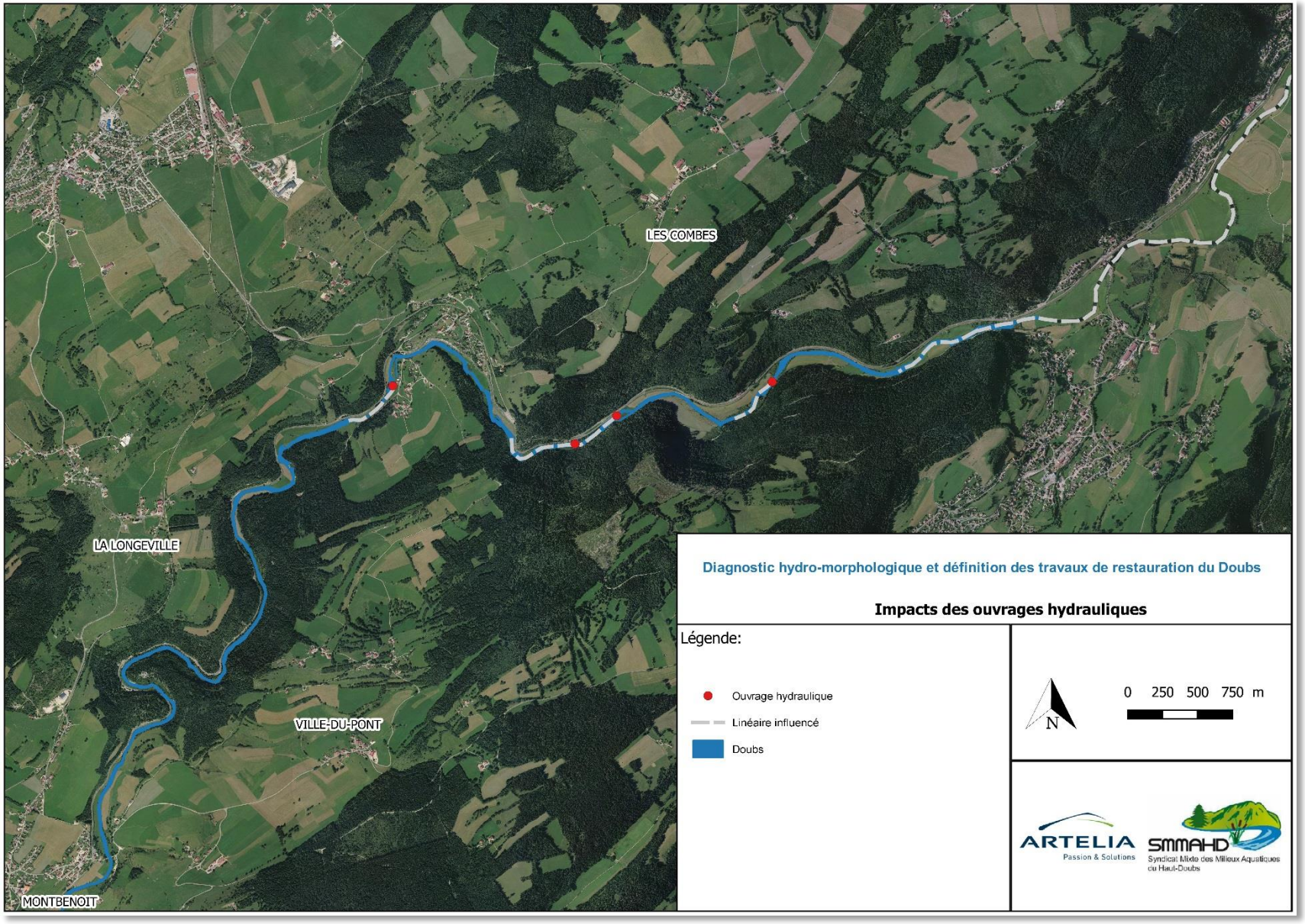
La carte ci-après localise les différents ouvrages évoqués.


ROE8935
LES COMBES
ROE27989
ROE27973
ROE27975
ROE27974
ROE7490
LA LONGEVILLE
GRAND'COMBE-CHATELEU
VILLE-DU-PONT
MONTFLOVIN
ROE27991
ROE27992
ROE27993
MAISONS-DU-BOIS-LIEVREMONT
ROE27994
ROE27977
ROE29536
HAUTERIVE-LA-FRESSE
ARCON
ROE27978
ROE27995
ROE27979
ROE27997
ROE27981
ROE27980
ROE27998
Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs
Carte des ouvrages du secteur
Légende:
Ouvrages ROE
Autres ouvrages
Doubs
N
0 500 1000 1500 m
ARTELIA
Passion & Solutions
SMMAHD
Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques du Haut-Doubs

2.1.2. Linéaire influencé

L'ensemble des zones de retenues engendrées par les ouvrages a été cartographié. Au total on comptabilise un linéaire influencé égal à 3.46 km. Notons par ailleurs que sur la partie aval des gorges, à l'aval de Remonot, sur un linéaire total de 5.6 km on observe 2.38 km influencé par des ouvrages soit 42 % de la rivière sur ce secteur.


MONTFLOVIN
MONTBENOIT
MAISONS-DU-BOIS-LIEVREMONT
HAUTERIVE-LA-FRESSE
ARCON
DOUBS
Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs
Impacts des ouvrages hydrauliques
Légende:
Ouvrage hydraulique
Linéaire influencé
Doubs
N
0 250 500 750 m
ARTELIA
Passion & Solutions
SMMAHD
Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques du Haut-Doubs


LES COMBES
LA LONGEVILLE
VILLE-DU-PONT
MONTBENOIT
Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs
Impacts des ouvrages hydrauliques
Légende:
Ouvrage hydraulique
Linéaire influencé
Doubs
N
0 250 500 750 m
ARTELIA
Passion & Solutions
SMMAHD
Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques du Haut-Doubs

2.2. CONTEXTE HYDRAULIQUE

Lors de la première phase d'étude un modèle hydraulique détaillant le fonctionnement du site à moyen et haut-débit a été réalisé. Les principaux éléments tirés de celui-ci sont détaillés ci-dessous.

2.2.1. Détermination des débits de plein-bord

Le débit de plein bord correspond à la capacité d'écoulement du lit mineur juste avant débordement en lit majeur. Pour les rivières alluviales en fonctionnement naturel, il joue un rôle important du point de vue de la structuration de la morphologie. Cette donnée est aussi importante d'un point de vue biologique. En effet, d'une part le débit de plein bord correspond à la limite de connexion entre les différents lits, d'autre part, il permet d'assurer l'entretien du substrat. Il définit alors les conditions limitantes pour certains organismes (végétaux, alevins,..) de par son intensité, sa fréquence et sa durée.

Sur le secteur, les débits de plein bord ont été estimés à partir de la modélisation hydraulique. Les profils ayant été analysés sont localisés ci-dessous :

Figure 4 Localisation des profils analysés (1/2)

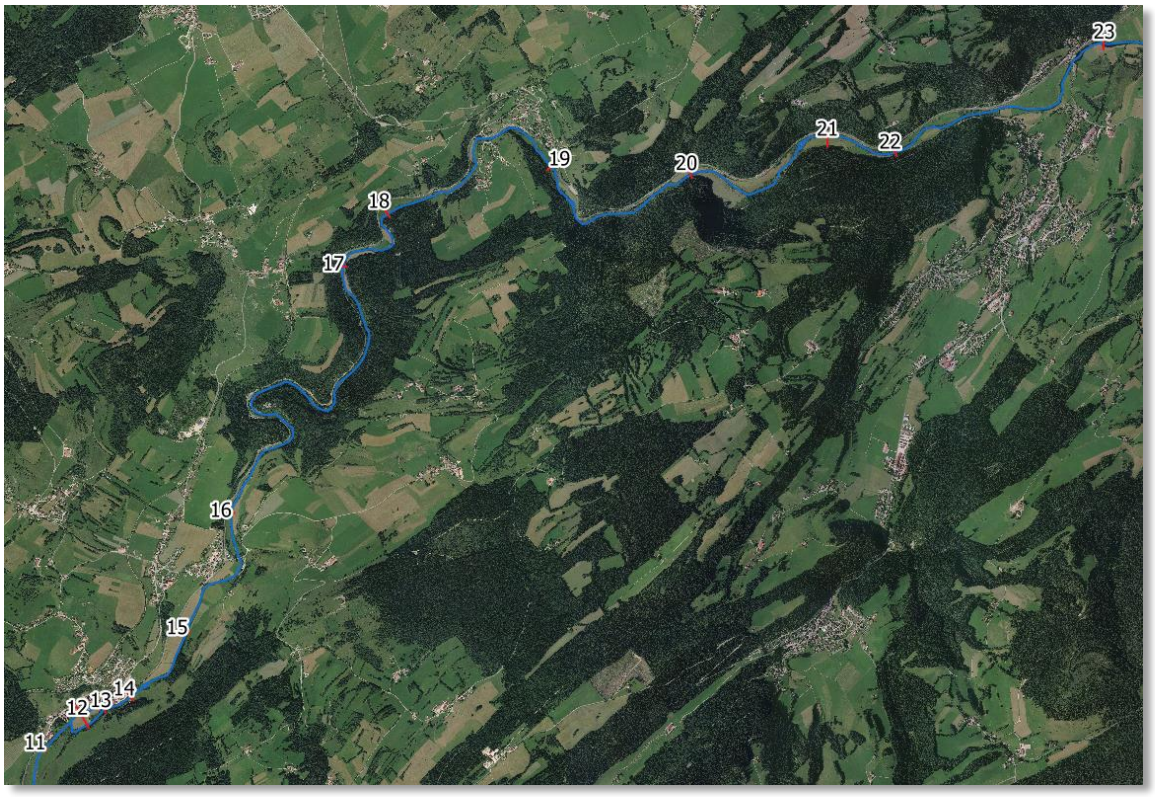


Figure 5 Localisation des profils analysés (2/2)

A noter qu'au vu du fort encaissement au droit des gorges, aucune station de mesure n'y a été placée.

Les différents débits de plein-bord sont présentés ci-dessous :

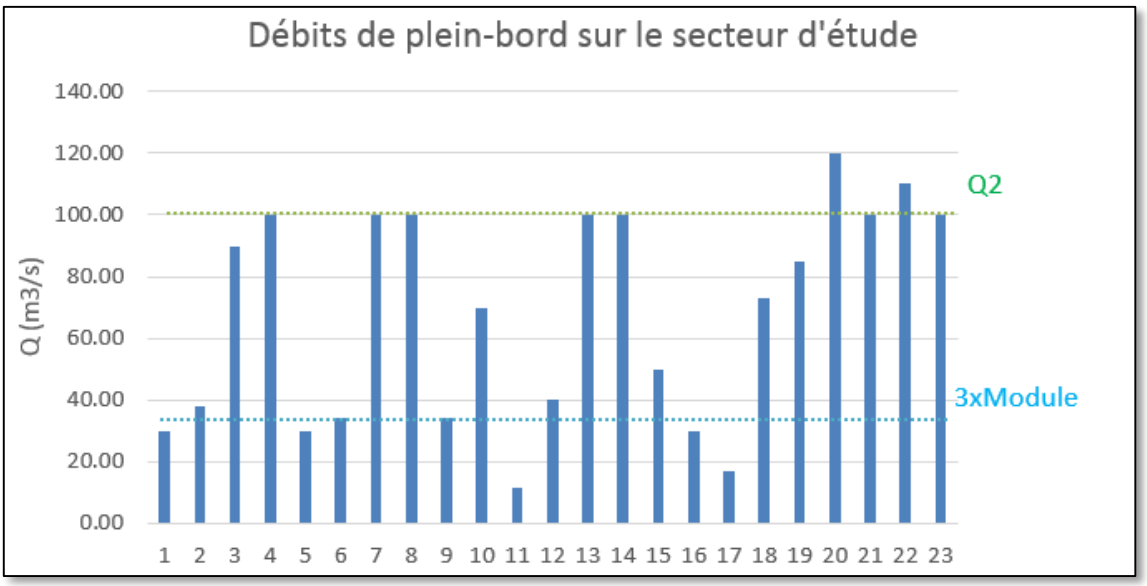


Figure 6 Graphique des débits de plein-bord du secteur

Globalement, on remarque que la majorité des débits sont compris entre le triple du module et la crue biennale. Il est classiquement admis qu'une rivière en bon état possède une fréquence de débordement d'environ 2 ans (Malavoi et Bravard, 2010). Sur les rivières de plateaux telles que le Doubs sur notre secteur, cette fréquence est inférieure et les débordements interviennent pour des crues de période de retour voisine de 1 ans.

L'aval du secteur, à partir de P18, au droit du défilé présente des débits de débordement supérieurs à la partie amont. Ceci s'explique par les fortes hauteurs de berges que présente la rivière sur ce secteur.

Sur la partie amont, les débits de débordements les plus importants sont systématiquement situés au droit de secteurs anthropisés :

- P3 est localisé au droit du tronçon court-circuité dans la traversée d'Arçon ;
- P4 est accolé à une route perchée à 5 mètres au-dessus de la rivière ;
- P7 et P8 se situent dans la traversée de Maisons-du-Bois ;
- P13 et P14 sont aussi en traversée urbaine au sein de la commune de Montbenoît, secteur au droit d'une zone remblayée (scierie Barrand).

2.2.2. Impacts des ouvrages

Le modèle a permis d'estimer les lignes d'eau pour différents débits, et d'illustrer ainsi les impacts des ouvrages du secteur.

Ci-dessous est représenté le profil en long du secteur pour différentes conditions hydrologiques (Module, 3xModule, Q2) :

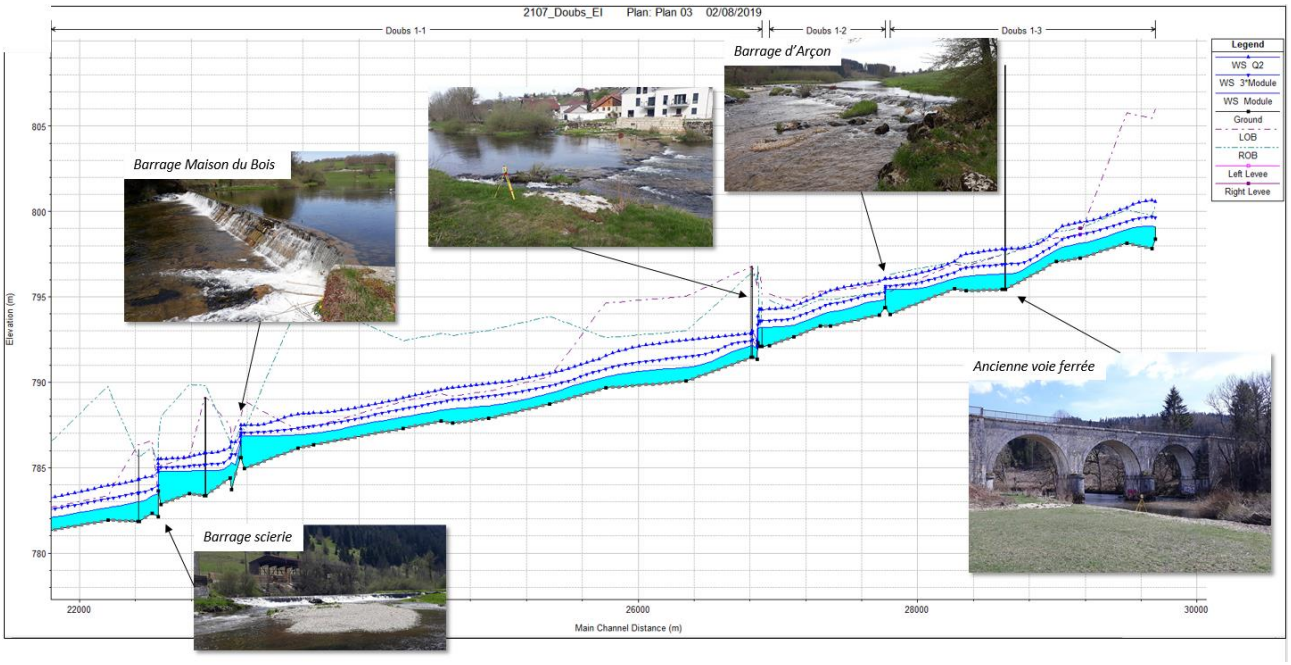


Figure 7 Lignes d'eau modélisées sur la partie amont du secteur

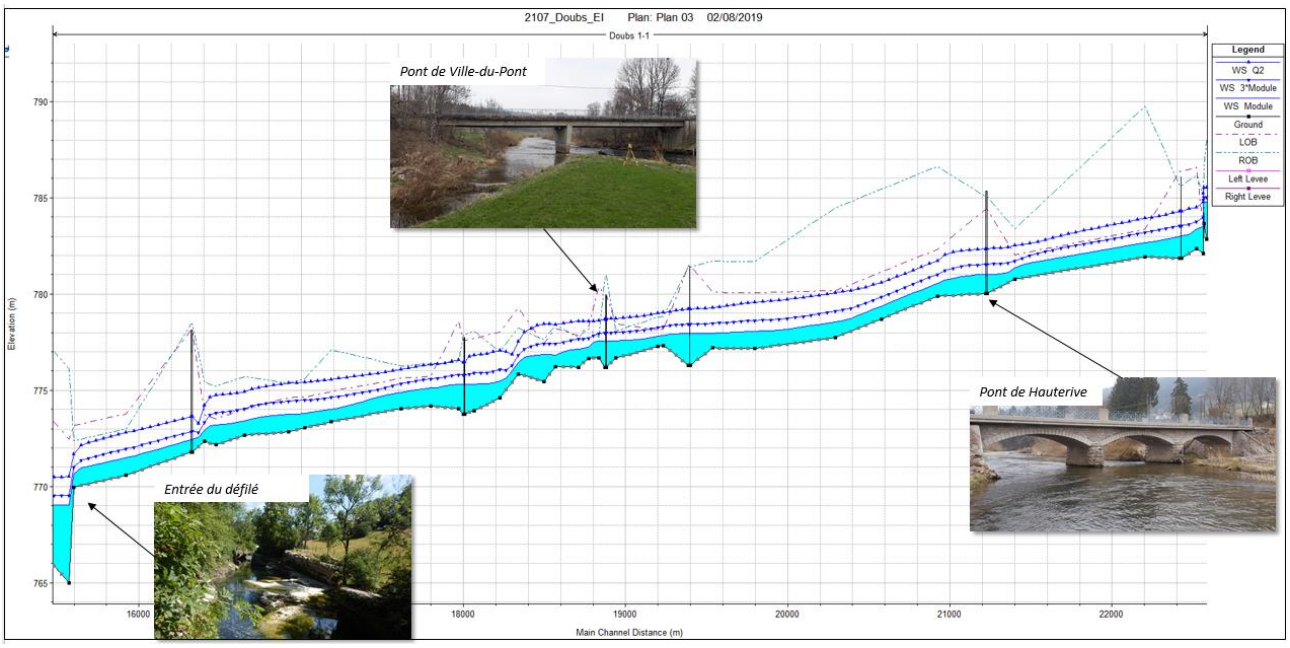


Figure 8 Lignes d'eau modélisées sur la partie médiane du secteur

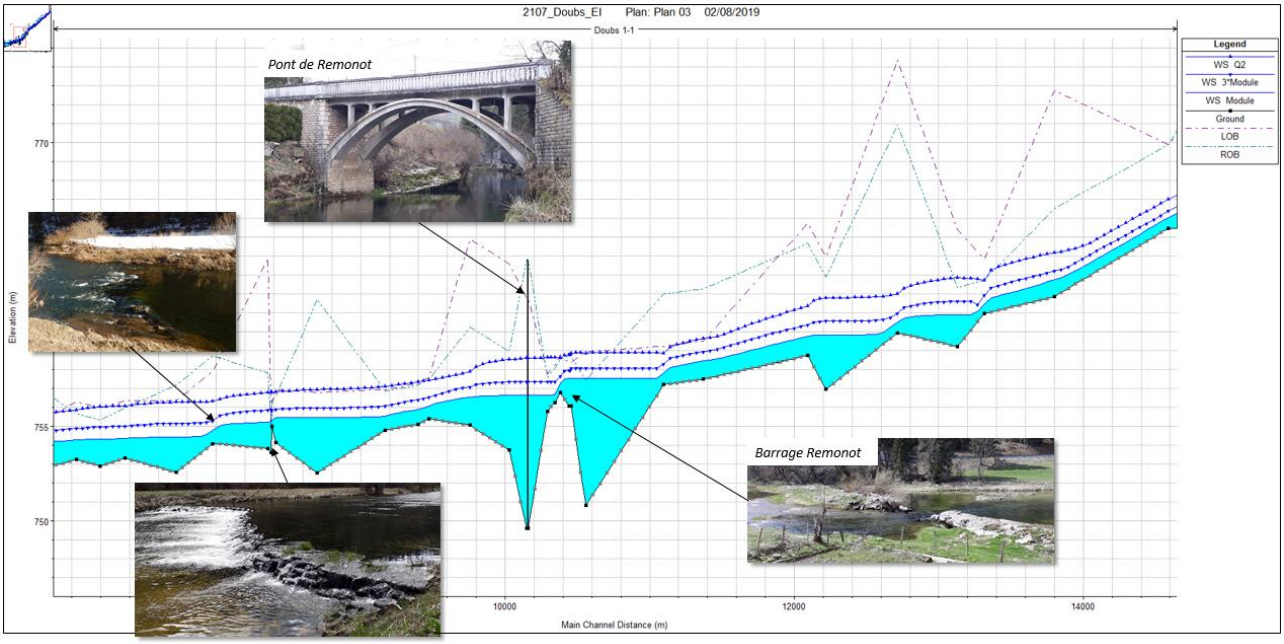


Figure 9 Lignes d'eau modélisées sur la partie du défilé

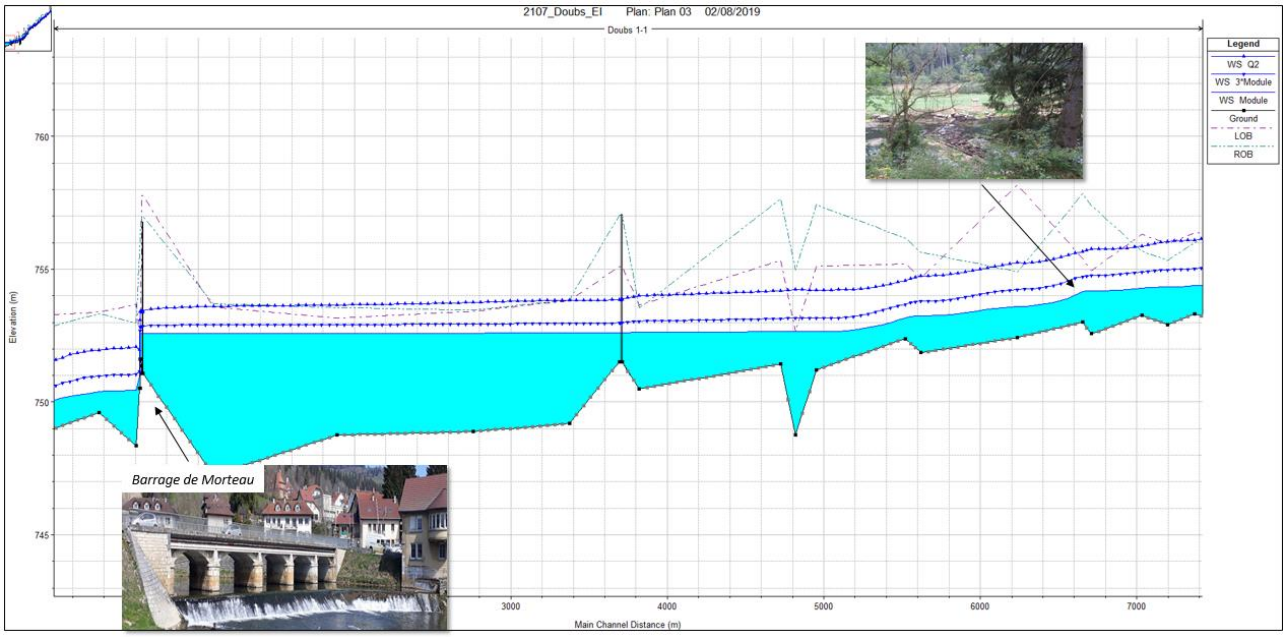


Figure 10 Lignes d'eau modélisées sur la partie aval du secteur d'étude

Bien que les problématiques liées aux continuités écologiques ne soient pas au cœur de l'étude, il est malgré tout intéressant de noter l'impact des ouvrages sur le secteur et particulièrement à l'aval de la zone d'étude comme expliqué précédemment dans le rapport. En effet au droit de ce secteur, la quasi intégralité du secteur est sous l'influence d'ouvrages induisant des faciès d'eau calme très homogènes.

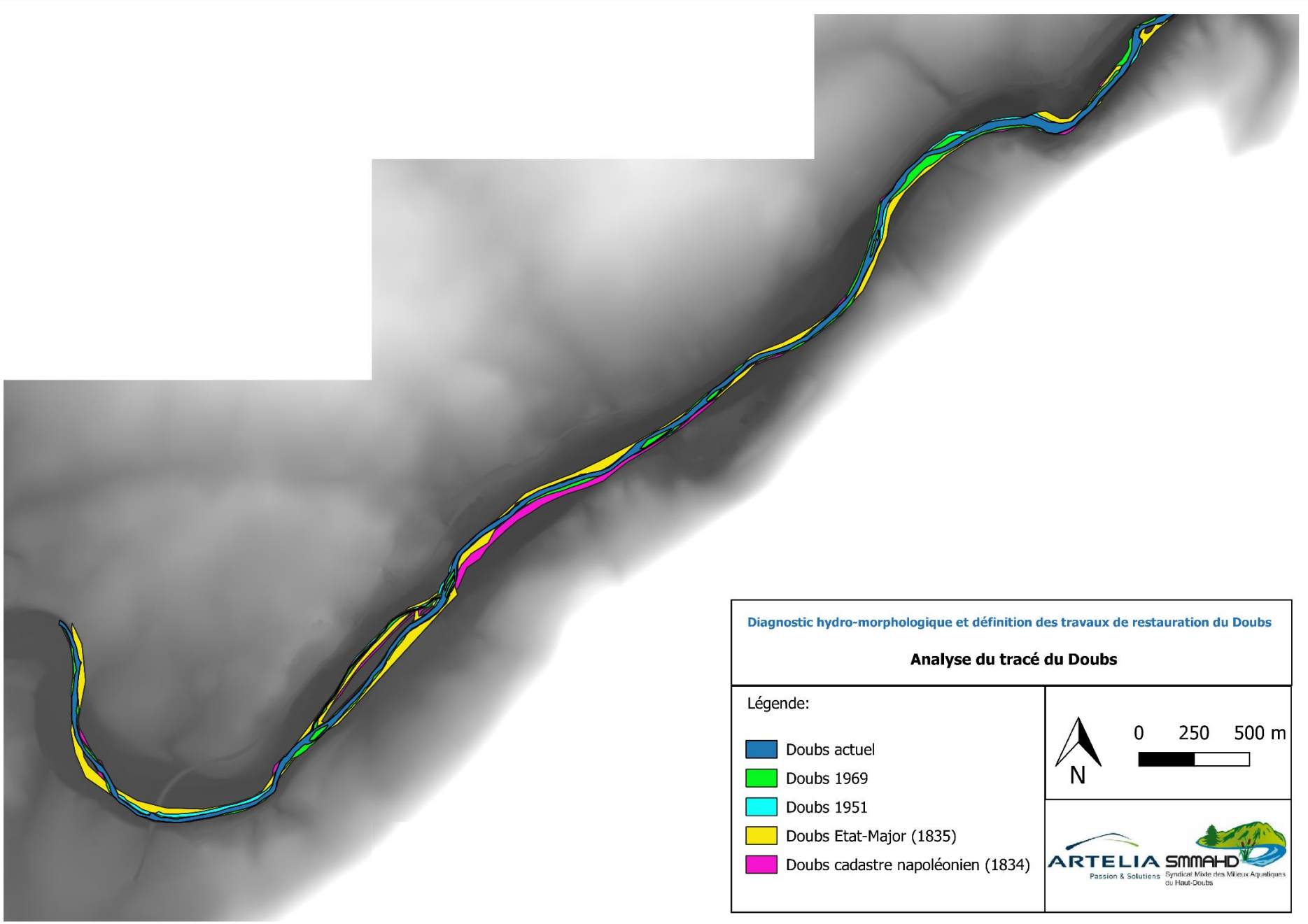
Concernant les ouvrages situés à l'amont du secteur, leurs impacts sur la morphologie restent limités de par la présence de nombreux seuils naturels crées par des affleurements rocheux. Aussi la présence des barrages n'influence que très ponctuellement le profil de la rivière, cette zone est limitée à la zone de remous des ouvrages.

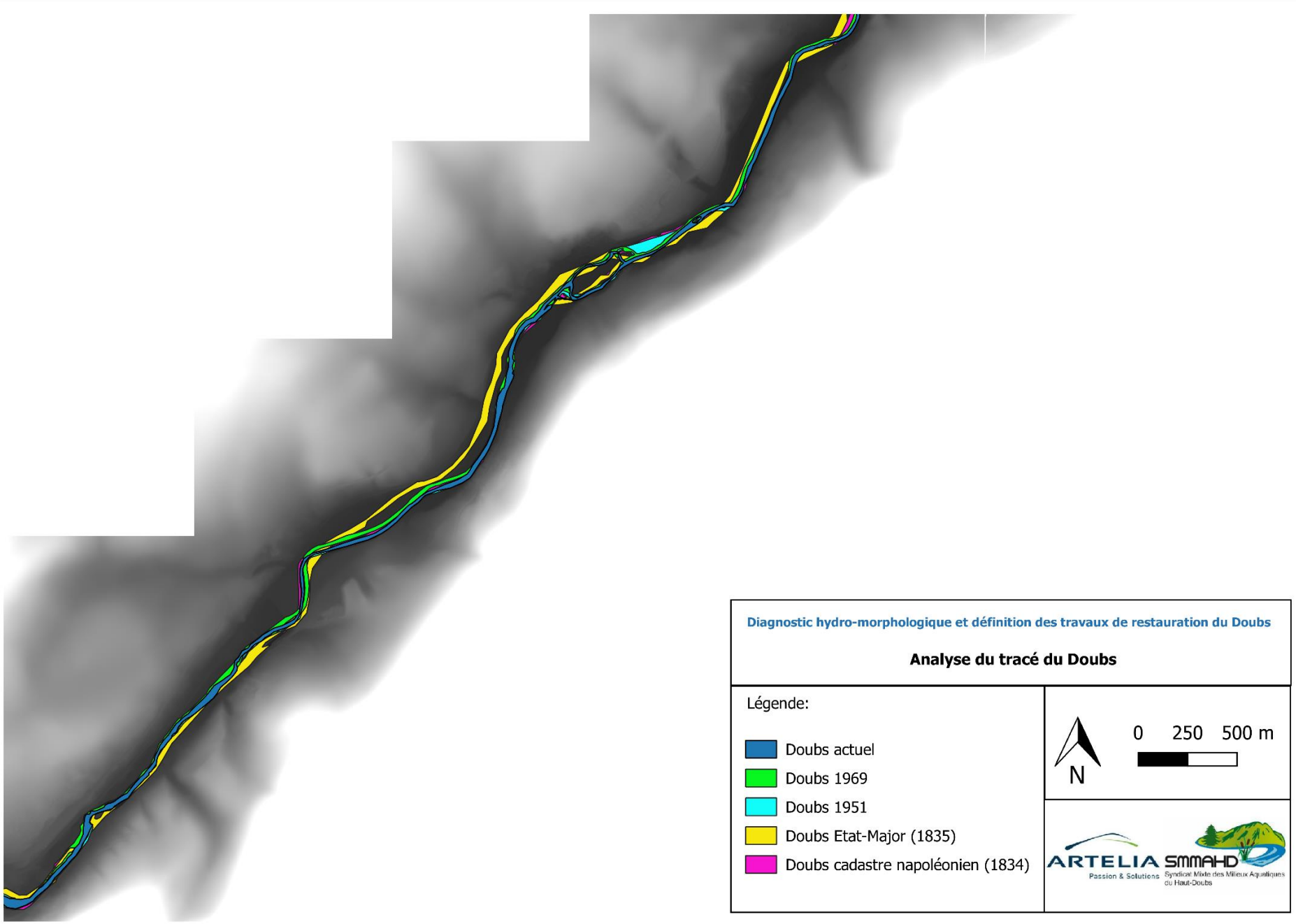
3. FONCTIONNEMENT GEOMORPHOLOGIQUE

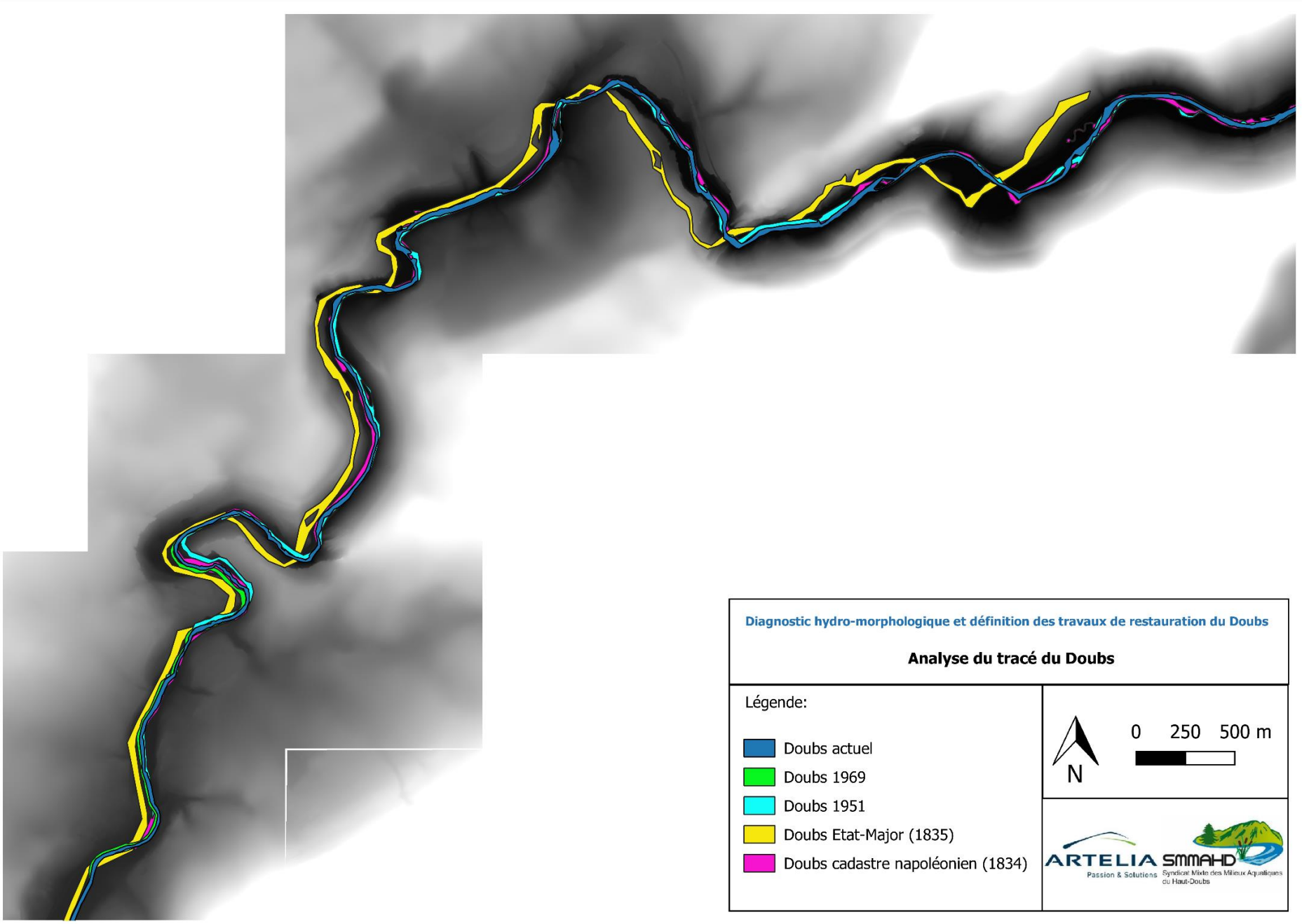
L'analyse du fonctionnement morphologique de la rivière a permis d'identifier différent dysfonctionnement qu'il semble judicieux de rappeler afin de définir par la suite des objectifs de restauration.

3.1. EVOLUTION DU TRACE

Les cartes ci-dessous présentent l'évolution du tracé de la rivière au cours du temps.


Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs
Analyse du tracé du Doubs
Légende:
Doubs actuel
Doubs 1969
Doubs 1951
Doubs Etat-Major (1835)
Doubs cadastre napoléonien (1834)
N
0
250
500 m
ARTELIA
Passion & Solutions
SMMAHD
Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques du Haut-Doubs


Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs
Analyse du tracé du Doubs
Légende:
Doubs actuel
Doubs 1969
Doubs 1951
Doubs Etat-Major (1835)
Doubs cadastre napoléonien (1834)
N
0 250 500 m
ARTELIA
Passion & Solutions
SMMAHD
Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques du Haut-Doubs


Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs
Analyse du tracé du Doubs
Légende:
Doubs actuel
Doubs 1969
Doubs 1951
Doubs Etat-Major (1835)
Doubs cadastre napoléonien (1834)
N
0 250 500 m
ARTELIA
Passion & Solutions
SMMAHD
Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques du Haut-Doubs

Au regard de ces différentes cartes, on remarque que le Doubs sur notre secteur a subi peu de modification de son tracé. La majorité des différences de tracés constatées étant causée par l'impossibilité de superposer correctement les différents fonds cartographiques (carte anciennes peu précises, imprécision de géoréférencement, etc).

Aussi, si d'importantes modifications ont été effectuées, celles-ci sont antérieures au XVIIIème siècle. Par ailleurs, du fait de la faible étendue de la couche des alluvions récents, il semble peu probable que sur le secteur la rivière ait eu une importante mobilité.

3.2. EVOLUTION DE LA SECTION EN TRAVERS

3.2.1. Evolution de largeur du lit plein bords au cours du temps

L'évolution de la morphologie du Doubs est visible au travers de l'évolution de la largeur de cours d'eau. Cette évolution a été analysée à partir de la surface de la bande active du cours d'eau. L'évolution des surfaces au cours du temps est visible dans le tableau ci-dessous.

Année	Surface (km²)	Différence par rapport à l'état actuel
Cadastre Napoléonien (1834)	0.805409	+ 50 %
1951	0.620775	+ 18 %
1969	0.607982	+ 15 %
2019	0.525854	-

Au regard du tableau précèdent, on peut conclure que la surface de la rivière a diminué avec le temps. Pour l'analyse de ces résultats nous ne considérerons que ceux tirés des orthophotographies. Le cadastre napoléonien confirme la tendance observée mais son tracé reste trop imprécis. Par ailleurs, précisons que les vues aériennes étudiées datent du 16 juin 1951 et du 14 juillet 1969 et correspondent ainsi à des vues en étiage. En effet, sur la station de la Cluse et Mijoux, en amont de Pontarlier le débit mesuré le 14 juillet 1969 est égal à 2.83 m3/s sachant que le débit moyen enregistré en juillet est égal à 4.13 m3/s. Malheureusement, aucune station sur le Doubs ou le Drugeon n'a permis de vérifier le débit observé en juin 1951.

Les largeurs moyennes de la rivière ont donc tendance à diminuer au cours du temps avec 25 mètres en 1951 contre 21 mètres actuellement.

Cette diminution de largeur est la conséquence de phénomène d'incision du cours d'eau. En effet, lors de la visite du site de nombreuses traces d'incision ont été retrouvées.

Figure 11 Traces d'incision sur le secteur d'étude

3.2.2. Analyse de la largeur et de la profondeur de plein bord

3.2.2.1. Largeur de plein bord

La largeur à plein bord est l'une des variables géomorphologique les plus intéressantes. Elle exprime souvent l'ampleur des actions d'aménagements entreprises par l'Homme (recalibrage, curage…) Elle peut en outre avoir une importante signification biologique puisqu'elle exprime de manière simplifiée la « capacité d'accueil » du milieu aquatique.

La largeur plein-bord varie de 17 à 54 m sur le linéaire du Doubs à l'étude, avec une moyenne de 29.7 m. Sur le graphique ci-dessous, les profils sont présentés d'amont en aval, il apparait clairement que la largeur augmente en allant vers l'aval. On note aussi des augmentations de largeurs au droit des traversées urbaines ou ouvrages. En effet, les profils 7, 8 et 11 au niveau desquels on constate une augmentation de la largeur sont situés au droit de Maisons-du-Bois et à Montbenoît. Cette augmentation traduit donc l'impact des ouvrages et des secteurs urbanisés sur le cours d'eau.

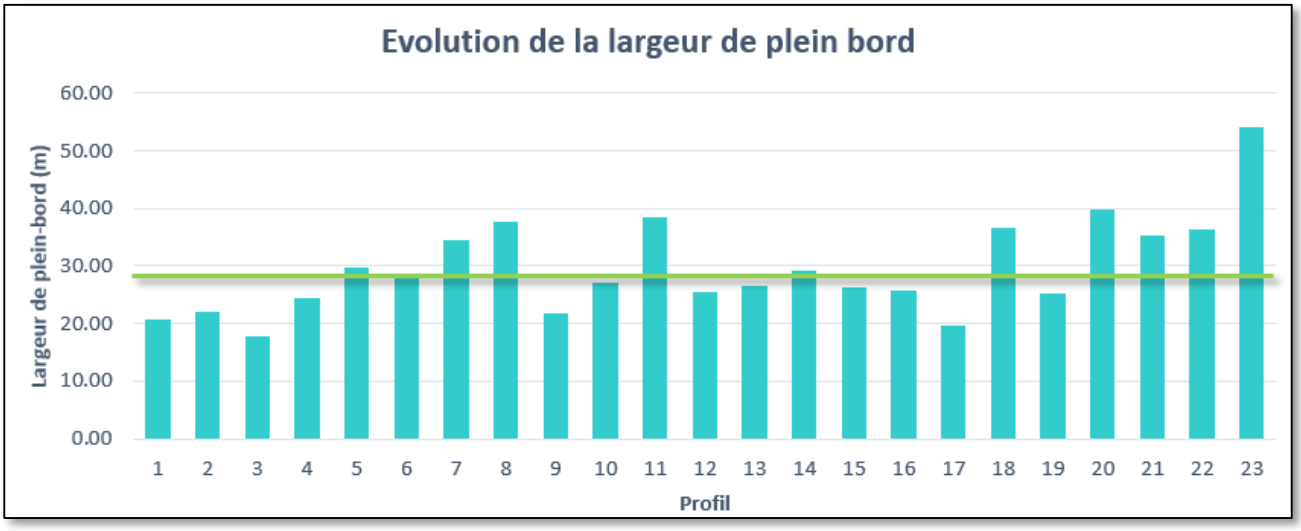


Figure 12 Evolution de la largeur de plein-bord

La localisation des profils étudiés est présentée ci-après :

Figure 13 Localisation des profils analysés (1/2)

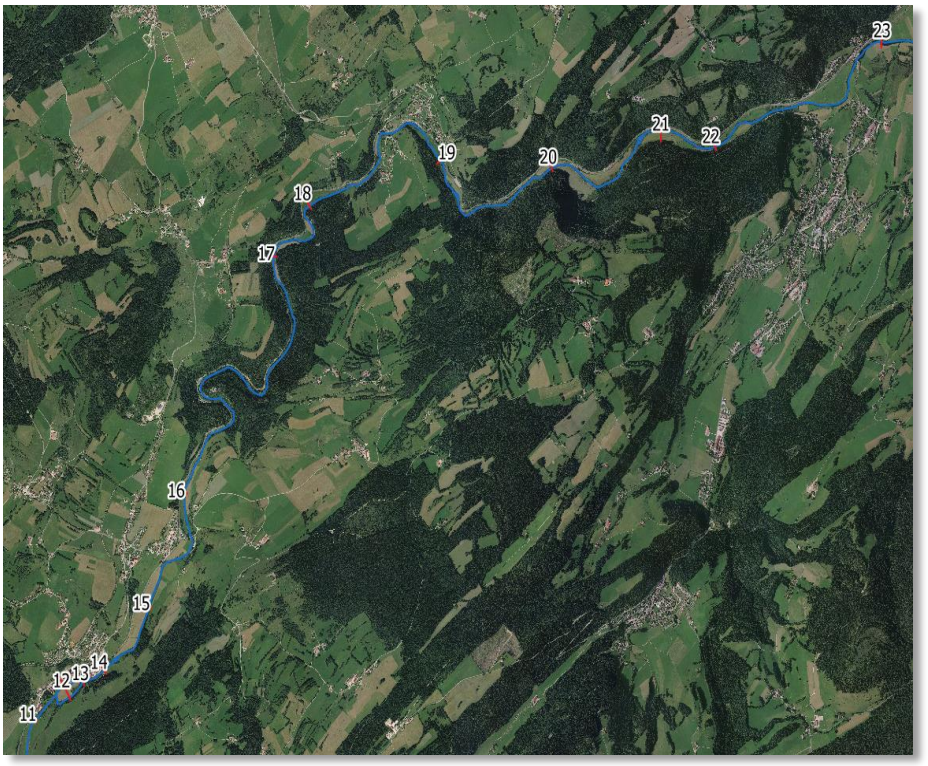


Figure 14 Localisation des profils analysés (2/2)

3.2.2.2. Profondeur de plein bord

La profondeur ou hauteur à plein bord correspond à la différence verticale entre le niveau du point d'inflexion de la berge la plus basse, permettant de passer du lit mineur au lit majeur, et le niveau du fond.

Sur chaque profil présenté précédemment, la hauteur à plein bord a été mesurée, soit 23 mesures sur le périmètre élargi.

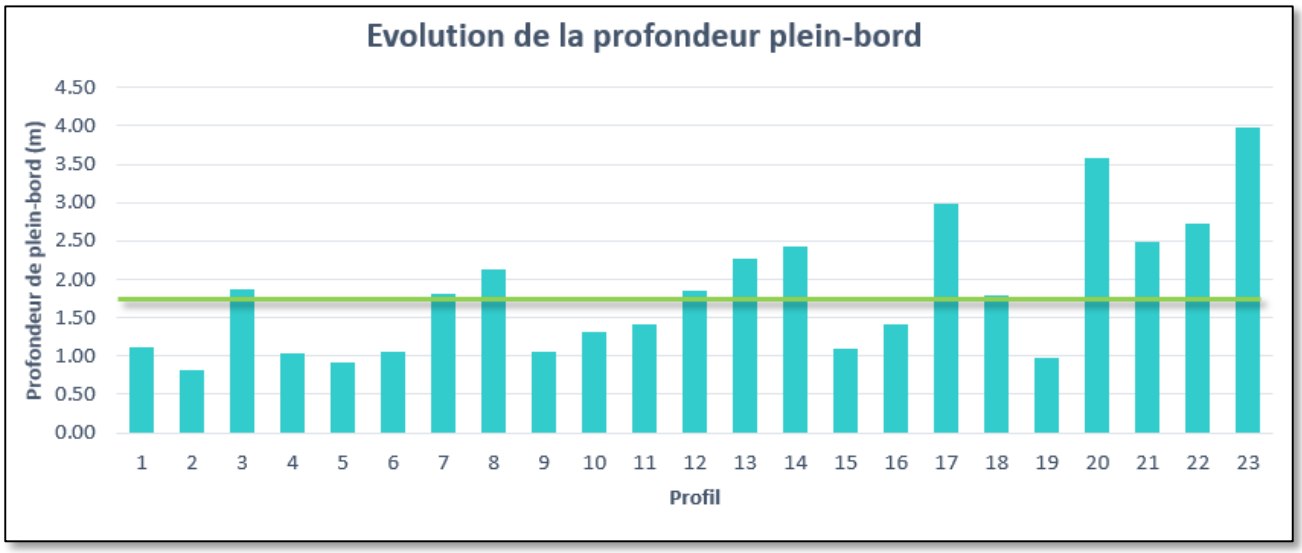


Figure 15 Evolution de la hauteur de plein bord

On obtient une profondeur moyenne de 1.83 m avec des profondeurs minimales observées en amont sur des zones non influencées par des ouvrages. Les hauteurs les plus importantes sont rencontrées sur la partie aval du secteur à la sortie du défilé dans l'importante zone de remous.

3.3. FACTEUR D'EVOLUTION ET CONSEQUENCES

3.3.1. Eclusées du barrage du lac Saint Point

Même si ce n'est actuellement plus le cas, le barrage de Saint Point fonctionnait anciennement en éclusées. Ce type de fonctionnement entraine l'augmentation de la fréquence des forts débits en aval des barrages et induit de nombreuses conséquences sur la morphologie des cours d'eau :

- Raréfaction et redistribution des classes granulométriques graviers et petits galets, qui sont entraînées vers l'aval ;
- Sur-calibrage des cours d'eau.

3.3.2. Flottage du bois sur le Doubs

Comme un grand nombre de rivières françaises, le Doubs a connu longtemps une assez vive animation autour du flottage du bois. La rivière traverse en effet une région où la densité forestière est considérable et les communications terrestres difficiles. Bien que le cœur de cette activité soit situé en aval du saut du Doubs, elle fut aussi développée au droit du secteur à l'étude. Ceci induit d'importante modification du cours d'eau en vue de le rendre praticable.

Sur des courtes distance comme cela devait être le cas su notre secteur d'étude, le flottage était du type à « bûches perdues ». Ce type de flottage de bois implique de récurer, calibrer et mettre les rivières au gabarit des troncs qu'elles devaient véhiculer. Le caractère ancien et progressif de ces modifications du paysage fluvial fait qu'il est aujourd'hui difficile de prendre la mesure des impacts engendrés par ce trafic. De plus, les travaux réalisés tout au long de ces années ont souvent été trop menus pour avoir été consignés dans les procès-verbaux des ingénieurs, surtout lorsque l'initiative venait des mariniers ou des populations rurales. Néanmoins, un document d'archive datant de 1852 mentionne la pratique du flottage du bois « à buches perdues » sur le secteur.

3.3.3. Scierie du cours d'eau

En complément du flottage du bois évoqué précédemment, les nombreuses scieries du secteur ont de même eu un impact important. En effet, au-delà des conséquences engendrées par la mise en place du barrage d'alimentation, les exploitant, afin d'optimiser la productivité de leur installation avaient l'habitude de curer la rivière afin d'y laisser transiter un important volume d'eau lié aux éclusées (remplissage la nuit, vidange le jour).

3.3.4. Aménagement du cours d'eau

Les recherches menées aux archives se sont centrées sur l'historique des ouvrages du secteur. Cependant suite à des échanges avec les services de l'état, des informations sur l'aménagement du Doubs sur le secteur à l'étude ont été transmises. Il en ressort les points suivants :

- Avis d'autorisation de 1828-1830 pour la mise en place d'un pont sur le Doubs à Maison-du-Bois comprenant l'aménagement du Doubs pour recevoir un pont à deux piles ;

- Etude pour la gestion des inondations en 1858 projetant la réalisation de divers aménagements hydrauliques, le document ne précise pas si des travaux ont été effectués suite à l'étude ;

- Enlèvement de 300 m3 de gravas dans la rivière suite à la grande crue de 1882 qui a provoqué un apport important de blocs dans le lit du Doubs ;

- Aménagement de la rivière en 1883 au niveau du pont de Hauterive suite à l'endommagement de celui-ci par la crue de 1882.

L'ensemble de ces points illustrent donc les actions humaines ayant été mises en œuvre sur le cours d'eau et explique en partie les dysfonctionnements observés sur le terrain (sur largeur au niveau des ouvrages de franchissement et hydraulique, déficit sédimentaire,…).

3.4. CONSEQUENCES

L'analyse morphologique met donc en évidence sur le linéaire des phénomènes d'incision et de pavage.

Ces phénomènes sont le résultat d'une perturbation des apports sédimentaires (installation de barrages amont, prélèvement, colonisation végétale des versants, ...). Bien que sur le secteur les entrées sédimentaires ne soient pas naturellement importantes, l'équilibre qui en résulte demeure fragile, aussi une diminution même minime peut engendrer des conséquences. Ainsi cet amenuisement s'est manifesté sur le Doubs par une nette tendance à l'incision, à l'enfoncement de la bande active et à la mise en place d'un pavage stable dans le fond du lit. Cette rétractation a d'ailleurs été mise en évidence par les analyses diachroniques menées sur le cours d'eau.

Des relations entre ces trois phénomènes ont déjà été mis en évidence par certains auteurs (Richard et Clifford, 1991 ; Tsujimoto et Kitamura, 1996). La diminution de la bande active a entraîné une canalisation des écoulements induisant le façonnement d'un nouveau chenal, incisé dans l'ancienne surface active. Cette incision a principalement progressé par évacuation des particules les plus fines (graviers, galets fins) faiblement réalimentées par l'amont, générant ainsi une concentration progressive des particules grossières dans le fond du lit et entrainant ainsi le pavage actuellement visible. L'ensemble de ces phénomènes a ainsi conduit à une chenalisation du cours d'eau.

3.5. ANALYSE MORPHO-SEDIMENTAIRE

L'analyse morpho-sédimentaire a permis de mettre en évidence certains points.

Premièrement, concernant l'activité sédimentaire, le Doubs présente les caractéristiques d'un cours d'eau peu dynamique, ceci transparait sur plusieurs aspects :

- Un lit stable ayant une mobilité très faible ;

- La faible présence de bancs de sédimentation témoins du stock de matériaux alluvionnaires ;

- La végétalisation des bancs en présence.

Néanmoins, ces constats sont moins importants sur la partie aval du secteur, au droit du défilé du aux nombreux apports du secteur. Notons par ailleurs que le Doubs sur le secteur à l'étude présente les caractéristiques d'un cours d'eau de plaine et charrie donc peu d'éléments.

Par ailleurs, plusieurs mesures granulométriques de surface ont été réalisées selon la méthode de Wolman (échantillon global de près de 840 mesures) et ont permis de mettre en évidence les éléments suivants :

- Un diamètre moyen D50 compris entre environ 44.5 mm et 82 mm sur le secteur d'étude ;
- Sur l'ensemble du secteur on observe une granulométrie assez uniforme (résultats rapport D60/D10 et forme de la courbe).

Tableau 2 Synthèse des résultats de l'analyse granulométrique par la méthode Wolman

Dm (mm)	Radier 1	Radier 2	Radier 3	Radier 4	Radier 5	Radier 6	Radier 7	Radier 8
10	38	42	55.2	44	22.7	23	30.7	24.9
30	62	59.3	75	60.1	47.1	40.8	42	35
50	73	70	82	71	62.5	49.5	51.5	44.5
90	96.4	99	116.4	93	98	75.1	93.3	63
D90/D30	1.55	1.67	1.55	1.55	2.08	1.84	2.22	1.80
Dmax	130	135	137	114	143	122	143	92

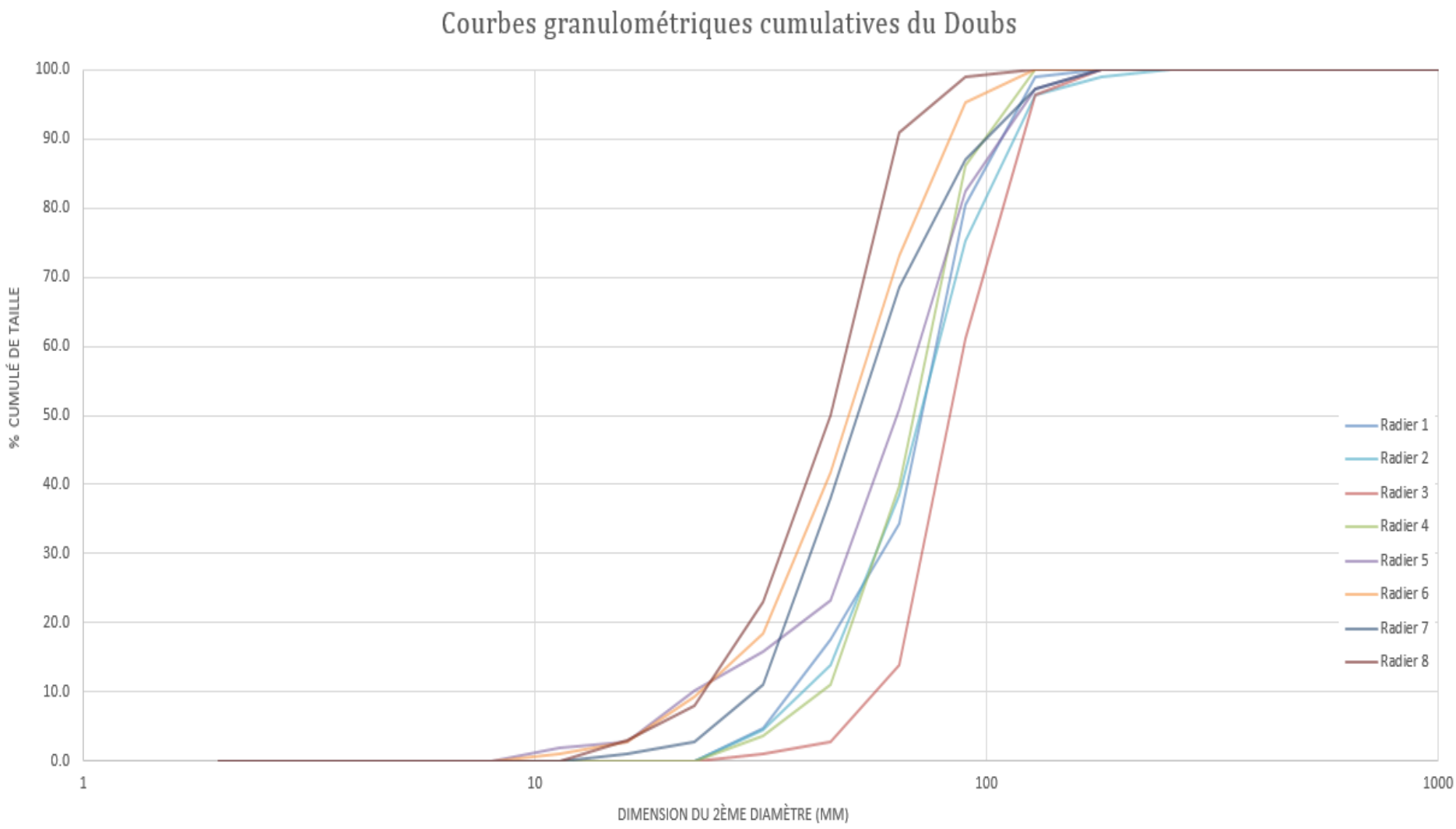


Figure 16 Synthèse des courbes granulométriques cumulatives sur les radiers

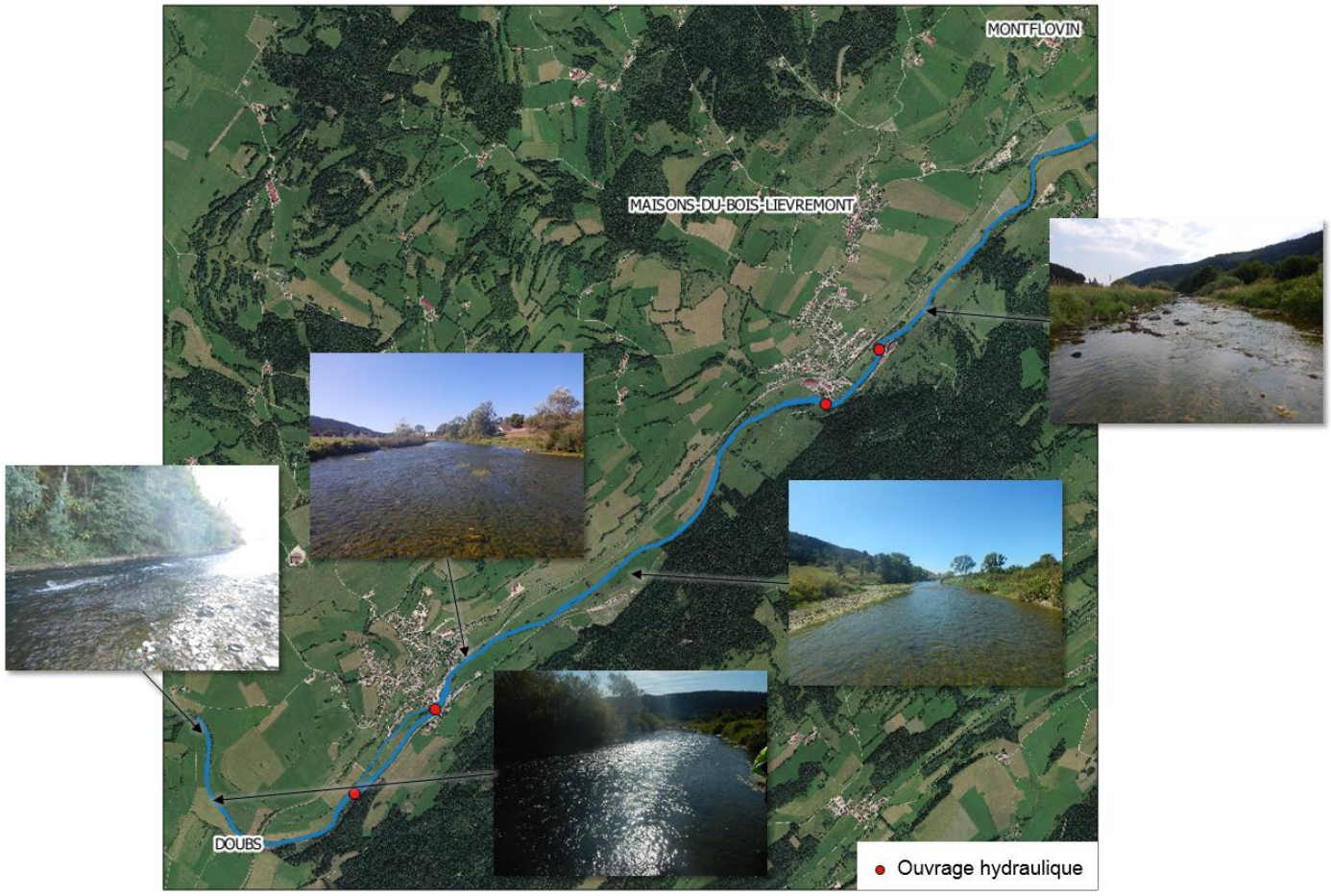


Figure 17 Localisation des granulométries (1/2)

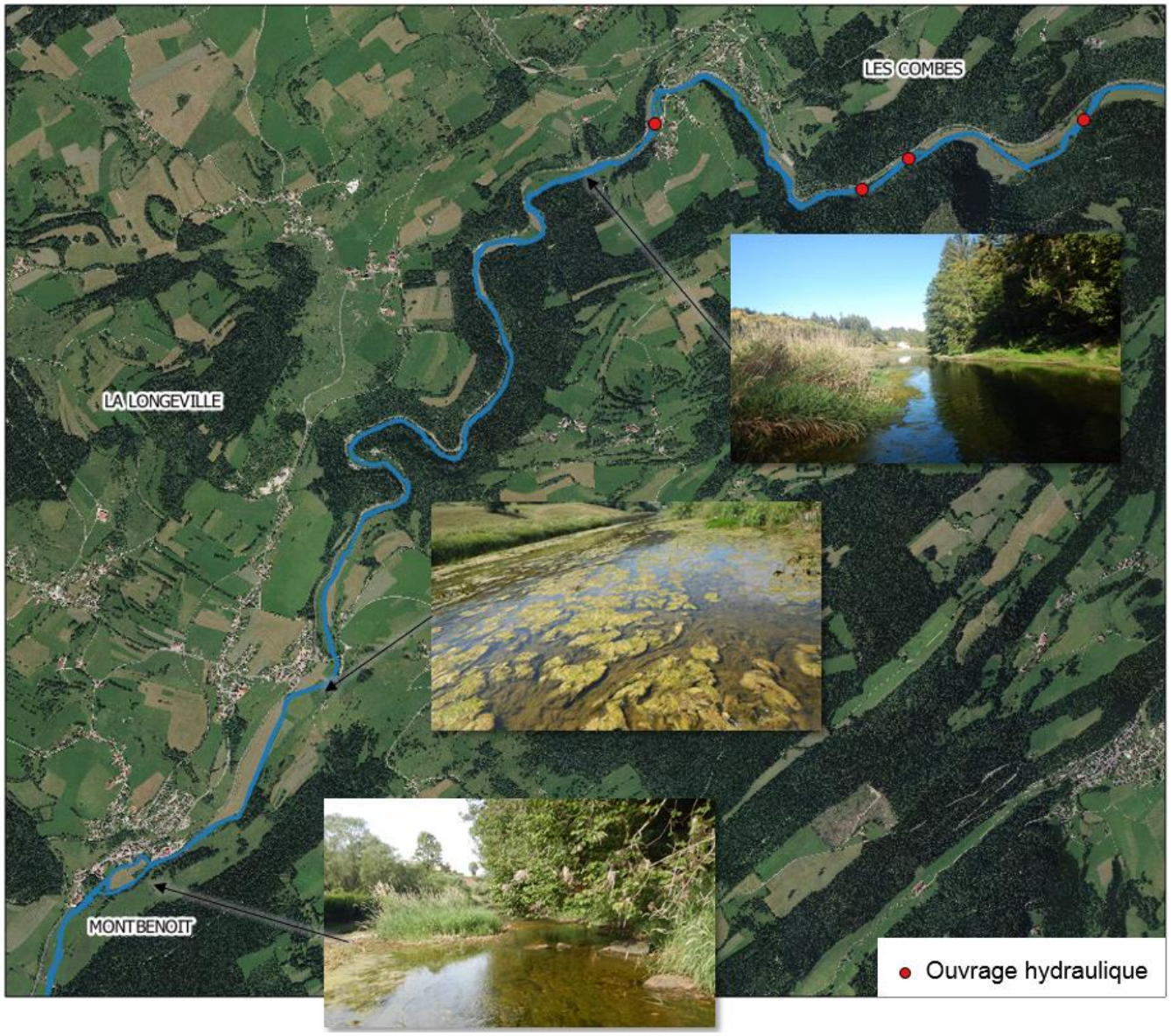


Figure 18 Localisation des granulométries (2/2)

Globalement on observe un diamètre de matériaux décroissant d'amont en aval. L'augmentation du d50 au droit du radier 3 situé en aval d'Arçon peut traduire un effet des ouvrages sur le transit sédimentaire. En effet l'augmentation du diamètre des matériaux en aval des ouvrages peut traduire le piégeage des sédiments dans les retenues.

3.6. TENDANCE EVOLUTIVE

3.6.1. Profil en long

De façon générale, ne disposant que de peu d'élément de comparaison, seule la tendance d'incision du fond du lit du Doubs est constatée, par les observations de terrain. Cependant, dans le respect du fonctionnement hydraulique et morphodynamique actuel, et au vu du pavage actuel, cette tendance ne devrait logiquement pas s'aggraver.

Notons par ailleurs que ce phénomène d'incision est responsable du décapage des fonds et pourrait donc avoir un impact sur l'aggravation des pertes du secteur puisque ce décapage engendre la mise à nu de siphons.

3.6.2. Mobilité latérale

Nous avons pu constater que la mobilité latérale du lit du Doubs reste très limitée, voire même figée. En effet, le cours d'eau s'écoule dans un contexte de vallées encaissées ou de gorges, ce qui limite la mobilité latérale. Même après restauration de sa morphologie, il n'est pas attendu que la mobilité du Doubs sur ce secteur soit active.

3.7. SYNTHESE DES RESULTATS

L'analyse des paramètres morphologiques de la rivière et les différentes observations de terrain ont permis de démontrer un enfoncement de la rivière ainsi qu'une légère sur-largeur au droit des traversées urbaine. La combinaison de ces deux dysfonctionnements tend donc à indiquer la disparition des milieux annexes et connectifs suite à l'enfoncement de la rivière et donc la simplification du fonctionnement morphologique de la rivière et l'homogénéisation des habitats.

4. COMPOSANTE PHYSIQUE ET HABITATIONNELLE

La qualité physique et habitationnelle du Doubs a été déterminée sur la base de la méthode dite « des tronçons », telle que définie par le cabinet Téléos.

4.1. SECTORISATION

Le découpage en tronçons morphologiquement homogènes est basé sur l'étude des cartes IGN et géologiques ainsi que sur l'analyse du profil en long pour repérer les ruptures de pentes, les dimensions et forme du lit, la sinuosité, les changements de substratum. Cette sectorisation a ensuite été affinée par une visite de site en période d'étiage.

