



Mémoire de stage

Master 2 Géographie Aménagement
Environnement Développement
(GAED)

Parcours Fonctionnement des
Environnements Ruraux et Naturels
(FERN)

Par Paul CHARONNAT

Titre :

La restauration de cours d'eau
dégradés en tête de bassin au
coeur de la Champagne
berrichonne.

Développement d'un projet sur la
Bondonne et le Tribaut dans un
village du bassin versant de
l'Yèvre (Cher - 18)

Tutrice universitaire :

Cybill STAENTZEL

Tuteur de l'organisme d'accueil :

Guillaume DEBAIN

*Faculté de Géographie de l'Université de
Strasbourg*

Année 2021-2022



 Faculté de géographie
et d'aménagement
Université de Strasbourg

Université
de Strasbourg

MEMOIRE M2 - LA RESTAURATION DE COURS D'EAU DÉGRADÉS EN TÊTE DE BASSIN AU CŒUR DE LA CHAMPAGNE BERRICHONNE



MÉMOIRE DE STAGE

Présenté par Paul CHARONNAT

Numéro d'étudiant : 22012233

Dans le cadre du

Master 2 Géographie Aménagement Environnement Développement (GAED)
Parcours Fonctionnement des Environnements Ruraux et Naturels (FERN)

La restauration de cours d'eau dégradés en tête de bassin au cœur de la Champagne berrichonne. Développement d'un projet sur la Bondonne et le Tribaut dans un village du bassin versant de l'Yèvre (Cher - 18)

Sous le tutorat universitaire de Cybill STAENTZEL, enseignante-chercheuse en écologie des milieux aquatiques à l'Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg (ENGEES)

Sous le tutorat professionnel de Guillaume DEBAIN, chargé de projets rivière au Syndicat Intercommunal de la Vallée de l'Yèvre (SIVY)

Soutenance du mémoire le 2 septembre 2022
Jury : Claire RAMBEAU, Cybill STAENTZEL, Gilles RIXHON

Année universitaire 2021-2022

MEMOIRE M2 - LA RESTAURATION DE COURS D'EAU DÉGRADÉS EN TÊTE DE BASSIN AU CŒUR DE LA CHAMPAGNE BERRICHONNE

Remerciements

Avant toute chose, je tenais à remercier les personnes qui m'ont accompagné lors de mon stage et ont contribué à sa bonne tenue. Cette expérience s'est révélée très gratifiante pour compléter mon parcours universitaire de géographe et valider mon projet professionnel. Les six mois de stage passés au cœur des rouages du Syndicat Intercommunal de la Vallée de l'Yèvre (SIVY) resteront une période d'épanouissement au cœur de mon Berry natal.

Dans un premier temps, je suis très reconnaissant envers Monsieur Gilles BENOIT, Président du SIVY, et l'ensemble des élus composant le Syndicat pour m'avoir offert l'opportunité de réaliser mon stage dans cet organisme. Leur confiance a grandement facilité mon intégration au sein de l'équipe.

Je suis également très redevable auprès des élus de Baugy dont Monsieur Pierre GROSJEAN, maire, et Monsieur Jean-Pierre VERTALIER, adjoint au maire qui a beaucoup fait le relais de notre action localement. Leur disponibilité et leur gentillesse ont été des facteurs importants pour construire un projet concerté et adapté aux enjeux de leur commune. Dans le prolongement, je souhaite remercier les Balgyciens et les riverains des cours d'eau de la Bondonne et du Tribaut, pour avoir participé activement à l'étude.

Puis je salue l'encadrement de Monsieur Guillaume DEBAIN, chargé de mission au SIVY, qui m'a accompagné sans relâche sur le terrain et sur le développement de l'étude au bureau. Avec son professionnalisme et sa bienveillance au quotidien, il m'a fait transmettre sa passion pour l'hydromorphologie et la conduite de projets de rivière.

Au sein du SIVY, je remercie aussi Monsieur Jérémy JOLIVET, chargé de mission et responsable de la collectivité, qui, malgré son emploi du temps chargé, a toujours suivi de très près mon étude.

Ensuite, ce stage n'aurait pas été une réussite sans l'appui continu de Madame Coralie BOUCHARD, agente administrative du SIVY. Outre sa générosité et sa tonalité chaleureuse, sa maîtrise du volet administratif et financier m'a permis d'appréhender au mieux des thématiques qui m'étaient étrangères.

Puis je veux saluer l'aide de Monsieur Vincent PALOMERA, chargé de mission. Son expertise technique et son assistance lors des mesures de terrain ont permis de garantir la continuité de l'étude.

J'exprime également mes remerciements à ma tutrice universitaire, Madame Cybill STAENTZEL, enseignante-chercheuse à l'ENGEES. Son suivi et ses conseils méthodologiques ont beaucoup contribué à la réalisation de ce mémoire. Je retiens aussi sa grande disponibilité qui a facilité la progression de mon étude et a accru ma confiance dans le projet que je portais.

Enfin, je remercie mes grands-parents, Edith et Alain, qui se sont dévoués à relire ce mémoire et qui ont apporté une vision extérieure à l'étude pour qu'elle soit accessible au plus grand nombre.

Avant-propos

Ce mémoire s'inscrit dans le cadre d'un stage réalisé du 28 février au 26 août 2022 au sein du Syndicat Intercommunal de la Vallée de l'Yèvre (SIVY) dont les bureaux sont basés à Bourges (Cher - 18). Il s'agit d'une collectivité territoriale créée en 2013 pour garantir la gestion des milieux aquatiques afin d'atteindre le bon état des masses d'eau et de permettre un usage cohérent et durable de la ressource en eau dans le bassin versant de l'Yèvre, affluent du Cher. Cette structure tient un rôle de conseil, de surveillance, d'appui technique et administratif auprès des communautés de communes, des communes et des riverains. Elle développe des études et des projets de restauration du lit, des berges et de la continuité écologique des cours d'eau.

En termes d'organisation, d'une part, le SIVY est composé d'une cellule animation avec une équipe technique et administrative constituées de trois chargés de mission et d'une agente administrative. Un responsable de l'équipe technique, Monsieur Guillaume DEBAIN, a encadré spécifiquement ce stage. D'autre part, la collectivité comprend une cellule décisionnaire avec le conseil syndical composé de délégués représentant les 52 communes du territoire du Syndicat (*cf. carte en Annexe 1, p 87*). Certains membres de ce conseil forment un bureau qui s'occupe de la gestion au quotidien des activités du SIVY. Ce dernier est constitué du Président, Monsieur Gilles BENOIT, maire de Saint-Eloy-de-Gy (commune au Nord de Bourges), et de cinq vice-présidents.

L'objectif du stage dans cet organisme était de construire un projet de restauration sur deux cours d'eau en amont du bassin de l'Yèvre, la Bondonne et le Tribaut, au cœur du village de Baugy situé à l'Est de Bourges. Ce stage plutôt opérationnel s'est décomposé en deux phases distinctes avec une phase de diagnostic qui a permis d'évaluer les enjeux et l'état des cours d'eau, puis une phase de développement technique du projet. Par la suite, une intervention de restauration pourrait voir le jour dans quelques années si le contexte financier, technique, politique et social le permet.

Table des matières

REMERCIEMENTS	5
AVANT-PROPOS	6
LISTE DES FIGURES	9
LISTE DES ACRONYMES	12
INTRODUCTION.....	13
CHAPITRE I : EN QUOI LA RESTAURATION DE COURS D'EAU A-T-ELLE EMERGÉ EN TANT QUE CONCEPT ET OUTIL TECHNIQUE DANS LA GESTION DE L'EAU EN FRANCE ?	14
I.1. L'ÉMERGENCE D'UN CADRE RÉGLEMENTAIRE DE GESTION DE L'EAU QUI AFFIRME LA RESTAURATION COMME UN OUTIL FONCTIONNEL	14
I.1.1. <i>Avant les années 1990, une gestion de l'eau naissante et une restauration sous forme expérimentale.....</i>	<i>14</i>
I.1.2. <i>A partir des années 1990, une gestion de l'eau de plus en plus fonctionnelle avec une reconnaissance institutionnelle de la restauration</i>	<i>15</i>
I.1.3. <i>Des outils multiscalaires pour mettre en place la restauration dans les territoires de l'eau</i>	<i>16</i>
I.2. A L'ORIGINE DE CE CONTEXTE LÉGISLATIF, UNE CONCEPTUALISATION SCIENTIFIQUE DE LA RESTAURATION EN RÉPONSE AUX ALTÉRATIONS DU FONCTIONNEMENT HYDROMORPHOLOGIQUE DES BASSINS VERSANTS.....	18
I.2.1. <i>Le rôle majeur du bon fonctionnement hydromorphologique des cours d'eau et des têtes de bassin</i>	<i>18</i>
I.2.2. <i>Des fortes dégradations qui se manifestent sur l'hydromorphologie naturelle</i>	<i>25</i>
I.2.3. <i>Face à ces altérations, l'apparition en France d'un cadre conceptuel de la restauration porté par les travaux scientifiques</i>	<i>27</i>
I.3. POUR TRANSCRIRE LOCALEMENT LA RÉGLEMENTATION ET LE CONCEPT DE RESTAURATION, LA MISE EN PLACE D'UN LARGE ÉVENTAIL DE TECHNIQUES DE RESTAURATION HYDROMORPHOLOGIQUE	28
I.3.1. <i>Les différentes techniques de restauration hydromorphologique en fonction des altérations.....</i>	<i>29</i>
I.3.2. <i>Des degrés d'ambition différenciés</i>	<i>30</i>
CHAPITRE II : QUELLE MÉTHODE ADOPTER POUR RÉFLÉCHIR À UN PROJET DE RESTAURATION ADAPTÉ DANS UNE COMMUNE DE CHAMPAGNE BERRICHONNE ?.....	31
II.1. LE CHOIX D'UNE ZONE D'ÉTUDE ORIENTÉE SUR DES PETITS COURS D'EAU DE TÊTE DE BASSIN DE L'YÈVRE AU CŒUR D'UNE COMMUNE DE LA CHAMPAGNE BERRICHONNE	31
II.1.1. <i>Une étude portée sur le bassin versant de l'Yèvre et sa masse d'eau Yèvre Amont.....</i>	<i>31</i>
II.1.2. <i>Le cadre régional de la Champagne berrichonne.....</i>	<i>33</i>
II.1.3. <i>Un terrain de recherche centré sur les cours d'eau de la Bondonne et du Tribaut à Baugy</i>	<i>35</i>
II.1.4. <i>Pourquoi sélectionner cette zone d'étude spécifiquement ?.....</i>	<i>37</i>
II.2. L'APPLICATION D'UN DIAGNOSTIC TERRITORIAL CO-PARTAGÉ AVEC LES RIVERAINS	38
II.2.1. <i>La réalisation d'un diagnostic bibliographique</i>	<i>38</i>
II.2.2. <i>La mise en œuvre d'un diagnostic de terrain</i>	<i>39</i>
II.3. LE DÉVELOPPEMENT D'UN PROJET DE RESTAURATION INTEGRÉ S'APPUYANT SUR LE DIAGNOSTIC	42
II.4. DES LIMITES MÉTHODOLOGIQUES DANS LE DIAGNOSTIC ET LE PROJET DE RESTAURATION.....	43

CHAPITRE III : DANS QUELLE MESURE LA BONDONNE ET LE TRIBAUT SONT DES COURS D'EAU DÉGRADÉS NÉCESSITANT UNE INTERVENTION ET QUELLES SOLUTIONS SONT ENVISAGEABLES ?	44
III.1. DES COURS D'EAU SOUMIS A DES FACTEURS D'INFLUENCE PHYSIQUE ET ANTHROPIQUE.....	44
III.1.1. <i>Un contexte physique déterminant.....</i>	44
III.1.2. <i>Une anthropisation historique de la Bondonne et du Tribaut à Baugy</i>	47
III.2. DES COURS D'EAU A L'ÉTAT ÉCOLOGIQUE DÉGRADÉ.....	50
III.2.1. <i>Un diagnostic hydromorphologique révélant trois segments prioritaires.....</i>	50
III.2.2. <i>Les principales dégradations observées sur les segments prioritaires</i>	51
III.3. DES ENJEUX SOCIAUX DENSES AUTOROUND DES COURS D'EAU QUI AMPLIFIENT LA NÉCESSITÉ D'UNE RESTAURATION	58
III.4. A PARTIR DU DIAGNOSTIC, PLUSIEURS TECHNIQUES DE RESTAURATION ENVISAGÉES DANS LE SECTEUR LE PLUS PRIORITAIRE ÉCOLOGIQUEMENT ET LE PLUS FAVORABLE OPÉRATIONNELLEMENT.....	60
III.4.1. <i>Le potentiel de mise en œuvre et l'ambition de la restauration</i>	60
III.4.2. <i>Des scenarii de projets techniques en réflexion</i>	62
CHAPITRE IV : LE PROJET DE RESTAURATION PEUT-IL SE CONSTRUIRE COMME UN SUCCÈS SOCIO-ÉCOLOGIQUE, S'INSCRIVANT DURABLEMENT DANS UN ENVIRONNEMENT URBANISÉ ET AGRICOLE ?.....	67
IV.1. LA NÉCESSAIRE INTÉGRATION DU PROJET ÉCOLOGIQUE DANS UNE CONCERTATION TERRITORIALE VISANT L'ACCEPTABILITÉ SOCIALE	67
IV.1.1. <i>La restauration de cours d'eau face à l'acceptabilité sociale</i>	67
IV.1.2. <i>La mise en place d'un projet de territoire partagé pour améliorer l'articulation techniciens-riverains</i>	68
IV.2. DES LIMITES DE PÉRENNITÉ POUVANT REMETTRE EN CAUSE LA RESTAURATION EN TANT QU'OUTIL OPÉRATIONNEL	69
IV.2.1. <i>Les effets du changement climatique sur la ressource en eau</i>	69
IV.2.2. <i>Une ambition réduite par les contraintes financières et foncières</i>	70
IV.3. AVEC LES RETOURS D'EXPÉRIENCE, LA NÉCESSITÉ DE CONSIDÉRER UN PROJET DE RESTAURATION COMME UN PROCESSUS ET NON COMME UNE INTERVENTION PONCTUELLE	71
CONCLUSION.....	73
BIBLIOGRAPHIE	74
GLOSSAIRE	81
ANNEXES.....	85
RÉSUMÉ	120

Liste des figures

Figure 1 : Les 6 Agences de l'Eau actuelles en France.....	14
Figure 2 : Objectifs de la DCE pour les eaux de surface.....	15
Figure 3 : Délimitation du SDAGE Loire-Bretagne.....	16
Figure 4 : Délimitation du SAGE Yèvre-Auron.....	17
Figure 5 : Structure spatiale d'un cours d'eau et ses 4 dimensions	18
Figure 6 : Mesure du coefficient de sinuosité sur un segment de cours d'eau.....	19
Figure 7 : Les différentes classes de sinuosité en fonction du coefficient SI.....	19
Figure 8 : Profils en travers du lit mineur selon les faciès (en pointillés : lit majeur, en trait plein : lit mineur).....	20
Figure 9 : Profil en long d'un cours d'eau avec matelas alluvial	20
Figure 10 : Balance de LANE (1955) représentant l'équilibre entre charge solide et charge liquide et la réponse du cours d'eau	21
Figure 11 : Schéma théorique du profil d'équilibre et de l'ajustement de la pente en fonction du niveau de base ultime (=point bas du cours d'eau)	21
Figure 12 : Dynamique des berges en fonction des sinuosités	22
Figure 13 : Diagramme de Hjulström.....	22
Figure 14 : Influence du matelas alluvial sur les écoulements	24
Figure 15 : Schéma d'une tête de bassin versant	24
Figure 16 : Effets du piétinement de berge	26
Figure 17 : Conséquences de la dégradation des têtes de bassin sur la biodiversité	27
Figure 18 : Modèle d'intervention sur les écosystèmes aquatiques face à différents degrés de dégradation	27
Figure 20 : L'impact des différents niveaux d'ambition de la restauration sur la biodiversité aquatique	30
Figure 21 : Localisation du bassin versant topographique de l'Yèvre et de son réseau hydrologique	32
Figure 22 : Ensemble des masses d'eau sur la partie du bassin de l'Yèvre gérée par le SIVY	33
Figure 23 : Occupation des sols dans la partie du bassin de l'Yèvre gérée par le SIVY en 2018..	34
Figure 24 : Coupe schématique Nord-Sud du Berry	34
Figure 25 : Découpage administratif dans la région de Baugy.....	35
Figure 26 : Emprise spatiale de l'étude.....	36
Figure 27 : Tracé de la Bondonne	36
Figure 28 : Tracé du Tribaut.....	37
Figure 29 : Tronçons concernés dans le secteur d'étude.....	38
Figure 30 : Mesure de profils avec la lunette topographique et la mire	40
Figure 31 : Mesure des débits avec un courantomètre	40
Figure 32 : Pêche électrique sur le Tribaut et la Bondonne.....	41
Figure 33 : Axes dimensionnels d'un sédiment	41
Figure 34 : Mesure d'un sédiment	41
Figure 35 : Processus suivi lors du développement de projet	42
Figure 36 : Diagramme ombro-thermique de Baugy sur la période 1999-2019	44

