

Etude de définition de la restauration hydromorphologique de la Mauvaise dans le secteur de la rue du Lac à Saint- Symphorien-d'Ancelles (71)

Phase 1 - Collecte et analyse des données disponibles et terrain

Affaire n°BOUP230050 suivie par Grégory MARCAGGI - 06 74 89 97 45 -
gregory.marcaggi@irh.fr



IRH Ingénieur Conseil
Zone Industrielle Chaponnay Sud
190 rue Louise Labé
CS 18001
69967 CHAPONNAY
www.groupeirhenvironnement.com/fr/contact/ingenieur-conseil

Fiche synthétique

Etude de définition de la restauration hydromorphologique de la Mauvaise dans le secteur de la rue du Lac à Saint-Symphorien-d'Ancelles (71)

CLIENT

Mâconnais-Beaujolais Agglomération

67 Esplanade du Breuil
71 000 MACON

Mme BORDET Marylee

RAPPORT D'IRH INGÉNIEUR CONSEIL

Date de remise	25 Juillet 2023
Responsable de l'offre	Grégory MARCAGGI
Domaine de compétence / métier	Aménagements hydrauliques et milieux aquatiques
Thématique principale	Ecomorphologie
Affaire n°	BOUP230050
Version n°	1

	Nom	Fonction	Date	Signature
Rédaction	MAISONNEUVE P.	Ingénieure d'étude	Juillet 2023	
Approbation	MARCAGGI G.	Ingénieur projet	Juillet 2023	

IRH Ingénieur Conseil est certifié :



Portées communiquées sur demande

Sommaire

1. Objet de la consultation.....	6
1.1. Contexte et objectifs	6
1.2. Analyse préliminaire de la problématique	7
2. Contexte du secteur d'étude	8
2.1. Le contexte réglementaire	8
2.1.1. La Directive Cadre sur l'Eau (DCE)	8
2.1.2. Le SDAGE bassin Rhône-Méditerranée	9
2.1.3. Le contrat territorial de milieu	9
2.1.4. Le PGRI (plan de gestion des risques d'inondation)	11
2.2. Le contexte environnemental	11
2.2.1. Le bassin versant de la Mauvaise	11
2.2.2. Le contexte géologique	12
2.2.3. Le contexte hydrologique	13
2.2.4. Le contexte hydrobiologique	13
2.2.5. Les milieux naturels	16
3. Phase 1 - Collecte et analyse des données disponibles et terrain	18
3.1. Données analysées	18
3.1.1. Etudes antérieures	18
3.1.2. Données iconographiques	18
3.1.3. Levés topographiques	18
3.2. Analyse historique	19
3.2.1. Cartographies anciennes	19
3.2.2. Photographies aériennes	19
3.3. Fonctionnement hydromorphologique	20
3.3.1. Tracé en plan	20
3.3.2. Profil en long	20
3.3.3. Section transversale	20
3.3.4. Nature des berges	21
3.3.5. Granulométrie	22
3.3.6. Faciès d'écoulement	24
3.3.7. Hydrodynamique	25
3.4. Fonctionnement biologique	29
3.4.1. Continuité écologique	29
3.4.2. Végétation rivulaire	29
3.4.3. Qualité habitationnelle	29

3.5. Occupation des sols	31
3.6. Inspection du pont communal	31
3.6.1. Diagnostic visuel	31
3.6.2. Préconisations	36
4. Phase 2 - Calculs hydrauliques	37
4.1. Détermination des débits de référence	37
4.1.1. Etudes existantes.....	37
4.1.2. Cartographie consensuelle nationale ONEMA/IRSTEA.....	37
4.1.3. Quantiles SHYREG.....	37
4.1.4. Analyse régionale	38
4.1.5. Calculs empiriques.....	38
4.1.6. Synthèse des débits retenus.....	39
4.2. Construction du modèle	39
4.2.1. Logiciel utilisé	40
4.2.2. Typologie et architecture du modèle	40
4.2.3. Hypothèses et paramétrages retenus	41
4.3. Résultats de la modélisation en état initial	42
4.3.1. Fonctionnement en basses eaux	42
4.3.2. Fonctionnement en crue	44
5. Synthèse et pistes de réflexion pour la restauration du linéaire	47
5.1. Synthèse du diagnostic.....	47
5.2. Protection de berge et réduction des contraintes hydrauliques	47
5.3. Renaturation du linéaire.....	49

Tables des illustrations

Figure 1 : Localisation du linéaire d'étude	6
Figure 2 : Localisation des bassins versants du Beaujolais (source : SMRB)	10
Figure 3 : Localisation du secteur de projet par rapport aux bassins versants des rivières du Beaujolais .	12
Figure 4 : Structure géologique du bassin versant (source : http://infoterre.brgm.fr/viewer/MainTileForward.do)	13
Figure 5 : Localisation des stations de mesures du suivi qualité des rivières du Beaujolais (Source : Abiolab)	14
Figure 6 : ZNIEFF de type 1 : Prairie inondable du Val de Saône de Varennes à Saint-Symphorien- d'Annelles (source : https://www.geoportail.gouv.fr/).....	17
Figure 7 : ZNIEFF de type 2 : Saône aval et confluence avec la Seille (source : https://www.geoportail.gouv.fr/)	17
Figure 8 : Extrait de la Carte d'État-major (https://remonterletemps.ign.fr/)	19
Figure 9 : Evolution du linéaire suite à la création de l'A6 (1945, 1967 et 1971)	20
Figure 10 : Profil en long (Hydrotopo, mai 2023).....	20
Figure 11 : Sections transversales de la Mauvaise	21
Figure 12 : coupe lithologique des berges.....	22

Figure 13 : berge en remblais en amont du pont communal.....	22
Figure 14 : Granulométrie	23
Figure 15 : Localisation du relevé granulométrique.....	23
Figure 16 : Succession des faciès d'écoulement	24
Figure 17 : Fosse d'affouillement / Plat lentique / Plat courant / Radier.....	25
Figure 18 : Dalle effondrée	25
Figure 19 : Evolution de la section transversale (profil 1).....	26
Figure 20 : Evolution de la section transversale (profil 5).....	26
Figure 21 : Photos prises en août et novembre 2016	27
Figure 22 : Photos prises novembre 2016 et avril 2017	27
Figure 23 : Berge en mai 2023.....	27
Figure 24 : Evolution de la crête de berge entre 2011 et 2014.....	28
Figure 25 : Affaissement de la berge en amont de la rue du Lac.....	28
Figure 26 : Berges colonisées par les EEE	29
Figure 27 : Abris sous berges fonctionnels mais trop peu présents.....	30
Figure 28 : Radier et dynamique favorable pour la faune aquatique	30
Figure 29 : abris sous berge hors d'eau.....	30
Figure 30 : Vue aérienne montrant la différence d'occupation des sols rive gauche/rive droite	31
Figure 31 : Coupe schématique de l'affouillement de l'assise et photo de la culée concernée	32
Figure 32 : Déstabilisation et déjointoiement des pierres du parapet côté rive droite.....	33
Figure 33 : Déstabilisation et déjointoiement des pierres du parapet côté rive gauche	33
Figure 34 : Déstabilisation de la protection de la culée en amont du pont	34
Figure 35 : Absence de protection de la berge en aval de la culée	34
Figure 36 : Dégradation du parement côté amont	35
Figure 37 : Tâches d'humidité sur la voûte	36
Figure 38 : Synoptique du modèle hydraulique réalisé.....	41
Figure 39 : Principes d'aménagement proposés	48
Figure 40 : Principes d'aménagement proposés	49

1. Objet de la consultation

1.1. Contexte et objectifs

La Mauvaise (U4310560) est un affluent de la Saône qui s'écoule à la fois sur les départements du Rhône et de la Saône-et-Loire.

Suite à la déstabilisation des berges sur le linéaire de la Mauvaise situé en aval de l'autoroute A6, et dans le cadre de sa compétence GEMAPI, Mâconnais Beaujolais Agglomération s'est engagée auprès des riverains impactés à lancer une étude destinée à concevoir un projet de restauration du cours d'eau et de ses berges.

L'objectif de la présente étude est tout d'abord de réaliser un état des lieux du linéaire de la Mauvaise en caractérisant la morphologie du cours d'eau mais également la nature des berges et l'état de conservation d'un ouvrage de franchissement communal. Le diagnostic sera complété par une analyse du fonctionnement hydraulique du linéaire afin de déterminer les contraintes qui s'exercent sur les berges et le fond du lit. Sur la base de ces éléments un projet sera étudié, il s'agira de proposer des aménagements permettant à la fois de résoudre les problèmes d'instabilité des berges et d'améliorer la qualité physique et biologique du linéaire.

L'étude se concentre sur un linéaire d'environ 450 mètres en aval de l'autoroute A6, sur la commune de Saint-Symphorien-d'Ancelles.

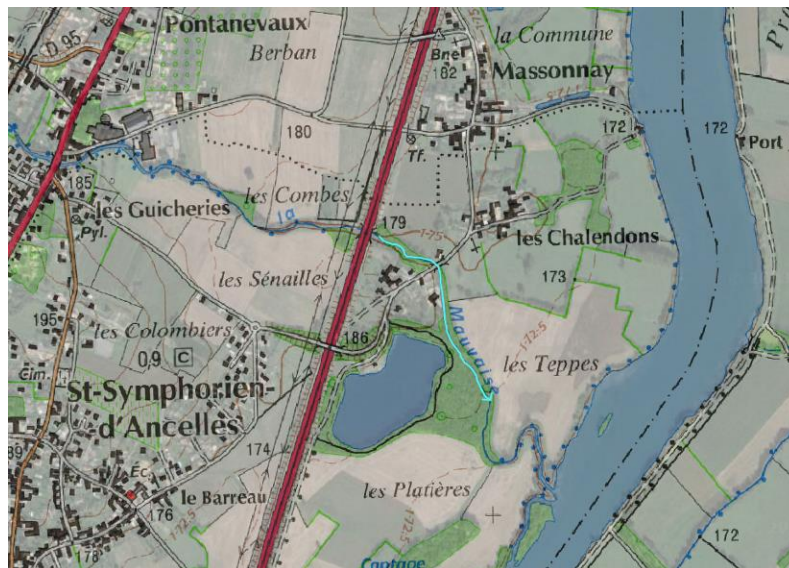


Figure 1 : Localisation du linéaire d'étude

L'étude s'articule en 3 phases :

- Phase 1 : Collecte et analyse des données disponibles et terrain
- Phase 2 : Calculs hydrauliques et puissance spécifique
- Phase 3 : Définition du projet de restauration physique du tronçon (AVP)

Le présent rapport correspond au rendu des phases 1 et 2.

1.2. Analyse préliminaire de la problématique

Sur le secteur d'étude, la Mauvaise s'écoule depuis une buse autoroutière de l'autoroute A6 jusqu'à la Saône, en passant sous le pont de la Rue du lac. Elle est bordée en rive gauche par des champs, et en rive droite par des habitations.

Les visites de terrain ont permis de mettre en valeur des dégradations liées à la morphodynamique du cours d'eau et des interventions qui ont pu être réalisées par le passé. En effet, les berges sont principalement composées de matériaux de remblais de mauvaise qualité responsables d'une mauvaise stabilité des berges.

De plus, la présence massive de renouée du Japon participe aux processus d'érosion à cause d'un système racinaire peu efficace pour tenir les sols. Les conséquences sur l'occupation des sols sont importantes avec la déstabilisation d'une dalle béton appartenant à un riverain et l'affaissement récent de la berge en amont du pont communal. Il en résulte un linéaire fortement dégradé, un lit encaissé et surdimensionné ainsi qu'une attractivité peu favorable pour la faune aquatique liée à une homogénéité des faciès d'écoulements.

2. Contexte du secteur d'étude

2.1. Le contexte réglementaire

2.1.1. La Directive Cadre sur l'Eau (DCE)

a. Les grands principes de la DCE

La Directive Cadre Européenne sur l'eau (n°2000/60/CE) a été adoptée le 23 Octobre 2000 par le Conseil et le Parlement européen. Cette Directive innove en définissant un cadre européen pour la politique de l'eau, en instituant une approche globale autour d'objectifs environnementaux avec une obligation de résultats. Elle fixe 3 objectifs environnementaux majeurs :

- stopper toute dégradation des eaux,
- parvenir d'ici à 2015 au bon état quantitatif et qualitatif des rivières, des eaux souterraines et côtières, avec des reports d'échéance possible en 2021 et 2027,
- réduire les rejets des substances prioritaires et supprimer à terme les rejets des substances "prioritaires dangereuses".

La DCE confirme et renforce les principes de la gestion de l'eau en France : gestion par bassin versant, gestion équilibrée de la ressource en eau et participation des acteurs. Elle va plus loin en introduisant trois notions majeures :

- la fixation d'objectifs de résultats environnementaux,
- la prise en compte des considérations socio-économiques,
- la participation du public.