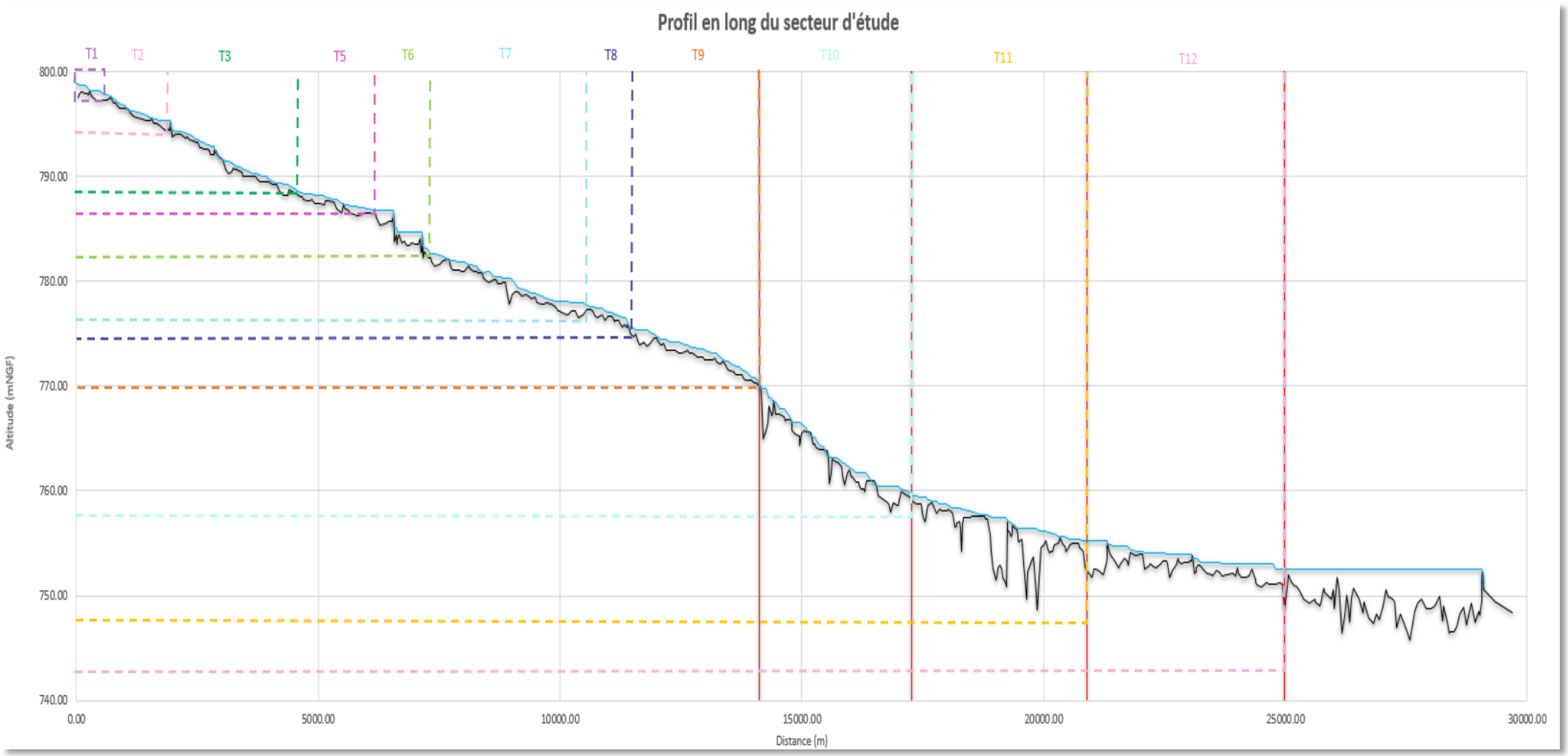


Figure 19 Sectorisation du linéaire à l'étude sur le profil en long

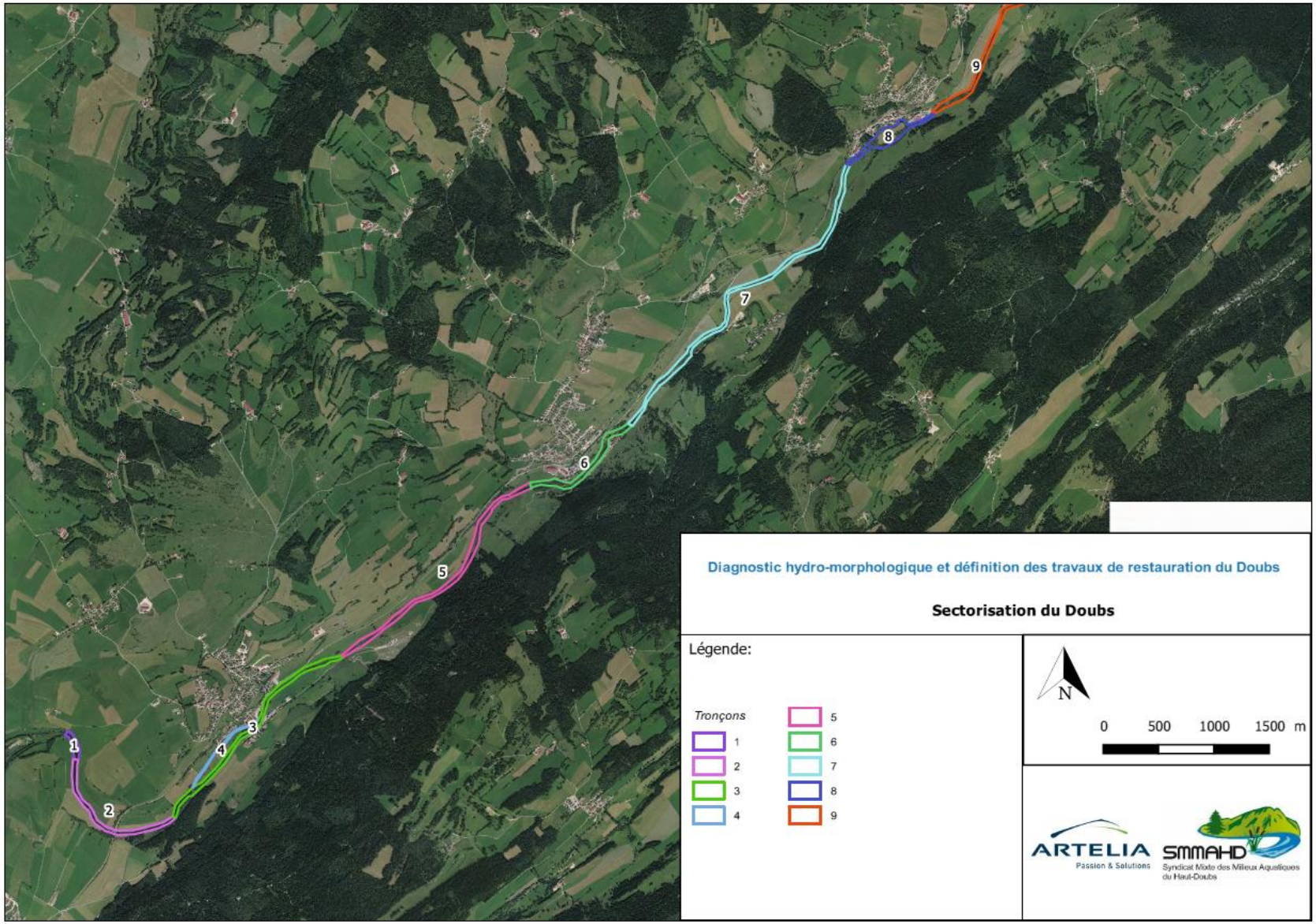


Figure 20 Localisation des différents tronçons (1/2)

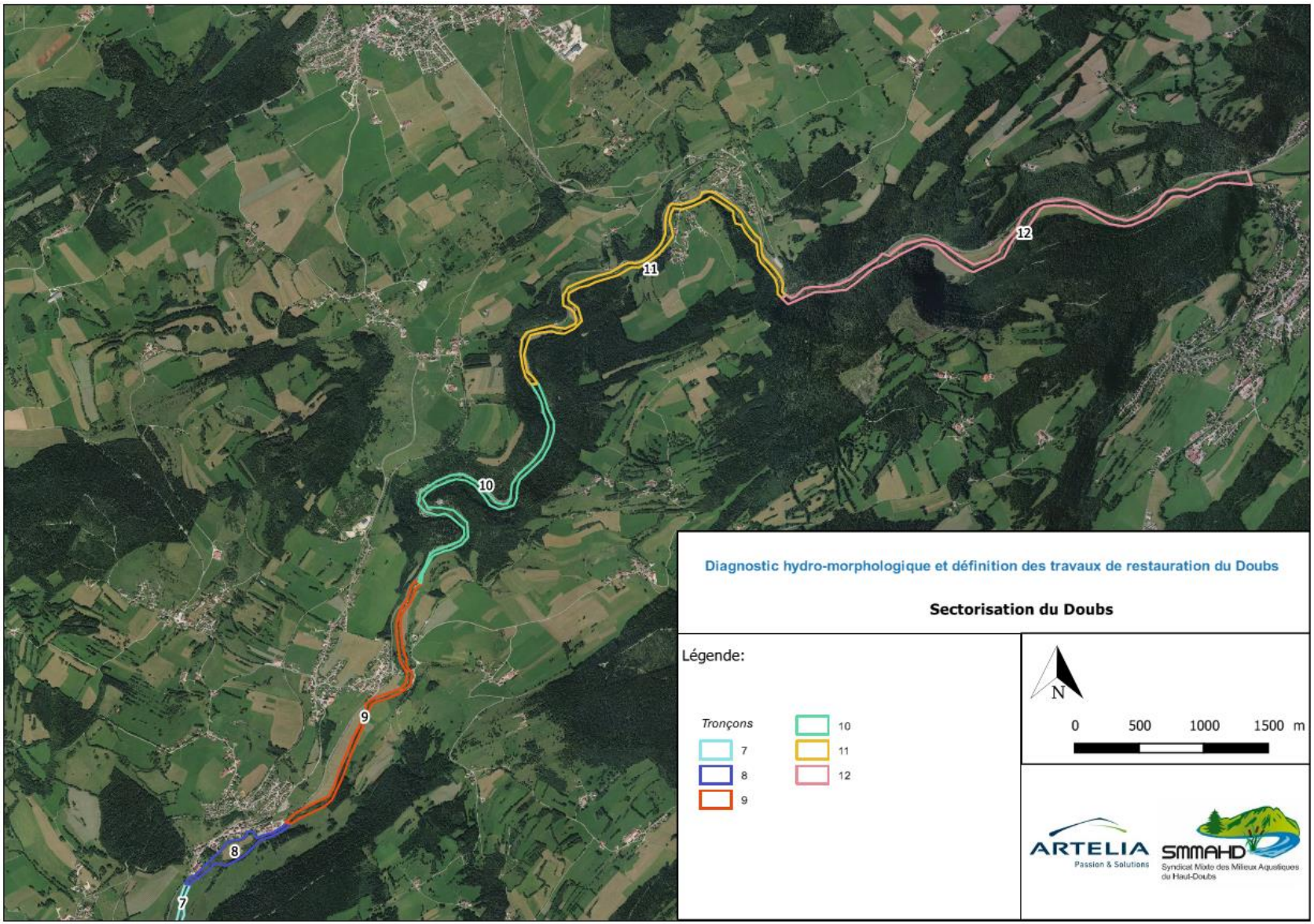


Figure 21 Localisation des différents tronçons (2/2)

4.2. RESULTATS

Le tableau et la carte ci-après récapitulent les scores et classes de la qualité physique et habitationnelle sur les tronçons du Doubs :

	Linéaire (m)	Hétérogénéité	Classe	Attractivité	Classe	Connectivité	Classe	Stabilité	Classe	Qualité physique	Classes
Tronçon 1	263	15	D	53	A	65	A	-19	érosion	4420	B
Tronçon 2	1387	23	D	53	A	69	A	-13	érosion	5244	B
Tronçon 3	2187	16	D	52	A	61	B	7	équilibre	3525,8	B
Tronçon 4	872	14	D	48	A	65	A	-11	érosion	4030	B
Tronçon 5	2518	38	C	50	A	82	A	-5	équilibre	6133,6	B
Tronçon 6											
Tronçon 7	3330	31	C	45	A	64	B	3	équilibre	4134,4	B
Tronçon 8	1055	40	B	26	C	74	A	-1	équilibre	4151,4	B
Tronçon 9	2391	48	B	28	C	61	B	-10	équilibre	3940,6	B
Tronçon 10											
Tronçon 11	3642	52	A	35	B	64	B	6	équilibre	6960	A
Tronçon 12	4180	45	B	42	B	61	B	-17	érosion	5307	B

Pour rappel, le tronçon 6 n'a pas été analysé puisqu'il est constitué de la succession de deux remous et ne présente aucune diversité de faciès. Le tronçon 10, situé à l'entrée du défilé, n'a lui aussi pas été analysé car difficilement accessible et présentant des zones dangereuses et profondes

.Globalement les tronçons étudiés sont classés en **bon** avec un secteur classé comme très bon.

Pour finir, bien que le bilan de la méthode paraisse positif, il reste cependant une certaine **marge d'action/ de manœuvre**. Par ailleurs, la méthode et plus particulièrement le score de connectivité ne met malheureusement pas en évidence les dysfonctionnements observés lors du diagnostic morphologique notamment l'incision que présente certains secteurs

Enfin, le paramètre le plus discriminant de la méthode est l'hétérogénéité. Cela est donc en cohérence avec l'analyse morphologique effectuée sur la rivière qui met en avant un déficit de systèmes latéraux en lien avec l'enfoncement de la rivière.

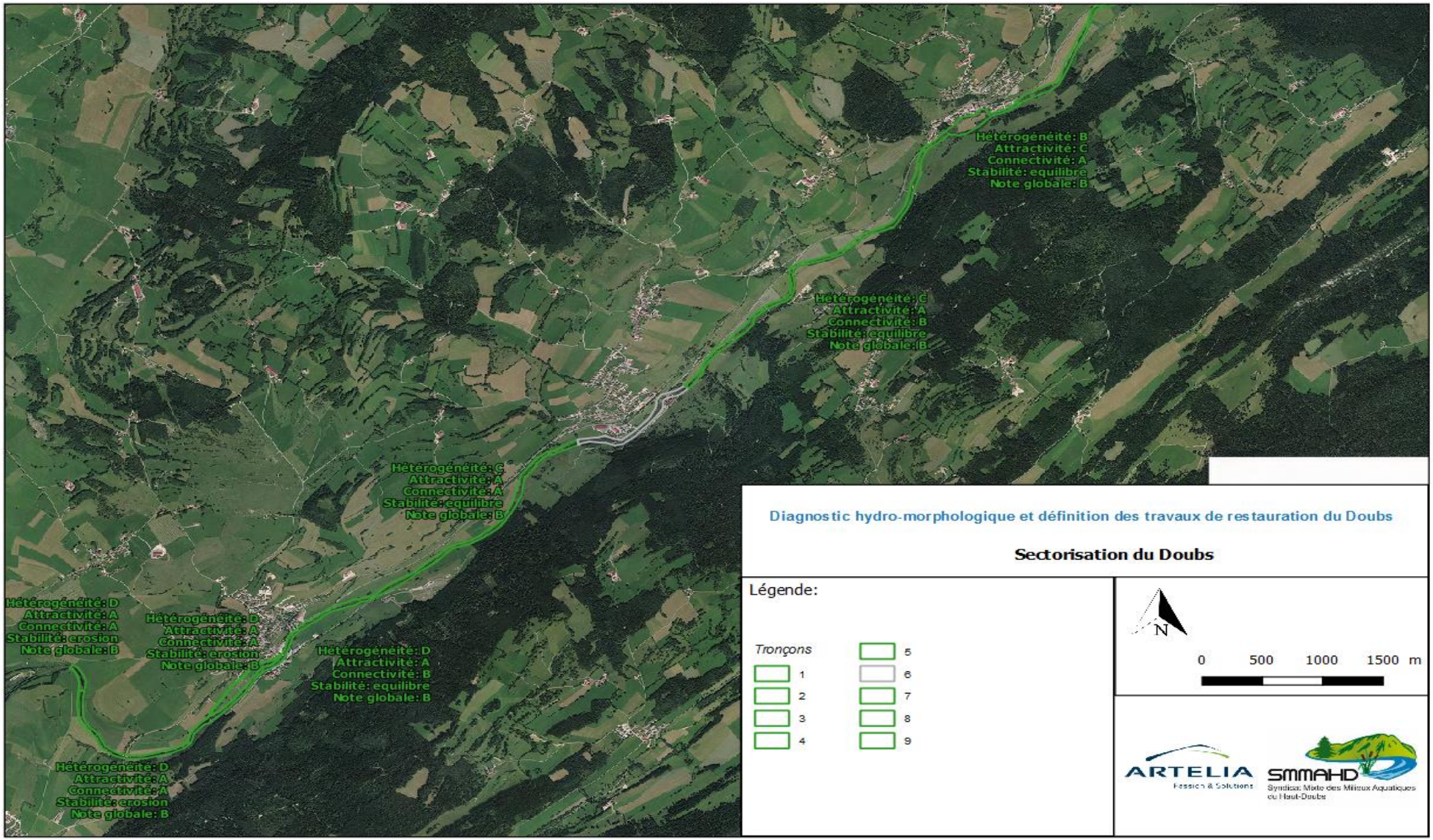


Figure 22 Notes des différents tronçons (1/2)

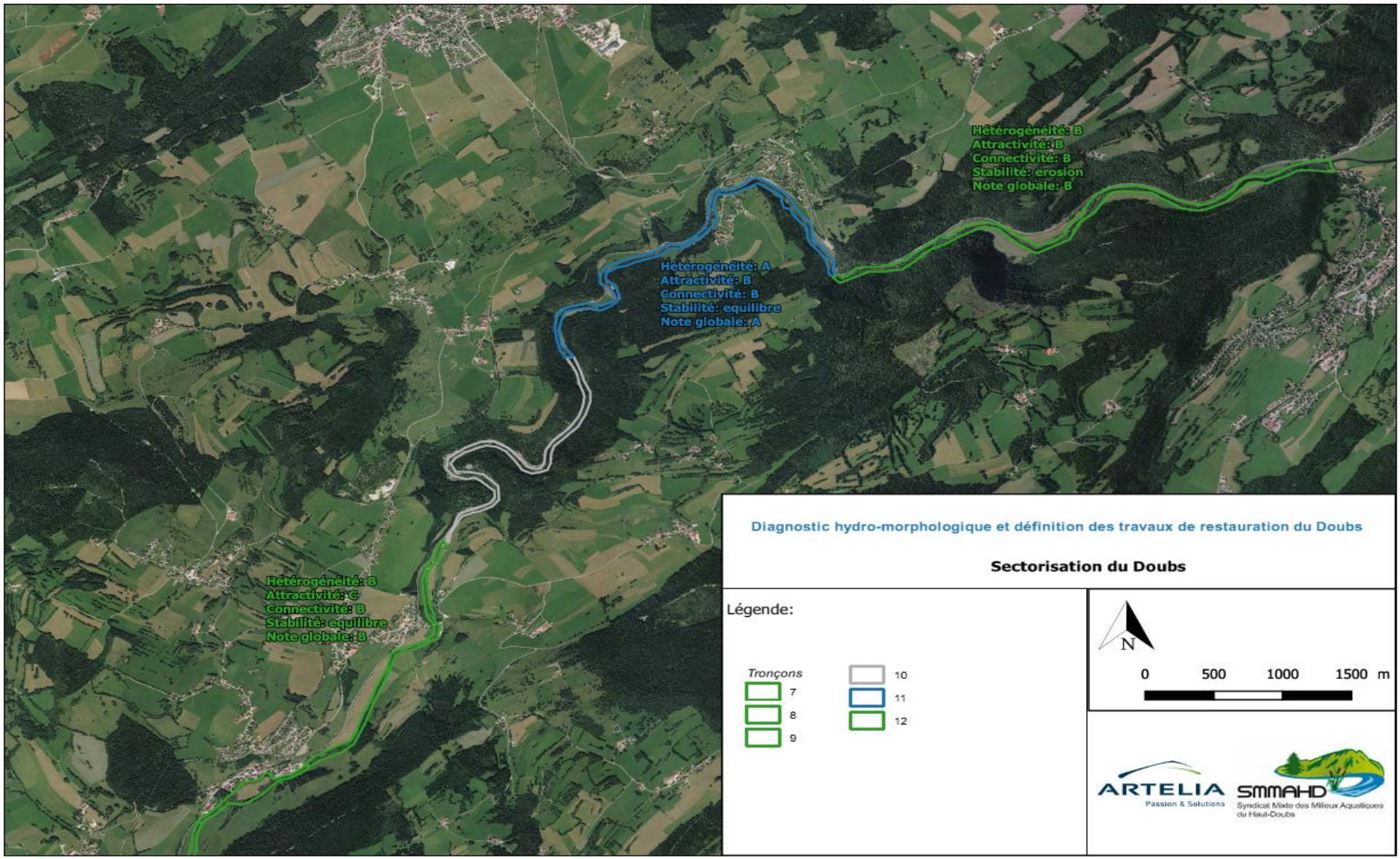


Figure 23 Notes des différents tronçons (2/2)

5. COMPOSANTE HYDRO-ECOLOGIQUE

Les perturbations morphologiques du Doubs énoncées plus haut vont avoir de **nombreuses incidences sur la faune et la flore inféodées au cours d'eau**. Couplées à d'autres facteurs de pression (notamment : polluants chimiques et organiques, agriculture, …), ces perturbations vont avoir des incidences sur :

- Les habitats : disparition d'habitats, perte de diversité et de qualité ;
- La flore aquatique et riveraine : disparition des peuplements : défrichement, …
- La faune aquatique et riveraine : glissement typologique des peuplements, perte de diversité, déclin des populations, …

Cette partie s'attache à décrire les caractéristiques écologiques du Doubs sur la base d'éléments de bibliographie et du diagnostic de terrain.

5.1. QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE

La qualité physico-chimique de la rivière est impactée par plusieurs éléments :

- Un excès d'ammonium, de chlorures et de matière organique dans le biotope. Ces apports causés par :
    - La traversée de l'agglomération de Pontarlier ;
    - L'importante activité agricole visant à la production laitière ;
- La présence d'un nombre significatif d'éléments métalliques ;
- La présence de la STEP de Pontarlier qui participe à l'excès d'ammonium de par la faible dilution de ses effluents ;
- Le débordement fréquent des postes de refoulement du secteur.

5.2. QUALITE HYDROBIOLOGIQUE

Les perturbations des milieux évoquées au sein de ce diagnostic ont des conséquences directes sur la vie aquatique, qui reste le principal indicateur de l'état écologique du cours d'eau.

L'analyse récente des populations de macro-invertébrés tend à démontrer une diminution des espèces polluo-sensibles et une dominance d'espèce saprobiontes. En comparaison aux analyses datant d'une quarantaine d'année, de nombreux taxons sensibles ont aujourd'hui disparus. Cela se traduit par des notes IBGN et Cb2 loin de la valeur de référence de 20/20, qui était habituellement retrouvée sur ce type de biotope.

Concernant la faune piscicole, sur l'ensemble des pêches, le peuplement de la rivière apparait bien loin du peuplement théorique observé généralement sur ce type de cours d'eau. Le groupe des cyprinidés rhéophiles est majoritairement représenté par le chevesne, espèce très peu sensible.

Globalement, on observe une amélioration des populations rencontrées en allant vers l'aval. Ceci s'explique par une amélioration de la thermie. En effet, le secteur amont est impacté par l'absence de ripisylve et les nombreuses zones

soumises à l'influence des barrages. A l'aval, le secteur est plus ombragé dès l'enfoncement dans les gorges et quelques petits affluents froids viennent alimenter le cours d'eau.

Concernant la truite, l'espèce est rencontrée en très faible proportion sur le linéaire. Ce faible taux s'explique par la thermie excessive du tronçon. De même, malgré la localisation du tronçon en zone à Ombre, aucun ombre n'a été recensé sur les différentes stations du secteur. En effet, l'ombre est un poisson appréciant les eaux fraiches et riches en oxygène.

Les pêches électriques réalisées témoignent donc d'un peuplement ichtyologique mauvais voir précaire à mettre en lien avec la qualité des eaux, la thermie et la sévérité des étiages du secteur entrainant une mortalité piscicole importante du au réchauffement des eaux

5.3. MILIEU RIVULAIRE ET VEGETATION DU LIT

La végétation des berges et du lit est une composante essentielle de l'écosystème affilié au cours d'eau :

- Elle participe au **maintien de la qualité des eaux** (ombrage, rôle de filtre, …) ;
- Elle constitue un **habitat** pour les invertébrés, l'avifaune et de petits mammifères (rôle de corridor écologique) ;
- Par l'intermédiaire des **racines**, elle joue aussi un rôle prégnant dans les **habitats du lit mineur** : les racines en elles-mêmes jouent un rôle de refuge pour un certain nombre d'espèces et elles participent à la **diversification des écoulements** (resserrement local du lit, remous, petites zones d'affouillement, …)

Sur ce paramètre, trois points principaux se dégagent :

- La ripisylve arborescente est en déficit, principalement sur la moitié amont du secteur, induisant peu de zones ombragées ;
- 4 espèces invasives ont été inventoriées sur le secteur :
    - La Renouée du Japon (*Reynoutria japonica) ;*
    - La Balsamine de l'Himalaya (*Impatiens glandulifera) ;*
    - Le Topinambour *(Helianthus laetiflorus)*
    - La Berce du Caucase (*Heracleum mantegazzanum*) ;
    - Le Cotonéaster horizontal (*Cotoneaster horizontalis*) ;

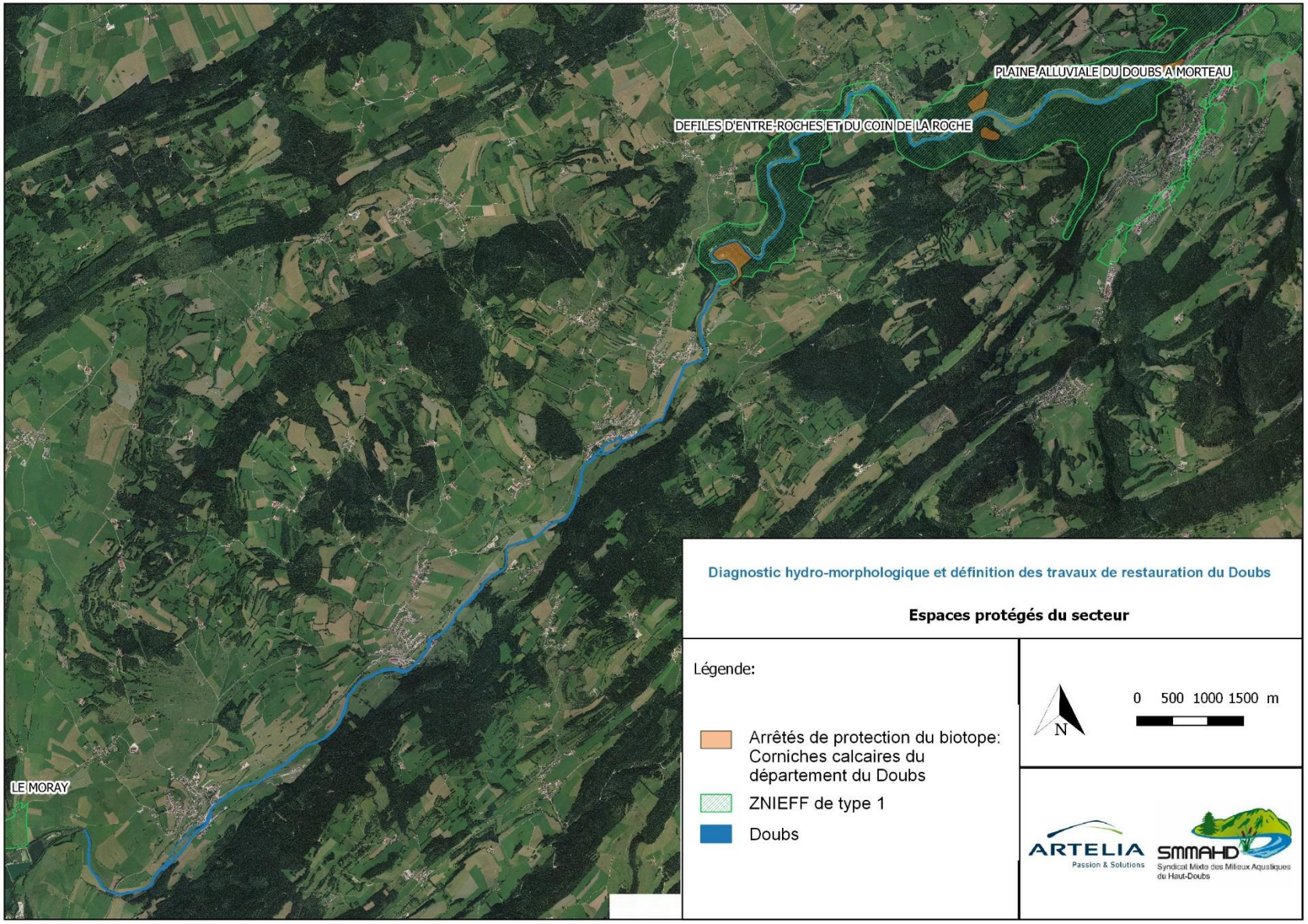
  Les secteurs les plus impactés sont principalement situés au niveau des traversées urbaines. La partie aval de Montbenoit est particulièrement touchée en lien avec un dépôt de matériaux contaminés à proximité du lit de la rivière ;
- Une importante prolifération algale sur le secteur en période d'étiage provoqué par différents facteurs :
    - Des vitesses de courant et lames d'eau faibles ;
    - L'absence d'ombrage ;
    - Le contexte agricole.

5.4. ESPACES NATURELS PATRIMONIAUX

5.4.1. Secteur protégé ou écologiquement intéressant

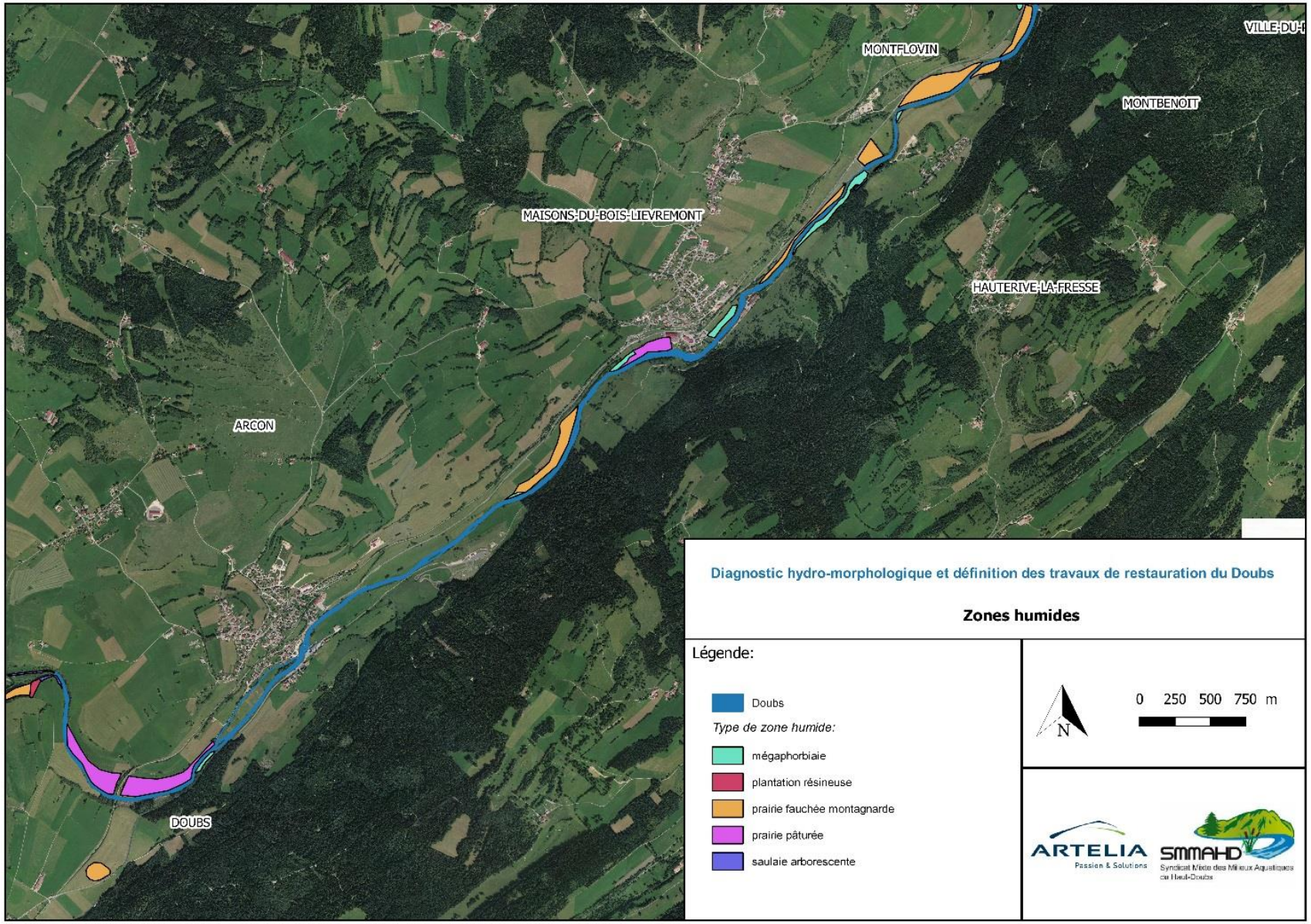
Les seules zones protégées ou écologiquement intéressantes présentent aux alentours du secteur d'étude sont les suivantes :

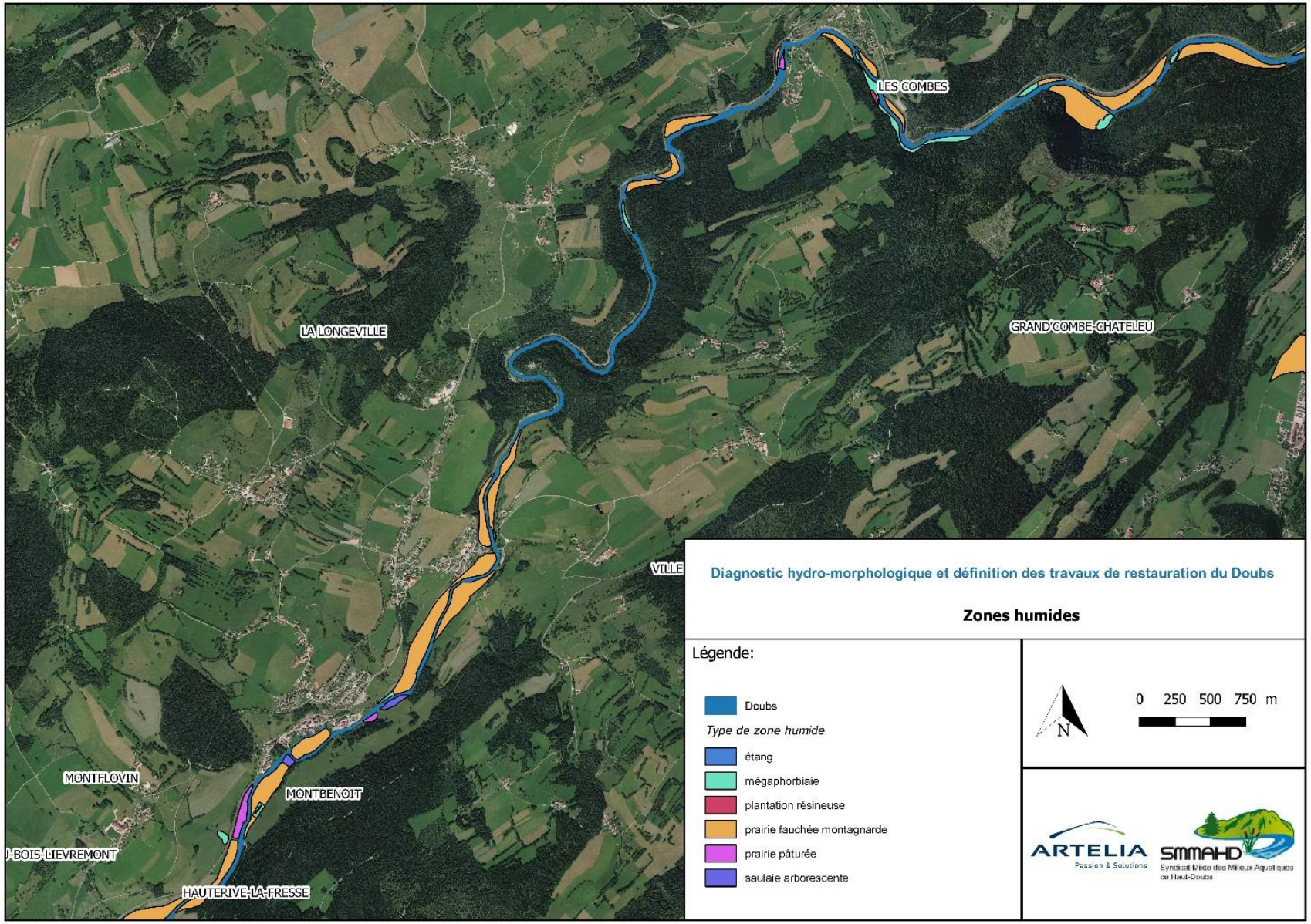
- Le Moray (430020470), ZNIEFF de type I située en amont de la confluence avec le Drugeon ;
- Les défilés d'Entre-Roches et du coin de la Roche (430007824), ZNIEFF de type I débutant à l'amont du défilé ;
- La plaine alluviale du Doubs à Morteau (430007823), ZNIEFF de type I à l'aval du secteur d'étude ;
- Les corniches calcaires du département du Doubs (FR3800749), arrêté de protection du biotope avec quelques zones protégées au sein des gorges.

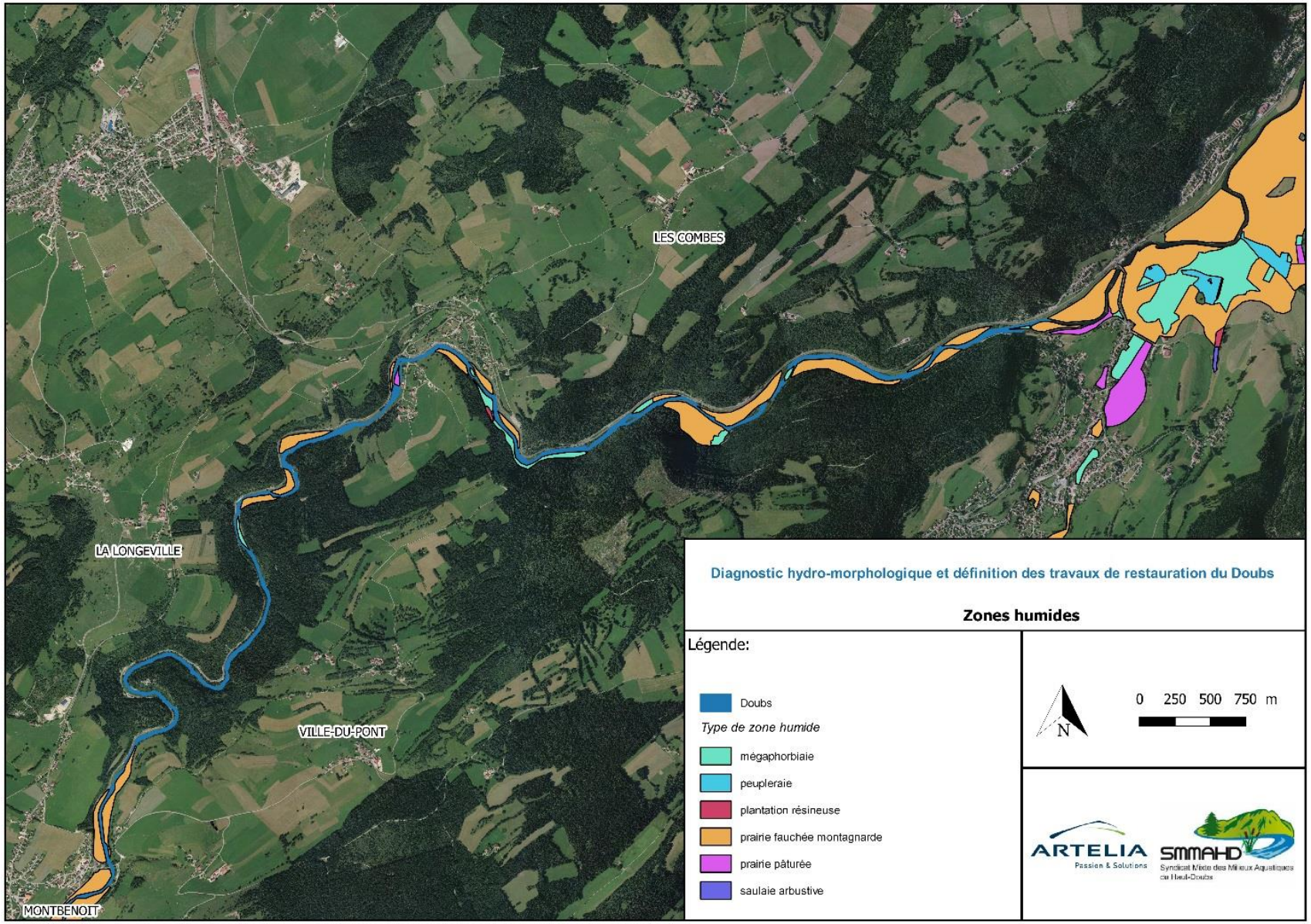

PLAINE ALLUVIALE DU DOUBS A MORTEAU
DEFILES D'ENTRE-ROCHES ET DU COIN DE LA ROCHE
LE MORAY
Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs
Espaces protégés du secteur
Légende:
Arrêtés de protection du biotope: Corniches calcaires du département du Doubs
ZNIEFF de type 1
Doubs
N
0 500 1000 1500 m
ARTELIA
Passion & Solutions
SMMAHD
Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques du Haut-Doubs

5.4.2. **Zones humides**

Le linéaire à l'étude est bordé par différents milieux humides inféodés au cours d'eau. Ceux-ci sont cartographiés ci-dessous.


MONTFLOVIN
MONTBENOÎT
MAISONS-DU-BOIS-LIEVREMONT
HAUTERIVE-LA-FRESSE
ARCON
DOUBS
Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs
Zones humides
Légende:
Doubs
Type de zone humide:
mégaphorbiaie
plantation résineuse
prairie fauchée montagnarde
prairie pâturée
saulaie arborescente
N
0 250 500 750 m
ARTELIA
Passion & Solutions
SMMAHD


LES COMBES
LA LONGEVILLE
GRAND'COMBE-CHATELEU
VILLE
MONTFLOVIN
MONTBENOIT
J-BOIS-LIEVREMONT
HAUTERIVE-LA-FRESSE
Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs
Zones humides
Légende:
Doubs
Type de zone humide
étang
mégaphorbiaie
plantation résineuse
prairie fauchée montagnarde
prairie pâturée
saulaie arborescente
N
0 250 500 750 m
ARTELIA
Passion & Solutions
SMMAHD
Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques du Haut-Doubs


LES COMBES
LA LONGEVILLE
VILLE-DU-PONT
MONTBENOIT
Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs
Zones humides
Légende:
Doubs
Type de zone humide
mégaphorbiaie
peupleraie
plantation résineuse
prairie fauchée montagnarde
prairie pâturée
saulaie arbustive
N
0 250 500 750 m
ARTELIA
Passion & Solutions
SMMAHD
Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques du Haut-Doubs

Notons par ailleurs que différents drains ont été identifiés sur le secteur d'étude. Le secteur en amont de Ville-du-Pont présente en effet une densité importante de fossés. Ce secteur est considéré comme une prairie fauchée montagnarde et constitue donc une zone humide.

Figure 24: Drains localisés en amont de Ville-du-Pont

Ces drains induisent donc une altération des zones humides en place. En effet, ils provoquent un abaissement du plafond de la nappe superficielle et une exportation hors du site de l'eau excédentaire. Si les zones humides limitent les effets des inondations, elles ont aussi un rôle primordial en période de sécheresse. Sur le secteur à l'étude, tenant compte de la sévérité des étiages leur bon état est donc déterminant. Ces zones jouent en effet un rôle d'éponge : en cas de pluies elles stockent les eaux et les libère en période de sécheresse.

Egalement, en secteur agricole, ce qui est ici pleinement le cas, le réseau de drainage évacue directement dans la rivière des quantités importantes de nitrates et de phosphates altérant ainsi la qualité des eaux.

Enfin, une étude portée par le SMHDHL devrait être lancé en 2020 portant sur les zones humides du secteur.

6. ANALYSE DES PERTES DU SECTEUR

Le secteur du Doubs à l'étude situé entre Pontarlier et la sortie du défilé d'Entreroche est marqué par des zones de pertes importantes, conduisant à des assecs fréquents de la rivière pendant des périodes et sur des linéaires plus ou moins importants. Depuis plus d'un siècle, ce secteur a fait l'objet de nombreuses études, et la somme des données acquises est considérable, même si certains points restent à préciser.

L'objet de cette partie est de faire un résumé des principaux éléments disponibles, en mettant en évidence ceux qui ont le plus d'importance dans la problématique de la restauration hydro-morphologique de la rivière et qui peuvent influer sur les travaux à réaliser ou la manière de les réaliser.

6.1. LOCALISATION DES PERTES

Les pertes peuvent être soit ponctuelles (infiltration d'eau dans une fissure ou un trou, avec éventuellement formation d'un vortex), soit diffuses (infiltration à travers des dépôts de sable et gravier reposant sur des calcaires fissurés).

La plupart des pertes se situe entre le pont des Oyes à l'amont d'Arçon et l'entrée du défilé d'Entre Roches, et même plus précisément entre Arçon et Maison-du-Bois, sur un tronçon de 5 km. Mais des pertes sont déjà identifiées dès l'aval du lac de St Point et également dans le lit du Drugeon. Le tronçon affecté par les pertes correspond aux zones d'affleurement des calcaires du Jurassique supérieur.

6.1.1. Pertes ponctuelles

Les pertes ponctuelles peuvent être repérées visuellement lors de prospections à pied, à des périodes judicieusement choisies. Il faut en effet que le Doubs soit suffisamment bas pour que les pertes soient accessibles et visibles, mais suffisamment haut pour que la perte soit encore active. Il est en effet assez difficile de localiser une perte qui est asséchée. De ce fait, selon la longueur et l'intensité de l'assec, les pertes identifiées peuvent être différentes, sans que cela signifie forcément qu'il y ait eu apparition ou colmatage de certaines d'entre elles.

Du fait de l'utilisation intense de l'énergie hydraulique au XIXe et début du XXe siècle, ces pertes ponctuelles ont fait l'objet de campagnes de rebouchage intenses, provoquant parfois des conflits entre usiniers du Doubs et usiniers de la Loue. Ainsi, un texte de 1906 évoque « une faille à 200 m en amont d'Arçon, longue de 3 m, profonde de 1 m, large de 20 à 50 cm, rebouchée rapidement après sa découverte ».

Une prospection à pied a été réalisée par le Syndicat Mixte Haut-Doubs Haute Loue et la société de pêche locale en 2018. Elle a permis de localiser plus de 30 pertes, dont deux n'étaient pas connues antérieurement. La totalité de ces pertes est localisée entre le pont des Oyes à l'amont d'Arçon et Maison-du-Bois (mais cela est peut être dû à la longueur prospectée).

La carte géologique au 1/50 000 du BRGM, éditée en 1969, identifie 8 pertes, toutes localisées dans le même tronçon que ci-dessus, mais ce document ne peut être considéré comme exhaustif vis à vis de l'inventaire des pertes. Une des pertes de la carte géologique semble ne pas avoir été observée en 2018, mais il peut s'agir de problème d'implantation.

Différentes méthodes ont été mises en œuvre pour essayer de localiser les zones de perte de manière plus précise.

Une auscultation du lit du Doubs par la méthode du géoradar a été réalisée en 1993 entre Arçon et Ville-du-Pont. De très nombreuses anomalies sont relevées (près de 170, dont environ 45 jugées importantes), mais en l'absence de contrôle ultérieur, il n'est pas possible d'affirmer ce ces anomalies correspondent forcément à des pertes.

Une autre campagne de prospection géophysique a été réalisée en 1994 par des méthodes électriques (électromagnétisme, polarisation spontanée) et gravimétriques. Un inventaire des pertes réalisé à cette époque montre l'existence de pertes non observées en 2018, notamment à l'amont immédiat d'Arçon. Cet inventaire s'étend à l'aval de Maison-du-Bois, jusqu'à l'entrée du défilé d'Entre Roches. Sur ce tronçon, 7 secteurs de pertes sont indiqués.

Les différentes pertes mentionnées sont localisées dans la carte ci-après :

Légende
Pertes_Doubs_synthèse
Jaugeage_2018-10-04
Jaugeage_2018-08-31
N
0
500
1000
1500
2000 m

Il semble y avoir une certaine corrélation entre les zones de perte et les zones où les profils électromagnétiques indiquent des résistivités plus fortes (absence de recouvrement sur les calcaires), ce qui est logique. Les profils de polarisation spontanée montrent quelques anomalies interprétées comme correspondant à des courants d'électrofiltration. La corrélation de ces mesures avec les pertes identifiées ne paraît pas évidente. Les mesures de microgravimétrie n'ont concerné que 3 secteurs test. Dans 2 cas, il semble y avoir une corrélation entre zone de perte et anomalie. Dans le troisième cas, cela est moins net. Suite à ces campagnes de reconnaissance géophysiques, 12 forages mécanique ont été réalisés (3 de 25 m de profondeur, dont 2 équipés de piézomètres, et 9 de 10 m de profondeur). Sur ces 12 forages réalisés sur des anomalies géophysiques, seul 1 a rencontré une cavité.

6.1.2. Pertes diffuses

Les pertes diffuses ne peuvent être identifiées que par comparaison du débit de la rivière à une date donnée sur plusieurs sections successives, en régime stabilisé (« jaugeages différentiels »). La localisation des pertes est donc comprise entre deux sections de mesures mettant en évidence une baisse de débit.

Une campagne de jaugeages différentiels a été réalisée par la DREAL le 07/08/2018 sur 16 points répartis entre Oye et Pallet et Maison-du-Bois. Le débit total des pertes était de 1,5 m³/s. La majeure partie des pertes est observée au niveau d'Arçon. Des campagnes réalisées en 1979, 1989 et 1994 avaient donné des résultats similaires, avec des pertes localisées essentiellement entre Arçon et Maison-du-Bois. Seule 1 des 5 campagnes avait mis en évidence des pertes significatives entre Maison-du-Bois et Ville-du-Pont.

6.2. DEBITS

La mesure directe du débit des pertes n'est pas possible. Sur les pertes ponctuelles, les conditions d'écoulement ne permettent pas de réaliser de mesures de manière simple. Par ailleurs, il est difficile d'évaluer la part du débit correspondant à des pertes ponctuelles connues et celle correspondant à des pertes ponctuelles non connues ou à des pertes diffuses.

L'évaluation du débit des pertes ne peut se faire que de manière indirecte en comparant le débit du Doubs en 2 points, soit sur les enregistrements des stations de mesure en continu existantes, soit en réalisant des jaugeages différentiels. Compte tenu des incertitudes de mesure, il n'est possible d'avoir une évaluation précise du débit des pertes qu'en basses eaux, lorsque le débit de la rivière est du même ordre de grandeur que celui des pertes.

Si l'on observe les lames d'eau écoulées aux différentes stations hydrométriques du secteur, on note les valeurs suivantes :

- Le Doubs à la Cluse-et-Mijoux : 750 mm ;
- Le Doubs à Doubs : 650 mm ;
- Le Doubs à Ville-du-Pont : 630 mm ;
- Le Drugeon à Vuillecin : 520 mm.

La diminution de la lame d'eau écoulée sur le Doubs dès Doubs et la faible valeur sur le Drugeon à Vuillecin confirment bien l'existence de pertes à l'amont de ces deux stations. A Ville-du-Pont, la superficie du bassin versant est de 576 km². Le déficit d'écoulement de 120 mm correspond à un débit de perte de 2,2 m³/s en moyenne annuelle.

Si l'on s'intéresse aux débits mensuels d'étiage (QMNA, QMNA2, QMNA5) entre la confluence du Doubs et du Drugeon d'une part et Ville-du-Pont d'autre part, on note des pertes de 1,1 à 1,3 m³/s. Le débit des pertes mesuré par la DREAL

en août 2018 était de 1,5 m³/s. Les campagnes de jaugeages différentiels de 1979, 1989 et 1994 indiquent des débits de perte compris entre 0,5 et 2 m³/s, augmentant quand le débit du Doubs augmente.

Une modélisation des débits a été réalisée par le BRGM en comparant les hydrogrammes amont et aval et en utilisant l'équation de la diffusivité. D'après ces calculs, le débit des pertes pourrait atteindre 10 m³/s au maximum. Les pertes du Doubs représenteraient 40 % du débit de la Loue à Mouthier-Haute-Pierre, et les 2/3 du débit de la vasque de la source de la Loue. En étiage, la totalité du débit de ce point serait contrôlé par les pertes du Doubs.

Dans l'étude des volumes prélevables, le débit des pertes est estimé entre 3 et 5 m³/s en moyenne. Ce débit est maximum en période de moyennes eaux. En basses eaux, le débit disponible et l'asséchement de certaines pertes réduit le débit de fuite.

En hautes eaux, il semble que le karst se mette en charge et que les pertes n'absorbent plus, voire deviennent émissives (inversac). En effet, dans certaines situations, les mesures de débit mettent en évidence de gros apports entre Arçon et Ville-du-Pont, alors qu'il n'y a aucun affluent et que le bassin versant intermédiaire est peu développé. Par ailleurs, un piézomètre mis en place à côté de la perte du Gros Foyard en 1993 par la DIREN et suivi de décembre 1993 à avril 1996 a montré un niveau du karst habituellement plus bas d'au moins une dizaine de mètres par rapport au Doubs, mais remontant jusqu'au niveau de la rivière en période de crue. Des mesures de température de l'eau à l'entrée de 2 pertes ponctuelles sont en cours pour vérifier ce point.

Une tentative de corrélation entre débit à l'amont (somme des débits du Doubs à Doubs et du Drugeon à Vuillecin) et débit des pertes a été réalisée en retenant une valeur annuelle. Pour chaque année, la valeur retenue est le VCN 10 à l'amont et le débit de perte calculée à la date correspondant au VCN10. Les données utilisées sont celles de la période 1989 – 2019. Des manques de données ne permettent pas de faire les calculs pour les années 2013 et 2014. Cinq valeurs aberrantes ont été éliminées (pertes négatives alors que l'on est en situation d'étiage : années 2001, 2002, 2005, 2012 et 2015). Le graphique correspondant est reproduit ci-après. La ligne pointillée noire matérialise la diagonale du graphique, correspondant à un débit de perte égal au débit amont. Aucun point ne peut se situer au-dessus de cette ligne. Les points situés sur la ligne (1990, 1991, 1992) correspondent à un assèchement total du Doubs à Ville-du-Pont. La forte dispersion des points et l'existence de valeurs aberrantes illustre la difficulté d'établir une telle relation, qui provient des incertitudes instrumentales inhérentes à toute mesure de débit en rivière. On note cependant pour la gamme de débit observée une relation croissante entre débit amont et débit des pertes, et ce jusqu'à un débit d'au moins 1,5 m³/s. On ne note pas de répartition chronologique organisée entre les points situés au-dessus de la droite de régression (semblant indiquer un débit de perte plus fort) et ceux qui sont situés en dessous. Les points sont situés au-dessus de la moyenne de 1989 à 1992, puis passent en dessous en 1994, 1996, 1997, 1998, 2003 et 2004. 2006 et 2007 repassent au-dessus de la courbe. 2016 est en dessous, et 2017 au-dessus. 2018 se distingue surtout par la faiblesse du débit amont, qui est exceptionnelle. 2019 reste dans la fourchette haute.

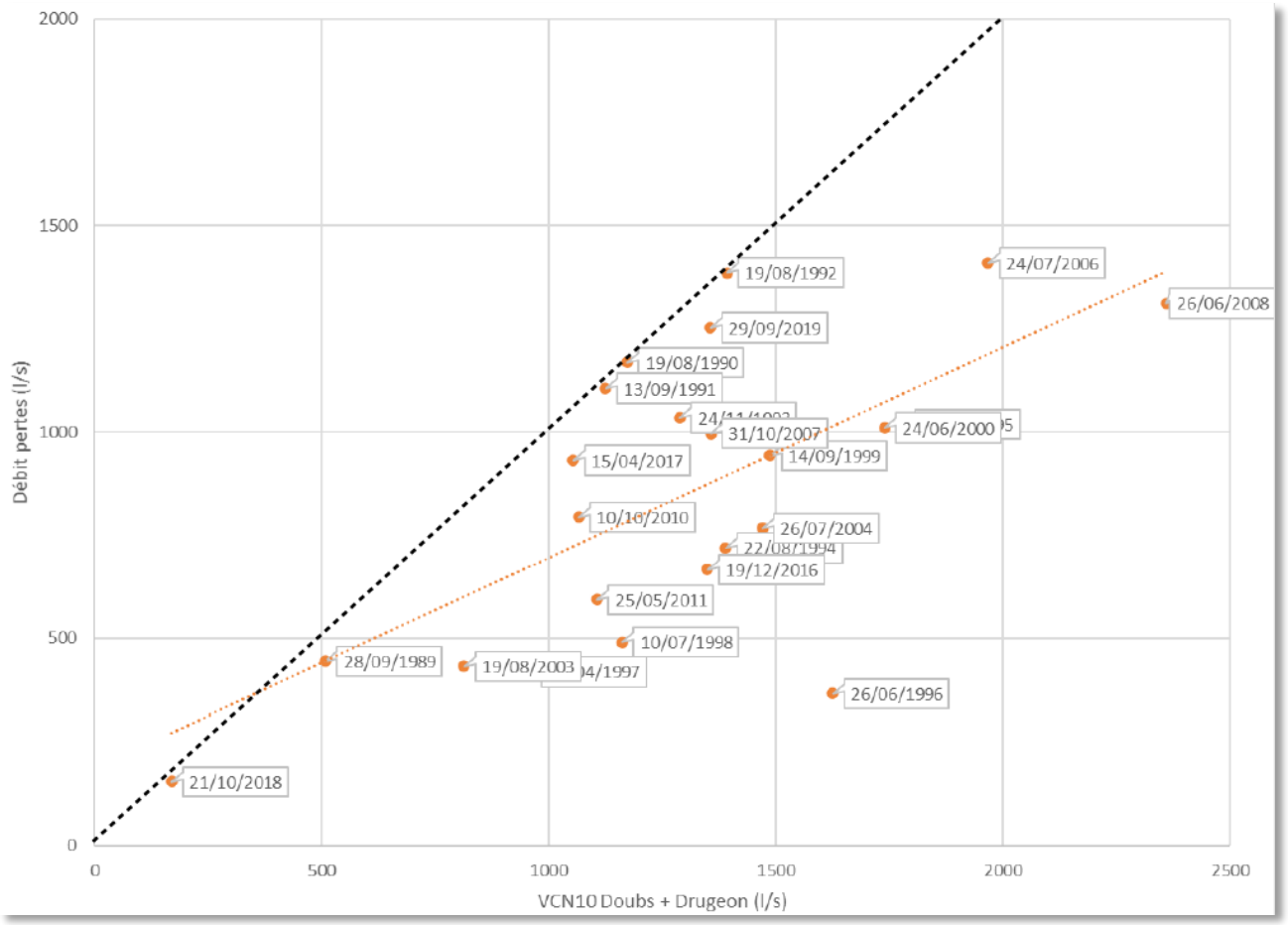


Figure 25 Corrélation entre débit amont et débit des pertes

Le principal enseignement de ce graphique est qu'il n'y a pas, à l'échelle des 30 dernières années, d'évolution sur le long terme du débit des pertes. Par exemple, on note des années 1992 et 2019 tout à fait comparables. C'est également le cas entre 1994 et 2016.

6.3. EVOLUTION DANS LE TEMPS

6.3.1. Evolutions passées

Le phénomène des assecs du Doubs est ancien : Un assec total a par exemple été observé en 1906.

Dans le passé, le colmatage des pertes par les usiniers du Doubs contribuait à maintenir un équilibre artificiel entre les deux cours d'eau. L'abandon de ces pratiques peut avoir un rôle dans une éventuelle augmentation du débit des pertes, sans que celui-ci ne puisse réellement être évalué, faute de mesures de débit de référence datant de cette époque.

6.3.2. Evolutions prévisibles

Les phénomènes de dissolution sont actifs en permanence, et conduisent à un développement ininterrompu du karst. Pour donner un ordre de grandeur, on peut estimer que chaque m³ d'eau infiltré dissous 50 g de calcaire. A l'échelle

d'une année, et sur la base d'un débit de perte moyen de 4 m³/s, c'est plus de 6000 t de calcaire qui sont dissous chaque année.

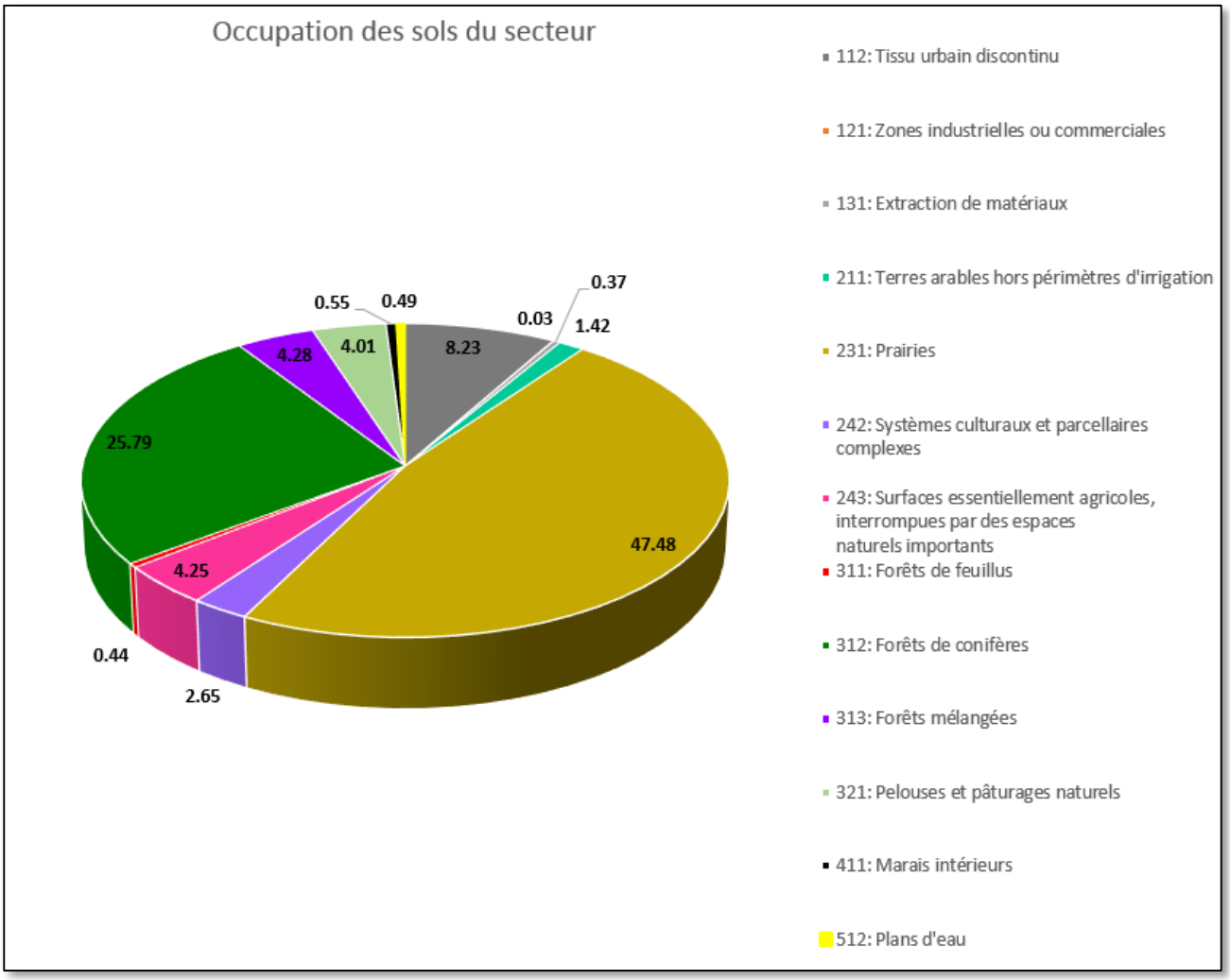
Par ailleurs, les évolutions liées au réchauffement climatique vont se traduire par une réduction des débits disponibles, en particulier en basses eaux. Cette réduction des débits va forcément exacerber l'influence des pertes, même si leur potentiel n'augmente pas.

7. CONTEXTE SOCIO-ECONOMIQUE

7.1. OCCUPATION DES SOLS

Sur la base des données disponibles sur Corine Land Cover, l'occupation des sols du secteur a été analysée, il en ressort que près de la moitié (47%) de l'aire d'étude est occupée par des prairies agricoles. 31% de la surface est constituée de zones boisées.

Enfin, les zones urbanisées constituent environ 8% de la zone à l'étude.



L'importance des parcelles agricoles du secteur soulève deux problématiques :

- La présence de zones de piétinement en berge et de pollution de la rivière ;
- L'existence de drains agricoles impactant la nappe d'accompagnement.

8. CONCLUSIONS DU DIAGNOSTIC

Le Doubs, sur notre secteur est un cours d'eau qui présente des altérations induites par des facteurs multiples. L'hydrologie de la rivière est complexe et interdépendante des pertes du secteur. Celles-ci induisent des étiages très sévères, menant souvent à des assecs et ayant un impact important sur la faune et la flore du secteur.

Les différents ouvrages hydrauliques présents sur le secteur d'étude, ont un impact certain sur le franchissement piscicole. Par ailleurs, la zone aval des gorges est fortement impactée par les ouvrages avec une importante partie de son linéaire située en zone de remous.

Concernant la morphologie du cours d'eau, il apparait que son tracé a été peu modifié au cours du temps. Les principaux dysfonctionnements sont visibles au travers de l'enfoncement de la rivière, le pavage du fond et la disparition de système latéraux induisant une chenalisation de la rivière et un étalement de la lame d'eau en étiage. Egalement, il n'est pas rare d'observer des sur-largeurs sur la rivière en particulier au droit des traversées urbaines ou des ouvrages hydrauliques. Ces dysfonctionnements sont la conséquence des usages passés et présents du cours d'eau (scieries, éclusés, flottage du bois, piétinement, mise en place de barrage,…).

La détermination de la qualité physique du cours d'eau s'est appuyée sur la méthode des tronçons. Globalement, les tronçons analysés sont en classe B avec l'hétérogénéité du secteur comme facteur le plus discriminant. La méthode, et plus particulièrement le score de connectivité, ne met malheureusement pas en évidence les dysfonctionnements observés lors du diagnostic morphologique notamment l'incision que présente certains secteurs. Ce constat peut s'expliquer par une notation issue de la méthode artificiellement soutenue par une incision limitée en raison de la présence de la dalle rocheuse.

Par ailleurs, le contexte économique environnant est la cause de plusieurs désordres impactant la rivière :

- La STEP de Pontarlier située en amont du site à l'étude, et les débordements fréquents des postes de refoulement, provoquent une dégradation de la qualité des eaux et des pollutions dans les sédiments ;
- Le contexte agricole du secteur et les nombreuses zones de pâturages bordant la rivière induisent le piétinement des berges et la pollution des eaux. La présence de drains agricoles au droit des zones humides bordant le cours d'eau a aussi un impact fort notamment lors des étiages.

Enfin, la ripisylve en berge est très appauvrie limitant les caches et zones ombragées pour le poisson. Par ailleurs une problématique liée aux espèces invasives existe sur le cours d'eau.

Toutes ces pressions ont une incidence sur les organismes liés au milieu aquatique. Il a en effet été montré que le peuplement piscicole est manifestement déstructuré avec l'absence ou la faible abondance de nombreuses espèces repères. En complément, un fort développement algal est visible en étiage, conséquence de la qualité de l'eau et des faibles débits transitant. Cette eutrophisation du milieu provoque l'appauvrissement de l'écosystème en place.

Egalement, l'intensification des étiages sévères est un paramètre à prendre en compte. L'assèchement du cours d'eau en 2018 a tristement illustré ce phénomène. En effet, les conditions météorologiques rencontrées étaient extrêmes et ont conduit à un débit transitant sur le secteur d'étude inférieur au débit prélevé par les pertes. Cela a donc inévitablement entrainé l'assèchement du cours d'eau. Les réflexions à mener concernant la gestion des débits d'étiage

devront donc s'attacher à tenir compte des pertes en amont du secteur d'étude qui diminuent grandement les débits arrivant sur Arçon.

En concomitance avec ces phénomènes d'assec, l'étalement de la ligne d'eau induite par les diverses actions anthropiques tend à aggraver la situation.

Toutes ces altérations entrainent donc des perturbations impactant les peuplements biologiques du Doubs. Il convient ainsi de déterminer des solutions d'aménagement permettant de rétablir une situation plus conforme à ce vers quoi le Doubs pourrait tendre naturellement.

C. PROPOSITION DE STRATEGIE SUR LE DOUBS

1. LES ELEMENTS D'UNE STRATEGIE OPERATIONNELLE

1.1. OBJECTIFS

L'objet de cette seconde phase d'étude est la définition d'objectifs de restauration. Cette définition s'appuie principalement sur deux points différents :

- La formalisation des différents enjeux inhérents au secteur d'étude ;
- Le recensement exhaustif des diverses problématiques liées au cours d'eau ;

1.2. PROBLEMATIQUES LOCALES

Suite à l'état des lieux / diagnostic réalisé en phase 1, un certain nombre de problématiques majeures a été recensé sur la zone d'étude :

- Une morphologie altérée avec l'incision généralisée de la rivière et l'impact des aménagements anthropiques (sur-largeur ponctuelle) ;
- Des ouvrages hydrauliques sans usage induisant une homogénéisation des faciès et un réchauffement des eaux ;
- Des activités en lit majeur provoquant une dégradation du milieu (pollution des eaux, drainage de la nappe, mauvaise gestion de la ripisylve,…).

Ces problématiques seront donc les thématiques structurant la définition des objectifs sur le secteur.

1.3. NOTION D'ENJEUX

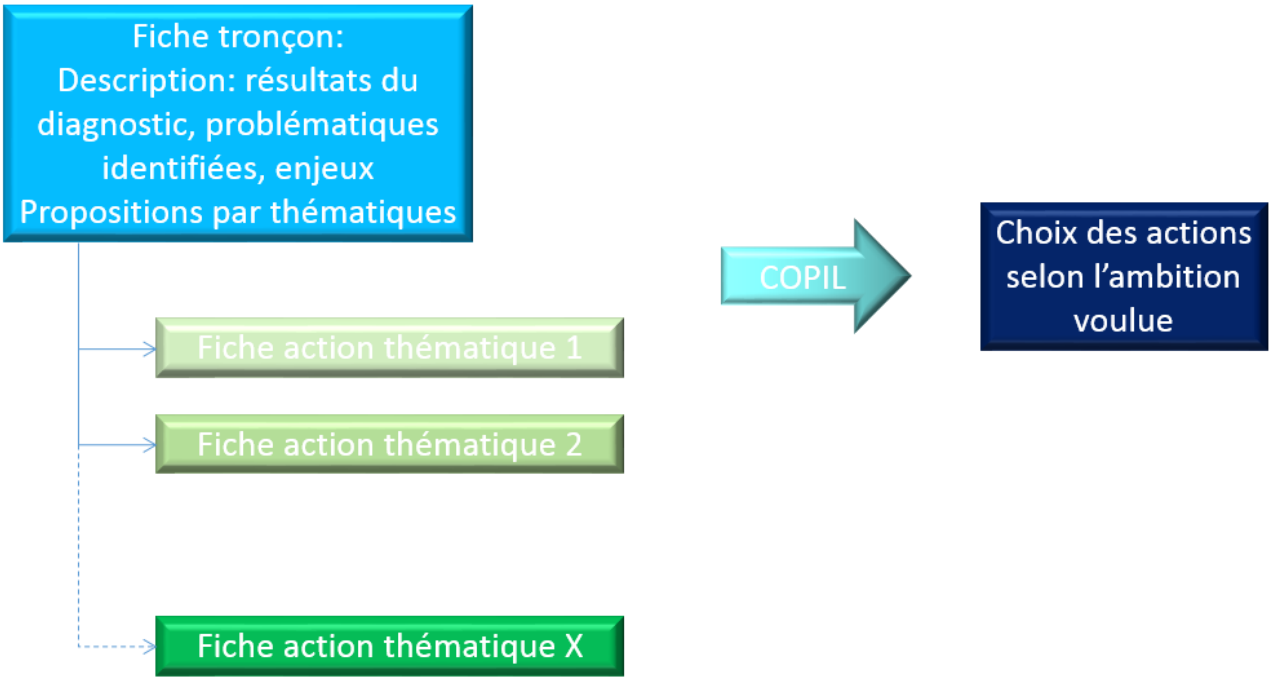
Face à ces problématiques, un certain nombre d'enjeux socio-économiques se dressent. Ces enjeux peuvent représenter un obstacle à la restauration de la morphologie du Doubs. Ces contraintes sont les suivantes :

- La présence des pertes ayant un impact considérable en étiage ;
- La proximité des centres-bourgs avec une problématique inondation ;
- Les différents ouvrages : ponts et barrages ;
- L'occupation des sols et leurs usages économiques.

1.4. LA DEMARCHE PROPOSEE

La démarche proposée a l'ambition de répondre de la façon la plus adaptée aux problématiques identifiées. Aussi, l'organisation suivante a été respectée :

- Pour chaque tronçon identifié dans le diagnostic une fiche synthétique a été réalisée, celle-ci s'attache à détailler entre autre :
    - Les enjeux en présence ;
    - Les dysfonctionnements observés ;
    - Les solutions envisagées ;
- Suite à cela, pour chaque thématique de solutions envisagées sur le tronçon, une fiche action sera réalisée permettant de décrire les aménagements projetés. Aussi, cette structuration permet l'ajustement de la solution projetée (choix de la réalisation de la fiche action ou non) par tronçon et par thématique.



2. HIERARCHISATION DES INTERVENTIONS

Conscient de l'important linéaire à l'étude, il a été nécessaire de réaliser une priorisation des interventions. Ce classement s'est appuyé sur les conclusions du diagnostic et notamment de la méthode tronçons, auxquelles a été ajoutée la prise en compte de la problématique des pertes.

Egalement, tenant compte des échanges avec les acteurs de l'étude, les enjeux liés aux continuités écologiques n'ont pas été considérés comme prioritaires. Cependant, au regard des incidences certaines qu'engendrent les ouvrages, des propositions d'effacement ont été réalisées.

De même, les contraintes inhérentes aux travaux ou au contexte d'occupation des sols ont été considérées dans la hiérarchisation.

LES COMBES
LA LONGEVILLE
GRAND'COMBE-CHATELEU
VILLE-DU-PONT
MONTFLOVIN
MONTBENOIT
MAISONS-DU-BOIS-LIEVREMONT
HAUTERIVE-LA-FRESSE
ARCON
DOUBS
Priorité

Globalement, les tronçons prioritaires sont situés sur le secteur en amont des gorges hors traversée urbaine.

3. LOGIQUE D'INTERVENTION

Les grands principes d'aménagements proposés dans le cadre de cette phase sont décrits dans les paragraphes suivants. Néanmoins, les propositions plus localisées peuvent être détaillées au sein des fiches action de chaque tronçon.

Ces propositions concernent les thématiques suivantes :

- La rehausse des fonds ;
- La mise en place de banquettes ;
- Le remodelage du cours d'eau ;
- Le reméandrement ;
- La diversification ;
- L'aménagement des ouvrages hydrauliques ;
- La gestion de la ripisylve.

3.1. REHAUSSE DES FONDS

3.1.1. Principe

Le diagnostic réalisé en phase 1 a mis en évidence un déficit sédimentaire avec un enfoncement du lit mineur. Ce déficit est la conséquence des différents aménagements ayant eu lieu sur le Doubs au cours du temps ainsi que d'un déficit d'apport en amont. Bien que sur le secteur, le Doubs ne présente pas les caractéristiques d'un cours d'eau charriant une quantité importante de matériaux, le système demeure très sensible et la moindre modification de cet équilibre peut avoir de lourdes conséquences.

Ainsi, ce déficit a des conséquences sur la morphologie du cours d'eau (chenalisation, pavage,…) mais provoque aussi la réduction de l'épaisseur de l'aquifère alluviale. Cette incision combinée aux phénomènes de pertes induit donc des étiages rudes.

Ne pouvant compter sur les apports naturels de l'amont, ni sur l'érosion locale des berges il a été décidé d'apporter artificiellement des matériaux.

Ces matériaux seront déposés sous forme de charge de fond.