Figure 37 : Débits mensuels moyens (m ³ /s) de l'Yèvre à la station de Savigny-en-Septaine du 01/01/1996 au 01/04/2022.....	45
Figure 38 : Coefficient mensuel de débits à la station de Savigny-en-Septaine (débit mensuel moyen/module interannuel).....	45
Figure 39 : Profil en long combiné de la Bondonne et du Tribaut à Baugy	46
Figure 40 : Isopièzes et circulation piézométrique à proximité du secteur d'étude	47
Figure 41 : Ancienne localisation des principaux étangs et moulins à eau autour de Baugy d'après la carte de Cassini (vers 1740).....	48
Figure 42 : Localisation de l'ancien château.....	48
Figure 43 : Profil et localisation des anciennes fortifications du château	49
Figure 44 : Carte postale de l'ancien moulin d'En Haut au début du XXème siècle.....	49
Figure 45 : Ouvrages implantés dans la zone d'étude.....	50
Figure 46 : Segments analysés lors du diagnostic hydromorphologique	51
Figure 47 : Zone de faible diversité sur le bras de la Bondonne Nord	52
Figure 48 : Zone de diversité ponctuelle sur le Tribaut.....	52
Figure 49 : Lit incisé sur le Tribaut	53
Figure 50 : Capacité de débordement de la berge gauche sur la Bondonne Sud.....	53
Figure 51 : Profil en travers entre le Tribaut et la Bondonne Sud.....	53
Figure 52 : Courbe granulométrique à la jonction entre le Tribaut et la Bondonne Nord.....	55
Figure 53 : Courbe granulométrique sur la Bondonne en amont des segments prioritaires	55
Figure 54 : Explication de l'influence de l'ouvrage sur le dépôt de granulométrie grossière en amont	56
Figure 55 : Bras perché de la Bondonne Nord et du Tribaut.....	57
Figure 56 : Débits mesurés sur le Tribaut, la Bondonne et leurs fossés de drainage	57
Figure 57 : Température de la Bondonne Sud entre le 19 mai et le 9 juin 2022	58
Figure 58 : Température du Tribaut entre le 19 mai et le 9 juin 2022.....	58
Figure 59 : Synthèse des enjeux sociaux autour de la Bondonne et du Tribaut	59
Figure 60 : Influence théorique de l'ouvrage Nord-Ouest sur la remontée de nappe et les inondations de cave	60
Figure 61 : Plan de zonage du PLUi de Baugy	61
Figure 62 : Parcille sélectionnée dans le secteur d'étude	61
Figure 63 : Schéma de principe de la remise en fond de vallée	62
Figure 64 : Identification des talwegs dans la parcelle centrale	63
Figure 65 : Exemple de lit emboité reméandré sur l'Yèvre à Baugy	64
Figure 66 : Gabarit des radiers pour les cours d'eau restaurés	64
Figure 67 : Distribution des classes granulométriques dans le secteur de référence	65
Figure 68 : Croquis des projets de restauration	66
Figure 69 : Impacts induits par le curage du fond de lit	68
Figure 70 : Poids des différents services écosystémiques apportés par la restauration dans les articles de recherche publiés de 1999 à 2019 (nombre d'articles = 125).....	69
Figure 71 : Evolution de la température et des précipitations dans le département du Cher du Temps Présent (période 1961-1990/2000) à l'horizon du Milieu du Siècle (2046-2065)	70
Figure 72 : Action R3 de remise en fond de vallée et reméandrage à Saint-Martin-d'Auxigny	71
Figure 73 : Ajustement sous forme de recharge alluviale sur l'Yèvre à Baugy (un an après la restauration).....	72

Tableau 1 : Les principales actions de restauration dans les compartiments du cours d'eau	29
Tableau 2 : Evaluation hydromorphologique de l'état des tronçons du secteur d'étude en 2012...	37
Tableau 3 : Synthèse du diagnostic hydromorphologique par segment (en italique, les segments prioritaires)	51
Tableau 4 : Inventaire de la pêche électrique en amont et en aval de l'ouvrage Nord-Ouest	54
Tableau 5 : Valeurs et significations de l'IPR	54

Liste des acronymes

ADES : Accès aux Données sur les Eaux Souterraines

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières

CARHYCE : CARactérisation HYdromorphologique des Cours d'Eau

CLE : Commission Locale sur l'Eau

CTMA : Contrat Territorial des Milieux Aquatiques

DCE : Directive Cadre sur l'EAU

DT : Déclaration de projet de Travaux

FDPPMA18 : Fédération Départementale pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques du Cher

IPR : Indice Poissons Rivière

L (niveau d'ambition) : Limitation des altérations

LEMA : Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques

NGF : Nivellement Général de la France

OFB : Office Français de la Biodiversité

ONDE : Observatoire National Des Etiages

P (niveau d'ambition) : Protection

PLUi : Plan Local d'Urbanisme Intercommunal

R (niveau d'ambition) : Restauration (du moins ambitieux au plus ambitieux : R1, R2, R3)

REH : Réseau d'Evaluation des Habitats

RTM : Restauration des Terrains en Montagne

SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux

SANDRE : Service d'Administration Nationale des Données et Référentiels sur l'eau

SCoT : Schéma de Cohérence Territoriale

SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux

SIAB3A : Syndicat Intercommunal d'Aménagement des Bassins de l'Auron, l'Airain et leurs Affluents

SIGES : Système d'Information pour la Gestion des Eaux Souterraines

SIRDAB : Syndicat Intercommunal pour la Révision et le suivi du schéma Directeur de l'Agglomération Berruyère

SIVY : Syndicat Intercommunal de la Vallée de l'Yèvre

TVB : Trame Verte et Bleue

Introduction

Dans le contexte de l'été 2022, l'état de la ressource en eau cristallise de nombreux questionnements en France : niveau problématique des nappes avec une faible recharge hivernale, mois de juillet le moins pluvieux depuis 1959 ou encore humidité des sols au plus bas historique (METEO FRANCE, 2022). Certains des indicateurs actuels dépassent ceux de la grande sécheresse de 1976, vécue comme un traumatisme dans la mémoire hexagonale.

Avec cette situation considérée comme exceptionnelle sur plusieurs plans, des solutions d'urgence ressurgissent comme les restrictions d'usage ou la construction de bassines. Cependant, intervenir sur l'hydrologie nécessite de se détacher de cet instantané et de réfléchir par rapport à une large échelle spatio-temporelle, de manière structurelle et systémique. Une des démarches associées à cette logique est la restauration de cours d'eau. Celle-ci représente « *l'ensemble des actions qui tentent de rétablir les processus géomorphologiques (la dynamique fluviale), dont l'échelle d'intervention est significative et dont les effets bénéfiques, en termes de morphologie et de fonctionnement, sont pérennes* » (OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU, 2018). Elle s'applique sur des linéaires dont l'état écologique est jugé dégradé, afin d'améliorer les fonctionnalités globales du cours d'eau et du bassin versant concerné.

Dans le cadre de cette étude, l'analyse territoriale est axée sur la Bondonne et le Tribaut, deux ruisseaux évoluant dans le bassin de l'Yèvre et dans la région de Champagne berrichonne au centre de la France. Ils s'inscrivent également en tête de bassin, c'est-à-dire dans le « *territoire le plus en amont de la surface d'un bassin versant [...], avec une zone drainée par les petits cours d'eau proches des sources*

A l'aide d'un projet développé sur place, dans le centre d'une commune rurale, l'objectif est de comprendre l'intérêt scientifique de restaurer des linéaires de tête de bassin ayant un état dégradé. Il est aussi essentiel de déterminer les clés de construction d'une restauration et de savoir si cet outil peut constituer un succès à la fois écologique et social sur le long terme. **De fait, dans quelle mesure est-il nécessaire de restaurer des cours d'eau dégradés et situés en tête de bassin versant, notamment dans le territoire de l'Yèvre ? Comment la restauration peut-elle être mise en place et être adaptée localement aux enjeux socio-environnementaux, dans un contexte mixte de zone urbanisée et agricole ?**

Pour répondre à ces problématiques, il sera d'abord important de revenir sur l'émergence conceptuelle et technique de la restauration dans la gestion de l'eau en France. Puis il sera explicité la méthodologie employée pour étudier la Bondonne et le Tribaut ainsi que pour réfléchir à un projet de restauration adapté localement. Par la suite, les résultats issus du travail de recherche seront présentés avec le diagnostic des cours d'eau et une proposition de techniques pour remédier aux altérations identifiées. Enfin, une discussion permettra d'évaluer la pérennité opérationnelle de la restauration et d'identifier les obstacles à son succès socio-écologique.

Chapitre I : En quoi la restauration de cours d'eau a-t-elle émergé en tant que concept et outil technique dans la gestion de l'eau en France ?

Avant d'aborder l'étude locale dans le Berry, il est important d'introduire le principe de restauration des cours d'eau en montrant comment ce dernier s'est imposé dans la gestion de l'eau en France. Cette première partie servira donc à remettre en contexte cette science des cours d'eau afin de justifier la mise en place de projets dans des milieux aquatiques dégradés et particulièrement en tête de bassin.

Tout d'abord, l'apparition d'un contexte réglementaire proactif a facilité l'émergence de cet outil. Puis il sera démontré que ce cadre législatif répond à une conceptualisation scientifique liée aux altérations du fonctionnement des bassins versants. Enfin, afin de rendre opérationnel la réglementation et le cadre conceptuel, la restauration sera évoquée sous l'angle technique.

I.1. L'émergence d'un cadre réglementaire de gestion de l'eau qui affirme la restauration comme un outil fonctionnel

Dans un premier temps, il est essentiel de montrer que la notion de restauration s'est inscrite progressivement au cœur de la réglementation française de gestion de l'eau.

I.1.1. Avant les années 1990, une gestion de l'eau naissante et une restauration sous forme expérimentale

La gestion de l'eau a émergé dans les années 1960 avec la loi sur l'eau de 1964 (« loi relative au régime et à la répartition des eaux et à la lutte contre leur pollution »). Il s'agit de la première grande loi à faire référence à l'eau comme milieu et à reconnaître la dégradation de l'eau par les activités humaines (LE CALVEZ, 2020 ; GHIOTTI, 2007). Dans cette optique, elle vise à réguler les usages. Elle instaure une organisation de la gestion par bassin hydrographique avec deux acteurs centraux :

- les Agences de l'Eau qui permettent l'autonomie financière de la gestion de l'eau en recueillant une redevance auprès des usagers. Six Agences ([Figure 1](#)) sont aujourd'hui implantées en métropole (avec chacune des programmes de financement répartis sur 6 ans) ;
- les comités de bassin qui sont composés entre autres de différentes catégories d'usagers et de représentants de collectivités locales. Ils donnent un avis consultatif sur certains travaux d'aménagement comme les stations d'épuration.



Figure 1 : Les 6 Agences de l'Eau actuelles en France

(Source : AGENCE DE L'EAU LOIRE-BRETAGNE, 2017)

qu'expérimentale et ponctuelle dans les Agences Rhône-Méditerranée-Corse et Rhin-Meuse. Mais ce n'est que dans les années 1990 que cet outil est institutionalisé à l'échelle nationale.

I.1.2. A partir des années 1990, une gestion de l'eau de plus en plus fonctionnelle avec une reconnaissance institutionnelle de la restauration

Par la suite, dans les années 1990-2000, une réglementation de grande ampleur va permettre à la gestion de l'eau d'acquérir une portée opérationnelle qui se traduit en partie par la restauration.

I.1.2.1. Les années 1990 : la Loi sur l'Eau et l'enjeu de l'eau comme milieu

Reconnue comme un tournant, la Loi sur l'Eau est promulguée en 1992. Elle renforce la protection des écosystèmes aquatiques en prônant pour la première fois l'approche systémique « eau-milieu » (LE CALVEZ, 2020 ; GHIOTTI, 2007). De nouveaux outils primordiaux sont surtout mis en place avec les Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE), les Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) ou encore les contrats de rivière (*cf. partie I.1.3* sur les outils, p 16). Avec ces instruments de planification, l'action publique encourage l'intervention sur les milieux (MORANDI et PIEGAY, 2017).

Dans ce cadre, la « *restauration de la qualité des eaux superficielles* » devient un « *principe général d'action* » en étant promue comme « *second objectif de la gestion équilibrée de la ressource en eau* » (MORANDI et PIEGAY, 2017). Sa mise en place s'ancre alors définitivement dans les programmes d'intervention en prévalant comme outil local.

I.1.2.2. Les années 2000 : la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) et l'enjeu de bon état des eaux de surface

Cependant, la gestion actuelle de l'eau en France découle surtout d'une réglementation européenne qui s'est affermie depuis le début du XXI^{ème} siècle. En effet, la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) de 2000 est un tournant car le texte européen exige alors pour la première fois d'atteindre des objectifs fixés en matière de qualité de l'eau (LE CALVEZ, 2020 ; BOULEAU, 2008).

De plus, la notion de bon état écologique et chimique des eaux de surface est évoquée (*Figure 2*), ce qui va entériner la gestion écologique de l'eau et accroître la volonté d'intervention (KAGAN, 2017). Le modèle du bassin versant est aussi privilégié en tant que cadre géographique de gestion.

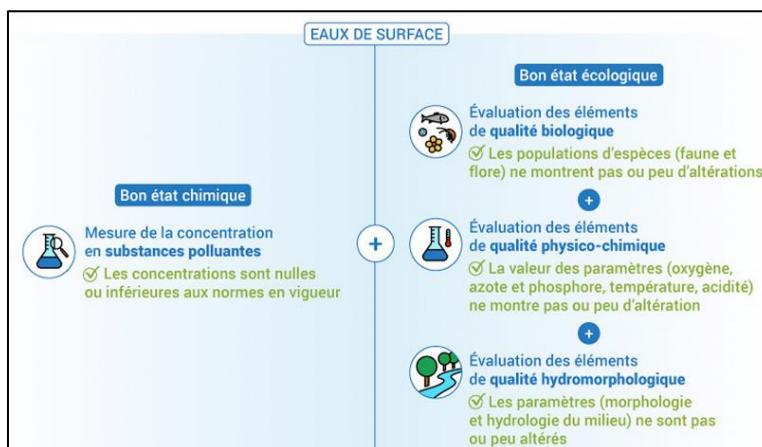


Figure 2 : Objectifs de la DCE pour les eaux de surface

(Source : OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU, 2018)

La DCE est déclinée en 2006 dans le droit français avec la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (LEMA). Avec ce texte, la politique de l'eau en France s'appuie sur une gestion locale. Les sous-bassins hydrographiques sont désignés par le terme de « masse d'eau » qui se définit comme une « *partie distincte et significative des eaux de surface* » servant « *de base à la définition de la notion de bon état* » (OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU, 2018).

Depuis 1964, toute la réglementation mise en place a permis de faire évoluer conceptuellement la gestion de l'eau, passant d'une vision globale et théorique à une vision locale et fonctionnelle (*cf. frise chronologique en Annexe 2, p 87*). Cette évolution a permis de prôner notamment le principe de restauration des cours d'eau dont le rôle est renforcé par différents outils.

I.1.3. Des outils multiscalaires pour mettre en place la restauration dans les territoires de l'eau

Au fur et à mesure de l'enrichissement de la réglementation, divers outils et acteurs ont été créés pour introduire la restauration à différentes échelles. Ce millefeuille territorial est présenté ci-dessous du global au local, en prenant l'exemple du Syndicat Intercommunal de la Vallée de l'Yèvre (SIVY) qui est l'organisme au cœur de cette étude.