L'autorité compétente pour l'application des Directives est le Préfet coordinateur de bassin. Les instances de bassin conservent leurs responsabilités opérationnelles (programmes pluriannuels d'intervention des agences de l'eau) et leurs responsabilités planificatrices (élaboration des SDAGE).

b. La définition des masses d'eau

La DCE définit le concept de « masse d'eau ». Une masse d'eau est une entité hydrologique cohérente (tronçon de cours d'eau, lac, étang, tout ou partie d'un ou plusieurs aquifères) d'une taille suffisante et présentant des caractéristiques physico-chimiques et biologiques homogènes. Chaque masse d'eau comporte un objectif de gestion déterminé tant du point de vue qualitatif que quantitatif.

Les masses d'eau sont soit, qualifiées de « naturelle » pour lesquelles est recherché le « bon état », soit qualifiées de « fortement modifiée » pour lesquelles est recherché le « bon potentiel ».

c. La caractérisation du bon état

Le « bon état » est recherché pour des masses d'eau superficielles naturelles. Il dépend de plusieurs compartiments :

L'atteinte du bon ou du très bon état écologique :

- L'état biologique est basé sur la qualité de la faune et de la flore aquatique défini par rapport au calcul de différents indices biologiques (IBMR, IBGN, IBD et IPR). L'évaluation de l'état biologique s'effectue au minimum sur la base d'un organisme « animal » et d'un organisme « végétal ».

- L'état est déterminé par la valeur la plus déclassante dans ce compartiment, il est distingué l'état biologique de l'état physico-chimique :
 - La qualité de certains paramètres physico-chimiques qui supportent la biologie comme le bilan oxygène, la température, les nutriments, l'acidification, la salinité, les polluants synthétiques spécifiques et les polluants non synthétiques spécifiques.

L'atteinte du bon état chimique :

- Il est fixé par rapport à une liste de 41 substances polluantes et dangereuses pour lesquelles il a été défini des seuils maximums à ne pas dépasser.

Pour chaque paramètre mesuré, on obtient une note qui le classe dans une couleur correspondant à l'état de la masse d'eau vis-à-vis de ce paramètre. Les codes couleurs vont du bleu (très bon état) au rouge (mauvais état). Le bon état d'une masse d'eau de surface est atteint lorsque son état écologique et son état chimique sont bons.

2.1.2. Le SDAGE bassin Rhône-Méditerranée

Le SDAGE est en cohérence avec la directive cadre européenne sur l'eau. Il fixe les objectifs de qualité et de quantité des eaux et les orientations permettant de satisfaire aux principes d'une gestion équilibrée et durable de la ressource en eau et du patrimoine piscicole définis par les articles L. 211-1 et L. 430-1 du code de l'environnement, tout en prenant en compte les adaptations nécessaires au changement climatique.

SDAGE Rhône-Méditerranée	
Période	2022-2027
Orientations fondamentales	• OF 0 : S'adapter aux effets du changement climatique • OF 1 : Privilégier la prévention et les interventions à la source pour plus d'efficacité • OF 2 : Concrétiser la mise en œuvre du principe de non-dégradation des milieux aquatiques • OF 3 : Prendre en compte les enjeux sociaux et économiques des politiques de l'eau • OF 4 : Renforcer la gouvernance locale de l'eau pour assurer une gestion intégrée des enjeux • OF 5 : Lutter contre les pollutions, en mettant la priorité sur les pollutions par les substances dangereuses et la protection de la santé • OF 6 : Préserver et restaurer le fonctionnement naturel des milieux aquatiques et des zones humides • OF 7 : Atteindre et préserver l'équilibre quantitatif en améliorant le partage de la ressource en eau et en anticipant l'avenir • OF 8 : Augmenter la sécurité des populations exposées aux inondations en tenant compte du fonctionnement naturel des milieux aquatiques

Tableau 1 : Synthèse des orientations du SDAGE 2022-2027 du bassin Rhône-Méditerranée

2.1.3. Le contrat territorial de milieu

La Mauvaise a été intégrée dans le contrat de Rivières du Beaujolais 2012-2017 porté par les Syndicat Mixte des Rivières du Beaujolais. Ce premier contrat de rivières sur le territoire du Beaujolais prend en compte un linéaire de plus de 500 km de cours d'eau sur le secteur. Les principaux bassins versants du territoire sont du nord au sud : l'Arlois, la Mauvaise, l'Ardières, la Vauxonne, le Nizerand, le Marverand et le Morgon.

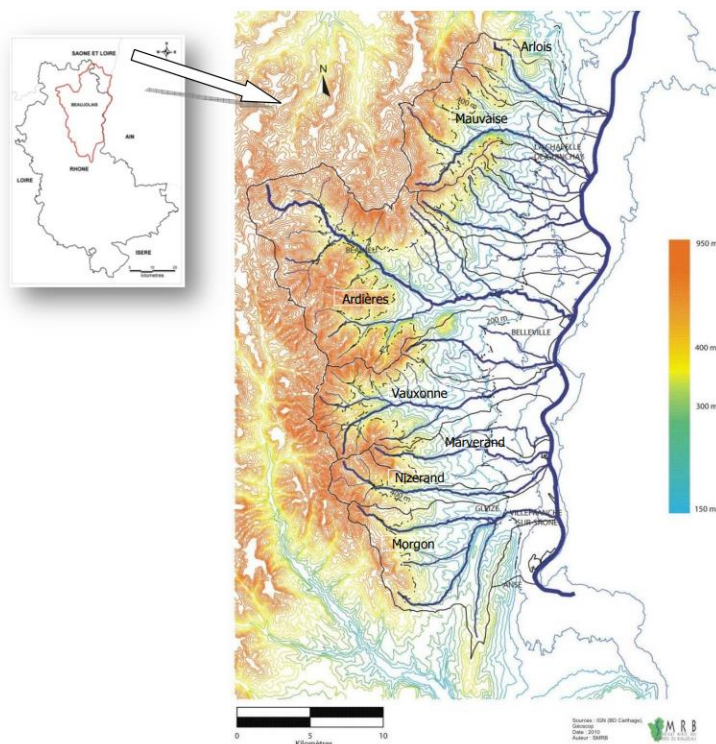


Figure 2 : Localisation des bassins versants du Beaujolais (source : SMRB)

Le Contrat des rivières du Beaujolais s'est articulé autour de 6 volets regroupant chacun plusieurs sous-objectifs :

Volet et sous-objectifs	Objectif visé
Volet A : Reconquérir une bonne qualité des eaux - Objectif A1 : Réduire les pollutions d'origine domestique - Objectif A2 : Réduire les pollutions phytosanitaires d'origine agricole - Objectif A3 : Réduire les pollutions d'origine industrielle	Atteinte du bon état écologique des eaux pour tous les paramètres (physico-chimique, hydrobiologique et pesticides)
Volet B1 : Restaurer les milieux aquatiques - Objectif B1-1 : Améliorer le fonctionnement physique et écologique des milieux aquatiques - Objectif B1-2 : Préserver et restaurer les zones humides	Restaurer le fonctionnement physique et écologique des rivières et zones humides du territoire afin d'améliorer leurs capacités autoépuratrices, d'améliorer la qualité chimique et hydrobiologique et la flore et faune de ces milieux
Volet B2 : Réduire les risques d'inondation	Réduire l'aléa inondation sur les bassins versants des rivières du Beaujolais
Volet B3 : Initier une gestion quantitative de la ressource en eau	Réduire l'impact des prélèvements sur l'hydrologie d'étiage
Volet B4 : Mettre en valeur les milieux aquatiques	Valoriser les patrimoines naturels et bâtis liés à l'eau et gérer le cadre de vie et d'accueil du public
Volet C : Pérenniser la gestion globale de l'eau sur les bassins versants du territoire	Sensibiliser la population et les différents acteurs locaux sur les enjeux de l'eau, mener à bien les actions du contrat de rivières Beaujolais et en mesurer les effets sur les milieux aquatiques

Tableau 2 : Synthèse des objectifs du Contrat des rivières du Beaujolais (2012-2017)

2.1.4. Le PGRI (plan de gestion des risques d'inondation)

Le plan de gestion des risques d'inondation (PGRI) 2022-2027 du bassin Rhône Méditerranée a été arrêté le 21 mars 2022 par le préfet coordonnateur du bassin. Son application est entrée en vigueur le 8 avril 2022.

Les 5 grands objectifs sont les suivants :

1. Mieux prendre en compte le risque dans l'aménagement et maîtriser le coût des dommages liés à l'inondation.
2. Augmenter la sécurité des populations exposées aux inondations en tenant compte du fonctionnement naturel des milieux aquatiques.
3. Améliorer la résilience des territoires exposés.
4. Organiser les acteurs et les compétences.
5. Développer la connaissance sur les phénomènes et les risques d'inondation.

2.2. Le contexte environnemental

2.2.1. Le bassin versant de la Mauvaise

Le bassin versant de la Mauvaise se situe à cheval entre les départements du Rhône et de la Saône-et-Loire, avec une surface de 52 km², il s'étend sur 7 communes. La Mauvaise prend sa source près de Vauxrenard (69) à une altitude de 845 m et rejoint la Saône au niveau de Saint Symphorien d'Ancelle (71), à une altitude de 170 m, avec une pente moyenne de 3.8 %. Ses 5 affluents principaux, situés en rive gauche, sont le Ru des Planches, le Ru de Changy, le Merdenson, le Cotoyon et le bief des Rizières.

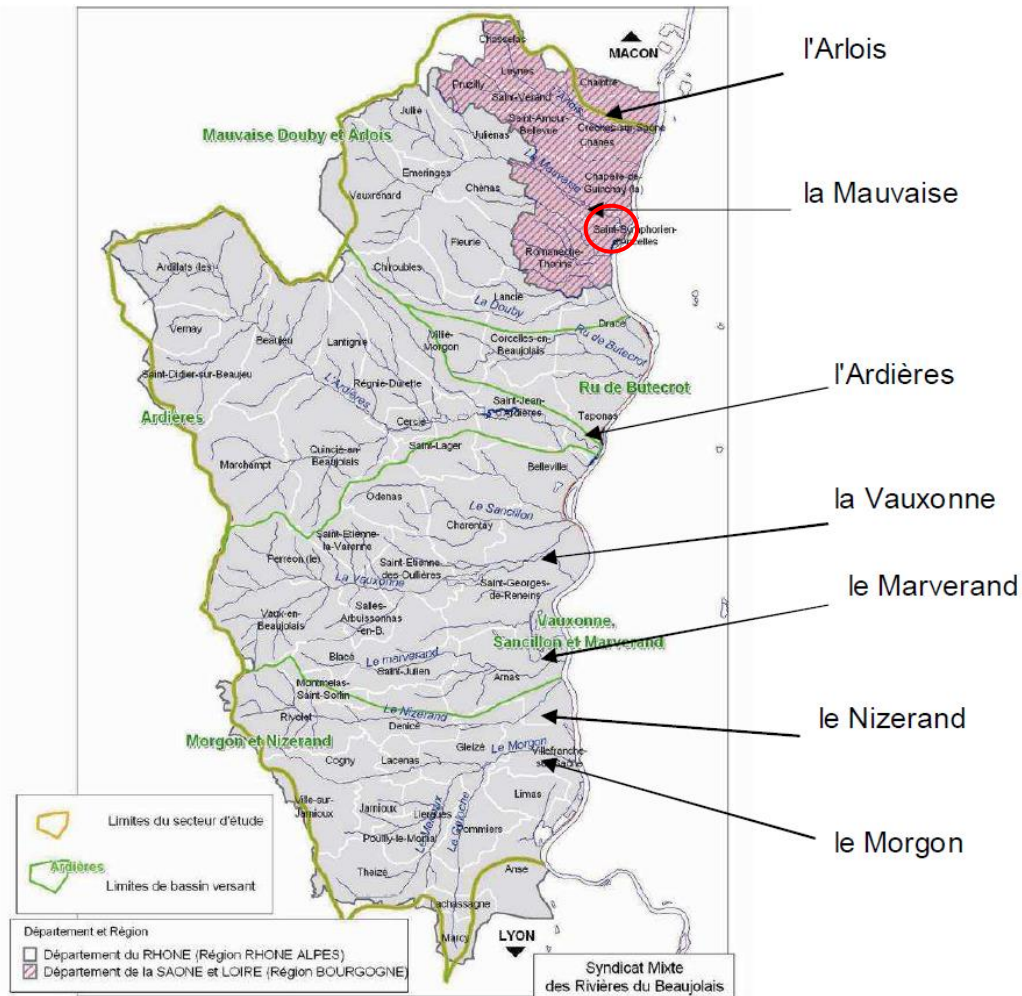


Figure 3 : Localisation du secteur de projet par rapport aux bassins versants des rivières du Beaujolais

Le linéaire total de la Mauvaise est d'environ 18 km. Au droit de la zone d'étude le cours d'eau développe un tracé d'environ 450 m.