3.1.2. Dimensionnement

Les cours d'eau transportent leurs alluvions à des vitesses comprises entre 30 et 500 m/an. De ce fait, les matériaux apportés sont amenés à moyen terme à être déplacé vers l'aval. Afin de faire perdurer au plus la restauration, il est proposé de créer une couche d'armurage sur les 20 derniers centimètres de l'épaisseur de rehausse. Cette couche aurait une granulométrie moyenne légèrement supérieure à la force tractrice critique du secteur, lui permettant d'avoir une certaine stabilité.

Les caractéristiques de mise en mouvement des matériaux ont été estimées grâce au critère de Shields. Le critère de Shields permet d'évaluer la capacité de mise en mouvement des sédiments présents. Il est déterminé par la formule suivante :

$$\tau^* = \frac{\tau}{g(\rho_s - \rho)D} \approx \frac{hJ}{1.65D}$$

Toute rivière possède un seuil de critère de Shields en-deçà duquel l'équilibre du fond du lit est assuré, il est appelé le critère de Shields critique. Lorsque le critère de Shields d'un tronçon de rivière dépasse le seuil critique, la mobilisation des sédiments est active, et induit le début de transport par charriage.

Les travaux de Shields (1936) repris ensuite par Yalin (1977) proposent une relation entre le nombre de Shields, diamètre adimensionnel et la mobilité du matériau via un diagramme. Le tableau ci-dessous présente les diamètres maximum mobilisés calculés pour le débit de débordement pour chaque tronçon :

Tableau 3 – Diamètre maximum mobilisé avant débordement par la rivière à l'état aménagé pour chaque tronçon

Numéro	Secteur	Hauteur d'eau (m)	Pente de ligne d'eau (m/m)	Diamètre (m)	Diamètre adimensionnel d_*	Critère de Shields τ_*
1	Amont Arçon	0.96	0.0023	0.025	632	0.054
2	Traversée d'Arçon	1.5	0.0017	0.03	759	0.052
3	Arçon → Maisons-du-Bois	1.30	0.0015	0.025	632	0.047
4	Maisons-du-Bois (en considérant un effacement des deux ouvrages)	2.16	0.003	0.07	1771	0.056
5	Maisons-du-Bois → Montbenoît	1.1	0.0023	0.03	759	0.051
6	Montbenoît	2.04	0.0028	0.065	1644	0.053
7	Montbenoît → Ville-du-Pont	1.5	0.0017	0.03	759	0.052

Les résultats présentés sont donc tirés de l'analyse du diagramme Schields-Yalin. L'exemple au droit d'Arçon (1 et 2) et Masons-du-Bois (4) est proposé ci-dessous :

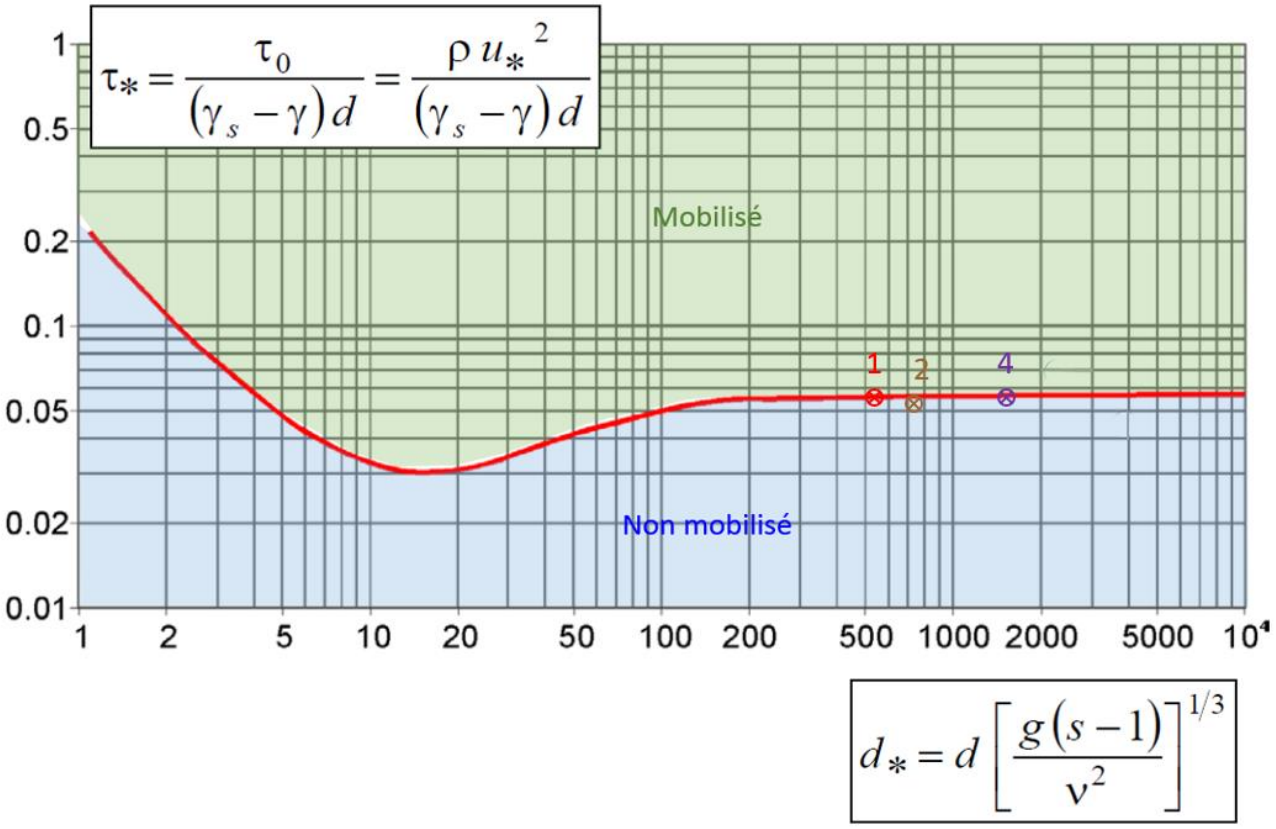


Figure 26 - Diagramme de Schields-Yalin

Ces diamètres devront donc être pris en compte pour choisir le type d'apport selon la mobilité de matériaux désirée.

3.1.3. Volume de réinjection

Le calcul du volume de matériaux à réinjecter se fait sur la base de la hauteur moyenne d'incision observée sur chaque tronçon. En reliant cette hauteur à la largeur moyenne du lit et au linéaire à restaurer, on obtient le volume optimal de matériaux à réinjecter.

Tableau 4 - Estimation des volumes nécessaires pour rehausser les fonds

Tronçon	Largeur lit (m)	Hauteur incisée (m)	Linéaire (m)	Volume (m3)
Tronçon 1	17	0.5	263	2235.5
Tronçon 2	17	0.5	1387	11789.5
Tronçon 3 (aval)	20	0.3	800	4800
Tronçon 5	25	0.6	2518	37770
Tronçon 7	23	0.7	3300	53130
Tronçon 9 (amont)	23	0.5	1391	15996.5

A ce stade, le volume estimé pour la totalité du linéaire est de 125 000 m3, ce qui est considérable. Idéalement les matériaux injectés devront être de type alluvionnaire. Aussi, une attention devra être portée afin d'identifier et réemployer les stocks disponibles sur place. Également, les stocks excédentaires de matériaux suite à des travaux sur le

bassin pourront être remis en œuvre au niveau du secteur (matériaux de retenue d'ouvrage, matériaux recueillis suite un arasement problématique au niveau d'une traversée urbaine,…).

3.2. MISE EN PLACE DE BANQUETTES

3.2.1. Principe

En complément de la réinjection décrite précédemment, des banquettes seront mises en place dans le lit du Doubs afin de resserrer les écoulements en étiage. En effet sur presque la totalité du linéaire à l'étude, la largeur en eau en étiage et en moyennes eaux est sensiblement la même. Ceci implique une lame d'eau très faible en étiage peu biogène.

Ces banquettes pourront être minérales ou composées d'un mélange terre-cailloux permettant une meilleure reprise de la végétation.

Egalement, sur l'amont du secteur, celles-ci seront positionnées au niveau des pertes. La granulométrie des matériaux employés pour ces aménagements sera adaptée à la morphologie de la rivière afin que l'aménagement soit stable et pérenne.

Tenant compte du nombre important de pertes du secteur et de leur répartition allant de l'amont d'Arçon à Maisons-du-Bois, l'objectif ici n'est clairement pas d'effectuer un comblement (celles-ci permettant l'alimentation de la Loue), mais de diminuer le linéaire asséché. En effet, l'implantation des banquettes sur les pertes diminuera, sans le couper totalement, le débit prélevé. Cependant, cela permettra aussi à ce que des zones de pertes actuellement asséchées en étiage soient maintenues en eau, permettant ainsi leur alimentation.

Il est cependant important de noter le caractère expérimental de la mise en place de cet aménagement. Des ajustements seront probablement nécessaires au cours du temps afin d'obtenir un résultat optimal. En effet, l'aménagement à mettre en œuvre peut être de différents types et pourra être ajusté. A ce stade, plusieurs solutions peuvent être envisagées :

- Mise en place de blocs tabulaires sur la perte recouverts de matériaux plus fins permettant de maintenir un écoulement hyporhéique sans que les matériaux de faibles dimensions tombent dans la perte ;
- Mise en place de matériaux morainiques au droit de la perte permettant de conserver une certaine étanchéité. L'effet des changements hydriques (en eau/hors d'eau) sur cet aménagement devra être étudié ;
- Mise en place d'un géotextile sur la perte recouvert ensuite des matériaux de la banquette. Cette solution nous semble être la moins envisageable car elle nécessite la mise en œuvre d'un matériau exogène à la rivière.

Les solutions de comblement par mise en œuvre d'un mélange d'argile totalement étanche ou de béton sont à proscrire.

3.2.2. Géométrie

L'objectif principal de ces banquettes est donc de resserrer les écoulements en étiage afin d'augmenter les hauteurs d'eau. Au vue des espèces en place et de la morphologie du cours d'eau, il a été décidé de se fixer une hauteur d'eau minimale de 30 cm à conserver en étiage. Cette hauteur permet d'assurer des bonnes conditions de nage pour la faune piscicole mais aussi de garantir une connexion pérenne entre le cours d'eau et ses berges.

Cette hauteur moyenne dépend du débit transitant et de la géométrie du cours d'eau.

Cette géométrie a été obtenue grâce à la formule de Manning Strickler explicitée ci-dessous :

$$Q = K_s * S * \left(\frac{S}{P}\right)^{2/3} * \sqrt{i}$$

Avec :

- Ks : coefficient de Strickler ;
- S : surface mouillée ;
- P : périmètre mouillé ;
- i : pente du secteur.

Aussi en considérant :

- Un débit égale à 1,31 m3/s, somme des QMNA5 du Drugeon et du Doubs à Doubs. Le QMNA5 calculé à Ville-du-Pont (0.23 m3/s) étant trop impacté par les pertes ;
- Une hauteur d'eau visée de 30 cm ;
- Une pente de 0,2%
- Un coefficient de Strickler de 25 ;

Il ressort une largeur moyenne de lit d'étiage proche de 7m. Ainsi les banquettes à mettre en place devront permettre la définition d'un lit d'étiage ayant une largeur variant autour de 7m. La hauteur des banquettes devront varier de sorte à être ennoyée pour différente gamme de débits.

3.3. ELEMENTS DE DIVERSIFICATION

Afin de solutionner l'hétérogénéité du milieu, quelques éléments de diversification pourront être apportés. Ces aménagements doivent être mis en place en complément des solutions décrites précédemment. En effet, seuls, ils ne constituent pas une restauration optimale.

Ces aménagements pourront être de différents types, à savoir :

- Blocs ou amas de blocs afin de réaliser des abris hydrauliques ;
- Mise en place de bois morts en lit mineur avec fixation éventuelle en berge ;
- Mise en place de bancs sédimentaires mobilisables par la rivière. En complément de la rehausse et des banquettes qui seront amenées à être plutôt fixes, ces aménagement permettront à la rivière de s'ajuster et recréer des zones morphologiquement intéressantes. Le diamètre des matériaux devra être adaptée au secteur afin d'être mobilisable par la rivière (cf diamètre critique calculé précédemment).

3.4. REMODELAGE

Lorsque la berge est trop haute, il a été décidé de la remodeler afin de la rendre connective. Ce type d'aménagement sera principalement utilisé au droit des traversées urbaines afin de ne pas augmenter le risque inondation.

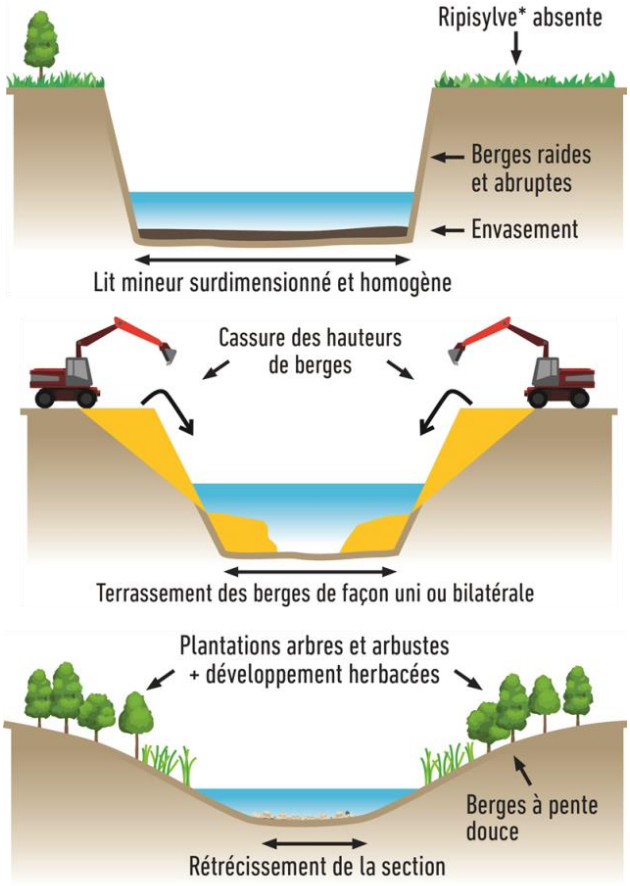


Figure 27 Schéma de principe d'un remodelage bilatéral

Cette intervention permet donc :

- De retravailler la morphologie de la rivière afin de :
    - Rechercher une bonne connectivité entre lit d'étiage, berges et boisements rivulaires ;
    - Maintenir un chenal marqué (lit moyen et lit d'étiage), permettant une diversification des faciès d'écoulement et une hauteur d'eau favorable à la vie aquatique en période d'étiage ;
- D'accueillir de nouvelles plantations afin d'accroitre le gain écologique de l'aménagement (trame verte, ombrage, zone d'abris piscicole,…) ;
- De ne pas aggraver le risque inondation.

Les berges sont profilées avec une configuration du type « lit emboité ». Les berges présentent une pente douce avec un fruit de talus adapté en fonction du secteur. Cette morphologie permet d'assurer la stabilité des berges et la connectivité avec le lit d'étiage, tout en limitant leur impact sur la ligne d'eau en cas de crue.

Ce type d'aménagement est proposé sur les linéaires suivants :

- Le secteur du Doubs dans la traversée d'Arçon ;
- Le canal d'Arçon ;

- Le tronçon au droit de la traversée de Montbenoït ;
- L'amont de Ville-du-Pont qui présente des berges très hautes (en complément de la réinjection sédimentaire) ;
- Les deux derniers kilomètres du linéaire à l'étude en amont de la plaine de Morteau (sous réserve de suppression de l'ouvrage aval).

3.5. REMEANDREMENT

Bien que l'analyse du site n'ait pas indiqué clairement de modification du tracé du cours d'eau, celui-ci semble approprié au droit de certains secteur où le milieu se verrait amélioré par cet aménagement. C'est le cas au niveau d'Arçon, au droit du barrage. En effet, dans l'hypothèse d'un effacement de l'ouvrage, un reméandrement en amont permettrait de rattraper la pente engendrée par l'ouvrage.

En complément, un reméandrement est proposé sur le secteur fortement incisé en aval de Remonot.

Tenant compte de l'enfoncement actuel du cours d'eau et de la faible pente que présente le fond de vallée, ces reméandrements s'accompagnent d'un décapage du lit majeur afin d'obtenir un milieu plus connectif.

3.6. RESTAURATION DE LA CONTINUITE ECOLOGIQUE

Les ouvrages n'ayant actuellement aucun usage leur effacement a été envisagé. En effet, le principe d'effacement d'un ouvrage hydraulique représente la solution la plus efficace en termes de restauration de la continuité écologique (c'est-à-dire piscicole et sédimentaire).

Il peut être décliné en plusieurs variantes, qui sont fonction des attentes, des objectifs et du contexte local. Ainsi, le terme « d'effacement » regroupe plusieurs degrés d'intervention sur l'ouvrage et ne peut se résumer à la suppression drastique de l'ouvrage. Théoriquement, les solutions d'effacement sont les suivantes :

Tableau 5 Différents scenarii d'effacement d'ouvrage

Scenarii	Objectif	Dans quel cas ?
Non-intervention	Laisser évoluer l'ouvrage	- Impacts négligeables et/ou gain limité - Etat de dégradation avancé
Dérasement	Effacement complet	Aucun risque ni impact négatif
Arasement	Maintien d'un point dur de fond	Risque d'évolution morphologique non souhaité
Arasement partiel	Abaissement de l'ouvrage ou de parties d'ouvrage	- Contraintes / risques forts - Amélioration franchissabilité piscicole

Rappelons également que, suivant le degré d'effacement et les résultats de l'étude des incidences envisageables, plusieurs mesures d'accompagnement peuvent être mises en œuvre afin d'assurer certains usages, de préserver certains enjeux et de limiter l'apparition de dysfonctionnements.

Concernant les ouvrages sur la partie amont du secteur (Maisons-du-Bois), l'effacement total de l'ouvrage est dépendant des impacts engendrés sur les pertes. Ces impacts peuvent être positifs comme négatifs. En effet, en

diminuant la surface et la hauteur d'eau en amont des ouvrages, en lien avec la suppression de la retenue d'eau, certaines pertes actuellement alimentées pourraient se retrouver hors d'eau.

Egalement, suite à l'effacement d'un ouvrage, le fond de la rivière nouvellement modifié subit une phase d'ajustement. Cet ajustement peut en partie être contrôlé par la mise en place de points durs structurant le nouveau profil, néanmoins des modifications à la marge sont à prévoir. Le risque en lien avec un effacement est donc la mise à nu de nouvelles pertes sur les fonds décapés. **Aussi, en cas de mise en œuvre de cette solution, des études géologiques complémentaires sont à mener afin de déterminer plus précisément ces incidences.**

Tenant compte de ce contexte, l'arasement a été également proposé. En effet, un arasement, en maintenant un point dur de fond, permet d'améliorer la qualité physique du secteur tout en limitant les modifications du profil en long à l'amont.

Sur le dernier tronçon délimité du fait d'un contexte moins contraignant, seul l'effacement total est envisagé.

Ces aménagements devront s'accompagner d'une restauration des retenues, celles-ci étant actuellement très larges.

L'effacement partiel du barrage d'Arçon a également été étudié.

3.7. GESTION DE LA RIPISYLVE ET DES BERGES

Le diagnostic a également mis en évidence des problématiques liées à la végétation du lit. D'une part certains tronçons présentent un déficit de végétation ce qui contribue à la rigueur des étiages. D'autre part de nombreuses espèces envahissantes sont présentes sur le linéaire.

Enfin, des piétinements en berge ont été localisés, provoquant des érosions, sur-largeurs et apports de MES.

Concernant la gestion de la ripisylve, les scénarios sont dépendants du niveau d'ambition choisi. En effet, selon nous, la solution la plus efficiente à long terme serait de travailler sur une bande tampon au sein de laquelle le développement des conditions de croissance serait favorisé. Cela passerait par une sensibilisation des exploitants riverains à la rivière et une végétalisation « passive » plutôt que par une simple plantation. Sans une phase de concertation la pérennité des plantations n'est pas garantie.

Concernant les piétinements, ceux-ci sont principalement localisés en amont de Montbenoît, une fiche action spécifique a été réalisée pour ce tronçon.

Ailleurs, sur les secteurs où un déficit important a été localisé, les plantations ont été intégrées aux travaux de restauration.

4. PRESENTATION DES FICHES

4.1. TRONÇON 1

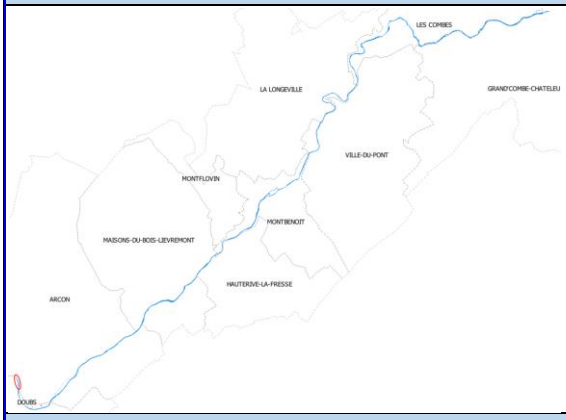
4.1.1. Fiche tronçon

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche tronçon

Rivière(s)	Doubs	**Tronçon n°1**
Commune(s)	Doubs et Arçon	**Priorité: Moyenne**

Localisation



Lit mineur

Linéaire	Présence de seuils	Traversée urbaine	Occupation sols	Zone de pertes
263 m	Non	Non	Pâturage	Oui

Description du tronçon

Hétérogénéité	D	Granulométrie (d50)	73 mm
Attractivité	A	Substrat	Galets
Connectivité	A	Largeur lit mineur	15-20m
Stabilité	érosion	Faciès	radiers /plats

Contexte de l'opération

Fonctionnement du site

Le secteur est situé au droit de la confluence Doubs / Drugeon. Le linéaire est longé en rive gauche par une terrasse calcaire. En rive droite les berges présentent des hauteurs plutôt faibles permettant des débordements fréquents. Les fonds présentent une certaine rugosité au travers de galets et blocs. Par ailleurs, sur ce secteur la ripisylve est très connective permettant la création de cache piscicole parfois profonde. La présence de blocs est aussi un avantage pour le poisson.

Dysfonctionnements observés

Le point le plus problématique ici réside dans la qualité de l'eau (secteur en aval direct de la STEP de Pontarlier). Néanmoins ce tronçon gagnerait à être diversifié. En effet, il présente une faible diversité d'écoulement et un enfoncement compris entre 30 et 60 cm. Cet enfoncement conduit à une chenalisation. Bien que le phénomène soit moins important qu'à l'aval ce secteur est soumis à une problématique de perte.

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche Fiche tronçon
Enjeux
- Présence de la commune de Pontarlier en amont; - Gravières en amont; - Présence de la STEP;
Objectifs visés
Diversification du milieu
Nature de l'intervention
Cette opération consisterait à diversifier le milieu à partir d'une injection de recharge sous forme de bancs ou d'îlots permettant de resserrer les écoulements en étiage ainsi que de diversifier les faciès. Ces apports pourront êtes parfois mixte type îlots végétalisés. Egalement, des blocs de diversification pourraient être mis en place
Photographies

4.1.2. Fiche action

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

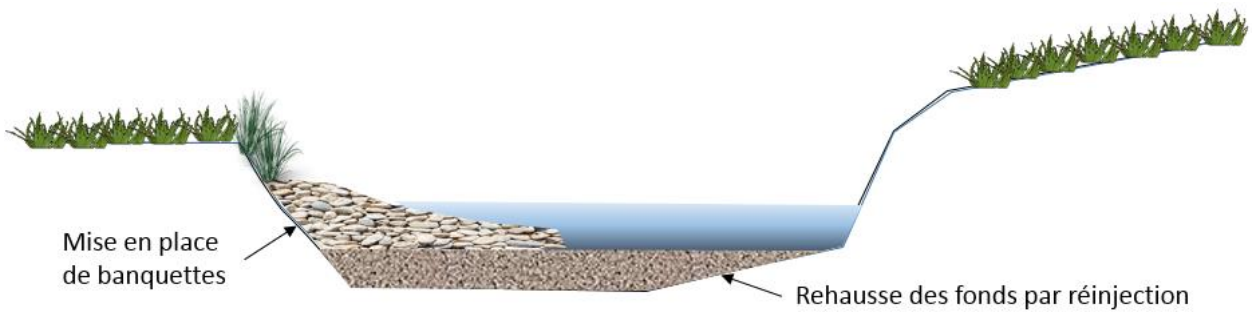
Fiche action

Rivière(s)	Doubs	**Commune(s)**	Doubs et Arçon	**Tronçon**	1
Action	Injection sédimentaire et remodelage			**Priorité de l'action**	1

Schéma de l'aménagement

Vue en plan:

Section en travers:



Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche action

Enjeux

Déficit sédimentaire / Gestion des étiages / Homogénéité des faciès / Pertes

Nature de l'intervention

L'opération projetée consisterait à:

• Réinjection d'une recharge de fond sous forme d'amas ou dans le fond pour réhausser le tronçon sur 50 cm;

• Création de banquettes ou îlots dans le lit du Doubs. Ces bancs seront constitués de différentes classes granulométriques plus ou moins mobilisables par la rivière:

- Caractéristiques des bancs:
  - Hauteur: 70 cm en amont, 30 cm en aval;
  - Linéaire: 200m;
  - Taille des matériaux:30-100 mm;

• Mettre en place des blocs de pierre en pied du versant existant (300-400mm).

Analyse et objectifs visés

La mise en place d'apports sédimentaires et de blocs permettra d'améliorer trois dysfonctionnements observés sur ce tronçon. En effet, l'injection de sédiment permettra en partie de solutionner le déficit sédimentaire, une partie de la gamme sédimentaire injectée sera remobilisable. Egalement, ces apports permettront de diversifier les écoulements dans le tronçon et de resserrer la lame d'eau en étiage améliorant ainsi l'hétérogénéité et la gestion des eaux en étiage. Enfin, une attention particulière devra être mise en œuvre afin de positionner les bancs au droit des secteurs de pertes. Au droit de celles-ci des blocs tabulaires calcaires seront implantés en contact direct puis recouvert de matériaux plus fins.

Incidences attendues

• Incidences hydrauliques: Augmentation des niveaux d'eau.

• Incidences morphologiques: Réactivation des processus sédimentaire, accélération des écoulements;

• Incidences écologiques: Diversification des faciès, gestion des écoulements à l'étiage;

• Incidences sur les pertes: Meilleure gestion de l'alimentation des pertes en étiage;

• Incidences sur les usages: Parcelle en rive droite plus fréquemment inondée.

Condition d'exécution

Autorisations administratives (Loi sur l'Eau et les milieux Aquatiques et DIG)

Indicateur de suivi

Avant travaux	• Réalisation d'un IAM; • Réalisation d'un IBG; • Réalisation d'une pêche électrique; • Réalisation de levés topographiques (données disponibles); • Réalisation CARHYCE	Après travaux	• Réalisation d'un IAM (après crue morphogène, N+5, N+10) ; • Réalisation d'un IBG (après crue morphogène, N+5, N+10); • Réalisation d'une pêche électrique (N+1, N+5, N+10); • Réalisation de levés topographiques (après crue morphogène); • Réalisation CARHYCE (après crue morphogène, N+5, N+10).

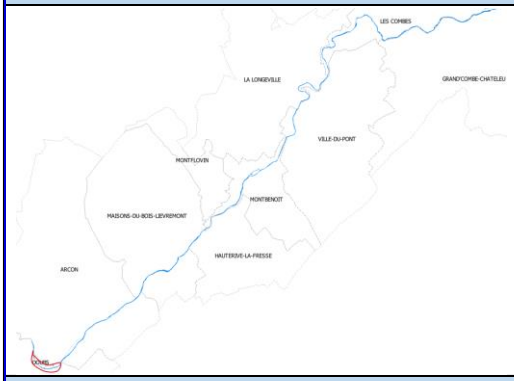
Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche Fiche action	
Besoins études complémentaires	
Levés topographique sur l'amont de la zone (non inclus au secteur de la présente étude)	
Estimation financière	
Nature de l'intervention	Coût (HT) €
Etude de conception et dossiers réglementaires	25 000
Réalisation des travaux	110 000
Total (HT) €	135 000

4.2. TRONÇON 2

4.2.1. Fiche tronçon

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche Fiche tronçon		
Rivière(s)	Doubs	**Tronçon n°2**
Commune(s)	Doubs et Arçon	**Priorité: Forte**

Localisation



Lit mineur

Linéaire	Présence de seuils	Traversée urbaine	Occupation sols	Zone de pertes
1387 m	Non	Non	Pâturage	Oui

Description du tronçon

Hétérogénéité	D	Granulométrie (d50)	70 mm
Attractivité	A	Substrat	Galets-Graviers
Connectivité	A	Largeur lit mineur	15-20m
Stabilité	érosion	Faciès	radiers /plats

Contexte de l'opération

Fonctionnement du site

Le tronçon débute lorsque la rivière n'est plus accolée au pied de versant en rive droite. La limite aval du secteur correspond au début de la zone de remous du barrage d'Arçon qui engendre un élargissement du lit. Sur ce secteur, le lit majeur est barré par le talus SNCF.
De même que pour le tronçon précédent, les principaux faciès rencontrés sont du type radiers et plats. La ripisylve est encore bien connective, mais un peu moins présente que sur le tronçon précédent. Par ailleurs, des herbiers intéressants apparaissent sur ce tronçon. Notons cependant l'apparition d'un léger colmatage sur les zones plus calmes.
Par ailleurs une annexe alluviale est présente en amont du pont SNCF

Dysfonctionnements observés

Des traces d'incisions sont observées sur ce tronçon. De même on observe une certaine sur-largeur notamment au droit du pont de la SNCF. La ripisylve en rive gauche à l'aval du pont est très peu présente. Des îlots de Balsamine ont été localisés sur l'aval du tronçon.

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche tronçon

Enjeux
- Secteur de pertes importantes; - Pont de la SNCF - Présence d'espèces invasives; - Zone humide type "prairie pâturée" en rive gauche
Objectifs visés
Diversification du milieu/ Gestion des étiages / Amélioration de la ripisylve (gestion invasive et plantations)
Nature de l'intervention
Cette opération consisterait à diversifier le milieu à partir d'une injection de recharge sous forme de bancs ou d'îlots permettant de resserrer les écoulements en étiage ainsi que de diversifier les faciès. Ces apports pourront êtes parfois mixte type îlots végétalisés. Egalement, des blocs de diversification pourraient être mises en place. Des plantations (saules blancs) pourraient être mis en place, par ailleurs les îlots de Balsamine seront traités.
Photographies

4.2.2. Fiches actions

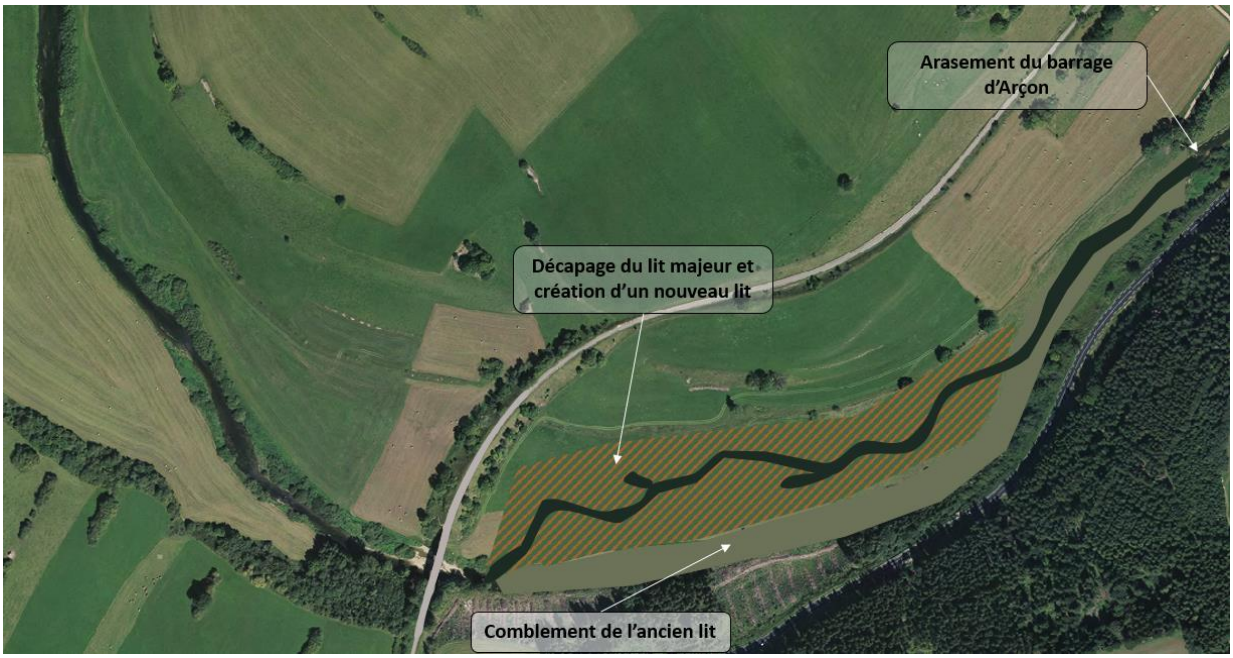
Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche action

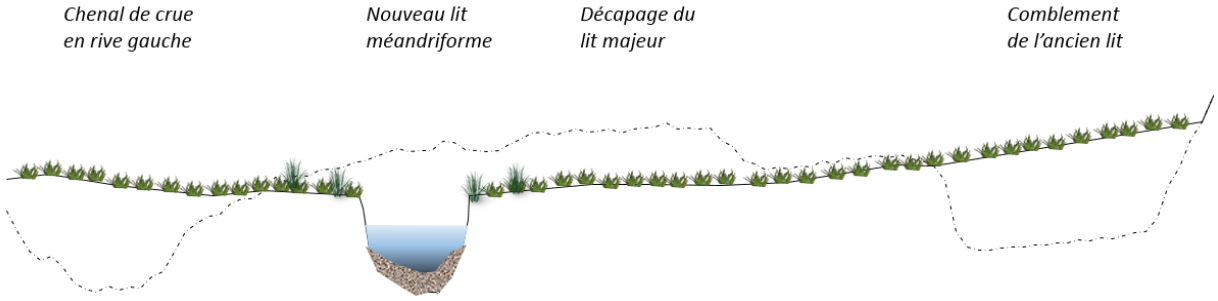
Rivière(s)	Doubs	**Commune(s)**	Doubs et Arçon	**Tronçon**	2
Action	Reméandrement et arasement du seuil d'Arçon			**Priorité de l'action**	1

Schéma de l'aménagement

Vue en plan:



Section en travers:



Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche action

Enjeux

Déficit sédimentaire / Gestion des étiages / Homogénéité des faciès / Pertes

Nature de l'intervention

L'opération projetée consisterait à:
• Créer un nouveau lit méandriforme d'une largeur comprise entre 5 et 10 m resserré en pied pour former un lit d'étiage et débordant pour des débits proches du module;
• Terrasser le lit majeur afin d'améliorer la connectivité et de créer des points bas humides;
• Combler le lit actuel du Doubs;
• Créer une échancrure dans le barrage d'Arçon afin de le rendre franchissable, de diminuer son remous hydraulique et d'orienter les écoulements en étiage sur le bras principal du Doubs.

Analyse et objectifs visés

Le reméandrement permettra la création d'un lit méandriforme plus attractif que celui observé actuellement. A noter que le reméandrement sur cette parcelle n'engendre pas d'augmentation du linéaire, également afin d'obtenir une rivière connective, plusieurs radiers pentus devront être crées pour rattraper la pente. La mise en place de l'échancrure permettra de diminer le remous hydraulique à une trentaine de mètres en étiage. A noter que ce scénario nécessite de nombreuses études complémentaires, notamment en géotechnique afin d'analyser la structure des sols en place.

Incidences attendues

• Incidences hydrauliques: Augmentation des inondations sur la parcelle reméandrée, canal d'Arçon frequemment à sec
• Incidences morphologiques: Réactivation des processus sédimentaire, accélération des écoulements;
• Incidences écologiques: Diversification des faciès, gestion des écoulements à l'étiage, seuil d'Arçon franchissable;
• Incidences sur les pertes: A définir, les pertes dans le lit actuel seront contournées mais des karst peuvent être présents dans le nouveau lit;
• Incidences sur les usages: Parcelles reméandrée frequemment inondée pouvant être incompatible avec les usages actuels.

Condition d'exécution

Autorisations administratives (Loi sur l'Eau et les milieux Aquatiques et DIG) → Déclaration 3.3.5.0

Indicateur de suivi

Avant travaux	• Réalisation d'un IAM; • Réalisation d'un IBG; • Réalisation d'une pêche électrique; • Réalisation de levés topographiques (données disponibles); • Réalisation CARHYCE	Après travaux	• Réalisation d'un IAM (après crue morphogène, N+5, N+10) ; • Réalisation d'un IBG (après crue morphogène, N+5, N+10); • Réalisation d'une pêche électrique (N+1, N+5, N+10); • Réalisation de levés topographiques (après crue morphogène); • Réalisation CARHYCE (après crue morphogène, N+5, N+10).

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche Fiche action	
Besoins études complémentaires	
Topographie complémentaire / Etudes géotechniques	
Estimation financière	
Nature de l'intervention	Coût (HT) €
Etude de conception et dossiers réglementaires	40 000
Réalisation des travaux	380 000
Total (HT) €	420 000

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

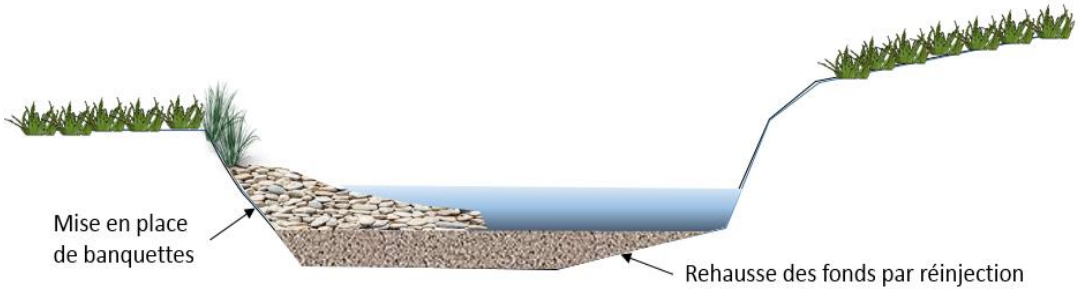
Fiche action

Rivière(s)	Doubs	**Commune(s)**	Doubs et Arçon	**Tronçon**	2
Action	Injection sédimentaire et remodelage			**Priorité de l'action**	2

Schéma de l'aménagement

Vue en plan:

Sections en travers:



Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche action

Enjeux

Déficit sédimentaire / Gestion des étiages / Homogénéité des faciès / Pertes

Nature de l'intervention

L'opération projetée consisterait à:

• Réinjecter des sédiments à la rivière sur 50 cm en moyenne sous forme d'amas ou de charge de fond;

• Mise en place de banquettes ou îlots dans le lit du Doubs. Ces banquettes seront principalment minérales mais de la diversification pourra être apportée par la mise en place de matéraiux mixte ou le bouturage de saules dans les banquettes.

- Caractéristiques des bancs:
  - Hauteur: 40 cm en en amont, 20 cm en aval;
  - Linéaire: 410m;
  - Taille des matériaux: 50-100mm avec blocs tabulaires au droit des pertes.

• Mettre en place des blocs de pierre en pied du versant existant.

Analyse et objectifs visés

La mise en place de ces aménagements permettra d'améliorer plusieurs dysfonctionnements observés sur ce tronçon. En effet, l'injection de sédiment sous forme d'amas ou de charge de fond permettra en partie de solutionner le déficit sédimentaire. Egalement, les banquettes permettront de diversifier les écoulements dans le tronçon et de resserrer la lame d'eau en étiage améliorant ainsi l'hétérogénéité et la gestion des eaux. Enfin, une attention particulière devra être mise en œuvre afin de positionner les banquettes au droit des secteurs de pertes.

Incidences attendues

• Incidences hydrauliques: Augmentation des niveaux d'eau;

• Incidences morphologiques: Réactivation des processus sédimentaire, accélération des écoulements;

• Incidences écologiques: Diversification des faciès, gestion des écoulements à l'étiage;

• Incidences sur les pertes: Meilleure gestion de l'alimentation des pertes en étiage;

• Incidences sur les usages: Parcelles en berges plus fréquemment inondées.

Condition d'exécution

Autorisations administratives (Loi sur l'Eau et les milieux Aquatiques et DIG)

Indicateur de suivi

Avant travaux	• Réalisation d'un IAM; • Réalisation d'un IBG; • Réalisation d'une pêche électrique; • Réalisation de levés topographiques (données disponibles); • Réalisation CARHYCE	Après travaux	• Réalisation d'un IAM (après crue morphogène, N+5, N+10) ; • Réalisation d'un IBG (après crue morphogène, N+5, N+10); • Réalisation d'une pêche électrique (N+1, N+5, N+10); • Réalisation de levés topographiques (après crue morphogène); • Réalisation CARHYCE (après crue morphogène, N+5, N+10).

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche Fiche action	
Besoins études complémentaires	
Topographie complémentaire	
Estimation financière	
Nature de l'intervention	Coût (HT) €
Etude de conception et dossiers réglementaires	40 000
Réalisation des travaux	360 000
Total (HT) €	400 000

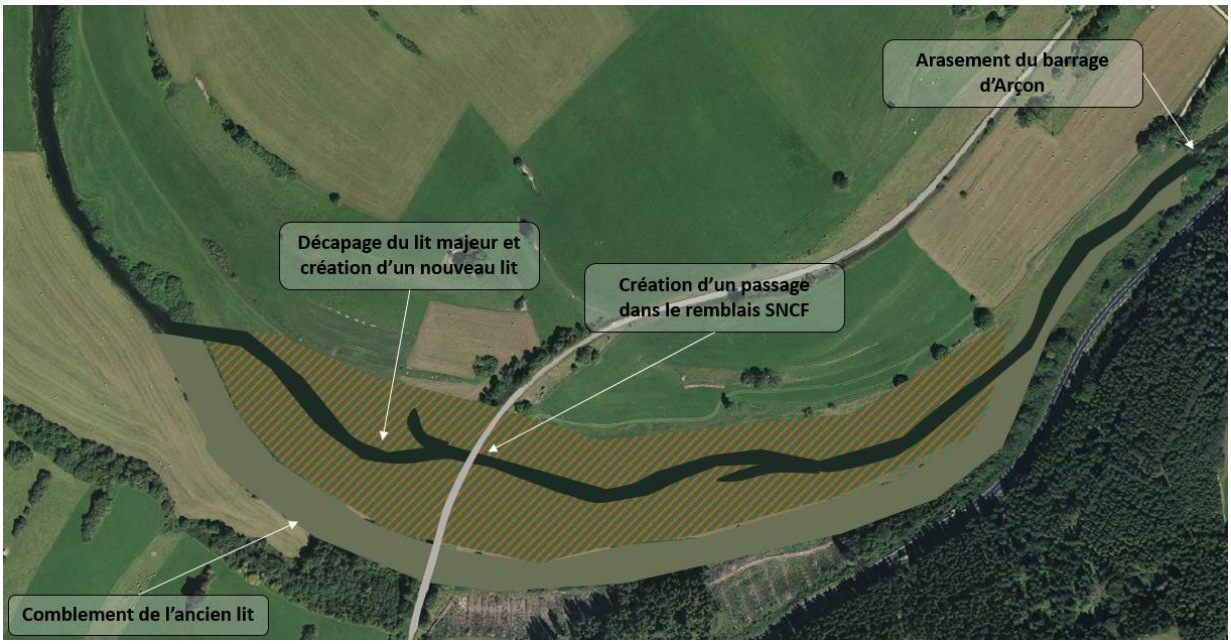
Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche action

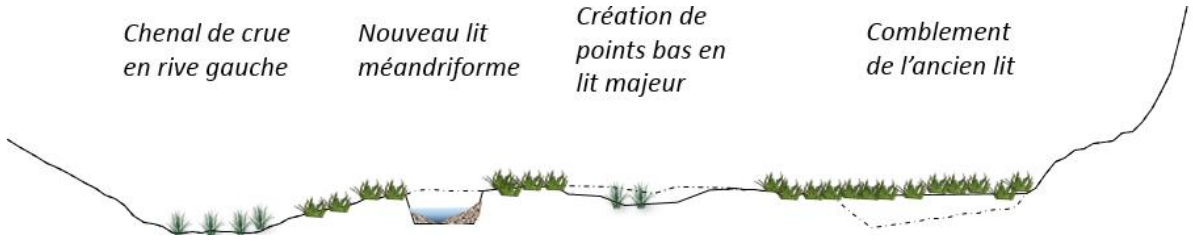
Rivière(s)	Doubs	**Commune(s)**	Doubs et Arçon	**Tronçon**	2
Action	Reméandrement et arasement du seuil d'Arçon			**Priorité de l'action**	3

Schéma de l'aménagement

Vue en plan:



Section en travers:



Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche action

Enjeux

Déficit sédimentaire / Gestion des étiages / Homogénéité des faciès / Pertes

Nature de l'intervention

L'opération projetée consisterait à:
• Créer un nouveau lit méandriforme d'une largeur comprise entre 5 et 10 m resserré en pied pour former un lit d'étiage et débordant pour des débits proches du module;
• Terrasser le lit majeur afin d'améliorer la connectivité et de créer des points bas humides;
• Combler le lit actuel du Doubs;
• Créer un nouveau passage pour la rivière dans le remblais SNCF;
• Créer une échancrure dans le barrage d'Arçon afin de le rendre franchissable, de diminuer son remous hydraulique et d'orienter les écoulements en étiage sur le bras principal du Doubs.

Analyse et objectifs visés

Le reméandrement permettra la création d'un lit méandriforme plus attractif que celui observé actuellement. A noter que le reméandrement sur cette parcelle n'engendre pas d'augmentation du linéaire, également afin d'obtenir une rivière connective, plusieurs radiers pentus devront être crées pour rattraper la pente. La mise en place de l'échancrure permettra de diminuer le remous hydraulique à une trentaine de mètres en étiage. A noter que ce scénario nécessite de nombreuses études complémentaires, notamment en géotechnique où le passage sous la véloroute devra être étudié.

Incidences attendues

• Incidences hydrauliques: Augmentation des inondations sur la parcelle reméandrée, canal d'Arçon fréquemment à sec
• Incidences morphologiques: Réactivation des processus sédimentaire, accélération des écoulements;
• Incidences écologiques: Diversification des faciès, gestion des écoulements à l'étiage, seuil d'Arçon franchissable;
• Incidences sur les pertes: A définir, les pertes dans le lit actuel seront contournées mais des karst peuvent être présents dans le nouveau lit (fouilles à la pelle pour déterminer le substrat);
• Incidences sur les usages: Parcelles reméandrée fréquemment inondée pouvant être incompatible avec les usages actuels.

Condition d'exécution

Autorisations administratives (Loi sur l'Eau et les milieux Aquatiques et DIG) → Déclaration 3.3.5.0

Indicateur de suivi

Avant travaux	• Réalisation d'un IAM; • Réalisation d'un IBG; • Réalisation d'une pêche électrique; • Réalisation de levés topographiques (données disponibles); • Réalisation CARHYCE	Après travaux	• Réalisation d'un IAM (après crue morphogène, N+5, N+10) ; • Réalisation d'un IBG (après crue morphogène, N+5, N+10); • Réalisation d'une pêche électrique (N+1, N+5, N+10); • Réalisation de levés topographiques (après crue morphogène); • Réalisation CARHYCE (après crue morphogène, N+5, N+10).

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche Fiche action	
Besoins études complémentaires	
Topographie complémentaire / Etudes géotechniques	
Estimation financière	
Nature de l'intervention	Coût (HT) €
Etude de conception et dossiers réglementaires	60 000
Réalisation des travaux	700 000
Total (HT) €	760 000

4.3. TRONÇON 3

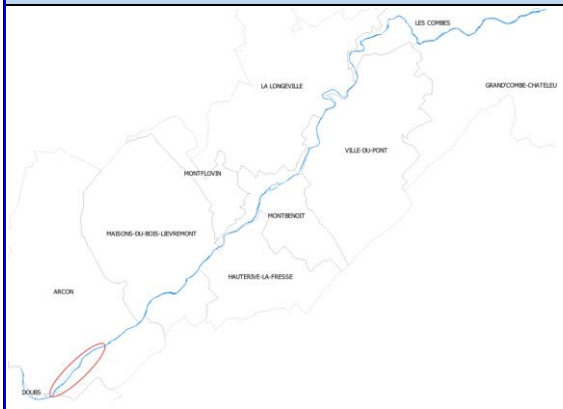
4.3.1. Fiche tronçon

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche tronçon

Rivière(s)	Doubs	**Tronçon n°3**
Commune(s)	Doubs et Arçon	**Priorité: Forte**

Localisation



Lit mineur

Linéaire	Présence de seuils	Traversée urbaine	Occupation sols	Zone de pertes
2187 m	Oui (x2)	Oui	Pâturage / Ville / Route	Oui

Description du tronçon

Hétérogénéité	D	Granulométrie (d50)	82 mm
Attractivité	A	Substrat	Galets-Graviers colmatés
Connectivité	B	Largeur lit mineur	20-30m
Stabilité	équilibre	Faciès	radiers /plats /mouilles

Contexte de l'opération

Fonctionnement du site

Ce tronçon d'environ 2 km débute en amont du barrage d'Arçon et termine à l'aval de la commune lorsque la rivière s'écarte du remblai routier.

Le tronçon est constitué de radiers alternant avec des plats lotiques et lentiques. Ce tronçon se caractérise par le fort impact de la traversée urbaine sur la rivière, avec l'existence de deux ouvrages ainsi que des protections de berges et remblais contraignant la rivière.

Au droit des retenues, un important colmatage par les algues est présent, par ailleurs le fond apparait comme pavé.

La ripisylve, sur ce secteur, est beaucoup moins présente et connective (dû à l'augmentation des hauteurs de berges). On constate l'apparition de zones colonisées par des hélophytes. Là encore, des indices d'incision ont été retrouvés.

Dysfonctionnements observés

- Incisions;
- Ripisylve déconnectée;
- Berges contraintes;
- Ouvrage amont impactant la continuité sédimentaire d'après les mesures de terrain;
- Fonds pavés et colmatés;
- Présence plantes invasives (Renouée et Balsamine)

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche tronçon

Enjeux
- Secteur de pertes importantes; - Traversée urbaine; - Présence de zones humides sur la partie amont du tronçon (prairie pâturée, mégaphorbiaie); - Réchauffement des eaux des retenues; - Présence d'espèces invasives; - Alimentation du canal d'Arçon.
Objectifs visés
Diversification du milieu/ Gestion des étiages / Amélioration de la ripisylve (gestion invasive et plantations)
Nature de l'intervention
Cette opération consisterait à diversifier le milieu à partir d'une injection de recharge sous forme de bancs ou d'îlots permettant de resserer les écoulements en étiage ainsi que de diversifier les faciès. Ces apports pourront êtes parfois mixte type îlots végétalisés. Placés judicieusement, ils pourront également permettre de faciliter la franchissabilité des ouvrages. Aucun aménagement dans le lit ne sera mis en place au droit des retenues des ouvrages. Egalement, des blocs de diversification pourraient être mis en place. Des plantations (saules blancs) pourraient être mises en place, par ailleurs les îlots d'invasives seront traités.
Photographies

4.3.2. Fiches actions

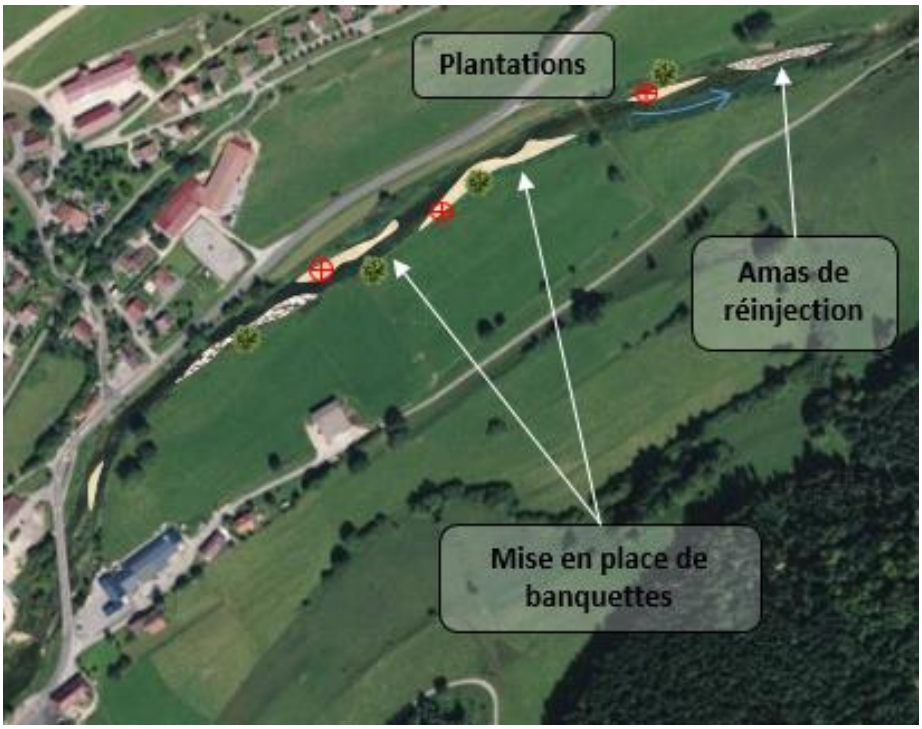
Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche action

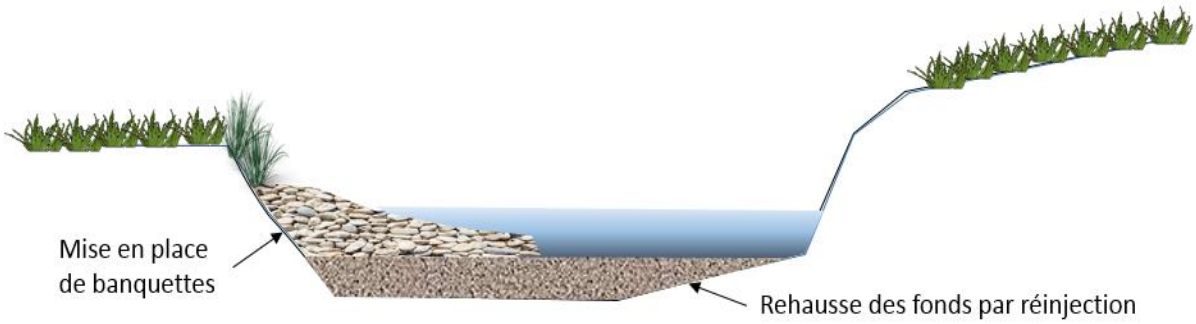
Rivière(s)	Doubs	**Commune(s)**	Doubs et Arçon	**Tronçon**	3
Action	Injection sédimentaire			**Priorité de l'action**	1

Schéma de l'aménagement

Vue en plan:



Section en travers:



Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche action

Enjeux

Déficit sédimentaire / Gestion des étiages / Homogénéité des faciès / Pertes

Nature de l'intervention

L'opération projetée consisterait à:

• Réinjecter des sédiments à la rivière sur 30 cm en moyenne sous forme d'amas ou de charge de fond;

• Réinjecter des sédiments sous forme de banquettes dans le lit du Doubs. Celles-ci seront constitués de différentes classes granulométrique sachant que ces aménagements seront peu mobilisables en comparaison des apports pour la réinjection;

- Caractéristiques des bancs:
  - Hauteur: 40 cm en en amont, 20 cm en aval;
  - Linéaire: 300m;
  - Taille des matériaux: 50-100mm et blocs tabulaires au droit des pertes.

• Plantations de saules et boutures sur les berges et banquettes.

Analyse et objectifs visés

La mise en place de ces aménagements permettra d'améliorer plusieurs dysfonctionnements observés sur ce tronçon. En effet, l'injection de sédiment permettra en partie de solutionner le déficit sédimentaire. Egalement, les banquettes permettront de diversifier les écoulements dans le tronçon et de resserrer la lame d'eau en étiage améliorant ainsi l'hétérogénéité et la gestion des eaux. Enfin, une attention particulière devra être mise en œuvre afin de positionner les banquettes au droit des secteurs de pertes.

Incidences attendues

• Incidences hydrauliques: Augmentation des niveaux d'eau

• Incidences morphologiques: Réactivation des processus sédimentaire, accélération des écoulements;

• Incidences écologiques: Diversification des faciès, gestion des écoulements à l'étiage, amélioration des habitats par mise en place de ripisylve;

• Incidences sur les pertes: Meilleure gestion de l'alimentation des pertes en étiage;

• Incidences sur les usages: Augmentation des débordements sur les parcelles en rive droite.

Condition d'exécution

Autorisations administratives (Loi sur l'Eau et les milieux Aquatiques et DIG)

Indicateur de suivi

Avant travaux	• Réalisation d'un IAM; • Réalisation d'un IBG; • Réalisation d'une pêche électrique; • Réalisation de levés topographiques (données disponibles); • Réalisation CARHYCE	Après travaux	• Réalisation d'un IAM (après crue morphogène, N+5, N+10) ; • Réalisation d'un IBG (après crue morphogène, N+5, N+10); • Réalisation d'une pêche électrique (N+1, N+5, N+10); • Réalisation de levés topographiques (après crue morphogène); • Réalisation CARHYCE (après crue morphogène, N+5, N+10).

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche Fiche action	
Besoins études complémentaires	
Levés topographique complémentaires	
Estimation financière	
Nature de l'intervention	Coût (HT) €
Etude de conception et dossiers réglementaires	30 000
Réalisation des travaux	140 000
Total (HT) €	170 000

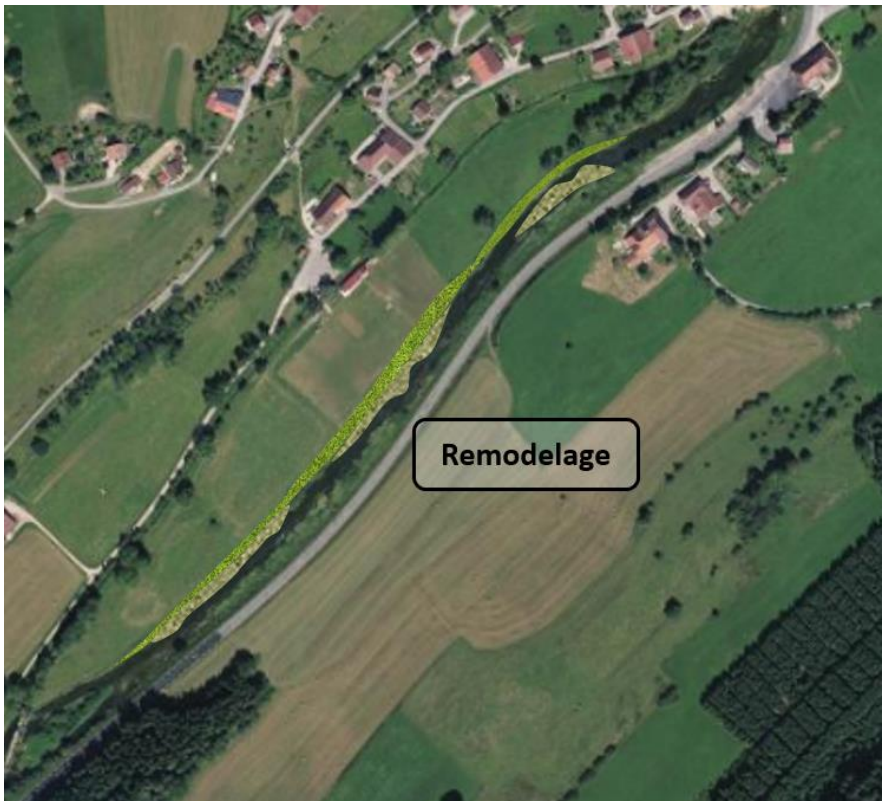
Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche action

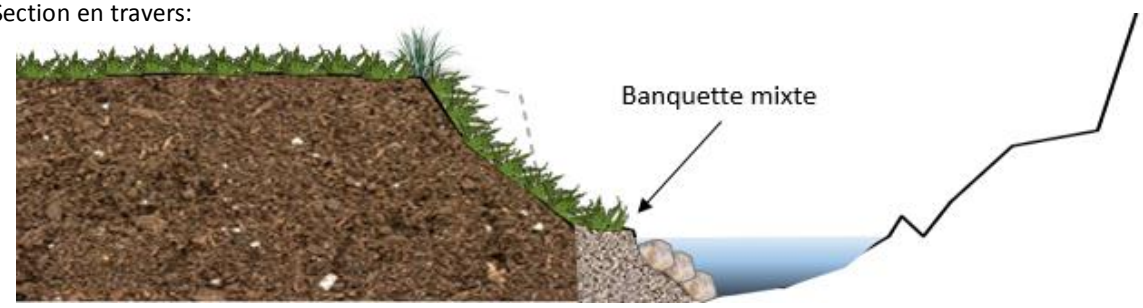
Rivière(s)	Doubs	**Commune(s)**	Doubs et Arçon	**Tronçon**	3
Action	Remodelage			**Priorité de l'action**	2

Schéma de l'aménagement

Vue en plan:



Section en travers:



Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche action

Enjeux
Gestion des étiages / Homogénéité des faciès / Traversée urbaine
Nature de l'intervention
L'opération projetée consisterait à remodeler la section du cours d'eau en évasant en tête (sur 6m) et en resserrant en pied par la mise en place de banquettes délimitant un lit d'étiage. Ces banquettes seront constituées de matériaux mixtes (terra et cailloux) et auront les caractéristiques suivantes: - hauteur: 30 cm en pied; - largeur: 6m. Ces aménagements n'induiront pas d'augmentation sur les niveaux d'eau.
Analyse et objectifs visés
Le remodelage du lit au droit de la traversée d'Arçon permettra de diversifier les faciès et de créer un lit d'étiage pour limiter l'étalement de la lame d'eau. La technique de déblais/remblais utilisée permet de ne pas augmenter le risque d'inondation. Notons que ces aménagements ne se feront pas au droit des zones de retenues engendrées par les ouvrages du secteur.
Incidences attendues
• Incidences hydrauliques: Augmentation des niveaux d'eau à l'étiage • Incidences morphologiques: Accélération des écoulements; • Incidences écologiques: Diversification des faciès, gestion des écoulements à l'étiage; • Incidences sur les pertes: Sans objet; • Incidences sur les usages: Décalage de la rive gauche de 6m par rapport à l'emprise actuelle.
Condition d'exécution
Autorisations administratives (Loi sur l'Eau et les milieux Aquatiques et DIG)

Indicateur de suivi

Avant travaux	• Réalisation d'un IAM; • Réalisation d'un IBG; • Réalisation d'une pêche électrique; • Réalisation de levés topographiques (données disponibles);	Après travaux	• Réalisation d'un IAM (après crue morphogène, N+5, N+10) ; • Réalisation d'un IBG (après crue morphogène, N+5, N+10); • Réalisation d'une pêche électrique (N+1, N+5, N+10); • Réalisation de levés topographiques (après crue morphogène);

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche Fiche action	
Besoins études complémentaires	
Levés topographiques plus détaillés du secteur.	
Estimation financière	
Nature de l'intervention	Coût (HT) €
Etude de conception et dossiers réglementaires	10 000
Réalisation des travaux	65 000
Total (HT) €	75 000

4.4. TRONÇON 4

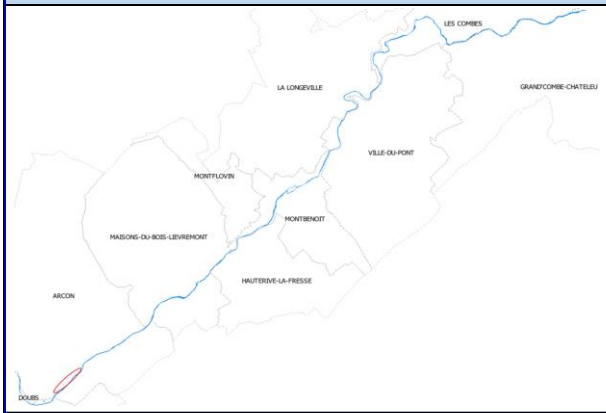
4.4.1. Fiche tronçon

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche tronçon

Rivière(s)	Doubs, canal d'Arçon	**Tronçon n°4**
Commune(s)	Arçon	**Priorité: Faible**

Localisation



Lit mineur

Linéaire	Présence de seuils	Traversée urbaine	Occupation sols	Zone de pertes
872 m	Oui	Oui	Ville	Non

Description du tronçon

Hétérogénéité	D	Granulométrie (d50)	40 mm
Attractivité	A	Substrat	Graviers colmatés / Blocs
Connectivité	A	Largeur lit mineur	3-6m
Stabilité	érosion	Faciès	radiers /plats

Contexte de l'opération

Fonctionnement du site

Ce tronçon constitue le canal usinier de la prise d'eau d'Arçon. Au vu de son ancienneté, il a été choisi de le considérer comme un tronçon à part entière.
Le canal présente une importante hauteur de berge et est constitué d'une succession de courts radiers et plats.
D'importants blocs ont été disposés sur son cours, constituant ainsi des abris pour le poisson. Des herbiers et hélophytes sont aussi présents. Notons cependant que l'alimentation du canal est parfois coupée.

Dysfonctionnements observés

- Berges déconnectées;
- Secteur très linéaire sans sinuosité

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche Fiche tronçon
Enjeux
- Secteur de pertes importantes; - Traversée urbaine; - Présence d'espèces invasives;
Objectifs visés
Diversification du milieu/ Reconnexion lit mineur-majeur
Nature de l'intervention
Cette opération consisterait à restaurer le milieu grâce à un reprofilage de la section permettant d'améliorer la connectivité entre le lit mineur et le lit majeur. Ce remodelage permettrait également de créer des micro-sinuosités au sein du lit d'étiage afin de diversifier les milieux.
Photographies

4.4.2. Fiche action

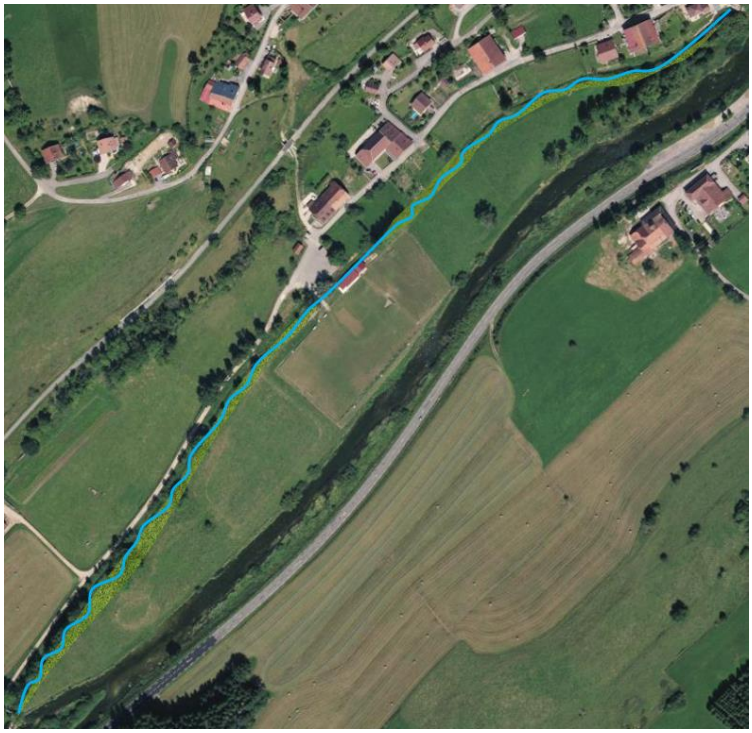
Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche action

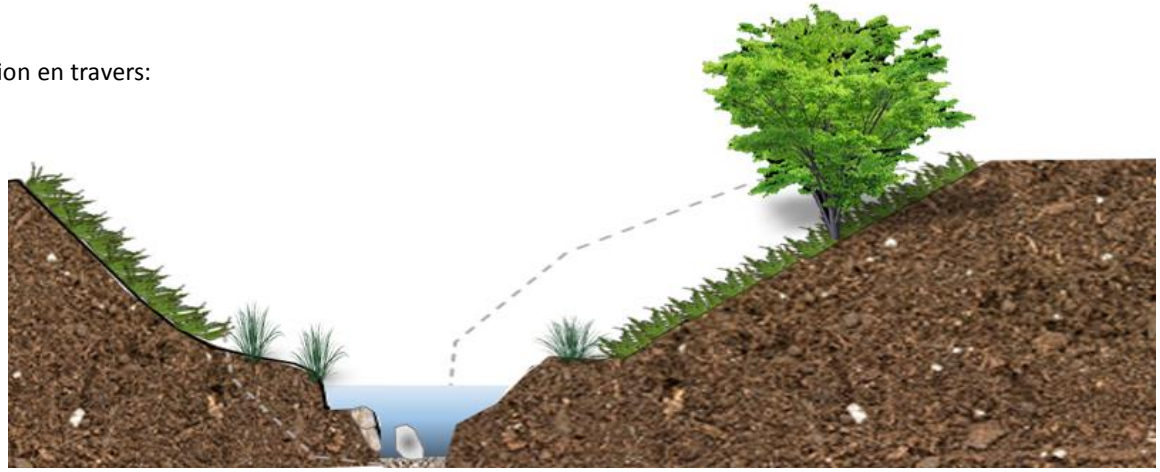
Rivière(s)	Doubs	**Commune(s)**	Arçon	**Tronçon**	4
Action	Remodelage			**Priorité de l'action**	1

Schéma de l'aménagement

Vue en plan:



Section en travers:



Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche action

Enjeux
Diversification des faciès / Traversée urbaine
Nature de l'intervention
L'opération projetée consisterait à remodeler le lit du canal afin d'adoucir le profil des berges et d'obtenir ainsi un milieu plus connectif. Le lit sera resserré en pied afin de diversifier les faciès. Egalement, des blocs de diversification et abris piscicoles seront mis en place. Globalement les berges seront reprises en déblais/remblais sur 10 mètres maximum en rive droite et le lit d'étiage aura une largeur moyenne de 1m.
Analyse et objectifs visés
Le remodelage du lit du canal d'Arçon permettra de diversifier les faciès et de créer un lit d'étiage pour limiter l'étalement de la lame d'eau. La technique de déblais/remblais utilisée n'augmentera pas le risque d'inondation. Des aménagements de diversifications permettront d'améliorer les conditions d'habitats du canal pour les espèces piscicoles se développant dans celui-ci.
Incidences attendues
• Incidences hydrauliques: Augmentation des niveaux d'eau à l'étiage; • Incidences morphologiques: Aucunes; • Incidences écologiques: Diversification des faciès; • Incidences sur les pertes: Sans objet; • Incidences sur les usages: Augmentation de l'emprise des berges.
Condition d'exécution
Autorisations administratives (Loi sur l'Eau et les milieux Aquatiques et DIG)
Indicateur de suivi

Avant travaux	• Réalisation d'un IAM; • Réalisation d'un IBG; • Réalisation d'une pêche électrique;	Après travaux	• Réalisation d'un IAM (après crue morphogène, N+5, N+10) ; • Réalisation d'un IBG (après crue morphogène, N+5, N+10); • Réalisation d'une pêche électrique (N+1, N+5, N+10);

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche Fiche action	
Besoins études complémentaires	
Levés topographiques complémentaires	
Estimation financière	
Nature de l'intervention	Coût (HT) €
Etude de conception et dossiers réglementaires	10 000
Réalisation des travaux	62 000
Total (HT) €	72 000

4.5. TRONÇON 5

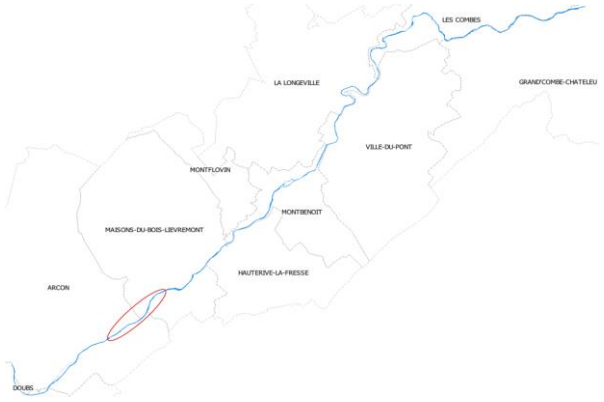
4.5.1. Fiche tronçon

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche tronçon

Rivière(s)	Doubs	**Tronçon n°5**
Commune(s)	Arçon, Maisons-du-Bois	**Priorité: Forte**

Localisation



Lit mineur

Linéaire	Présence de seuils	Traversée urbaine	Occupation sols	Zone de pertes
2518 m	Non	Non	Prairies	Oui

Description du tronçon

Hétérogénéité	C	Granulométrie (d50)	71 mm
Attractivité	A	Substrat	galets / graviers
Connectivité	A	Largeur lit mineur	20-30m
Stabilité	équilibre	Faciès	radiers /plats / mouilles

Contexte de l'opération

Fonctionnement du site

Ce tronçon mesure 2.5 km environ et termine au droit du remous du barrage amont de Maisons-du-Bois. Sur ce secteur, le Doubs vient se plaquer contre le versant gauche. Au droit de ce site, la rivière présente une zone très profonde qui n'avait jusque-là pas été rencontrée sur le linéaire. Lors de la visite, le courant sur cette zone était quasiment nul.
Par ailleurs, sur ce tronçon sont disposés plusieurs regards autour des pertes.
A l'aval du linéaire, dû à la présence du barrage de Maisons-du-Bois, d'importantes figures sédimentaires sont présentes.
Des anciens chenaux secondaires ont par ailleurs été observés à l'aval du tronçon.