I.1.3.1. Le SDAGE : l'échelle du bassin hydrographique

Le SDAGE est un document de planification à l'échelle d'un territoire de coordination politique et juridique avec le grand bassin hydrographique. Il est élaboré par le comité de bassin (*cf. partie I.1.1 sur la loi sur l'eau de 1964, p 14*). Il décrit les priorités et orientations pour la politique de l'eau afin d'aller vers le bon état des masses d'eau pour l'ensemble du territoire.

Le SIVY est intégré au SDAGE Loire-Bretagne ([Figure 3](#)), dont le programme actuel s'étend de 2022 à 2027. La priorité est tout particulièrement donnée aux têtes de bassin versant et aux zones humides. Tous les projets du territoire doivent être conformes aux orientations du SDAGE.

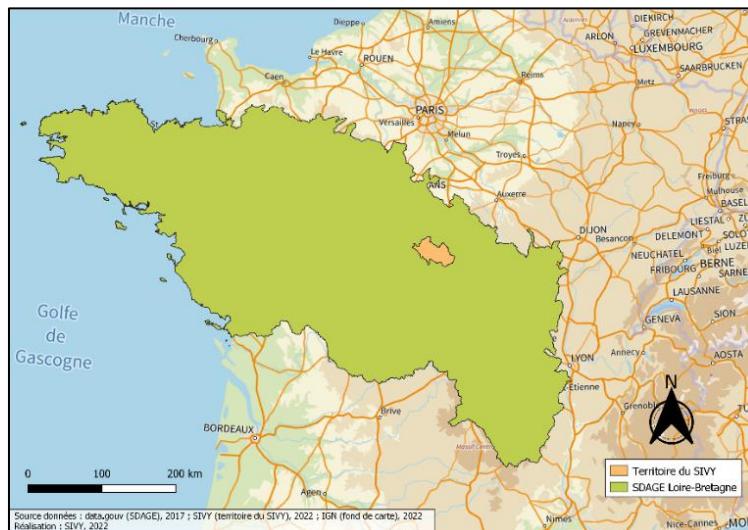


Figure 3 : Délimitation du SDAGE Loire-Bretagne

(Source : CHARONNAT, 2022)

1.1.3.2. Le SAGE : l'échelle du sous-bassin

A l'échelle plus fine, le SAGE est un document de planification réglementaire permettant une gestion coordonnée sur un bassin versant du grand bassin hydrographique. Ce schéma directeur adapte les objectifs donnés par le SDAGE à l'échelle locale avec une hiérarchisation des enjeux.

Pour revenir à l'exemple local, le territoire du SIVY est intégré en totalité dans le SAGE Yèvre-Auron. Ce dernier, créé en 2003, s'étend sur 2 363 km² sur les bassins versants de l'Yèvre et de l'Auron ([Figure 4](#)). Il a été élaboré et approuvé par la Commission Locale de l'Eau (CLE) qui est une assemblée de concertation (SAGE YEVRE-AURON, 2022). Les discussions ont abouti à 4 enjeux principaux dans le SAGE dont l'un d'eux est de « *restaurer et préserver les milieux aquatiques* » (SAGE YEVRE-AURON, 2022).

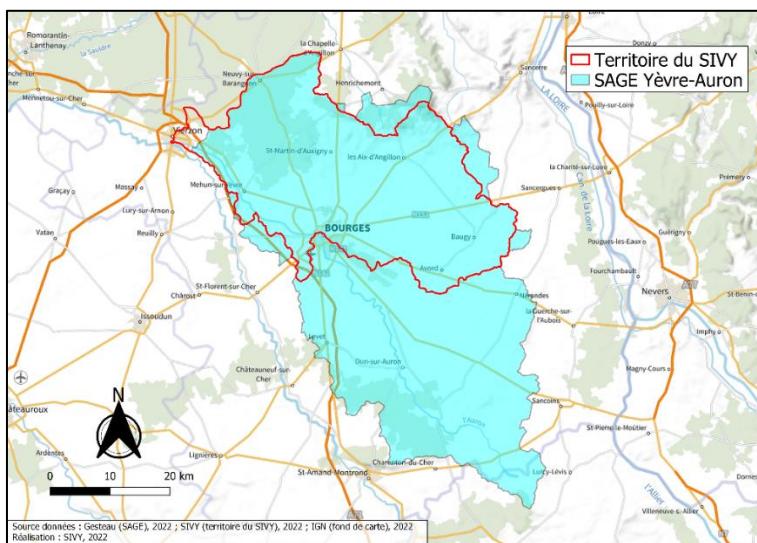


Figure 4 : Délimitation du SAGE Yèvre-Auron

(Source : CHARONNAT, 2022)

1.1.3.3. Le syndicat de rivière : l'échelle opérationnelle locale

Au bout de la chaîne, on retrouve le syndicat de rivière qui gère de manière opérationnelle les cours d'eau. Il est compétent en matière d'étude et de suivi des cours d'eau, de maîtrise d'ouvrage, de sensibilisation ou encore de prévention des risques. Dans le cas du SIVY, il s'agit d'une collectivité intercommunale (*cf. carte en Annexe 1, p 87*).

Son objectif est d'améliorer l'état des cours d'eau et de concilier les enjeux écologiques et les usages territoriaux. Pour ce faire, il peut porter un Contrat Territorial. Ce dernier est un outil financier de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne soutenant localement le développement d'actions diversifiées « *visant à la restauration et à l'entretien des milieux aquatiques pour atteindre les objectifs européens de "bon état" des cours d'eau* » (SIVY, 2022). Un nouveau Contrat Territorial des Milieux Aquatiques (CTMA) est en cours d'élaboration et devrait débuter en 2023 pour s'étendre sur six années.

Ainsi, le cadre réglementaire de gestion de l'eau a progressivement favorisé l'apparition de la notion de restauration. Mais à quoi répond cette émergence et à quoi correspond ce concept qui est mobilisé ?

I.2. A l'origine de ce contexte législatif, une conceptualisation scientifique de la restauration en réponse aux altérations du fonctionnement hydromorphologique des bassins versants

Le récent essor de la restauration dans la politique de gestion de l'eau coïncide avec sa conceptualisation dans le monde scientifique, afin de trouver une solution pour limiter la dégradation hydromorphologique des bassins versants.

I.2.1. Le rôle majeur du bon fonctionnement hydromorphologique des cours d'eau et des têtes de bassin

Pour débuter cette partie, il est utile de faire un rappel sur les caractéristiques hydromorphologiques d'un cours d'eau pour comprendre l'impact des altérations et l'intérêt du concept de restauration.

I.2.1.1. L'hydromorphologie : le domaine d'action de la restauration

L'hydromorphologie correspond à la combinaison des « *processus physiques régissant le fonctionnement des cours d'eau (= dynamique fluviale) et les formes qui en résultent (= morphologie fluviale)* » (MALAVOI et BRAVARD, 2010).

Ces deux critères de définition sont observables en quatre dimensions du cours d'eau ([Figure 5](#)):

- La dimension longitudinale : elle concerne le fonctionnement du cours d'eau de l'amont à l'aval ;
- La dimension latérale : elle concerne les interactions entre le lit mineur du cours d'eau et sa plaine alluviale (zone de débordement et dispersion des crues) ;
- La dimension verticale : elle concerne les interactions et les échanges bi-directionnels entre le cours d'eau et les eaux souterraines ;
- La dimension temporelle : elle considère le cours d'eau comme un héritage d'une succession de modifications historiques, de l'échelle journalière (événement) jusqu'à l'échelle du millénaire.

L'ensemble de ces dimensions forme l'hydrosystème fluvial¹.

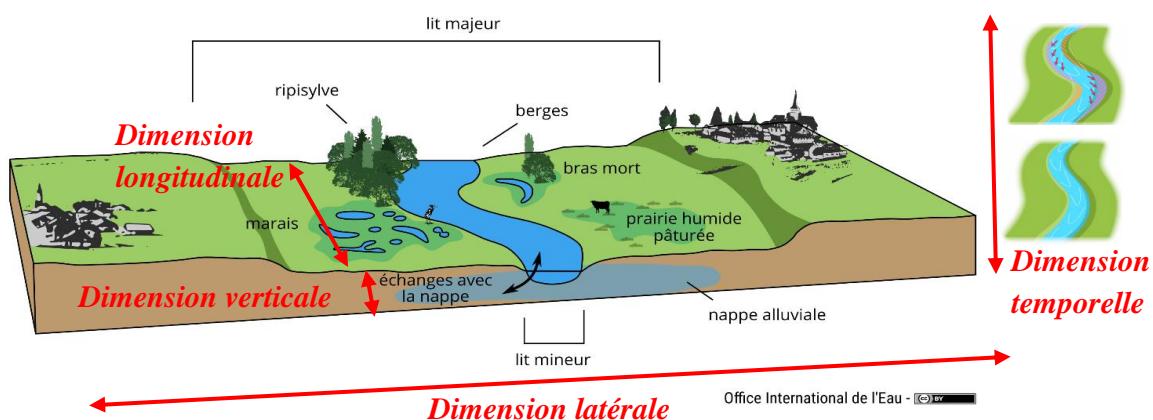


Figure 5 : Structure spatiale d'un cours d'eau et ses 4 dimensions
(Source : OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU ET L'AGENCE FRANÇAISE POUR LA BIODIVERSITE, 2017 et 2018 (annoté))

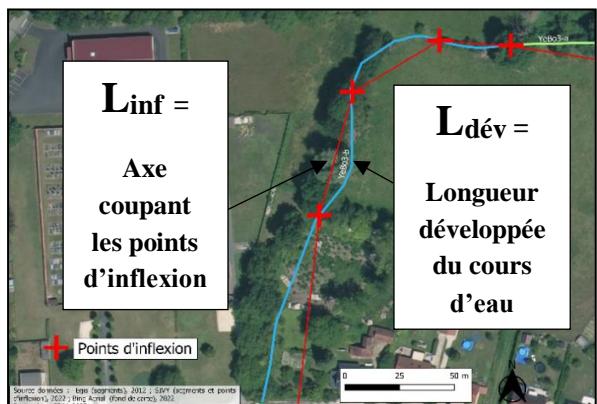
¹ « Tronçon de cours d'eau incluant le lit mineur, le lit majeur, la nappe phréatique et les milieux aquatiques et riverains qu'ils contiennent, au sein du bassin versant » (ARNAUD ET SCHMITT, 2018).

Afin de synthétiser les dimensions d'un cours d'eau en bon état, les deux composantes de l'hydromorphologie, la morphologie et la dynamique, seront exposées succinctement.

➤ La morphologie fluviale : la forme du cours d'eau

La morphologie d'un cours d'eau en bon état est normalement constituée d'un **lit mineur**, « *la partie du cours d'eau où se fait l'écoulement en période de débit de plein bord²* » (CHAUSSIS et SUADEAU, 2012), connecté en interdépendance avec son **lit majeur**, la « *surface soumise aux débordements* » (CHAUSSIS et SUADEAU, 2012) ([Figure 5](#), page précédente). Ce dernier représente donc une plaine alluviale qui doit naturellement dissiper les débits de crue tandis que le lit mineur doit pouvoir concentrer les débits d'étiage, c'est-à-dire les faibles écoulements ayant lieu généralement en période estivale. Dans le cadre de la dimension latérale, la morphologie du cours d'eau intègre également les **berges et la ripisylve**, c'est-à-dire la végétation de bord du cours d'eau.

Lorsque le lit mineur est mobile, on peut parler de **sinuosité** du cours d'eau, qui caractérise « *l'amplitude et la longueur d'onde des méandres* » (BRAMARD, 2015). Ce critère est souvent mesuré avec le rapport de la longueur développée du cours d'eau (Linf) par la longueur de l'axe passant par les points d'inflexion des sinuosités du cours d'eau (Ldév) (MALAVOI et BRAVARD, 2010). La sinuosité SI est donc égale à Linf/Ldév ([Figure 6](#)). Quatre classes de sinuosité SI peuvent alors se former ([Figure 7](#)).



[Figure 6 : Mesure du coefficient de sinuosité sur un segment de cours d'eau](#)
(Source : CHARONNAT, 2022)



[Figure 7 : Les différentes classes de sinuosité en fonction du coefficient SI](#)
(Source : MALAVOI et BRAVARD, 2010)

Pour qu'un cours d'eau comprenne un espace de mobilité satisfaisant en plaine, il faut qu'il soit sinueux ($SI > 1,05$), ce qui arrive sur les cours d'eau peu modifiés.

Ensuite, d'un point de vue longitudinal, un cours d'eau en bon état doit comprendre d'une diversité de **faciès d'écoulement**. Ces derniers sont des « *petites portions de cours d'eau (d'une longueur comprise entre 1 et 10 fois la largeur à pleins bords environ) présentant une homogénéité, à l'échelle de quelques m² à quelques centaines de m²* » (MALAVOI ET BRAVARD, 2010).

L'alternance entre des radiers et des fosses est souvent présentée comme la base fondamentale du bon fonctionnement des cours d'eau ([Figure 8](#), page suivante). Les radiers sont des portions de faible

² Capacité d'écoulement maximal avant débordement, correspondant à des crues moyennes dites « morphogènes » ayant une période de retour d'environ 2 ans (BRAMARD, 2015).

profondeur, de pente assez élevée et de courant fort. Ils sont considérés comme des « verrous hydrauliques » (BRAMARD, 2015) en plaine, contrôlant la dynamique du cours d'eau. D'autre part, les fosses sont des portions de plus grande profondeur, souvent présentes entre les radiers.

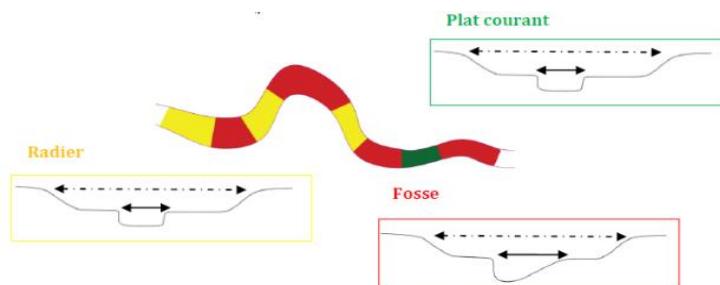


Figure 8 : Profils en travers du lit mineur selon les faciès (en pointillés : lit majeur, en trait plein : lit mineur)
 (Source : GAHON, 2018)

La succession de fosses-radiers est essentielle et elle est accompagnée d'autres faciès intercalés comme les plats courants ou les plats lenticques. Au final, les faciès sont classés prioritairement selon leur hauteur d'eau et leur vitesse d'écoulement (cf. clé de détermination en Annexe 3, p 88).

Au fond du lit mineur d'un cours d'eau en bon état, un **matelas alluvial** doit se constituer (Figure 9), composé d'alluvions hétéroclites disposées sur une roche-mère (MALAVOI ET BRAVARD, 2010). Il doit particulièrement servir à tapisser les radiers pour que ces derniers se stabilisent. Ce matelas doit également favoriser l'interface nappe-rivière.

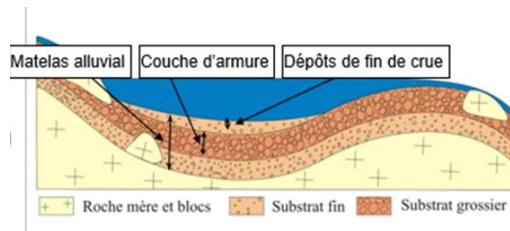


Figure 9 : Profil en long d'un cours d'eau avec matelas alluvial
 (Source : MALAVOI et BRAVARD, 2010)

Avec ces échanges verticaux, une zone de connexion se crée appelée **zone hyporhéique**. Il s'agit de l'« ensemble des sédiments saturés en eau, situés au-dessus et à côté d'une rivière et contenant une certaine proportion d'eau de surface » (WHITE, 1993).

Puis, toute cette morphologie de cours d'eau est influencée par la dynamique fluviale, deuxième composante de l'hydromorphologie.