2.2.2. Le contexte géologique

Le bassin versant de la Mauvaise couvre deux types d'affleurements géologiques : en amont des granites du primaire, et en aval des alluvions quaternaires. Sur la zone d'étude, la Mauvaise s'écoule sur des Cônes de déjection actuels et récents.

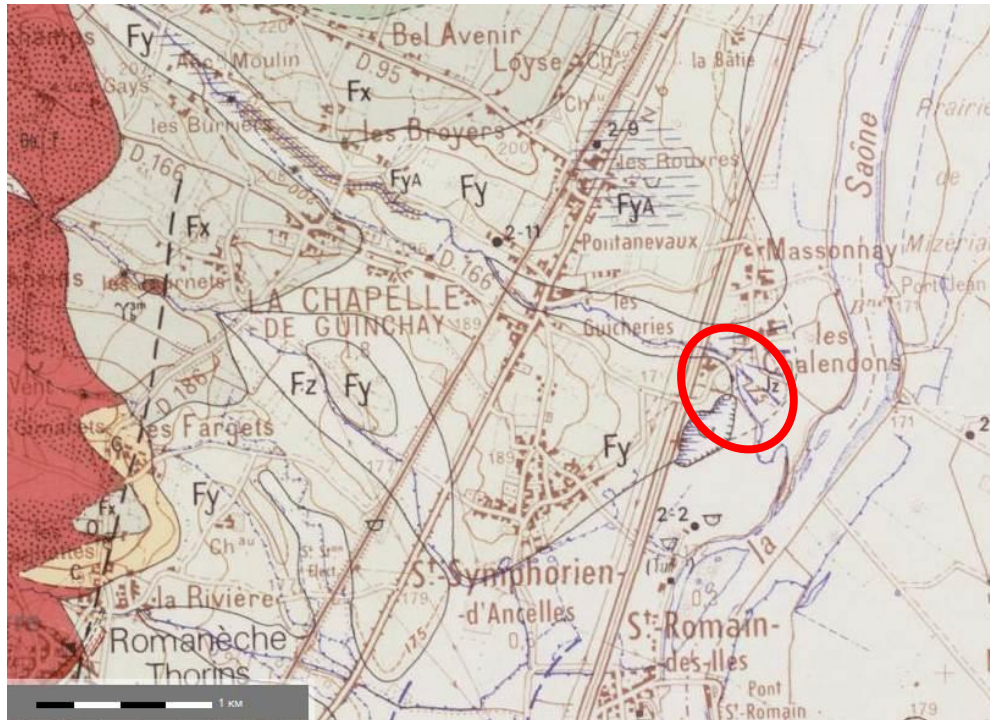


Figure 4 : Structure géologique du bassin versant (source : <http://infoterre.brgm.fr/viewer/MainTileForward.do>)

2.2.3. Le contexte hydrologique

La Mauvaise tire son nom de la violence et la rapidité de ses événements de crue. Cependant, aucune chronique de débit n'est recensée car aucune station hydrométrique n'est présente sur le bassin versant de la Mauvaise ou sur ses affluents. Par conséquent, les débits de référence seront déterminés en s'appuyant sur des études antérieures et les stations hydrométriques localisées à proximité.

Deux rivières du Beaujolais sont instrumentées : l'Ardière à Beaujeu et le Morgon à Villefranche-sur-Saône.

2.2.4. Le contexte hydrobiologique

a. La qualité de l'eau

Un suivi de la qualité des rivières du Beaujolais a été effectué en 2018 par Abiolab. Le bassin versant de la Mauvaise a été instrumenté de 8 stations de mesures sur la Mauvaise et 3 de ses affluents : le ruisseau des Planches, Le Merdenson et le ruisseau de Cotoyon.

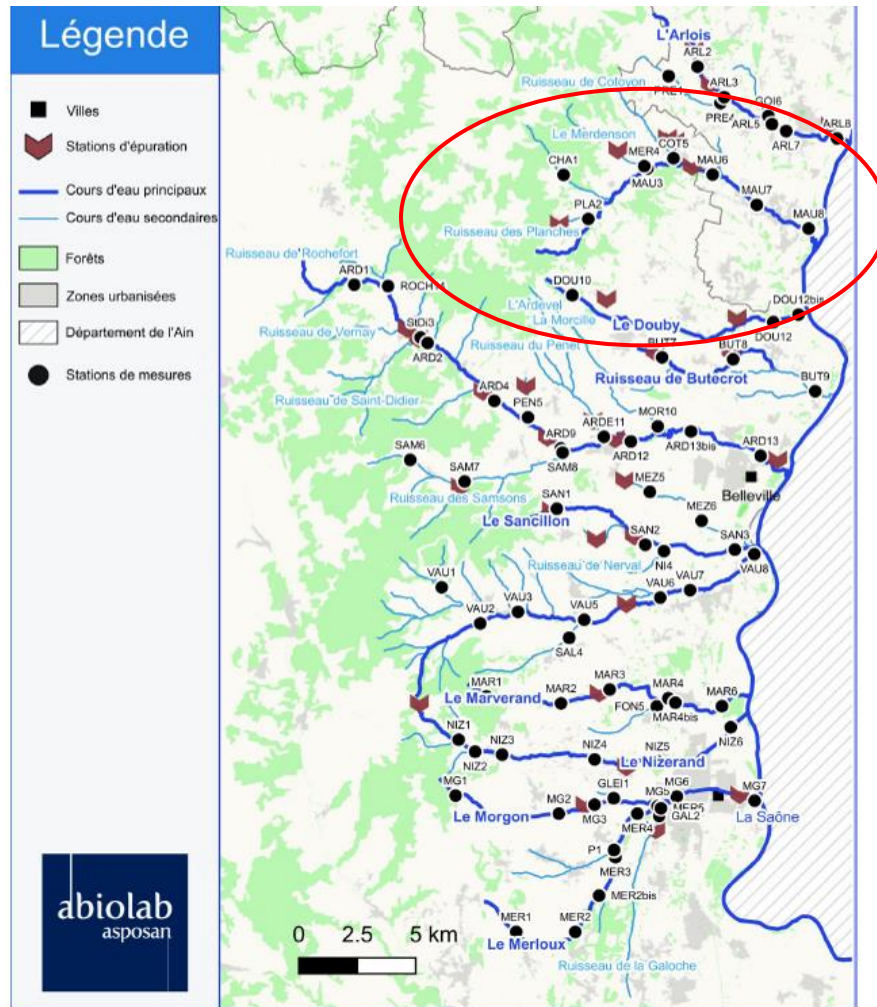


Figure 5 : Localisation des stations de mesures du suivi qualité des rivières du Beaujolais (Source : Abiolab)

Le tableau ci-dessous présente la qualité physico-chimique de la Mauvaise sur les différentes stations étudiées en 2018. La qualité physico-chimique des rivières a été déterminée à partir des éléments de qualité « Bilan de l'oxygène » (paramètres Oxygène dissous, taux de saturation en O2 dissous, DBO5, Carbone organique dissous), « Température » (paramètre température de l'eau), « Nutriments » (paramètres Orthophosphates, Phosphore, NH4, NO3, NO2) et « Acidification » (paramètre Potentiel hydrogène).

	Bilan de l'oxygène	Température	Nutriments	Acidification	Qualité physico-chimique 2018
CHA1	Bon	Très bon	Médiocre	Très bon	Médiocre
PLA2	Très bon	Très bon	Médiocre	Très bon	Médiocre
MAU3	Moyen	Très bon	Moyen	Très bon	Moyen
MER4	Moyen	Très bon	Médiocre	Très bon	Médiocre
COT5	Mauvais	Très bon	Mauvais	Très bon	Mauvais
MAU6	Moyen	Très bon	Médiocre	Très bon	Médiocre
MAU7	Moyen	Bon	Médiocre	Très bon	Médiocre
MAU8	Moyen	Moyen	Médiocre	Très bon	Médiocre

Tableau 3 : résultats du suivi de la qualité physico-chimique de la Mauvaise en 2018 (Source : Abiolab)

La qualité physico-chimique de l'eau de la Mauvaise est globalement médiocre. A noter que le bassin de la Mauvaise est particulièrement pollué en orthophosphates et en phosphore.

b. Le contexte piscicole

Un suivi piscicole et astacicole du Beaujolais a été mené par la Fédération du Rhône et de la Métropole de Lyon pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique en 2008 et 2017 dans le cadre du Contrat de Rivières du Beaujolais.

Le suivi de 2018 de 4 stations sur le bassin de la Mauvaise et les données disponibles depuis 1989 montrent une évolution positive des populations de truites Fario, due à l'amélioration de la qualité de l'eau entraînée par la diminution de l'utilisation de produits phytosanitaires. Cependant, les échanges avec la Fédération de pêche de Saône-et-Loire dans le cadre de l'étude indiquent un déclin des populations de truite Fario ces dernières années. La situation peut être mise en relation avec l'augmentation des températures observées depuis 2019.

L'évolution des Indices Poisson Rivières (IPR) sur les différentes stations est présentée ci-dessous :

Cours d'eau	Commune	Lieu-dit	Code Station	Biotype	IPR 2007	IPR 2013	IPR 2015	IPR 2017	IPR 2017 expertisé
Mauvaise	Vauxrenard	Les Combiers (RSTBV)	MAUVA-05	B2	17,7	16,0	13,6	14,2	bonne
Mauvaise	Emeringes	Chizot	MAUVA-04	B3		16,2	13,9	17,3	bonne
Mauvaise	Juliéas	Le Fief	MAUVA-03	B3,5		15,1	14,9	14,3	bonne
Mauvaise	La Chapelle de Guinchay	Amont Béton France	MAUVA-02	B5	36,4	18,5	24,4	27,4	médiocre

Tableau 4 : Evolution des résultats IPR depuis 2017 sur la Mauvaise

(Source : Fédération du Rhône et de la Métropole de Lyon pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique)

c. Qualité hydrobiologique

Dans le cadre du suivi de la qualité des rivières du Beaujolais réalisé en 2018 par Abiolab, la qualité biologique de la Mauvaise a été évaluée au droit de 7 stations. Elle est évaluée à travers plusieurs indices, notamment l'indice biologique invertébré (IBG-DCE) et l'indice biologique diatomées (IBD).

	IBG-DCE 2018	IBD 2018	Etat Biologique 2018
CHA1	Bon	Moyen	Moyen
PLA2	Moyen	Moyen	Moyen
MAU3	Moyen	Moyen	Moyen
MER4	Moyen	Moyen	Moyen
COT5	Moyen	Moyen	Moyen
MAU6	Médiocre	Moyen	Médiocre
MAU8	Moyen	Moyen	Moyen

Tableau 5 : Qualité biologique de la Mauvaise (Source: Abiolab)

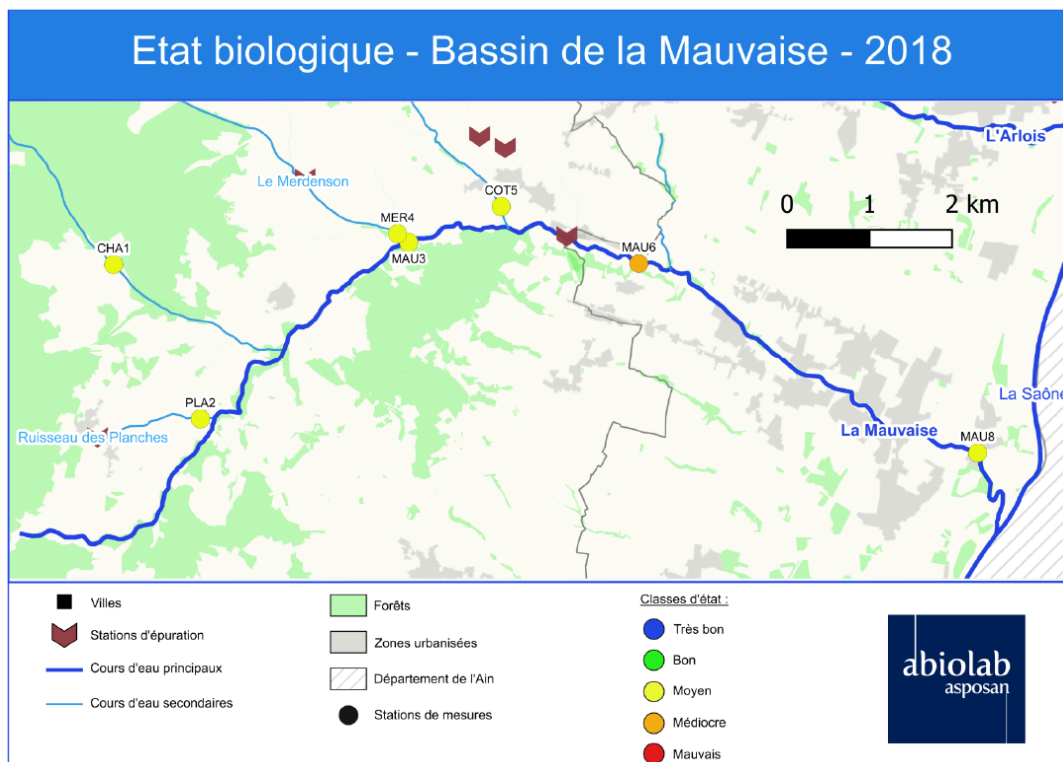


Tableau 6 : Carte de synthèse de la qualité biologique de la Mauvaise (Source : Abiolab)

L'état biologique global du bassin de la Mauvaise est moyen.