Dysfonctionnements observés

- Incision de 70 cm environ;
- Etalement de la lame d'eau en étiage;
- Ripisylve déficitaire sur certain secteur;
- Faciès homogènes.

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche tronçon

Enjeux
- Secteur de pertes importantes; - Présence de 2 zones humides type: prairie fauchée montagnarde, mégapharbiaie, prairie pâturée.
Objectifs visés
Diversification du milieu/ Reconnexion lit mineur-majeur / Gestion des eaux en étiage
Nature de l'intervention
Cette opération consisterait à: -Restaurer le lit mineur par diversification de faciès et injection de sédiments (sous forme de bancs ou îlots); -Restaurer les anciens chenaux secondaires; -Améliorer la ripisylve en place.
Photographies

4.5.2. Fiche action

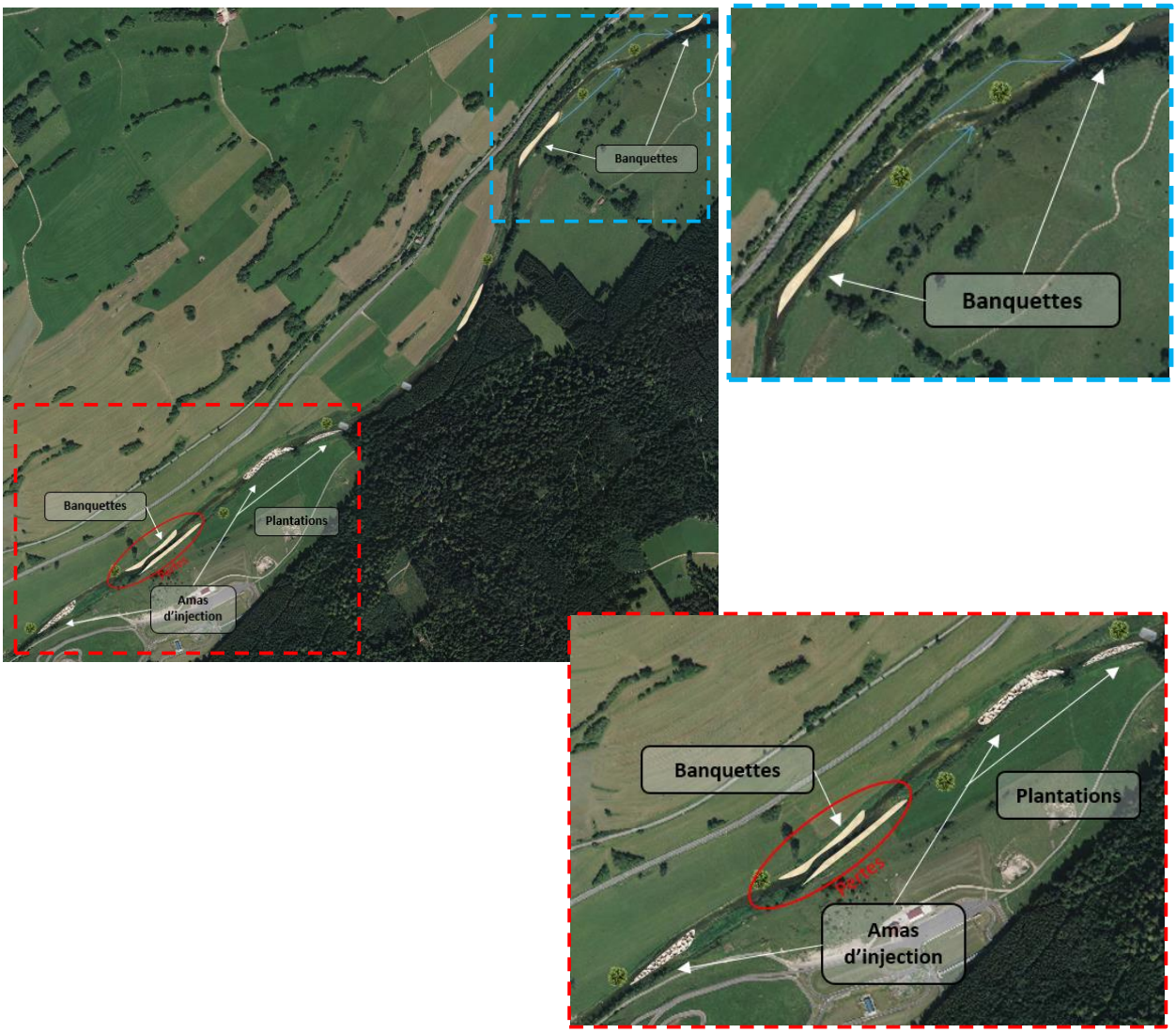
Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche action

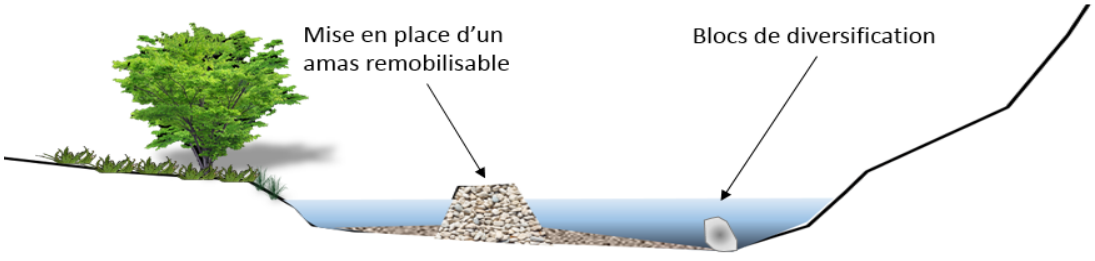
Rivière(s)	Doubs	**Commune(s)**	Arçon, Maisons-du-Bois	**Tronçon**	2
Action	Injection sédimentaire et remodelage			**Priorité de l'action**	1

Schéma de l'aménagement

Vue en plan:



Section en travers:



Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche action

Enjeux

Déficit sédimentaire / Gestion des étiages / Homogénéité des faciès / Pertes

Nature de l'intervention

L'opération projetée consisterait à:

• Réinjecter des sédiments à la rivière sur 60 cm en moyenne sous forme d'amas ou de charge de fond;

• Réinjecter des sédiments sous forme de banquettes dans le lit du Doubs. Celles-ci seront constitués de différentes classes granulométrique sachant que ces aménagements seront peu mobilisables en comparaison des apports pour la réinjection;

- Caractéristiques des bancs:
  - Hauteur: 40 cm en en amont, 20 cm en aval;
  - Linéaire: 370m;
  - Taille des matériaux: 50-100mm;

• Plantations de saules et boutures sur les berges et banquettes.

• Mise en place de blocs de diversification en pied de versant.

Analyse et objectifs visés

La mise en place de ces aménagements permettra d'améliorer plusieurs dysfonctionnements observés sur ce tronçon. En effet, l'injection de sédiment permettra en partie de solutionner le déficit sédimentaire. Egalement, les banquettes permettront de diversifier les écoulements dans le tronçon et de resserrer la lame d'eau en étiage améliorant ainsi l'hétérogénéité et la gestion des eaux. Enfin, les baquettes proposées sur le secteur ont été positionnées autant que possible sur les pertes identifiées. Notons que l'amont de ce tronçon comptabilise un nombre important de pertes dont certaines sont aménagées (regards). Au niveau des pertes, des blocs tabulaires grossiers seront positionnés, des matériaux plus adaptés à la morphologie du cours d'eau constitueront les bancs.

Plusieurs chenaux annexes sont localisés à l'aval du tronçon, suite à l'augmentation des niveaux d'eau ceux-ci se verront plus fréquemment connectés.

Incidences attendues

• Incidences hydrauliques: Augmentation des niveaux d'eau;

• Incidences morphologiques: Réactivation des processus sédimentaire, accélération des écoulements;

• Incidences écologiques: Diversification des faciès, gestion des écoulements à l'étiage;

• Incidences sur les pertes: Meilleure gestion de l'alimentation des pertes en étiage;

• Incidences sur les usages: Augmentation des fréquences de débordement.

Condition d'exécution

Autorisations administratives (Loi sur l'Eau et les milieux Aquatiques et DIG)

Indicateur de suivi

Avant travaux	• Réalisation d'un IAM; • Réalisation d'un IBG; • Réalisation d'une pêche électrique; • Réalisation de levés topographiques (données disponibles); • Réalisation CARHYCE	Après travaux	• Réalisation d'un IAM (après crue morphogène, N+5, N+10) ; • Réalisation d'un IBG (après crue morphogène, N+5, N+10); • Réalisation d'une pêche électrique (N+1, N+5, N+10); • Réalisation de levés topographiques (après crue morphogène); • Réalisation CARHYCE (après crue morphogène, N+5, N+10).

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche Fiche action	
Besoins études complémentaires	
Levés topographiques complémentaires	
Estimation financière	
Nature de l'intervention	Coût (HT) €
Etude de conception et dossiers réglementaires	70 000
Réalisation des travaux	1 300 000
Total (HT) €	1 370 000

4.6. TRONÇON 6

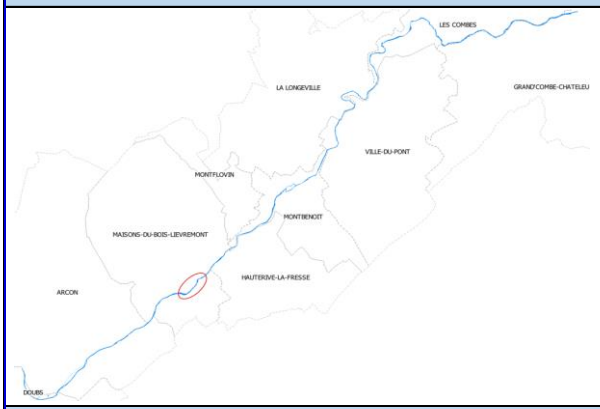
4.6.1. Fiche tronçon

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche tronçon

Rivière(s)	Doubs	**Tronçon n°6**
Commune(s)	Maisons-du-Bois	**Priorité: Faible**

Localisation



Lit mineur

Linéaire	Présence de seuils	Traversée urbaine	Occupation sols	Zone de pertes
700 m	Oui (x2)	Oui	Prairies / Villes	Non

Description du tronçon

Hétérogénéité	-	Granulométrie (d50)	-
Attractivité	-	Substrat	galets colmatés
Connectivité	-	Largeur lit mineur	20-40m
Stabilité	-	Faciès	zones de remous

Contexte de l'opération

Fonctionnement du site

Ce tronçon situé dans la traversée de Maisons-du-Bois est constitué des deux zones de remous successifs engendrées par les barrages du secteur. Les faciès y sont donc lents et très homogènes (mise à part au droit des chutes). La rivière présente sur ce secteur d'importantes hauteurs de berges ce qui provoque une déconnexion entre les lits mineur et majeur. Egalement, les deux ouvrages installés sur le linéaire bloque la continuité piscicole à la montaison et provoque le réchauffement des eaux retenues. Notons par ailleurs que ces deux ouvrages sont détériorés et ne supporte actuellement aucun usage.

Dysfonctionnements observés

- Continuité écologique rompue
- Faciès homogènes
- Deconnection lit mineur / majeur;
- Ouvrages détériorés;
- Présence de Balsamine.

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche Fiche tronçon
Enjeux
- Secteur en traversée urbaine; - Ouvrage sans usage; - Problématique espèces invasives.
Objectifs visés
Restauration de la continuité écologique
Nature de l'intervention
Cette opération consisterait à: -Restaurer le lit mineur par diversifcation de faciès et injection de sédiments (sous forme de bancs ou ilôts); -Restaurer les anciens chenaux secondaires; -Améliorer la rypisylve en place (gestion des invasives).
Photographies

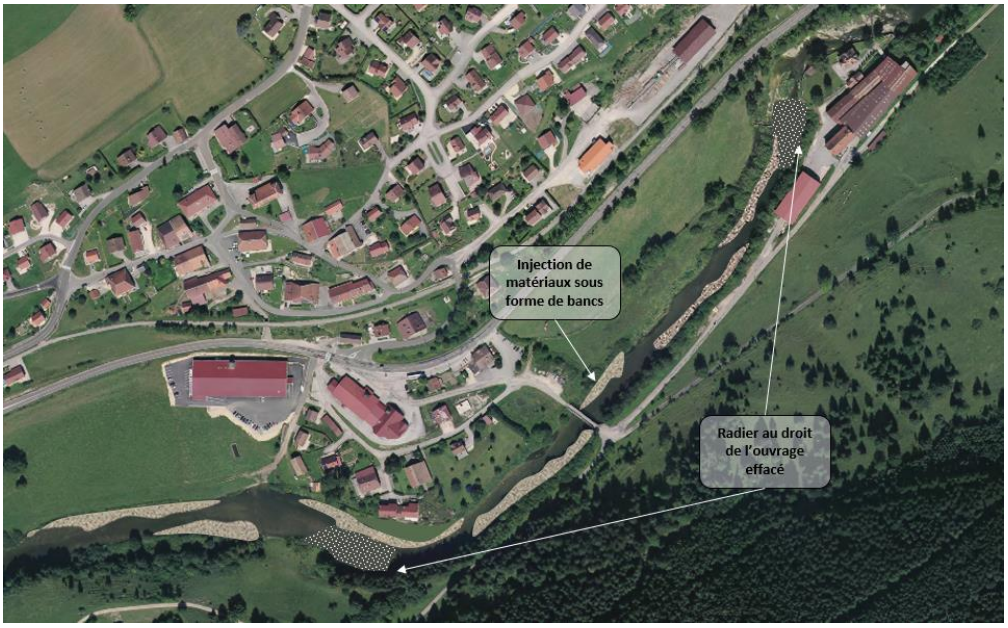
4.6.2. Fiches actions

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche action

Rivière(s)	Doubs	**Commune(s)**	Maisons-du-Bois	**Tronçon**	6
Action	Restauration de la qualité physique et continuité écologique			**Priorité de l'action**	1

Schéma de l'aménagement



Enjeux

Continuité écologique /Qualité physique / Homogénéisation des faciès

Nature de l'intervention

L'opération projetée consisterait à:
- Supprimer les 2 ouvrages de Maisons-du-Bois;
- Restaurer les retenues des ouvrages par resserrement du lit, apport de matériaux et éléments de diversification;
- Mise en place de points durs pour stabiliser le profil.

Analyse et objectifs visés

En terme de restauration de la continuité écologique, l'effacement est la solution la plus efficace. Néanmoins, tenant compte du contexte karstique du secteur, ce scénario doit s'accompagner d'études géotechniques afin d'identifier les éventuels impacts sur les pertes. En effet, un effacement serait susceptible de remobiliser la retenue amont et mettre ainsi des pertes à nue. Ce scénario envisage l'effacement des deux ouvrages aujourd'hui sans usage de Maisons-du-Bois accompagné de la reprise des retenues sur un linéaire total de 1.045 km. Des banquettes seront mises en place pour resserrer le cours d'eau au droit des retenues très larges. Celles-ci seront de plus positionnées au droit des pertes localisées sur ce secteur. Des points durs sous forme de radiers seront mis en place afin de stabiliser le profil. Il est probable que ces ouvrages soit en partie fondé sur un éperon rocheux qui engendrerait la présence d'une chute résiduelle suite à l'effacement. A ce titre, il pourrait s'avérer intéressant de réaliser un sondage sur chaque ouvrage afin de confirmer la proximité du substrat rocheux.

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche action

Incidences attendues
• Incidences hydrauliques: Diminution des niveaux d'eau en amont des ouvrages (-30 cm au niveau de la passerelle de Maisons-du-Bois et -1.5m au droit de la retenue du seuil amont au module) • Incidences morphologiques: Restauration de la retenue; • Incidences écologiques: Restauration de la continuité écologique, diversification des faciès; • Incidences sur les pertes: **A déterminer.**
Condition d'exécution
Autorisations administratives (Loi sur l'Eau et les milieux Aquatiques et DIG)

Indicateur de suivi			
Avant travaux	• Réalisation d'un IAM; • Réalisation d'un IBG; • Réalisation de levés topographiques (données disponibles).	Après travaux	• Réalisation d'un IAM (après crue morphogène, N+5, N+10) ; • Réalisation d'un IBG (après crue morphogène, N+5, N+10); • Réalisation de levés topographiques (après crue morphogène); • Suivi visuel des aménagements.

Besoins études complémentaires
Levés topographiques complémentaires / Analyse de l'évolution potentielle des pertes / Sondages au droit des ouvrages

Estimation financière	
Nature de l'intervention	Coût (HT) €
Etude de conception et dossiers réglementaires	50 000
Réalisation des travaux	570 000
Total (HT) €	620 000

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche action

Rivière(s)	Doubs	**Commune(s)**	Maisons-du-Bois	**Tronçon**	6
Action	Restauration de la qualité physique			**Priorité de l'action**	2

Schéma de l'aménagement

Enjeux

Qualité physique / Homogénéisation des faciès

Nature de l'intervention

L'opération projetée consisterait à:
• Ouvrir les vannes de l'ouvrage du moulin afin de diminuer la zone de retenue en amont de l'ouvrage;
• Restaurer la retenue avec la mise en place de banquettes sédimentaires d'une largeur de 7m et ayant une hauteur de 40 cm en amont et 20 cm en aval.

Analyse et objectifs visés

Le contexte géologique et la présence de pertes au droit de la retenue de l'ouvrage nous poussent à proposer une solution de restauration autre que l'effacement.Tenant compte de ce fait, l'ouverture des vannes du barrage est simplement proposée. Cette nouvelle gestion ne permettra cependant pas de restaurer la continuité piscicole, la chute résiduelle étant trop importante. Les gains apportés cibleront principalement la qualité physique du tronçon. En effet, la retenue sera diminuée d'environ 80m soit 20% du linéaire de la retenue actuelle. Egalement, des bancs seront mis en place pour resserrer le cours d'eau au droit de la retenue très large. Ces banquettes seront de plus positionnées au droit des pertes localisées sur ce secteur.

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche action

Incidences attendues
• Incidences hydrauliques: Diminution des niveaux d'eau en amont de l'ouvrage (-30 cm au module) • Incidences morphologiques: Restauration de la retenue; • Incidences écologiques: Diversification des faciès.
Condition d'exécution
Autorisations administratives (Loi sur l'Eau et les milieux Aquatiques et DIG)

Indicateur de suivi			
Avant travaux	• Réalisation d'un IAM; • Réalisation d'un IBG; • Réalisation de levés topographiques (données disponibles).	Après travaux	• Réalisation d'un IAM (après crue morphogène, N+5, N+10) ; • Réalisation d'un IBG (après crue morphogène, N+5, N+10); • Réalisation de levés topographiques (après crue morphogène); • Suivi visuel des aménagements.

Besoins études complémentaires
Levés topographiques complémentaires

Estimation financière	
Nature de l'intervention	Coût (HT) €
Etude de conception et dossiers réglementaires	6 000
Réalisation des travaux	25 000
Total (HT) €	31 000

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche action

Rivière(s)	Doubs	**Commune(s)**	Maisons-du-Bois	**Tronçon**	6
Action	Restauration de la qualité physique			**Priorité de l'action**	3

Schéma de l'aménagement

Enjeux

Qualité physique / Homogénéisation des faciès

Nature de l'intervention

L'opération projetée consisterait à:
• Réaliser une échancrure sur la crête de l'ouvrage de 1m de profondeur avec une largeur de 4m en pied et 8m en tête;
• Restaurer la queue de la retenue qui sera hors influence avec la mise en place de banquettes sédimentaires alternés d'une largeur de 5m et ayant une hauteur de 30 cm en amont et 20 cm en aval sur un linéaire de 180m.

Analyse et objectifs visés

Le contexte géologique et la présence de pertes au droit de la retenue de l'ouvrage nous poussent à proposer une solution de restauration autre que l'effacement. Tenant compte de ce fait, la réalisation d'une échancrure sur l'ouvrage est proposée. Celle-ci ne permettra cependant pas de restaurer la continuité piscicole, la chute résiduelle étant trop importante. Les gains apportés cibleront principalement la qualité physique du tronçon. En effet, la retenue sera diminuée d'environ 100m au module soit 15% du linéaire de la retenue actuelle. Egalement, des banquettes seront mises en place pour resserrer le cours d'eau au droit de l'amont la retenue.

<table>
<tr><th colspan="4">Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche
Fiche action</th></tr>
<tr><th colspan="4">Incidences attendues</th></tr>
<tr><td colspan="4">• Incidences hydrauliques: Diminution des niveaux d'eau en amont de l'ouvrage (-60 cm au module)
• Incidences morphologiques: Restauration de l'amont retenue;
• Incidences écologiques: Diversification des faciès sur 80m.</td></tr>
<tr><th colspan="4">Condition d'exécution</th></tr>
<tr><td colspan="4">Autorisations administratives (Loi sur l'Eau et les milieux Aquatiques et DIG)</td></tr>
<tr><th colspan="4">Indicateur de suivi</th></tr>
<tr><td>Avant travaux</td><td>• Réalisation d'un IAM;
• Réalisation d'un IBG;
• Réalisation de levés topographiques (données disponibles);</td><td>Après travaux</td><td>• Réalisation d'un IAM (après crue morphogène, N+5, N+10) ;
• Réalisation d'un IBG (après crue morphogène, N+5, N+10);
• Réalisation de levés topographiques (après crue morphogène);
• Suivi visuel des aménagements</td></tr>
<tr><th colspan="4">Besoins études complémentaires</th></tr>
<tr><td colspan="4">Levés topographiques complémentaires</td></tr>
<tr><th colspan="3">Estimation financière</th></tr>
<tr><td colspan="2">Nature de l'intervention</td><td>Coût (HT) €</td></tr>
<tr><td colspan="2">Etude de conception et dossiers réglementaires</td><td>6 000</td></tr>
<tr><td colspan="2">Réalisation des travaux (sous réserve du bon état structurel de l'ouvrage)</td><td>25 000</td></tr>
<tr><td colspan="2">Total (HT) €</td><td>31 000</td></tr>
</table>

4.7. TRONÇON 7

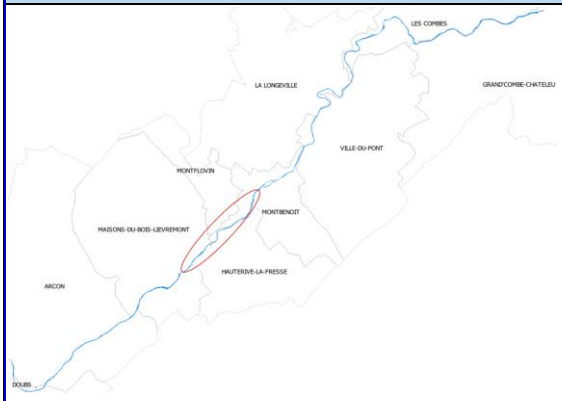
4.7.1. Fiche tronçon

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche tronçon

Rivière(s)	Doubs	**Tronçon n°7**
Commune(s)	Maisons-du-Bois, Hauterive-la-Fresse, Montbenoit	**Priorité: Forte**

Localisation



Lit mineur

Linéaire	Présence de seuils	Traversée urbaine	Occupation sols	Zone de pertes
3300 m	Non	Non	Prairies / Forêts	Non

Description du tronçon

Hétérogénéité	C	Granulométrie (d50)	62,5
Attractivité	A	Substrat	galets colmatés
Connectivité	B	Largeur lit mineur	20-25m
Stabilité	équilibre	Faciès	radiers/ plats/ mouilles

Contexte de l'opération

Fonctionnement du site

Ce tronçon s'étend sur 3.3 km entre Maisons-du-Bois et Montbenoit, on y retrouve une alternance de radier plat combiné à des mouilles lorsque la rivière s'acolle au pied de versant, on remarque par ailleurs une augmentation significative des hauteurs de berges. Notons qu'un remblai en lit majeur est présent sur ce tronçon, celui-ci a un impact certain sur le caractère humide du secteur puisqu'il est entouré de prairie fauchée montagnarde. Ce secteur a par ailleurs subi un important enfoncement. Lors du terrain en période d'étiage le tronçon était très colmaté par endroit. Plusieurs petites sources confluent avec le Doubs sur ce tronçon.
Enfin, plusieurs anciens bras secondaire / chenaux de crue ont été identifiés sur le secteur

Dysfonctionnements observés

- Enfoncement généralisé du tronçon;
- Etalement de la lame d'eau en étiage;
- Colmatage très important en étiage;
- Remblais au droit d'une parcelle limitant l'inondabilité du secteur;
- Îlots de balsamine sur le secteur;
- Ripisylve en déficit sur certain secteur.

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche tronçon

Enjeux
- Présence de zones humides; - Présence d'invasive; - Deconnexion lits mineur - majeur; - Occupation des sols.
Objectifs visés
Diversification des faciès / Gestion de la lame d'eau en étiage / Suppression des piétinements
Nature de l'intervention
Cette opération consisterait à: - Restaurer le lit mineur par diversification de faciès et injection de sédiments (sous forme d'amas ou de bancs); - Améliorer la connectivité grâce à des remodelages de la section; - Protéger les berges grâce à la pose de clôtures.
Photographies

4.7.2. Fiches actions

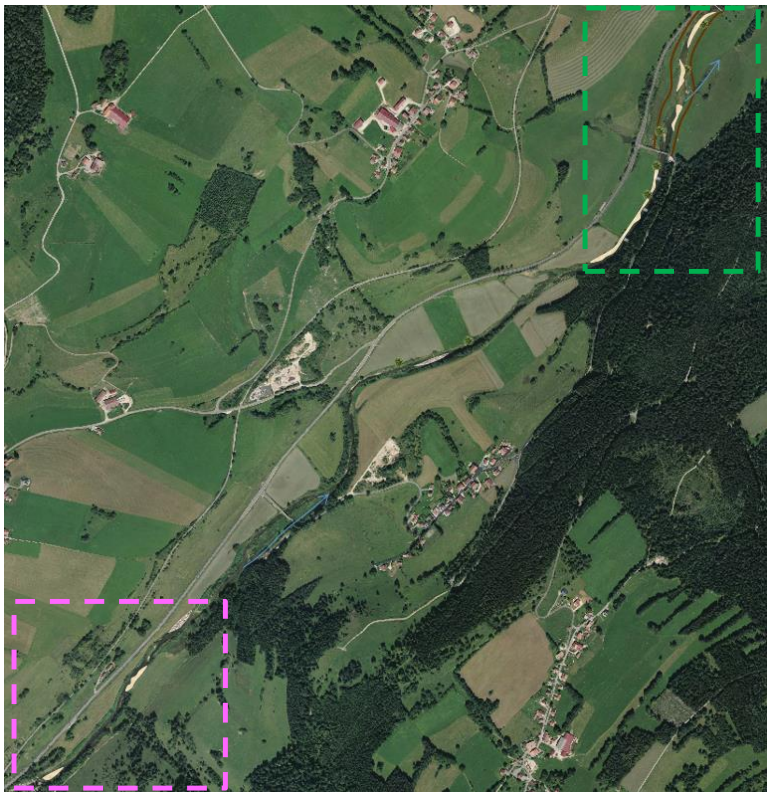
Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

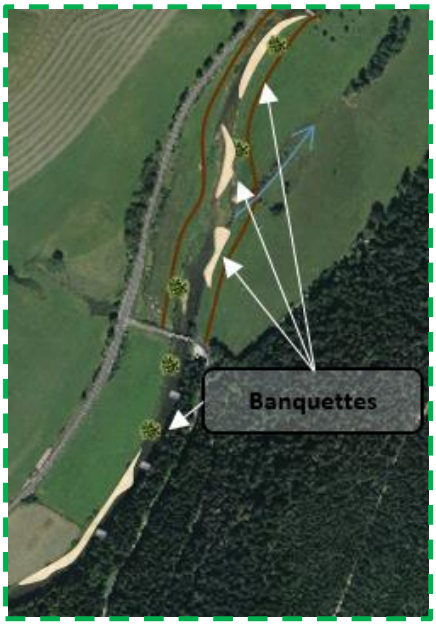
Fiche action

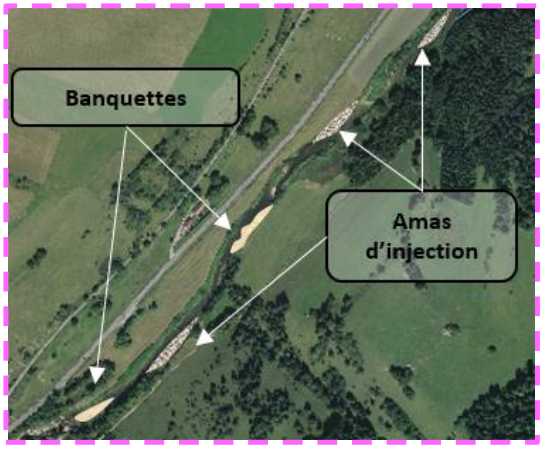
Rivière(s)	Doubs	**Commune(s)**	Maisons-du-Bois, Hauterive-la-Fresse, Montbenoit	**Tronçon**	2
Action	Injection sédimentaire et remodelage			**Priorité de l'action**	1

Schéma de l'aménagement

Vue en plan:







Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche action

Schéma de l'aménagement

Section en travers:

Enjeux

Déficit sédimentaire / Gestion des étiages / Homogénéité des faciès

Nature de l'intervention

L'opération projetée consisterait à:

• Réinjecter des sédiments à la rivière sur 70 cm en moyenne sous forme d'amas ou de charge de fond;

• Réinjecter des sédiments sous forme de banquettes dans le lit du Doubs. Celles-ci seront constitués de différentes classes granulométrique sachant que ces aménagements seront peu mobilisables en comparaison des apports pour la réinjection;

- Caractéristiques des banquettes:
  - Hauteur: 50 cm en en amont, 20 cm en aval;
  - Linéaire: 570m;
  - Taille des matériaux:

• Mise en place de blocs (300-400mm) en pied de versant.

Analyse et objectifs visés

La mise en place de ces aménagements permettra d'améliorer l'état du tronçon. En effet, la réinjection solutionnera le déficit sédimentaire. Egalement, les banquettes permettront de diversifier les écoulements dans le tronçon et de resserrer la lame d'eau en étiage améliorant ainsi l'hétérogénéité et la gestion des eaux en étiage. Ces aménagements seront par ailleurs noyés au module.

Incidences attendues

• Incidences hydrauliques: Augmentation des niveaux d'eau;

• Incidences morphologiques: Réactivation des processus sédimentaire, accélération des écoulements;

• Incidences écologiques: Diversification des faciès, gestion des écoulements à l'étiage;

• Incidences sur les usages: Parcelles en berge inondées plus fréquemment.

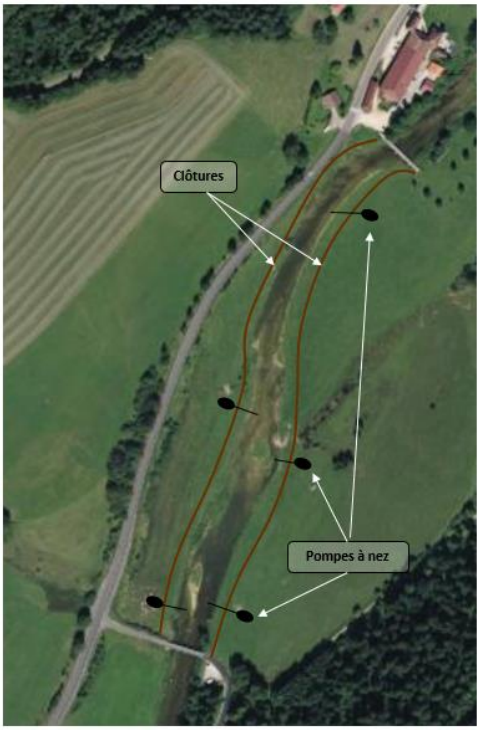
<table>
<tr><th colspan="4">Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche
Fiche action</th></tr>
<tr><th colspan="4">Condition d'exécution</th></tr>
<tr><td colspan="4">Autorisations administratives (Loi sur l'Eau et les milieux Aquatiques et DIG)</td></tr>
<tr><td>Avant travaux</td><td>• Réalisation d'un IAM;
• Réalisation d'un IBG;
• Réalisation d'une pêche électrique;
• Réalisation de levés topographiques (données disponibles);
• Réalisation CARHYCE</td><td>Après travaux</td><td>• Réalisation d'un IAM (après crue morphogène, N+5, N+10) ;
• Réalisation d'un IBG (après crue morphogène, N+5, N+10);
• Réalisation d'une pêche électrique (N+1, N+5, N+10);
• Réalisation de levés topographiques (après crue morphogène);
• Réalisation CARHYCE (après crue morphogène, N+5, N+10).</td></tr>
<tr><th colspan="4">Besoins études complémentaires</th></tr>
<tr><td colspan="4">Levés topographique sur l'amont de la zone (non inclus au secteur de la présente étude)</td></tr>
<tr><th colspan="4">Estimation financière</th></tr>
<tr><td colspan="3">Nature de l'intervention</td><td>Coût (HT) €</td></tr>
<tr><td colspan="3">Etude de conception et dossiers réglementaires</td><td>70 000</td></tr>
<tr><td colspan="3">Réalisation des travaux</td><td>1 500 000</td></tr>
<tr><td colspan="3">Total (HT) €</td><td>1 570 000</td></tr>
</table>

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche action

Rivière(s)	Doubs	**Commune(s)**	Montbenoît	**Tronçon**	7
Action	Mise en défense			**Priorité de l'action**	2

Schéma de l'aménagement



Enjeux

Piétinement / Occupation des sols

Nature de l'intervention

L'opération projetée consisterait à mettre en place des clôtures sur les champs en amont de Montbenoît dans lesquelles des zones de piétinement ont été observées. Ces clôtures seront implantées sur 500m sur les deux berges du Doubs. Pour permettre l'abreuvement du bétail, des pompes à nez sont proposées.

Analyse et objectifs visés

La mise en place des clôtures permettra de supprimer les piétinements en berge et la traversée de la rivière par le bétail. Les pompes à nez apparaissent comme la solution d'abreuvement la moins impactante pour la rivière. Bien entendu, la mise en place de ces aménagements nécessite une concertation avec l'exploitant des parcelles concernées.

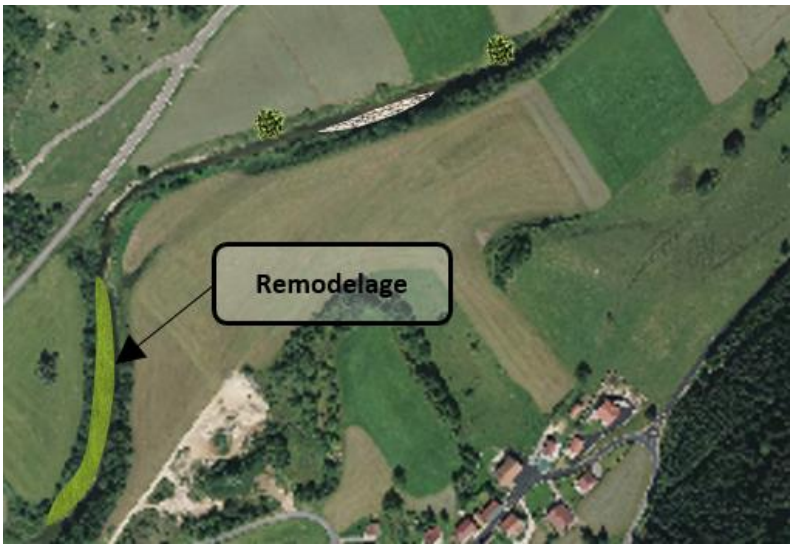
Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche Fiche action	
Incidences attendues	
• Incidences écologiques: Suppression des zones de piétinement et des traversées de bétail; • Incidences sur les usages: Nécessité d'adaptation du bétail aux pompes.	
Condition d'exécution	
Concertation avec les propriétaires	
Besoins études complémentaires	
Sans objet	
Estimation financière	
Nature de l'intervention	Coût (HT) €
Etude de conception et dossiers réglementaires	2 500
Réalisation des travaux	10 000
Total (HT) €	12 500

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche action

Rivière(s)	Doubs	**Commune(s)**	Montbenoît	**Tronçon**	7
Action	Remodelage			**Priorité de l'action**	3

Schéma de l'aménagement



Enjeux

Deconnection rivulaire / incision

Nature de l'intervention

L'opération projetée consiste à adoucir le profil que présente la berge en rive gauche afin d'améliorer la connectivité entre lit mineur et lit majeur. Pour se faire la berge sera déblayée sur une largeur de 6m minimum et présentera un fruit de talus au maximum égale à 3H/1V. Ce remodelage s'appliquera sur un linéaire de 250m.

Analyse et objectifs visés

Cette proposition est localisée au droit d'un remblais en lit majeur. Ce remblais, en augmentant le débit de plein bord, a provoqué une très forte incision localisée sur ce secteur. Conscient qu'il paraît impossible de déblayer la l'intégralité de la parcelle, le remodelage est proposé afin de diminuer les contraintes qui s'appliquent à la rivière sur ce linéaire de 250m.

Incidences attendues

- Incidences hydrauliques: Augmentation de la section hydraulique sur le secteur;
- Incidences écologiques: Meilleure connectivité entre les lits;
- Incidences sur les usages: Augmentation de l'emprise des berges

Condition d'exécution

Autorisations administratives (Loi sur l'Eau et les milieux Aquatiques et DIG)

<table>
<tr><th colspan="4">Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche action
 </th></tr>
<tr><th colspan="4">Indicateur de suivi</th></tr>
<tr><td>Avant travaux</td><td>• Réalisation d'un IAM;
• Réalisation d'un IBG;
• Réalisation d'une pêche électrique;
• Réalisation de levés topographiques (données disponibles);
• Réalisation CARHYCE</td><td>Après travaux</td><td>• Réalisation d'un IAM (après crue morphogène, N+5, N+10) ;
• Réalisation d'un IBG (après crue morphogène, N+5, N+10);
• Réalisation d'une pêche électrique (N+1, N+5, N+10);
• Réalisation de levés topographiques (après crue morphogène);
• Réalisation CARHYCE (après crue morphogène, N+5, N+10).</td></tr>
<tr><th colspan="4">Besoins études complémentaires</th></tr>
<tr><td colspan="4">Levés topographiques complémentaires</td></tr>
<tr><th colspan="4">Estimation financière</th></tr>
<tr><td colspan="3">Nature de l'intervention</td><td>Coût (HT) €</td></tr>
<tr><td colspan="3">Etude de conception et dossiers réglementaires</td><td>7 000</td></tr>
<tr><td colspan="3">Réalisation des travaux</td><td>50 000</td></tr>
<tr><td colspan="3">Total (HT) €</td><td>57 000</td></tr>
</table>

4.8. TRONÇON 8

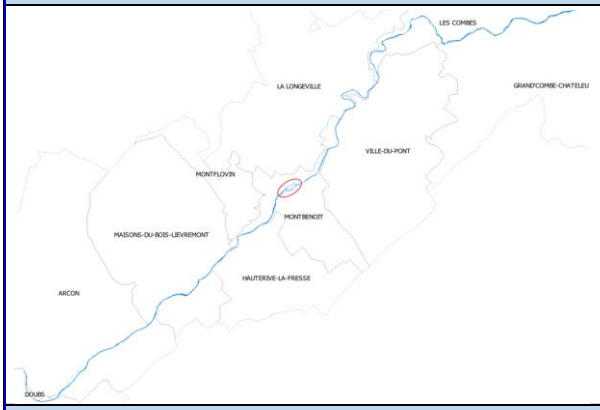
4.8.1. Fiche tronçon

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche tronçon

Rivière(s)	Doubs	**Tronçon n°8**
Commune(s)	Montbenoît	**Priorité: Moyenne**

Localisation



Lit mineur

Linéaire	Présence de seuils	Traversée urbaine	Occupation sols	Zone de pertes
1055 m	Non	Oui	Prairies / Villes	Non

Description du tronçon

Hétérogénéité	B	Granulométrie (d50)	49.5 mm
Attractivité	C	Substrat	galets / graviers colmatés
Connectivité	A	Largeur lit mineur	15-20
Stabilité	équilibre	Faciès	radiers / plats

Contexte de l'opération

Fonctionnement du site

Le tronçon débute au pont 782 de Montflovin pour terminer à l'aval de la scierie de Montbenoît. Sur ce secteur la rivière est divisée en deux bras, l'un appuyé sur les remblais bâtis de Montbenoît, le second sur le pied de versant droit. Les deux bras ont une largeur d'une dizaine de mètre, cette diffluence provient originellement de la présence d'une scierie fonctionnant grâce à l'énergie hydraulique, aujourd'hui le barrage est détruit mais les deux bras subsistent.
En période d'étiage, ce tronçon est très colmaté, une épaisseur importante d'algue verte est présente dans le fond de la rivière. Cet important colmatage s'étend jusqu'à l'entrée des gorges.
Néanmoins sur ce tronçon des blocs permettent de créer des caches piscicoles et des figures sédimentaires diversifient le milieu. Egalement, un dépot de remblai en rive gauche a engendré une prolifération importante d'espèces invasives.

Dysfonctionnements observés

- Hauteur de berges importantes;
- Fonds colmatés;
- Prolifération d'espèces invasives.

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche Fiche tronçon
Enjeux
- Secteur en traversée urbaine; - Proximité monument historique; - Présence de zones humides (prairie fauchée montagnarde, saulaie arborescente); - Présence d'espèces invasives (Balsamine de l'Himalaya, Cotoneaster horizontalis, Heracleum mantegazzianum, Renouée du Japon).
Objectifs visés
Reconnexion lits mineur et majeur / Meilleure gestion des étiages / Suppression des invasives
Nature de l'intervention
Cette opération consisterait à: - Remodeler la section du lit pour améliorer la connectivité; - Orienter les écoulements dans le bras naturel du Doubs en période d'étiage; - Eradiquer les espèces invasives présentes sur site.
Photographies

4.8.2. Fiches actions

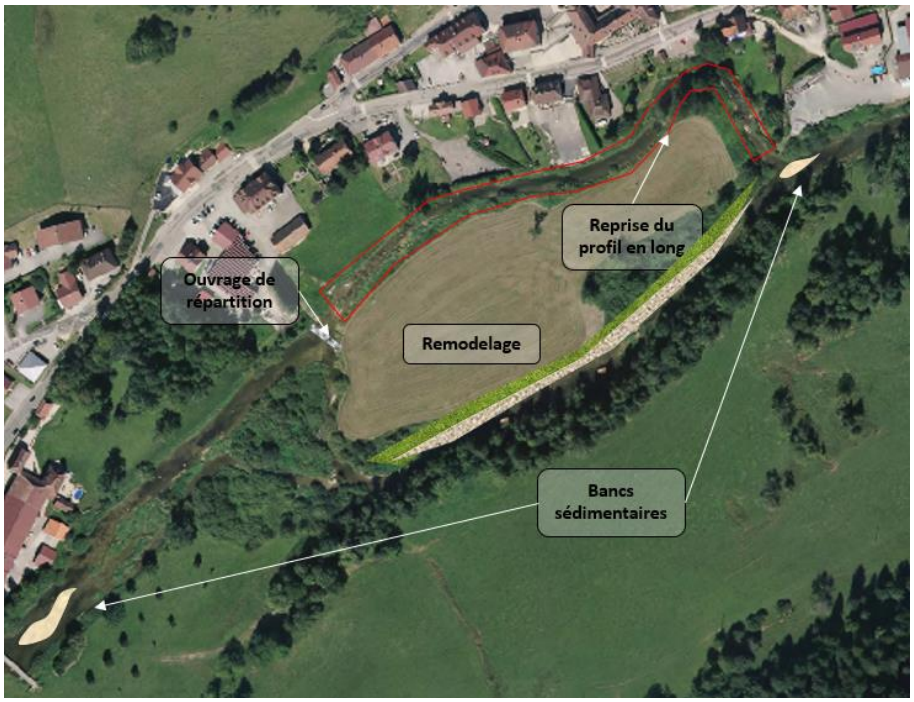
Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche action

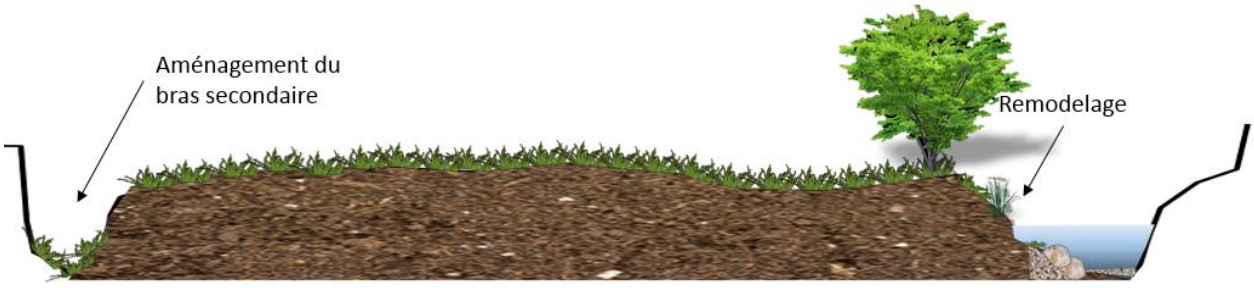
Rivière(s)	Doubs	**Commune(s)**	Montbenoît	**Tronçon**	8
Action	Restauration morphologique			**Priorité de l'action**	1

Schéma de l'aménagement

Vue en plan:



Section en travers:



Enjeux

Gestion des étiages / Homogénéité des faciès

Nature de l'intervention

L'opération projetée consisterait à:

• Remodeler le bras naturel du Doubs sur 250m afin d'améliorer la connectivité. Le remodelage se fera par le déblais du haut de berge sur 6m et le resserrement du lit en pied par des banquettes. Ces banquettes auront une largeur maximale de 6m et une hauteur en pied de 30cm. Celles-ci seront noyées au module environ et seront constituées de matériaux mixtes (mélange blocs et terre);

• L'ancien canal d'amené du moulin sera aménagé de sorte à orienter les écoulements vers le bras naturel du Doubs. Pour ce faire, un point haut en enrochements calé sur la côte du dixième du module sera mis en place à l'amont du bras du moulin. Egalement pour empêcher toutes zones de stagnation des eaux, le profil en long du bras du canal sera profilé afin de présenter une pente homogène;

• En amont et en aval de la zone de difluence, des bancs seront mis en place afin de diversifier les écoulements.

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche action

Analyse et objectifs visés
Le remodelage permettra d'améliorer la connectivité entre les lits mineur et majeur tout en n'augmentant pas le risque d'inondation. Il permettra de plus de resserer le lit d'étiage grâce à la mise en place de banquettes. Par ailleurs, le dévoiement de l'intégralité des débits vers le tronçon naturel du Doubs améliora les conditions rencontrées à l'étiage. Cette proposition s'appuie sur les fonctionnements observés au droit des moulins qui sont réglementairement tenus de faire passer l'integralité des eaux dans le bras naturel de la rivière lorsque les débits sont inférieurs au débit minimum biologique. Cependant, cette proposition doit s'accompagner d'une phase de concertation avec les riverains puisqu'il ils verront le bras du moulin en assec lors des étiages sévères.
Incidences attendues
• Incidences hydrauliques: Augmentation des niveaux d'eau dans le bras naturels du Doubs, assecs du bras du moulin pour des débits inférieurs à 0.1m3/s. • Incidences écologiques: Diversification des faciès, gestion des écoulements à l'étiage; • Incidences sur les usages: Assèchement du bras du moulin en période d'étiage.
Condition d'exécution
Autorisations administratives (Loi sur l'Eau et les milieux Aquatiques et DIG)

Indicateur de suivi			
Avant travaux	• Réalisation d'un IAM; • Réalisation d'un IBG; • Réalisation d'une pêche électrique; • Réalisation de levés topographiques (données disponibles); • Réalisation CARHYCE	Après travaux	• Réalisation d'un IAM (après crue morphogène, N+5, N+10) ; • Réalisation d'un IBG (après crue morphogène, N+5, N+10); • Réalisation d'une pêche électrique (N+1, N+5, N+10); • Réalisation de levés topographiques (après crue morphogène); • Réalisation CARHYCE (après crue morphogène, N+5, N+10).

Besoins études complémentaires
Levés topographiques complémentaires

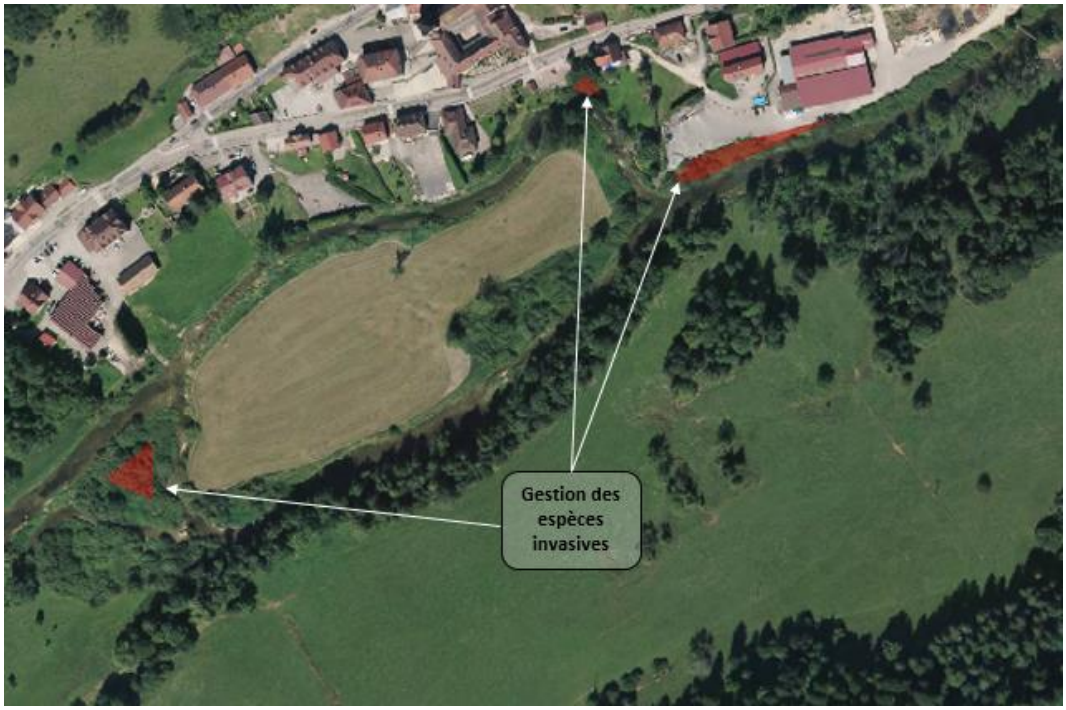
Estimation financière	
Nature de l'intervention	Coût (HT) €
Etude de conception et dossiers réglementaires	6 500
Réalisation des travaux	42 000
Total (HT) €	48 500

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche action

Rivière(s)	Doubs	**Commune(s)**	Montbenoît	**Tronçon**	8
Action	Gestion des invasives			**Priorité de l'action**	2

Schéma de l'aménagement



Enjeux

Prolifération d'invasive

Nature de l'intervention

Le traitement de ces espèces consisterait à:
- Fauche manuelle régulière de la Renouée et du Cotonester en évitant soigneusement les contaminations par le Doubs ou sur les surfaces actuellement saines;
- Arrachage régulier des Berces du Caucase avec l'équipement de sécurité nécessaire;
- Mis en décharge agréée des déchets des coupes.

Analyse et objectifs visés

Le secteur au droit de la traversée de Montbenoit est le lieux d'une importante importante concentration de plantes invasives.Ce secteur présente notamment des plantes ne s'étant actuellement pas dispersées sur le reste du linéaire, aussi leur traitement présente un réel enjeu.

Estimation financière

Nature de l'intervention	Coût (HT) €
Etude de conception et dossiers réglementaires	-
Réalisation des travaux	3 000
Total (HT) €	3 000

4.9. TRONÇON 9

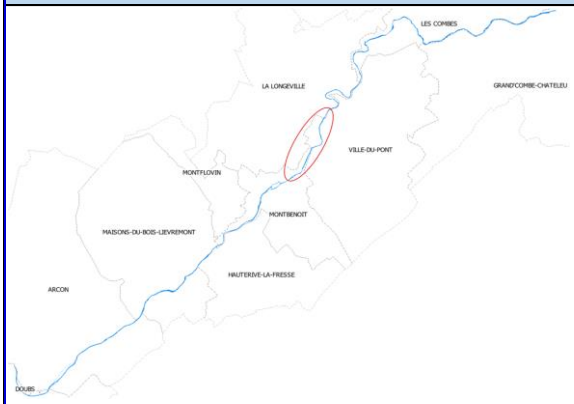
4.9.1. Fiche tronçon

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche tronçon

Rivière(s)	Doubs	**Tronçon n°9**
Commune(s)	Montbenoît, Ville-du-Pont	**Priorité: Forte**

Localisation



Lit mineur

Linéaire	Présence de seuils	Traversée urbaine	Occupation sols	Zone de pertes
2391 m	Non	Oui	Prairies / Villes	Non

Description du tronçon

Hétérogénéité	B	Granulométrie (d50)	51.5 mm
Attractivité	C	Substrat	galets colmatés
Connectivité	B	Largeur lit mineur	20-25
Stabilité	équilibre	Faciès	radiers / plats /mouille

Contexte de l'opération

Fonctionnement du site

Ce tronçon de 2.4 km s'étend jusqu'à l'entrée des gorges. La partie amont présente une importante hauteur de berge en lien avec des phénomènes d'incision. A l'aval, de par la présence d'affleurements rocheux ces phénomènes sont limités et la rivière présente une meilleure connectivité. Les fonds du tronçon sont en partie composés d'affleurements rocheux notamment en amont des gorges. Sur ce tronçon la ripisylve est très peu présente. Par ailleurs, de nombreux drains sontlocalisés sur le tronçon sur la partie située entre Montbenoît et Ville-du-Pont. Deux sources confluent avec le Doubs sur ce secteur. Historiquement, un seuil étaitinstallé à Ville-du-Pont, celui-ci ayant été supprimé il est possible que des phénomènes d'érosion regressive se soient appliqués sur le tronçon.

Dysfonctionnements observés

- Rivière incisée;
- Drains en zone humide;
- Fonds colmatés;
- Protection de berge au niveau de Ville-du-Pont;
- Présence d'espèces invasives.

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche Fiche tronçon
Enjeux
- Secteur en traversée urbaine; - Présence de zones humides (prairie fauchée montagnarde); - Présence d'espèces invasives (Balsamine de l'Himalaya).
Objectifs visés
Diversification / Amélioration de la connectivité / Gestion des drains
Nature de l'intervention
L'opération consisterait à: - Réinjecter des sédiments - Remodeler la section au droit des secteur présentant d'importantes hauteurs de berges; - Diversifier les faciès; - Combler les drains en rive gauche; - Améliorer l'état de la ripisylve.
Photographies

4.9.2. Fiche action

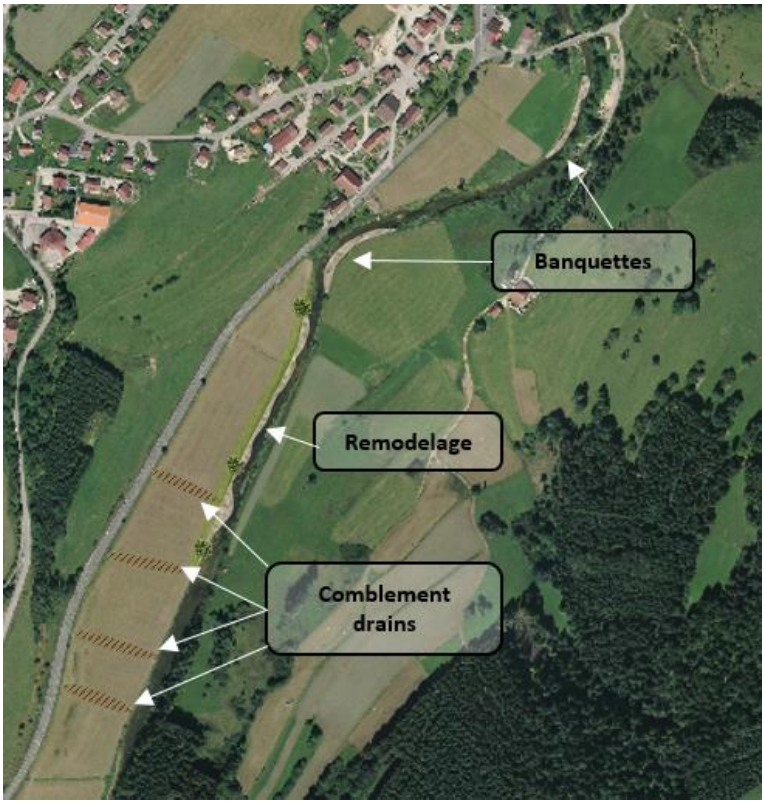
Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche action

Rivière(s)	Doubs	**Commune(s)**	Montbenoît, Ville-du-Pont	**Tronçon**	9
Action	Injection et remodelage			**Priorité de l'action**	1

Schéma de l'aménagement

Vue en plan:



Sections en travers:

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche action

Enjeux
Déconnexion rivulaire / Gestion des étiages / Homogénéité des faciès
Nature de l'intervention
L'opération projetée consisterait à: • Réinjecter des sédiments à la rivière sur 50 cm en moyenne sous forme d'amas ou de charge de fond; • Remodeler le lit à l'amont du tronçon avec une technique déblai/remblai permettant d'adoucir en tête et de resserrer en pied. Le remodelage s'accompagnera de la mise en place de banquettes minérales permettant ainsi d'avoir une diversité dans les matériaux utilisés (terre des déblais et apports de matériaux sédimentaires); • Comblements des 4 drains présents en rive gauche à l'amont du secteur soit un linéaire de 370m; • Plantations de saules.
Analyse et objectifs visés
Les aménagements sur ce tronçon ciblent principalement sa moitié amont, l'aval du secteur présentant moins de dégradation. L'importante hauteur de berge que présente actuellement la rivière sera retravaillée par remodelage et injection afin d'obtenir une section plus connective. Egalement sur le tronçon remodelé, des drains actuellement présents en rive gauche seront comblés et des plantations seront faite sur ce secteur qui comporte très peu de zones ombragées.
Incidences attendues
• Incidences hydrauliques: Augmentation des niveaux d'eau; • Incidences morphologiques: Réactivation des processus sédimentaire, accélération des écoulements; • Incidences écologiques: Amélioration de la connectivité; • Incidences sur les usages: Augmentation de la fréquence de débordements;
Condition d'exécution
Autorisations administratives (Loi sur l'Eau et les milieux Aquatiques et DIG)
Indicateur de suivi

Avant travaux	• Réalisation d'un IAM; • Réalisation d'un IBG; • Réalisation d'une pêche électrique; • Réalisation de levés topographiques (données disponibles); • Réalisation CARHYCE	Après travaux	• Réalisation d'un IAM (après crue morphogène, N+5, N+10) ; • Réalisation d'un IBG (après crue morphogène, N+5, N+10); • Réalisation d'une pêche électrique (N+1, N+5, N+10); • Réalisation de levés topographiques (après crue morphogène); • Réalisation CARHYCE (après crue morphogène, N+5, N+10).

Besoins études complémentaires
Levés topographiques complémentaires

Estimation financière	
Nature de l'intervention	Coût (HT) €
Etude de conception et dossiers réglementaires	60 000
Réalisation des travaux	600 000
Total (HT) €	660 000

4.10. TRONÇON 10

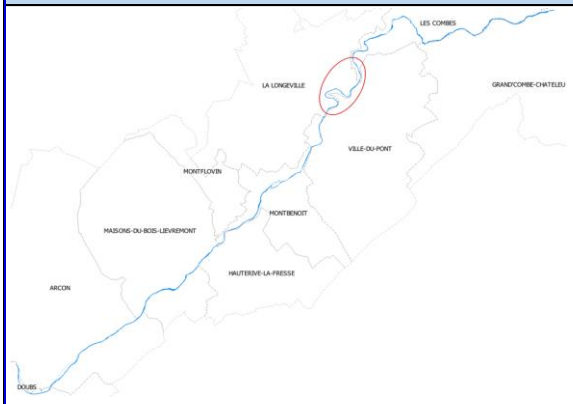
4.10.1. Fiche tronçon

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche tronçon

Rivière(s)	Doubs	**Tronçon n°10**
Commune(s)	Ville-du-Pont, Longeville	**Priorité: Faible**

Localisation



Lit mineur

Linéaire	Présence de seuils	Traversée urbaine	Occupation sols	Zone de pertes
3006 m	Non	Non	Gorges	Non

Description du tronçon

Hétérogénéité	-	Granulométrie (d50)	-
Attractivité	-	Substrat	-
Connectivité	-	Largeur lit mineur	15-20
Stabilité	-	Faciès	radiers / plats /mouille / chutes

Contexte de l'opération

Fonctionnement du site

Ce tronçon d'environ 3 km n'a pu être prospecté à pied car il présente des hauteurs d'eau très importantes au droit des marmites. Ce tronçon est très bien conservé en comparaison aux autres secteur, ceci s'explique par de nombreux affleurements rocheux empêchant tous phénomènes d'incision et le fait que sur ce secteur, l'accessibilité est réduite limitant la possibilité d'action anthropiques. Par ailleurs, les eaux sur ce secteur ont une thermie plus intéressante qu'à l'amont. Notons qu'en période d'étiage cette zone est fréquemment soumise à des assecs.

Dysfonctionnements observés

- Assecs fréquents
- Présence d'espèces invasives.

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche Fiche tronçon
Enjeux
- Accessibilité; - Site classé; - Zone située en Arrêté de protection du biotope; - ZNIEFF de type 1.
Photographies

4.10.2. Fiche action

L'état du tronçon étant jugé satisfaisant, aucune action n'est proposée sur cette portion du cours d'eau.

4.11. TRONÇON 11

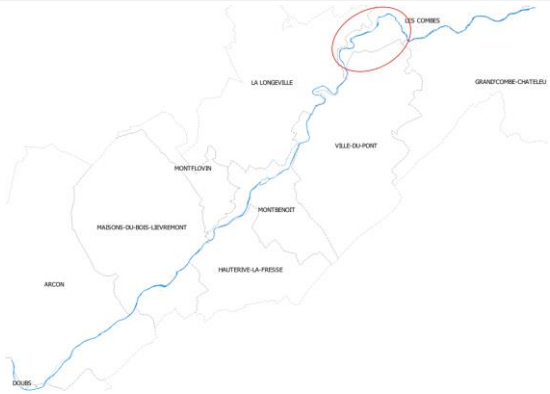
4.11.1. Fiche tronçon

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche tronçon

Rivière(s)	Doubs	**Tronçon n°11**
Commune(s)	Longeville, Les Combes	**Priorité: Faible**

Localisation



Lit mineur

Linéaire	Présence de seuils	Traversée urbaine	Occupation sols	Zone de pertes
3642 m	Oui	Oui	Gorges, terrasses alluviales	Non

Description du tronçon

Hétérogénéité	A	Granulométrie (d50)	44,5
Attractivité	B	Substrat	Galets, graviers
Connectivité	B	Largeur lit mineur	15-20
Stabilité	équilibre	Faciès	radiers / plats /mouille

Contexte de l'opération

Fonctionnement du site

Tronçon de 3.6km au sein des gorges présentant des zones très profondes alternant avec des plats et radiers. Les fonds sont constitués de matériaux plus fins qu'à l'amont, et de nombreux bancs sont présents témoignant du stock alluvionnaire du secteur. La rivière circule entre des terrasses erodables et le pied de versant droit. Les eaux y sont fraiches de par la présence de résurgences mais aussi grâce à l'ombre apportée par les versants.
Au milieu du tronçon, le barrage de Remonot crée une légère zone de remous.
En allant vers l'aval, de nombreux ilots d'hélophytes apparaissent.

Dysfonctionnements observés

- Remous engendré par l'ouvrage de Remonot;
- Présence d'espèces invasives.

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche Fiche tronçon
Enjeux
- Accessibilité; - Périmètre monument historique; - Présence de zones humides; - Znieff de type 1; - Sites classés et inscrit.
Photographies

4.11.2. Fiche action

L'état du tronçon étant jugé satisfaisant, aucune action n'est proposée sur cette portion du cours d'eau.

4.12. TRONÇON 12

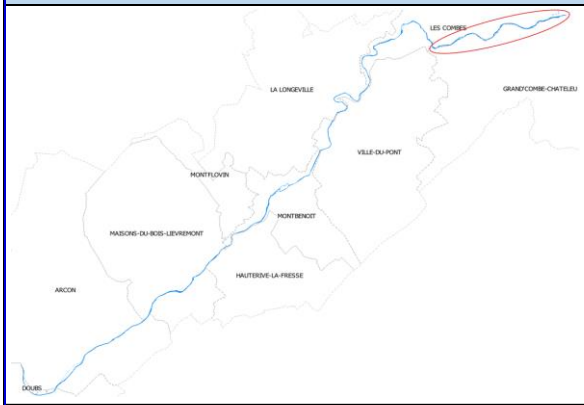
4.12.1. Fiche tronçon

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche tronçon

Rivière(s)	Doubs	**Tronçon n°12**
Commune(s)	Les Combes, Grand'Combe-Châteleu	**Priorité: Moyenne**

Localisation



Lit mineur

Linéaire	Présence de seuils	Traversée urbaine	Occupation sols	Zone de pertes
4180 m	Oui	Oui	Gorges, terrasses alluviales	Non

Description du tronçon

Hétérogénéité	B	Granulométrie (d50)	-
Attractivité	B	Substrat	-
Connectivité	B	Largeur lit mineur	25-35
Stabilité	érosion	Faciès	mouille / radier / plat

Contexte de l'opération

Fonctionnement du site

Ce tronçon constitue la partie aval du secteur et débute au droit du coude en aval de Remonot. Plusieurs ouvrages parsèment le cours du tronçon provoquant des zones lentes, en effet environ 40% du linéaire est situé en zone de remous. Ces retenues sont d'ailleurs très colmatées et la largeur du cours d'eau y est trop importante. Hors secteur d'influence, quelques radiers et plats courants sont présents avec des ilots sédimentaires et d'importante zone d'hélophyte.
La partie à l'extrême aval du tronçon, trop profonde pour être parcourue à pied, présente des berges hautes, raides et instables. Enfin au droit de ce tronçon différentes sources d'eau fraiche confluent avec le Doubs.

Dysfonctionnements observés

- Remous engendrés par les ouvrages;
- Sur-largeur au niveau des retenues;
- Fonds colmatés;
- Berges déconnectées;
- Présence de Balsamine.

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche tronçon

Enjeux
- Accessibilité; - Périmètre monument historique; - Présence de zones humides; - Zone en APB; - ZNIEFF 1;
Objectifs visés
Restauration de la continuité écologique et de la qualité physique
Nature de l'intervention
L'opération consisterait à: - Effacer le seuil le plus à l'aval et remoder les sections incisées au droit de l'ancienne retenue; - Effacer les ouvrages en amont du tronçon et retirer certaines protections de berge.
Photographies

4.12.2. Fiches actions

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

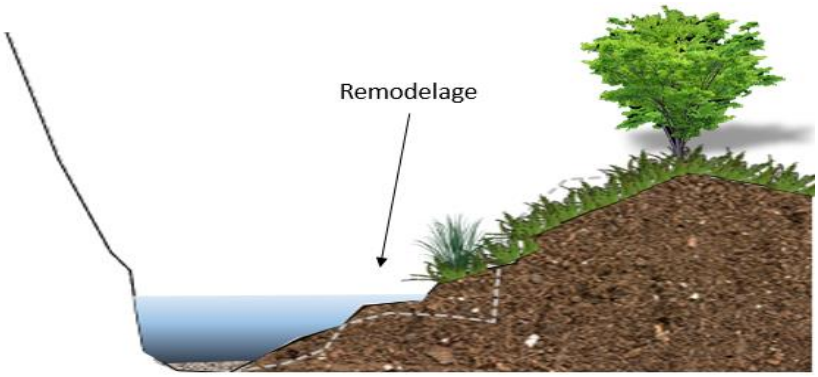
Fiche action

Rivière(s)	Doubs	**Commune(s)**	Les Combes, Grand'Combe-Châteleu	**Tronçon**	12
Action	Continuité écologique et remodelage			**Priorité de l'action**	1

Schéma de l'aménagement

Vue en plan:

Section en travers:



Enjeux

Continuité écologique / Homogénéité des faciès / Connectivité lits mineur et majeur

Nature de l'intervention

L'opération projetée consisterait à:
• Effacer l'ouvrage à l'aval du tronçon aujourd'hui sans usage;
• Remodeler la rivière au droit de la retenue de l'ouvrage, secteur présentant une importante hauteur de berge. Cette intervention sera mise en œuvre sur un linéaire de 1 300m en rive gauche ou droite dépendemment de la sinuosité du cours d'eau. Ce remodelage se fera par un evasement en tête sur une emprise de 8m et un resserrement en pied sur 6m.
Notons que le remodelage présente peu d'interêt si l'ouvrage est conservé.

Analyse et objectifs visés

L'effacement de l'ouvrage permettrait non seulement de restaurer la continuité écologique mais aussi et principalement, d'améliorer la qualité physique du cours d'eau en supprimant la zone de remous engendrée par l'ouvrage sur ce secteur très homogène. Egalement, les berges très abruptes en amont du barrage seront reprise afin d'obtenir un milieu plus connectif.

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche action

Incidences attendues

• Incidences hydrauliques: l'effacement combiné au remodelage induira un léger abaissement de la ligne d'eau (-3cm au module)
• Incidences morphologiques: Accélération des écoulements;
• Incidences écologiques: Diversification des faciès, amélioration de la connectivité;
• Incidences sur les usages: Diminution de la fréquence de débordement.

Condition d'exécution

Autorisations administratives (Loi sur l'Eau et les milieux Aquatiques et DIG)

Indicateur de suivi

Avant travaux	• Réalisation d'un IAM; • Réalisation d'un IBG; • Réalisation d'une pêche électrique;	Après travaux	• Réalisation d'un IAM (après crue morphogène, N+5, N+10) ; • Réalisation d'un IBG (après crue morphogène, N+5, N+10); • Réalisation d'une pêche électrique (N+1, N+5, N+10);

Besoins études complémentaires

Levés topographiques complémentaires

Estimation financière

Nature de l'intervention	Coût (HT) €
Etude de conception et dossiers réglementaires	15 000
Réalisation des travaux	112 000
Total (HT) €	127 000

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche action

Rivière(s)	Doubs	**Commune(s)**	Les Combes, Grand'Combe-Châteleu	**Tronçon**	12
Action	Continuité écologique			**Priorité de l'action**	2

Schéma de l'aménagement

Enjeux

Continuité écologique / Homogénéité des faciès / Connectivité lits mineur et majeur

Nature de l'intervention

L'opération projetée consisterait à:
- Effacer les trois ouvrages à l'amont du tronçon aujourd'hui sans usage;
- Retirer les enrochements en berge contraignant la mobilité de la rivière.

Analyse et objectifs visés

L'effacement des ouvrages implantés à l'amont du tronçon permettront de restaurer la qualité physique du secteur, ces ouvrages étant d'ores et déjà franchissables. La faible hauteur des barrages permet de ne pas à avoir à reprendre les sections des retenues ou le profil en long. Egalement, plusieurs berges enrochées ont été localisées sur le secteur, ci ces protections ne protègent pas une zone à enjeu (voie ferrée en rive gauche ou chemin en rive droite) celles-ci seront retirées pour permettre la mobilité éventuelle de la rivière.

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche action

Incidences attendues

• Incidences hydrauliques: Diminution des niveaux d'eau (-8cm au module)
• Incidences morphologiques: Accélération des écoulements;
• Incidences écologiques: Diversification des faciès, amélioration de la connectivité;
• Incidences sur les usages: Diminution de la fréquence de débordement.