➤ La dynamique fluviale : le fonctionnement du cours d'eau

Un cours d'eau représente un système dynamique, avec des ajustements permanents, soumis à des **variables de contrôle** dont les principales sont le débit liquide (Q) et solide (Q_s) (BRAMARD, 2015). Ces derniers ont naturellement un impact sur l'ensemble du bassin versant qui réagit localement à la modification de ces facteurs par des **variables de réponse** telles que la pente du fond, la sinuosité, la largeur, la profondeur ou la granulométrie (BRAMARD, 2015). Trois dynamiques globales peuvent alors se mettre en place sur un tronçon de cours d'eau (MALAVOI et BRAVARD, 2010) (Figure 10, page suivante) :

- 1) Les linéaires peuvent être en équilibre si la charge solide (sédiments) est équivalente à la charge liquide (eau). Cette situation crée des segments ayant à la fois des zones d'érosion et de dépôt, ce qui permet d'avoir une morphologie et des écoulements diversifiés.
- 2) Si la charge solide est supérieure à la charge liquide, le cours d'eau aura alors tendance à être dans une dynamique de dépôt.
- 3) Au contraire, si la charge solide est inférieure à la charge liquide, le cours d'eau aura tendance à être dans une dynamique d'incision.

Mais ces dynamiques dépendent de l'érodabilité des berges B et de la puissance spécifique ω du cours d'eau (en watts/m²) qui est souvent utilisée pour caractériser les potentialités d'ajustement naturel du cours d'eau (MALAVOI et ADAM, 2007). Elle est calculée³ avec le rapport entre le produit de la pente et du débit (puissance brute), et la largeur du lit (TERRIER, 2020).

En fonction des dynamiques, le cours d'eau va créer des ajustements morphologiques naturels.

- Ajustement du profil en long

En premier lieu, le cours d'eau peut s'inciser (se creuser) à travers des zones d'érosion ou s'exhausser à travers des zones de dépôt, tout ceci afin de retrouver un profil d'équilibre en fonction d'un niveau de base (point bas d'un cours d'eau) (Figure 11).

D'un côté, on peut avoir une érosion régressive qui est une incision se « *propageant de l'aval vers l'amont, dans le sens contraire de l'écoulement de l'eau* » (SOCIETE SUISSE DE GEOMORPHOLOGIE, 2009). Elle se forme lorsque le point bas d'un cours d'eau (dit niveau de base) a tendance à s'abaisser comme c'est régulièrement le cas lors de l'effacement d'un seuil ou lors d'un curage. Un déséquilibre se créé alors et le cours d'eau cherche à retrouver une pente d'équilibre concave en érodant le fond de lit vers l'amont (Figure 11).

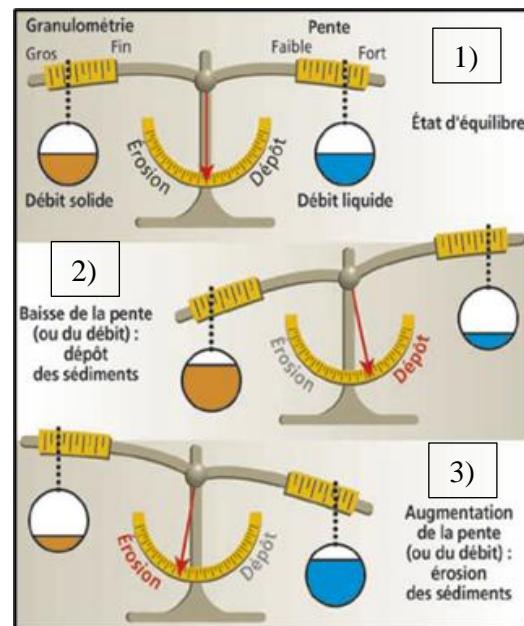


Figure 10 : Balance de Lane (1955)
représentant l'équilibre entre charge solide et charge liquide et la réponse du cours d'eau
(Source : DREAL HAUTS-DE-FRANCE, 2012)

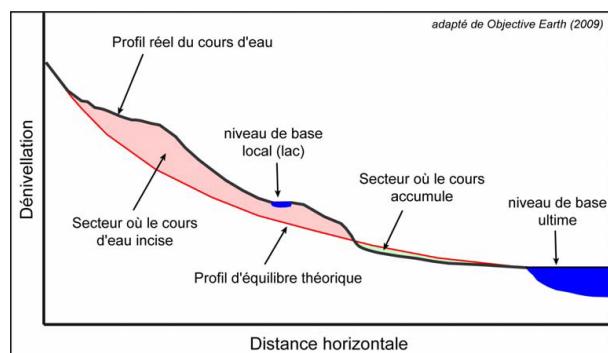


Figure 11 : Schéma théorique du profil d'équilibre et de l'ajustement de la pente en fonction du niveau de base ultime (=point bas du cours d'eau)
(Source : SOCIETE SUISSE DE GEOMORPHOLOGIE, 2009)

³ Puissance spécifique ω = puissance brute Ω / largeur du lit l, avec Ω = Poids volumique de l'eau γ * débit Q * pente J (TERRIER, 2020).

De l'autre côté, l'érosion progressive est une incision se propageant vers l'aval. Elle est induite par un apport déficitaire en sédiments de l'amont. Cette situation est souvent liée à la présence d'ouvrages ou par l'extraction de granulats.

- Ajustement latéral

Avec des sinuosités et une mobilité latérale, les berges en rive concave auront tendance à s'éroder tandis que les sédiments iront se déposer de l'autre côté en rive convexe ([Figure 12](#)). De fait, une pente douce se crée généralement sur le premier côté alors que le second côté est plus favorable à une pente abrupte.

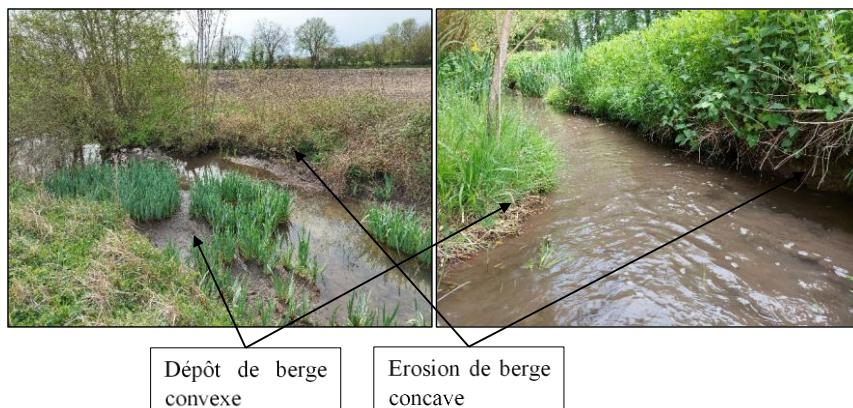


Figure 12 : Dynamique des berges en fonction des sinuosités
(Source : CHARONNAT, 2022)

Afin d'évaluer la dynamique du cours d'eau et d'appréhender l'érodabilité des berges, il est possible d'utiliser le diagramme de Hjulström qui s'appuie sur la taille des sédiments ([Figure 13](#)).

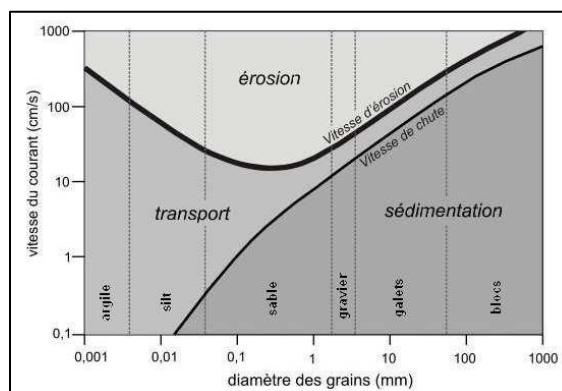


Figure 13 : Diagramme de Hjulström
(Source : JAUD, 2011)

On peut ainsi estimer l'état des berges : celles en argile ou en blocs s'érodent peu au contraire des berges ayant une bonne proportion de sables (MALAVOI et BRAVARD, 2010).

Dans la dynamique latérale, des sur-largeurs peuvent aussi se créer, indiquées par la présence de banquettes. Ces dernières sont constitués de dépôt de sédiments fins sur lesquels des herbacées poussent (*cf.* formation des banquettes en [Annexe 4](#), p 89). Elles apparaissent lorsque le cours d'eau est plus large que naturellement, ce qui entraîne une diminution de la vitesse d'écoulement favorisant la sédimentation de petites particules (BRAMARD, 2015).

Suite à cette contextualisation de l'hydromorphologie, il est pertinent de s'interroger sur les raisons d'attacher autant d'intérêt à cette thématique.

I.2.1.2. L'importance de l'hydromorphologie pour le bon état des écosystèmes aquatiques

Il s'avère que les processus hydromorphologiques mis en avant dans la sous-partie précédente sont primordiaux pour atteindre une bonne qualité des écosystèmes aquatiques.

En effet, dans un premier temps, le cours d'eau est un maillon du **continuum fluvial**, c'est-à-dire de la structure longitudinale du fonctionnement biologique des systèmes fluviaux (VANNOTE *et al.*, 1980). A ce titre, il combine différentes conditions écologiques induites par une zonation hydromorphologique. Plus concrètement, en cas de bon fonctionnement hydromorphologique avec des paramètres diversifiés, l'amont d'un bassin versant aura tendance à avoir des plus petites largeurs de cours d'eau, des plus fortes pentes, des écoulements plus dynamiques et des températures plus fraîches qu'en aval (STAENTZEL, 2021). Avec ces différences physiques, des zones biologiques distinctes peuvent se former, avec une diversité d'espèces et de communautés (*cf.* zonation piscicole en Annexe 8, p 91).

Outre le continuum longitudinal, il est essentiel d'avoir une **connectivité latérale** (lit mineur-lit majeur), pour l'alimentation des annexes hydrauliques du cours d'eau et pour la création d'une mosaïque d'écosystèmes. Par exemple, de nombreuses frayères sont présentes au-delà du lit mineur et pour assurer la reproduction d'espèces comme le brochet, il est nécessaire d'avoir une connexion avec le cours d'eau à certaines périodes de l'année. On peut ainsi accoupler le cours d'eau avec des bras morts mais aussi avec les zones humides qui ont le pouvoir d'épurer l'eau, de stocker de l'eau et d'abriter des espèces à fort enjeu (TERRIER, 2020 ; CHAUSSIS et SUADEAU, 2012).

Au bord des cours d'eau, une **ripisylve dense** peut aussi servir de potentiels habitats, pouvant à la fois accueillir des animaux terrestres et aviaires mais aussi des poissons et des invertébrés (*cf.* fonctions de la ripisylve en Annexe 13, p 94). Elle possède également une fonction de stabilisation et de protection des berges par rapport à l'érosion de berge (CHAUSSIS et SUADEAU, 2012). Enfin, cette végétation peut créer de l'ombrage au cours d'eau. L'évaporation est donc plus limitée et on peut accueillir une plus grande diversité d'espèces piscicoles (exemple des espèces sténothermes, adaptées à des eaux fraîches ayant peu d'amplitudes thermiques) (CHAUSSIS et SUADEAU, 2012).

Enfin, avec un bon fonctionnement hydromorphologique, le cours d'eau comporte une **succession de faciès d'écoulement** qui est utile pour accueillir une diversité d'espèces qu'elles soient rhéophiles (qui aiment les eaux courantes) ou limnophiles (qui aiment les eaux calmes) (STAENTZEL, 2021). Au fond du lit, le matelas alluvial est un élément clé des cours d'eau car il possède des fonctionnalités spécifiques (Figure 14, page suivante): habitats pour des espèces invertébrées et piscicoles, protection du fond de lit, épuration des eaux superficielles... Sa présence est surtout importante dans les radiers pour diversifier les écoulements et les habitats ainsi qu'avoir des matériaux solides pouvant maintenir le radier (BRAMARD, 2015 ; MALAVOI et BRAVARD, 2010).

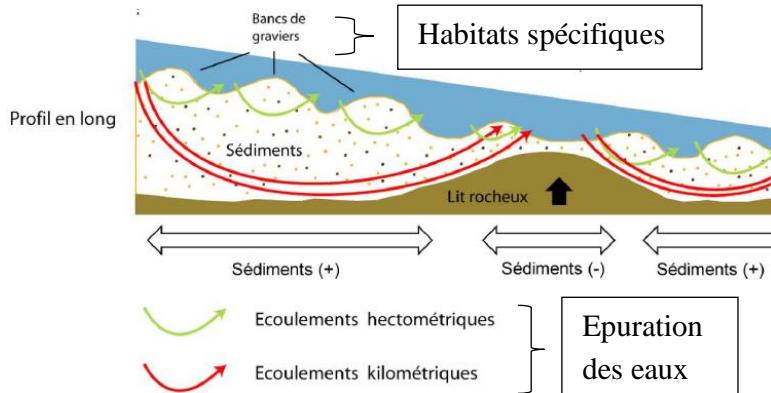


Figure 14 : Influence du matelas alluvial sur les écoulements

(Source : CAPDERREY, 2013 (annoté))

Ainsi, les éléments du bon fonctionnement hydromorphologique sont prépondérants dans la création d'un corridor fluvial de bonne qualité écologique, d'où l'intérêt de les préserver. Les enjeux sont particulièrement accrus pour les têtes de bassin.

I.2.1.3. *Le rôle primordial des têtes de bassin versant et de leur bon état*

Au cœur des écosystèmes aquatiques, les têtes de bassin versant (Figure 15) sont des espaces très stratégiques puisque leur préservation est une priorité du SDAGE Loire-Bretagne comme évoqué dans la partie I.1.3.1 (p 16).

Plusieurs critères permettent de les identifier comme le rang de Strahler (*cf. explication en Annexe 5 et Annexe 6, p 90*). Par convention, on admet que des cours d'eau sont en tête de bassin dès que leur ordre est inférieur ou égal à 2 (Figure 15) (BRAMARD, 2018 ; KAGAN, 2017). Le critère de la pente est parfois pris en compte mais il n'est pas adopté partout et de la même manière afin de ne pas exclure de nombreux petits cours d'eau que l'on retrouve souvent en tête de bassin. A titre d'exemple, le SDAGE Loire-Bretagne 2016-2021 utilisait une pente supérieure à 1% (KAGAN, 2017).

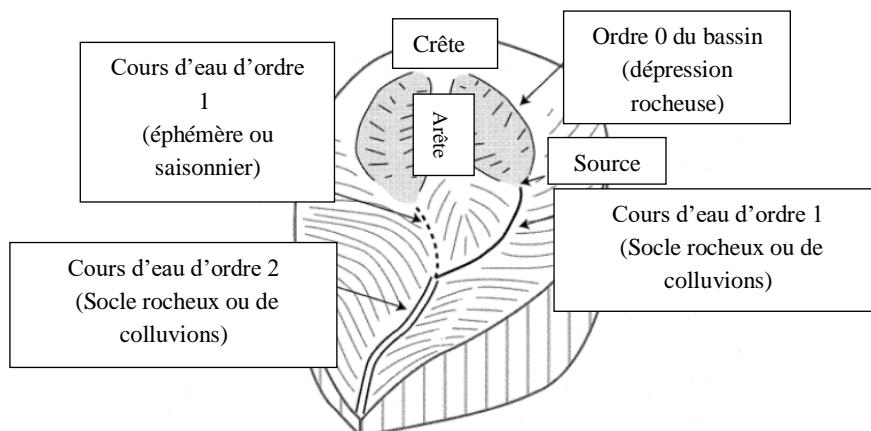


Figure 15 : Schéma d'une tête de bassin versant

(Source : KAGAN, 2017 (traduit de l'anglais))

Mais quel est l'intérêt de ces espaces ? Il s'avère que les têtes de bassin sont riches en une multitude d'écosystèmes aquatiques et spécifiques : ruisseaux, mares, zones humides... Les cours d'eau qui en

proviennent sont souvent de petit gabarit et intermittents (BRAMARD, 2018). Mais on estime qu'ils assurent « 50 à 70% de l'alimentation des cours d'eau d'ordre supérieur » (KAGAN, 2017). Par conséquent, les têtes de bassin ont un impact direct sur la ressource en eau de l'aval, d'où la nécessité d'être en bon état d'autant qu'elles apportent de nombreuses services écosystémiques.