2.2.5. Les milieux naturels

a. Périmètres de protection

Le linéaire d'étude se situe dans une ZNIEFF de type 1 : « Prairie inondable du Val de Saône de Varennes à Saint-Symphorien-d'Ancelles » ainsi que dans une ZNIEFF de type 2 : « Saône aval et confluence avec la Saône » (source : <https://www.geoportail.gouv.fr/>).

Le bassin versant de la Mauvaise n'est pas concerné par des sites NATURA 2000.



Figure 6 : ZNIEFF de type 1 : Prairie inondable du Val de Saône de Varennes à Saint-Symphorien-d'Annelles
(source : <https://www.geoportail.gouv.fr/>)



Figure 7 : ZNIEFF de type 2 : Saône aval et confluence avec la Seille (source : <https://www.geoportail.gouv.fr/>)

b. Les zones humides

Aucune zone humide d'importance internationale (sites Ramsar) n'est recensée sur le bassin versant de la Mauvaise.

3. Phase 1 - Collecte et analyse des données disponibles et terrain

3.1. Données analysées

3.1.1. Etudes antérieures

Les études suivantes ont pu être consultées et analysées :

- Fédération du Rhône et de la Saône-et-Loire pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique 2008, *Etude piscicole et astacicole des rivières du Beaujolais*,
- GéoPlusEnvironnement 2010, *Etude hydrologique et hydraulique des rivières du Beaujolais*,
- EMA Conseil / Eau & Territoires 2016, *Etude sur les débits réservés des plans d'eau et biefs des bassins versants du Beaujolais*,
- Fédération du Rhône et de la Métropole de Lyon pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique 2018, *Suivi piscicole et astacicole des rivières du Beaujolais*,
- Abiolab Asposan 2018, *Suivi de la qualité des rivières du Beaujolais*.

3.1.2. Données iconographiques

Sur la période allant de 1932 à 2014 nous avons travaillé sur la base des campagnes de photographies aériennes suivantes :

Photographies aériennes de l'IGN	Campagnes												
	1932	1945	1954	1960	1963	1971	1981	1983	1992	1994	2005	2011	2014

Tableau 7 : Photographies aériennes de l'IGN (source : <https://remonterletemps.ign.fr/>)

En complément et sur une période plus ancienne nous avons pu consulter :

- 1757 : Carte de Cassini,
- 1840 : Carte d'État-major.

3.1.3. Levés topographiques

Afin de caractériser la morphologie de la Mauvaise, de simuler les écoulements et de dimensionner les aménagements, des levés topographiques ont été réalisés par le cabinet Hydrotopo.

Les données topographiques suivantes sur la rivière ont été relevées :

- 15 profils en travers,
- 2 ouvrages d'art (ponts),
- 1 profil en long sur 685 mètres.

Ces levés topographiques ont été réalisés les 11 et 15 mai 2023.

3.2. Analyse historique

Dans un premier temps nous avons cherché à caractériser l'évolution morphologique du cours d'eau à partir des données iconographiques anciennes. L'objectif étant de prendre connaissance d'éventuelles modifications morphologiques apportées au linéaire, soit par le biais de travaux de rectification soit des ajustements liés à des crues importantes.

3.2.1. Cartographies anciennes

L'analyse des cartographies anciennes (cadastre Napoléonien et carte d'Etat-Major) n'indique pas de profonds changements morphologiques du linéaire. Le tracé est relativement stable et correspond au tracé actuel. Sur la période 1820 - 1930, aucune évolution n'est observée.



Figure 8 : Extrait de la Carte d'Etat-major (<https://remonterletemps.ign.fr/>)

3.2.2. Photographies aériennes

Sur la période 1932-2014 aucune évolution du tracé du cours d'eau n'est visible sur les photographies aériennes. Sur la période 1967-1971 il y a eu la création de l'autoroute A6 en amont du secteur d'étude et l'aménagement d'un ouvrage de franchissement de la Mauvaise. Dans le même temps on observe le creusement d'un étang dont les matériaux extraits ont très certainement été utilisés pour la construction de l'infrastructure routière.

Cependant, si l'échelle des photographies aériennes ne permet pas d'observer de grands changements morphologiques, la visite de terrain a mis en évidence la mise en place de remblais en berge notamment au droit des habitations. L'étude plus détaillée de l'érosion active au droit des habitations précisera les interventions effectuées entre 2011 et 2014.



Figure 9 : Evolution du linéaire suite à la création de l'A6 (1945, 1967 et 1971)

3.3. Fonctionnement hydromorphologique

3.3.1. Tracé en plan

A l'échelle du bassin versant, la Mauvaise présente un tracé sinueux, avec un indice de sinuosité de 1,2. Sur le linéaire d'étude, la Mauvaise présente un tracé plus rectiligne, avec un indice de sinuosité de 1,1.

3.3.2. Profil en long

Sur l'ensemble du linéaire d'étude, la pente est relativement régulière avec une valeur moyenne de 0,35 %. En effet, on n'observe pas de ruptures significatives sur le linéaire. Seule une fosse d'affouillement est présente au niveau du pont de la Rue du Lac. Celle est favorisée par la situation en extrados de l'ouvrage et les piles de l'ouvrage qui représentent un point dur et favorise des contraintes érosives plus importantes. Le profil en long met également en évidence une succession de mouilles et de radiers ou plats courants.

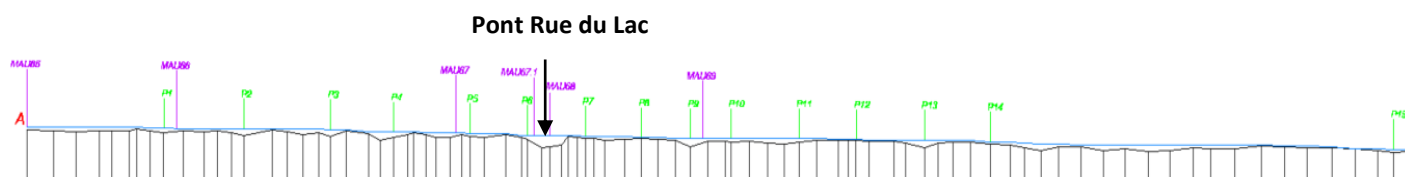


Figure 10 : Profil en long (Hydrotopo, mai 2023)

3.3.3. Section transversale

Sur l'ensemble du linéaire, la Mauvaise présente une section homogène, avec des largeurs d'ouverture de 10 à 20 m. En fond de lit la largeur varie de 5 à 8 mètres. Les hauteurs de berge sont comprises entre 2 et 3 mètres et traduisent une incision généralisée du linéaire. Les pentes de berge sont fortes voire subverticales avec un fruit supérieur à 1H/1H.

A noter que les profils en travers mettent en évidence le rehaussement des berges avec la mise en forme de merlons.

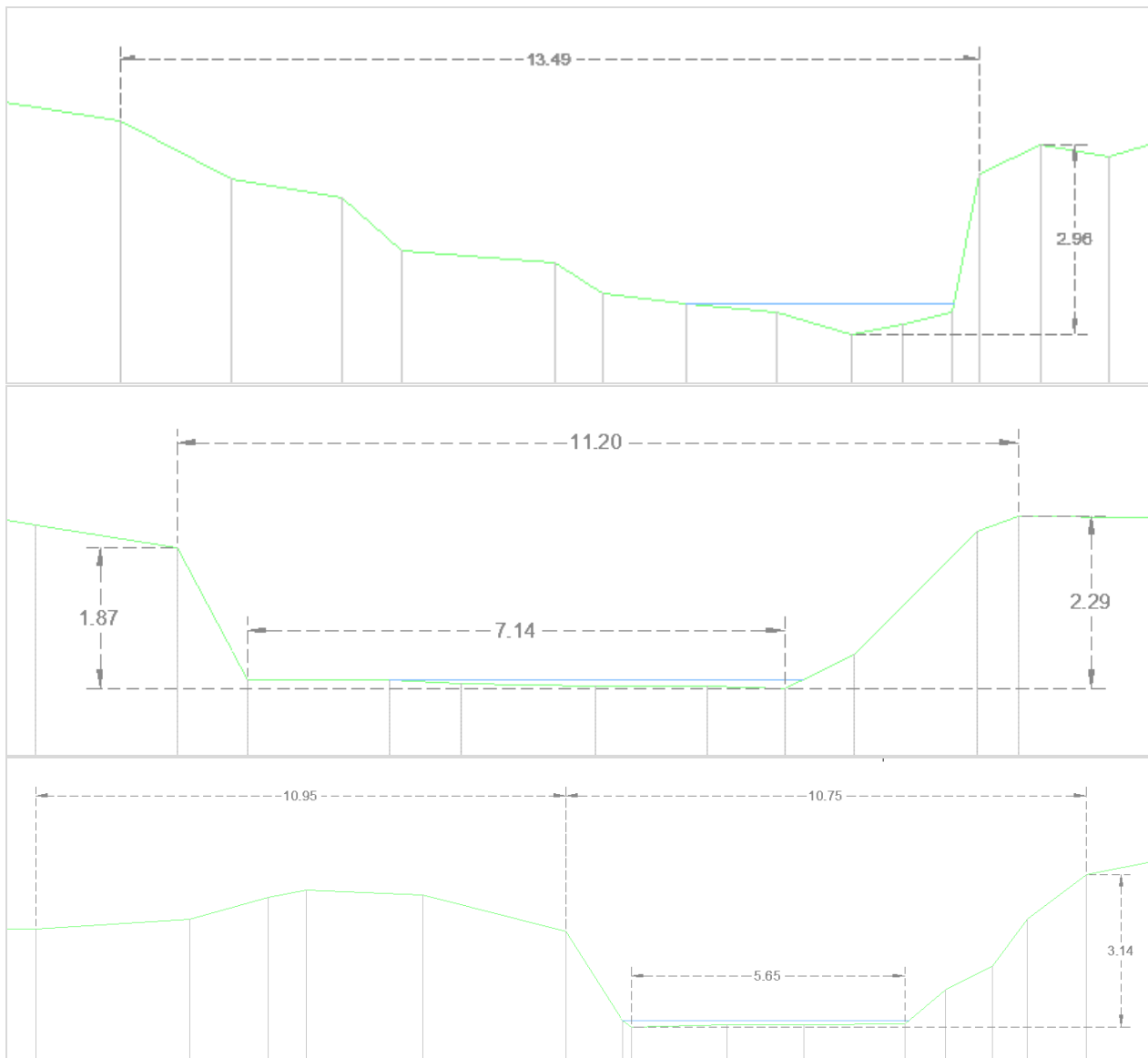


Figure 11 : Sections transversales de la Mauvaise

3.3.4. Nature des berges

Les berges sont principalement composées de matériaux argilo-limoneux cohésifs qui repose sur une couche de matériaux graveleux d'environ 0,50 m d'épaisseur à environ 2m de profondeur depuis la crête de berge. La domination de formations cohésives qui explique notamment la faible divagation latérale de la Mauvaise. En effet, dans ce type de formation l'ajustement morphologique se fait principalement verticalement.



Figure 12 : coupe lithologique des berges

Au droit des habitations, les berges ont fait l'objet de remblaiement avec une grande proportion de déchets, ainsi on recense des tessons de bouteille, des gravats, de la vaisselle, des sacs plastiques... Au-delà de la pollution que cela engendre ces matériaux fragilisent les berges et sont défavorables à la formation d'habitats, en revanche ils offrent un terrain favorable à la renouée du Japon qui a massivement colonisé les berges.