Condition d'exécution

Autorisations administratives (Loi sur l'Eau et les milieux Aquatiques et DIG)

Indicateur de suivi

Avant travaux	• Réalisation d'un IAM; • Réalisation d'un IBG; • Réalisation d'une pêche électrique;	Après travaux	• Réalisation d'un IAM (après crue morphogène, N+5, N+10) ; • Réalisation d'un IBG (après crue morphogène, N+5, N+10); • Réalisation d'une pêche électrique (N+1, N+5, N+10);

Besoins études complémentaires

Levés topographiques complémentaires

Estimation financière

Nature de l'intervention	Coût (HT) €
Etude de conception et dossiers réglementaires	7 000
Réalisation des travaux	27 000
Total (HT) €	34 000

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche action

Rivière(s)	Doubs	**Commune(s)**	Les Combes, Grand'Combe-Châteleu	**Tronçon**	12
Action	Reméandrement du Doubs			**Priorité de l'action**	3

Schéma de l'aménagement

Enjeux

Continuité écologique / Homogénéité des faciès / Connectivité lits mineur et majeur

Nature de l'intervention

L'opération projetée consisterait à:
• Créer un nouveau lit méandriforme d'une largeur comprise entre 5 et 10 m resserré en pied pour former un lit d'étiage et débordant pour des débits proches du module;
• Terrasser le lit majeur afin d'améliorer la connectivité et de créer des points bas humides;
• Combler le lit court-circuité du Doubs;

Analyse et objectifs visés

Le reméandrement permettra la création d'un lit méandriforme plus attractif que celui observé actuellement. A noter que le reméandrement sur cette parcelle engendre une augmentation du linéaire de 60m, également afin d'obtenir une rivière connective, plusieurs radiers pentus devront être crées pour rattraper la pente. Le reméandrement permettra également le "contournement" des différents ouvrages du tronçons. En lien avec la réhausse des fonds visée, un remou sera créé en amont de la zone reméandrée. Des études de sols semblent nécessaire pour la bonne réalisation de ce scénario.

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Fiche action

Incidences attendues

• Incidences hydrauliques: Remou,en amont de la zone reméandrée;
• Incidences morphologiques: Accélération des écoulements;
• Incidences écologiques: Diversification des faciès, amélioration de la connectivité;
• Incidences sur les usages: Débordements plus fréquents.

Condition d'exécution

Autorisations administratives (Loi sur l'Eau et les milieux Aquatiques et DIG)

Indicateur de suivi

Avant travaux	• Réalisation d'un IAM; • Réalisation d'un IBG; • Réalisation d'une pêche électrique; • Réalisation CARHYCE	Après travaux	• Réalisation d'un IAM (après crue morphogène, N+5, N+10) ; • Réalisation d'un IBG (après crue morphogène, N+5, N+10); • Réalisation d'une pêche électrique (N+1, N+5, N+10); • Réalisation CARHYCE (après crue morphogène, N+5, N+10).

Besoins études complémentaires

Levés topographiques complémentaires / Etudes géotechniques

Estimation financière

Nature de l'intervention	Coût (HT) €
Etude de conception et dossiers réglementaires	90 000
Réalisation des travaux	1 200 000
Total (HT) €	1 290 000

5. INCIDENCES HYDRAULIQUES

Les incidences hydrauliques qui s'appliquent à chaque tronçon sont dépendantes des aménagements effectués à l'aval. Aussi, les impacts ont été estimés en considérant un aménagement de la totalité du linéaire à l'étude.

Le tableau ci-dessous résume les différences de niveaux d'eau attendues dans le cadre des propositions réalisées.

Tableau 6 Différences de niveaux par rapport à l'état initial

Secteur	Différences de niveaux au QMNA5	Différences de niveaux au Module	Différences de niveaux à Q=Q10	Différences de niveaux, crue du PPRI	Différences de niveaux des niveaux des fonds
Amont Arçon	+ 45 cm	+ 45 cm	+ 22 cm	+ 14 cm	30-50 cm
Traversée d'Arçon	+ 8 cm	+ 15 cm	0 cm	0 cm	-
Arçon –> Maisons-du-Bois	+ 28 cm	+ 34 cm	0 cm	0 cm	30-60 cm
Traversée de Maisons-du-Bois	- 78 cm	- 35 cm	- 2 cm	- 24 cm	-
Maisons-du-Bois -> Montbenoît	ϵ [+40cm ; +100cm]	ϵ [+30cm ; +100cm]	ϵ [+20cm ; +70cm]	ϵ [+20cm ; +60cm]	50 – 100 cm
Traversée de Montbenoît	+ 20 cm	+ 7 cm	0 cm	0 cm	-
Montbenoit -> Ville du Pont	ϵ [+70cm ; +90cm]	ϵ [+60cm ; +80cm]	ϵ [+10cm ; +30cm]	ϵ [0cm ; +20cm]	50 – 100 cm

Globalement, il apparait que les aménagements augmentent les niveaux du secteur en lien avec la rehausse des fonds proposée. Néanmoins, il est à noter que ces impacts se limitent aux secteurs non urbanisés. Egalement du fait de l'importante incidence de ces modifications sur les usages des parcelles alentours, celles-ci devant être plus fréquemment inondée qu'en l'état, une importante concertation est nécessaire. Enfin, ces calculs de niveaux s'appuient sur l'hypothèse d'un rehaussement global des tronçons, en travaillant sur des linéaires plus restreints ces incidences seront diminuées.

Enfin en ce qui concerne l'amont du secteur, les impacts en amont de la confluence avec le Drugeon devront être appréhendés.

6. ELABORATION D'UN TRONÇON TEST

Tenant compte de l'ampleur du secteur d'aménagement, du programme d'intervention, et du caractère expérimentale que revêtent les aménagements au niveau des pertes, la réalisation de la restauration d'un tronçon test pourrait s'avérer intéressante.

Du fait des enjeux en présence et des aménagements proposés, nous estimons que ce secteur « test » devrait être situé au droit des tronçons 2 ou 3 (partie aval, hors traversée d'Arçon) du linéaire à l'étude. Cela permettrait d'évaluer l'impact des aménagements sur les pertes et de mettre en œuvre la plupart des techniques proposées (rehausse, banquettes et diversification). Le linéaire restaurer se devra d'avoir une longueur pertinente par rapport à la taille du cours d'eau et l'ambition visée. En effet, la restauration d'un linéaire supérieur à 20 fois la largeur du cours d'eau permet

d'observer l'effet des aménagements à l'échelle du tronçon. Le choix de la localisation sera l'un des objets de la réunion de restitution de phase 2.

7. SYNTHESE

Le tableau suivant synthétise les actions proposées sur les différents tronçons du cours d'eau

Tronçon	Priorité	Fiche	Objectifs	Priorité de l'action	Cout (€ HT)
1	Moyenne	Action 1	Injection sédimentaire et remodelage	1	135 000
2	Forte	Action 1	Reméandrement	1	420 000
		Action 2	Injection sédimentaire et remodelage	2	400 000
		Action 3	Reméandrement	3	760 000
3	Forte	Action 1	Injection sédimentaire	1	170 000
		Action 2	Remodelage	2	75 000
4	Faible	Action 1	Remodelage	1	72 000
5	Forte	Action 1	Injection et remodelage	1	1 370 000
6	Faible	Action 1	Restauration de la qualité physique et continuité écologique	1	620 000
		Action 2	Restauration de la qualité physique	2	31 000
		Action 3	Restauration de la qualité physique	3	31 000
7	Forte	Action 1	Injection sédimentaire et remodelage	1	1 570 000
		Action 2	Mise en défense	2	12 500
		Action 3	Remodelage	3	57 000
8	Moyenne	Action 1	Restauration morphologique	1	48 500
		Action 2	Gestion des invasives	2	3 000
9	Forte	Action 1	Injection et remodelage	1	660 000
12	Faible	Action 1	Continuité écologique et remodelage	1	127 000
		Action 2	Continuité écologique	2	34 000
		Action 3	Reméandrement	3	1 290 000
				Total	**7 886 000**

Actions à court terme

Actions à moyen terme

Actions à long terme

Ainsi, en ne retenant que les tronçons et actions prioritaires le coût estimé d'une restauration est estimée à 4 190 000 €. Ces coûts seront détaillés en phase 3 de l'étude.

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs de Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Mission d'étude

Rapport de phase 3

E. Soncourt / Hydrogéologue

ARTELIA
Passion & Solutions

Février 2022

Diagnostic hydro-morphologique et définition des travaux de restauration du Doubs – De Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche

Mission d'étude

EPAGE Haut-Doubs Haute-Loue

Rapport de Phase 3

VERSION	ÉTABLI(E) PAR	APPROUVÉ(E) PAR

ARTELIA Ville et Territoires INE
Agence de Bourgogne – Franche-Comté – TEL : 03 80 78 95 50

SOMMAIRE

OBJET DU DOCUMENT 11

A. RAPPELS SUR LES CONCLUSIONS DU DIAGNOSTIC..... 13

1. SYNTHÈSE 14
2. CONCLUSIONS TIRÉES DU DIAGNOSTIC 17

B. AMENAGEMENTS PROPOSES 19

1. GRANDS PRINCIPES RETENUS 20
   - 1.1. Rehausse des fonds 21
     - 1.1.1. Principe 21
     - 1.1.2. Dimensionnement 21
     - 1.1.3. Volume de réinjection 23
   - 1.2. Mise en place de banquettes 24
     - 1.2.1. Principe 24
     - 1.2.2. Géométrie 25
   - 1.3. Eléments de diversification 26
   - 1.4. Remodelage 26
   - 1.5. Reméandrement 28
   - 1.6. Restauration de la continuité écologique 28
   - 1.7. Gestion de la ripisylve et des berges 29
2. MESURES D'ACCOMPAGNEMENT 29
3. ELÉMENTS DE CHIFFRAGE 30
   - 3.1. Montant des travaux 30
   - 3.2. Montant de la Maîtrise d'œuvre 30
4. AMÉNAGEMENTS RETENUS 31

C. DESCRIPTION DES AMENAGEMENTS PAR TRONÇON . 32

1. TRONÇON 1 33

1.1. Localisation 33
1.2. Rappels des enjeux du secteur 34
1.3. Description des aménagements 34
1.3.1. Description générale 34
1.3.2. Rehausse des fonds 34
1.3.3. Mise en place de banquettes 34
1.3.4. Diversification 34
1.3.5. Schéma de l'aménagement 35
1.3.5.1. Vue en travers 35
1.3.5.2. Vue en plan 35
1.4. Incidences 37
1.4.1. Incidence hydraulique 37
1.4.2. Incidence morphologique 39
1.4.3. Incidence écologique 39
1.4.4. Impact socio-économique 39
1.5. Etudes complémentaires 39
1.6. Procédure réglementaire 39
1.7. Estimation financière 41
2. TRONÇON 2 42
2.1. Localisation 42
2.2. Rappels des enjeux 42
2.3. Scénario 1 : Reméandrement 43
2.3.1. Description des aménagements 43
2.3.1.1. Description générale 43
2.3.1.2. Géométrie du nouveau lit 43
2.3.1.3. Alluvionnement du lit 44
2.3.1.4. Diversification 44
2.3.1.5. Schéma de l'aménagement 44
2.3.2. Incidences 47
2.3.2.1. Incidence hydraulique 47
2.3.2.2. Incidence morphologique 49
2.3.2.3. Incidence écologique 49
2.3.2.4. Impact socio-économique 49

2.3.3. Etudes complémentaires 49
2.3.4. Procédures réglementaires 49
2.3.5. Estimation financière 51
2.4. Scénario 2 : Rehausse des fonds 52
2.4.1. Description des aménagements 52
2.4.1.1. Description générale 52
2.4.1.2. Rehausse des fonds 52
2.4.1.3. Mise en place de banquettes 52
2.4.1.4. Diversification 52
2.4.1.5. Schéma de l'aménagement 53
2.4.2. Incidences 55
2.4.2.1. Incidence hydraulique 55
2.4.2.2. Incidence morphologique 57
2.4.2.3. Incidence écologique 57
2.4.2.4. Impact socio-économique 57
2.4.3. Etudes complémentaires 57
2.4.4. Procédure réglementaire 57
2.4.5. Estimation financière 58
3. TRONÇON 3 59
3.1. Localisation 59
3.2. Rappels des enjeux 60
3.3. Description des aménagements 60
3.3.1. Description générale 60
3.3.2. Effacement du seuil 60
3.3.3. Remodelage dans la traversée d'Arçon 61
3.3.4. Restauration en aval d'Arçon 61
3.3.4.1. Rehausse des fonds 61
3.3.4.2. Mise en place de banquettes 61
3.3.4.3. Diversification 61
3.3.5. Schéma des aménagements 62
3.3.5.1. Vue en travers 62
3.3.5.2. Vue en plan 62
3.4. Incidences 65

3.4.1. Incidence hydraulique 65
3.4.2. Incidence morphologique 65
3.4.3. Incidence écologique 66
3.4.4. Impact socio-économique 66
3.5. Etudes complémentaires 66
3.6. Procédure réglementaire 66
3.7. Estimation financière 67
4. TRONÇON 5 68
4.1. Localisation 68
4.2. Rappels sur les enjeux 68
4.3. Description des aménagements 69
4.3.1. Description générale 69
4.3.2. Rehausse des fonds 69
4.3.3. Mise en place de banquettes 69
4.3.4. Diversification 69
4.3.5. Schéma des aménagements 70
4.3.5.1. Vue en travers 70
4.3.5.2. Vue en plan 71
4.4. Incidences 72
4.4.1. Incidence hydraulique 72
4.4.2. Incidence morphologique 72
4.4.3. Incidence écologique 72
4.4.4. Impact socio-économique 72
4.5. Etudes complémentaires 73
4.6. Procédure réglementaire 73
4.7. Estimation financière 74
5. TRONÇON 6 75
5.1. Localisation 75
5.2. Rappels sur les enjeux 76
5.3. Description des aménagements 76
5.3.1. Description générale 76
5.3.2. Principales caractéristiques techniques 77

5.3.2.1. Profil en long 77
5.3.2.2. Restauration des retenues et diversification des profils 78
5.3.3. Vue en plan 79
5.4. Incidences 80
5.4.1. Incidence hydraulique 80
5.4.2. Incidence morphologique 80
5.4.3. Incidence écologique 80
5.4.4. Incidence sur les pertes 81
5.4.5. Incidence sur le bâti 81
5.5. Etudes complémentaires 81
5.6. Procédure règlementaire 81
5.7. Estimation financière 83
6. TRONÇON 7 85
6.1. Localisation 85
6.2. Rappels sur les enjeux 85
6.3. Description des aménagements 86
6.3.1. Description générale 86
6.3.2. Rehausse des fonds 86
6.3.3. Mise en place des banquettes 87
6.3.4. Remodelage 87
6.3.5. Aménagements connexes 88
6.3.5.1. Diversification 88
6.3.5.2. Clôtures et abreuvoirs 88
6.3.6. Schéma des aménagements 88
6.3.6.1. Vue en travers 88
6.3.6.2. Vue en plan 89
6.4. Incidences 90
6.4.1. Incidences hydrauliques 90
6.4.2. Incidence morphologique 90
6.4.3. Incidence écologique 91
6.4.4. Impact socio-économique 91
6.5. Etudes complémentaires 91
6.6. Procédure 91

6.7. Estimation financière 92
7. TRONÇON 8..... 93
7.1. Localisation 93
7.2. Rappels sur les enjeux du tronçon 93
7.3. Description des aménagements..... 94
7.3.1. Description générale 94
7.3.2. Orientation des écoulements en rive droite 94
7.3.3. Remodelage du bras en rive droite 94
7.3.4. Gestion des invasives 94
7.3.4.1. Berce du Caucase..... 95
7.3.4.2. Cotoneaster..... 95
7.3.4.3. Renouée du Japon 95
7.3.4.4. Balsamine 95
7.3.4.5. Topinambour..... 95
7.3.5. Schéma des aménagements 96
7.3.5.1. Vue en travers 96
7.3.5.2. Vue en plan 97
7.4. Incidences 98
7.4.1. Incidences hydrauliques 98
7.4.2. Incidence morphologique 98
7.4.3. Incidence écologique 98
7.4.4. Impact socio-économique..... 98
7.5. Etudes complémentaires 98
7.6. Procédure..... 99
7.7. Estimation financière 100
8. TRONÇON 9..... 101
8.1. Localisation 101
8.2. Rappels sur les enjeux du tronçon 101
8.3. Description des aménagements..... 102
8.3.1. Description générale 102
8.3.2. Rehausse des fonds 102
8.3.3. Mise en place de banquettes 102

8.3.4. Diversification 103
8.3.5. Comblement des drains 103
8.3.6. Schéma des aménagements 104
8.4. Incidences 105
8.4.1. Incidences hydrauliques 105
8.4.2. Incidence morphologique 105
8.4.3. Incidence écologique 105
8.4.4. Impact socio-économique 106
8.5. Etudes complémentaires 106
8.6. Procédure 106
8.7. Estimation financière 107
9. TRONÇON 12 108
9.1. Localisation 108
9.2. Rappels sur les enjeux du tronçon 108
9.3. Description des aménagements 109
9.3.1. Description générale 109
9.3.2. Suppression des ouvrages 109
9.3.3. Remodelage de la retenue aval 110
9.3.4. Reméandrement 110
9.3.5. Schéma des aménagements 111
9.3.5.1. Vue en travers 111
9.3.5.2. Vue en plan 112
9.4. Incidences 114
9.4.1. Incidences hydrauliques 114
9.4.2. Incidence morphologique 114
9.4.3. Incidence écologique 114
9.4.4. Impact socio-économique 115
9.5. Etudes complémentaires 115
9.6. Procédure 115
9.7. Estimation financière 116
10. SYNTHÈSE 117
PLAN DES AMÉNAGEMENTS 120

TABLEAUX

Tableau 1 – Diamètre maximum mobilisé avant débordement par la rivière à l'état aménagé pour chaque tronçon 22
Tableau 2 - Estimation des volumes nécessaires pour rehausser les fonds 23
Tableau 3 Différents scenarii d'effacement d'ouvrage 28
Tableau 4 - Niveau d'eau au droit du tronçon 1 avant/après aménagement 37
Tableau 5 - Différence de niveaux d'eau au niveau du pont de la véloroute avant/après aménagement 47
Tableau 6 - Incidences hydrauliques sur le tronçon 2 pour le scénario 2 55
Tableau 7 - Incidences hydrauliques sur le tronçon 3 65
Tableau 8 - Incidence hydraulique sur le tronçon 5 72
Tableau 9 - Incidences hydrauliques engendrées par l'effacement des ouvrages de Maisons-du-Bois 80
Tableau 10 - Incidences hydrauliques sur le tronçon 7 90
Tableau 11 - Niveau d'eau au droit du tronçon 8 avant/après aménagement 98
Tableau 12 - Incidences hydrauliques sur le tronçon 9 105
Tableau 13 - Incidences hydrauliques sur le tronçon 12 114

FIGURES

Figure 1 Localisation des sous-bassins versants du Doubs 11
Figure 2 - Schéma de principe de la réinjection 21
Figure 3 - Diagramme de Schields-Yalin 23
Figure 4 - Schéma de principe sur la mise en place de banquettes 24
Figure 5 Schéma de principe d'un remodelage bilatéral 27
Figure 6 - Tronçon 1 33
Figure 7 - Profil en travers Tronçon 1 35
Figure 8 - Vue en plan de l'aménagement du tronçon 1 36
Figure 9 -Différences de niveaux d'eau observées au droit d'un profil sur le Tronçon 1 38
Figure 10 - Tronçon 2 42
Figure 11 - Schéma de principe pour le reméandrement du tronçon 2 43
Figure 12 - Vue en travers tronçon 2 : scénario 1 45
Figure 13 - Vue en plan, Tronçon 2: scénario 1 46
Figure 14 - Différences des niveaux d'eau avant/après aménagement, tronçon 2 48
Figure 15 - Vue en travers de l'aménagement, Tronçon 2: scénario 2 53
Figure 16 - Vue en plan de l'aménagement, Tronçon 2: Scénario 2 54
Figure 17 - Différences de niveaux d'eau avant-après aménagement, T2 56
Figure 18 - Tronçon 3 59
Figure 19 - Veine d'écoulement 60
Figure 20 - Vue en travers de l'aménagement, Tronçon 3 secteur d'Arçon 62
Figure 21 - Vue en travers de l'aménagement, Tronçon 3 aval d'Arçon 62
Figure 22 - Vue en plan de l'aménagement, Tronçon 3 traversée d'Arçon 63
Figure 23 - Vue en plan de l'aménagement, Tronçon 3 aval d'Arçon 64
Figure 24 - Tronçon 5 68
Figure 25 - Vue en travers de l'aménagement, Tronçon 5 70
Figure 26 - Vue en plan des aménagements, Tronçon 5 71
Figure 27 - Ouvrage amont de Maisons-du-Bois 75

Figure 28 - Tronçon 6 76
Figure 29 - Profil en long avant/après effacement 78
Figure 30 - Vue en plan de l'aménagement, Tronçon 6 79
Figure 31 - Tronçon 7 85
Figure 32 - Secteurs à rehausser 86
Figure 33 - Profils issus du MNT au droit du remblaiement 87
Figure 34 - Vue en travers de l'aménagement 88
Figure 35 - Vue en plan de l'aménagement, tronçon 7 89
Figure 36 - Localisation du tronçon 8 93
Figure 37 - Vuen en travers de l'aménagement, Tronçon 8 96
Figure 38 - Vue en plan de l'aménagement, Tronçon 8 97
Figure 39 - Localisation du tronçon 9 101
Figure 40 - Vue en plan des aménagements, Tronçon 9 104
Figure 41 - Localisation du tronçon 12 108
Figure 42 - Interventions projetées sur le tronçon 12 109
Figure 43 - Vue en travers de l'aménagement, tronçon 12 111
Figure 44 - Vue en plan des aménagements, Tronçon 12 1/2 112
Figure 45 - Vue en plan des aménagements, Tronçon 12 2/2 113

OBJET DU DOCUMENT

Le Doubs est le principal affluent de la Saône. Il prend sa source dans le département du Doubs, sur la commune de Mouthe à une altitude de 937m, puis effectue un parcours de 453km jusqu'à sa confluence avec la Saône.

Il s'écoule majoritairement dans le département du Doubs et forme une boucle dans les Cantons de Neufchâtel et du Jura en Suisse, traverse une partie du Jura puis rejoint la Saône, dans le département de la Saône-et-Loire, drainant un important bassin versant d'une superficie de 7 710km2.

De sa source jusqu'à sa confluence avec la Saône, 5 sous bassins versant se distinguent (au sens du SDAGE) :

- Le Haut Doubs ;
- Le Doubs franco-suisse ;
- Le Doubs médian ;
- Le Doubs moyen ;
- La basse vallée du Doubs.

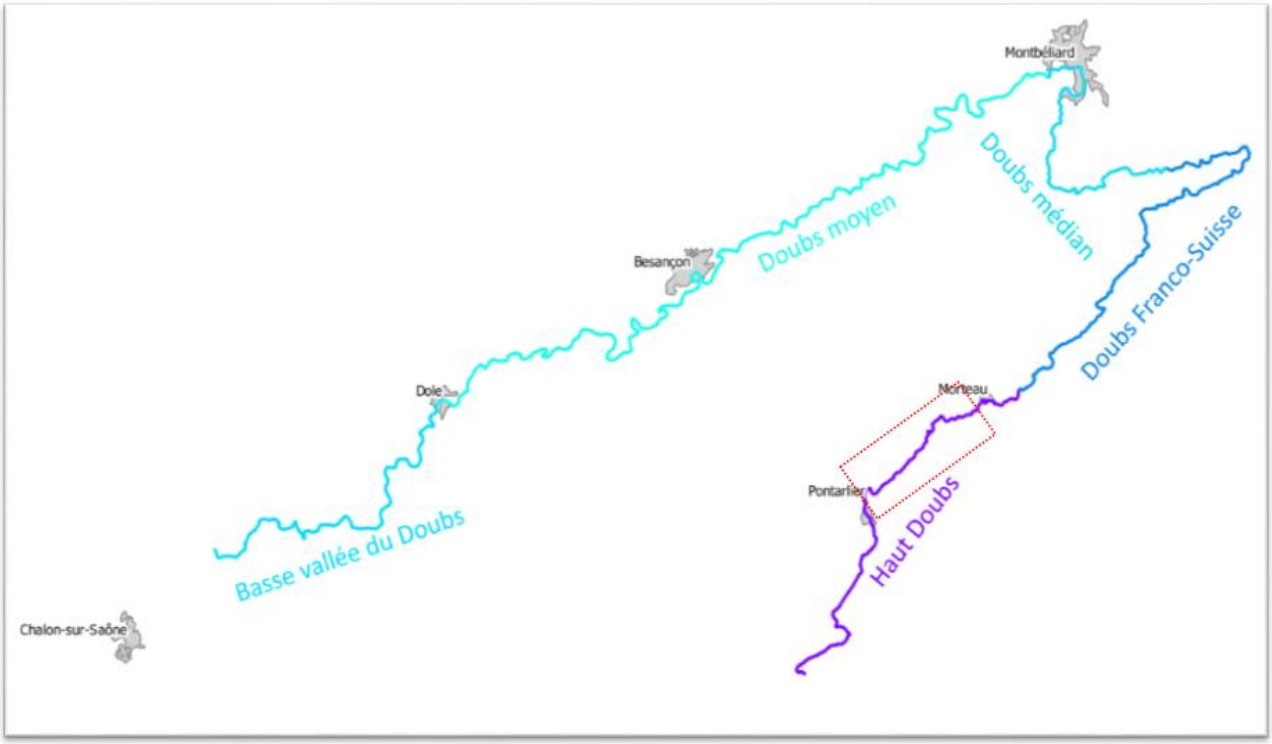


Figure 1 Localisation des sous-bassins versants du Doubs

Notre zone d'étude s'étend sur près de 25 km, de la confluence avec le Drugeon jusqu'à l'aval du défilé d'Entreroche et est donc située dans la partie du Haut-Doubs. Le Doubs sur notre secteur reçoit un de ses principaux affluents, le Drugeon, avant de s'écouler dans le val de Saugeais. Il s'insère ensuite dans le défilé d'Entreroche et le défilé du Coin de la Roche, une série de gorges escarpées débouchant sur le val de Morteau.

Le site est par ailleurs caractérisé par un contexte karstique important entrainant des pertes de débits. Les pertes du Doubs sont un phénomène naturel ancien lié à la nature karstique des terrains. Leur lien avec la source de la Loue a été

mis en évidence lors de l'incendie de l'usine Pernod de Pontarlier en août 1901, et confirmé par plusieurs traçages artificiels dès 1910. Le phénomène se manifeste principalement sur un linéaire de près de 5 km entre Arçon et Maisons-du-Bois, sous forme de pertes diffuses ou localisées. L'été 2018 a dramatiquement illustré ce phénomène avec un important assec du cours d'eau sur la presque totalité du linéaire à l'étude depuis Arçon / Maisons du Bois jusqu'en aval de Morteau.

Le secteur est situé sur la masse d'eau FRDR638 – Le Doubs de l'amont de Pontarlier à l'amont du bassin de Chaillexon (sous bassin DO_02_12 Haut-Doubs). Cette masse d'eau fait l'objet d'une mesure « réaliser une opération de restauration de grande ampleur de l'ensemble des fonctionnalités d'un cours d'eau » dans le programme de mesure du SDAGE 2016-2021. Le sous bassin est intégré au SAGE du Haut Doubs Haute Loue et au contrat de territoire associé.

Ce document fait suite aux rapports de phase 1 et 2 qui constituaient respectivement le rapport de diagnostic et les propositions d'objectifs de restauration sur le secteur. Cette dernière phase consiste à détailler les aménagements retenus au stade esquisses.

A. RAPPELS SUR LES CONCLUSIONS DU DIAGNOSTIC

1. SYNTHESE

Le tableau ci-après s'attache à résumer les différents points mentionnés dans le diagnostic.

Thématique	Contexte sur le secteur
Hydrologie	• Bassin versant de 576 km² ; • Débits caractéristiques disponibles sur la station de Ville-du-Pont ; • Pertes sur la partie amont du linéaire à l'étude impactant fortement l'hydrologie en étiage (assecs fréquents)
Hydraulique	• Nombreux ouvrages sur le secteur avec, sur la partie à l'aval du défilé, près de 42% du linéaire sous influence ; • Débordements compris entre 3*Module et la Q2 avec une augmentation des débits de plein-bords au droit des traversée urbaines

Morphologie	• Analyse diachronique ne montrant pas de modification majeure du tracé en plan postérieure au XVIIème ;
	• Suppression de plusieurs ouvrages hydrauliques ayant pu avoir un impact localisé sur le profil en long (érosion régressive limitée par la roche affleurante) ;
	• Bande active du cours d'eau qui a diminué au cours du temps traduisant les phénomènes d'incision existant ;
	• Sur-largeurs observés au droit des traversées urbaines et des ouvrages (pont ou barrages) ;
	• Usages historiques ayant eu un impact sur cette morphologie :
	  ○ Eclusée de barrages en amont du secteur (Saint-Point) ;
	  ○ Flottage du bois ;
	  ○ Nombreuses scieries anciennement présentes au fil du Doubs avec curage fréquents des biefs ;

	○ Aménagement divers (gestion des inondations, aménagement de la rivière pour la mise en place d'ouvrages, enlèvement de blocs,…)
Morpho-sédimentaire	• Apports sédimentaires au droit des gorges et sur les versants calcaires ; • Le Doubs sur notre secteur présente les caractéristiques d'un cours d'eau peu dynamique (faible mobilité, bancs végétalisé, peu de stock alluvionnaire) ;
Qualité physique	• Tronçons classés en catégorie B ; • Hétérogénéité apparaissant comme le score le plus limitant ; • Connectivité ne reflétant pas l'incision observée dans le contexte morphologique ;
Qualité physico-chimique	• Qualité physico-chimique dégradée par la présence de la STEP en amont, la traversée de plusieurs centres bourgs, l'activité agricole et le débordement fréquent de postes de refoulement ;
Qualité hydrobiologique	• Disparition des espèces piscicoles ou macro-invertébrés sensibles dû à la qualité et la thermie de l'eau ;
Milieu rivulaire	• Ripisylve peu présente en berge ; • Présence d'espèces invasives ; • Prolifération algale en étiage
Espaces naturels et patrimoniaux	• 3 ZNIEFF de type I aux abords du projet ; • 1 secteur situé en arrêté de protection du biotope au sein de la zone à l'étude ; • Nombreuses zones humides situées sur les berges du Doubs
Perte / Géologie	• Pertes situées sur les zones d'affleurement des calcaires du Jurassique supérieur, sur le secteur les pertes affectent principalement le secteur compris entre l'amont d'Arçon et Maisons-du-Bois ; • Pas d'évolution significative du débit des pertes sur les 30 dernières années ;

	• L'assec de 2018 se caractérise par un contexte climatologique exceptionnel (été le plus chaud et le plus sec observé depuis le début des mesures météorologiques)
Contexte socio-économique	• Occupation des sols dominée par un contexte prairial ; • Deux monuments historiques au droit du secteur ; • Plusieurs sites inscrits ou classés ;
EBF	• Espace de Bon Fonctionnement principalement délimité par le périmètre hydraulique.

2. CONCLUSIONS TIREES DU DIAGNOSTIC

Le Doubs, sur notre secteur est un cours d'eau qui présente des altérations induites par des facteurs multiples. L'hydrologie de la rivière est complexe et interdépendante des pertes du secteur. Celles-ci induisent des étiages très sévères, menant souvent à des assecs et ayant un impact important sur la faune et la flore du secteur.

Les différents ouvrages hydrauliques présents sur le secteur d'étude, ont un impact certain sur le franchissement piscicole. Par ailleurs, la zone aval des gorges est fortement impactée par les ouvrages avec une importante partie de son linéaire située en zone de remous.

Concernant la morphologie du cours d'eau, il apparait que son tracé a été peu modifié au cours du temps. Les principaux dysfonctionnements sont visibles au travers de l'enfoncement de la rivière, le pavage du fond et la disparition de système latéraux induisant une chenalisation de la rivière et un étalement de la lame d'eau en étiage. Egalement, il n'est pas rare d'observer des sur-largeurs sur la rivière en particulier au droit des traversées urbaines ou des ouvrages hydrauliques. Ces dysfonctionnements sont la conséquence des usages passés et présents du cours d'eau (scieries, éclusés, flottage du bois, piétinement, mise en place de barrage,…).

La détermination de la qualité physique du cours d'eau s'est appuyée sur la méthode des tronçons. Globalement, les tronçons analysés sont en classe B avec l'hétérogénéité du secteur comme facteur le plus discriminant. La méthode, et plus particulièrement le score de connectivité, ne met malheureusement pas en évidence les dysfonctionnements observés lors du diagnostic morphologique notamment l'incision que présente certains secteurs. Ce constat peut s'expliquer par une notation issue de la méthode artificiellement soutenue par une incision limitée en raison de la présence de la dalle rocheuse.

Par ailleurs, le contexte économique environnant est la cause de plusieurs désordres impactant la rivière :

- La STEP de Pontarlier située en amont du site à l'étude, et les débordements fréquents des postes de refoulement, provoquent une dégradation de la qualité des eaux et des pollutions dans les sédiments ;

- Le contexte agricole du secteur et les nombreuses zones de pâturages bordant la rivière induisent le piétinement des berges et la pollution des eaux. La présence de drains agricoles au droit des zones humides bordant le cours d'eau a aussi un impact fort notamment lors des étiages.

Enfin, la ripisylve en berge est très appauvrie limitant les caches et zones ombragées pour le poisson. Par ailleurs une problématique liée aux espèces invasives existe sur le cours d'eau.

Toutes ces pressions ont une incidence sur les organismes liés aux milieux aquatiques. Il a en effet été montré que le peuplement piscicole est manifestement déstructuré avec l'absence ou la faible abondance de nombreuses espèces repères. En complément, un fort développement algal est visible en étiage, conséquence de la qualité de l'eau et des faibles débits transitant. Cette eutrophisation du milieu provoque l'appauvrissement de l'écosystème en place.

Egalement, l'intensification des étiages sévères est un paramètre à prendre en compte. L'assèchement du cours d'eau en 2018 a tristement illustré ce phénomène. En effet, les conditions météorologiques rencontrées étaient extrêmes et ont conduit à un débit transitant sur le secteur d'étude inférieur au débit prélevé par les pertes. Cela a donc inévitablement entrainé l'assèchement du cours d'eau. Les réflexions à mener concernant la gestion des débits d'étiage devront donc s'attacher à tenir compte des pertes en amont du secteur d'étude qui diminuent grandement les débits arrivant sur Arçon.

En concomitance avec ces phénomènes d'assec, l'étalement de la ligne d'eau induite par les diverses actions anthropiques tend à aggraver la situation.

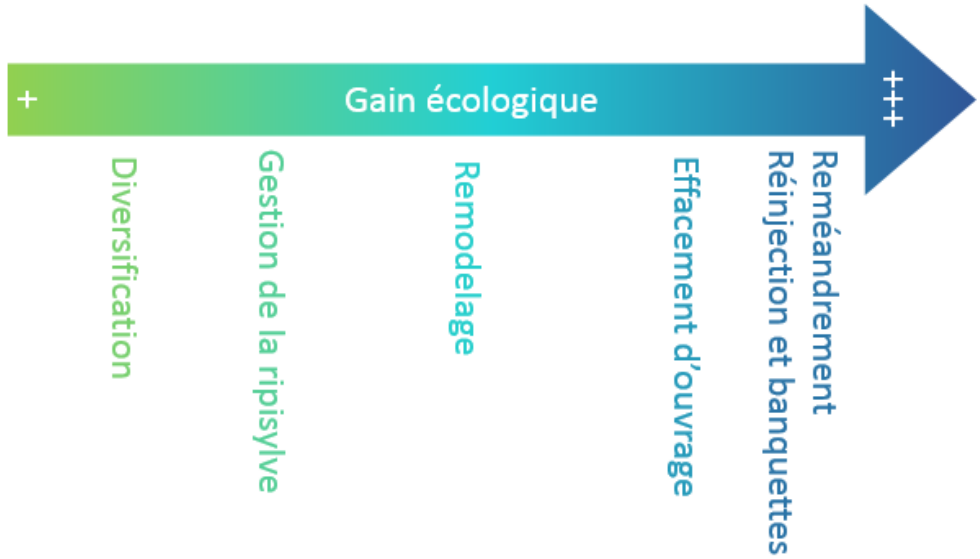
Toutes ces altérations entrainent donc des perturbations impactant les peuplements biologiques du Doubs. Il convient ainsi de déterminer des solutions d'aménagement permettant de rétablir une situation plus conforme à ce vers quoi le Doubs pourrait tendre naturellement.

B. AMENAGEMENTS PROPOSES

1. GRANDS PRINCIPES RETENUS

Les grands principes d'aménagements proposés dans le cadre de la phase 2 et repris en phase 3 sont décrits dans les paragraphes suivants. Ces propositions concernent les thématiques suivantes :

- La rehausse des fonds ;
- La mise en place de banquettes ;
- Le remodelage du cours d'eau ;
- Le reméandrement ;
- La diversification ;
- L'aménagement des ouvrages hydrauliques ;
- La gestion de la ripisylve.



Les différentes stratégies de restauration décrites ci-après induisent donc des gains variables sur l'écosystème. Ces gains sont corrélés avec l'emprise disponible et les impacts engendrés. En effet, une solution telle que le reméandrement ou la réinjection présente les gains écologiques les plus élevés en lien avec la reconquête de l'espace de liberté et de sa zone inondable. Néanmoins ce sont les solutions qui engendrent le plus d'impact socio-économique avec une modification des usages liés aux inondations et aux modifications foncières dans le cas d'un changement de tracé du cours d'eau.

1.1. REHAUSSE DES FONDS

1.1.1. Principe

Le diagnostic réalisé en phase 1 a mis en évidence un déficit sédimentaire avec un enfoncement du lit mineur. Ce déficit est la conséquence des différents aménagements ayant eu lieu sur le Doubs au cours du temps ainsi que d'un déficit d'apport en amont. Bien que sur le secteur, le Doubs ne présente pas les caractéristiques d'un cours d'eau charriant une quantité importante de matériaux, le système demeure très sensible et la moindre modification de cet équilibre peut avoir de lourdes conséquences.

Ainsi, ce déficit a des conséquences sur la morphologie du cours d'eau (chenalisation, pavage,…) mais provoque aussi la réduction de l'épaisseur de l'aquifère alluviale. Cette incision combinée aux phénomènes de pertes induit donc des étiages rudes.

Ne pouvant compter sur les apports naturels de l'amont, ni sur l'érosion locale des berges, il a été décidé d'apporter artificiellement des matériaux qui seront déposés sous forme de charge de fond dans la rivière.

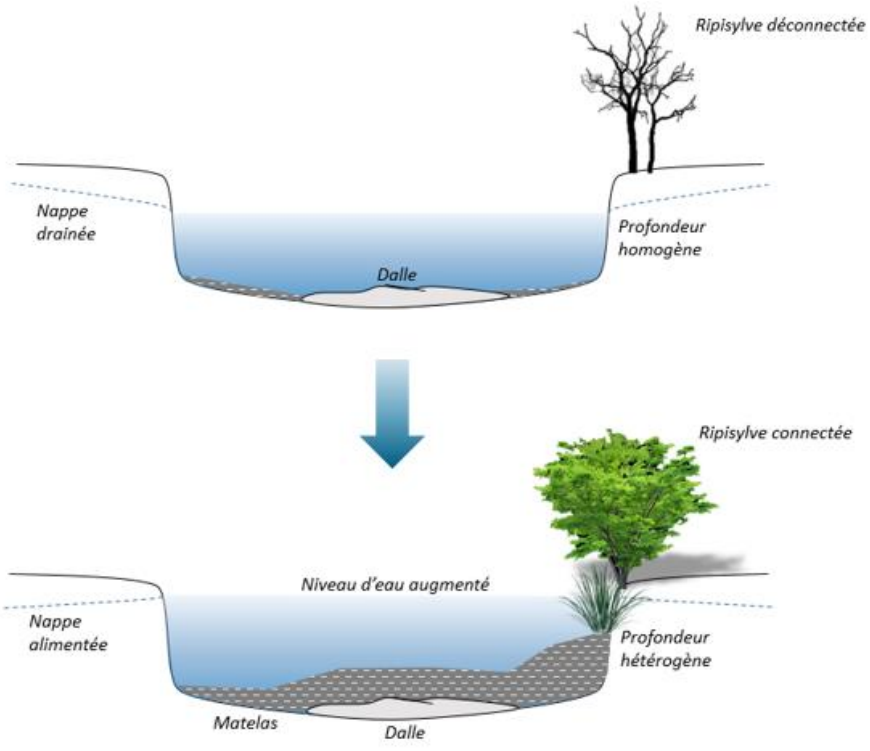


Figure 2 - Schéma de principe de la réinjection

1.1.2. Dimensionnement

Les cours d'eau transportent leurs alluvions à des vitesses comprises entre 30 et 500 m/an. De ce fait, les matériaux apportés sont amenés à moyen terme à être déplacés vers l'aval. Afin de faire perdurer au plus la restauration, il est proposé d'injecter des matériaux ayant une granulométrie étendue. Cet apport aurait une granulométrie moyenne légèrement supérieure à la force tractrice critique du secteur, permettant d'avoir une portion injectée stable.

Les caractéristiques de mise en mouvement des matériaux ont été estimées grâce au critère de Shields. Le critère de Shields permet d'évaluer la capacité de mise en mouvement des sédiments présents. Il est déterminé par la formule suivante :

$$\tau^* = \frac{\tau}{g(\rho_s - \rho)D} \approx \frac{hJ}{1.65D}$$

Tout tronçon de rivière possède un seuil de critère de Shields en-deçà duquel l'équilibre du fond du lit est assuré, il est appelé le critère de Shields critique. Lorsque le critère de Shields d'un tronçon de rivière dépasse le seuil critique, la mobilisation des sédiments est active, et induit le début de transport par charriage.

Les travaux de Shields (1936) repris ensuite par Yalin (1977) proposent une relation entre le nombre de Shields, diamètre adimensionnel et la mobilité du matériau via un diagramme. Le tableau ci-dessous présente les diamètres maximum mobilisés calculés pour le débit de débordement pour chaque tronçon :

Tableau 1 – Diamètre maximum mobilisé avant débordement par la rivière à l'état aménagé pour chaque tronçon

Numéro	Secteur	Hauteur d'eau (m)	Pente de ligne d'eau (m/m)	Diamètre (m)	Diamètre adimensionnel d_*	Critère de Shields τ_*
1	Amont Arçon	0.96	0.0023	0.025	632	0.054
2	Traversée d'Arçon	1.5	0.0017	0.03	759	0.052
3	Arçon → Maisons-du-Bois	1.30	0.0015	0.025	632	0.047
4	Maisons-du-Bois (en considérant un effacement des deux ouvrages)	2.16	0.003	0.07	1771	0.056
5	Maisons-du-Bois → Montbenoît	1.1	0.0023	0.03	759	0.051
6	Montbenoît	2.04	0.0028	0.065	1644	0.053
7	Montbenoît → Ville-du-Pont	1.5	0.0017	0.03	759	0.052

Les résultats présentés sont donc tirés de l'analyse du diagramme Schields-Yalin. L'exemple au droit d'Arçon (1 et 2) et Masons-du-Bois (4) est proposé ci-dessous :

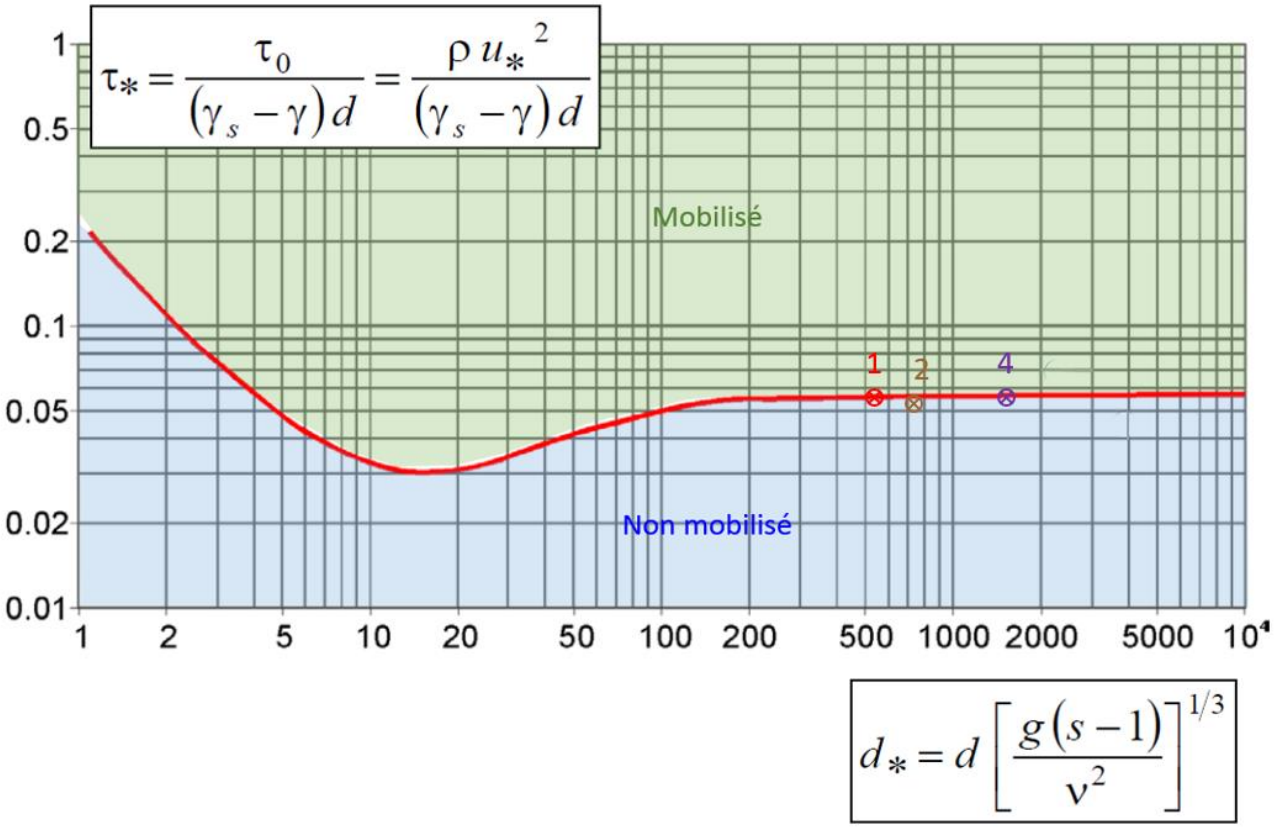


Figure 3 - Diagramme de Schields-Yalin

Ces diamètres devront donc être pris en compte pour choisir le type d'apport selon la mobilité de matériaux désirée.

1.1.3. Volume de réinjection

Le calcul du volume de matériaux à réinjecter se fait sur la base de la hauteur moyenne d'incision observée sur chaque tronçon. En reliant cette hauteur à la largeur moyenne du lit et au linéaire à restaurer, on obtient le volume optimal de matériaux à réinjecter.

Tableau 2 - Estimation des volumes nécessaires pour rehausser les fonds

Tronçon	Largeur lit (m)	Hauteur incisée (m)	Linéaire (m)	Volume (m3)
Tronçon 1	17	0.5	263	2235.5
Tronçon 2	17	0.3-0.5	1387	9400
Tronçon 3 (aval)	20	0.3	640	3840
Tronçon 5	25	0.2-0.6	2518	18800
Tronçon 7	23	0.4-0.7	3300	38000
Tronçon 9 (amont)	23	0.3-0.6	970	8920

A ce stade, le volume estimé pour la totalité du linéaire est de plus de 80 000 m3. Cette estimation constitue une base permettant de faire un premier chiffrage des travaux. Les volumes devront être affinés avec la topographie complémentaire réalisée pour la suite éventuelle du projet.

Idéalement les matériaux injectés devront être de type alluvionnaire. Aussi, une attention devra être portée afin d'identifier et réemployer les stocks disponibles sur place. Également, les stocks excédentaires de matériaux suite à des travaux sur le bassin versant pourront être remis en œuvre au niveau du secteur (matériaux de retenue d'ouvrage, matériaux recueillis suite un arasement problématique au niveau d'une traversée urbaine,…).

1.2. MISE EN PLACE DE BANQUETTES

1.2.1. Principe

En complément de la réinjection décrite précédemment, des banquettes seront mises en place dans le lit du Doubs afin de resserrer les écoulements en étiage. En effet, sur presque la totalité du linéaire à l'étude, la largeur en eau en étiage et en moyennes eaux est sensiblement la même. Ceci implique une lame d'eau très faible en étiage et peu biogène.

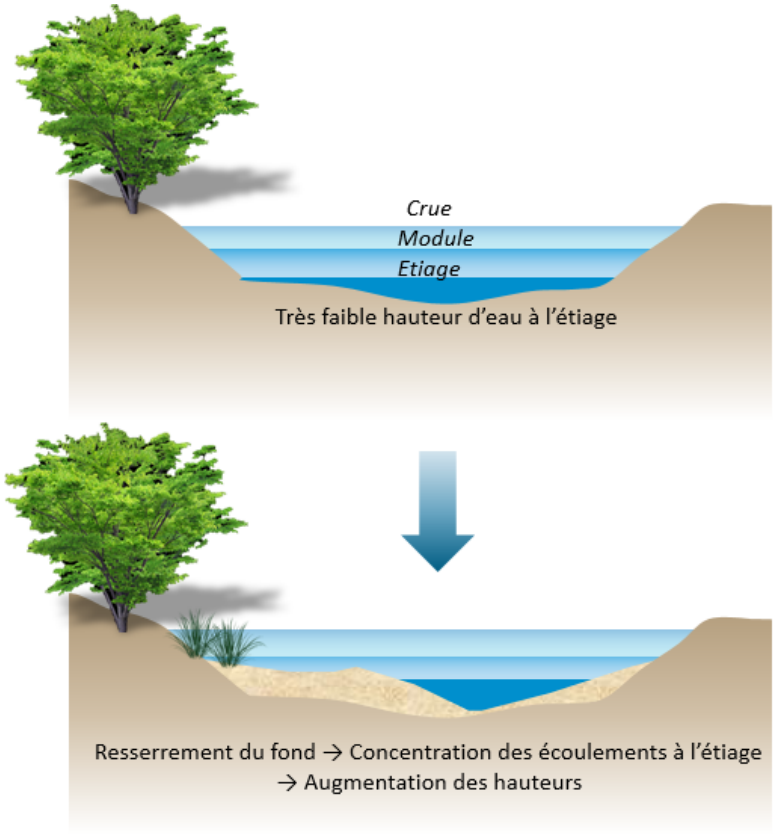


Figure 4 - Schéma de principe sur la mise en place de banquettes

Ces banquettes pourront être minérales ou composées d'un mélange terre-cailloux permettant une meilleure reprise de la végétation.

Egalement, sur l'amont du secteur, celles-ci seront positionnées au niveau des pertes. La granulométrie des matériaux employés pour ces aménagements sera adaptée à la morphologie de la rivière afin que l'aménagement soit stable et pérenne.

Tenant compte du nombre important de pertes du secteur et de leur répartition allant de l'amont d'Arçon à Maisons-du-Bois, l'objectif de l'aménagement n'est clairement pas d'effectuer un comblement (celles-ci permettant l'alimentation de la Loue), mais de diminuer le linéaire asséché. En effet, l'implantation des banquettes sur les pertes

diminuera, sans le couper totalement, le débit prélevé. Cependant, cela permettra aussi à ce que des zones de pertes actuellement asséchées en étiage soient maintenues en eau, permettant ainsi leur alimentation.

Il est cependant important de noter le caractère expérimental de la mise en place de cet aménagement. Des ajustements seront probablement nécessaires au cours du temps afin d'obtenir un résultat optimal. En effet, l'aménagement à mettre en œuvre peut être de différents types et pourra être ajusté. A ce stade, plusieurs solutions peuvent être envisagées :

- Mise en place de blocs tabulaires/plaquette calcaires sur la perte recouverts de matériaux plus fins permettant de maintenir un écoulement hyporhéique sans que les matériaux de faibles dimensions tombent dans la perte ;
- Mise en place de matériaux morainiques au droit de la perte permettant de conserver une certaine étanchéité. L'effet des changements hydriques (en eau/hors d'eau) sur cet aménagement devra être étudié ;
- Mise en place d'un géotextile sur la perte recouvert ensuite des matériaux de la banquette. Cette solution nous semble être la moins envisageable car elle nécessite la mise en œuvre d'un matériau exogène à la rivière.

Les solutions de comblement par mise en œuvre d'un mélange d'argile totalement étanche ou de béton sont à proscrire.

Dans le cadre du présent rapport, la solution de mise en place de blocs tabulaires a été choisie. En effet cette solution semble être celle conjuguant le moins de contraintes en termes d'entretien et le moins de « risques » vis-à-vis de l'alimentation de la Loue. Il est de plus conseillé de sectoriser les interventions d'amont en aval et dans le temps afin d'évaluer les impacts des aménagements en termes de gains sur le Doubs et de préjudices éventuelles sur la Loue.

Par ailleurs, dans l'objectif d'avoir une meilleure connaissance des pertes, il pourrait s'avérer utile de réaliser une étude globale sur le phénomène combinant géologie, géophysique et hydrogéologie. En effet cette problématique est devenue en quelques années un enjeu majeur du département visible notamment au travers de la présente étude ou celle en cours de réalisation sur le lac Saint-Point. Cela permettrait une caractérisation précise du karst, des débits de soutient d'étiage et des aménagements à mettre en œuvre ainsi que leurs incidences.

1.2.2. Géométrie

L'objectif principal de ces banquettes est donc de resserrer les écoulements en étiage afin d'augmenter les hauteurs d'eau. Au vu des espèces en place et de la morphologie du cours d'eau, il a été décidé de se fixer une hauteur d'eau minimale de 30 cm à conserver en étiage. Cette hauteur permet d'assurer des bonnes conditions de nage pour la faune piscicole mais aussi de garantir une connexion pérenne entre le cours d'eau et ses berges.

Cette hauteur moyenne dépend du débit transitant et de la géométrie du cours d'eau.

Cette géométrie a été obtenue grâce à la formule de Manning Strickler explicitée ci-dessous :

$$Q = K_s * S * \left(\frac{S}{P}\right)^{2/3} * \sqrt{i}$$

Avec :

- Ks : coefficient de Strickler ;
- S : surface mouillée ;
- P : périmètre mouillé ;
- i : pente du secteur.

Aussi en considérant :

- Un débit égal à 1,31 m3/s, somme des QMNA5 du Drugeon et du Doubs à Doubs. Le QMNA5 calculé à Ville-du-Pont (0.23 m3/s) étant trop impacté par les pertes ;
- Une hauteur d'eau visée de 30 cm ;
- Une pente moyenne de 0,2%
- Un coefficient de Strickler de 25 ;

Sur la base de ces hypothèses, les banquettes à mettre en place devront permettre la définition d'un lit d'étiage ayant une largeur variant autour de 7m. La hauteur des banquettes sera également variable de sorte à être ennoyée pour différentes gammes de débits.

1.3. ELEMENTS DE DIVERSIFICATION

Afin de solutionner l'hétérogénéité du milieu, quelques éléments de diversification pourront être apportés. Ces aménagements doivent être mis en place en complément des solutions décrites précédemment. En effet, seuls, ils ne constituent pas une restauration optimale.

Ces aménagements pourront être de différents types, à savoir :

- Blocs ou amas de blocs afin de réaliser des abris hydrauliques ;
- Mise en place de bois morts en lit mineur avec fixation éventuelle en berge ;
- Mise en place de bancs sédimentaires mobilisables par la rivière. En complément de la rehausse et des banquettes qui seront amenées à être plutôt fixes, ces aménagement permettront à la rivière de s'ajuster et recréer des zones morphologiquement intéressantes. Le diamètre des matériaux devra être adaptée au secteur afin d'être mobilisable par la rivière (cf diamètre critique calculé précédemment).

L'implantation de ce type d'aménagement devra rester ponctuelle. Il conviendra par exemple d'assurer le developpement d'une rippisylve en berge permettant à terme d'avoir des bois morts naturellement dans le lit du Doubs.

1.4. REMODELAGE

Lorsque la berge est trop haute et qu'une simple rehausse n'est pas possible, il a été décidé d'effectuer un remodelage permettant d'améliorer la connectivité. Ce type d'aménagement sera principalement utilisé au droit des traversées urbaines afin de ne pas augmenter le risque inondation.

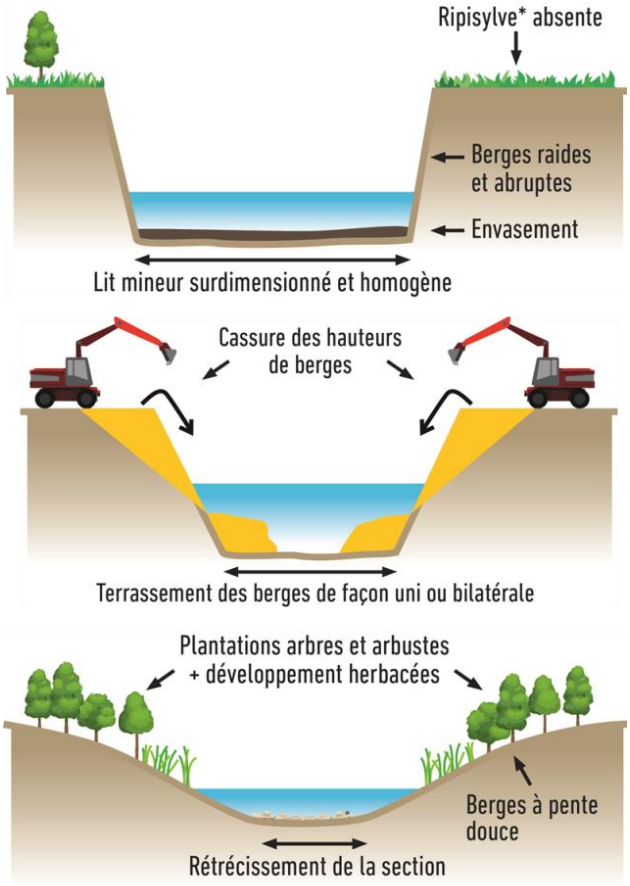


Figure 5 Schéma de principe d'un remodelage bilatéral

Cette intervention permet donc :

- De retravailler la morphologie de la rivière afin de :
    - Rechercher une bonne connectivité entre lit d'étiage, berges et boisements rivulaires ;
    - Maintenir un chenal marqué (lit moyen et lit d'étiage), permettant une diversification des faciès d'écoulement et une hauteur d'eau favorable à la vie aquatique en période d'étiage ;
- D'accueillir de nouvelles plantations afin d'accroitre le gain écologique de l'aménagement (trame verte, ombrage, zone d'abris piscicole,…) ;
- De ne pas aggraver le risque inondation.

Les berges seront profilées avec une configuration du type « lit emboité ». Les berges présenteront une pente douce avec un fruit de talus adapté en fonction du secteur. Cette morphologie permettra d'assurer la stabilité des berges et la connectivité avec le lit d'étiage, tout en limitant les impacts sur la ligne d'eau en cas de crue.

Ce type d'aménagement est proposé sur les linéaires suivants :

- Le secteur du Doubs dans la traversée d'Arçon ;
- Le canal d'Arçon ;

- Le tronçon au droit de la traversée de Montbenoït ;
- L'amont de Ville-du-Pont qui présente des berges très hautes (en complément de la réinjection sédimentaire) ;
- L'aval du linéaire à l'étude en amont de la plaine de Morteau (sous réserve de suppression de l'ouvrage aval).

1.5. REMEANDREMENT

Bien que l'analyse du site n'ait pas indiqué clairement de modifications du tracé du cours d'eau, celui-ci semble approprié au droit de certains secteurs où le milieu se verrait amélioré par cet aménagement. C'est le cas au niveau d'Arçon, au droit du barrage. En effet, dans l'hypothèse d'un effacement de l'ouvrage, un reméandrement en amont permettrait de rattraper la pente engendrée par l'ouvrage. Cela permettrait également de contourner un secteur fortement touché par les pertes.

En complément, un reméandrement est proposé sur le secteur fortement incisé en aval de Remonot.

Tenant compte de l'enfoncement actuel du cours d'eau et afin de ne pas engendrer d'importants remous en amont des reméandrements, ceux-ci s'accompagneront d'un décapage du lit majeur permettant d'obtenir un milieu plus connectif.

1.6. RESTAURATION DE LA CONTINUITE ECOLOGIQUE

Les ouvrages n'ayant actuellement aucun usage, leur effacement a été envisagé. En effet, le principe d'effacement d'un ouvrage hydraulique représente la solution la plus efficace en termes de restauration de la continuité écologique (c'est-à-dire piscicole et sédimentaire).

Il peut être décliné en plusieurs variantes, qui sont fonction des attentes, des objectifs et du contexte local. Ainsi, le terme « d'effacement » regroupe plusieurs degrés d'intervention sur l'ouvrage et ne peut se résumer à la suppression drastique de l'ouvrage. Théoriquement, les solutions d'effacement sont les suivantes :

Tableau 3 Différents scenarii d'effacement d'ouvrage

Scenarii	Objectif	Dans quel cas ?
Non-intervention	Laisser évoluer l'ouvrage	- Impacts négligeables et/ou gain limité - Etat de dégradation avancé
Dérasement	Effacement complet	Aucun risque ni impact négatif
Arasement	Maintien d'un point dur de fond	Risque d'évolution morphologique non souhaité
Arasement partiel	Abaissement de l'ouvrage ou de parties d'ouvrage	- Contraintes / risques forts - Amélioration franchissabilité piscicole

Rappelons également que, suivant le degré d'effacement et les résultats de l'étude des incidences envisageables, plusieurs mesures d'accompagnement peuvent être mises en œuvre afin d'assurer certains usages, de préserver certains enjeux et de limiter l'apparition de dysfonctionnements.

Concernant les ouvrages sur la partie amont du secteur (Maisons-du-Bois), l'effacement total des barrages est dépendant des impacts engendrés sur les pertes. Ces impacts peuvent être positifs comme négatifs. En effet, en

diminuant la surface et la hauteur d'eau en amont des ouvrages, en lien avec la suppression de la retenue d'eau, certaines pertes pourraient se retrouver hors d'eau ou moins alimentées.

Egalement, suite à l'effacement d'un ouvrage, le fond de la rivière nouvellement modifié subit une phase d'ajustement. Cet ajustement peut en partie être contrôlé par la mise en place de points durs structurant le nouveau profil, néanmoins des modifications à la marge sont à prévoir. Le risque en lien avec un effacement est donc la mise à nu de nouvelles pertes sur les fonds décapés. **Aussi, en cas de mise en œuvre de cette solution, des études géologiques complémentaires sont à mener afin de déterminer plus précisément ces incidences.**

Ces aménagements devront s'accompagner d'une restauration des retenues, celles-ci étant actuellement très larges.

L'effacement du barrage d'Arçon a également été étudié.

1.7. GESTION DE LA RIPISYLVE ET DES BERGES

Le diagnostic a également mis en évidence des problématiques liées à la végétation du lit. D'une part certains tronçons présentent un déficit de végétation ce qui contribue à la rigueur des étiages. D'autre part de nombreuses espèces envahissantes sont présentes sur le linéaire.

Enfin, des piétinements en berge ont été localisés, provoquant des érosions, sur-largeurs et apports de MES.

Concernant la gestion de la ripisylve, les scénarios sont dépendants du niveau d'ambition choisi. En effet, selon nous, la solution la plus efficiente à long terme serait de travailler sur une bande tampon au sein de laquelle le développement des conditions de croissance serait favorisé, tout en empêchant la prolifération d'invasives. Cela passerait par une sensibilisation des exploitants riverains à la rivière et une végétalisation « passive » plutôt que par simples plantations. Néanmoins, cette logique doit s'accompagner d'une phase obligatoire de concertation. Dans le cadre du présent rapport des plantations de boutures de saules sur chaque tronçon ont été estimées.

2. MESURES D'ACCOMPAGNEMENT

Les aménagements proposés ci-dessus auront des impacts forts sur les débordements. En effet, en dehors des secteurs urbanisés d'Arçon, Maisons-du-Bois, Montbenoît et Ville-du-Pont, les débordements seront amenés à intervenir plus fréquemment.

En lien avec l'usage des parcelles bien souvent utilisées comme prairies ou pâturages, ces augmentations doivent s'accompagner de mesures de concertations avec les exploitants.

Néanmoins, il est important de rappeler que les débordements au droit de ce type de secteur sont favorables sur plusieurs aspects :

- **L'absorption des eaux de débordements par ces zones humides permet la réalimentation du milieu en étiage**. En effet ces milieux ont un rôle « éponge » essentiel. L'exemple de la restauration du Drugeon sur le secteur a bien illustré ce phénomène avec une nette amélioration du milieu ;

- **Ces zones de débordements servent de réservoirs naturels d'expansion de crues.** En effet, les débordements dans ces zones humides périphériques et la rétention d'eau qui en résulte permettent un écrêtement du débit de la crue. En outre, la diminution des vitesses par la végétation de ces milieux permet également de réduire l'ampleur de l'inondation sur les zones aval. Un modèle hydraulique 2D transitoire permettrait de mettre en lumière ces éléments ainsi que d'apporter des éléments de détails aux exploitants (temps de submersion, zone hors d'eau sur les parcelles,…)

Enfin, il est à noter que le présent rapport, de par l'étendu du linéaire d'étude constitue une base à la phase de réalisation qui devra être approfondie durant la mission de maîtrise d'œuvre et éventuellement ajustée en fonction des échanges avec les exploitants. En outre, les scenarios proposés considèrent une restauration optimale du milieu, il est tout à fait possible de réduire les débordements en limitant la recharge des fonds et en revoyant à la baisse l'ambition du projet.

Afin de faciliter l'animation foncière, les impacts sur les inondations sont détaillés au droit de chaque tronçon en termes de débit de débordement et d'augmentation de jours d'inondation. Notons que ces impacts se basent sur un aménagement global du linéaire et tiennent donc compte des incidences des aménagements en aval sur l'amont.

3. ELEMENTS DE CHIFFRAGE

3.1. MONTANT DES TRAVAUX

Chaque proposition d'aménagement décrite dans la section suivante s'accompagne d'un chiffrage estimatif. Celui-ci s'appuie sur des devis d'entreprises pour des prestations similaires. A cela est ajouté un poste « divers et imprévus » correspondant à 10 % du montant de marché de travaux. En effet, en APS, comme c'est le cas dans le présent rapport, ce surcoût permet de parer à tout élément non pris en compte à ce stade (affinement des volumes, aménagements connexes,…).

3.2. MONTANT DE LA MAITRISE D'ŒUVRE

Le montant de la maitrise d'œuvre a été calculé selon un taux de rémunération théorique de 10% du montant des travaux et majoré à 90 000€. En effet cette majoration s'impose du fait des montants de travaux pouvant atteindre des sommes importantes de par les volumes mis en œuvre et non à cause d'une forte complexité.

Egalement les coûts liés aux études complémentaires ont été appréhendés, celles-ci sont de plusieurs types :

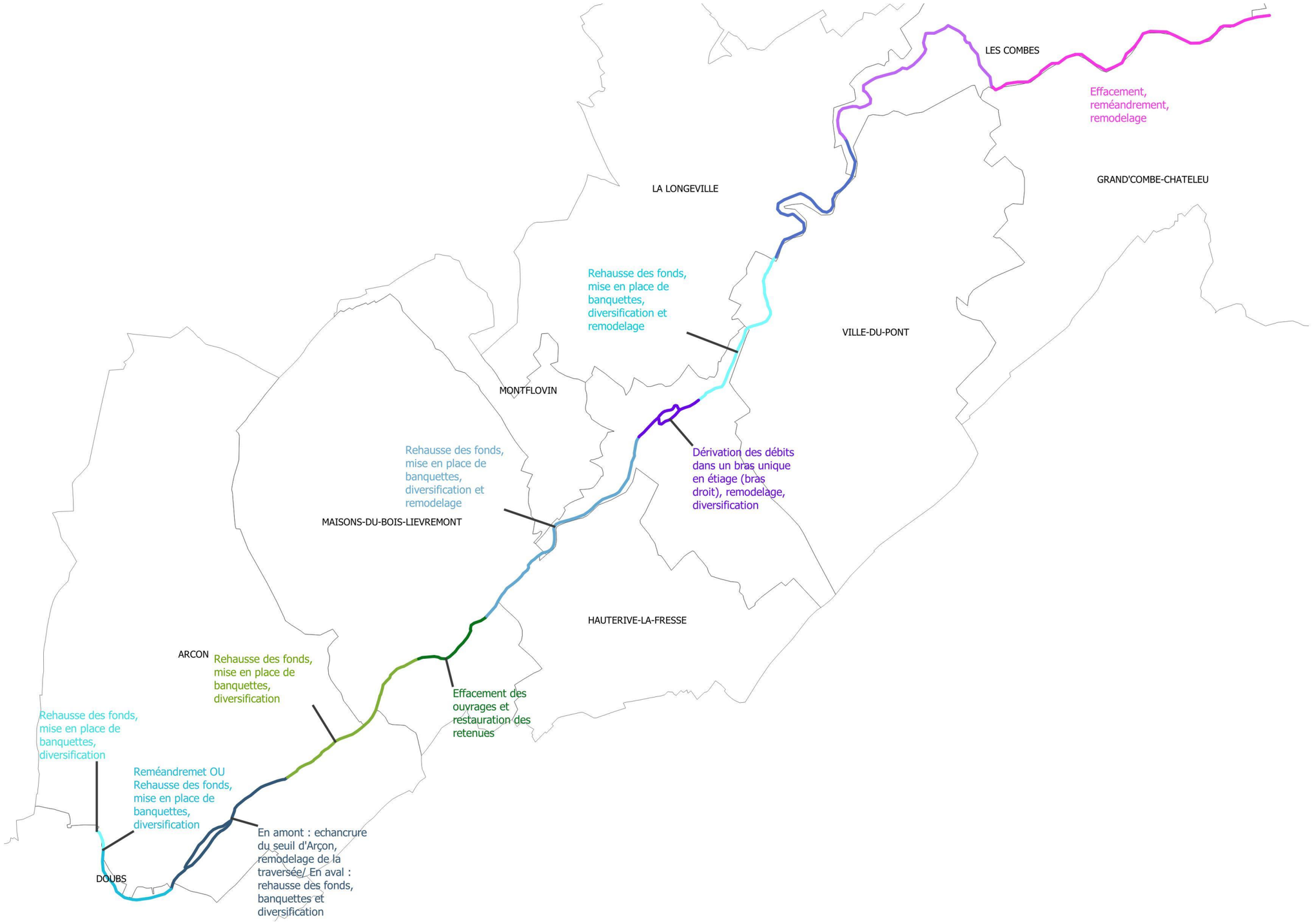
- Topographie complémentaire : afin de détailler plus précisément les scénarios envisagés, leur coût et les volumes mis en œuvre, de la topographie supplémentaire est nécessaire. Le coût a été intégré au chiffrage en faisant l'hypothèse que pour 1 km de cours d'eau étaient nécessaires :
    - Un profil en long à 400€ ;
    - 6 profils en travers à 100€ l'unité.

  Soit 1€ de topographie par mètre linéaire.

- Expertise géotechnique : certains scénarios nécessitent la réalisation de mission géotechnique. Cela concerne notamment les opérations de reméandrement (fouille à la pelle) et d'effacement d'ouvrage (sondage au niveau des barrages, expertise sur le bâti riverain,…). Ces prestations ont été chiffrées sur la base de devis pour des contextes similaires ;

- Inventaire Faune-Flore : l'aval du linéaire à l'étude étant à proximité d'un site classé en APB, le passage d'un écologue semble nécessaire afin de définir au mieux les modalités de travaux et les enjeux du site. Cette prestation a été chiffrée sur la base de devis similaires.

4. AMENAGEMENTS RETENUS



C. DESCRIPTION DES AMENAGEMENTS PAR TRONÇON

Les paragraphes suivants, s'attachent à détailler, tronçon par tronçon les scénarios retenus. Les principes d'aménagements détaillés dans la section précédente ne sont pas rappelés ici.

A noter également que l'ensemble des incidences hydrauliques mentionnées se basent sur un aménagement global du linéaire. En effet, les aménagements en aval d'un tronçon pouvant avoir une incidence sur l'amont.

1. TRONÇON 1

1.1. LOCALISATION

Tronçon le plus à l'amont du secteur d'étude, celui-ci est situé sur les communes de Doubs et d'Arçon. Le linéaire du secteur est de 263 m, sur lesquels la rivière alterne entre des faciès de radiers et de plats.

Figure 6 - Tronçon 1

L'analyse granulométrique effectuée au droit du radier le plus en amont indique un diamètre moyen des matériaux (d_{50}) égal à 73 mm.

Bien que des pertes soient situées en amont de ce secteur, aucune n'a été localisée sur le linéaire durant la campagne de 2018.

1.2. RAPPELS DES ENJEUX DU SECTEUR

Pour rappel, les enjeux sur ce tronçon sont les suivants :

- Présence de la commune de Pontarlier en amont ;
- Occupation des sols dominée par le pâturage.