Outre la régulation des débits lors des crues ou des étiages, elles permettent d'épurer les eaux grâce à la végétation des zones humides (KAGAN, 2017). Dans ce cadre, elles constituent des « zones de forte dénitrification » (BRAMARD, 2018). Elles abritent également une grande richesse biologique avec des espèces spécifiques (voire endémiques) à ces écosystèmes aquatiques comme le chabot, les écrevisses à pieds blancs ou la lamproie. Ces derniers apprécient les zones d'ombre fréquemment présentes à l'amont des bassins.

Par conséquent, en hydromorphologie, les têtes de bassin versant sont des zones-clés pour avoir un bon état qualitatif et quantitatif des masses d'eau. Cependant, des altérations menacent durablement le fonctionnement hydromorphologique naturel des cours d'eau.

I.2.2. Des fortes dégradations qui se manifestent sur l'hydromorphologie naturelle

Au fur et à mesure de l'anthropisation des bassins versants, l'hydromorphologie des cours d'eau s'est retrouvée directement dégradée. En science de l'environnement, la dégradation correspond à une « notion dynamique caractérisant un état différent de l'état initial [...] [avec] des changements subtils ou graduels qui réduisent l'intégrité et la santé écologique » (BIORET et CHLOUS-DUCHARME, 2011).

I.2.2.1. Une grande diversité d'interventions anthropiques dégradantes

Dans le cas des écosystèmes aquatiques, plusieurs actions humaines ont contribué à uniformiser les habitats et ainsi créer des dysfonctionnements.

Tout d'abord, les opérations de chenalisation sont les principales interventions ayant perturbé la morphologie des cours d'eau. Celles-ci consistent à régulariser le profil en long et en travers des lits mineurs, notamment en les contraignant (TERRIER, 2020 ; MORANDI et PIEGAY, 2017). Dans le cadre de la chenalisation, on retrouve plusieurs modifications morphologiques lourdes, récapitulées dans un tableau en Annexe 9 (p 92) : rectification, recalibrage, curage...

Les barrages et les seuils sont également très problématiques car ils créent une rupture à la continuité écologique en bloquant à la fois le transit sédimentaire et la libre-circulation des espèces piscicoles. Par un ralentissement des écoulements en amont, les phénomènes d'envasement y sont favorisés, ainsi que le réchauffement de l'eau avec une évaporation accentuée. Enfin, le blocage des sédiments en amont produit souvent une érosion progressive en aval de l'ouvrage puisque le cours d'eau fait face à un déficit sédimentaire.

Puis il est intéressant de prendre en compte également les modifications au-delà du lit mineur comme la disparition de la ripisylve et des zones tampons (avec des haies, des prairies), ou la mise en place d'aménagements de drainage (drains, fossés) dans le lit majeur. Ceux-ci réduisent les mécanismes d'autoépuration avec une diminution des zones humides. De plus, cela implique une diminution des éléments stabilisateurs permettant de ralentir le ruissellement dans le bassin versant, ce qui peut favoriser des inondations.

Enfin, le piétinement des berges et du lit mineur par le bétail peut constituer une dernière action dégradante pour les cours d'eau. Celui-ci provoque de l'érosion de berge, des sur-largeurs (un lit mineur beaucoup plus large que la section d'écoulement) et du colmatage ([Figure 16](#)).

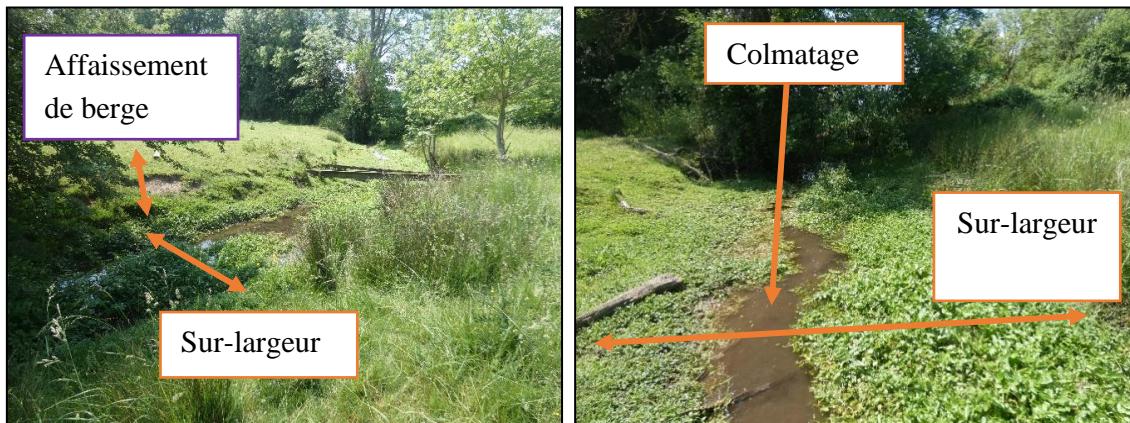


Figure 16 : Effets du piétinement de berge

(Source : CHARONNAT, 2022)

Finalement, toutes ces perturbations anthropiques ont entraîné trois types d'altérations majeurs (CHANDRESIS et SOUCHON, 2008) : l'altération de flux solide, de flux liquide et de morphologie (cf. schéma récapitulatif en [Annexe 10](#), p 93). Mais quels facteurs ont favorisé la multiplication des interventions dégradantes autour des cours d'eau ?

1.2.2.2. *La conséquence d'une forte pression foncière*

Les modifications hydromorphologiques étayées précédemment ont souvent été le résultat d'une pression foncière exercée par l'agriculture, l'urbanisation ou encore l'activité forestière (plantations). Dans les espaces ruraux, le changement est particulièrement saillant au milieu du XX^{ème} siècle avec le remembrement. En effet, pour moderniser l'agriculture et nourrir la population d'après-guerre, une politique de remembrement a lieu dès les années 50 qui contribue à étendre les exploitations agricoles où prédominaient auparavant l'élevage. Pour gagner de l'espace et faciliter le passage des engins, les cours d'eau sont rectifiés et sont souvent vus comme des fossés. Les haies arborées sont quant à elles supprimées en quasi-totalité dans les champs intensifs, réduisant la ripisylve des rivières locales. Enfin, de nombreuses prairies sont supprimées au profit des cultures

Outre les usages à caractère économique, les aménagements contraignant les cours d'eau sont également liés à une volonté de protection vis-à-vis des inondations. En effet, les lits majeurs ont progressivement été urbanisés avec près de deux millions de personnes qui y vivent aujourd'hui en France. De fait, afin de diminuer les risques pour les habitants, les ouvrages latéraux sont généralisés à partir du XIX^{ème} siècle avec notamment le lancement d'une politique nationale d'endiguement en France en 1856 à la suite de violentes crues du Rhône et de la Loire (GUERRIN et BOULEAU, 2014).

Toutes ces interventions dégradantes sont surtout menaçantes pour les têtes de bassin versant.

1.2.2.3. *La vulnérabilité accrue des têtes de bassin versant*

Au cœur des hydro-systèmes, les têtes de bassin sont très vulnérables aux modifications anthropiques. En effet, avec leur « taille réduite et leur isolement » (KAGAN, 2017), ces espaces sont

très exposés à une uniformisation du paysage en étant « *facilement aménageables* » (BRAMARD, 2018) et donc altérables. Leur richesse en termes d'habitats est remise en cause par le remembrement qui supprime des milieux aquatiques spécifiques (zones humides, bras annexes, ruisseaux intermittents) (Figure 17). Les services écosystémiques qui y sont associés sont remis en cause tels que l'épuration des eaux ou la régulation des débits, ce qui impacte d'autant plus l'aval des bassins versants.

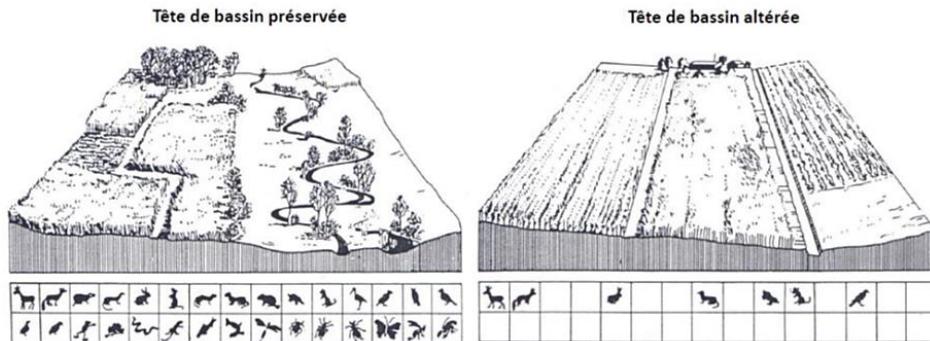


Figure 17 : Conséquences de la dégradation des têtes de bassin sur la biodiversité
(Source : KAGAN, 2017)

De fait, les risques sont importants autour des têtes de bassin, ce qui amène à y développer le concept de restauration.

I.2.3. Face à ces altérations, l'apparition en France d'un cadre conceptuel de la restauration porté par les travaux scientifiques

Pour répondre à l'ensemble des dégradations constatées, les chercheurs vont développer un nouveau champ scientifique qui va infuser en France à la fin du XX^{ème} siècle : la restauration hydromorphologique de cours d'eau.

I.2.3.1. La naissance du concept de restauration sous le prisme hydraulique et paysager en France

A l'origine, l'émergence de ce concept correspond aux années 1970-1980 (TERRIER, 2020 ; MORANDI, 2014) avec une prise de conscience du mauvais état des rivières. L'enjeu en France est alors de faire face à l'abandon des cours d'eau et à leur « *défaut d'entretien* » (MORANDI, 2014). Les milieux aquatiques étant dégradés, il est ainsi question de rétablir un écosystème dit de référence, souvent non anthropisé (MORANDI et PIEGAY, 2017). L'intervention de restauration doit ainsi effacer la dégradation subie avant que ne soit franchi un seuil d'irréversibilité, c'est-à-dire le seuil après lequel il est impossible de revenir à un « *état stable alternatif* » voire à un « *écosystème préexistant* » (ARONSON et LE FLOC'H, 1995) (Figure 18).

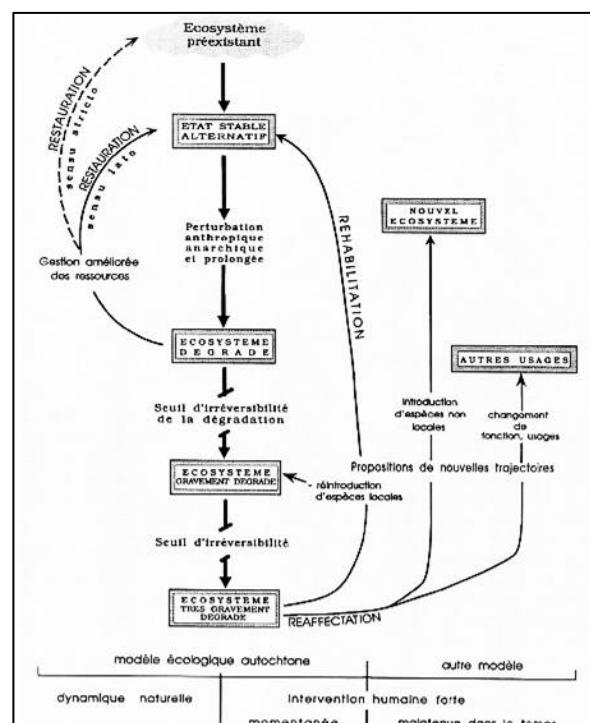


Figure 18 : Modèle d'intervention sur les écosystèmes aquatiques face à différents degrés de dégradation
(Source : ARONSON et LE FLOC'H, 1995)

Pour ce faire, il est nécessaire de changer la trajectoire d'écosystème en adoptant un « chemin de récupération » (« *recovery pathway* ») (BRIERLEY *et al.*, 2008)) grâce à une action humaine importante et intentionnelle (ARONSON et LE FLOC'H, 1995). A l'issue de cette modification anthropique, la résilience du milieu doit prendre le relais pour rétablir naturellement les fonctions et la structure de l'écosystème qui étaient en vigueur avant les dégradations (WOHL *et al.*, 2021).

Dans les années 1970-1980, l'approche publique de la restauration en France n'est pas écocentré mais anthropocentrée puisque la priorité est donnée à « *rétablissement un lien [paysager] au cours d'eau* » (MORANDI, 2014) afin d'améliorer et sécuriser le cadre de vie des riverains (WOHL *et al.*, 2021 ; MORANDI et PIEGAY, 2011). L'ambition qui est portée est de suspendre les « *pratiques mutilantes d'aménagement* » (MORANDI, 2014) autour des cours d'eau comme le recalibrage et la rectification.

Cependant, cette conception hydraulique et paysagère de la restauration va progressivement être remise en cause.

I.2.3.2. *L'évolution contemporaine du concept vers une approche écologique*

Au tournant des années 1990 jusqu'à aujourd'hui, le paradigme écologique va prendre le dessus grâce à l'évolution du discours scientifique associée à une réglementation active. Cette approche écocentrée va privilégier le milieu en tant que cadre d'action plutôt que le paysage (MORANDI, 2014). Les interventions vont se diversifier et ne vont plus se limiter à de l'entretien global mais à des travaux spécialisés pour rétablir les services écosystémiques du cours d'eau (REY *et al.*, 2018). Cette nouvelle vision s'appuie notamment sur l'usage approfondi du génie végétal dès les années 1990 (plantation de ripisylve, structures de confortement des berges en bois) (MORANDI, 2014 ; BRIERLEY *et al.*, 2008).

A l'issue de cette évolution conceptuelle, trois visions sont aujourd'hui associées à la restauration (MORANDI et PIEGAY, 2011) : celle hydraulique et ingénieriste pour la sécurité des riverains ; celle écologique pour le bon fonctionnement du milieu naturel ; et celle piscicole pour le maintien de la ressource halieutique (*cf.* graphique sur les différentes approches en Annexe 14, p 95).

En concomitance avec cette émergence conceptuelle, une multitude de projets est mise en place à partir des années 1990.

I.3. Pour transcrire localement la réglementation et le concept de restauration, la mise en place d'un large éventail de techniques de restauration hydromorphologique

Afin d'atteindre le bon état des masses d'eau évoquée en partie I.1. et de concrétiser le cadre conceptuel développé dans la partie précédente, la restauration va s'appuyer sur une grande diversité de techniques hydromorphologiques répondant à différents niveaux d'enjeux.

Dans l'optique de présenter leur mise en œuvre, il convient dans un premier temps de catégoriser et décrire les techniques ainsi que les objectifs recherchés. Puis il sera abordé les différents niveaux d'ambition de la restauration. Enfin, un bref état des lieux des projets de restauration en France sera mis en avant.

I.3.1. Les différentes techniques de restauration hydromorphologique en fonction des altérations

Composée d'une grande diversité d'actions, la restauration hydromorphologique est caractérisée par « *une modification de la forme du cours d'eau pour restaurer ses fonctionnalités, ce qui [...] a pour conséquence de redonner un plus grand espace de liberté au cours d'eau* » (ANQUETIL et al., 2018). Dans le cadre opérationnel, deux grands types d'intervention sont généralisés. D'une part, la restauration peut être passive, c'est-à-dire que l'objectif est de « *réduire les forces de dégradation* » (CHANDRESIS et SOUCHON, 2008) comme les ouvrages latéraux (protections de berges) ou transversaux (barrages, seuils). D'autre part, la restauration peut être active si elle conforte le cours d'eau pour qu'il « *se réajuste rapidement, tant du point de vue physique qu'écologique* » (CHANDRESIS et SOUCHON, 2008). Ces deux catégories ne sont pas applicables avec les mêmes conditions : le premier type de restauration nécessite un cours d'eau très puissant avec une grande puissance spécifique et une forte érodabilité des berges afin que l'intervention soit simplifiée ; le second type est réalisé quand le cours d'eau est peu puissant puisque les modifications morphologiques sont plus lourdes (BRAVARD et MALAVOI, 2010).

Mais à quelles techniques spécifiques correspond cette catégorisation ? Il s'avère que les opérations sont ciblées sur trois principaux compartiments de l'hydrosystème, comme le prône le SDAGE Loire-Bretagne (CHAUSSIS et SUADEAU, 2012) (Tableau 1).