Figure 13 : berge en remblais en amont du pont communal

3.3.5. Granulométrie

Un relevé granulométrique a été effectué sur un atterrissement de la Mauvaise, situé entre le pont autoroutier et le pont de la rue du Lac. Les classes granulométriques observées s'étendent des cailloux fins (16 à 32 mm) aux cailloux grossiers (32 à 64 mm) avec une matrice fine composée principalement de sables. Ces mesures sont utiles d'une part pour la modélisation hydraulique et d'autre part pour la conception du projet en phase 3. Les diamètres caractéristiques sont présentés dans le tableau ci-dessous :

	Diamètre (mm)
d₁₀	17
d₅₀	26
d₉₀	44

Tableau 8 : Diamètres caractéristiques du relevé granulométrique effectué sur la Mauvaise



Figure 14 : Granulométrie



Figure 15 : Localisation du relevé granulométrique

3.3.6. Faciès d'écoulement

Les faciès d'écoulement rencontrés sont directement influencés par la morphologie du cours d'eau et notamment la sinuosité et la forme du profil en long. D'après la classification établie par J. R. Malavoi et Y. Souchon (2022) quatre principaux faciès d'écoulement sont présents : les plats lents, les plats courants, les radiers et une fosse d'affouillement. Les radiers représentent 45% du linéaire, les plats courants 36% et les plats lents 15%. Par conséquent on observe une majorité de zones dynamiques.

Cette alternance de zones lentes et de zones plus dynamiques est favorable à la diversification des écoulements et la variété des habitats. A noter que la présence d'atterrissements favorise la sinuosité du lit d'étiage et la réduction de la section d'écoulement ce qui permet de rehausser les hauteurs d'eau et de dynamiser les écoulements.

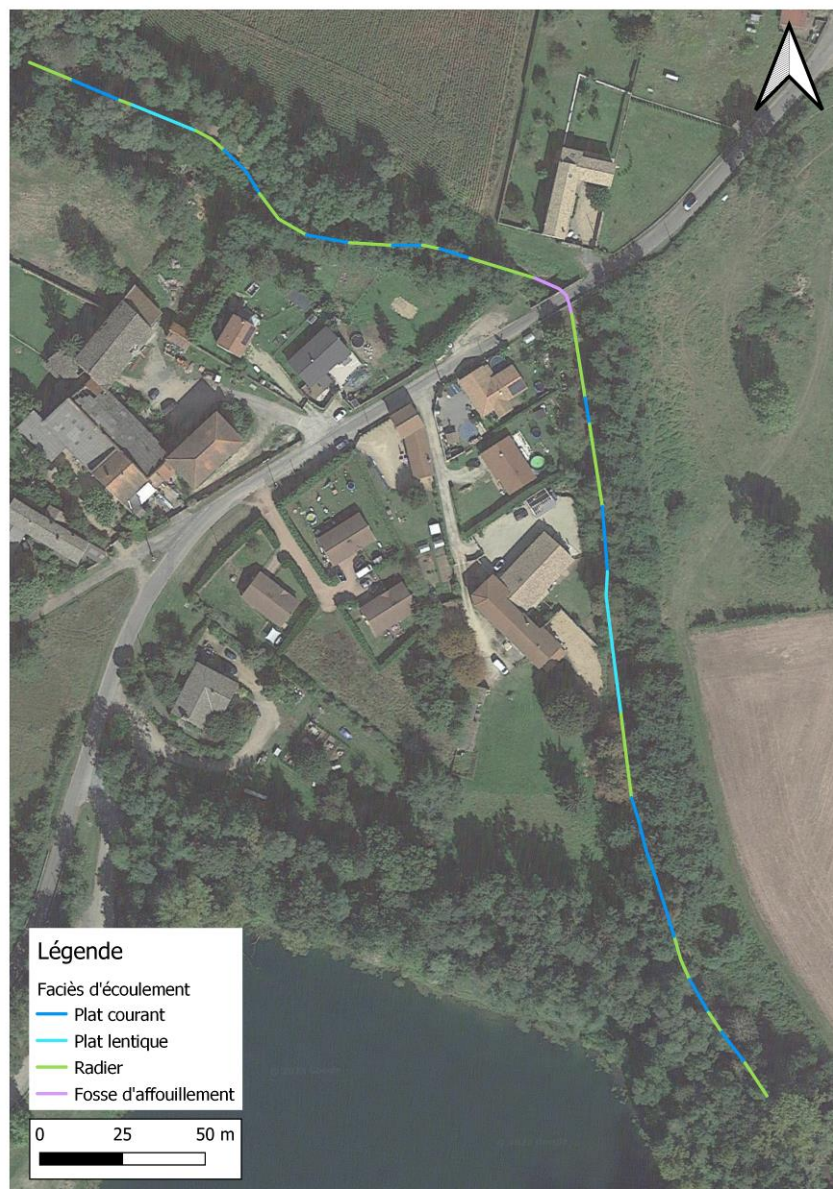


Figure 16 : Succession des faciès d'écoulement



Figure 17 : Fosse d'affouillement / Plat lentique / Plat courant / Radier

3.3.7. Hydrodynamique

3.3.7.1. A l'échelle du linéaire d'étude

L'analyse de terrain et les données topographiques mettent en évidence une incision du lit sur l'ensemble du linéaire alors que la divagation latérale est plutôt faible à l'échelle des dernières décennies. En effet, la hauteur de berge est importante, entre 2 et 3 mètres. La déconnexion du système racinaire du lit d'été illustre également le processus d'incision.



Figure 18 : Dalle effondrée

La section transversale située environ 80 mètres en amont du pont communal présente plusieurs marches qui semblent correspondre à différents niveaux du lit et caractérisent l'évolution du lit.

Des levés topographiques ont été réalisés sur le même linéaire au cours de l'année 2021, ainsi nous avons pu effectuer une comparaison des sections transversales.

Au droit du profil 1 situé en aval de l'autoroute A6, on observe un déplacement du lit d'étiage de la rive gauche vers la rive droite en 2 ans. Concernant la cote altimétrique du fond de lit il y a un delta d'environ 30 cm, cette valeur n'est pas suffisamment marquée pour traduire une incision du lit sur cette période et ce d'autant plus que les profils sont distants d'environ 6 mètres.

En revanche, il faut souligner la création d'un merlon en rive droite d'environ 0,50 m très certainement pour se protéger de la montée des eaux.

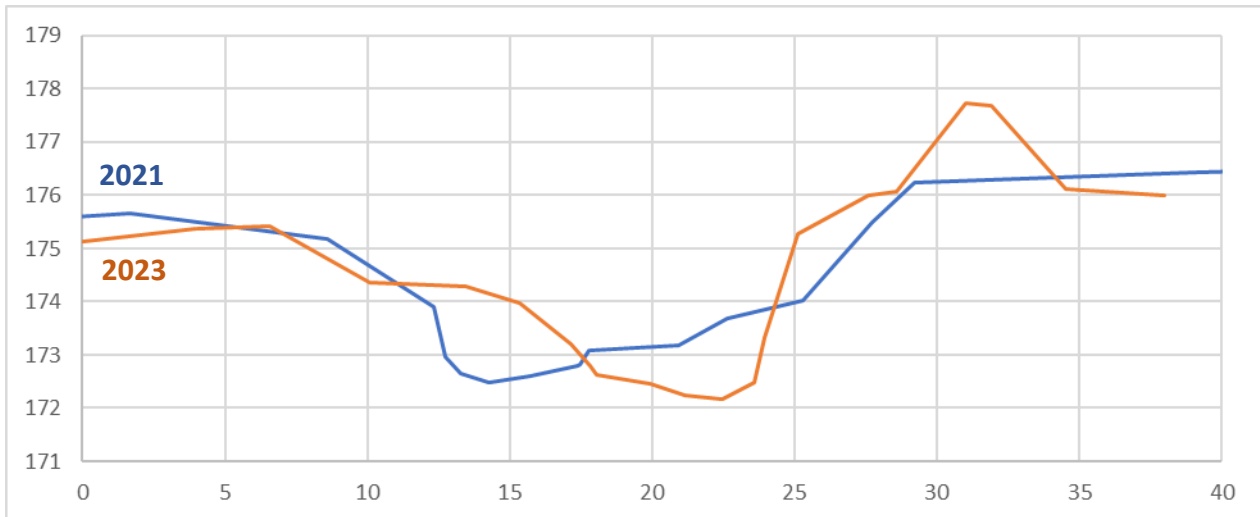


Figure 19 : Evolution de la section transversale (profil 1)

Au droit des profils 5 et 6 la morphologie du lit est plutôt stable.

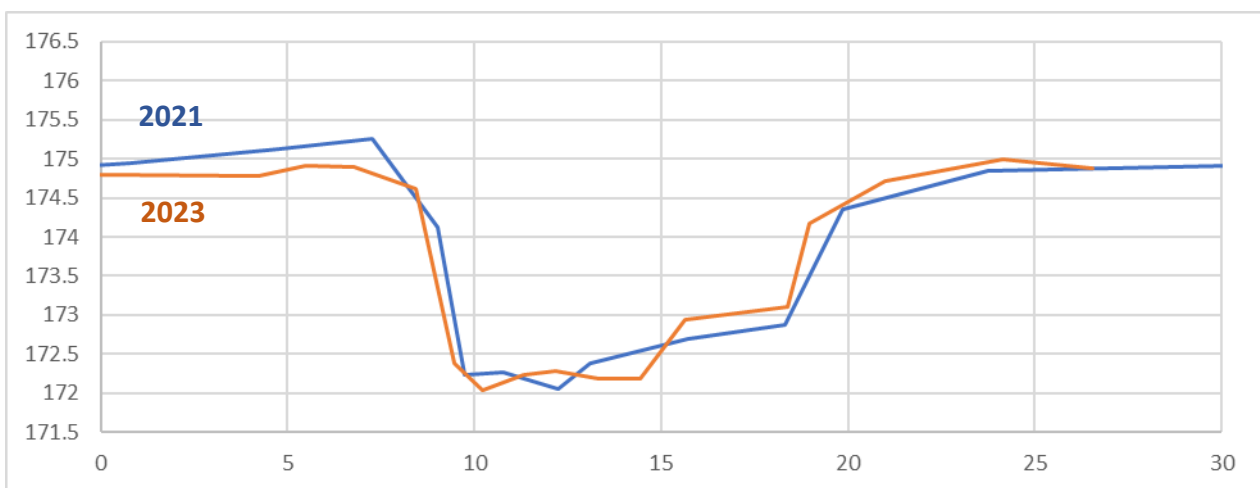


Figure 20 : Evolution de la section transversale (profil 5)

3.3.7.2. Au droit des habitations

Au droit des habitations situées en aval du pont communal, une érosion de berge significative est en cours et menace directement les aménagements réalisés par les riverains. En effet, une dalle béton située en crête de berge a été emportée en rive droite.

D'après les informations collectées auprès de la commune et de communauté d'agglomération, les premiers signes de déstabilisation datent du mois d'août 2016.



Figure 21 : Photos prises en août et novembre 2016



Figure 22 : Photos prises novembre 2016 et avril 2017



Figure 23 : Berge en mai 2023

Plusieurs facteurs sont responsables de la déstabilisation de berge. Tout d'abord, la berge a fait l'objet d'une reconfiguration avec la mise en place de remblais de très mauvaise qualité. Les photos de 2016 permettent de voir la présence de renouée du Japon qui favorise l'instabilité des berges. Ensuite, le riverain concerné par l'affaissement de la dalle béton a très certainement monté un mur verticale sans aucune fondation en profondeur. Les fortes contraintes hydrauliques favorisées par ce point dur ont entraîné l'affouillement de l'aménagement et son basculement dans le cours d'eau. En retrait du mur des matériaux drainants type graviers ont été mis en place ce qui rend la berge d'autant plus fragile

après la chute du mur. A ce jour, la menace d'érosion de la berge en cas de fortes crues est toujours d'actualité.

Une analyse fine des photographies aériennes révèle que la berge a fait l'objet d'aménagements entre août 2011 et septembre 2014. En effet, la berge en 2011 est irrégulière et végétalisée alors qu'en 2014 on constate une crête de berge rectiligne et régulière.



Figure 24 : Evolution de la crête de berge entre 2011 et 2014

L'analyse des stations hydrométriques situées à proximité de la zone d'étude indiquent que des crues de fréquence biennale se sont produites en juillet 2016. Compte tenu de la fragilité de l'aménagement réalisé en l'absence de fondations profondes, du point dur créé et de l'absence d'étalement de la lame d'eau possible compte de la morphologie du lit en rive gauche, une crue biennale peut engendrer des dégradations importantes.

En amont du pont communal, un affaissement de la berge a été également observé au cours des deux dernières années. Cette évolution est moins documentée il est par conséquent plus difficile de l'expliquer. Cependant, la berge est située en extrados et sur le linéaire en amont immédiat des remblais remplis de déchets sont présents. De plus, le talus est infesté de renouée du Japon. L'ensemble de ces éléments favorise la fragilité de la berge. En juillet un événement quinquennale s'est produit sur le bassin versant du Morgon, il pourrait être à l'origine de cette évolution.



Figure 25 : Affaissement de la berge en amont de la rue du Lac

3.4. Fonctionnement biologique

3.4.1. Continuité écologique

Le linéaire d'étude ne présente aucun obstacle à la continuité écologique. L'ouvrage de l'A6 et le pont communal sont transparents au transit sédimentaire et à la migration piscicole.