1.3. DESCRIPTION DES AMENAGEMENTS

1.3.1. Description générale

Les aménagements projetés ici consistent en la rehausse des fonds sur 50 cm au niveau des zones les plus incisées accompagné de la mise en place de banquettes latérales permettant de délimiter un lit d'étiage à la rivière.

1.3.2. Rehausse des fonds

A l'état aménagé, il apparait que le diamètre maximum mobilisé pour le débit de débordement est égal à 25 mm. Pour rappel, afin d'assurer une certaine stabilité de l'aménagement il est proposé de réinjecter des matériaux à granulométrie étendue.

Aussi la rehausse des fonds sur le tronçon aura les caractéristiques suivantes :

- Mise en œuvre de 5-80mm sur le fond hors secteur de radiers ;
- Mise en œuvre de 50-100mm au droit des radiers.

1.3.3. Mise en place de banquettes

Les banquettes à mettre en place permettront la définition l'un lit d'étiage marqué permettant une meilleure gestion des étiages. Ce lit aura une largeur moyenne égale à 7m, bien entendu, cette largeur devra varier tout au long du linéaire afin d'améliorer l'hétérogénéité du secteur. De même leur hauteur pourra varier entre 20 et 50 cm.

Ces banquettes seront de deux types :

- Soit purement minérale et constituée d'une granulométrie étendue 20-100mm ;
- Soit en matériaux mixtes avec en pied des blocs « plateaux » protégeant un mélange blocs / tout venant permettant la création de caches, la stabilité des aménagements et la reprise spontanée de la végétation.

1.3.4. Diversification

En complément, des aménagements principaux détaillés ci-avant, des éléments de diversification pourront être ponctuellement mis en œuvre, à savoir :

- La mise en place de bancs mobilisables par la rivière en 5-50 mm ;

- La mise en place de bois morts issus des éventuelles coupes pour la réalisation des travaux sous forme de souches ancrées ou bois mort en épis ;

- La mise en place de blocs ou d'amas de blocs dans les zones courantes.

1.3.5. Schéma de l'aménagement

1.3.5.1. Vue en travers

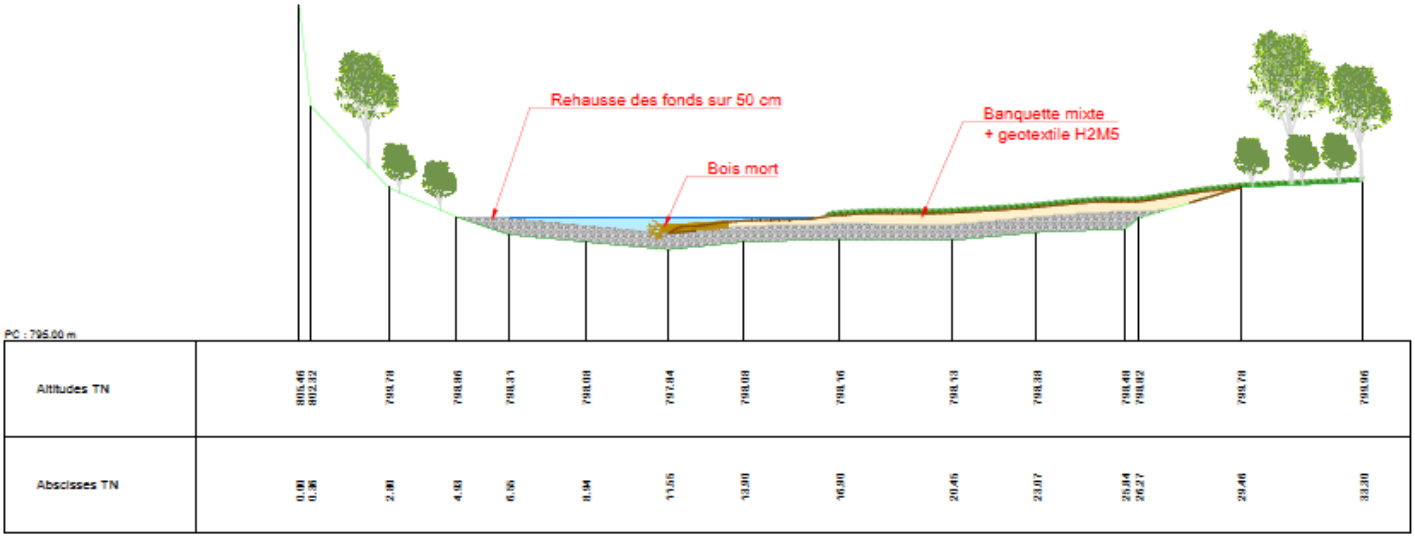


Figure 7 - Profil en travers Tronçon 1

1.3.5.2. Vue en plan

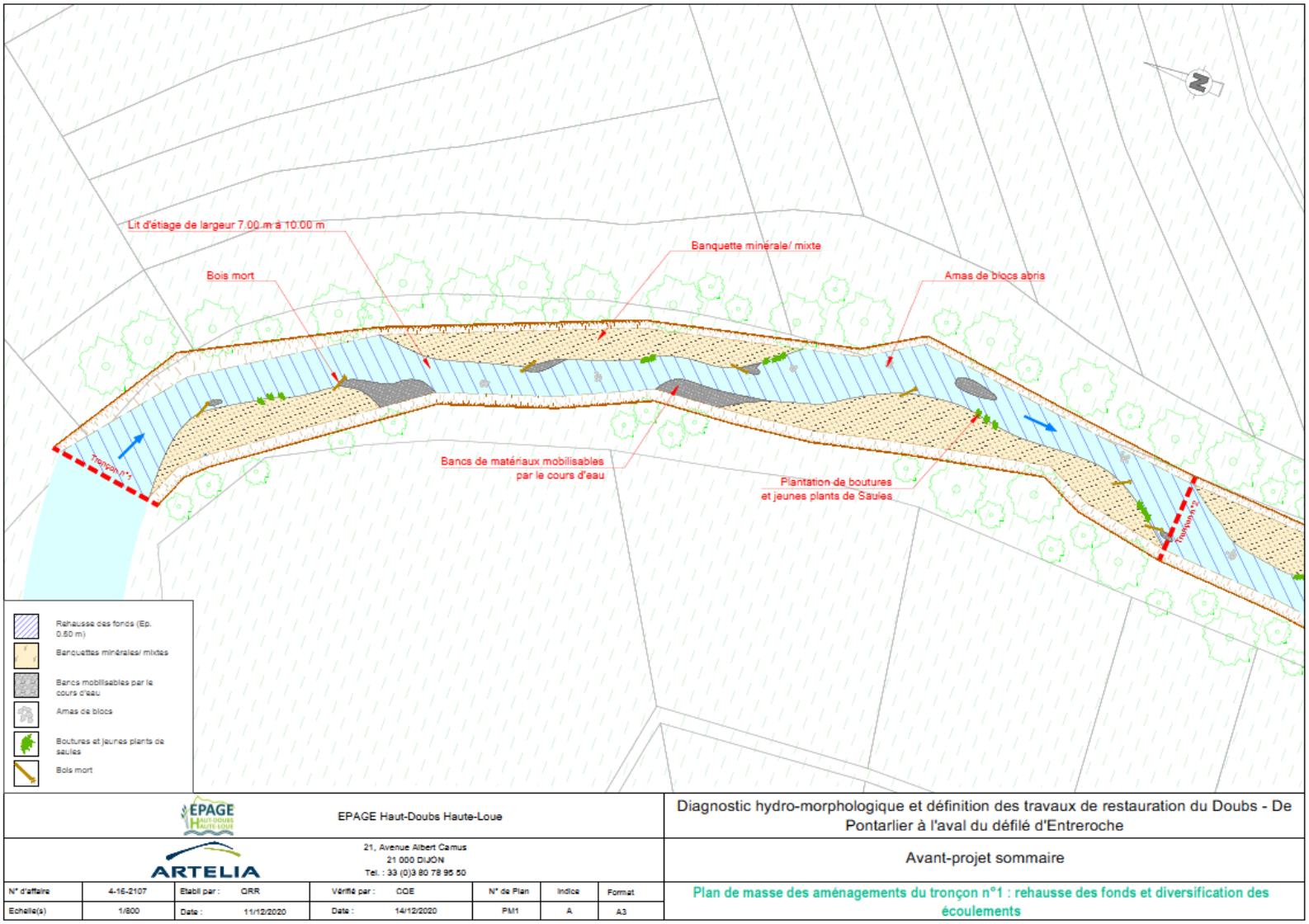


Figure 8 - Vue en plan de l'aménagement du tronçon 1

1.4. INCIDENCES

1.4.1. Incidence hydraulique

En lien avec la diminution de la section hydraulique (rehausse des fonds et mise en place des banquettes) une augmentation des débordements est à attendre. Afin de quantifier ces impacts, une modélisation de l'état aménagé a été réalisée. Il est important de noter que cette modélisation prend en compte l'ensemble du linéaire aménagé et notamment les aménagements en aval pouvant avoir une incidence sur ce tronçon.

Le tableau ci-dessous résume les niveaux d'eau avant/après aménagement au droit du profil levé par le géomètre :

Tableau 4 - Niveau d'eau au droit du tronçon 1 avant/après aménagement

Débit	Niveau EI (m NGF)	Niveau aménagé (m NGF)	Delta (m)
QMNA5	798.62	799.21	0.59
Module	799.14	799.78	0.64
Q2	800.65	801.09	0.44
Q10	801.18	801.5	0.32
PPRI	801.82	802.1	0.18

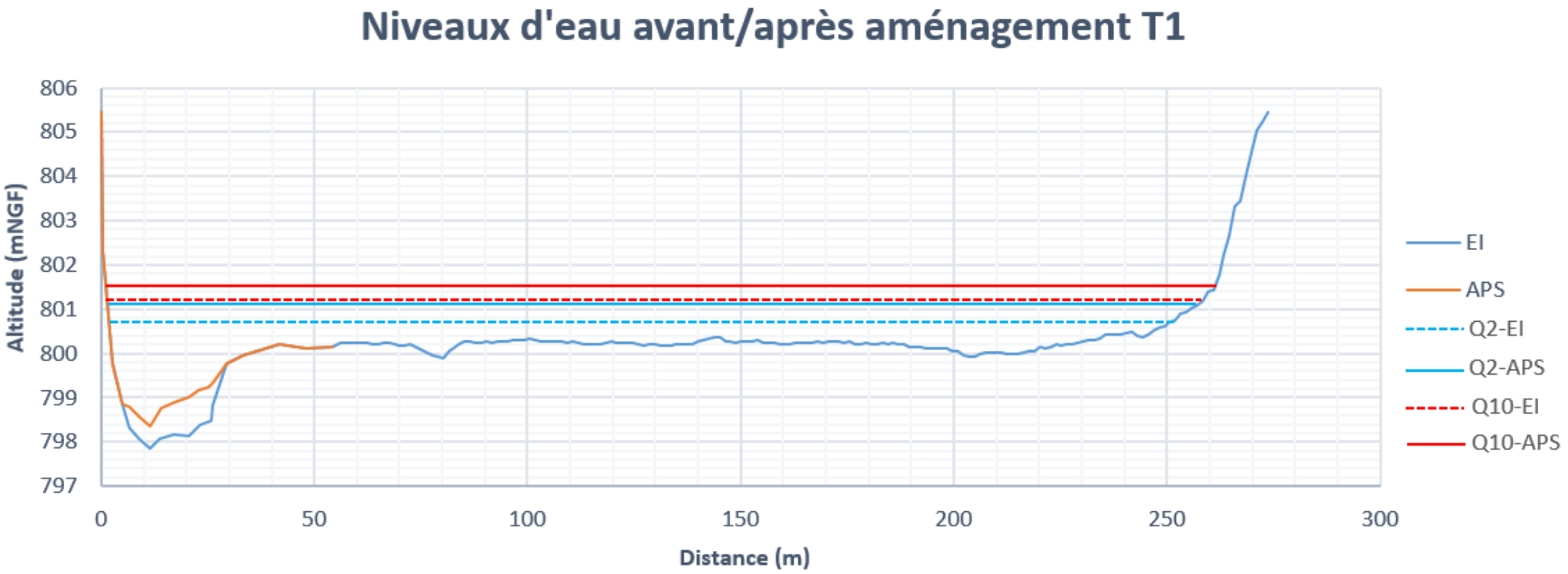


Figure 9 -Différences de niveaux d'eau observées au droit d'un profil sur le Tronçon 1

Les niveaux d'eau subiront donc une nette augmentation, les débordements intervenant actuellement pour des débits proches du triple du module seront dès lors présents dès le module.

Egalement, ce tronçon étant le plus à l'amont du linéaire total à l'étude, les impacts hydrauliques en amont de la confluence avec le Drugeon n'ont pu être appréhendés.

1.4.2. Incidence morphologique

La restauration proposée permettra de recréer de l'hétérogénéité dans les écoulements et ainsi de diversifier les habitats. Les banquettes induiront une augmentation de la sinuosité du Doubs en étiage. Les nombreux apports prévus permettront de plus de réactiver le transit sédimentaire sur le cours d'eau.

1.4.3. Incidence écologique

La rehausse des fonds et l'augmentation des niveaux d'eau permettra d'améliorer les échanges nappe/rivière en limitant le drainage de la nappe améliorant ainsi les conditions d'étiage. Bien entendu cette amélioration n'est visible que sous réserve d'un linéaire aménagé assez important.

Plus localement, la mise en eau graduée du lit et l'augmentation des débordements permettront la création de zones annexes permanentes ou non favorables à la faune et la flore du cours d'eau. Les banquettes et autres éléments de diversification permettront d'augmenter la variabilité des écoulements en période d'étiage, d'observer des vitesses plus importantes, de resserrer la lame d'eau et de créer des caches.

1.4.4. Impact socio-économique

Les aménagements proposés induisent une nette augmentation des débordements qui auront des impacts sur les usages des parcelles attenantes. A l'heure actuelle, ces parcelles sont utilisées comme zone de pâturage. Statistiquement, les aménagements devraient induire 73 jours de débordements supplémentaires.

1.5. ETUDES COMPLEMENTAIRES

Pour le détail de ce scénario, de la topographie complémentaire sera nécessaire, notamment pour caractériser les impacts de l'aménagement sur l'amont du secteur.

1.6. PROCEDURE REGLEMENTAIRE

Les procédures réglementaires à envisager pour la réalisation de ce scénario sont les suivantes :

- Dossier de déclaration au titre de la Loi sur l'eau, dont les principales rubriques concernées sont les suivantes :
    - Rubrique 3.3.5.0 : Travaux, définis par un arrêté du ministre chargé de l'environnement, ayant uniquement pour objet la restauration des fonctionnalités naturelles des milieux aquatiques, y compris les ouvrages nécessaires à cet objectif (Déclaration).
- DIG.

Depuis le 30/06/2020, les procédures réglementaires des opérations de restauration de cours d'eau ont été grandement simplifiées. Une nouvelle rubrique (3.3.5.0) relative à la restauration des fonctionnalités naturelles des milieux aquatiques a été créée. Cette rubrique est exclusive des autres rubriques et ne s'applique que lorsque les seuils des autres rubriques sont dépassés. Un arrêté du 30 juin définit les travaux de restauration des fonctionnalités naturelles des milieux aquatiques qui relève de cette rubrique. On y retrouve notamment les opérations de recharge sédimentaire et remodelage fonctionnel.

1.7. ESTIMATION FINANCIERE

L'estimation financière de l'aménagement du tronçon est détaillée ci-dessous :

DETAIL QUANTITATIF ESTIMATIF Restauration du Doubs de Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche TRONÇON 1					
N°	DESIGNATION	UNITE	PRIX UNITAIRE en € HT	QUANTITE	MONTANT TOTAL € HT
A - Chiffrage Travaux					
0	**FRAIS DE CHANTIER**				**13 000.00 €**
0.1	Installation de chantier, yc signalisation, remise en état, …	Forf.	7 000.00 €	1.00	7 000.00 €
0.2	Etudes d'exécution, PAQ/PAE/PPSPS, implantation et piquetage	Forf.	2 500.00 €	1.00	2 500.00 €
0.3	Plan de récolement et Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE)	Forf.	1 500.00 €	1.00	1 500.00 €
0.4	Pêche de sauvetage	U.	2 000.00 €	1.00	2 000.00 €
1	**TRAVAUX PREPARATOIRES**				**4 500.00 €**
1.1	Déboisement/Recépage et débroussaillage du lit mineur (yc évacuation des débris végétaux)	Forf.	1 500.00 €	1.00	1 500.00 €
1.2	Gestion des eaux - batardage / pompage / décantation-filtration nécessaires	Forf.	3 000.00 €	1.00	3 000.00 €
2	**TERRASSEMENTS**				**92 050.00 €**
2.1	Matériaux d'apports 5-80 mm pour recharge du fond et bancs	m3	30.00 €	2000.00	60 000.00 €
2.2	Matériaux d'apports 50-100 mm pour radiers	m3	30.00 €	235.00	7 050.00 €
2.3	Matériaux d'apports 20-100 mm pour banquettes	m3	30.00 €	800.00	24 000.00 €
2.4	Blocs plateaux pour diversification	m3	100.00 €	10.00	1 000.00 €
3	**PLANTATIONS**				**210.00 €**
3.1	Bouture de saules	U	3.00 €	70.00	210.00 €
4	**DIVERS ET IMPREVUS (10%)**				**10 976.00 €**
			Total Travaux HT		**120 736.00 €**
			TVA (20 %)		24 147.20 €
			Total TTC		**144 883.20 €**
B - Maîtrise d'œuvre					
1	**ETUDE DE CONCEPTION ET DOSSIERS REGLEMENTAIRES**				**12 073.60 €**
2	**ETUDES COMPLEMENTAIRES**				**263.00 €**
2.1	Topographie complémentaire	ml	1.00 €	263.00	263.00 €
			Total MOE HT		**12 336.60 €**
			TVA (20 %)		2 467.32 €
			Total TTC		**14 803.92 €**
Total HT					**133 072.60 €**
TVA (20 %)					26 614.52 €
Total TTC					**159 687.12 €**

2. TRONÇON 2

2.1. LOCALISATION

Le tronçon 2 est situé sur les communes de Doubs et Arçon, son linéaire est de 1387 m. Au droit de ce secteur, de nombreuses pertes sont localisées, c'est en effet le secteur sur lequel on observe le plus important débit prélevé par les pertes. On note également la présence d'un important remblai barrant le lit majeur au niveau de la véloroute.

Figure 10 - Tronçon 2

2.2. RAPPELS DES ENJEUX

Les enjeux sur ce tronçon sont les suivants :

- Présence de pertes ;
- Présence d'ouvrage ;
- Occupation des sols dominée par le pâturage ;
- Présence de zones humides type « prairie pâturée » en rive gauche.

2.3. SCENARIO 1 : REMEANDREMENT

2.3.1. Description des aménagements

2.3.1.1. Description générale

Le projet consiste ici en la création d'un lit méandriforme sur un linéaire de 600 m environ.

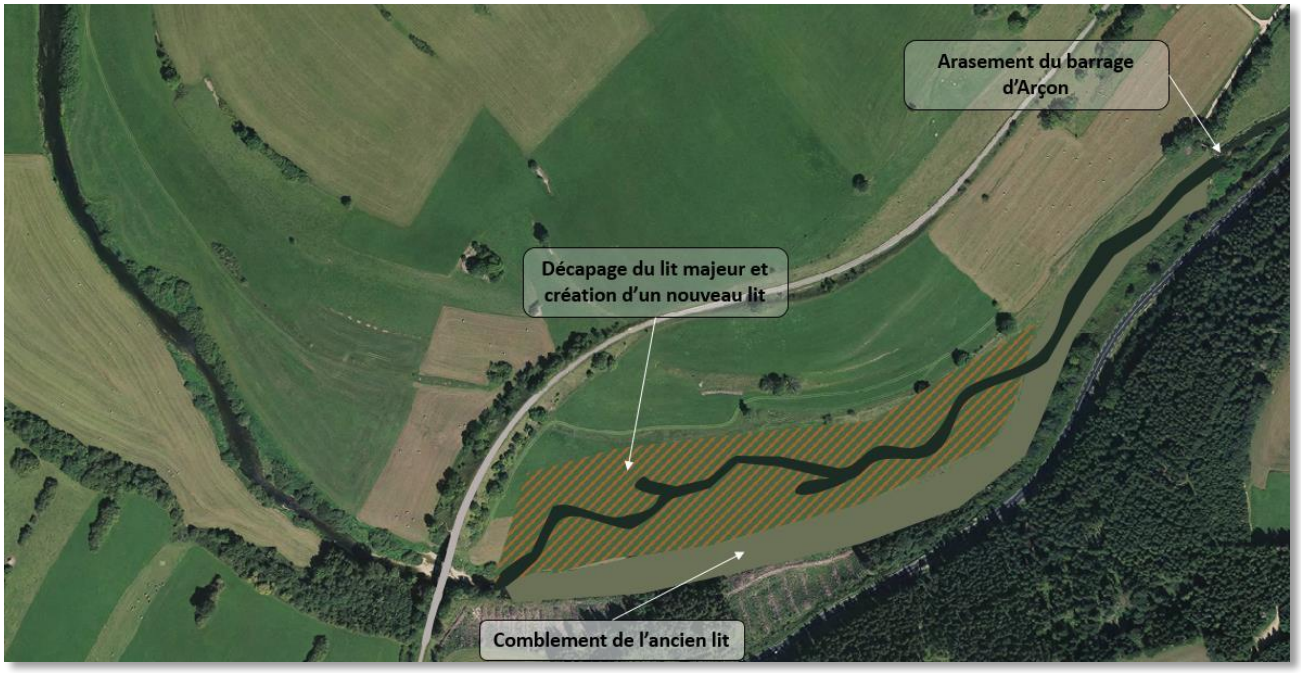


Figure 11 - Schéma de principe pour le reméandrement du tronçon 2

Afin de reconnecter la rivière à ses berges et permettre ainsi l'amélioration du milieu rivulaire, le lit majeur sera remodelé, les usages du secteur ne permettant pas une rehausse des fonds suffisante.

2.3.1.2. Géométrie du nouveau lit

Le lit projeté aura les caractéristiques suivantes :

- Largeur variant entre 8 et 10 m avec un lit d'étiage ayant une largeur moyenne de 7m à faire varier ;
- Hauteur des berges moyenne de 70 cm ;
- Débordements pour le module.

Ainsi, la section devra varier sur tout le linéaire en termes de largeur, profondeur et fruit de talus afin de constituer une importante mosaïque d'habitats assurant le développement d'une faune macrobenthique et piscicole diversifiée.

Concernant le profil en long, afin d'obtenir une bonne connectivité tout en optimisant le remodelage du lit majeur, un point haut sera placé en amont du linéaire reméandré. Le lit aura une pente moyenne de 0.26% sachant que le fond de vallée sur ce secteur à une pente d'environ 0. 3%. Tout au long de la zone reméandré la rivière alternera entre secteur de radiers et de mouilles.

2.3.1.3. Alluvionnement du lit

Afin d'améliorer l'attractivité du milieu, les fonds seront agrémentés de matelas alluvial. Celui-ci sera en partie extrait de l'ancien lit avant son comblement, également un merlon semble être présent au Nord de la parcelle, ce stock pourra de même être réemployé. Enfin, lors du remodelage du lit majeur, si des matériaux alluvionnaires sont déblayés, ceux-ci seront réutilisés dans ce cadre.

A ce titre, il est conseillé de réaliser des fouilles à la pelle sur la parcelle à reméandrer afin d'estimer les caractéristiques des matériaux en présence.

2.3.1.4. Diversification

Des éléments de diversification seront mis en place sur le tronçon sous forme de :

- Bois mort en lit mineur ;
- Blocs abris ;
- Points bas en lit majeur permettant de créer des zones se mettant en eau pour différentes gammes de débits.

2.3.1.5. Schéma de l'aménagement

A. Vue en travers

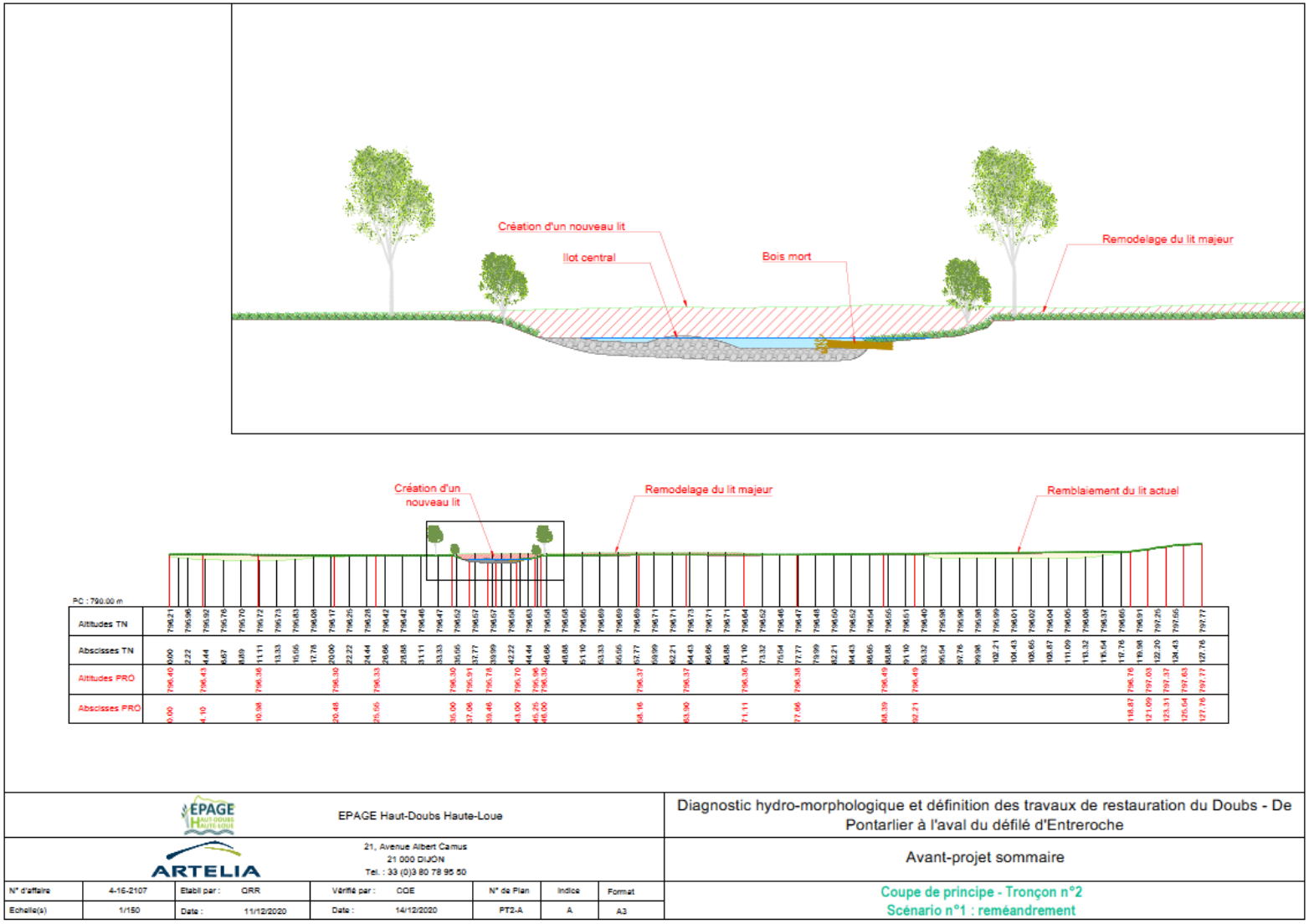


Figure 12 - Vue en travers tronçon 2 : scénario 1

B. Vue en plan

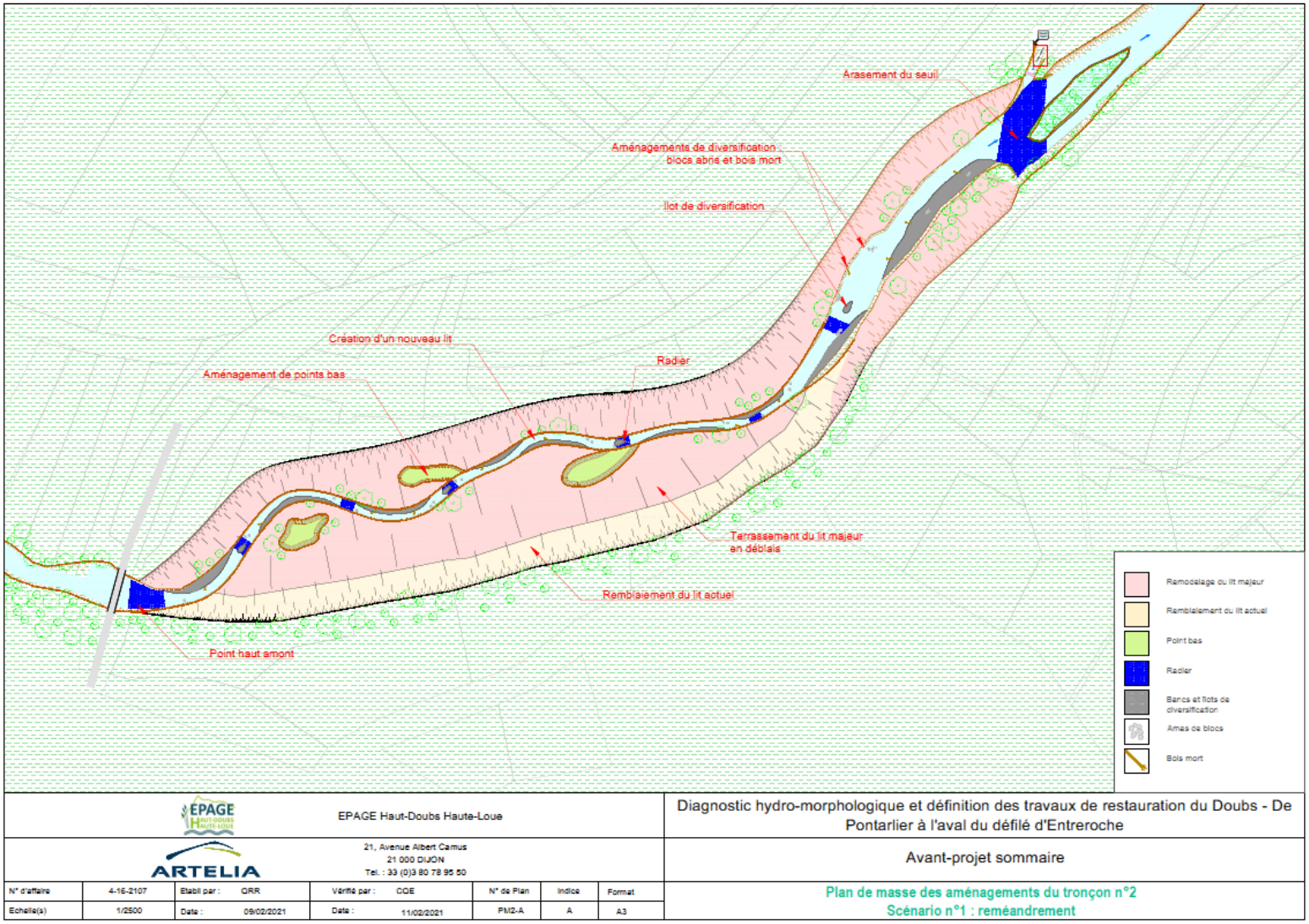


Figure 13 - Vue en plan, Tronçon 2: scénario 1

2.3.2. Incidences

2.3.2.1. Incidence hydraulique

Les incidences hydrauliques au niveau du pont de la véloroute sont présentées dans le tableau ci-après :

Tableau 5 - Différence de niveaux d'eau au niveau du pont de la véloroute avant/après aménagement

Débit	Niveau EI (m NGF)	Niveau aménagé (m NGF)	Delta (m)
QMNA5	795.86	796.93	1.07
Module	796.36	797.3	0.94
Q2	797.77	798.09	0.32
Q10	798.26	798.46	0.2
PPRI	798.96	799.14	0.18

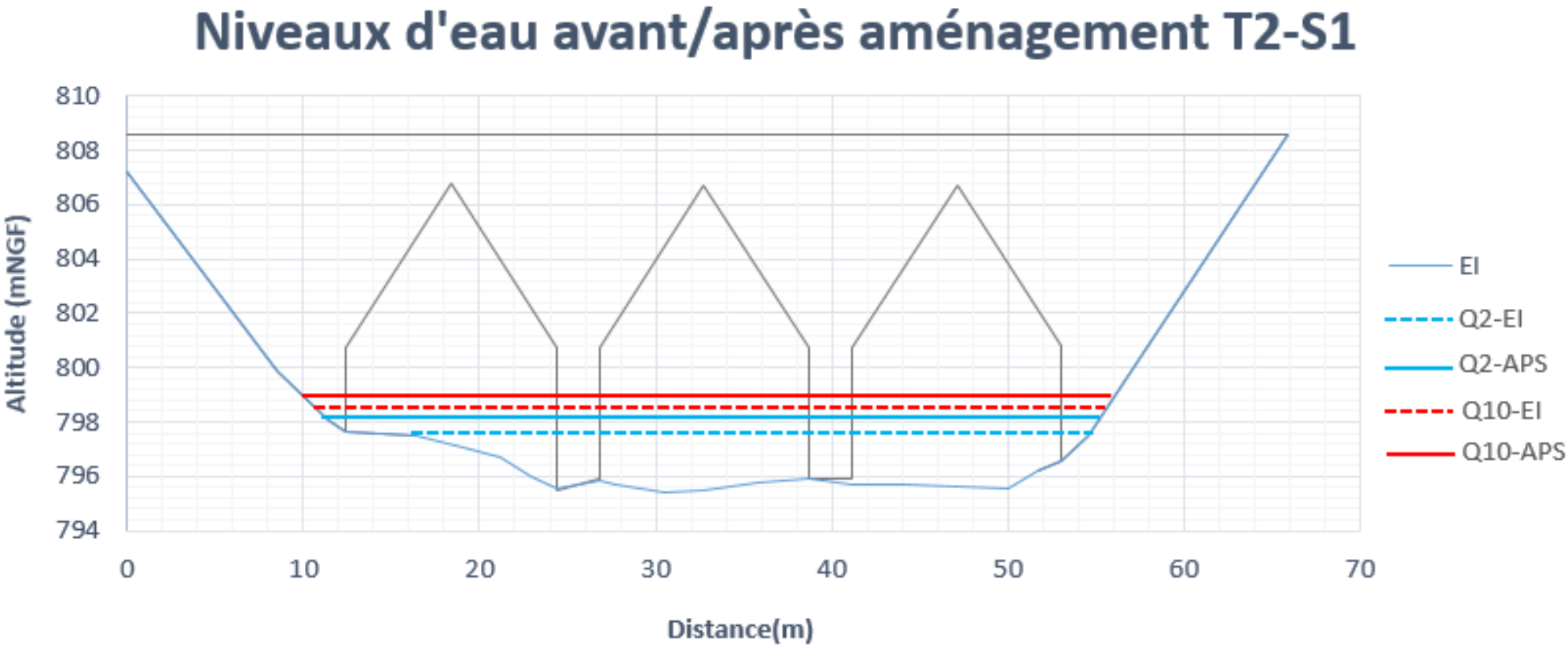


Figure 14 - Différences des niveaux d'eau avant/après aménagement, tronçon 2

Du fait de la rehausse du fond en amont du méandre, les niveaux d'eau observé au niveau du pont de la véloroute et en amont augmenteront. Cette rehausse provoquera également l'apparition d'un remous d'environ 150 m en amont du reméandrement.

2.3.2.2. Incidence morphologique

Le reméandrement permettra d'obtenir une grande hétérogénéité en termes de largeurs, profondeurs et vitesses. En effet le linéaire alternera entre des secteurs de radiers et de mouilles comme il est coutume sur les rivières méandriformes.

2.3.2.3. Incidence écologique

Le reméandrement aura un impact très positif sur la vie piscicole. Le gain hydro-écologique majeur sera apporté par la diversification des écoulements et des habitats du lit mineur. L'aménagement permettra d'améliorer la qualité physique et l'attractivité du secteur d'étude.

Concernant l'hétérogénéité, l'alternance des faciès d'écoulements (plat courant/plat lentique, voire chenal lentique selon le débit), ainsi que l'alternance mouilles/radiers, contribuera à ce gain en qualité physique, notamment par la diversification des vitesses d'écoulement et des hauteurs d'eau.

Le façonnage du lit avec des berges en pente douce avec l'implantation d'une végétation rivulaire diversifiée et connectée permettront de recréer des conditions favorables aux différentes phases de vie des espèces piscicoles en place.

En outre, les zones alluviales et humides qui ourlent le linéaire du cours d'eau seront plus dynamiques et plus fonctionnelles qu'actuellement.

Enfin, le changement de tracé du cours d'eau pourrait permettre la diminution, sur ce secteur, du débit prélevé par les pertes en les contournant. Néanmoins du fait d'une nature de sol similaire, il est probable que des failles soient également présents sur les parcelles attenantes et au droit du futur tracé.

2.3.2.4. Impact socio-économique

Le reméandrement aura un impact fort sur les usages des parcelles attenantes avec une augmentation des débordements qui interviendront dès le module, soit environ 100 jours par an. De plus, la parcelle se verra scindée en deux par la rivière ce qui modifiera les conditions d'accès et de pâturage et impliquera potentiellement la mise en place d'ménagements connexes tels que des passages à gué.

Ainsi, cet aménagement ne peut être réalisé sans une concertation préalable avec les exploitants/propriétaires.

2.3.3. Etudes complémentaires

Dans le cadre de la réalisation de ce projet les études complémentaires nécessaires sont les suivantes :

- Topographie complémentaire ;
- Fouilles à la pelle au droit du futur linéaire.

2.3.4. Procédures réglementaires

Les procédures réglementaires à envisager pour la réalisation de ce scénario sont les suivantes :

- Dossier de déclaration au titre de la Loi sur l'eau, dont les principales rubriques concernées sont les suivantes :
    - Rubrique 3.3.5.0 : Travaux, définis par un arrêté du ministre chargé de l'environnement, ayant uniquement pour objet la restauration des fonctionnalités naturelles des milieux aquatiques, y compris les ouvrages nécessaires à cet objectif (Déclaration).
- DIG.

2.3.5. Estimation financière

DETAIL QUANTITATIF ESTIMATIF Restauration du Doubs de Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche TRONÇON 2 - Scénario 1					
N°	DESIGNATION	UNITE	PRIX UNITAIRE en € HT	QUANTITE	MONTANT TOTAL € HT
0	**FRAIS DE CHANTIER**				**18 000.00 €**
0.1	Installation de chantier, yc signalisation, remise en état, …	Forf.	10 000.00 €	1.00	10 000.00 €
0.2	Etudes d'exécution, PAQ/PAE/PPSPS, implantation et piquetage	Forf.	3 000.00 €	1.00	3 000.00 €
0.3	Plan de récolement et Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE)	Forf.	3 000.00 €	1.00	3 000.00 €
0.4	Pêche de sauvetage	U.	2 000.00 €	1.00	2 000.00 €
1	**TRAVAUX PREPARATOIRES**				**6 000.00 €**
1.1	Déboisement/Recépage et débroussaillage du lit mineur (yc évacuation des débris végétaux)	Forf.	1 000.00 €	1.00	1 000.00 €
1.2	Gestion des eaux - batardage / pompage / décantation-filtration nécessaires	Forf.	5 000.00 €	1.00	5 000.00 €
2	**TERRASSEMENTS**				**285 500.00 €**
2.1	Déblai/remblai sur site	m3	12.00 €	20000.00	240 000.00 €
2.2	Décapage de la terre végétale (Extraction, stockage et réemploi)	m3	8.00 €	5000.00	40 000.00 €
2.5	Matériaux d'apports en 20-50 mm pour le réalluvionnement	m3	30.00 €	100.00	3 000.00 €
2.4	Matériaux d'apports en 150-250 mm pour radiers et renforcement	m3	30.00 €	50.00	1 500.00 €
2.4	Blocs en enrochement	m3	100.00 €	10.00	1 000.00 €
3	**PLANTATIONS**				**300.00 €**
3.1	Bouture de saules	U	3.00 €	100.00	300.00 €
4	**DIVERS ET IMPREVUS (10%)**				**30 980.00 €**
			Total TRAVAUX HT		**340 780.00 €**
			TVA (20 %)		68 156.00 €
			Total TTC		**408 936.00 €**
B - Maîtrise d'œuvre					
1	**ETUDE DE CONCEPTION ET DOSSIERS REGLEMENTAIRES**				**34 078.00 €**
2	**ETUDES COMPLEMENTAIRES**				**3 120.00 €**
2.1	Topographie complémentaire	ml	1.00 €	620.00	620.00 €
2.2	Fouilles à la pelle	Forf.	2 500.00 €	1.00	2 500.00 €
			Total MOE HT		**37 198.00 €**
			TVA (20 %)		7 439.60 €
			Total TTC		**44 637.60 €**
Total HT					**377 978.00 €**
TVA (20 %)					75 595.60 €
Total TTC					**453 573.60 €**

2.4. SCENARIO 2 : REHAUSSE DES FONDS

2.4.1. Description des aménagements

2.4.1.1. Description générale

Dans la continuité des interventions projetées sur le tronçon 1, les aménagements projetés ici consistent en la rehausse des fonds sur 30 à 50 cm au niveau des zones les plus incisées accompagné de la mise en place de banquettes latérales permettant de délimiter un lit d'étiage à la rivière.

2.4.1.2. Rehausse des fonds

A l'état aménagé, il apparait que le diamètre maximum mobilisé pour le débit de débordement est égal à 30 mm. Pour rappel, afin d'assurer une certaine stabilité de l'aménagement il est proposé de réinjecter des matériaux à granulométrie étendue.

Aussi la rehausse des fonds sur le tronçon aura les caractéristiques suivantes :

- Mise en œuvre de 5-80mm sur le fond hors secteur de radiers ;
- Mise en œuvre de 50-100mm au droit des radiers.

2.4.1.3. Mise en place de banquettes

Les banquettes à mettre en place permettront la définition l'un lit d'étiage marqué permettant une meilleure gestion des étiages. Ce lit aura une largeur moyenne égale à 7m, bien entendu, cette largeur devra varier tout au long du linéaire afin d'améliorer l'hétérogénéité du secteur. De même leur hauteur pourra varier entre 20 et 50 cm.

Ces banquettes seront de deux types :

- Soit purement minérale et constituée d'une granulométrie étendue 20-100mm ;
- Soit en matériaux mixte avec en pied des blocs « plateaux » protégeant un mélange blocs / tout venant permettant la création de caches, la stabilité des aménagements et la reprise spontanée de la végétation.

Une attention particulière sera mise en œuvre afin de positionner les banquettes au niveau des pertes identifiées. Comme mentionnée dans la section précédente décrivant les aménagements, l'effet sur les pertes est à ce jour inconnu. L'expérimentation est donc inhérente à ce projet. En premier lieu nous proposons de mettre en œuvre des blocs plateaux/plaquettes au droit des pertes surmontés de blocs ayant un diamètre inférieur (20-100mm). Cette solution nous semblant celle la plus sécuritaire vis-à-vis de l'alimentation de la Loue en comparaison à des solutions de mise en place d'un matériau cohésif sur les pertes. De plus, les secteurs sur lesquels les pertes ponctuelles apparaissent sont ceux ou le matelas a été décapé et la dalle est à nu. La nature de cette intervention est donc cohérente vis-à-vis d'un objectif de restauration de la rivière.

2.4.1.4. Diversification

En complément, des aménagements principaux détaillés ci-avant, des éléments de diversification pourront être ponctuellement mis en œuvre, à savoir :

- La mise en place de bancs mobilisables par la rivière en 5-50 mm ;

- La mise en place de bois morts issus des éventuelles coupes pour la réalisation des travaux sous forme de souches ancrées ou bois mort en épis ;

- La mise en place de blocs ou d'amas de blocs dans les zones courantes.

2.4.1.5. Schéma de l'aménagement

A. Vue en travers

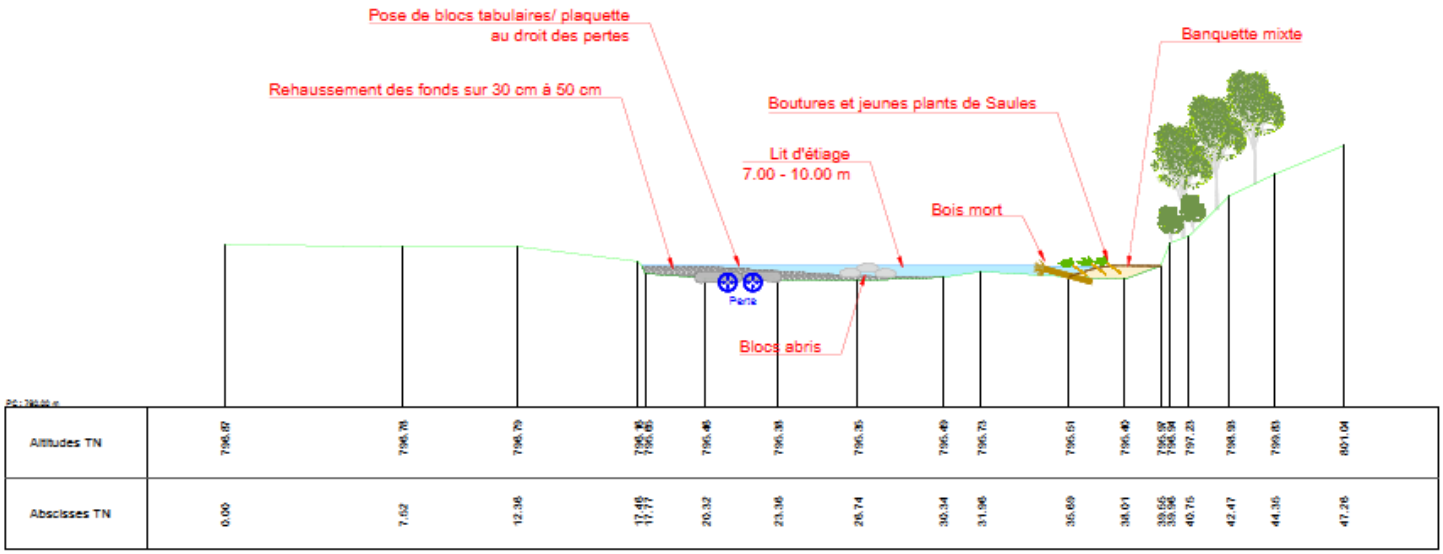


Figure 15 - Vue en travers de l'aménagement, Tronçon 2: scénario 2

B. Vue en plan

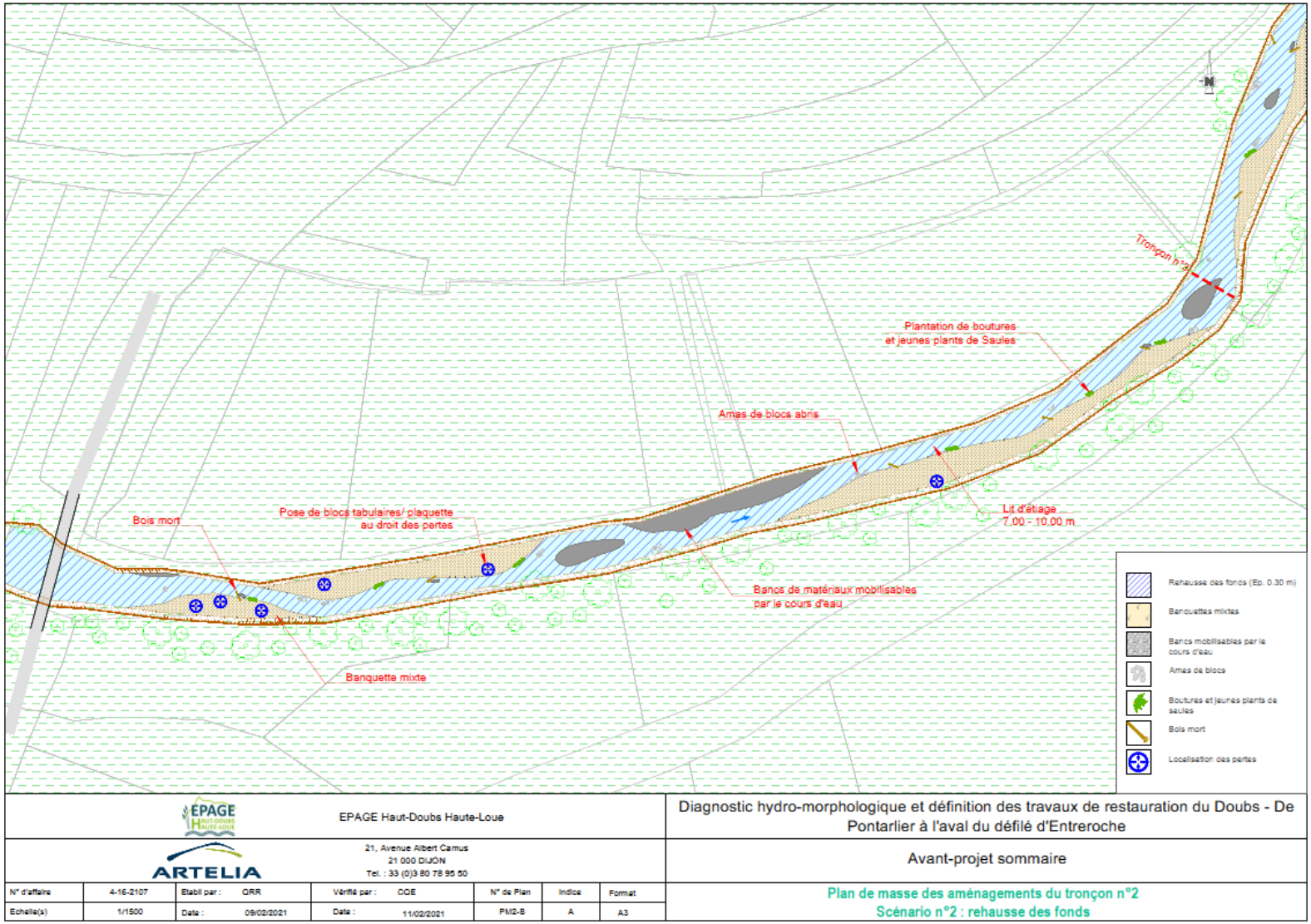


Figure 16 - Vue en plan de l'aménagement, Tronçon 2: Scénario 2

2.4.2. Incidences

2.4.2.1. Incidence hydraulique

Le tableau ci-dessous présente les incidences hydrauliques engendrées par le scénario :

Tableau 6 - Incidences hydrauliques sur le tronçon 2 pour le scénario 2

Localisation	Débit	Niveau EI (m NGF)	Niveau aménagé (m NGF)	Delta (m)
Au niveau du pont de la véloroute	QMNA5	795.86	796.01	0.15
	Module	796.36	796.5	0.14
	Q2	797.77	797.88	0.11
	Q10	798.26	798.35	0.09
	PPRI	798.96	799.04	0.08
300 m en aval du pont de la véloroute	QMNA5	795.78	795.98	0.2
	Module	796.21	796.39	0.18
	Q2	797.5	797.63	0.13
	Q10	797.95	798.06	0.11
	PPRI	798.59	798.69	0.1

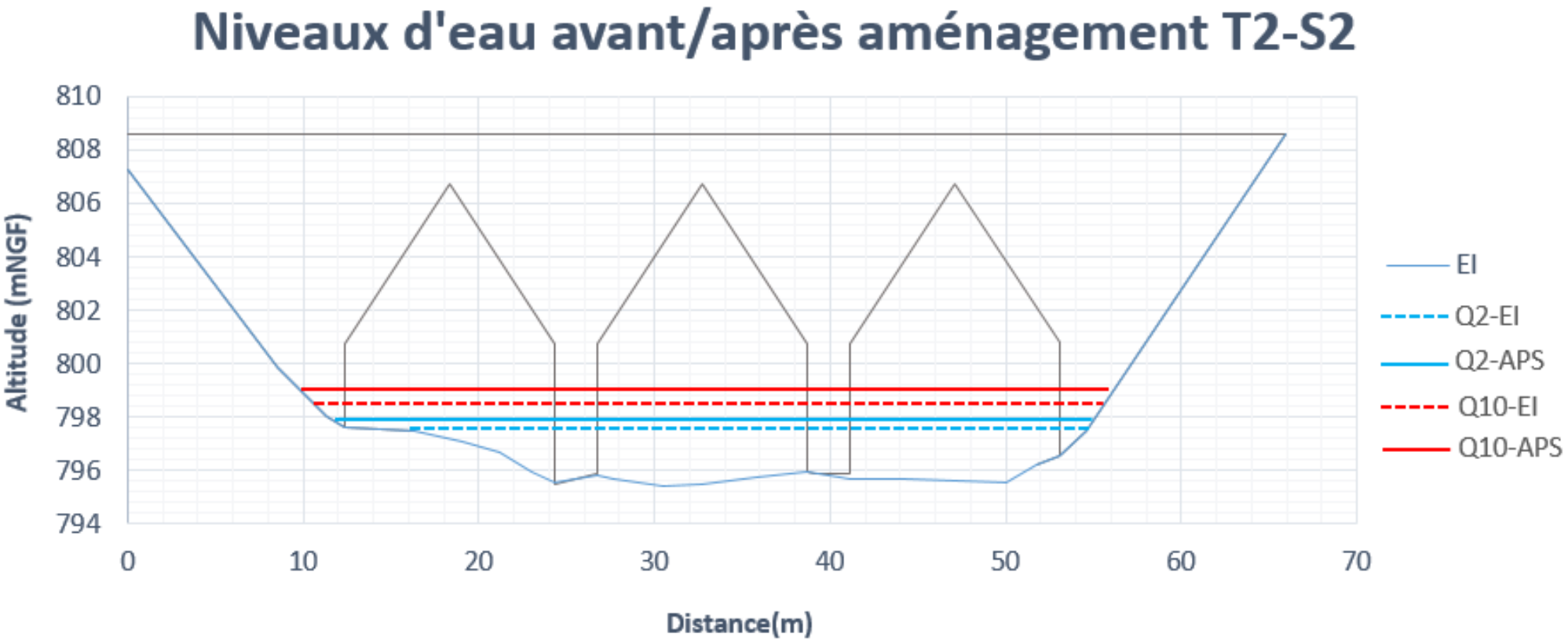


Figure 17 - Différences de niveaux d'eau avant-après aménagement, T2

2.4.2.2. Incidence morphologique

La restauration proposée permettra de recréer de l'hétérogénéité dans les écoulements et ainsi de diversifier les habitats. Les banquettes induiront une augmentation de la sinuosité du Doubs en étiage. Les nombreux apports prévus permettront de plus de réactiver le transit sédimentaire sur le cours d'eau.

2.4.2.3. Incidence écologique

La rehausse des fonds et l'augmentation des niveaux d'eau permettra d'améliorer les échanges nappes rivière en limitant le drainage de la nappe améliorant ainsi les conditions d'étiage. Bien entendu cette amélioration n'est visible que sous réserve d'un linéaire aménagé assez important.

Plus localement, la mise en eau graduée du lit et l'augmentation des débordements permettront la création de zones annexes permanentes ou non favorables à la faune et la flore du cours d'eau. Les banquettes et autres éléments de diversification permettront d'augmenter la variabilité des écoulements en période d'étiage, d'observer des vitesses plus importantes, de resserrer la lame d'eau et de créer des caches.

Ainsi, les aménagements permettront une meilleure gestion des étiages avec un resserrement de la lame d'eau et une intervention au niveau des pertes.

2.4.2.4. Impact socio-économique

Les aménagements proposés induisent une augmentation des débordements qui auront des impacts sur les usages des parcelles attenantes. A l'heure actuelle, ces parcelles sont utilisées comme zone de pâturage. Statistiquement, les aménagements devraient induire 110 jours de débordements.

2.4.3. Etudes complémentaires

Pour le détail de ce scénario, de la topographie complémentaire sera nécessaire.

2.4.4. Procédure réglementaire

Les procédures réglementaires à envisager pour la réalisation de ce scénario sont les suivantes :

- Dossier de déclaration au titre de la Loi sur l'eau, dont les principales rubriques concernées sont les suivantes :
    - Rubrique 3.3.5.0 : Travaux, définis par un arrêté du ministre chargé de l'environnement, ayant uniquement pour objet la restauration des fonctionnalités naturelles des milieux aquatiques, y compris les ouvrages nécessaires à cet objectif (Déclaration).
- DIG.

2.4.5. Estimation financière

DETAIL QUANTITATIF ESTIMATIF Restauration du Doubs de Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche TRONÇON 2 - Scénario 2					
N°	**DESIGNATION**	**UNITE**	**PRIX UNITAIRE en € HT**	**QUANTITE**	**MONTANT TOTAL € HT**
0	**FRAIS DE CHANTIER**				**18 000.00 €**
0.1	Installation de chantier, yc signalisation, remise en état, …	Forf.	10 000.00 €	1.00	10 000.00 €
0.2	Etudes d'exécution, PAQ/PAE/PPSPS, implantation et piquetage	Forf.	3 000.00 €	1.00	3 000.00 €
0.3	Plan de récolement et Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE)	Forf.	3 000.00 €	1.00	3 000.00 €
0.4	Pêche de sauvetage	U.	2 000.00 €	1.00	2 000.00 €
1	**TRAVAUX PREPARATOIRES**				**2 000.00 €**
1.1	Déboisement/Recépage et débroussaillage du lit mineur (yc évacuation des débris végétaux)	Forf.	1 000.00 €	1.00	1 000.00 €
1.2	Gestion des eaux - batardage / pompage / décantation-filtration nécessaires	Forf.	1 000.00 €	1.00	1 000.00 €
2	**TERRASSEMENTS**				**403 500.00 €**
2.1	Matériaux d'apports 5-80 mm pour recharge du fond et bancs	m3	30.00 €	9200.00	276 000.00 €
2.2	Matériaux d'apports 50-100 mm pour radiers	m3	30.00 €	200.00	6 000.00 €
2.3	Matériaux d'apports 20-100 mm pour banquettes	m3	30.00 €	4000.00	120 000.00 €
2.4	Blocs plateaux pour diversification	m3	100.00 €	15.00	1 500.00 €
3	**PLANTATIONS**				**210.00 €**
3.1	Bouture de saules	U	3.00 €	70.00	210.00 €
4	**DIVERS ET IMPREVUS (10%)**				**42 371.00 €**
			Total TRAVAUX HT		**466 081.00 €**
			TVA (20 %)		93 216.20 €
			Total TTC		**559 297.20 €**
B - Maîtrise d'œuvre					
1	**ETUDE DE CONCEPTION ET DOSSIERS REGLEMENTAIRES**				**46 608.10 €**
2	**ETUDES COMPLEMENTAIRES**				**1 387.00 €**
2.1	Topographie complémentaire	ml	1.00 €	1387.00	1 387.00 €
			Total MOE HT		**47 995.10 €**
			TVA (20 %)		9 599.02 €
			Total TTC		**57 594.12 €**
Total HT					**514 076.10 €**
TVA (20 %)					102 815.22 €
Total TTC					**616 891.32 €**

3. TRONÇON 3

3.1. LOCALISATION

Tronçon débutant à l'amont du remous engendré par le barrage d'Arçon, celui-ci mesure 2187 m et termine au niveau du stade de biathlon. Les caractéristiques du tronçon à prendre en compte sont les suivantes :

- Présence d'un ouvrage : le barrage d'Arçon ;
- Secteur urbanisé ;
- Pertes localisées sur le tronçon.

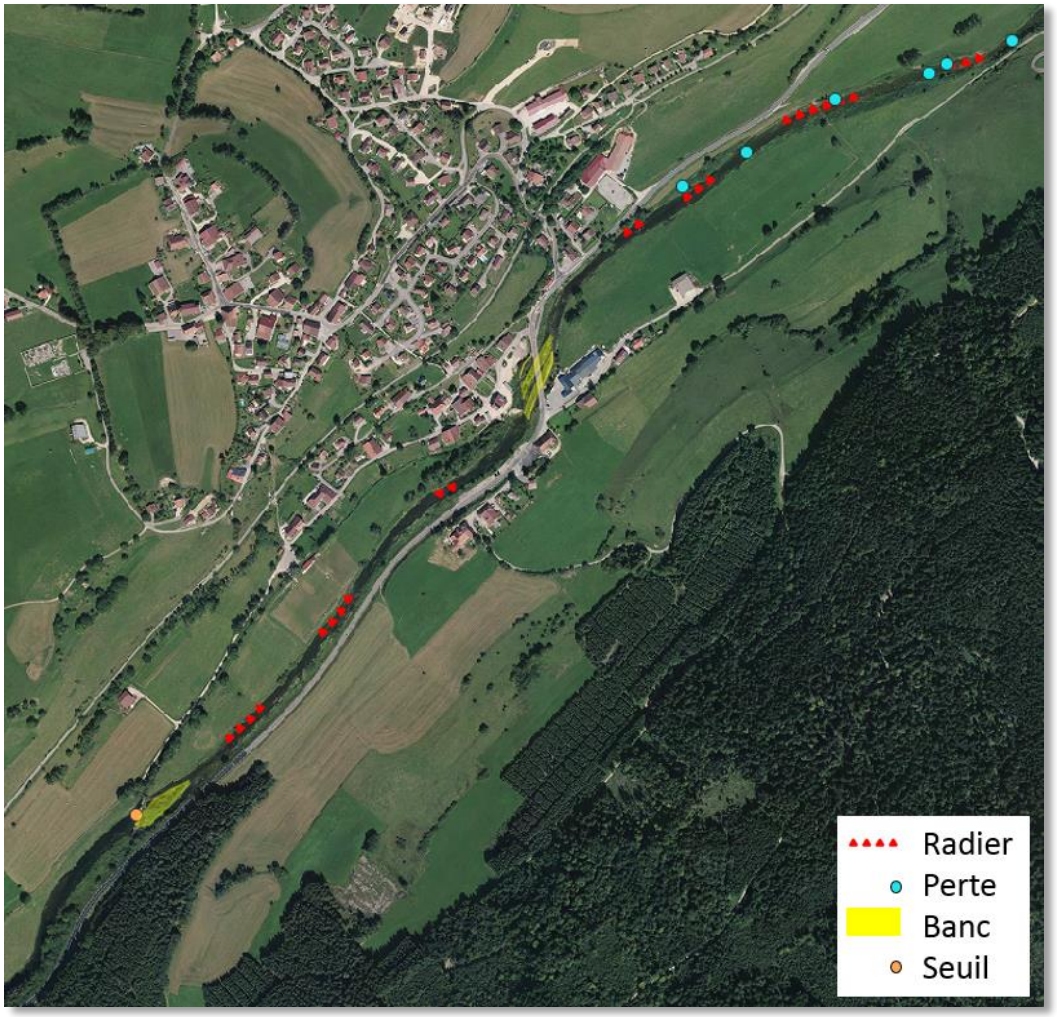


Figure 18 - Tronçon 3

3.2. RAPPELS DES ENJEUX

Les enjeux principaux sur ce tronçon sont les suivants :

- Présence de pertes ;
- Secteur en traversée urbaine ;
- Présence d'ouvrages.

3.3. DESCRIPTION DES AMENAGEMENTS

3.3.1. Description générale

La restauration sur ce tronçon passera par différents types d'aménagements :

- Au niveau de la traversée urbaine, afin de ne pas augmenter les débordements, le lit sera simplement remodelé en resserrant le pied de berge et en évasant en tête. Egalement, le barrage d'Arçon sera effacé afin de supprimer le remous qu'il engendre et de faire passer les débits dans un unique bras en étiage ;
- A l'aval, la rivière verra son fond rehaussé et des banquettes seront mises en place afin de délimiter un lit d'étiage.

3.3.2. Effacement du seuil

L'aménagement consiste simplement à supprimer l'ouvrage entier ou sur une partie de façon à supprimer ses impacts éco-morphologiques.

A minima, une échancrure sera mise en place. Celle-ci sera positionnée au niveau de la veine d'écoulement actuelle en rive gauche et aura une largeur en pied de 3 m pour une largeur en tête de 10 m.

Figure 19 - Veine d'écoulement

L'ouvrage étant actuellement dégradé, il est possible que l'échancrure affaiblisse sa structure et qu'il soit détérioré ou détruit avec les futures crues de la rivière. Le risque d'érosion régressive en lien avec cette hypothèse sera donc appréhendé avec la mise en place d'un radier en amont de l'ouvrage constitué de blocs d'apport ainsi que de ceux récupérés lors de la mise en œuvre de l'échancrure.

3.3.3. Remodelage dans la traversée d'Arçon

Le remodelage permettra de définir un lit d'étiage à la rivière (en resserrant en pied) tout en n'augmentant pas les débordements (évasement en tête). Aussi sur le secteur, la rivière aura la géométrie suivante :

- 36 m en tête contre 30m actuellement ;
- Mise en place de banquettes afin de créer un lit d'étiage ayant une largeur comprise entre 7m et 10m. Les banquettes auront une hauteur variant entre 30 cm et 60 cm.

Les déblais se feront principalement en rive gauche, la rive droite étant accolée à une route départementale. Les banquettes seront constituées des matériaux déblayés, localement celles-ci pourront être prolongées par une accumulation sédimentaire composée de matériaux 40-80mm.

3.3.4. Restauration en aval d'Arçon

3.3.4.1. Rehausse des fonds

En aval d'Arçon, le lit sera rehaussé sur 30 cm. A l'état aménagé, il apparait que le diamètre maximum mobilisé pour le débit de débordement est égal à 25 mm.

Aussi la rehausse des fonds se fera avec du 5-80mm ou 50-100mm au droit des radiers.

A noter que pour empêcher tout impact sur les niveaux d'eau au niveau de la traversée d'Arçon, la rehausse débutera 300 m en aval du pont d'Arçon, au niveau des pertes localisées.

3.3.4.2. Mise en place de banquettes

Les banquettes à mettre en place permettront la définition l'un lit d'étiage marqué permettant une meilleure gestion des écoulements en basses eaux. Ce lit aura une largeur moyenne égale à 7m et les banquettes le délimitant une hauteur pouvant varier entre 20 et 50 cm.

Ces banquettes seront de deux types :

- Soit purement minérale et constituée d'une granulométrie étendue 20-100mm ;
- Soit en matériaux mixte avec en pied des blocs « plateaux » protégeant un mélange blocs / tout venant permettant la création de caches, la stabilité des aménagements et la reprise spontanée de la végétation.

3.3.4.3. Diversification

Des éléments de diversification pourront être mis en place de type amas de blocs, bois morts ou bancs mobilisables par la rivière (5-50mm).