Tableau 1 : Les principales actions de restauration dans les compartiments du cours d'eau
(Source : CHARONNAT, 2022)

Compartiment de l'hydrosystème	Lit mineur	Continuité écologique	Berges
Actions	<ul style="list-style-type: none"> - La recharge en granulats pour diversifier les écoulements ; - Le reméandrage pour « <i>remettre le cours d'eau dans ses anciens méandres [...] ou [pour] créer un nouveau cours d'eau sinueux ou méandriforme correspondant au type fluvial naturel</i> » (ROLAN-MEYNARD et al., 2019) ; - La remise en fond de vallée pour reconnecter un cours d'eau perché à sa nappe d'accompagnement ; - Le lit emboîté pour recréer une zone d'expansion de crue ; - Les aménagements pour réduire les altérations du bétail (passages à gué et abreuvoirs aménagés). 	<ul style="list-style-type: none"> - L'effacement (=suppression) ou l'arasement (= abaisser la hauteur) d'ouvrages transversaux ou latéraux (seuils, barrages ou digues); - La mise en place de passes à poissons au niveau d'ouvrages infranchissables ; - Le contournement de plan d'eau par un bras qui doit « <i>remettre le cours d'eau dans son talweg</i> (=fond de vallée) » (ROLAN-MEYNARD et al., 2019). 	<ul style="list-style-type: none"> - La protection par des ouvrages latéraux de génie végétal (épis, fascines) pour limiter une forte érosion et réduire la largeur du lit (CHAUSSIS et SUADEAU, 2012) ; - La plantation de ripisylve pour stabiliser les berges et les banquettes ; - Le retalutage pour « <i>adoucir la pente des berges</i> » (CHAUSSIS et SUADEAU, 2012) pour le développement de la ripisylve et la réduction d'une forte érosion.

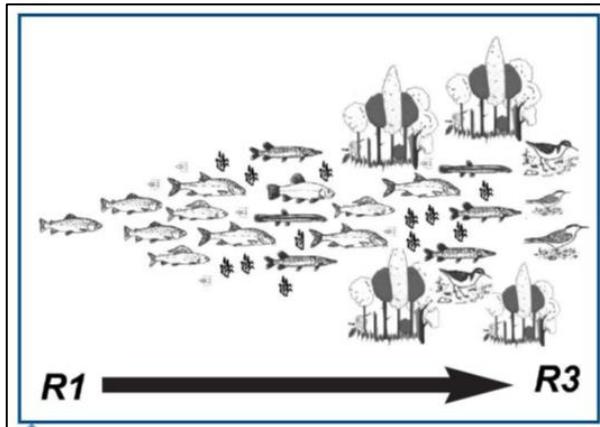
En fonction du type d'approche adopté (hydraulique, piscicole, écologique), d'autres interventions sont possibles (*cf.* classification des différentes techniques en Annexe 15, p 96). Cependant, la mise en place des techniques dépend du niveau d'ambition qui est prévu par le porteur de projet.

1.3.2. Des degrés d'ambition différenciés

En fonction de la nature des dégradations, l'action hydromorphologique va comporter une hiérarchisation dans l'ambition (TERRIER, 2020 ; CHANDRESIS et SOUCHON, 2008 ; MALAVOI et ADAM, 2007). A l'intérieur de la classe « R » (Restauration) qui est mise en place quand le fonctionnement du cours d'eau est dégradé, trois degrés d'ambition sont atteignables.

Le premier niveau « R1 » est le moins évolué avec la perspective de restaurer uniquement « *un compartiment de l'hydrosystème, souvent piscicole* » (CHANDRESIS et SOUCHON, 2008). L'intervention n'est donc pas complète et parfaitement fonctionnelle mais elle ne nécessite pas une emprise foncière importante (MALAVOI et ADAM, 2007). Par la suite, le niveau « R2 » se caractérise par une ambition moyenne où l'opération comporte une visée fonctionnelle plus globale par la modification de l'ensemble des compartiments (habitat, équilibre sédimentaire, ripisylve...). La disponibilité latérale doit être plus importante que la catégorie « R1 » avec une emprise foncière deux à dix fois supérieure à la largeur du lit actuel, permettant un faible reméandrage (CHANDRESIS et SOUCHON, 2008). Enfin, le dernier niveau « R3 » est le plus ambitieux et le plus complet en termes de processus fonctionnels. Il reprend les objectifs de la catégorie « R2 » tout en permettant la mise en place d'un espace de mobilité pour le cours d'eau (au minimum dix fois plus que le lit mineur actuel) (MALAVOI et ADAM, 2007).

Ces différentes portées de la restauration sont synthétisées au travers du croquis ci-contre (Figure 19). Il montre que le niveau « R1 » permet une amélioration limitée de la biodiversité avec des espèces banales, tandis que l'élargissement du corridor fluvial avec « R2 » et « R3 » provoque une diversification biologique.



(Source : MALAVOI et ADAM, 2007)

Ainsi, ce premier chapitre a permis de contextualiser l'émergence de la restauration dans la gestion de l'eau en France en tant que concept et outil technique. Il ressort que face à de fortes dégradations du fonctionnement hydromorphologique des cours d'eau, une importante réglementation s'est mise en place à la fin du XX^{ème} siècle qui a permis de faire le lien entre la connaissance scientifique multiforme et l'action opérationnelle.

Après cette mise en perspective globale et théorique, l'enjeu est désormais de comprendre comment développer localement un projet de restauration en s'intéressant à un exemple concret en Champagne berrichonne.

Chapitre II : Quelle méthode adopter pour réfléchir à un projet de restauration adapté dans une commune de Champagne berrichonne ?

Après cet état de l'art sur la restauration et la nécessité de certaines interventions, l'objectif est de mettre en place une méthode d'étude permettant de faire émerger un projet adapté au territoire local. Ce deuxième chapitre s'attèlera donc à expliquer la démarche adoptée afin de faire ressortir des résultats exploitables dans un cadre spatial spécifique.

Dans un premier temps, le secteur d'étude sera présenté avec le contexte régional et les cours d'eau concernés. Par la suite, il sera montré que la méthodologie appliquée a été décomposée en deux phases avec la mise en œuvre d'un diagnostic de territoire puis le développement technique d'un projet potentiel répondant aux enjeux identifiés. Enfin, les limites méthodologiques seront explicitées à la fin de cette partie.

II.1. Le choix d'une zone d'étude orientée sur des petits cours d'eau de tête de bassin de l'Yèvre au cœur d'une commune de la Champagne berrichonne

Dans le cadre de l'étude sur la restauration de cours d'eau, une zone spécifique a été sélectionnée dans un village berrichon. Il convient de dépeindre le territoire ciblé de manière multiscalaire. Pour ce faire, le bassin versant sera d'abord exposé.

II.1.1. Une étude portée sur le bassin versant de l'Yèvre et sa masse d'eau Yèvre Amont

D'un point de vue hydrographique, la réflexion s'est portée sur le bassin versant de l'Yèvre, sous-bassin du Cher dans lequel l'Yèvre se jette en rive droite à Vierzon ([Figure 20](#), page suivante). Il comprend environ 1900 km de cours d'eau, s'étend sur 2363 km² et 126 communes, à cheval sur les départements de l'Allier et surtout du Cher. Tout cet espace d'environ 170 000 habitants est intégré au SAGE Yèvre-Auron puisque l'on parle souvent de bassin Yèvre-Auron.

Les deux principaux affluents sont situés en rive gauche de l'Yèvre, rivière qui s'étend sur près de 80 km de longueur. Il s'agit de l'Auron (bassin de 722 km²) et de l'Airain (bassin de 338 km²) au Sud du territoire. Ces deux sous-bassins sont gérés pratiquement en totalité par le Syndicat Intercommunal d'Aménagement des Bassins de l'Auron, l'Airain et leurs Affluents (SIAB3A).

Au Nord, le bassin est géré par le Syndicat Intercommunal de la Vallée de l'Yèvre (SIVY) ([Figure 20](#), page suivante). On y retrouve la grande majorité des affluents en rive droite de l'Yèvre avec le Barangeon (bassin de 256 km²) ou encore l'Ouatier (bassin de 162 km²) (SIVY, 2022). Afin de simplifier l'analyse, nous nous intéresserons surtout au territoire du SIVY, en excluant la moitié Sud du bassin.

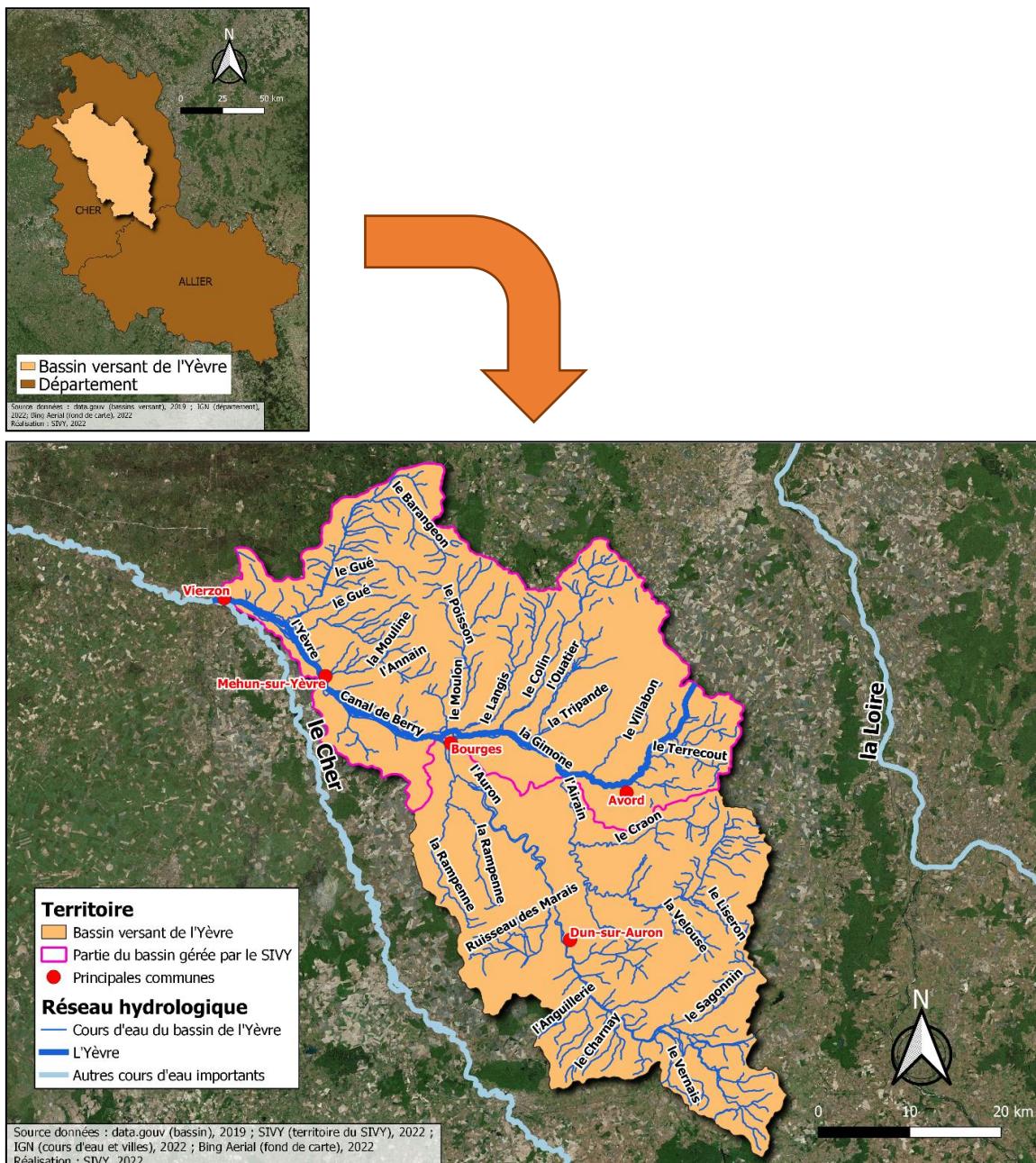


Figure 20 : Localisation du bassin versant topographique de l'Yèvre et de son réseau hydrologique

(Source : CHARONNAT, 2022)

Dans cette partie gérée par le SIVY, on compte douze masses d'eau (Figure 21), dont seulement cinq avaient un bon état écologique en 2019 (cf. carte en Annexe 16, p 97). Les problèmes souvent rencontrés sont une présence importante de pesticides, une morphologie dégradée et une hydrologie perturbée (HYDRO CONCEPT, 2021 ; AGENCE DE L'EAU LOIRE-BRETAGNE, 2020).

Parmi ces masses d'eau, l'Yèvre Amont⁴ s'étend tout à l'Est sur 84 km² et 66 km de linéaire (Figure 21, page suivante). Cet espace est l'un des plus altérés du territoire du SIVY avec un état écologique moyen (AGENCE DE L'EAU LOIRE-BRETAGNE, 2020). Ses principaux cours d'eau sont situés en rive gauche de l'Yèvre qui prend sa source dans cette masse d'eau.

⁴ Code européen : FRGR 2087 ; Nom : L'Yèvre et ses affluents depuis la source jusqu'à Farges-en-Septaine.

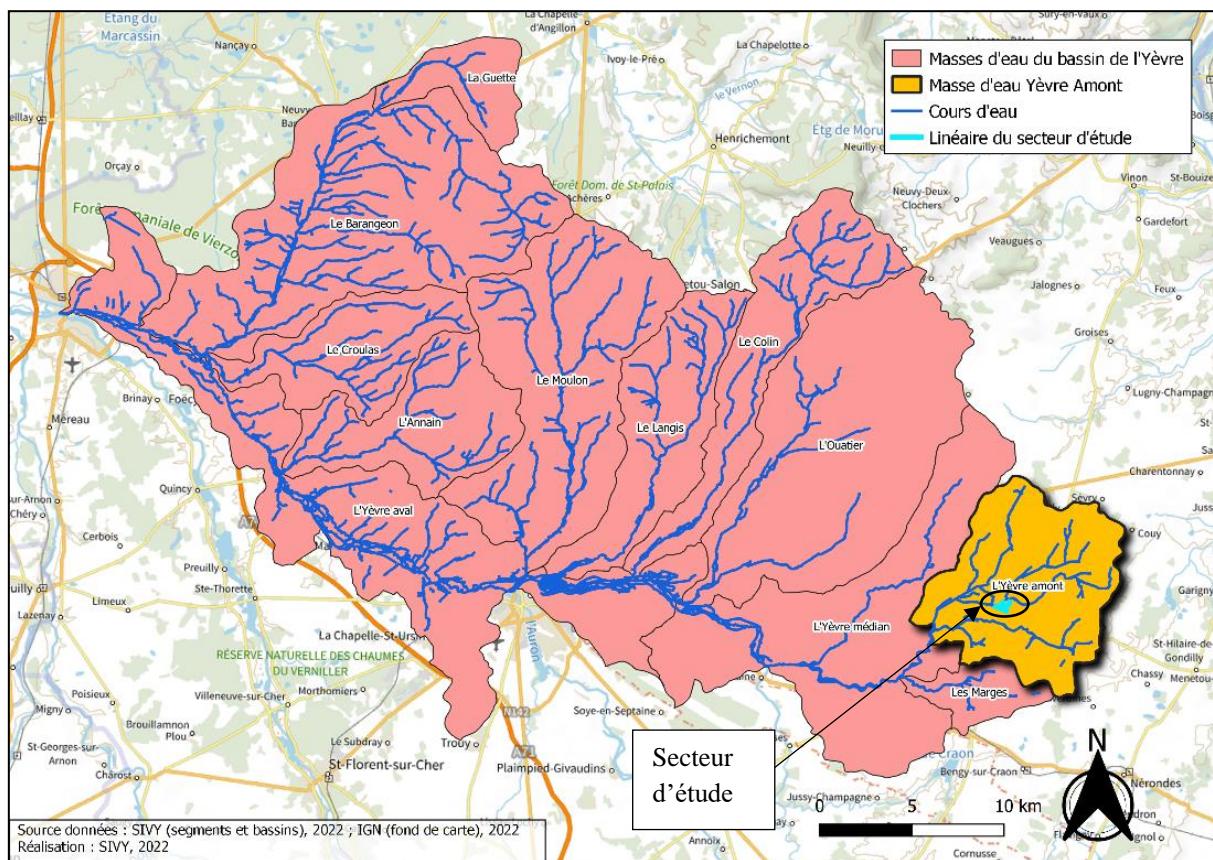


Figure 21 : Ensemble des masses d'eau sur la partie du bassin de l'Yèvre gérée par le SIVY
(Source : CHARONNAT, 2022)

Cette masse d'eau Yèvre Amont est incluse dans le paysage de la Champagne berrichonne.