3.4.2. Végétation rivulaire

La ripisylve est continue sur le linéaire d'étude. Parmi les essences présentes, on recense des arbres et arbustes parfaitement adaptés au cours d'eau avec principalement de l'Aulne, du Saule et du Frêne mais elles sont très fortement concurrencées par les espèces exotiques envahissantes. En effet, le Robinier faux acacia et surtout la renouée du Japon colonisent massivement les berges de la Mauvaise. Ces essences n'offrent pas un habitat favorable pour la faune aquatique et terrestre et le système racinaire ne stabilise pas les berges. A noter que sur les atterrissements, on observe un développement spontané de l'Aulne et du Saule. L'absence de crues morphogènes pourrait à terme conduire à l'obstruction de la section transversale.



Figure 26 : Berges colonisées par les EEE

3.4.3. Qualité habitationnelle

Malgré une alternance des faciès d'écoulement et une granulométrie favorables pour la faune aquatique, la qualité habitationnelle de la Mauvaise sur le linéaire étudié est globalement faible. D'une part, les zones d'écoulements lenticques présentent un important colmatage du fond de lit et d'autre part, l'attractivité est faible. Cela s'explique par la nature des matériaux qui composent les berges, la présence d'une végétation pas adaptée, renouée du Japon principalement, et de l'incision du lit qui a déconnecté les systèmes racinaires. La densité des abris sous berge est faible, seulement quelques souches et embâcles sont présents sur le linéaire. Enfin comme évoqué précédemment l'augmentation des températures de l'eau est également un critère limitant.



Figure 27 : Abris sous berges fonctionnels mais trop peu présents

Sur la moitié aval du linéaire, la section d'écoulement est globalement plus large ce qui favorise un étalement de la lame d'eau et réduit la diversité.



Figure 28 : Radier et dynamique favorable pour la faune aquatique



Figure 29 : abris sous berge hors d'eau

3.5. Occupation des sols

L'occupation des sols en haut de berge est principalement constituée de parcelles agricoles en rive gauche et d'habitations en rive droite.



Figure 30 : Vue aérienne montrant la différence d'occupation des sols rive gauche/rive droite

3.6. Inspection du pont communal

3.6.1. Diagnostic visuel

Dans le cadre de l'état des lieux du linéaire, l'ouvrage de franchissement a fait l'objet d'un diagnostic visuel. Si la déstabilisation de l'ouvrage ne représente pas une menace à court terme nous avons néanmoins pu identifier certains points de vigilance :

- Au niveau du parapet, les 4 extrémités présentent des fissurations et un déjointoiement des pierres ainsi qu'un léger affaissement,
- La protection de la culée amont est déstabilisée et affouillée,
- Il n'y a pas protection de la culée aval ce qui favorise l'érosion de la berge,
- Affouillement le long de la pile rive gauche sur une hauteur d'environ 0,80 m, l'assise de la culée est apparent alors qu'il devrait être enfoui sous les sédiments,
- Présence de déjointoiement sous la voûte et tracés d'humidité qui peuvent révéler un manque de drainage,
- Formation d'un atterrissement important le long de la culée rive droite,

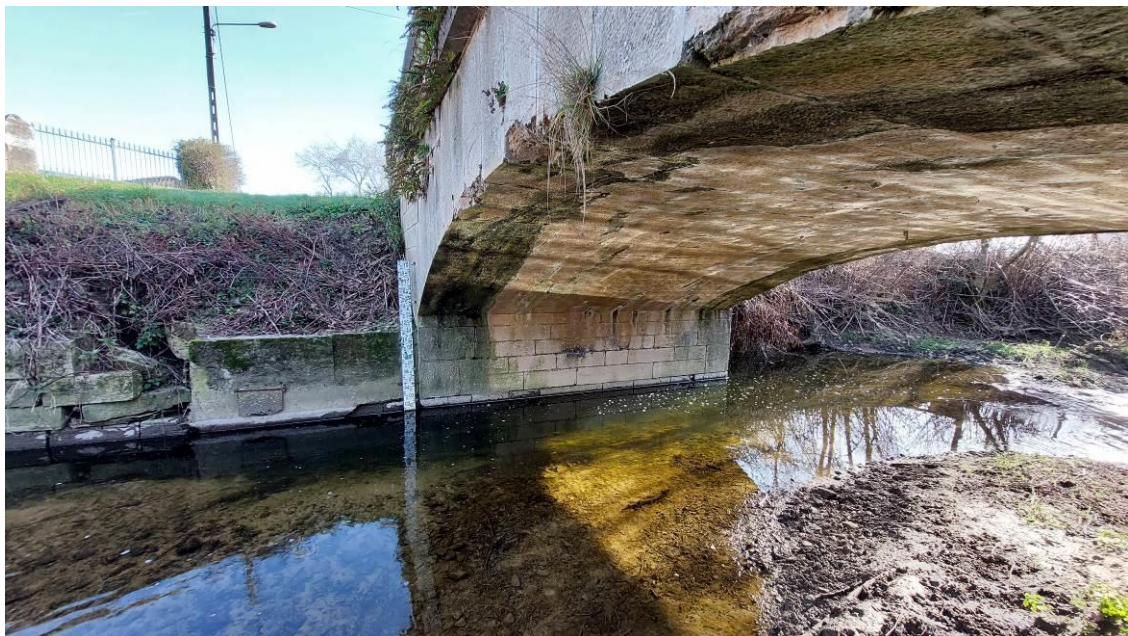
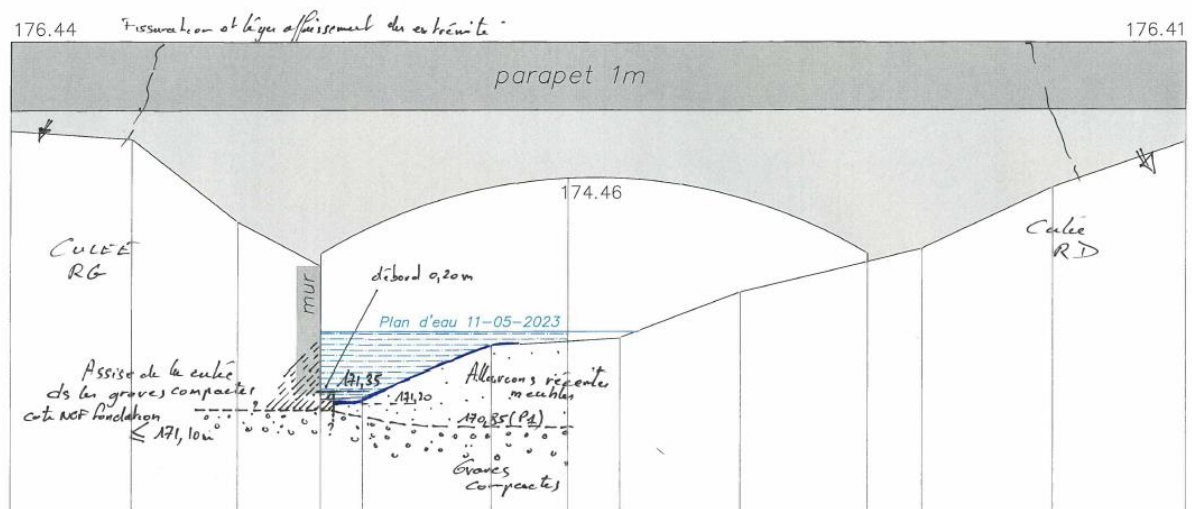


Figure 31 : Coupe schématique de l'affouillement de l'assise et photo de la culée concernée



Figure 32 : Déstabilisation et déjointoiement des pierres du parapet côté rive droite



Figure 33 : Déstabilisation et déjointoiement des pierres du parapet côté rive gauche



Figure 34 : Déstabilisation de la protection de la culée en amont du pont



Figure 35 : Absence de protection de la berge en aval de la culée



Figure 36 : Dégradation du parement côté amont



Figure 37 : Tâches d'humidité sur la voûte

3.6.2. Préconisations

Concernant les interventions à prévoir sur l'ouvrage nous préconisons :

- A la demande de la commune de réaliser une étude plus détaillée de l'ouvrage qui permettra notamment déterminer le tonnage supporté,
- De réaliser une rampe de fond permettant de rehausser et stabiliser le fond du lit au droit de l'ouvrage, l'aménagement pourra être composé d'un mélange de blocs et de matériaux grossiers afin bloquer l'incision du lit tout en autorisant la franchissabilité piscicole,
- De conforter la protection de la culée amont,
- De réaliser une protection de berge en aval de culée pour supprimer l'action érosive des turbulences,
- Un rejointoiement des pierres,
- Un drainage de la voûte pour favoriser l'évacuation des eaux d'infiltration.

4. Phase 2 - Calculs hydrauliques

4.1. Détermination des débits de référence

La Mauvaise est un cours d'eau drainant un bassin versant de l'ordre de 52 km² très réactif aux événements de précipitations.

Aucune station hydrométrique n'est présente sur la Mauvaise.

4.1.1. Etudes existantes

4.1.1.1. Etude GéoPlus

Dans le cadre de l'étude menée par GéoPlus Environnement en 2010, les débits de périodes de retour 10, 50 et 100 ans ont été estimés :

- $Q_{10} = 33,5 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{50} = 64,3 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{100} = 87,3 \text{ m}^3/\text{s}$

Dans le cadre de cette étude, deux campagnes de mesures en basses eaux (été/hiver) ont été effectuées sur la Mauvaise :

Date de la mesure	Débit (l/s)
27 Août 2008	57,2
16 Février 2009	669,6

Tableau 9 : Mesures de débits d'étiage de la Mauvaise (source : GéoPlus)

4.1.1.2. Etude débits réservés EMA Conseil

Dans le cadre de l'étude menée par EMA conseil sur les débits réservés sur le Beaujolais, le module de la Mauvaise a été estimé à 426 l/s.

4.1.2. Cartographie consensuelle nationale ONEMA/IRSTEA

Le QMNA₅ ainsi que le module de la Mauvaise issus de la « Combinaison multimodèle et cartographie de consensus du débit de référence d'étiage et du débit moyen à l'échelle de la France » réalisé en partenariat par l'ONEMA et l'IRSTEA sont les suivants :

- QMNA₅ = 28 l/s
- Module = 504 l/s

4.1.3. Quantiles SHYREG

Les quantiles de débit SHYREG de la France métropolitaine sont disponibles pour près de 140 000 exutoires contrôlant une surface de bassin versant comprise entre 5 et 5 000 km² et répartis de façon homogène sur le territoire de la France métropolitaine, sur un site web mis en place par IRSTEA Aix-en-Provence pour les services de l'état et les bureaux d'études ayant l'agrément pour le « Contrôle des ouvrages hydrauliques ».

La méthode SHYREG-débit reposant sur une approche régionale des débits naturels de bassins versants ruraux, elle ne prend pas en compte les éventuelles spécificités significatives à l'échelle du bassin versant telles que les karsts, les aménagements hydrauliques, les champs d'expansion des crues, le régime nival et n'est pas adaptée aux bassins versants très fortement urbanisés.

Les quantiles SHYREG disponibles au droit du secteur d'étude (Identifiant : RH13730) sont les suivants :

- $Q_2 = 13,4 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_5 = 19,4 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{10} = 25 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{20} = 32,3 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{50} = 44,9 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{100} = 57,6 \text{ m}^3/\text{s}$

Le bassin de la Mauvaise est influencé par les zones plates que celle-ci traverse, cette influence n'est pas prise en compte par la méthode SHYREG. Ces résultats sont donc à prendre avec précaution.

4.1.4. Analyse régionale

Une analyse régionale (transposition au site d'étude des débits estimés par analyse statistique à une station hydrométrique à proximité) a été réalisée sur la base des débits issus des stations hydrométriques de l'Ardière à Beaujeu (code station : U450 5010) et du Morgon à Villefranche-sur-Saône (code station : U452 5210), drainant respectivement des bassins versant de l'ordre de 54,5 et 68 km².

Ces derniers ont été transposés au droit du site d'étude par application de la formule de Myer :

Stations de référence	Débits de la Mauvaise	
	Ardière à Beaujeu	Morgon à Villefranche-sur-Saône
QMNA5 (l/s)	93	78
Module (l/s)	789	335
$Q_2 \text{ (m}^3/\text{s)}$	9.25	12.5
$Q_5 \text{ (m}^3/\text{s)}$	14.1	16.6
$Q_{10} \text{ (m}^3/\text{s)}$	17.2	19.3
$Q_{20} \text{ (m}^3/\text{s)}$	20.3	21.9
$Q_{50} \text{ (m}^3/\text{s)}$	24.2	25.2

Tableau 10 : Débits issus de l'analyse régionale

4.1.5. Calculs empiriques

La taille du bassin versant de la Mauvaise étant supérieure à 10 km², le débit de pointe de période de retour 10 ans a été estimé par application de la formule de CRUPEDIX :

$$Q_{10} = R \left(\frac{Pj10}{80} \right)^2 S^{0,8}$$

avec :

R : Coefficient régional
Pj10 : Pluie journalière maximale annuelle décennale en mm
S : Superficie du bassin versant en km².