3.3.5. Schéma des aménagements

3.3.5.1. Vue en travers

A. Traversée d'Arçon remodelée

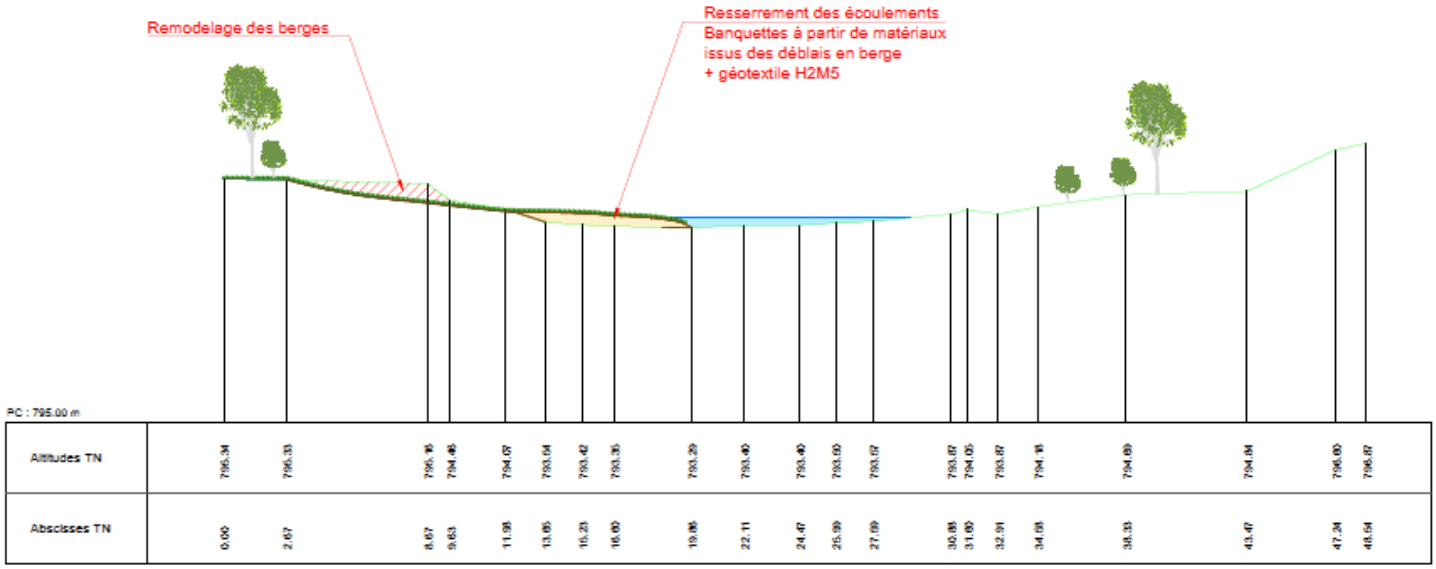


Figure 20 - Vue en travers de l'aménagement, Tronçon 3 secteur d'Arçon

B. Aval d'Arçon

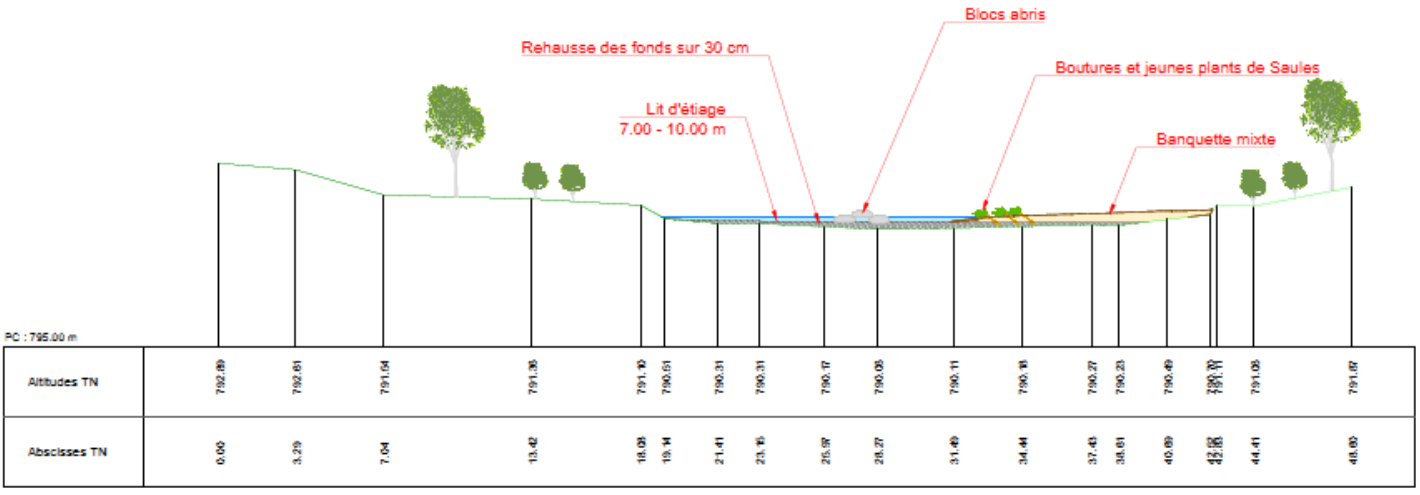


Figure 21 - Vue en travers de l'aménagement, Tronçon 3 aval d'Arçon

3.3.5.2. Vue en plan

A. Traversée d'Arçon remodelée

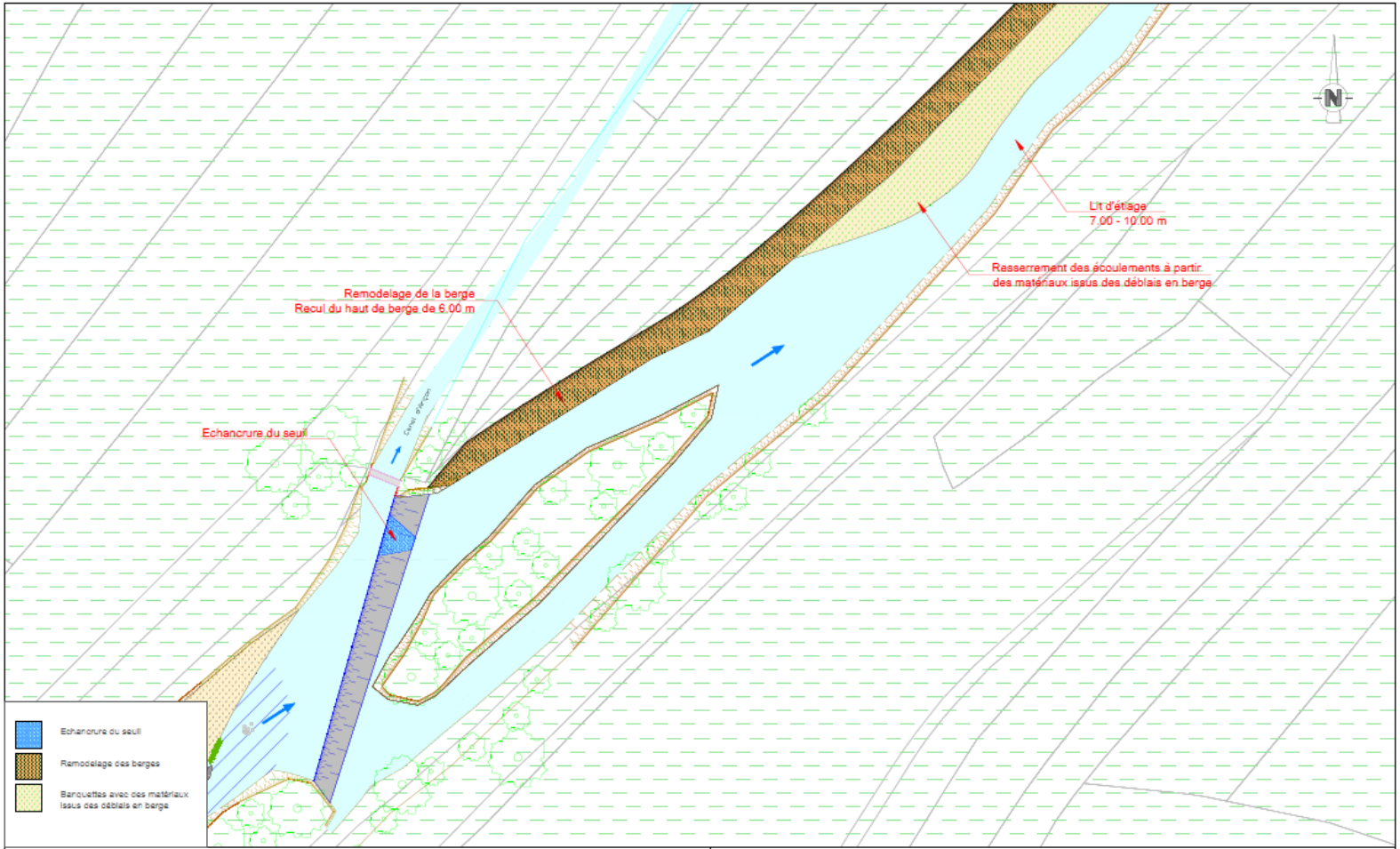


Figure 22 - Vue en plan de l'aménagement, Tronçon 3 traversée d'Arçon

B. Aval d'Arçon

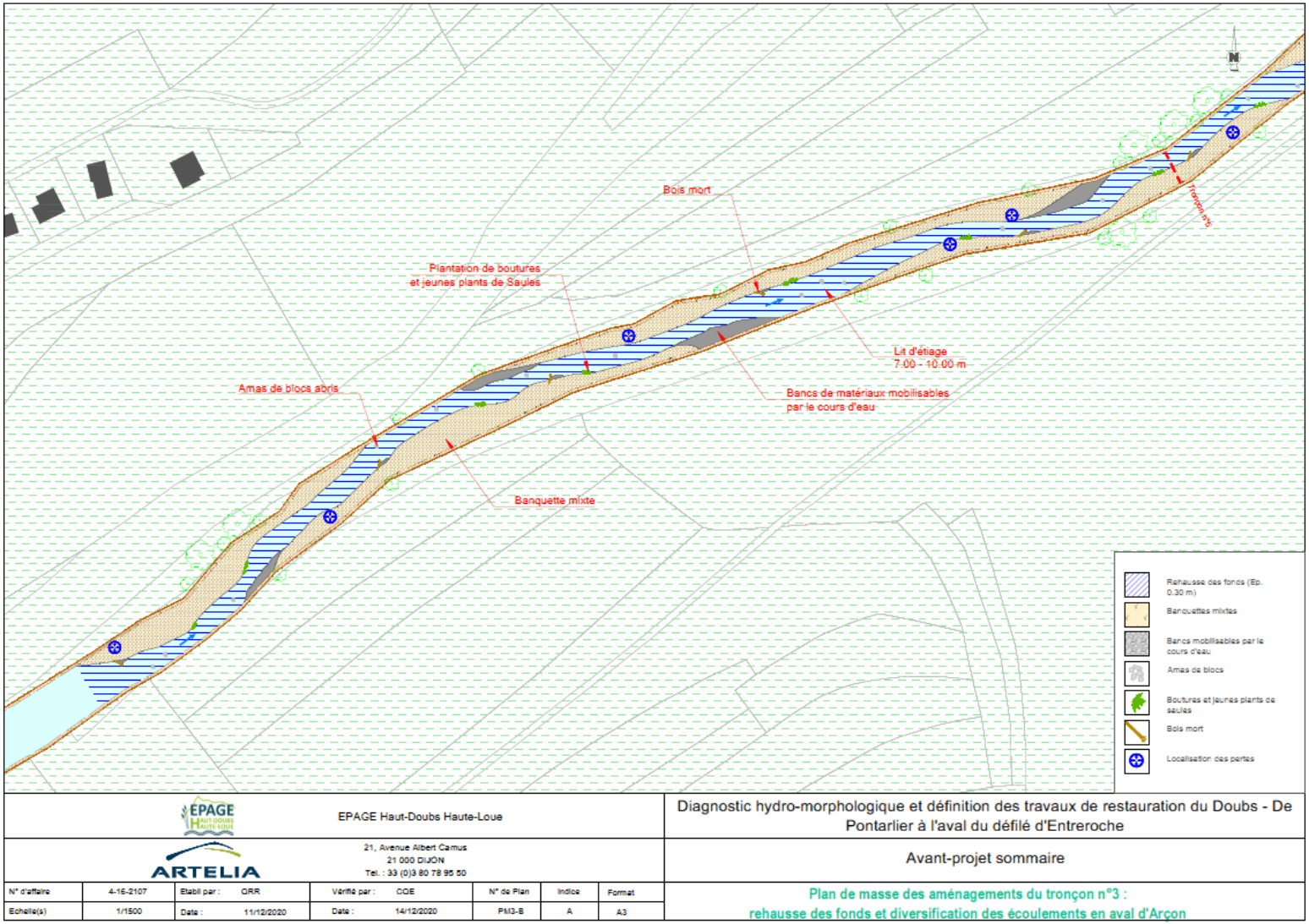


Figure 23 - Vue en plan de l'aménagement, Tronçon 3 aval d'Arçon

3.4. INCIDENCES

3.4.1. Incidence hydraulique

Les incidences hydrauliques engendrées sur ce tronçon par les aménagements sont décrites dans le tableau ci-dessous :

Tableau 7 - Incidences hydrauliques sur le tronçon 3

Secteur	Débit	Niveau EI (m NGF)	Niveau aménagé (m NGF)	Delta (m)
Amont échancrure	QMNA5	795.22	794.81	-0.41
	Module	795.42	795.28	-0.14
	Q2	796.06	796.01	-0.05
	Q10	796.47	796.44	-0.03
	PPRI	797.06	-	
Traversée d'Arçon	QMNA5	793.64	793.73	0.09
	Module	794.12	794.25	0.13
	Q2	795.38	-	
	Q10	795.83	-	
	PPRI	796.29	-	
Aval Arçon	QMNA5	790.36	790.62	0.26
	Module	790.79	791.11	0.32
	Q2	792.36	792.42	0.06
	Q10	792.57	792.62	0.05
	PPRI	792.89	792.94	0.05

En lien avec la mise en place de l'échancrure sur le barrage d'Arçon les niveaux d'eau en amont seront amenés à diminuer. Au droit de la traversée d'Arçon, les travaux en déblais/remblais permettent de ne pas augmenter les niveaux en crue. Enfin, les aménagements proposés à l'aval augmenteront légèrement les inondations du secteur.

3.4.2. Incidence morphologique

L'échancrure sur le barrage d'Arçon permettra la suppression de la zone de remous induite par l'ouvrage, engendrant l'augmentation des vitesses et la création de zones écologiquement plus intéressantes. Néanmoins l'effet « point dur » de l'ouvrage sera conservé par la création d'une rugosité au moyen de la mise en place d'un radier au droit de l'échancrure, ce qui implique qu'aucune modification du profil en long n'est attendue. Les aménagements en aval permettront de recréer de l'hétérogénéité dans les écoulements et ainsi de diversifier les habitats.

3.4.3. Incidence écologique

L'ensemble de ces aménagements permettra une meilleur gestion des étiages avec :

- Un resserrement de la lame d'eau au niveau du remodelage et des banquettes ;
- L'écoulement du Doubs dans un bras unique en étiage.

3.4.4. Impact socio-économique

La mise en place de l'échancrure provoquera l'assèchement du canal d'Arçon en étiage. En termes de débordements en aval d'Arçon, on observera statistiquement 55 jours de débordements supplémentaires au niveau des terrasses basses. La zone présentant des versants plutôt pentus, ces débordements sont peu étendus.

3.5. ETUDES COMPLEMENTAIRES

De la topographie complémentaire sera nécessaire pour la réalisation de ce scénario.

3.6. PROCEDURE REGLEMENTAIRE

Les procédures réglementaires à envisager pour la réalisation de ce scénario sont les suivantes :

- Dossier de déclaration au titre de la Loi sur l'eau, dont les principales rubriques concernées sont les suivantes :
    - Rubrique 3.3.5.0 : Travaux, définis par un arrêté du ministre chargé de l'environnement, ayant uniquement pour objet la restauration des fonctionnalités naturelles des milieux aquatiques, y compris les ouvrages nécessaires à cet objectif (Déclaration).
- DIG.

3.7. ESTIMATION FINANCIERE

L'estimation financière de l'aménagement du tronçon est détaillée ci-dessous :

DETAIL QUANTITATIF ESTIMATIF Restauration du Doubs de Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche TRONÇON 3					
N°	DESIGNATION	UNITE	PRIX UNITAIRE en € HT	QUANTITE	MONTANT TOTAL € HT
A - Chiffrage Travaux					
0	**FRAIS DE CHANTIER**				**17 000.00 €**
0.1	Installation de chantier, yc signalisation, remise en état, …	Forf.	10 000.00 €	1.00	10 000.00 €
0.2	Etudes d'exécution, PAQ/PAE/PPSPS, implantation et piquetage	Forf.	3 000.00 €	1.00	3 000.00 €
0.3	Plan de récolement et Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE)	Forf.	3 000.00 €	1.00	3 000.00 €
0.4	Pêche de sauvetage	U.	1 000.00 €	1.00	1 000.00 €
1	**TRAVAUX PREPARATOIRES**				**3 000.00 €**
1.1	Déboisement/Recépage et débroussaillage du lit mineur (yc évacuation des débris végétaux)	Forf.	1 000.00 €	1.00	1 000.00 €
1.2	Gestion des eaux - batardage / pompage / décantation-filtration nécessaires	Forf.	2 000.00 €	1.00	2 000.00 €
2	**TERRASSEMENTS**				**204 700.00 €**
2.1	Déblais / remblais pour remodelage des berges	m3	15.00 €	1100.00	16 500.00 €
2.2	Matériaux d'apports 5-80 mm pour recharge du fond et bancs	m3	30.00 €	3600.00	108 000.00 €
2.3	Matériaux d'apports 50-100 mm pour radiers	m3	30.00 €	240.00	7 200.00 €
2.4	Matériaux d'apports 20-100 mm pour banquettes	m3	30.00 €	2400.00	72 000.00 €
2.5	Blocs plateaux pour diversification	m3	100.00 €	10.00	1 000.00 €
3	**PLANTATIONS**				**210.00 €**
3.1	Bouture de saules	U	3.00 €	70.00	210.00 €
4	**AUTRE**				**23 000.00 €**
4.1	Démantèlement de l'ouvrage (yc tri et évacuation des non réutilisés)	Forf.	5 000.00 €	1.00	5 000.00 €
4.2	Treillis coco H2M5 740 g/m² (fourniture et mise en œuvre, dont agrafes)	m²	6.00 €	3000.00	18 000.00 €
5	**DIVERS ET IMPREVUS (10%)**				**24 791.00 €**
			Total Travaux HT		**272 701.00 €**
			TVA (20 %)		54 540.20 €
			Total TTC		**327 241.20 €**
B - Maîtrise d'œuvre					
1	**ETUDE DE CONCEPTION ET DOSSIERS REGLEMENTAIRES**				**27 270.10 €**
2	**ETUDES COMPLEMENTAIRES**				**2 187.00 €**
2.1	Topographie complémentaire	ml	1.00 €	2187.00	2 187.00 €
			Total MOE HT		**29 457.10 €**
			TVA (20 %)		5 891.42 €
			Total TTC		**35 348.52 €**
Total HT					**302 158.10 €**
TVA (20 %)					60 431.62 €
Total TTC					**362 589.72 €**

4. TRONÇON 5

4.1. LOCALISATION

Le tronçon est situé entre Arçon et Maisons-du-Bois, il mesure 2.5km et se termine au droit du remous du barrage amont de Maisons-du-Bois. De nombreuses pertes, dont certaines équipées de regards, sont présentes sur le secteur. On note que ce secteur est le premier à s'assécher en étiage

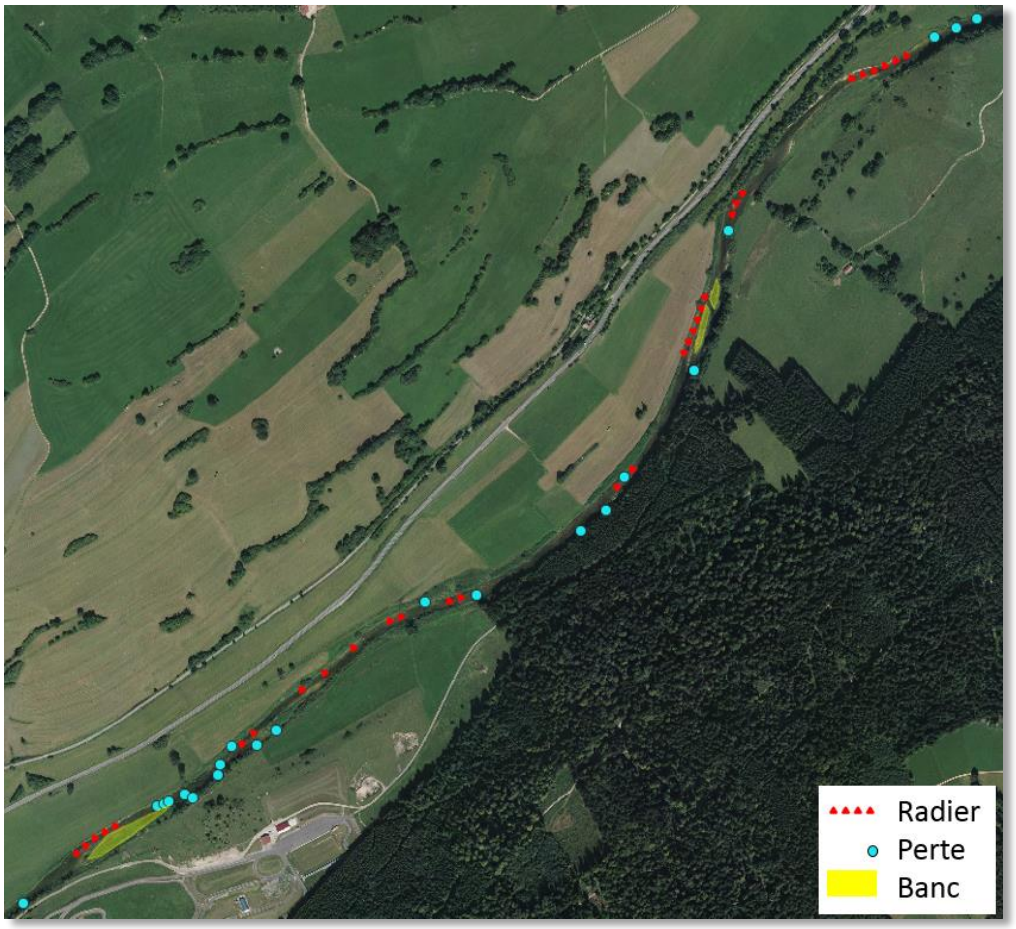


Figure 24 - Tronçon 5

4.2. RAPPELS SUR LES ENJEUX

Sur ce tronçon les enjeux principaux sont :

- Présence de pertes ;
- Chenalisation ;
- Présence de zones humides (prairie fauchée montagnarde, mégaphorbaie, prairie pâturée) ;
- Occupation des sols dominée par le pâturage.

4.3. DESCRIPTION DES AMENAGEMENTS

4.3.1. Description générale

Les aménagements projetés ici consistent en la rehausse des fonds sur 30 cm au niveau des zones les plus incisées accompagné de la mise en place de banquettes latérales permettant de délimiter un lit d'étiage à la rivière.

4.3.2. Rehausse des fonds

A l'état aménagé, il apparait que le diamètre maximum mobilisé pour le débit de débordement est égal à 30 mm. Aussi la rehausse des fonds sur le tronçon se fera avec des matériaux 5-80mm, au niveau des radiers cette granulométrie pourra être augmentée à 50-100 mm.

4.3.3. Mise en place de banquettes

Les banquettes à mettre en place permettront la définition l'un lit d'étiage marqué permettant une meilleure gestion des étiages. Ce lit aura une largeur moyenne égale à 7m, bien entendu, cette largeur devra varier tout au long du linéaire afin d'améliorer l'hétérogénéité du secteur. De même leur hauteur pourra varier entre 20 et 50 cm.

Ces banquettes seront de deux types :

- Soit purement minérale et constituée d'une granulométrie étendue 20-100mm ;
- Soit en matériaux mixte avec en pied des blocs « plateaux » protégeant un mélange blocs / tout venant permettant la création de caches, la stabilité des aménagements et la reprise spontanée de la végétation.

4.3.4. Diversification

En complément, des aménagements principaux détaillés ci-avant, des éléments de diversification pourront être ponctuellement mis en œuvre, à savoir :

- La mise en place de bancs mobilisables par la rivière en 5-50 mm ;
- La mise en place de bois morts issus des éventuelles coupes pour la réalisation des travaux sous forme de souches ancrées ou bois mort en épis ;
- La mise en place de blocs ou d'amas de blocs dans les zones courantes.

4.3.5. Schéma des aménagements

4.3.5.1. Vue en travers

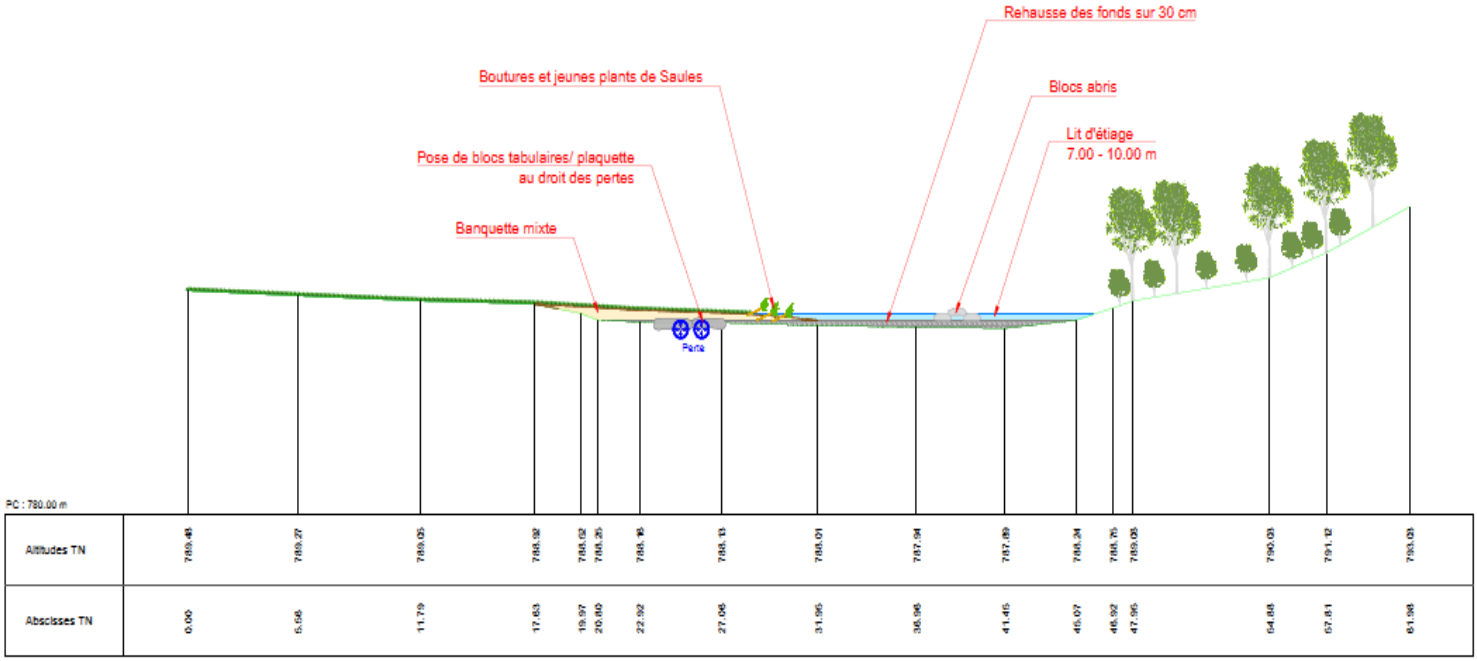


Figure 25 - Vue en travers de l'aménagement, Tronçon 5

4.3.5.2. Vue en plan

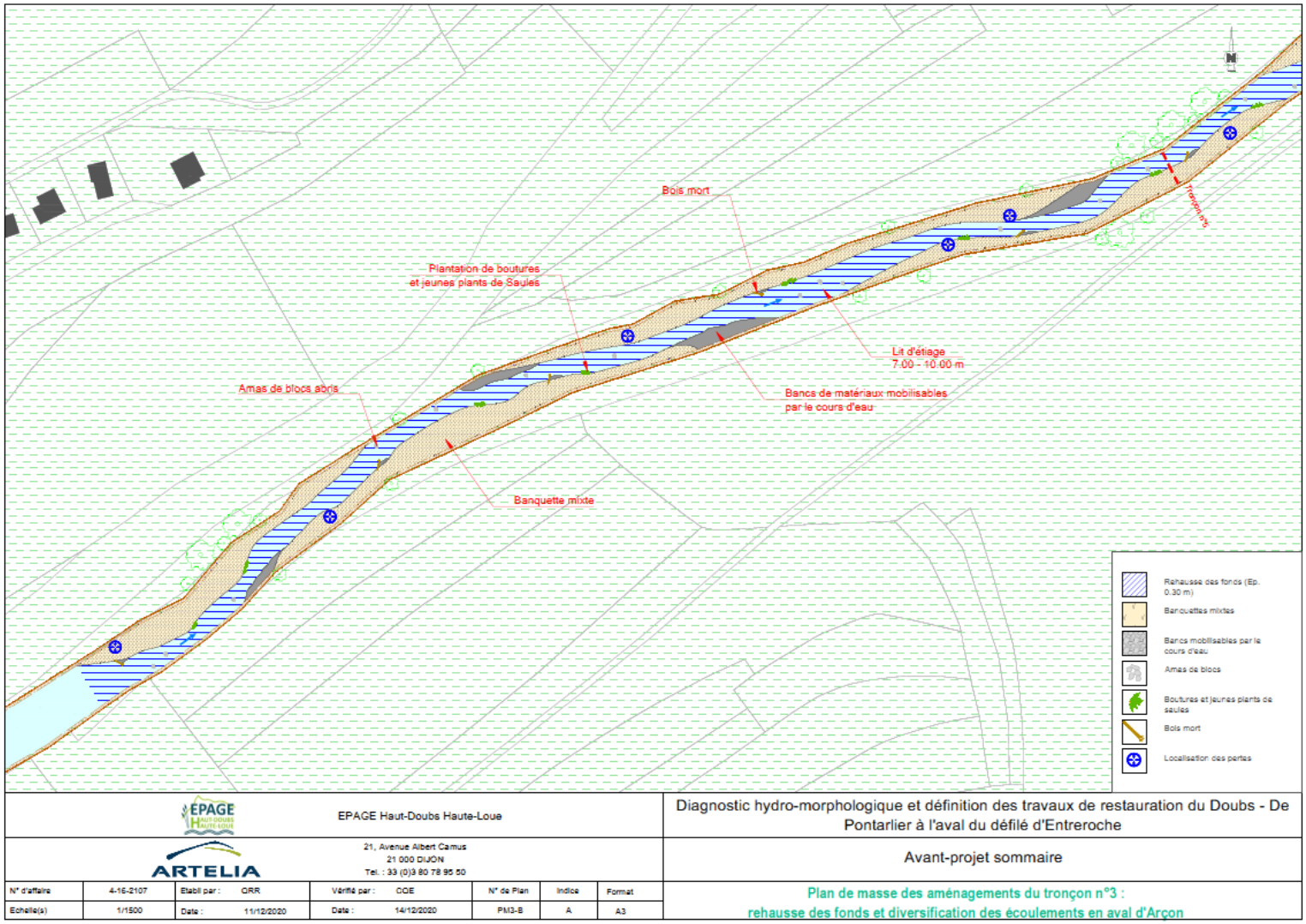


Figure 26 - Vue en plan des aménagements, Tronçon 5

4.4. INCIDENCES

4.4.1. Incidence hydraulique

Les aménagements induisent globalement une augmentation des niveaux d'eau, seuls les 200 derniers mètres voient leurs niveaux d'eau en crue diminuer en lien avec l'effacement des ouvrages de Maisons-du-Bois. Le tableau ci-dessous présente les incidences attendues au niveau du Bois de l'Herse en aval du stade de biathlon.

Tableau 8 - Incidence hydraulique sur le tronçon 5

Débit	Niveau EI (m NGF)	Niveau aménagé (m NGF)	Delta (m)
QMNA5	788.04	788.42	0.38
Module	788.46	788.86	0.4
Q2	789.6	789.72	0.06
Q10	789.9	790	0.1
PPRI	790.35	790.44	0.09

4.4.2. Incidence morphologique

De même que pour les tronçons précédents, la restauration proposée permettra de recréer de l'hétérogénéité dans les écoulements, et ainsi de diversifier les habitats.

4.4.3. Incidence écologique

La rehausse des fonds et l'augmentation des niveaux d'eau permettra d'améliorer les échanges nappes rivière en limitant le drainage de la nappe améliorant ainsi les conditions d'étiage. La mise en eau graduée du lit et l'augmentation des débordements permettront la création de zones annexes permanentes ou non favorables à la faune et la flore du cours d'eau.

4.4.4. Impact socio-économique

Les aménagements proposés induisent une augmentation des débordements qui auront des impacts sur les usages des parcelles attenantes. A l'heure actuelle, on observe des débordements pour des débits entre le module et son triple. Après aménagement ils apparaitront pour des débits légèrement supérieurs au module. Statistiquement le cours d'eau débordera environ 15 jours supplémentaires.

4.5. ETUDES COMPLEMENTAIRES

De la topographie complémentaire sera nécessaire pour la réalisation de ce scénario.

4.6. PROCEDURE REGLEMENTAIRE

Les procédures réglementaires à envisager pour la réalisation de ce scénario sont les suivantes :

- Dossier de déclaration au titre de la Loi sur l'eau, dont les principales rubriques concernées sont les suivantes :
    - Rubrique 3.3.5.0 : Travaux, définis par un arrêté du ministre chargé de l'environnement, ayant uniquement pour objet la restauration des fonctionnalités naturelles des milieux aquatiques, y compris les ouvrages nécessaires à cet objectif (Déclaration).
- DIG.

4.7. ESTIMATION FINANCIERE

L'estimation financière de l'aménagement du tronçon est détaillée ci-dessous :

DETAIL QUANTITATIF ESTIMATIF Restauration du Doubs de Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche TRONÇON 5					
N°	**DESIGNATION**	**UNITE**	**PRIX UNITAIRE en € HT**	**QUANTITE**	**MONTANT TOTAL € HT**
A - Chiffrage Travaux					
0	**FRAIS DE CHANTIER**				**30 000.00 €**
0.1	Installation de chantier, yc signalisation, remise en état, …	Forf.	20 000.00 €	1.00	20 000.00 €
0.2	Etudes d'exécution, PAQ/PAE/PPSPS, implantation et piquetage	Forf.	5 000.00 €	1.00	5 000.00 €
0.3	Plan de récolement et Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE)	Forf.	5 000.00 €	1.00	5 000.00 €
1	**TRAVAUX PREPARATOIRES**				**10 000.00 €**
1.1	Déboisement/Recépage et débroussaillage du lit mineur (yc évacuation des débris végétaux)	Forf.	5 000.00 €	1.00	5 000.00 €
1.2	Gestion des eaux - batardage / pompage / décantation-filtration nécessaires	Forf.	5 000.00 €	1.00	5 000.00 €
2	**TERRASSEMENTS**				**910 000.00 €**
2.1	Matériaux d'apports 5-80 mm pour recharge du fond et bancs	m3	30.00 €	18000.00	540 000.00 €
2.2	Matériaux d'apports 50-100 mm pour radiers	m3	30.00 €	800.00	24 000.00 €
2.3	Matériaux d'apports 20-100 mm pour banquettes	m3	30.00 €	11300.00	339 000.00 €
2.4	Blocs plateaux pour diversification et pertes	m3	100.00 €	70.00	7 000.00 €
3	**PLANTATIONS**				**900.00 €**
3.1	Bouture de saules	U	3.00 €	300.00	900.00 €
4	**DIVERS ET IMPREVUS (10%)**				**95 090.00 €**
			Total Travaux HT		**1 045 990.00 €**
			TVA (20 %)		209 198.00 €
			Total TTC		**1 255 188.00 €**
B - Maîtrise d'œuvre					
1	**ETUDE DE CONCEPTION ET DOSSIERS REGLEMENTAIRES**				**90 000.00 €**
2	**ETUDES COMPLEMENTAIRES**				**2 518.00 €**
2.1	Topographie complémentaire	ml	1.00 €	2518.00	2 518.00 €
			Total MOE HT		**92 518.00 €**
			TVA (20 %)		18 503.60 €
			Total TTC		**111 021.60 €**
Total HT					**1 138 508.00 €**
TVA (20 %)					227 701.60 €
Total TTC					**1 366 209.60 €**

5. TRONÇON 6

5.1. LOCALISATION

Le secteur est localisé dans la traversée de Maisons-du-Bois. Deux ouvrages influencent totalement ce linéaire. Ces barrages sont actuellement sans usage et fortement dégradé. Ils engendrent néanmoins de nombreux impacts sur la rivière tant écologique que morphologique. En aval du tronçon, la roche est très affleurante, il est d'ailleurs probable que les ouvrages soient en partie fondés sur des affleurements.

Figure 27 - Ouvrage amont de Maisons-du-Bois

La localisation du tronçon est visible ci-dessous :

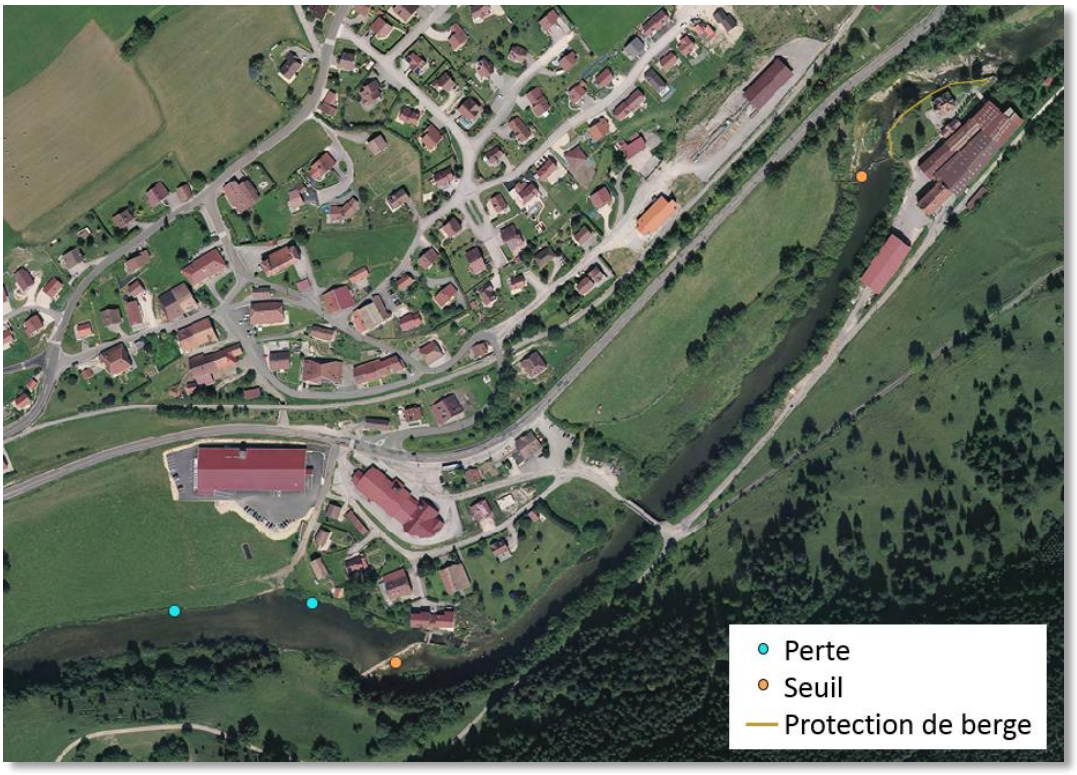


Figure 28 - Tronçon 6

5.2. RAPPELS SUR LES ENJEUX

Pour rappel, les enjeux sur ce tronçon sont les suivants :

- Secteur en traversée urbaine ;
- Présence de deux barrages infranchissables engendrant d'important remous ;
- Zones de pertes.

5.3. DESCRIPTION DES AMENAGEMENTS

5.3.1. Description générale

L'aménagement projeté consiste à :

- Supprimer les deux ouvrages de la traversée de Maisons-du-Bois ;
- Restaurer les retenues des ouvrages par resserrement du lit ;
- Mettre en place des points durs afin de stabiliser le profil.

5.3.2. Principales caractéristiques techniques

Plusieurs opérations sont liées à l'effacement des ouvrages de Maisons-du-Bois. Outre le dérasement complet des seuils, il sera nécessaire d'ajouter des mesures d'accompagnement en lien notamment avec la baisse des niveaux d'eau. De plus, afin de favoriser les écoulements en étiage ainsi que de diversifier le milieu, des matériaux grossiers seront mis en œuvre.

L'intervention comprend donc les étapes suivantes :

- Démantèlement du génie civil associé aux ouvrages (passerelle ouvrages amont, vannages,…) ;
- Suppression des seuils, tri des matériaux et évacuation des déchets, les déblais pourront éventuellement être réutilisés pour le comblement des canaux usiniers ;
- Reprise du profil de la rivière en déblais avec réutilisation des matériaux pour les banquettes ou à réemployer dans le cadre de l'aménagement d'un autre tronçon du secteur ;
- Remblaiement des canaux usiniers ;
- Terrassement en remblais pour remodelage et diversification du lit avec notamment la création de radiers pour stabilisation du profil.

5.3.2.1. Profil en long

Le principal impact de la suppression de l'ouvrage sera l'ajustement de la pente du fond. Au regard de la géologie du site et des affleurements visibles sur le site ces changements seront limités. Néanmoins, du fait du contexte karstique il existe un risque de mise à nu de nouvelles pertes, aussi des radiers seront mis en place pour limiter la remobilisation des fonds.

La pente de fond du secteur est environ égale à 0.25%. Le profil sera donc repris avec une pente similaire. Le graphique ci-dessous représente le profil avant/après effacement.

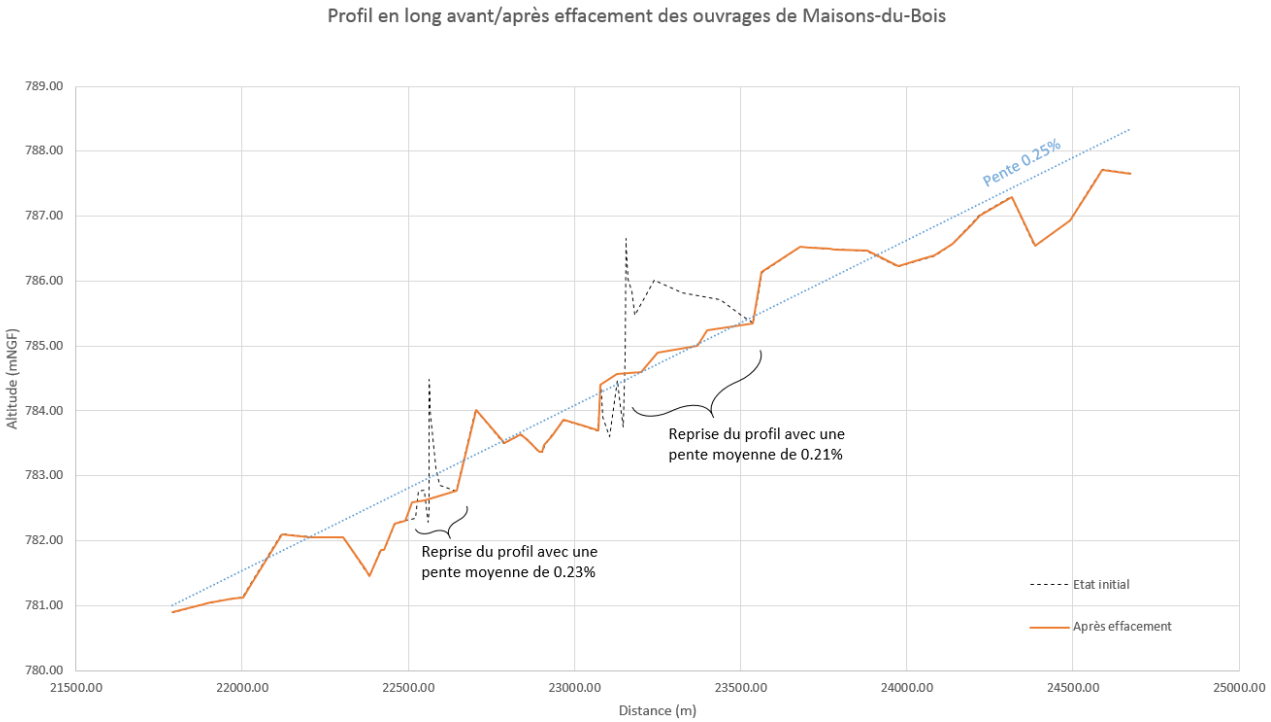


Figure 29 - Profil en long avant/après effacement

Notons que des carottages et une expertise de site seront nécessaires afin d'identifier les éventuels affleurements rocheux et avoir une idée précise du profil attendu.

5.3.2.2. Restauration des retenues et diversification des profils

Des banquettes seront mises en place au droit des anciennes retenues constituées de matériaux graveleux et petits blocs. Ces bancs seront composés de matériaux 10-100mm, ils seront positionnés en berge on ponctuellement en ilot. Au droit de la retenue de l'ouvrage amont, ces banquettes seront positionnées en rive gauche au droit des pertes.

La hauteur moyenne des banquettes sera comprise entre 30 et 50 cm.

Egalement des radiers seront mis en place avec des matériaux ayant une granulométrie 50-300mm.

5.3.3. Vue en plan

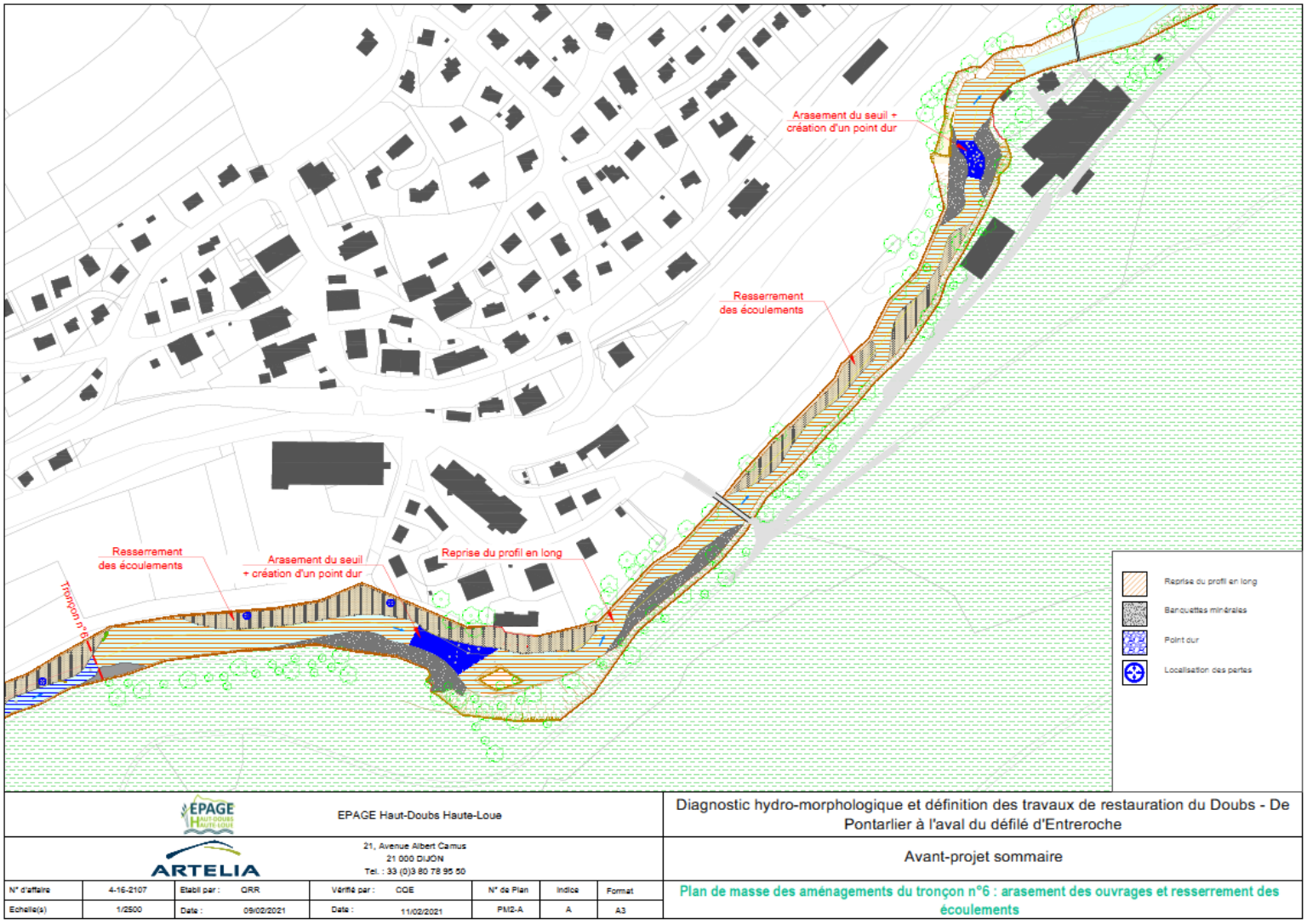


Figure 30 - Vue en plan de l'aménagement, Tronçon 6

5.4. INCIDENCES

5.4.1. Incidence hydraulique

Sur le plan hydraulique, l'effacement des ouvrages engendre des diminutions de hauteurs et niveaux d'eau. Ces diminutions sont plus ou moins significatives selon le régime hydrologique étudié. Le tableau ci-après résume les niveaux d'eau avant /après aménagement en amont des ouvrages.

Tableau 9 - Incidences hydrauliques engendrées par l'effacement des ouvrages de Maisons-du-Bois

Localisation	Débit	Niveau EI (m NGF)	Niveau aménagé (m NGF)	Delta (m)
Au niveau de la retenue du barrage amont	QMNA5	786.43	784.72	-1.71
	Module	786.87	785.09	-1.78
	Q2	787.53	786.22	-1.31
	Q10	787.8	786.57	-1.23
	PPRI	788.28	787.54	-0.74
Au niveau du pont de Maisons-du-Bois, dans la retenue du barrage aval	QMNA5	784.61	783.94	-0.67
	Module	784.82	784.5	-0.32
	Q2	785.83	785.78	-0.05
	Q10	786.16	786.15	-0.01
	PPRI	786.73	786.48	-0.25

En lien avec l'importante reprise du profil en long sur le barrage amont, les incidences hydrauliques y sont plus significatives que sur le barrage aval. Les aménagements projetés n'augmentent donc pas le risque inondation sur la commune de Maisons-du-Bois.

A noter que ces incidences se basent sur l'hypothèse qu'aucun affleurement rocheux n'est présent au droit des seuils, si tel est le cas alors les impacts sur la ligne d'eau seront moins importants.

5.4.2. Incidence morphologique

Du fait des points durs existants, de l'implantation de radiers et d'une pente similaire à celle rencontrée en amont ou en aval du secteur repris, les évolutions du profil en long seront limitées. Néanmoins quelques ajustements pourront avoir lieu avec par exemple le comblement par les sédiments des fosses en aval des ouvrages.

5.4.3. Incidence écologique

L'effacement des ouvrages restaurera pleinement la continuité écologique. Le milieu se verra grandement amélioré avec la suppression des retenues et un retour à des faciès d'eaux courantes.

5.4.4. Incidence sur les pertes

La suppression du barrage amont induira un assèchement des pertes localisées dans sa retenue en rive gauche. Dans le cas des pertes diffuses ou non localisées, la diminution des hauteurs d'eau engendrera probablement une diminution des débits prélevés. Il faut ajouter à cela le fait que la reprise du profil en long peut également mettre de nouvelles pertes à nu. Ainsi, dans l'hypothèse où ce scénario est envisagé, des études complémentaires hydrogéologiques seront nécessaires.

5.4.5. Incidence sur le bâti

Ce projet est situé en contexte urbain avec des bâtiments en berge, il est possible, selon le type de fondations de ces habitations, que le changement de condition hydriques liées aux effacements (fondations en eau avant l'aménagement et hors d'eau après) engendre des déstabilisations. Aussi, des études géotechniques seront nécessaires pour la concrétisation de ce projet.

5.5. ETUDES COMPLEMENTAIRES

Ce scénario nécessite plusieurs études complémentaires à savoir :

- De la topographie complémentaire ;
- Une expertise géotechnique des ouvrages à effacer et du bâti attenant. A ce stade un diagnostic visuel des fondations des ouvrages existant (radier et maçonneries en berge) est jugé nécessaire. Ce diagnostic sera réalisé par un géotechnicien à partir d'observations terrain. Le diagnostic sera effectué en ayant possession du maximum d'informations constructives sur l'ouvrage, si existantes : plans de récolement, plans de travaux de confortements éventuels, rapports de désordres éventuels, historique des transformations opérées sur l'ouvrage depuis sa création. Ce premier diagnostic visuel est essentiel avant d'engager d'éventuelles investigations plus poussées. En complément, celui-ci pourra être complété avec :
    - Fouilles de reconnaissance de fondations à la pelle mécanique ;
    - Sondages géologiques (4-6m de profondeur) au droit des ouvrages avec essais pressiométriques et analyses en laboratoire pour l'identification des terrains en place (identification GTR) ;
    - Etude géotechnique de conception : Contraintes de calcul, tassements théoriques, recommandations de solutions de fondations et de terrassement en fonction des ouvrages projetés, et tenant compte des caractéristiques géomécaniques et hydromécaniques des sols en place.
- Une expertise géophysique permettant de caractériser le système karstique au droit du secteur d'intervention. Cette étude permettra d'identifier la géométrie du réseau karstique au droit de la retenue de l'ouvrage grâce à une détection radar des cavités. Cela indiquera donc les zones sensibles au droit desquelles le fond est à stabiliser. Le chiffrage de l'étude considère que la réalisation des mesures de terrain se fera en assec ;

5.6. PROCEDURE REGLEMENTAIRE

Les procédures réglementaires à envisager pour la réalisation de ce scénario sont les suivantes :

- Dossier de déclaration au titre de la Loi sur l'eau, dont les principales rubriques concernées sont les suivantes :

- Rubrique 3.3.5.0 : Travaux, définis par un arrêté du ministre chargé de l'environnement, ayant uniquement pour objet la restauration des fonctionnalités naturelles des milieux aquatiques, y compris les ouvrages nécessaires à cet objectif (Déclaration).

- DIG.

5.7. ESTIMATION FINANCIERE

DETAIL QUANTITATIF ESTIMATIF Restauration du Doubs de Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche TRONÇON 6					
N°	DESIGNATION	UNITE	PRIX UNITAIRE en € HT	QUANTITE	MONTANT TOTAL € HT
A - Chiffrage Travaux					
0	**FRAIS DE CHANTIER**				**23 000.00 €**
0.1	Installation et repli de chantier	Forf.	1.00	10000.00	10000.00
0.2	Etudes d'exécution, PPSPS, PAQ et PAE	Forf.	1.00	8000.00	8000.00
0.3	Dossier de récolement	Forf.	1.00	5000.00	5000.00
1	**TRAVAUX PREPARATOIRES**				**15 000.00 €**
1.1	Préparation des accès et remise en état	Forf.	1.00	5000.00	5000.00
1.2	Isolement de chantier et gestion de l'eau - Batardage localisé, dispositif de pompage et épuisement des fouilles (yc fourniture, mise en œuvre et évacuation des matériaux)	Forf.	1.00	10000.00	10000.00
2	**DEMANTELEMENT DES SEUILS**				**38 000.00 €**
2.1	Démantèlement de l'ouvrage maçonné	Forf.	2.00	10000.00	20000.00
2.2	Démantèlement des portiques / batardeau et des piles	Forf.	2.00	2000.00	4000.00
2.3	Tri et évacuation des matériaux non réutilisés et mise en dépôt agrée	m3	700.00	20.00	14000.00
3	**PLANTATIONS**				**300.00 €**
3.1	Boutures de saules	U	3.00	100.00	300.00
4	**RE-AMENAGEMENT DU LIT MINEUR ET DES BERGES**				**342 500.00 €**
4.1	Reprise du profil en long et réemploi des matériaux	m3	6000.00	30.00	180000.00
4.2	Remblais d'apport pour les banquettes minérales (10/100mm)	m3	4000.00	30.00	120000.00
4.3	Remblais d'apport pour la création de radier de 20 m de long (50/300mm)	m3	600.00	30.00	18000.00
4.4	Remblais d'apport de tout venant pour le comblement canal usinier (fourniture des matériaux et mise en œuvre)	m3	1300.00	15.00	19500.00
4.5	Amas de blocs-abris 50/200kg (yc fourniture et mise en œuvre)	m3	20.00	250.00	5000.00
5	**DIVERS ET IMPREVUS (10%)**				**41 880.00 €**
			TOTAL TRAVAUX HT		**460 680.00 €**
			TVA 20.0 %		92 136.00 €
			TOTAL TTC		**552 816.00 €**
B - Maîtrise d'œuvre					
1	**ETUDE DE CONCEPTION ET DOSSIERS REGLEMENTAIRES**				**46 068.00 €**
2	**ETUDES COMPLEMENTAIRES**				**25 700.00 €**
2.1	Topographie complémentaire	ml	1.00 €	700.00	700.00 €
2.2	Expertise géotechnique	Forf.	10 000.00 €	1.00	10 000.00 €
2.3	Expertise géophysique	Forf.	15 000.00 €	1.00	15 000.00 €

	Total MOE HT	**71 768.00 €**
	TVA (20 %)	14 353.60 €
	Total TTC	**86 121.60 €**
Total HT		**532 448.00 €**
TVA (20 %)		106 489.60 €
Total TTC		**638 937.60 €**

6. TRONÇON 7

6.1. LOCALISATION

Tronçon de 3,3 km qui traverse les communes de Maisons-du-Bois, Hauterive-la-Fresse et Montbenoît. La rivière alterne entre des faciès de radiers plats mouilles. Ce tronçon ne semble pas être concerné par les pertes qui touchent l'amont du linéaire.

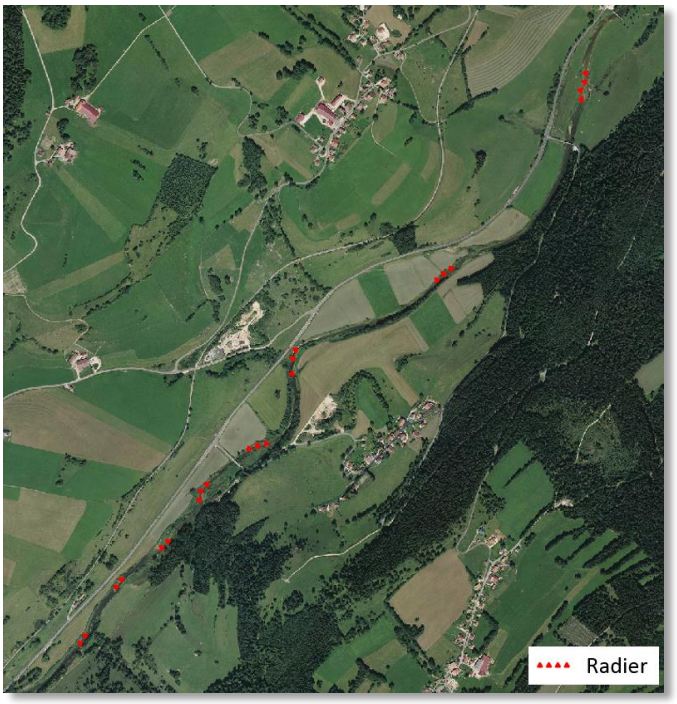


Figure 31 - Tronçon 7

6.2. RAPPELS SUR LES ENJEUX

Les enjeux sur ce tronçon sont les suivants :

- Incision et étalement de la lame d'eau en étiage ;
- Piétinement ;
- Remblais en lit majeur ;
- Occupation des sols dominée par le pâturage ;
- Zone humide.

6.3. DESCRIPTION DES AMENAGEMENTS

6.3.1. Description générale

Les aménagements projetés sur le tronçon sont les suivants :

- Rehausse des fonds comprise entre 30 cm et 60cm dépendamment du secteur et de l'incision observée ;
- Mise en place de clôtures et d'abreuvoirs en amont de Montbenoît ;
- Remodelage de la berge gauche au niveau de la parcelle remblayée en aval du pont d'Hauterive.

6.3.2. Rehausse des fonds

La figure ci-dessous illustre les différentes hauteurs de rehausse à appliquer au secteur. La rehausse diminue en allant vers l'aval où les interventions porteront principalement sur le resserrement du lit d'étiage.

Egalement, les zones au droit desquelles la roche affleure tel que l'aval du coude de Hauterive3 ne nécessitent pas de recharge, le profil étant stabilisé par la roche.

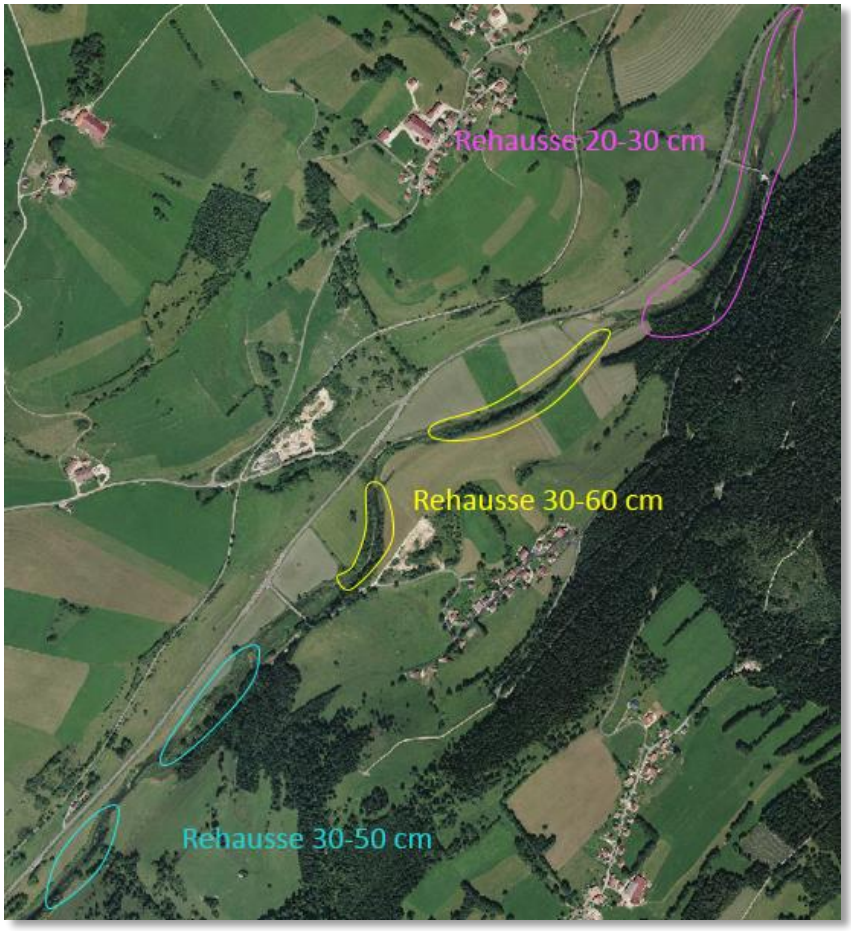


Figure 32 - Secteurs à rehausser

La rehausse des fonds sur le tronçon se fera avec des matériaux 5-80mm. Au niveau des radiers cette granulométrie pourra être augmentée à 50-100 mm.

6.3.3. Mise en place des banquettes

Des banquettes minérales ou mixtes seront mises en place sur le tronçon. Cette intervention semble primordiale en amont de Montbenoît où la rivière présente une importante largeur en étiage. Ces banquettes seront composées d'une granulométrie étendue entre 20mm et 100mm et leur hauteur pourra varier entre 20 et 50 cm.

6.3.4. Remodelage

En amont du coude de Hauterive est située une parcelle totalement mise à niveau par des remblais. Les profils tirés du MNT sur ce secteur illustrent bien cela.

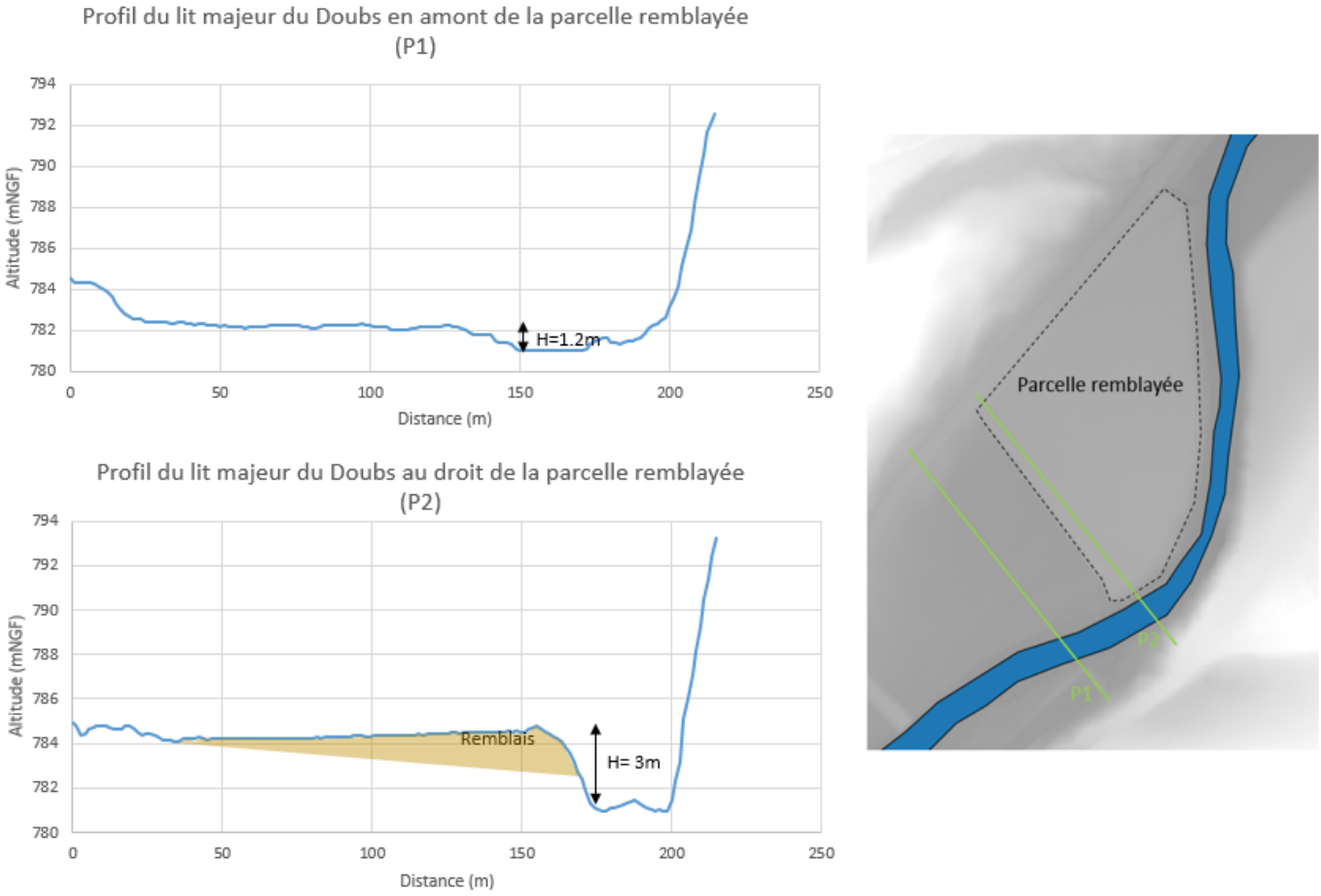


Figure 33 - Profils issus du MNT au droit du remblaiement

Ce secteur constitue donc un verrou hydraulique pouvant engendrer des incidences en crue, l'Espace de Bon Fonctionnement défini lors de la phase 1 n'est ici pas respecté.

Le fonctionnement de la rivière se verrait donc amélioré au droit de ce secteur si à minima une partie du remblai était retiré.

Le principe est donc de déblayer la rive gauche sur environ 50m afin de recréer une zone de grand écoulement à la rivière et d'avoir un milieu plus connectif. Le chiffrage du projet suppose l'évacuation des déblais, néanmoins en fonction de la nature des matériaux déblayés ceux-ci pourraient être conservés pour ensuite être réinjectés dans le Doubs.

6.3.5. Aménagements connexes

6.3.5.1. Diversification

De même que sur les tronçons précédents, des éléments de diversification pourront être mis en place dans le lit du Doubs afin d'en augmenter son hétérogénéité. Ces aménagements seront du type blocs, bois morts et amas mobilisables par la rivière.

6.3.5.2. Clôtures et abreuvoirs

Des importantes zones de piétinement sont observées en amont de Montbenoît, celles-ci sont impactantes tant pour la morphologie de la rivière (élargissement) que pour sa qualité. Aussi il est proposé de mettre en défense tout ce linéaire et de créer des abreuvoirs.

Ces clôtures seront mis en œuvre sur 500 ml de chaque côté du cours d'eau.

Egalement, des abreuvoirs type pompe à nez pourront être mis en place sur ce secteur.

6.3.6. Schéma des aménagements

6.3.6.1. Vue en travers

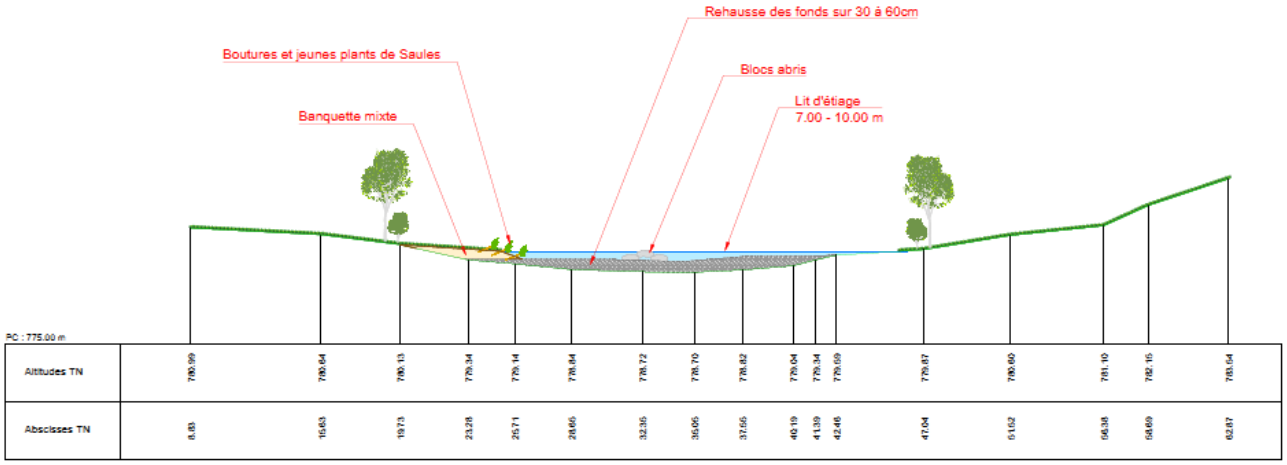


Figure 34 - Vue en travers de l'aménagement

6.3.6.2. Vue en plan

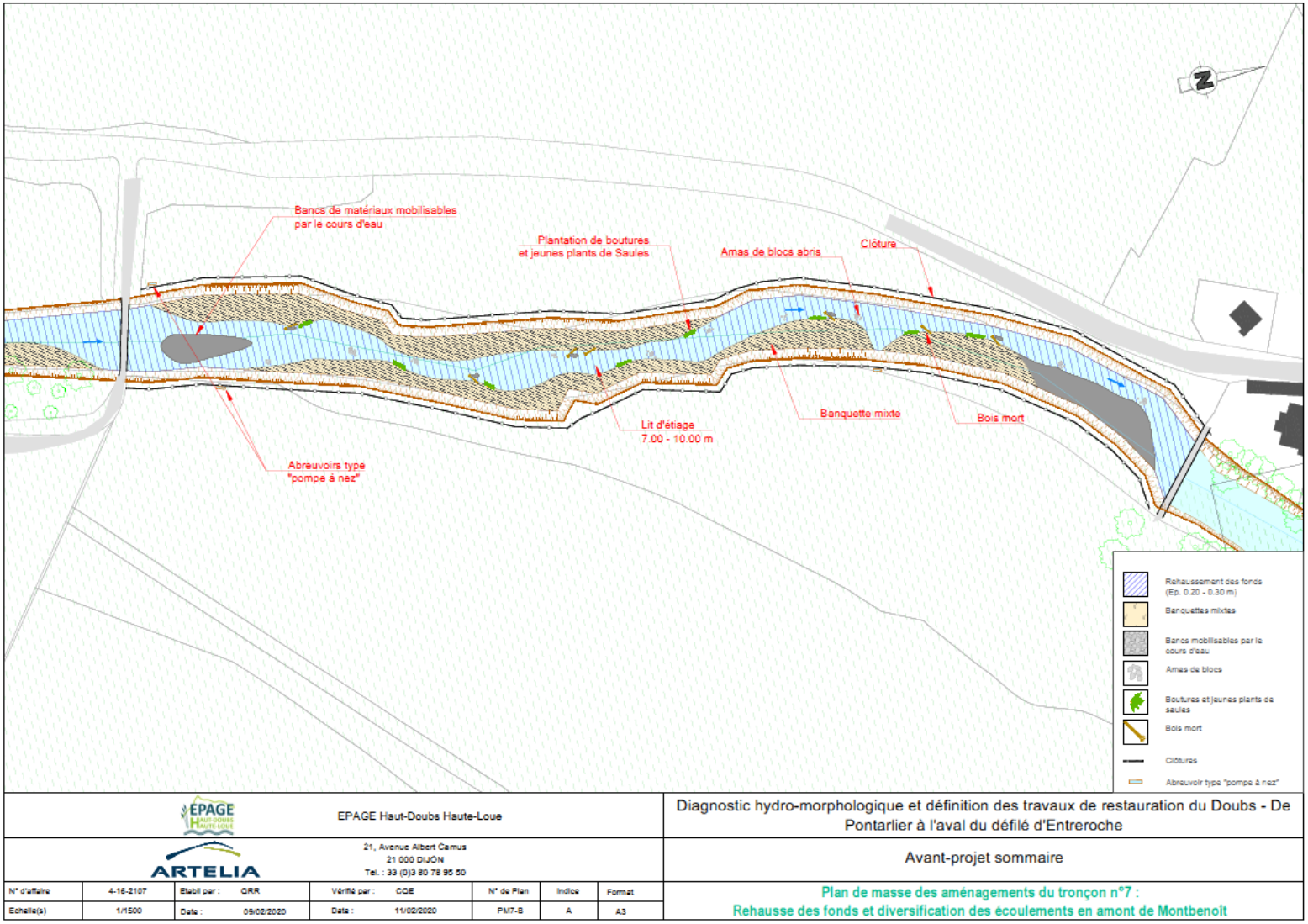


Figure 35 - Vue en plan de l'aménagement, tronçon 7

6.4. INCIDENCES

6.4.1. Incidences hydrauliques

Les incidences hydrauliques engendrées sur ce tronçon par les aménagements sont décrites dans le tableau ci-dessous :

Tableau 10 - Incidences hydrauliques sur le tronçon 7

Secteur	Débit	Niveau EI (m NGF)	Niveau aménagé (m NGF)	Delta (m)
Aval Maisons-du-Bois	QMNA5	782.23	782.52	0.29
	Module	782.66	782.97	0.31
	Q2	783.93	784.08	0.15
	Q10	784.44	784.52	0.08
	PPRI	785.04	785.06	0.02
Pont de Hauterive	QMNA5	780.49	780.78	0.29
	Module	781.02	781.27	0.25
	Q2	782.37	782.54	0.17
	Q10	782.84	782.96	0.12
	PPRI	783.42	783.53	0.11
Pont en amont de Montbenoit	QMNA5	777.54	777.86	0.32
	Module	777.95	778.28	0.33
	Q2	779.18	779.38	0.2
	Q10	779.6	779.74	0.14
	PPRI	780.35	780.29	-0.06

En lien avec la rehausse des fonds projetés, les niveaux d'eaux rencontrés augmenteront.

6.4.2. Incidence morphologique

De même que pour les tronçons précédents sur lesquels les mêmes opérations sont projetées, la restauration proposée permettra de recréer de l'hétérogénéité dans les écoulements, et ainsi de diversifier les habitats.

6.4.3. Incidence écologique

La rehausse des fonds et l'augmentation des niveaux d'eau permettra d'améliorer les échanges nappes rivière en limitant le drainage de la nappe améliorant ainsi les conditions d'étiage. La mise en eau graduée du lit et l'augmentation des débordements permettront la création de zones annexes permanentes ou non favorables à la faune et la flore du cours d'eau. La mise en place des clôtures, en limitant les piétinements permettra l'amélioration du milieu et de la qualité de l'eau.

6.4.4. Impact socio-économique

Les aménagements proposés induisent une augmentation des débordements qui auront des impacts sur les usages des parcelles attenantes. A l'heure actuelle, on observe des débordements :

- En aval de Maisons-du-Bois pour des débits légèrement supérieurs au triple du module ;
- En aval du pont de Hauterive pour une Q5 ;
- Entre les deux ponts en amont de Montbenoit pour des débits supérieurs à 3*Module.

La restauration projetée indura sur les secteurs débordant le plus facilement (aval Maisons-du-Bois, amont Montbenoit) une augmentation des débordements sur une quinzaine de jour environ. En aval du pont de Hauterive les débordements interviendront à partir de la crue biennale.

Egalement, la mise en place de clôtures empêchera l'abreuvement du bétail, un point d'eau devra donc être mis en place pour remplacement. Ce point d'eau pourra être du type descente en rivière ou pompe à nez néanmoins du fait de la rudesse des étiages ces aménagements pourraient être complété par un apport en eau extérieur durant les basses eaux.

Enfin le remodelage projeté au niveau du coude de Hauterive aura un impact sur la parcelle et ses usages. En effet la zone déblayée sera plus fréquemment inondée. De plus, celle-ci ne sera plus aussi plane qu'actuellement modifiant probablement ses conditions d'exploitation.

6.5. ETUDES COMPLEMENTAIRES

De la topographie complémentaire sera nécessaire pour la réalisation de ce scénario.

6.6. PROCEDURE

Les procédures réglementaires à envisager pour la réalisation de ce scénario sont les suivantes :

- Dossier de déclaration au titre de la Loi sur l'eau, dont les principales rubriques concernées sont les suivantes :
    - Rubrique 3.3.5.0 : Travaux, définis par un arrêté du ministre chargé de l'environnement, ayant uniquement pour objet la restauration des fonctionnalités naturelles des milieux aquatiques, y compris les ouvrages nécessaires à cet objectif (Déclaration).
- DIG.