II.1.2. Le cadre régional de la Champagne berrichonne

Afin d'aborder l'occupation des sols et le contexte physique du territoire étudié, il est important d'évoquer la Champagne berrichonne. Cette dernière représente un plateau céréalière ouvert et calcaire de près de 4500 km² (MAUSSION, 2004), faisant la jonction entre les départements du Cher et de l'Indre (cf. carte en [Annexe 11](#), p 93). Le terme « champagne » désignant une plaine crayeuse ou calcaire, cette région est caractérisée par un relief très faible (cf. carte en [Annexe 12](#), p 93), permettant l'implantation généralisée d'*openfields*, c'est-à-dire de champs très ouverts.

Etant compris en grande partie dans la Champagne berrichonne, le bassin de l'Yèvre est par conséquent essentiellement consacré aux terres agricoles céréalières (49% de l'ensemble du bassin), notamment à l'amont de l'Yèvre à l'Est (97% de la masse d'eau Yèvre Amont) ([Figure 22](#), page suivante). A l'opposé, le Nord-Ouest du bassin est surtout occupé par les forêts de Sologne (AGENCE EUROPÉENNE POUR L'ENVIRONNEMENT, 2018).

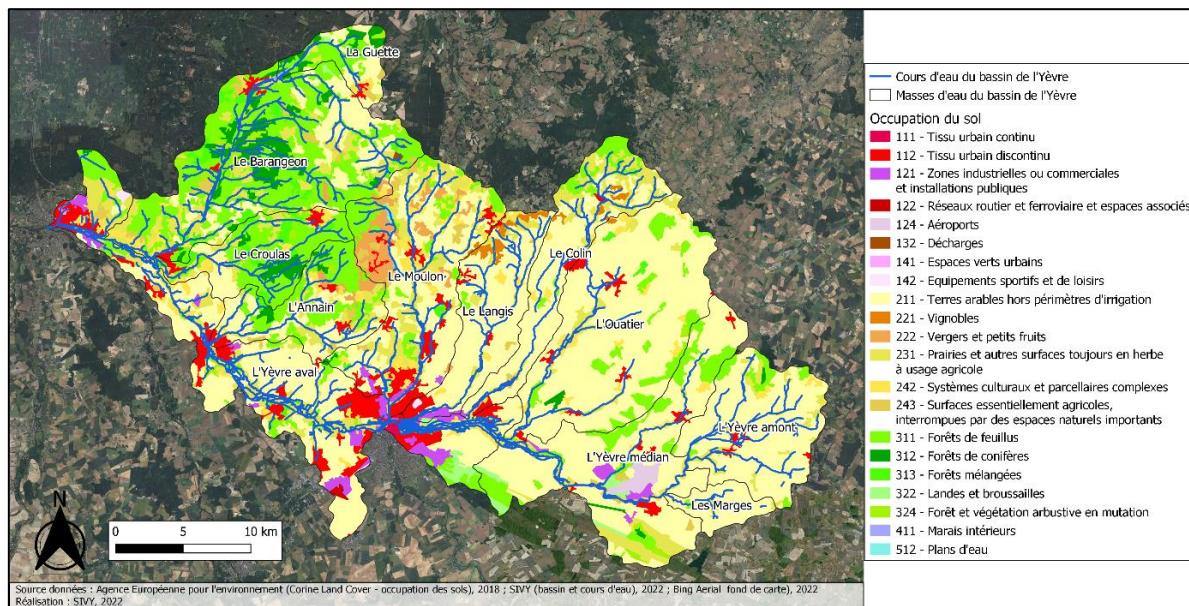


Figure 22 : Occupation des sols dans la partie du bassin de l'Yèvre gérée par le SIVY en 2018

(Source : CHARONNAT, 2022)

Avec la Champagne berrichonne, le territoire de l'Yèvre est essentiellement couvert par les couches du Malm (Jurassique supérieur, -150 à -130 millions d'années (cf. carte géologique en [Annexe 17](#), p 98). Ces « *affleurements calcaires et marneux* » viennent pour la plupart du Berry, avec des épaisseurs pouvant être conséquentes (PROUST ET LORAIN, 1989). La masse d'eau Yèvre Amont, au cœur de l'analyse, est surtout dominée par le faciès du Rauracien ([Figure 23](#)). Cette couche datant de -150 à -146 millions d'années comprend des calcaires coralliens (roche issue de concrétions océaniques) (MAUSSION, 2004).

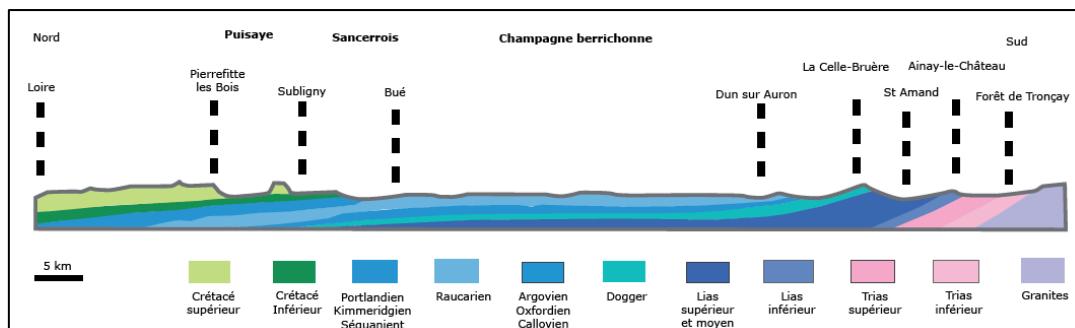


Figure 23 : Coupe schématique Nord-Sud du Berry

(Source : DREAL CENTRE-VAL DE LOIRE, 2015)

L'étude se concentre donc sur une masse d'eau très calcaire, ce qui favorise l'apparition de grandes nappes souterraines (HAKOUN, 2020). Parmi celles-ci, on retrouve des nappes libres dont la plus importante est celle des calcaires et marnes du Jurassique supérieur du bassin versant de Yèvre/Auron (cf. carte en [Annexe 18](#), p 99) (SIGES CENTRE-VAL DE LOIRE, 2022). Il existe aussi des nappes captives dont les plus développées sont celles des calcaires et marnes captifs du Dogger au Sud du Berry (cf. carte en [Annexe 19](#), p 99) (SIGES CENTRE-VAL DE LOIRE, 2022).

Ainsi, le contexte régional de la Champagne berrichonne s'avère important à prendre en compte pour comprendre la géographie physique de la zone d'étude qui est axée sur deux petits cours d'eau de la masse d'eau Yèvre Amont.

II.1.3. Un terrain de recherche centré sur les cours d'eau de la Bondonne et du Tribaut à Baugy

A l'échelle locale, le secteur d'étude est situé dans le bourg de Baugy, une commune de l'Est de la Champagne berrichonne, à 30 km au Sud-Est de Bourges (Figure 24). Cette municipalité, d'une superficie de 47,18 km² et peuplée de 1 693 habitants en 2018 (INSEE, 2022), constitue un village rural compris dans la communauté de communes de la Septaine.

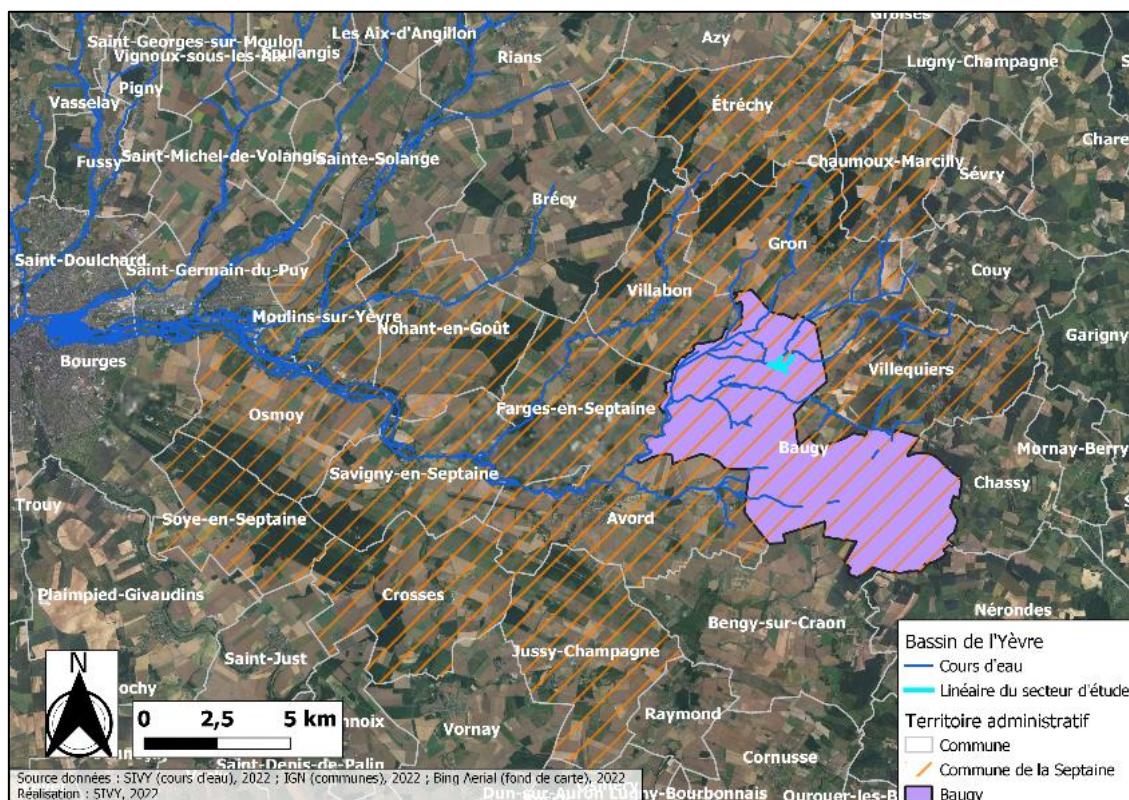


Figure 24 : Découpage administratif dans la région de Baugy

(Source : CHARONNAT, 2022)

D'un point de vue hydrologique, le réseau hydrographique de Baugy est assez dense avec six cours d'eau permanents et interconnectés dont l'Yèvre (*cf.* carte en Annexe 20, p 100). Dans le cadre de cette étude, la Bondonne et le Tribaut seront les seuls cours d'eau étudiés, au niveau de leur jonction dans le bourg balgycien (Figure 25, page suivante).

Situé au Sud-Est du centre-bourg, la zone d'étude est encadrée par trois routes au Nord, au Sud et à l'Ouest. Le linéaire analysé fait 2,06 km et l'ensemble surfacique associé est estimé entre 9 et 10 hectares (IGN, 2022).

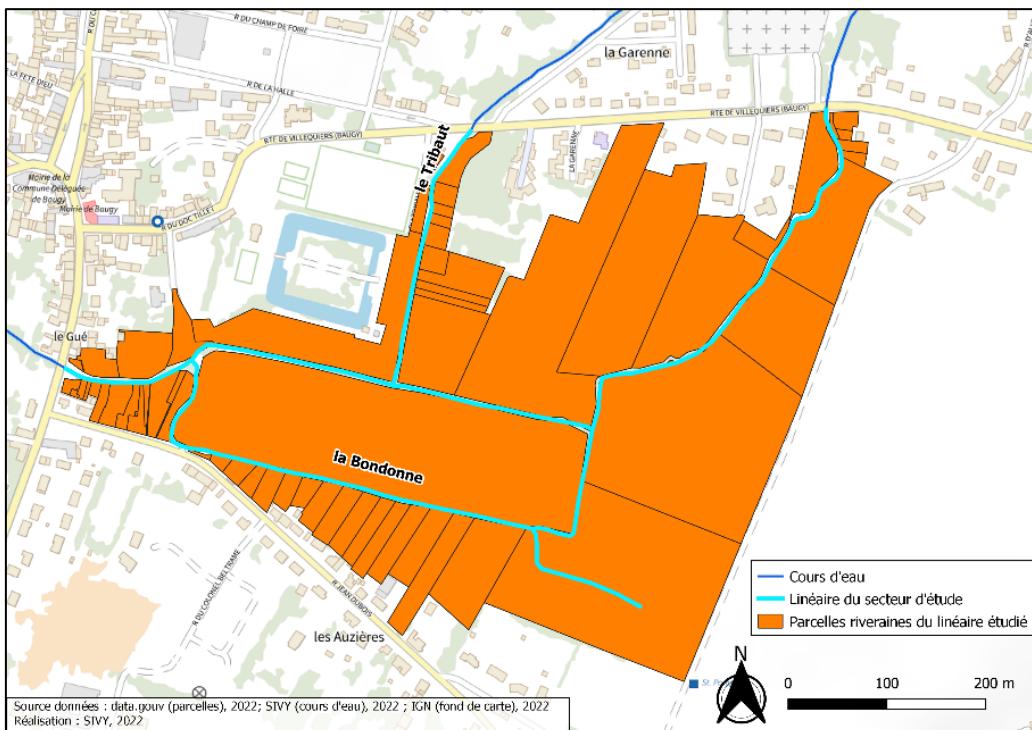


Figure 25 : Emprise spatiale de l'étude

(Source : CHARONNAT, 2022)

Parmi les deux cours d'eau concernés, d'un côté, la Bondonne ([Figure 26](#)) prend sa source à l'Est de Baugy et s'écoule sur 9,43 km (SANDRE, 2017). Elle traverse le bourg d'Est en Ouest et va se jeter dans l'Yèvre en rive gauche. Son bassin versant s'étend sur environ 31 km² (IGN, 2022). Dans le secteur d'étude, la Bondonne est à 6,7 km en aval de la source (IGN, 2022).

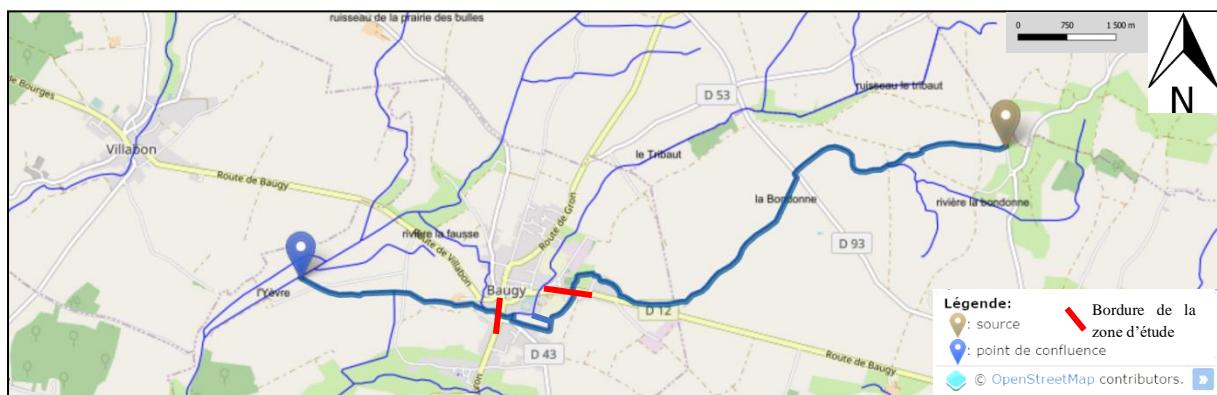


Figure 26 : Tracé de la Bondonne

(Source : SANDRE, 2017 (annoté))

De l'autre côté, le Tribaut est un ruisseau mesurant 7,9 km (SANDRE, 2017). Ce cours d'eau prend sa source au Nord-Est et traverse Baugy du Nord au Sud. Il conflue avec la Bondonne en rive droite dans le bourg de Baugy ([Figure 27](#), page suivante). Son bassin versant s'étend sur environ 17 km² (IGN, 2022). Il traverse le secteur d'étude à 7,6 km en aval de la source (IGN, 2022).