Le débit de pointe décennal obtenu est de 19 m³/s.

4.1.6. Synthèse des débits retenus

Les différentes estimations de débits sont récapitulées dans le tableau suivant :

	Etude Géoplus	Etude débits réservés	SHYREG	Cartographie ONEMA/IRSTEA	Analyse régionale (Ardière)	Analyse régionale (Morgon)	Formule empirique (CRUPEDIX)
QMNA ₅ (l/s)	-	-	-	28	92.8	77.7	-
Module (l/s)	-	426	-	504	789.4	335.0	-
Q ₂ (m ³ /s)	-	-	13.4	-	9.3	12.6	-
Q ₅ (m ³ /s)	-	-	19.4	-	14.1	16.6	-
Q ₁₀ (m ³ /s)	33.5	-	25	-	17.3	19.3	19.0
Q ₂₀ (m ³ /s)	42.2*	-	32.3	-	20.3	21.9	-
Q ₅₀ (m ³ /s)	64.3	-	44.9	-	24.3	25.3	-
Q ₁₀₀ (m ³ /s)	87.3	-	57.6	-	-	-	-

* débit extrapolé

Tableau 11 : Synthèse des estimations de débits

Au regard de l'analyse hydrologique menée et dans une démarche sécuritaire (minimum des débits d'étiages et maximum des débits de crue), il est proposé de retenir les débits suivants au droit du secteur d'étude :

- QMNA₅ = 28 l/s
- Module = 335 l/s
- Q₂ = 13,4 m³/s
- Q₅ = 19,4 m³/s
- Q₁₀ = 33,5 m³/s
- Q₂₀ = 42,2 m³/s
- Q₅₀ = 64,3 m³/s
- Q₁₀₀ = 87,3 m³/s

4.2. Construction du modèle

Une modélisation hydraulique a été réalisée afin de pouvoir bien caractériser le fonctionnement hydraulique (hauteurs d'eau et vitesses) de la Mauvaise en état actuel au droit du secteur d'étude et par la suite pour concevoir/dimensionner le projet d'aménagement.

Le modèle hydraulique permettra également d'évaluer les incidences du projet d'aménagements sur les écoulements.

4.2.1. Logiciel utilisé

Les écoulements ont été modélisés à l'aide du logiciel HEC-RAS 6.3.1, développé par le Corps des Ingénieurs de l'Armée Américaine.

Son module filaire classique (1D) détermine les conditions d'écoulement relatives au passage d'un débit constant ou d'un hydrogramme par résolution des équations de Barré-Saint-Venant, le long d'un cours d'eau, celui-ci étant discrétisé par une succession de profils en travers.

Par ailleurs, HEC-RAS permet également de représenter l'ensemble des ouvrages hydrauliques : seuil, pont, busage, barrage, déversoir, etc. Ces ouvrages sont décrits grâce à l'application de lois spécifiques pour chaque type et dont les coefficients peuvent être ajustés lors du calage du modèle.

Le modèle filaire est également composé de conditions aux limites permettant de renseigner les hydrogrammes de crues modélisés et les hauteurs d'eau ou lois d'écoulement en aval du modèle.

4.2.2. Typologie et architecture du modèle

Les données topographiques utilisées pour la réalisation du modèle hydraulique sont issues des levés réalisés par le cabinet Hydrotopo en 2023 pour les besoins de la présente étude. Il s'agit de :

- 15 profils en travers,
- 1 ouvrage d'art (pont),
- 1 profil en long sur 685 mètres.

La synoptique du modèle hydraulique réalisé est présenté ci-après.



Figure 38 : Synoptique du modèle hydraulique réalisé

4.2.3. Hypothèses et paramétrages retenus

4.2.3.1. Conditions aux limites

La condition limite amont est constituée des différents débits de la Mauvaise (QMNA₅, Module, Module x2, Q2, Q5, Q10, Q20, Q50 et Q100) issus des résultats de l'analyse hydrologique (cf. 4.1.6). Ceux-ci ont été exploités en régime permanent.

A l'aval : une loi « hauteur normale » est imposée. Celle-ci traduit un écoulement permanent uniforme. Pour un tel écoulement, la pente de la ligne d'énergie est approximativement égale à la pente du cours d'eau, soit 0.003 m/m.

A noter que le modèle ne tient pas compte de l'influence de la Saône en aval du linéaire.

Coefficients de rugosité

Les coefficients de rugosité ont été définis sur la base de la bibliographie et des reconnaissances de terrain. La valeur de 20 a été retenue pour le lit mineur modélisé.

4.2.3.2. Calage

Le calage vise à adapter les paramètres du modèle pour faire correspondre au mieux les résultats obtenus avec les observations terrain.

En l'absence de données précises concernant les hauteurs d'eau et les débits de la Mauvaise, un calage à proprement parlé n'a pu être réalisé. En conséquence, les paramètres du modèle et notamment les coefficients de rugosité retenus ont été fixés au regard de la bibliographie, des données de terrain et en adoptant une démarche sécuritaire.

4.3. Résultats de la modélisation en état initial

4.3.1. Fonctionnement en basses eaux

4.3.1.1. QMNA5 et module

Les résultats de modélisation en étiage (QMNA5, Module et 2 fois le module) sont présentés dans les tableaux suivants. Les caractéristiques de l'écoulement (débit, hauteur d'eau, vitesse, forces tractrices et puissance spécifique) sont obtenues pour chaque profil modélisé (cf. Figure 38).

QMNA5 = 28 l/s			
Profil	Débit (m³/s)	Hauteur d'eau (m)	Vitesse (m/s)
1	0.03	0.05	0.65
2	0.03	0.16	0.13
3	0.03	0.24	0.08
4	0.03	0.28	0.09
5	0.03	0.16	0.28
6	0.03	0.13	0.13
Ouvrage amont	0.03	0.82	0.02
Ouvrage aval	0.03	0.82	0.02
7	0.03	0.1	0.2
8	0.03	0.09	0.11
9	0.03	0.63	0.02
10	0.03	0.25	0.03
11	0.03	0.29	0.02
12	0.03	0.06	0.74
13	0.03	0.46	0.02
14	0.03	0.1	0.27
15	0.03	0.08	0.31

Tableau 12 : Caractéristiques de l'écoulement pour le QMNA5

Module = 335 l/s			
Profil	Débit (m ³ /s)	Hauteur d'eau (m)	Vitesse (m/s)
1	0.33	0.3	0.68
2	0.33	0.42	0.28
3	0.33	0.46	0.31
4	0.33	0.44	0.42
5	0.33	0.37	0.33
6	0.33	0.37	0.34
Ouvrage amont	0.33	1.05	0.15
Ouvrage aval	0.33	1.05	0.15
7	0.33	0.47	0.3
8	0.33	0.16	0.48
9	0.33	0.73	0.15
10	0.33	0.33	0.27
11	0.33	0.34	0.19
12	0.33	0.16	0.48
13	0.33	0.7	0.12
14	0.33	0.33	0.31
15	0.33	0.34	0.38

Tableau 13 : Caractéristiques de l'écoulement pour le module

Module*2 = 670 l/s			
Profil	Débit (m ³ /s)	Hauteur d'eau (m)	Vitesse (m/s)
1	0.67	0.45	0.77
2	0.67	0.57	0.33
3	0.67	0.59	0.37
4	0.67	0.57	0.49
5	0.67	0.51	0.38
6	0.67	0.48	0.48
Ouvrage amont	0.67	1.17	0.23
Ouvrage aval	0.67	1.16	0.23
7	0.67	0.41	0.53
8	0.67	0.26	0.51
9	0.67	0.83	0.24
10	0.67	0.43	0.36
11	0.67	0.43	0.29
12	0.67	0.25	0.49
13	0.67	0.82	0.19
14	0.67	0.45	0.37
15	0.67	0.45	0.47

Tableau 14 : Caractéristiques de l'écoulement pour 2 fois le module

Pour un débit égal au QMNA₅, les hauteurs d'eau varient entre 5 et 82 cm et les vitesses entre 0.02 et 0.74 m/s.

Pour le module, les hauteurs d'eau varient entre 16 et 105 cm et les vitesses entre 0.12 et 0.68 m/s. Les hauteurs d'eau modélisées sont cohérentes avec les hauteurs d'eau relevées par le géomètre lors des levées topographiques des profils en travers (effectués les 11 et 15 mai 2023).

Les hauteurs d'eau les plus importantes et les vitesses les plus faibles sont au niveau des mouilles, notamment au niveau du pont de la rue du Lac. Les hauteurs d'eau les plus faibles et les vitesses les plus importantes sont au niveau des radiers.

4.3.1.2. Détermination du débit minimum biologique

Le débit minimum biologique a été estimé en imposant une hauteur d'eau de 10 cm sur les profils présentant les plus basses hauteurs d'eau pour le QMNA5, correspondant aux radiers. L'utilisation combinée de la formule de Manning-Strickler et du modèle hydraulique donne un **débit minimum biologique de 80 l/s**.

4.3.2. Fonctionnement en crue

En état initial, les premiers débordements ont lieu pour un débit de l'ordre de **30 m³/s**, soit légèrement inférieur au débit de la crue décennale. Les débordements sont observés en rive droite à partir du profil 11 jusqu'au profil 14, soit en aval des habitations.

A noter que le modèle ne tient pas compte des débordements pouvant être entraînés par une crue de la Saône.

Le pont de la rue du Lac est en charge à partir d'un débit de 25 m³/s.

Les résultats de modélisation pour les débits de périodes de retour 2 et 5 ans, ainsi que pour le débit de premiers débordements sont présentés dans les tableaux suivants. Les caractéristiques de l'écoulement (débit, hauteur d'eau, vitesse, forces tractrices et puissance spécifique) sont obtenues pour chaque profil modélisé (cf. Figure 38).

Q2 = 13.4 m³/s					
Profil	Débit (m³/s)	Hauteur d'eau (m)	Vitesse (m/s)	Forces tractrices (N/m²)	Puissance spécifique (W/m²)
1	13.4	1.78	0.92	21.64	21.11
2	13.4	1.97	1.07	27.29	33.40
3	13.4	1.95	0.9	19.23	19.42
4	13.4	1.89	1.17	33.58	46.45
5	13.4	1.81	1.07	27.24	34.04
6	13.4	1.75	1.22	36.63	54.08
Ouvrage amont	13.4	2.4	1.19	35.55	77.00
Ouvrage aval	13.4	2.38	1.21	38.41	85.01
7	13.4	1.65	1.04	26.18	31.89
8	13.4	1.59	1.18	33.14	45.39
9	13.4	2.14	1.1	28.29	34.99
10	13.4	1.7	1.21	34.67	52.11
11	13.4	1.62	1.24	36.42	55.16
12	13.4	1.43	1.13	30.68	39.36
13	13.4	1.98	1.02	23.86	29.04
14	13.4	1.57	1.08	28.43	34.53
15	13.4	1.73	1.13	30.79	39.42

Tableau 14 : Caractéristiques de l'écoulement pour la crue biennale

Q5 = 19.4 m ³ /s					
Profil	Débit (m ³ /s)	Hauteur d'eau (m)	Vitesse (m/s)	Forces tractrices (N/m ²)	Puissance spécifique (W/m ²)
1	19.4	2.14	0.96	21.61	21.95
2	19.4	2.32	1.14	31.1	31.49
3	19.4	2.31	1.01	22.71	26.26
4	19.4	2.24	1.3	39.34	61.60
5	19.4	2.16	1.21	32.75	47.55
6	19.4	2.12	1.34	41.62	68.08
Ouvrage amont	19.4	2.75	1.47	53.39	21.95
Ouvrage aval	19.4	2.71	1.49	57.69	216.20
7	19.4	2.01	1.17	30.89	202.03
8	19.4	1.94	1.34	40.1	42.95
9	19.4	2.5	1.23	33.81	63.89
10	19.4	2.04	1.4	44.27	47.87
11	19.4	1.95	1.43	46.38	80.54
12	19.4	1.76	1.28	37.04	78.82
13	19.4	2.31	1.21	31.8	54.97
14	19.4	1.89	1.22	33.83	44.36
15	19.4	2.06	1.27	36.82	46.73

Tableau 15 : Caractéristiques de l'écoulement pour la crue quinquennale

Débit premier débordement = 30 m ³ /s					
Profil	Débit (m ³ /s)	Hauteur d'eau (m)	Vitesse (m/s)	Forces tractrices (N/m ²)	Puissance spécifique (W/m ²)
1	30	2.71	0.98	20.54	21.39
2	30	2.93	1.12	29.42	29.46
3	30	2.94	1.1	24.77	32.18
4	30	2.89	1.31	37.68	54.87
5	30	2.83	1.24	32.82	39.69
6	30	2.83	1.34	38.67	53.84
Ouvrage amont	30	3.21	2.05	111.82	En charge
Ouvrage aval	30	3.21	2.05	116.83	En charge
7	30	2.5	1.33	38.51	61.04
8	30	2.43	1.53	50.29	77.69
9	30	2.99	1.41	42.48	71.23
10	30	2.51	1.66	59.22	108.84
11	30	2.43	1.58	56.91	68.60
12	30	2.25	1.45	45.67	65.30
13	30	2.78	1.4	42.39	40.63
14	30	2.38	1.36	39.97	54.20
15	30	2.6	1.4	42.71	69.93

Tableau 166 : Caractéristiques de l'écoulement pour le débit de premiers débordements

Les hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement résultantes sont comprises dans les gammes suivantes :

- Débit biennal :
 - 1.43 m < H_{eau} < 2.42 m
 - 0.9 m/s < V < 1.24 m/s
- Débit quinquennal :

- $1.76 \text{ m} < H_{\text{eau}} < 2.79 \text{ m}$
- $0.96 \text{ m/s} < V < 1.49 \text{ m/s}$
- Débit de premiers débordements :
 - $2.25 \text{ m} < H_{\text{eau}} < 3.51 \text{ m}$
 - $0.98 \text{ m/s} < V < 2.05 \text{ m/s}$

Comme pour les débits d'étiages, les hauteurs d'eau les plus importantes et les vitesses les plus faibles sont au niveau des mouilles tandis que les hauteurs d'eau les plus faibles et les vitesses les plus importantes sont au niveau des radiers.