6.7. ESTIMATION FINANCIERE

L'estimation financière de l'aménagement du tronçon est détaillée ci-dessous :

DETAIL QUANTITATIF ESTIMATIF Restauration du Doubs de Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche TRONÇON 7					
N°	DESIGNATION	UNITE	PRIX UNITAIRE en € HT	QUANTITE	MONTANT TOTAL € HT
A - Chiffrage Travaux					
0	**FRAIS DE CHANTIER**				**46 000.00 €**
0.1	Installation de chantier, yc signalisation, remise en état, …	Forf.	30 000.00 €	1.00	30 000.00 €
0.2	Etudes d'exécution, PAQ/PAE/PPSPS, implantation et piquetage	Forf.	10 000.00 €	1.00	10 000.00 €
0.3	Plan de récolement et Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE)	Forf.	5 000.00 €	1.00	5 000.00 €
0.4	Pêche de sauvetage	U.	1 000.00 €	1.00	1 000.00 €
1	**TRAVAUX PREPARATOIRES**				**15 000.00 €**
1.1	Déboisement/Recépage et débroussaillage du lit mineur (yc évacuation des débris végétaux)	Forf.	5 000.00 €	1.00	5 000.00 €
1.2	Gestion des eaux - batardage / pompage / décantation-filtration nécessaires	Forf.	10 000.00 €	1.00	10 000.00 €
2	**TERRASSEMENTS**				**1 880 000.00 €**
2.1	Matériaux d'apports 5-80mm pour recharge des fonds et bancs	m3	30.00 €	36000.00	1 080 000.00 €
2.2	Matériaux d'apports 50-100 pour recharge des fonds	m3	30.00 €	2000.00	60 000.00 €
2.3	Matériaux d'apports 20-100 pour banquettes	m3	30.00 €	14000.00	420 000.00 €
2.4	Blocs pour diversification	m3	100.00 €	200.00	20 000.00 €
2.5	Déblais pour remodelage de la rive gauche	m3	15.00 €	20000.00	300 000.00 €
3	**PLANTATIONS**				**3 000.00 €**
3.1	Bouture de saules	U	3.00 €	1000.00	3 000.00 €
4	**AUTRE**				**22 000.00 €**
4.1	Clôtures	ml	20.00 €	1000.00	20 000.00 €
4.2	Abreuvoirs	U	1 000.00 €	2.00	2 000.00 €
5	**DIVERS ET IMPREVUS (10%)**				**196 600.00 €**
			Total TRAVAUX HT		**2 162 600.00 €**
			TVA (20 %)		432 520.00 €
			Total TTC		**2 595 120.00 €**
B - Maîtrise d'œuvre					
1	**ETUDE DE CONCEPTION ET DOSSIERS REGLEMENTAIRES**				**90 000.00 €**
2	**ETUDES COMPLEMENTAIRES**				**3 300.00 €**
2.1	Topographie complémentaire	ml	1.00 €	3300.00	3 300.00 €
			Total MOE HT		**93 300.00 €**
			TVA (20 %)		18 660.00 €
			Total TTC		**111 960.00 €**
Total HT					**2 255 900.00 €**
TVA (20 %)					451 180.00 €
Total TTC					**2 707 080.00 €**

7. TRONÇON 8

7.1. LOCALISATION

Le tronçon est localisé au droit de la traversée de Montbenoît, celui-ci mesure environ 1 km. Sur ce secteur la rivière est divisée en deux bras, l'un appuyé sur les remblais bâtis de Montbenoît, le second sur le pied de versant droit. La diffluence provient originellement de la présence d'une scierie. Aujourd'hui le barrage est détruit mais les deux bras subsistent.

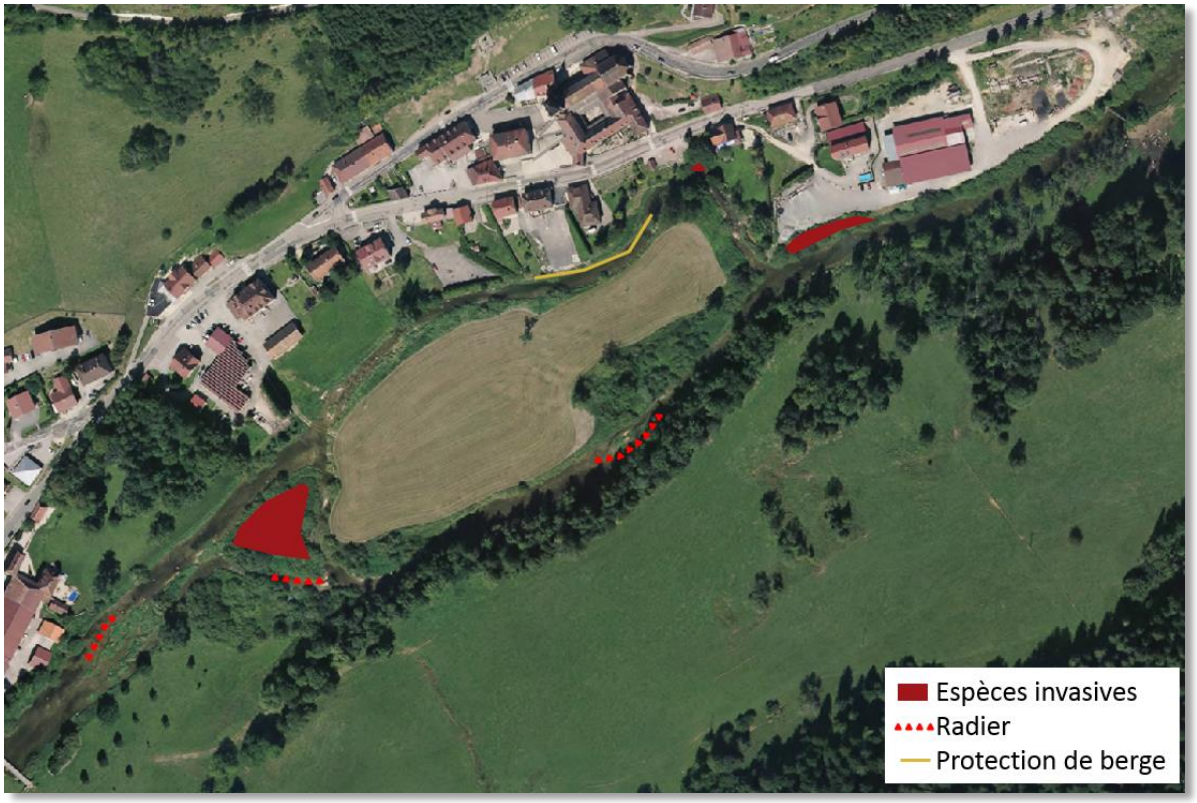


Figure 36 - Localisation du tronçon 8

En lien avec l'urbanisation du secteur, le tronçon présente une importante concentration d'espèces invasives. Ce secteur est par ailleurs le lieu de prolifération d'espèces ne s'étant actuellement pas dispersées sur le reste du linéaire, telles que le Cotoneaster et la Berce du Caucase.

7.2. RAPPELS SUR LES ENJEUX DU TRONÇON

Les enjeux identifiés sur le présent tronçon sont les suivants :

- Secteur en traversée urbaine ;
- Présence de zones humides (prairie fauchée montagnarde, saulaie arborescente) ;

- Présence d'espèces invasives ;
- Proximité de monuments historiques.

7.3. DESCRIPTION DES AMENAGEMENTS

7.3.1. Description générale

Les opérations projetées sur ce tronçon sont les suivantes :

- Mise en place d'un ouvrage permettant d'orienter les écoulements en étiage vers le bras naturel du Doubs (bras en rive droite) ;
- Remodelage du bras en rive droite en déblais remblais et aménagement de diversification ;
- Eradication des espèces invasives du site.

7.3.2. Orientation des écoulements en rive droite

Afin de permettre une meilleure gestion des eaux en étiage, l'intégralité des écoulements transiteront par le bras en rive droite. Pour ce faire, un point haut constitué d'enrochements sera mis en place en amont de la diffluence. Celui-ci sera calé à une côte proche de 776.7 m NGF permettant ainsi une alimentation pour des débits supérieurs au QMNA5.

Egalement, le fond du bras en rive gauche sera reprofilé si nécessaire afin qu'il ne présente aucune zone de rétention qui pourrait rester en eau après la coupure d'alimentation et entrainer de la mortalité piscicole.

7.3.3. Remodelage du bras en rive droite

Le remodelage du bras en rive droite permettra de définir un lit d'étiage à la rivière (en resserrant en pied) tout en n'augmentant pas les débordements (évasement en tête). Aussi sur le secteur, la rivière aura la géométrie suivante :

- 25 m en tête contre 19m actuellement ;
- Mise en place de banquette créer un lit d'étiage ayant une largeur comprise entre 7m et 10m. Les banquettes auront une hauteur variant entre 30 cm et 60 cm.

Les déblais se feront principalement en rive gauche, la rive droite étant accolée à un versant. Les banquettes seront constituées des matériaux déblayés, localement celles-ci pourront être prolongées par une accumulation sédimentaire composé de matériaux 40-80mm.

7.3.4. Gestion des invasives

Comme mentionné précédemment de nombreuses espèces invasives sont présentes au droit de la traversée de Montbenoît. Certaines de ces espèces ne s'étant pas répandues à l'aval il convient de les traiter en priorité.

7.3.4.1. Berce du Caucase

Des ilots de Berce du Caucase ont été observés en rive gauche. Cette plante dispose d'un fort potentiel de développement du fait de ses nombreuses graines. Aux abords des cours d'eau elle engendre :

- L'élimination des espèces indigènes par prolifération ;
- La déstabilisation des berges avec l'absence de racine et la mise à nu du sol en hiver avec la mort de la plante.

Afin de lutter contre l'espèce, le bêchage profond est conseillé. Dans le cas d'une aire de répartition étendue un fauchage peut être envisagé, accompagné éventuellement par un pâturage jusqu'à épuisement des plants.

L'éradication de cette espèce doit s'accompagner de précaution particulière en raison des allergies qu'elle provoque. Il est impératif de se protéger les yeux et la peau lors du traitement. Les déchets doivent ensuite directement être incinérés.

7.3.4.2. Cotoneaster

Cette plante est bien souvent utilisée comme plante ornementale sur des talus urbains, néanmoins en raison de sa forte prolifération, sa présence en bord de cours d'eau doit être surveillée. Il est donc conseillé à minima de tailler les fleurs en fin de floraison, avant la fructification pour éviter la production de graines.

7.3.4.3. Renouée du Japon

Bien que sa présence soit moins développée que le topinambour et la balsamine, plusieurs ilots de Renouée sont présents sur le linéaire. Du fait d'une aire de répartition à ce jour peu étendue il convient de procéder à son éradication. Sur les secteurs colonisés il est donc conseillé d'excaver les terres infectées et d'évacuer soigneusement les déchets vers un site adapté et agréé.

A minima, une intervention sur les foyers situés dans l'emprise des zones restaurées est préconisée de façon à limiter le risque de dissémination par les engins de chantier et afin de faciliter le développement d'une végétation plus souhaitée.

7.3.4.4. Balsamine

Des ourlets de Balsamine sont observés sur le linéaire du Doubs à l'étude. Son traitement passe par un arrachage des plants ou un fauchage régulier. Il est important de traiter la totalité d'une zone envahie, en effet une plante isolée produit plus de graines que plusieurs plants regroupés de taille plus restreinte.

7.3.4.5. Topinambour

Le topinambour est une plante à croissance rapide hivernant dans le sol grâce à ses tubercules. L'espèce colonise rapidement le milieu et concurrence la végétation indigène résultant sur des formations pauvres en espèces.

Le topinambour est répandu sur la totalité du linéaire en amont des gorges, aussi, si un traitement est envisagé celui-ci doit également s'effectuer en amont.

L'éradication peut se faire par arrachage manuel, fauchage régulier jusqu'à épuisement ou par mise en concurrence avec la mise en place d'ortie.

A noter que les tubercules arrachés doivent impérativement être incinérés.

7.3.5. Schéma des aménagements

7.3.5.1. Vue en travers

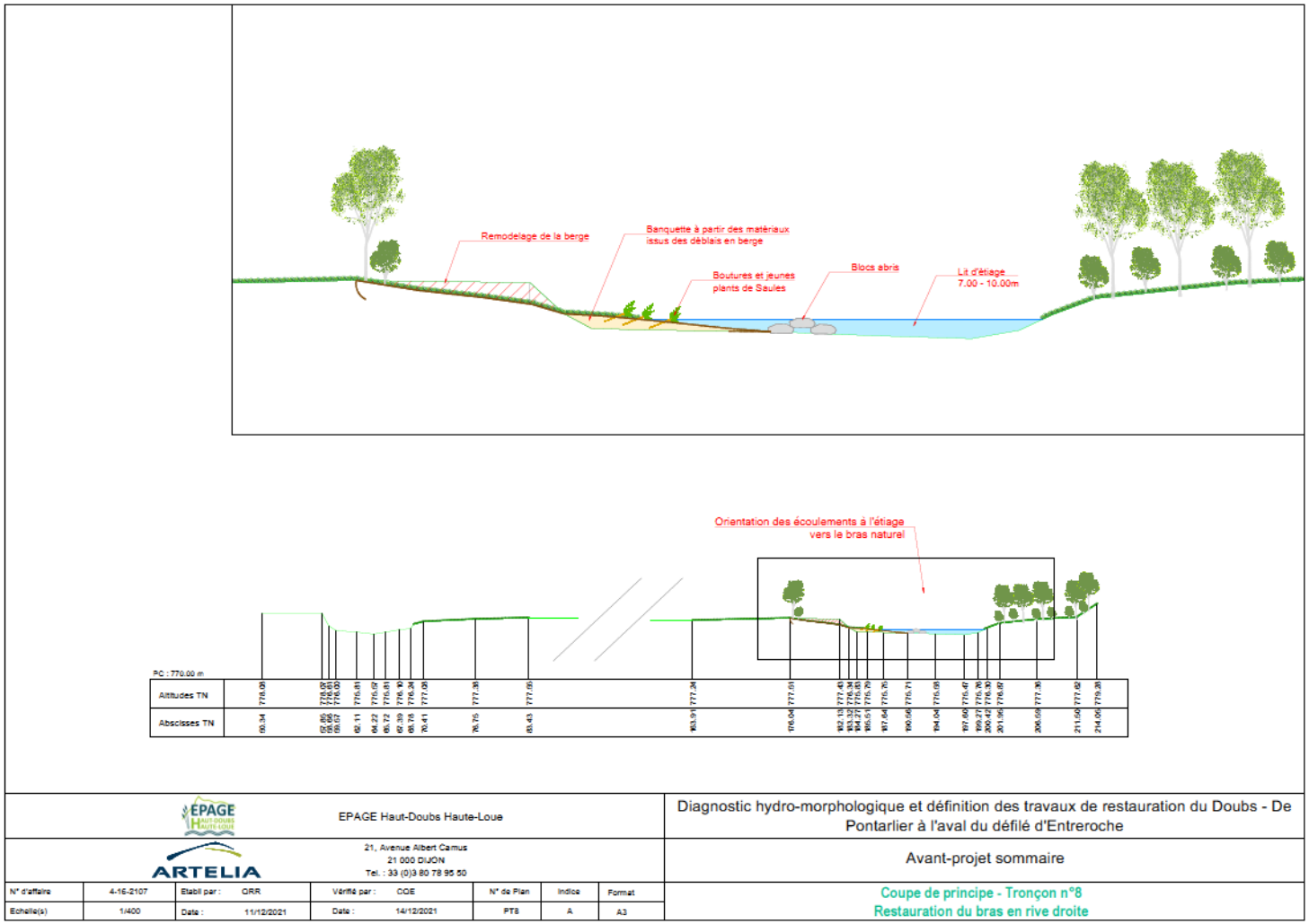


Figure 37 - Vuen en travers de l'aménagement, Tronçon 8

7.3.5.2. Vue en plan

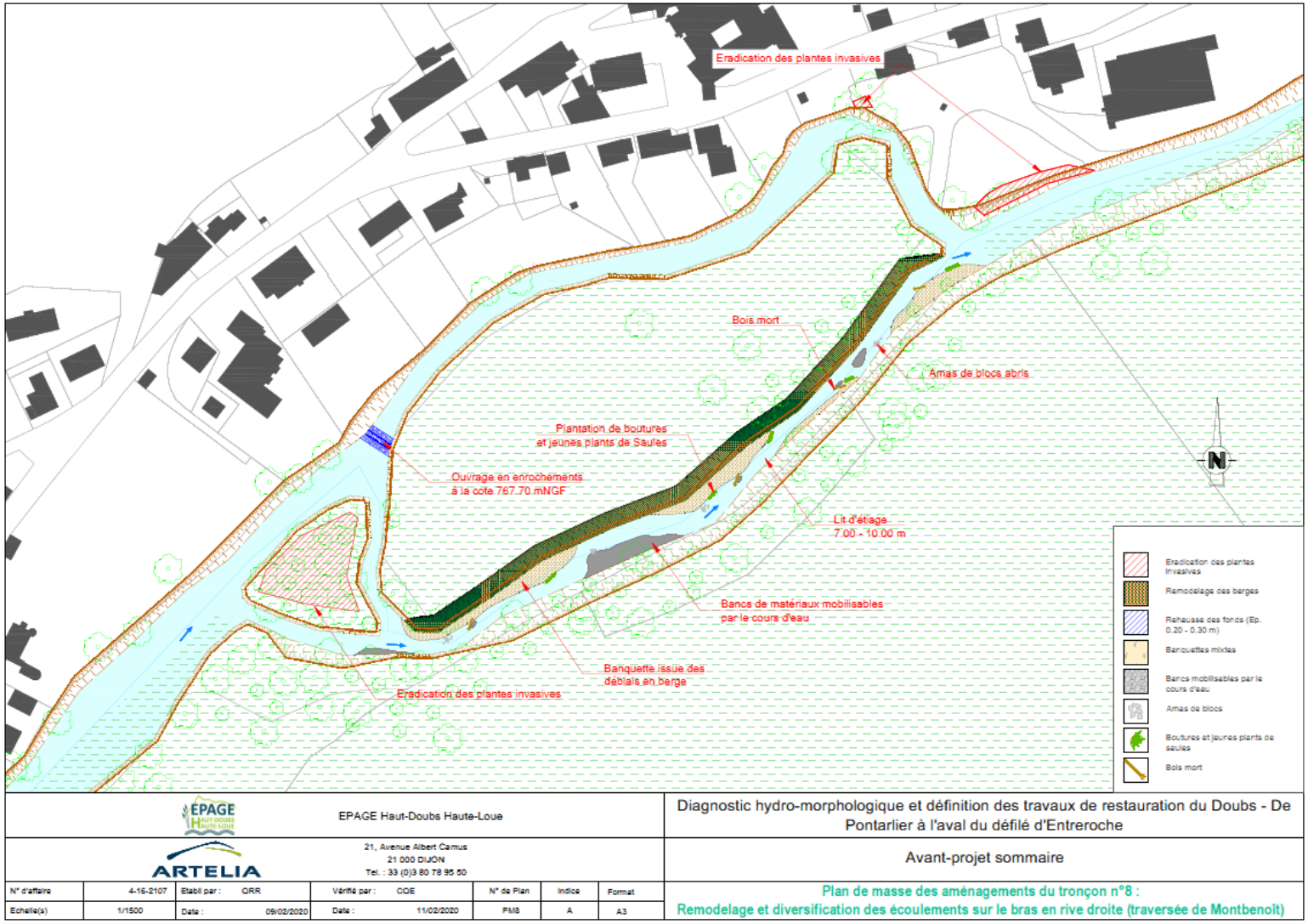


Figure 38 - Vue en plan de l'aménagement, Tronçon 8

7.4. INCIDENCES

7.4.1. Incidences hydrauliques

Les incidences hydrauliques au droit d'une section en rive droite située au niveau de la zone de diffluence sont présentées dans le tableau ci-après :

Tableau 11 - Niveau d'eau au droit du tronçon 8 avant/après aménagement

Débit	Niveau EI (m NGF)	Niveau aménagé (m NGF)	Delta (m)
QMNA5	776.23	776.34	0.11
Module	776.8	776.84	0.04
Q2	778.48	778.47	-
Q10	779.1	779.1	-
PPRI	780	780	-

Les aménagements projetés sont donc hydrauliquement transparents.

7.4.2. Incidence morphologique

Le remodelage permettra de recréer de l'hétérogénéité dans les écoulements et ainsi de diversifier les habitats.

7.4.3. Incidence écologique

L'ensemble de ces aménagements permettra une meilleur gestion des étiages avec :

- Un resserrement de la lame d'eau au niveau du remodelage et des banquettes ;
- L'écoulement du Doubs dans un bras unique en étiage.

7.4.4. Impact socio-économique

La mise en place des aménagements provoquera l'assèchement du canal de l'ancien moulin de Montbenoît. Egalement le remodelage du bras droit nécessite le déblaiement de 5 à 10m de la parcelle agricole, l'exploitation de celle-ci devra s'ajuster aux nouvelles topographie et hydrographie. En termes de débordements, les aménagements ne modifieront pas le fonctionnement en place.

7.5. ETUDES COMPLEMENTAIRES

De la topographie complémentaire sera nécessaire pour la réalisation de ce scénario.

7.6. PROCEDURE

Les procédures réglementaires à envisager pour la réalisation de ce scénario sont les suivantes :

- Dossier de déclaration au titre de la Loi sur l'eau, dont les principales rubriques concernées sont les suivantes :
    - Rubrique 3.3.5.0 : Travaux, définis par un arrêté du ministre chargé de l'environnement, ayant uniquement pour objet la restauration des fonctionnalités naturelles des milieux aquatiques, y compris les ouvrages nécessaires à cet objectif (Déclaration).
- DIG.

7.7. ESTIMATION FINANCIERE

L'estimation financière de l'aménagement du tronçon est détaillée ci-dessous :

DETAIL QUANTITATIF ESTIMATIF Restauration du Doubs de Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche TRONÇON 8					
N°	**DESIGNATION**	**UNITE**	**PRIX UNITAIRE en € HT**	**QUANTITE**	**MONTANT TOTAL € HT**
A - Chiffrage Travaux					
0	**FRAIS DE CHANTIER**				**8 000.00 €**
0.1	Installation de chantier, yc signalisation, remise en état, …	Forf.	3 000.00 €	1.00	3 000.00 €
0.2	Etudes d'exécution, PAQ/PAE/PPSPS, implantation et piquetage	Forf.	2 000.00 €	1.00	2 000.00 €
0.3	Plan de récolement et Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE)	Forf.	2 000.00 €	1.00	2 000.00 €
0.4	Pêche de sauvetage	U.	1 000.00 €	1.00	1 000.00 €
1	**TRAVAUX PREPARATOIRES**				**3 500.00 €**
1.1	Déboisement/Recépage et débroussaillage du lit mineur (yc évacuation des débris végétaux)	Forf.	1 000.00 €	1.00	1 000.00 €
1.2	Gestion des eaux - batardage / pompage / décantation-filtration nécessaires	Forf.	2 500.00 €	1.00	2 500.00 €
2	**TERRASSEMENTS**				**19 000.00 €**
2.0	Déblais / remblais pour remodelage des berges	m3	12.00 €	1000.00	12 000.00 €
2.1	reprise profil bas moulin en déblais	m3	20.00 €	100.00	2 000.00 €
2.2	Matériaux d'apports 20-100 mm pour diversification	m3	30.00 €	100.00	3 000.00 €
2.4	Blocs en enrochement pour ouvrage de dévoiement et diverfification	m3	100.00 €	20.00	2 000.00 €
3	**PLANTATIONS**				**180.00 €**
3.1	Bouture de saules	U	3.00 €	60.00	180.00 €
4	**DIVERS ET IMPREVUS (10%)**				**3 068.00 €**
				Total HT	**30 680.00 €**
				TVA (20 %)	6 136.00 €
				Total TTC	**36 816.00 €**
B - Maîtrise d'œuvre					
1	**ETUDE DE CONCEPTION ET DOSSIERS REGLEMENTAIRES**				**14 000.00 €**
2	**ETUDES COMPLEMENTAIRES**				**1 055.00 €**
2.1	Topographie complémentaire	ml	1.00 €	1055.00	1 055.00 €
				Total MOE HT	**15 055.00 €**
				TVA (20 %)	3 011.00 €
				Total TTC	**18 066.00 €**
Total HT					**45 735.00 €**
TVA (20 %)					9 147.00 €
Total TTC					**54 882.00 €**

8. TRONÇON 9

8.1. LOCALISATION

Ce tronçon s'étend sur 2.4 km entre la sortie de Montbenoît et l'entrée du défilé. Il se caractérise par une chenalisation très importante sur sa partie amont. En aval, la présence d'affleurements rocheux limite l'enfoncement de la rivière et celle-ci retrouve alors une meilleure connectivité.

On note également la présence de plusieurs drains sur les parcelles attenantes à la rivière.

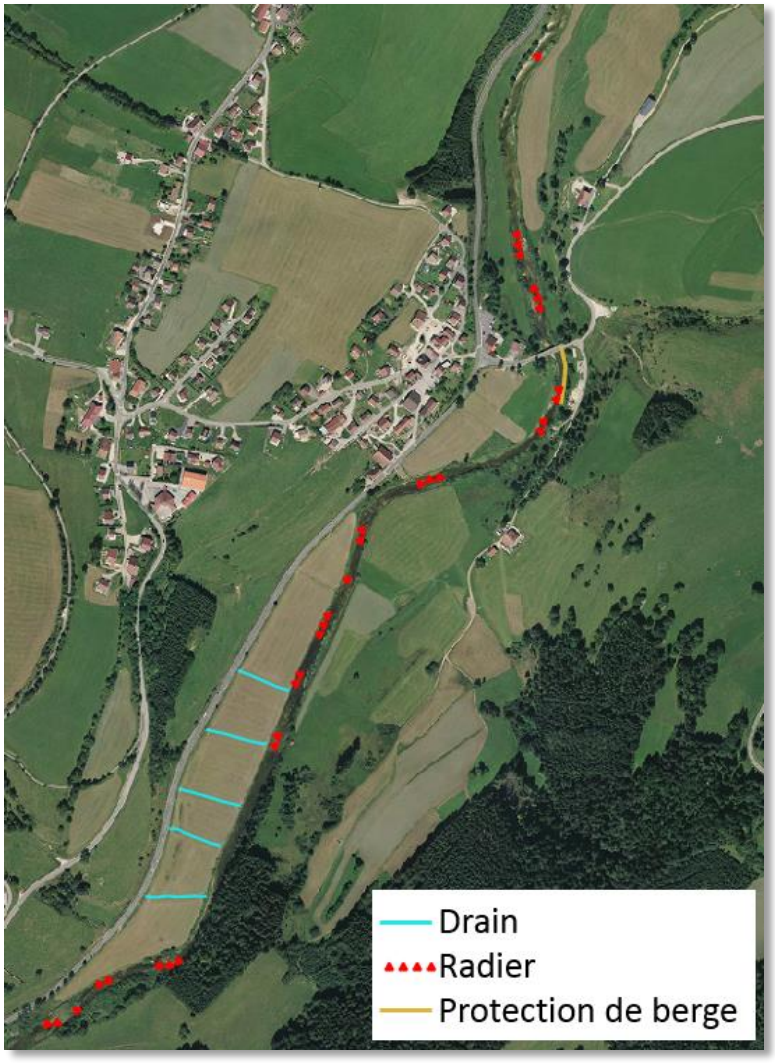


Figure 39 - Localisation du tronçon 9

8.2. RAPPELS SUR LES ENJEUX DU TRONÇON

Pour rappel, les enjeux sur ce tronçon sont les suivants :

- Proximité d'habitations au niveau de Ville-du-Pont ;

- Occupation des sols dominée par un contexte prairial ;
- Présence de zones humides (prairie fauchée montagnarde) menacée par les drains ;
- Présence d'espèces invasives.

8.3. DESCRIPTION DES AMENAGEMENTS

8.3.1. Description générale

Les aménagements projetés ici consistent en la rehausse des fonds sur 30 à 60 cm au niveau des zones les plus incisées accompagné de la mise en place de banquettes latérales permettant de délimiter un lit d'étiage à la rivière. Du fait de l'importante hauteur de berge en présence et de la nécessité de ne pas augmenter les inondations à Montbenoît, la section sera également remodelée permettant ainsi de rehausser moins les fonds que nécessaire tout en obtenant un profil connectif.

Aucune intervention n'est prévue sur la partie aval du tronçon au droit de la zone d'affleurements rocheux. Egalement, aux abords de Ville-du-Pont aucun rehaussement du fond du lit n'est envisagé.

8.3.2. Rehausse des fonds

A l'état aménagé, il apparait que le diamètre maximum mobilisé pour le débit de débordement est égal à 30 mm. Aussi la rehausse des fonds sur le tronçon se fera avec des matériaux 5-80mm, au niveau des radiers cette granulométrie pourra être augmentée à 50-100 mm. Celle-ci se fera sur un linéaire de 900 m jusqu'à l'entrée de Ville-du-Pont.

8.3.3. Mise en place de banquettes

Les banquettes à mettre en place sur un linéaire de 1.3 km permettront la définition l'un lit d'étiage marqué permettant une meilleure gestion des étiages. Ce lit aura une largeur moyenne égale à 7m, bien entendu, cette largeur devra varier tout au long du linéaire afin d'améliorer l'hétérogénéité du secteur. De même leur hauteur pourra varier entre 20 et 50 cm.

Ces banquettes seront de différents types :

- Soit purement minérale et constituée d'une granulométrie étendue 20-100mm ;
- Soit réalisé à partir des matériaux déblayé pour le remodelage ;
- Soit en matériaux mixte avec en pied des blocs « plateaux » protégeant un mélange blocs / tout venant permettant la création de caches, la stabilité des aménagements et la reprise spontanée de la végétation.

8.3.4. Diversification

En complément, des aménagements principaux détaillés ci-avant, des éléments de diversification pourront être ponctuellement mis en œuvre, à savoir :

- La mise en place de bancs mobilisables par la rivière en 5-50 mm ;
- La mise en place de bois morts issus des éventuelles coupes pour la réalisation des travaux sous forme de souches ancrées ou bois mort en épis ;
- La mise en place de blocs ou d'amas de blocs dans les zones courantes.

8.3.5. Comblement des drains

Plusieurs drains sont localisés en rive gauche du Doubs sur le tronçon, ceux-ci ont un impact certain sur la qualité du milieu et des zones humides. Aussi, il est projeté de les combler avec les matériaux déblayés pour le remodelage.

8.3.6. Schéma des aménagements

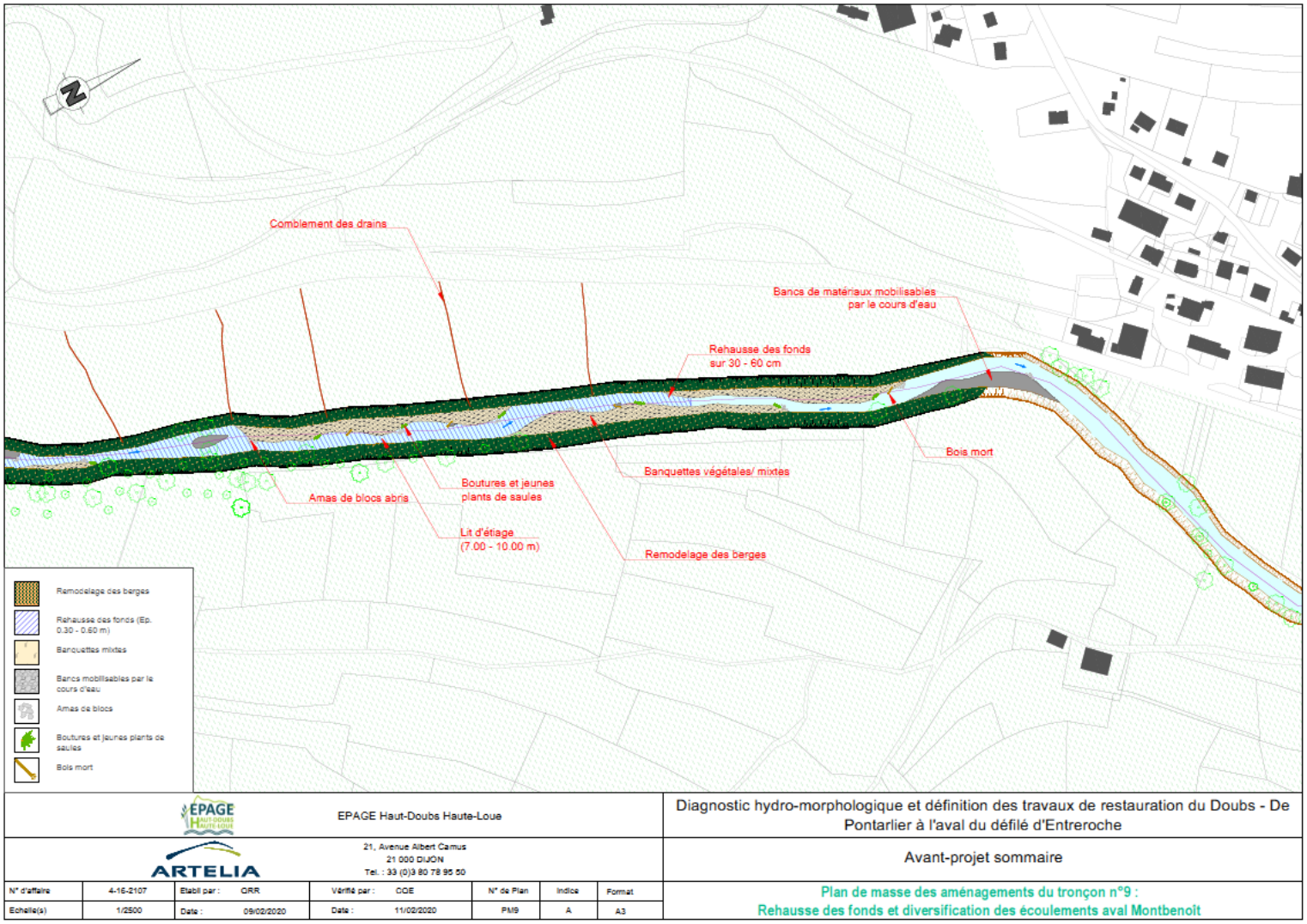


Figure 40 - Vue en plan des aménagements, Tronçon 9

8.4. INCIDENCES

8.4.1. Incidences hydrauliques

Les incidences hydrauliques engendrées sur ce tronçon par les aménagements sont décrites dans le tableau ci-dessous :

Tableau 12 - Incidences hydrauliques sur le tronçon 9

Secteur	Débit	Niveau EI (m NGF)	Niveau aménagé (m NGF)	Delta (m)
Aval Montbenoit, au niveau de la parcelle drainée	QMNA5	773.62	774.29	0.67
	Module	774.05	774.77	0.72
	Q2	775.43	775.76	0.33
	Q10	775.83	776.08	0.25
	PPRI	776.46	776.61	0.15
Pont de Ville-du-Pont	QMNA5	772.12	772.12	-
	Module	772.47	772.47	-
	Q2	773.68	773.68	-
	Q10	774.15	774.15	-
	PPRI	774.86	774.86	-

En lien avec la rehausse des fonds projetés les niveaux d'eaux rencontrés augmenteront. Notons que l'absence d'intervention en aval de Ville-du-Pont induit qu'au droit de la zone urbanisée, le fonctionnement hydraulique ne sera pas modifié.

8.4.2. Incidence morphologique

De même que pour les tronçons précédents sur lesquels les mêmes opérations sont projetées, la restauration proposée permettra de recréer de l'hétérogénéité dans les écoulements, et ainsi de diversifier les habitats.

8.4.3. Incidence écologique

La rehausse des fonds et l'augmentation des niveaux d'eau permettra d'améliorer les échanges nappes rivière en limitant le drainage de la nappe améliorant ainsi les conditions d'étiage. La mise en eau graduée du lit et l'augmentation des débordements permettront la création de zones annexes permanentes ou non favorables à la faune et la flore du cours d'eau. Le comblement des drains permettra également d'améliorer les échanges nappe-rivière.

8.4.4. Impact socio-économique

Une augmentation des débordements sera observée sur le secteur au niveau des parcelles comprise entre Montbenoît et Ville-du-Pont. Actuellement, la rivière déborde en rive gauche pour des débits compris entre 3 à 5 fois le module. La restauration projetée provoquera des débordements pour 2 à 3 fois le module. Statistiquement cela induit l'inondation des parcelles en rive gauche environ 20 jours de plus qu'actuellement.

8.5. ETUDES COMPLEMENTAIRES

De la topographie complémentaire sera nécessaire pour la réalisation de ce scénario.

8.6. PROCEDURE

Les procédures réglementaires à envisager pour la réalisation de ce scénario sont les suivantes :

- Dossier de déclaration au titre de la Loi sur l'eau, dont les principales rubriques concernées sont les suivantes :
    - Rubrique 3.3.5.0 : Travaux, définis par un arrêté du ministre chargé de l'environnement, ayant uniquement pour objet la restauration des fonctionnalités naturelles des milieux aquatiques, y compris les ouvrages nécessaires à cet objectif (Déclaration).
- DIG.

8.7. ESTIMATION FINANCIERE

L'estimation financière de l'aménagement du tronçon est détaillée ci-dessous :

DETAIL QUANTITATIF ESTIMATIF Restauration du Doubs de Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche TRONÇON 9					
N°	DESIGNATION	UNITE	PRIX UNITAIRE en € HT	QUANTITE	MONTANT TOTAL € HT
A - Chiffrage Travaux					
0	**FRAIS DE CHANTIER**				**18 000.00 €**
0.1	Installation de chantier, yc signalisation, remise en état, …	Forf.	10 000.00 €	1.00	10 000.00 €
0.2	Etudes d'exécution, PAQ/PAE/PPSPS, implantation et piquetage	Forf.	3 000.00 €	1.00	3 000.00 €
0.3	Plan de récolement et Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE)	Forf.	3 000.00 €	1.00	3 000.00 €
0.4	Pêche de sauvetage	U.	2 000.00 €	1.00	2 000.00 €
1	**TRAVAUX PREPARATOIRES**				**5 000.00 €**
1.1	Déboisement/Recépage et débroussaillage du lit mineur (yc évacuation des débris végétaux)	Forf.	2 500.00 €	1.00	2 500.00 €
1.2	Gestion des eaux - batardage / pompage / décantation-filtration nécessaires	Forf.	2 500.00 €	1.00	2 500.00 €
2	**TERRASSEMENTS**				**518 600.00 €**
2.0	Déblais / remblais pour remodelage des berges	m3	12.00 €	1000.00	12 000.00 €
2.2	Matériaux d'apports 5-80mm pour recharge des fonds et bancs	m3	30.00 €	8280.00	248 400.00 €
2.2	Matériaux d'apports 50-100 pour recharge des fonds	m3	30.00 €	640.00	19 200.00 €
2.3	Matériaux d'apports 20-100 pour banquettes	m3	30.00 €	7000.00	210 000.00 €
2.4	Blocs pour diversification	m3	100.00 €	200.00	20 000.00 €
2.4	Comblement drains	m3	12.00 €	750.00	9 000.00 €
3	**PLANTATIONS**				**3 000.00 €**
3.1	Bouture de saules	U	3.00 €	1000.00	3 000.00 €
4	**DIVERS ET IMPREVUS (10%)**				**54 460.00 €**
			Total Travaux HT		**599 060.00 €**
			TVA (20 %)		119 812.00 €
			Total TTC		**718 872.00 €**
B - Maîtrise d'œuvre					
1	**ETUDE DE CONCEPTION ET DOSSIERS REGLEMENTAIRES**				**59 906.00 €**
2	**ETUDES COMPLEMENTAIRES**				**1 300.00 €**
2.1	Topographie complémentaire	ml	1.00 €	1300.00	1 300.00 €
			Total MOE HT		**61 206.00 €**
			TVA (20 %)		12 241.20 €
			Total TTC		**73 447.20 €**
Total HT					**660 266.00 €**
TVA (20 %)					132 053.20 €
Total TTC					**792 319.20 €**

9. TRONÇON 12

9.1. LOCALISATION

Ce tronçon est le dernier du secteur d'étude et débute en aval de Remonot. On y observe plusieurs ouvrages qui parsèment le cours du tronçon induisant des zones de remous sur près de 40% du linéaire. Le secteur en aval du tronçon est par ailleurs marqué par d'importantes traces d'incision.

Figure 41 - Localisation du tronçon 12

9.2. RAPPELS SUR LES ENJEUX DU TRONÇON

Les enjeux sur ce tronçon sont les suivants :

- Présence d'ouvrages ;
- Occupation des sols dominée pat un contexte prairial ;
- Inclus en ZNIEFF I ;
- APB « Corniches calcaires du département du Doubs » ;
- Zones humides « prairie fauchée montagnarde » ;
- Amont du tronçon en site inscrit et en périmètre monument historique.

9.3. DESCRIPTION DES AMENAGEMENTS

9.3.1. Description générale

Les aménagements projetés sur le tronçon sont les suivants :

- Suppression des ouvrages du tronçon et mise en place de radiers structurants. Les ouvrages du tronçon étant de faible taille, aucune reprise du profil ou de la retenue n'est envisagée à ce stade ;
- Reméandrement sur 2262 m avec modelage du lit majeur ;
- Remodelage des berges et rehausse des fonds sur l'aval du fait d'une largeur de lit majeur réduite.

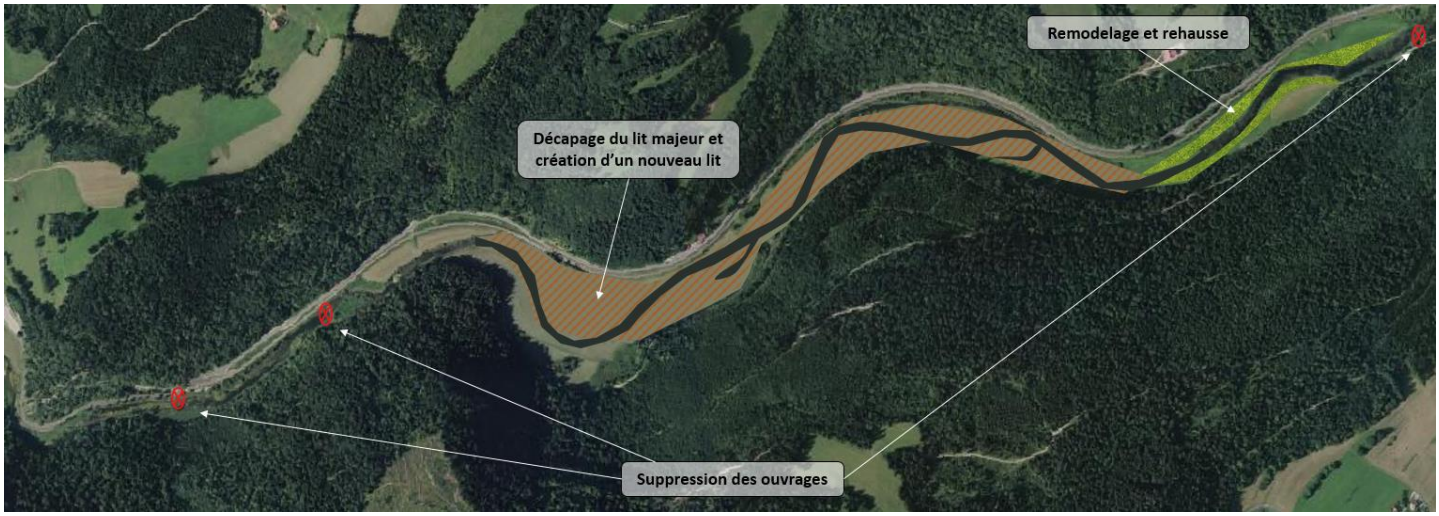


Figure 42 - Interventions projetées sur le tronçon 12

9.3.2. Suppression des ouvrages

Les seuils présents au droit du tronçon sont tous aujourd'hui sans usages. Eu égard à leur vétusté et à l'absence de risques ou d'impacts négatifs le principe d'effacement est proposé.

Concernant les deux ouvrages amont leur effacement passera par :

- Le dégagement des emprises ;
- Démantèlement complet des seuils avec :
    - Tri et évacuation de tous les éléments exogènes ;
    - Réutilisation des blocs d'enrochements en dispersion afin de constituer un grand radier structurant le profil en long et recentrer les écoulements ;

Concernant l'ouvrage le plus à l'aval, le principe d'effacement est le même néanmoins il s'accompagnera d'une reprise de la retenue sur 650 m.

9.3.3. Remodelage de la retenue aval

En complément de l'effacement de l'ouvrage aval et dans la continuité du reméandrement projeté, les berges en amont du seuil seront remodelées sur 650 m. Le profil de berge sera adouci en déblayant la crête sur 3 m tout en resserrant en pied avec les matériaux déblayés. Egalement du fait du fort enfoncement de la rivière, le fond sera rehaussé de 60 à 80 cm. Ce rehaussement pourra se faire en profondeur avec du matériau « grossier » tel que les déblais et avec 30 cm de matériaux alluvionnaires 20mm-80mm.

9.3.4. Reméandrement

En amont de la zone remodelée, la rivière sera reméandrée sur 2.2 km environ. Tenant compte du fort enfoncement de la rivière sur le secteur ce reméandrement s'accompagnera par un remodelage du lit majeur.. Le lit projeté aura la géométrie suivante :

- Largeur variant entre 30 et 40 m avec un lit d'étiage ayant une largeur moyenne de 12 m ;
- Hauteur des berges moyenne de 1m ;
- Pente moyenne du lit de 0.001% ;
- Débordements pour le module.

Ainsi, la section devra varier sur tout le linéaire en termes de largeur, profondeur et fruit de talus afin de constituer une zone d'habitats diversifiés. Egalement le lit sera alluvionné avec les sédiments disponibles dans le lit actuel ainsi que par des éventuels apports.

9.3.5. Schéma des aménagements

9.3.5.1. Vue en travers

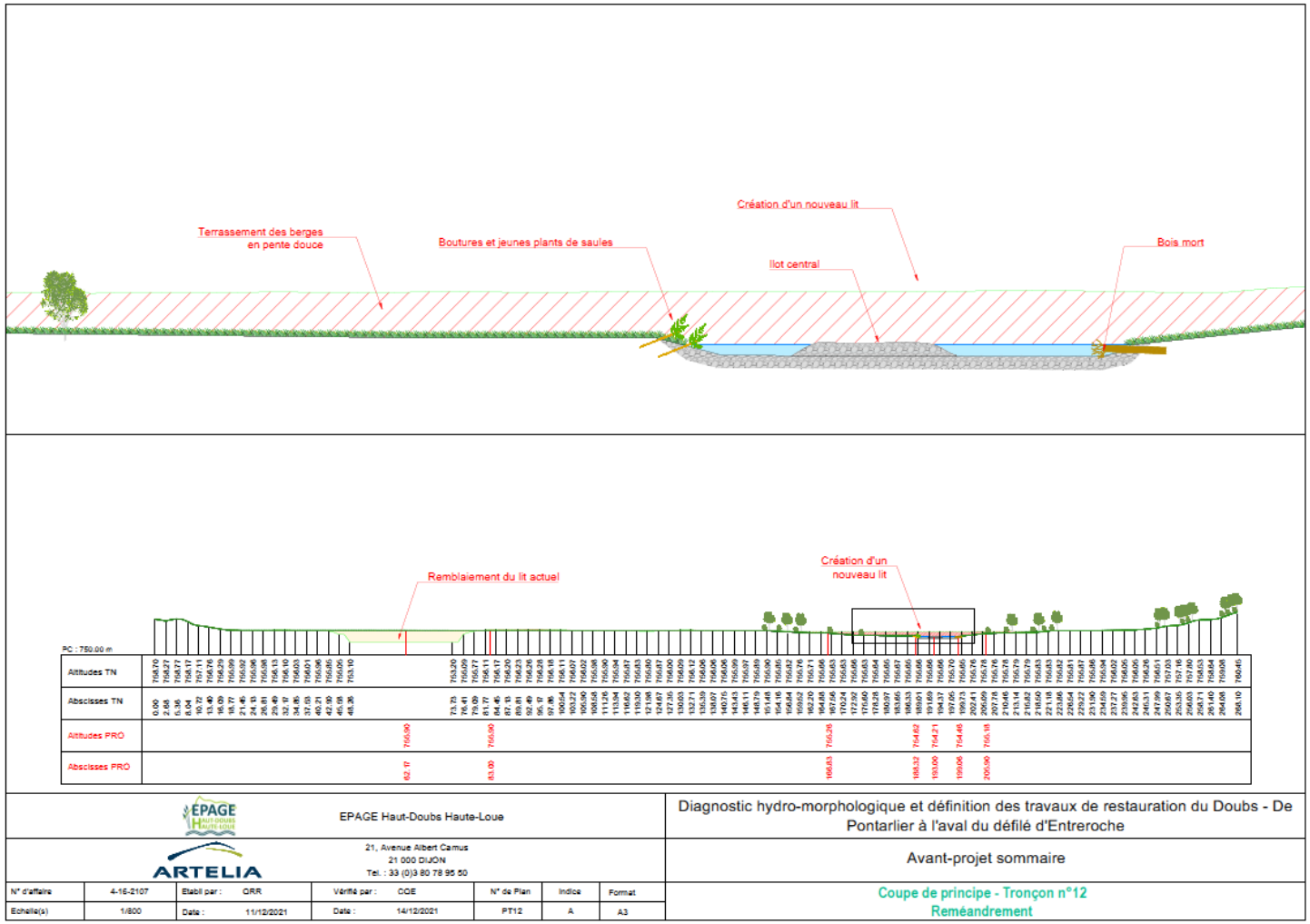


Figure 43 - Vue en travers de l'aménagement, tronçon 12

9.3.5.2. Vue en plan

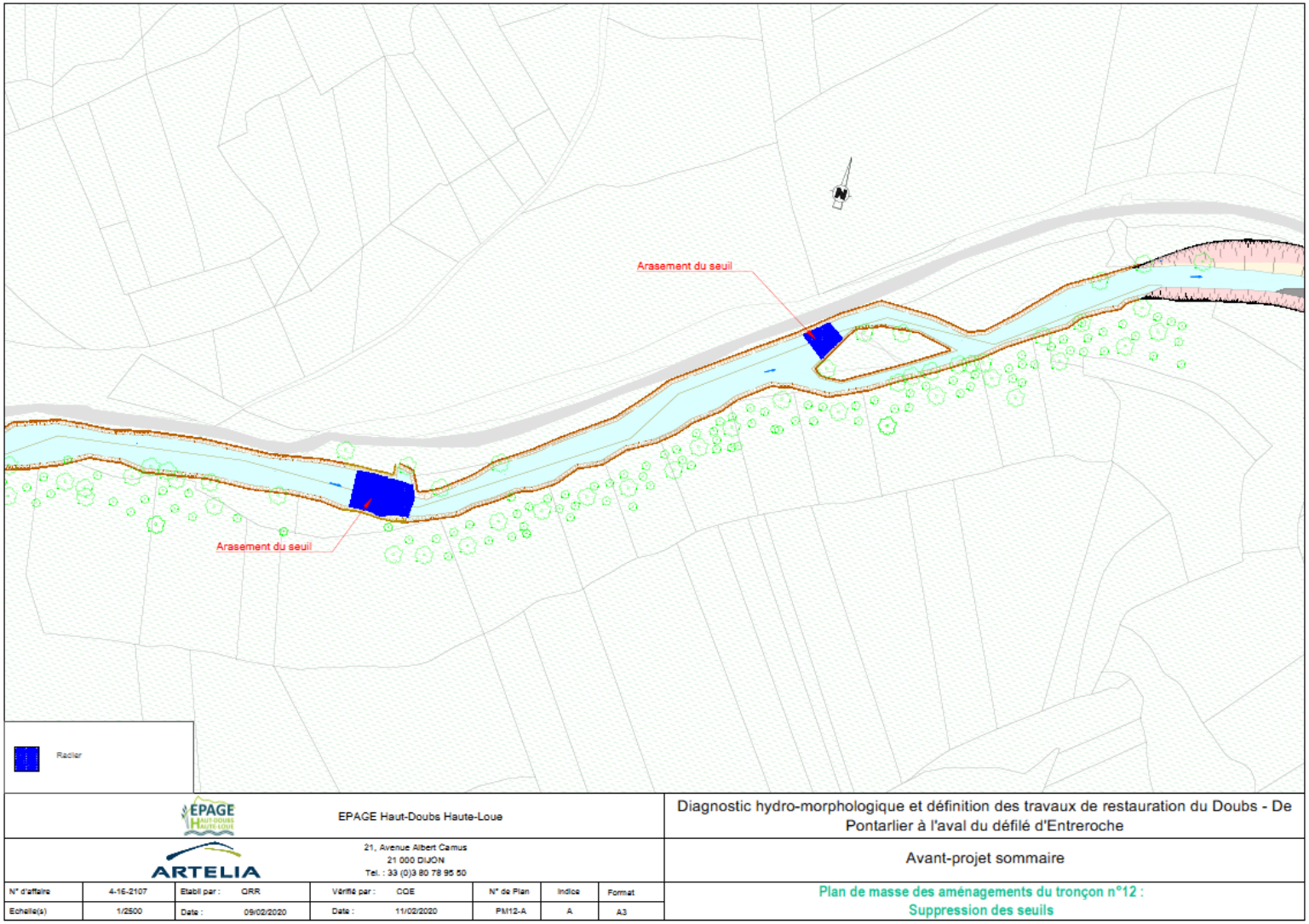


Figure 44 - Vue en plan des aménagements, Tronçon 12 1/2

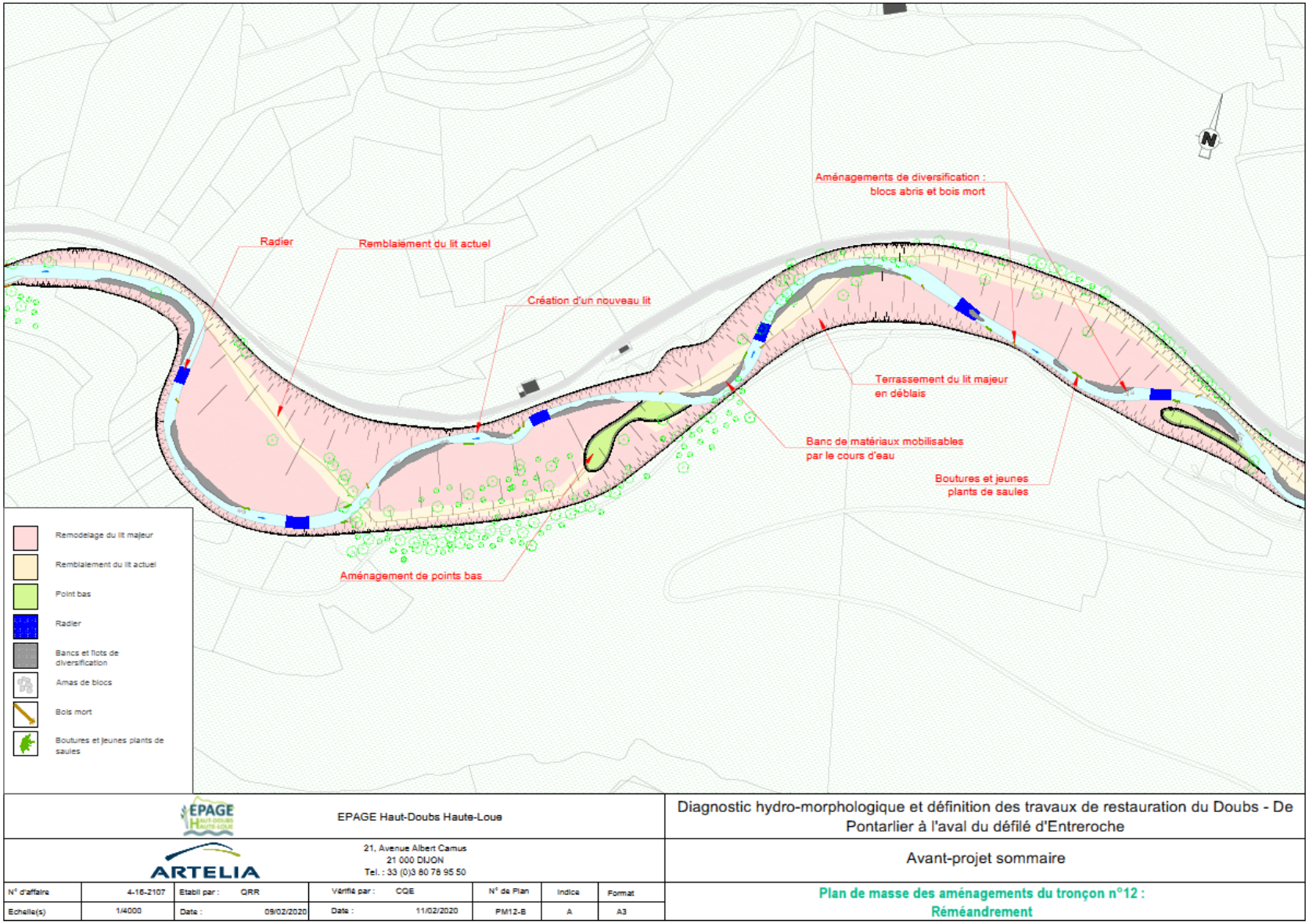


Figure 45 - Vue en plan des aménagements, Tronçon 12 2/2

9.4. INCIDENCES

9.4.1. Incidences hydrauliques

Tableau 13 - Incidences hydrauliques sur le tronçon 12

Secteur	Débit	Niveau EI (m NGF)	Niveau aménagé (m NGF)	Delta (m)
En aval du coude de Remonot	QMNA5	755.21	754.83	-0.38
	Module	755.55	755.7	0.15
	Q2	757.45	757.51	0.06
	Q10	758.14	758.14	-
	PPRI	759.06	759.02	-
Défilé du coin de la roche	QMNA5	752.9	753.77	0.87
	Module	753.67	754.45	0.78
	Q2	755.5	755.82	0.32
	Q10	756.08	756.23	0.15
	PPRI	756.86	756.84	-

L'effacement de l'ouvrage amont aura pour effet de diminuer les niveaux d'eau observés sur ce secteur en étiage. Le reméandrement projeté envisageant un lit moins profond qu'actuellement, celui-ci s'accompagnera d'une augmentation des niveaux d'eau du site. Néanmoins du fait de l'effacement de l'ouvrage amont, de la présence du remous de Morteau en crue et du décaissement prévu du lit majeur, les incidences pour les crues exceptionnelles restent limitées.

9.4.2. Incidence morphologique

Le reméandrement permettra d'obtenir une grande hétérogénéité en termes de largeurs, profondeurs et vitesses. En effet le linéaire alternera entre des secteurs de radiers et de mouilles comme il est coutume sur les rivières méandriformes.

Egalement la suppression des ouvrages permettra une augmentation des vitesses au droit des retenues actuelles et une diversification des écoulements.

9.4.3. Incidence écologique

Le reméandrement et les effacements des ouvrages auront un impact positif sur la vie piscicole. Le gain hydro-écologique majeur sera apporté par la diversification des écoulements et des habitats du lit mineur. L'aménagement permettra d'améliorer la qualité physique et l'attractivité du secteur d'étude.

Le façonnage du lit avec des berges en pente douce avec l'implantation d'une végétation rivulaire diversifiée et connectée permettront de recréer des conditions favorables aux différentes phases de vie des espèces piscicoles en place.

En outre, le remodelage du lit majeur permettra la création ou l'amélioration de zones alluviales et humides ourlant le cours d'eau.

9.4.4. Impact socio-économique

Le reméandrement augmentera les débordements du secteur. Statistiquement 36 jours de débordements supplémentaires devraient être observés.

9.5. ETUDES COMPLEMENTAIRES

Pour ce projet les études complémentaires suivantes sont nécessaires :

- Topographie supplémentaire du secteur ;
- Inventaire Faune-Flore du fait des enjeux environnementaux (APB, ZNIEFF I).

9.6. PROCEDURE

Les procédures réglementaires à envisager pour la réalisation de ce scénario sont les suivantes :

- Dossier de déclaration au titre de la Loi sur l'eau, dont les principales rubriques concernées sont les suivantes :
    - Rubrique 3.3.5.0 : Travaux, définis par un arrêté du ministre chargé de l'environnement, ayant uniquement pour objet la restauration des fonctionnalités naturelles des milieux aquatiques, y compris les ouvrages nécessaires à cet objectif (Déclaration).
- DIG.

9.7. ESTIMATION FINANCIERE

DETAIL QUANTITATIF ESTIMATIF Restauration du Doubs de Pontarlier à l'aval du défilé d'Entreroche TRONÇON 12					
N°	DESIGNATION	UNITE	PRIX UNITAIRE en € HT	QUANTITE	MONTANT TOTAL € HT
0	**FRAIS DE CHANTIER**				**24 000.00 €**
0.1	Installation de chantier, yc signalisation, remise en état, …	Forf.	15 000.00 €	1.00	15 000.00 €
0.2	Etudes d'exécution, PAQ/PAE/PPSPS, implantation et piquetage	Forf.	3 500.00 €	1.00	3 500.00 €
0.3	Plan de récolement et Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE)	Forf.	3 500.00 €	1.00	3 500.00 €
0.4	Pêche de sauvetage	U.	2 000.00 €	1.00	2 000.00 €
1	**TRAVAUX PREPARATOIRES**				**8 000.00 €**
1.1	Déboisement/Recépage et débroussaillage du lit mineur (yc évacuation des débris végétaux)	Forf.	2 000.00 €	1.00	2 000.00 €
1.2	Gestion des eaux - batardage / pompage / décantation-filtration nécessaires	Forf.	6 000.00 €	1.00	6 000.00 €
2	**TERRASSEMENTS**				**1 105 000.00 €**
2.1	Déblai/remblai sur site	m3	8.00 €	110000.00	880 000.00 €
2.2	Décapage de la terre végétale (Extraction, stockage et réemploi)	m3	8.00 €	25000.00	200 000.00 €
2.5	Matériaux d'apports en 20-50 mm pour le réalluvionnement	m3	30.00 €	500.00	15 000.00 €
2.4	Matériaux d'apports en 150-250 mm pour radiers et renforcement	m3	30.00 €	100.00	3 000.00 €
2.4	Blocs en enrochement	m3	100.00 €	70.00	7 000.00 €
3	**PLANTATIONS**				**3 000.00 €**
3.1	Bouture de saules	U	3.00 €	1000.00	3 000.00 €
4	**AUTRE**				**7 000.00 €**
4.1	Démantèlement des ouvrages	Forf.	7 000.00 €	1.00	7 000.00 €
5	**DIVERS ET IMPREVUS (10%)**				**114 700.00 €**
			Total TRAVAUX HT		**1 261 700.00 €**
			TVA (20 %)		252 340.00 €
			Total TTC		**1 514 040.00 €**
B - Maîtrise d'œuvre					
1	**ETUDE DE CONCEPTION ET DOSSIERS REGLEMENTAIRES**				**90 000.00 €**
2	**ETUDES COMPLEMENTAIRES**				**13 200.00 €**
2.1	Topographie complémentaire	ml	1.00 €	3200.00	3 200.00 €
2.2	Inventaire Faune-Flore	Forf.	10 000.00 €	1.00	10 000.00 €
			Total MOE HT		**103 200.00 €**
			TVA (20 %)		20 640.00 €
			Total TTC		**123 840.00 €**
Total HT					**1 364 900.00 €**
TVA (20 %)					272 980.00 €
Total TTC					**1 637 880.00 €**

10. SYNTHESE

Tronçon	Linéaire	Commune concernée	Enjeux	Opérations projetées	Priorité	Incidences	Etudes complémentaires	Prix
1	263m	Doubs et Arçon	• Pertes • Présence de l'agglomération de Pontarlier en amont	Rehausse des fonds sur 50 cm max sur un linéaire de 263 m Mise en place de banquettes sur 263 m Mise en place d'éléments de diversification	Moyenne	• Hydraulique : Augmentation des niveaux d'eau de 60 cm en étiage et 20 cm pour la crue du PPRI • Morphologique : Augmentation de l'hétérogénéité du milieu, réactivation des processus sédimentaire • Ecologique : Diversification des habitats, amélioration des conditions d'étiage • Socio-économique : 73 jours de débordements supplémentaires	Topographie complémentaire	Travaux : 120 736.00 €HT soit 144 883.20 € TTC MOE : 12 336.60 € HT soit 14 803.92 € TTC TOTAL 133 072.60 € HT soit 159 687.12 €TTC
2	1387m	Doubs et Arçon	• Pertes • Incision et étalement de la lame d'eau en étiage • Zone humide	Reméandrement sur 600m Remodelage du lit majeur Comblement de l'ancien lit	Forte	• Hydraulique : Augmentation des niveaux d'eau de 1 m en étiage et 18 cm pour la crue du PPRI • Morphologique : Amélioration de l'hétérogénéité du milieu, • Ecologique : Diversification des habitats, amélioration des conditions d'étiage • Socio-économique : Débordements à partir du module soit environ 100 jours dans l'année	Topographie complémentaire Fouille à la pelle	Travaux : 340 780.00 €HT soit 408 936.00 € TTC MOE : 37 198.00 € HT soit 44 637.60 €TTC TOTAL 377 978.00 € HT soit 453 573.60 €TTC
				Rehausse des fonds sur 30 cm à 50 cm max sur un linéaire de 1.4 km Mise en place de banquettes Mise en place d'éléments de diversification		• Hydraulique : Augmentation des niveaux d'eau de 20 cm en étiage et 10 cm pour la crue du PPRI • Morphologique : Augmentation de l'hétérogénéité du milieu, réactivation des processus sédimentaire • Ecologique : Diversification des habitats, amélioration des conditions d'étiage • Socio-économique : 110 jours de débordements	Topographie complémentaire	Travaux : 466 081.00 € HT soit 559 297.20 € TTC MOE : 47 995.10 € HT soit 57 594.12 €TTC TOTAL 514 076.10 € HT soit 616 891.32 € TTC

3	2187m	Doubs et Arçon	• Pertes
			• Ouvrage
			• Traversée urbaine
				Effacement du seuil d'Arçon
				Remodelage au niveau de la traversée d'Arçon sur 500 m
				Rehausse des fonds en aval d'Arçon sur 30 cm sur un linéaire de 600m.
				Mise en place de banquettes
				Mise en place d'éléments de diversification
					Forte	• Hydraulique :
						  ○ Diminution des niveaux d'eau en amont du seuil d'Arçon ;
						  ○ Augmentation des niveaux d'eau en étiage sur 10 cm au niveau de la traversée, pas d'incidences en crue ;
						  ○ En aval d'Arçon : augmentation des niveaux d'étiage de 30 cm et de 5 cm pour les crues
						• Morphologique : Augmentation de l'hétérogénéité du milieu, réactivation des processus sédimentaire
							Topographie complémentaire	Travaux : 272 701.00 € HT soit 327 241.20 € TTC
								MOE : 29 457.10 € HT soit 35 348.52 € TTC
								TOTAL 302 158.10 € HT soit 362 589.72 € TTC

						• Ecologique : Diversification des habitats, amélioration des conditions d'étiage • Socio-économique : 55 jours de débordements supplémentaires		
5	2518m	Arçon, Maisons-du-Bois	• Pertes • Incision et étalement de la lame d'eau en étiage • Zone humide	Rehausse des fonds sur 20 cm à 60 cm max sur un linéaire de 2,5 km Mise en place de banquettes Mise en place d'éléments de diversification	Forte	• Hydraulique : Augmentation des niveaux d'eau de 40 cm en étiage et 9 cm pour la crue du PPRI • Morphologique : Augmentation de l'hétérogénéité du milieu, réactivation des processus sédimentaire • Ecologique : Diversification des habitats, amélioration des conditions d'étiage • Socio-économique : 15 jours de débordements supplémentaires	Topographie complémentaire	Travaux : 1 045 990.00 € HT soit 1 255 188.00 € TTC MOE : 92 518.00 € HT soit 111 021.60 € TTC TOTAL 1 138 508.00 € HT soit 1 366 209.60 € TTC
6	1010m	Maisons-du-Bois	• Pertes • Ouvrage • Traversée urbaine	Effacement des deux ouvrages avec reprise du profil en long sur 400m et restauration des retenues par réinjection et diversification	Faible	• Hydraulique : Diminution des niveaux d'eau allant jusqu'à -1.7m en amont du barrage amont • Morphologique : Diversification des écoulements, augmentation des vitesses • Ecologique : Restauration de la continuité écologique, diversification des habitats • Socio-économique : Incidence sur le bâti riverain à appréhender avec de la géotechnique, comblement des canaux usiniers	Topographie complémentaire Expertise géotechnique Expertise géophysique	Travaux : 460 680.00 € HT soit 552 816.00 € TTC MOE : 71 768.00 € HT soit 86 121.60 € TTC TOTAL 532 448.00 € HT soit 638 937.60 € TTC
7	3330m	Maisons-du-Bois, Hauterive-la-Fresse, Montbenoît	• Incision et étalement de la lame d'eau en étiage • Piétinement • Remblais en lit majeur • Zone humide	Rehausse des fonds sur 40 à 70 cm max sur un linéaire de 3.3 km Mise en place de banquettes Mise en place d'éléments de diversification Remodelage sur 260 m au niveau du remblai en lit majeur Mise en défense de l'aval du tronçon sur 500 m	Forte	• Hydraulique : Augmentation des niveaux d'eau de 30 cm en étiage et 10 cm pour la crue du PPRI • Morphologique : Augmentation de l'hétérogénéité du milieu, réactivation des processus sédimentaire • Ecologique : Diversification des habitats, amélioration des conditions d'étiage • Socio-économique : 15 jours de débordements supplémentaires	Topographie complémentaire	Travaux : 2 162 600.00 € HT soit 2 595 120.00 € TTC MOE : 93 300.00 € HT soit 111 960.00 € TTC TOTAL 2 255 900.00 € HT soit 2 707 080.00 € TTC
8	1055m	Montbenoît	• Répartition de débits • Ouvrage • Traversée urbaine • Présence d'invasives	Mise en place d'un ouvrage permettant l'écoulement de l'intégralité du débit en étiage dans un unique bras en rive droite. Remodelage du bras en rive droite sur 300 m Gestions des espèces invasives	Moyenne	• Hydraulique : Augmentation des niveaux d'eau de 10 cm en étiage, aucune incidence en crue • Morphologique : Augmentation de l'hétérogénéité du milieu • Ecologique : Diversification des habitats, amélioration des conditions d'étiage • Socio-économique : Canal usinier à sec en étiage	Topographie complémentaire	Travaux : 30 680.00 € HT soit 36 816.00 € TTC MOE : 15 055.00 € HT soit 18 066.00 € TTC TOTAL 45 735.00 € HT soit 54 882.00 €TTC
9	2391m	Montbenoît, Ville-du-Pont	• Incision et étalement de la lame d'eau en étiage	Rehausse des fonds sur 30 à 60 cm max sur 900 m Mise en place de banquettes sur 1.3 km	Forte	• Hydraulique :	Topographie complémentaire	Travaux : 599 060.00 €HT soit 718 872.00 €TTC

			• Traversée urbaine • Drains • Zone humide	Mise en place d'éléments de diversification sur 1.3 km Remodelage sur 1.3 km Comblement des drains en rive gauche		○ En amont de Ville-du-Pont : augmentation des niveaux d'eau de 70 cm en étiage et 15 cm pour la crue du PPRI ; ○ Au niveau de Ville-du-Pont et en aval : aucune incidence hydraulique • Morphologique : Augmentation de l'hétérogénéité du milieu, réactivation des processus sédimentaire • Ecologique : Diversification des habitats, amélioration des conditions d'étiage • Socio-économique : 20 jours de débordements supplémentaires		MOE : 61 206.00 € HT soit 73 447.20 € TTC TOTAL 660 266.00 € HT soit 792 319.20 € TTC
12	4180	Les Combes, Grand'Combe-Châteleu	• Incision et étalement de la lame d'eau en étiage • Ouvrages • Environnement : zones humides, APB, ZNIEFF I • Monument historique à proximité	Suppression des ouvrages du tronçon et mise en place de radiers structurant Reméandrement sur 2.3 km avec modelage du lit majeur Remodelage et rehausse sur l'aval du tronçon sur 650m	Faible	• Hydraulique : ○ En aval de Remonot : diminution des niveaux d'étiage, pas de modification en crue ○ Au niveau du Défilé du coin de la Roche : Augmentation des niveaux d'eau de 87 cm en étiage et diminution des écarts avec l'augmentation des débits • Morphologique : Augmentation de l'hétérogénéité du milieu, • Ecologique : Diversification des habitats, amélioration de la connectivité du milieu • Socio-économique : 36 jours de débordements supplémentaires	Topographie complémentaire Expertise Faune-Flore	Travaux : 1 261 700.00 € HT soit 1 514 040.00 € TTC MOE : 103 200.00 € HT soit 123 840.00 € TTC TOTAL 1 364 900.00 € HT soit 1 637 880.00 € TTC

Total général	6 810 965.70 € HT
Total priorité forte	4 734 810.10 € HT
Total priorité moyenne	178 807.60 € HT
Total priorité faible	1 897 348 € HT

PLAN DES AMENAGEMENTS