Les forces tractrices les plus importantes apparaissent au niveau du pont de la rue du Lac, notamment quand celui-ci est en charge, et en aval de celui-ci, entre les profils 8 et 12. Les puissances spécifiques suivent la même évolution.

Ces résultats correspondent aux investigations de terrain, notamment aux secteurs d'érosions de berge ayant été observés.

5. Synthèse et pistes de réflexion pour la restauration du linéaire

Suite à la réalisation de l'état des lieux et de la caractérisation du fonctionnement hydraulique du linéaire étudié, nous proposons de présenter des propositions d'aménagement afin d'engager une première réflexion sur la conception du projet qui se sera réalisée en phase 3.

Deux grandes catégories d'aménagement sont proposées : des interventions permettant de sécuriser la berge au niveau des habitations et d'autres pour améliorer la qualité physique et biologique du linéaire.

Ces solutions seront étudiées et chiffrées de manière plus détaillée lors de la phase avant-projet.

5.1. Synthèse du diagnostic

L'étude du linéaire a permis de mettre en avant les éléments suivants :

- Les aménagements effectués par les riverains ont fragilisé les berges et favorisé leur déstabilisation,
- Un important linéaire de berge est constitué de matériaux de remblais et de déchets,
- Le lit du cours d'eau est incisé sur l'ensemble du linéaire,
- Malgré une bonne diversité des faciès d'écoulement la qualité habitationnelle est faible compte tenu la faible densité d'habitats et la forte présence d'espèces exotiques envahissantes sur les berges,
- La capacité plein bord du lit correspond à une crue décennale,
- Le pont de la rue du Lac ne présente pas de signes critiques de fragilisation mais nécessite une étude plus fine et des aménagements pour protéger les culées .

5.2. Protection de berge et réduction des contraintes hydrauliques

Au droit des habitations, l'érosion des berges est susceptible de causer des désordres plus conséquents en cas de crue importante (supérieure à Q10). C'est pourquoi il est nécessaire de réaliser les opérations suivantes :

- **Reconstitution de berge** : afin de supprimer le risque d'érosion des parcelles riveraines il est proposé de reconstituer une berge en pente douce (2H/1V) avec des matériaux d'apport sains,
- **Protection du pied de berge** : pour éviter l'érosion du pied de berge, une protection sera mise en place, la pose d'enrochements semble plus sécuritaire et permet de réduire l'emprise nécessaire, une alternative en génie végétal pourra être étudiée,
- **Reprofilage de la rive gauche** : afin de réduire les contraintes hydrauliques et d'augmenter l'espace cours d'eau, une banquette sera créée en rive gauche et la berge sera retalutée en pente douce (2H/1V), de plus le merlon en crête de berge sera arasé ce qui permettra notamment de favoriser les débordements en rive gauche et ainsi réduire les contraintes hydrauliques sur la rive opposée,
- **Végétalisation des berges** : les berges seront revégétalisées avec des essences adaptées au cours d'eau favorisant la stabilité des talus et la création d'habitats,

- Reconstitution d'un matelas alluvial** : le décalage du lit mineur va nécessiter de reconstituer un matelas alluvial avec des matériaux adaptés aux contraintes hydrauliques d'une part et à la faune aquatique d'autre part,
- Diversification des écoulements** : pour améliorer la qualité habitationnelle et la diversité des écoulements des banquettes pourront être mises en forme, elles permettront de créer des sinuosités en fond de lit, de dynamiser les écoulements et de rehausser la lame d'eau pour les faibles et moyens débits.

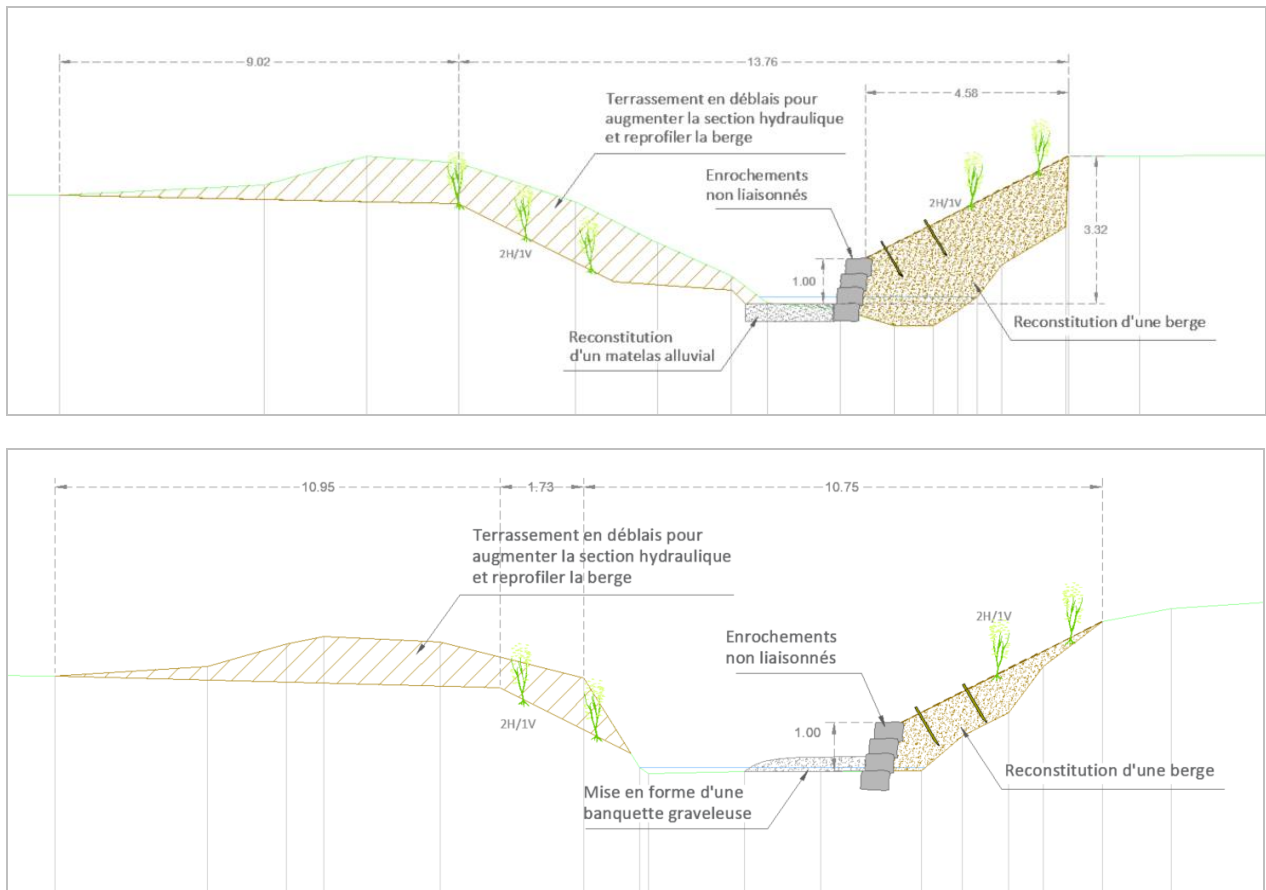


Figure 39 : Principes d'aménagement proposés

Une estimation du montant des travaux a été réalisée, pour un linéaire de 100 mètres le coût est estimé à 95 500 € HT, soit 955 € HT / ml.

	SYNTHESE	
1	Installation de chantier	3 500.00 €
2	Travaux préparatoires	5 500.00 €
3	Travaux forestiers	10 500.00 €
4	Terrassements	30 000.00 €
9	Aménagement du lit	7 500.00 €
10	Protection et végétalisation des berges	26 000.00 €
14	Marge pour imprévus (15 %)	12 500.00 €
Total HT		95 500.00 €
TVA 20 %		19 100.00 €
Total TTC		114 600.00 €

5.3. Renaturation du linéaire

La conception de l'avant-projet intégrera également des aménagements destinés à améliorer la qualité physique et biologique du linéaire :

- **Reprofilage de berge** : en fonction de l'emprise disponible un retalutage sera étudié afin d'adoucir la pente de berge et d'augmenter l'espace cours d'eau,
- **Concentration et diversification des écoulements** : l'aménagement de banquettes graveleuses ou végétalisées en fond de lit permettra de réduire la section d'écoulement pour les faibles et moyens débits et d'imprimer une sinuosité en fond de lit,
- **Création d'habitats** : des aménagements ponctuels type souches ou épis pourront être mis en place afin d'augmenter la densité d'habitats et améliorer l'attractivité du milieu,
- **Végétalisation des berges** : les berges seront revégétalisées avec des essences adaptées au cours d'eau favorisant la stabilité des talus et la création d'habitats.

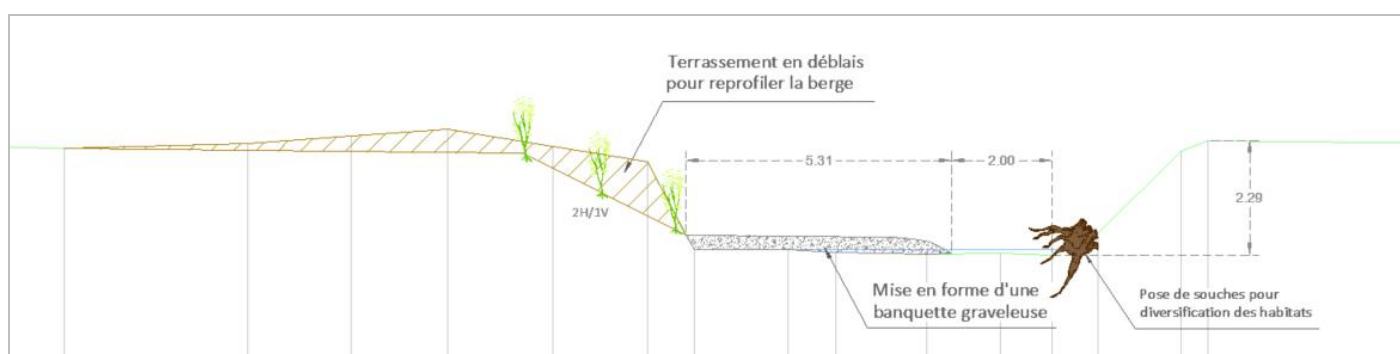


Figure 40 : Principes d'aménagement proposés

Pour la réalisation de ces aménagements nous avons estimé le montant des travaux à 153 500 € HT pour un linéaire de 230 mètres ce qui représente un coût au mètre linéaire d'environ 670 € HT.

SYNTHESE		
1	Installation de chantier	7 000.00 €
2	Travaux préparatoires	3 000.00 €
3	Travaux forestiers	25 000.00 €
4	Terrassements	45 000.00 €
9	Aménagement du lit	35 000.00 €
10	Protection et végétalisation des berges	18 500.00 €
14	Marge pour imprévus (15 %)	20 000.00 €
Total HT		153 500.00 €
TVA 20 %		27 621.30 €
Total TTC		165 727.80 €