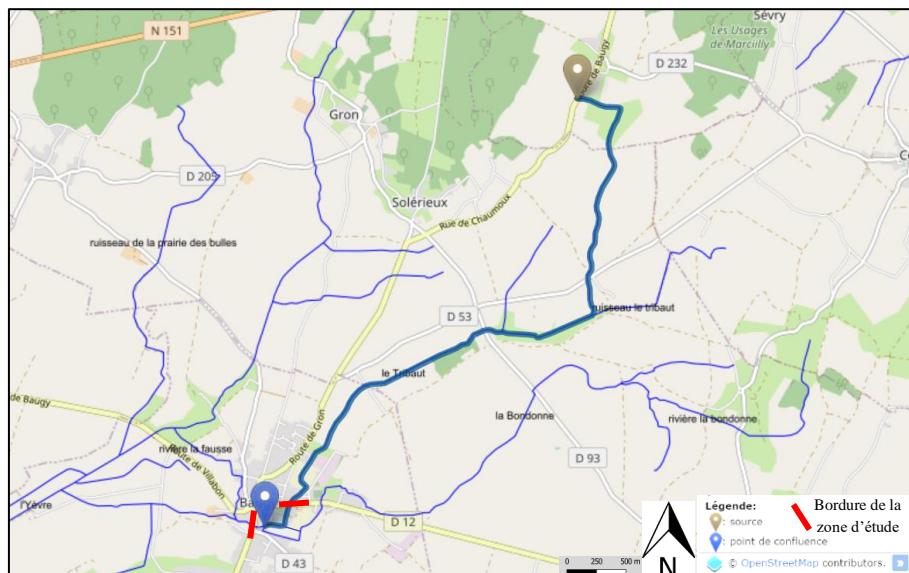


Figure 27 : Tracé du Tribaut
(Source : SANDRE, 2017 (annoté))

Ces rivières qui arrivent dans la zone d'étude sont caractéristiques de têtes de bassin en étant proches des sources et en ayant tous les deux un ordre⁵ de Strahler équivalent à 2 (cf. carte en Annexe 7, p 90).

La jonction entre ces deux cours d'eau revêt un intérêt scientifique et opérationnel qui justifie son choix.

II.1.4. Pourquoi sélectionner cette zone d'étude spécifiquement ?

En guise de motif de sélection, il s'avère que ce secteur est dégradé, sur des cours d'eau avec du potentiel (tête de bassin), et qui, de fait, s'il est amélioré pourrait avoir un effet positif sur un linéaire conséquent, supérieur à celui de la zone d'étude.

En effet, les tronçons concernés par l'étude sont en mauvais état sur certains aspects prépondérants (Tableau 2, Figure 28 page suivante). Une étude de 2012 incluant une évaluation REH⁶ sur le secteur avait mis en avant des perturbations au niveau de la continuité écologique avec 3 seuils qui se trouvent sur le secteur. L'état du lit et des berges, tout comme celui de la ripisylve, était également dégradé en 2012 (cours d'eau rectifié, encaissé, envasé, sur-élargi etc...) (EGIS EAU, 2013).

Tableau 2 : Evaluation hydromorphologique de l'état des tronçons du secteur d'étude en 2012
(Source : EGIS EAU, 2013)

Tronçon	Débit	Ligne d'eau	Lit	Berges et ripisylve	Continuité	Annexes et lit majeur
YeBo3	Moyen	Moyen	Moyen	Mauvais	Très mauvais	Moyen
YeBo4	Bon	Bon	Moyen	Moyen	Moyen	Mauvais
YeBoTr2	Moyen	Mauvais	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen

⁵ L'ordre correspond à la classification d'un réseau hydrographique, permettant de hiérarchiser les branches du réseau en fonction de leur importance. Chaque branche reçoit une valeur qui évolue en fonction des confluences.

⁶ Réseau d'Evaluation des Habitats (REH) : protocole permettant de décrire l'état hydromorphologique du milieu. Il donne une évaluation de la qualité de l'habitat par compartiment observé (hydrologie, continuité, morphologie...) et à l'échelle du tronçon. Cet indicateur est utilisé pour identifier des altérations sur un cours d'eau et plus largement sur un bassin versant.

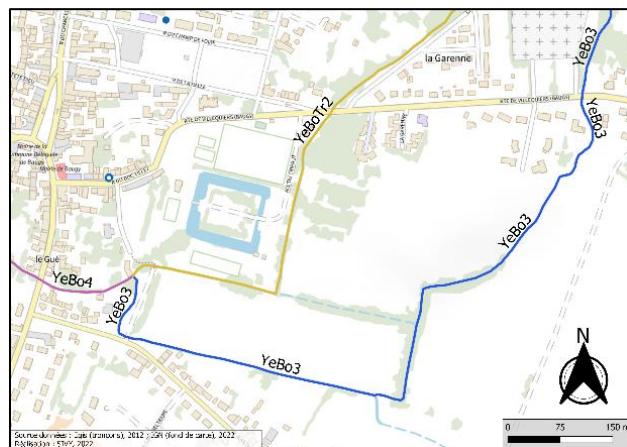


Figure 28 : Tronçons concernés dans le secteur d'étude

(Source : CHARONNAT, 2022)

De plus, comme l'environnement est en partie urbanisé, des problématiques liées aux inondations sont fréquemment soulevées par des riverains en amont.

Pour répondre à ces enjeux écologiques et sociaux, il est donc pertinent de développer un projet de restauration sur ce territoire. Dans cette perspective, le SIVY a proposé à la commune de Baugy de travailler sur un projet global sur ce secteur, qui pourra, si des intérêts communs sont trouvés, aboutir à une intervention du SIVY dans le cadre du prochain CTMA (en cours d'élaboration).

Avant d'aboutir à un projet potentiel, la démarche scientifique débute par une phase de diagnostic territorial.

II.2. L'application d'un diagnostic territorial co-partagé avec les riverains

Durant trois-quatre mois (de mars à juin 2022), l'étude a porté sur la mise en place d'un diagnostic permettant d'améliorer la connaissance du territoire et faire ressortir précisément les enjeux prioritaires sur lesquels intervenir (*cf. frise en Annexe 21, p 101*).

II.2.1. La réalisation d'un diagnostic bibliographique

Dans un premier temps, l'analyse va passer par des recherches bibliographiques qui doivent apporter des précisions sur le contexte local de la Bondonne et du Tribaut à Baugy.

L'un des principaux objectifs est de retracer l'évolution historique de la Bondonne et du Tribaut, afin de retrouver leur configuration originelle (s'il y a lieu) et de comprendre les modifications hydromorphologiques qui s'y sont produites. Cette étude diachronique repose en grande partie sur les cartes historiques qui représentent plus ou moins fidèlement les tracés hydrologiques dans le temps (Cassini (vers 1740), cadastre napoléonien (1826) et Etat Major (1866)). Afin de représenter le XX^{ème} siècle, de nombreuses photographies aériennes et orthophotographies ont été utilisées (à partir des années 1950), permettant d'identifier les changements modernes, notamment les rectifications liées au remembrement.

Dans l'optique d'approfondir l'analyse historique, les cartes postales de Baugy ont également été examinées. Elles aident à estimer le gabarit du lit et à appréhender les abords des cours d'eau (ripisylve, protections de berge...).

Enfin, ces recherches se sont accompagnées de sorties aux archives départementales du Cher durant trois demies-journées afin d'obtenir les documents des anciens services hydrauliques des ponts et chaussées (règlements des eaux, arrêtés de curage et de fauкардement, travaux d'aménagement sur cours d'eau...).

Outre ce cadre historique, le diagnostic bibliographique s'est intéressé au contexte climatique et physique local (topographie, hydrologie, géologie, hydrogéologie) afin de caractériser les facteurs environnants pouvant avoir une influence sur le fonctionnement des cours d'eau. Puis, la priorité a été donnée à l'analyse de l'occupation du sol.

Ainsi, cette étape a marqué le début du travail de recherche par un état des lieux du cadre historique et environnant de la Bondonne et du Tribaut. Cette initiative est accompagnée d'un diagnostic de terrain.

II.2.2. La mise en œuvre d'un diagnostic de terrain

En complément des recherches bibliographiques, de nombreuses prospections sur Baugy ont permis d'évaluer l'état hydromorphologique des cours d'eau à l'échelle très fine et de caractériser les enjeux sociaux à proximité.

II.2.2.1. *L'évaluation de l'état écologique des cours d'eau*

L'évaluation s'est appuyée sur des mesures (*cf. frise en Annexe 21, p 101*) permettant de caractériser le fonctionnement des rivières et d'identifier les perturbations entravant leur bon état. Même si le recueil de données ne repose pas sur un protocole aussi rigoureux que Carhyce⁷, il s'avère qu'un procédé assez complet a été suivi avec l'étude de nombreux paramètres.

➤ Le diagnostic hydromorphologique

Pour mettre en place l'analyse hydromorphologique, le linéaire a été divisé en douze segments (*cf. carte en Annexe 22, p 102*), chacun faisant l'objet d'une évaluation standardisée. Certains sont en-dehors de la zone d'étude ou sont des fossés de drainage mais ils peuvent avoir une influence sur les linéaires du secteur ciblé.

En parcourant tous ces segments à pied en mai 2022, une fiche de terrain a été utilisée permettant de structurer le diagnostic, de recueillir des informations synthétiques sur un segment et d'adopter une démarche normalisée reproductible par d'autres agents. Cette fiche se retrouve en Annexe 23 (p 103). Chaque dimension de l'hydrosystème y est décrite, ce qui actualise le REH effectué en 2012.

➤ L'altimétrie

Par la suite, l'altimétrie a été prise en compte sur les cours d'eau du secteur grâce à l'utilisation d'une lunette topographique et d'une mire graduée (Figure 29, page suivante), permettant de créer des profils en long et de calculer des pentes de cours d'eau. Ces mesures topographiques intègrent à la fois le fond de lit des cours d'eau mais aussi la ligne d'eau. Puis, l'altimétrie autour des cours d'eau est également mesurée afin de mettre en place des profils en travers qui peuvent montrer les hauteurs de berge et des points bas entre autres. Les données qui ressortent sont relatives par rapport à un point de référence choisi sur le secteur d'étude et associé à une valeur 0, ce travail pouvant être réalisé

⁷ « Protocole national standardisé de suivi des Caractéristiques Hydromorphologiques des Cours d'Eau » (CHAUSSIS et SUADEAU, 2012). Il s'effectue à l'échelle d'une station sur les cours d'eau prospectables à pied. Il notamment basé sur 15 transects topographiques espacés d'une largeur plein bord.

ultérieurement si nécessaire. Il ne s'agit donc pas de valeurs altimétriques absolues comme les points côtés NGF (Nivellement Général de la France).



Figure 29 : Mesure de profils avec la lunette topographique et la mire
(Source : CHARONNAT, 2022)

➤ Le débit

En complément de l'altimétrie, un débit instantané a été estimé au niveau de douze points, répartis avant et après les confluences dans la zone d'étude (cf. carte en [Annexe 24](#), p 106). Cet indicateur se base sur une section d'écoulement (hauteur et largeur de la ligne d'eau) du cours d'eau avec un courantomètre qui permet de déduire du volume d'eau arrivant par seconde. L'outil est composé d'un mat et d'un capteur en bas, qui est mis dans l'eau ([Figure 30](#)). La série de mesures a été effectuée trois fois en avril-mai et a permis d'évaluer l'importance de l'apport en eau à différentes périodes d'écoulement (module et étiage).



Figure 30 : Mesure des débits avec un courantomètre
(Source : CHARONNAT, 2022)

➤ La température de l'eau

En plus des débits, la température de l'eau est un facteur important pour l'accueil d'espèces. Elle peut dépendre de l'ombrage, de la surface en eau ou de l'origine des apports (souterrains ou superficiels). Pour avoir des valeurs significatives, des thermomètres ont été disposés dans le fond du lit à trois endroits (cf. carte en [Annexe 25](#), p 106) : l'un sur un segment probablement alimenté par la nappe, un autre sur un segment « superficiel » et le dernier à la confluence de ces deux bras. Ces appareils ont enregistré la température de manière continue sur une durée de quelques mois.

➤ La composition piscicole

Pour avoir une mesure biologique du cours d'eau, une pêche électrique a été organisée en mai sur deux stations (des tronçons d'environ 60 m), une en amont d'un ouvrage et l'autre en aval (*cf. carte en Annexe 26, p 107*). Cette action, menée en partenariat avec la Fédération Départementale pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques du Cher (FDPPMA18), a permis de recenser l'ensemble des poissons compris dans un secteur de cours d'eau. Le procédé consiste à envoyer un courant électrique dans le cours d'eau pour attirer les poissons dans des épuisettes (*Figure 31*). Après avoir effectué la pêche sur toute la station, les poissons sont classés par espèce puis sont comptés et mesurés. Tous les individus sont ensuite relâchés à l'endroit où ils ont été prélevés.

Grâce à cela, l'Indice Poissons Rivière (IPR) peut être calculé pour évaluer synthétiquement la qualité biologique d'une station. Il donne un score en fonction de sept paramètres qui mesurent la composition du peuplement, la richesse taxonomique, l'abondance des individus et l'organisation trophique (FDPPMA18, 2022).



Figure 31 : Pêche électrique sur le Tribaut et la Bondonne
(Source : CHARONNAT, 2022)

➤ La granulométrie

Enfin, cette évaluation du linéaire d'étude s'est achevée avec l'analyse de la granulométrie. Pour ce faire, la méthode Wolman a été appliquée dans les trois zones comportant le plus de granulométrie visible dans le secteur d'étude. Ce protocole d'échantillonnage repose sur la mesure de cent sédiments prélevés de façon aléatoire dans un fond de lit. A l'aide d'un pied à coulisse gradué, l'estimation s'effectue sur l'axe b de la particule, dit intermédiaire, qui est perpendiculaire au plus long côté a (*Figure 32* et *Figure 33*).

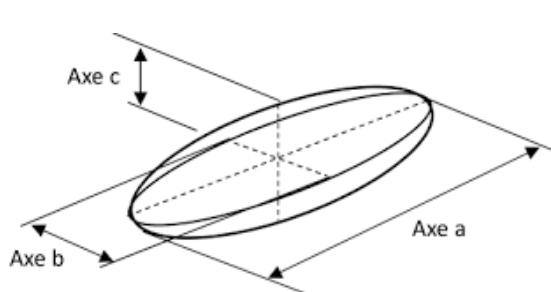


Figure 32 : Axes dimensionnels d'un sédiment
(Source : ISTEIA, 2017)

Figure 33 : Mesure d'un sédiment
(Source : CHARONNAT, 2022)

A partir de cet échantillonnage, les éléments peuvent être placés dans des classes granulométriques, du sable (< 2 mm) au bloc (>256 mm). A l'issue des cent mesures, une courbe granulométrique est créée qui représente le pourcentage cumulé des diamètres au sein de l'échantillon afin de rendre compte de la distribution granulométrique.

Ainsi, de nombreux paramètres ont été considérés afin d'apporter une évaluation sur l'état de la Bondonne et du Tribaut. Mais le diagnostic de terrain ne s'arrête pas là et repose aussi sur les échanges avec les locaux.

II.2.2.2. *La prise en compte des enjeux sociaux autour de la Bondonne et du Tribaut*

Au-delà de l'intérêt écologique et hydromorphologique, l'étude sur le terrain contribue à caractériser le contexte social qui se matérialise autour de l'eau dans le bourg de Baugy. En effet, les rivières sont au centre de préoccupations locales puisqu'elles peuvent avoir une influence sur la qualité de vie des riverains, que ce soit positivement ou négativement. Il est donc nécessaire de prendre en compte les usages et visions des habitants au travers de temps d'échange (*cf. frise en Annexe 21, p 101*) : réunion de lancement avec les élus de la Commission Environnement de Baugy, permanences pour les riverains à la mairie, réunion des riverains, rencontres sur le terrain...

Par conséquent, le diagnostic a tenté d'intégrer le plus de facteurs d'étude afin de répondre au mieux aux enjeux locaux. A partir de cet état des lieux, un projet de restauration a pu être développé.

II.3. *Le développement d'un projet de restauration intégré s'appuyant sur le diagnostic*

Après l'« examen » du territoire, l'étude a porté durant trois mois entre juin et août 2022 sur la réflexion autour du projet de restauration et de ses éventuelles variantes à proposer. Il s'agit alors d'une phase plus technique et opérationnelle (Figure 34).

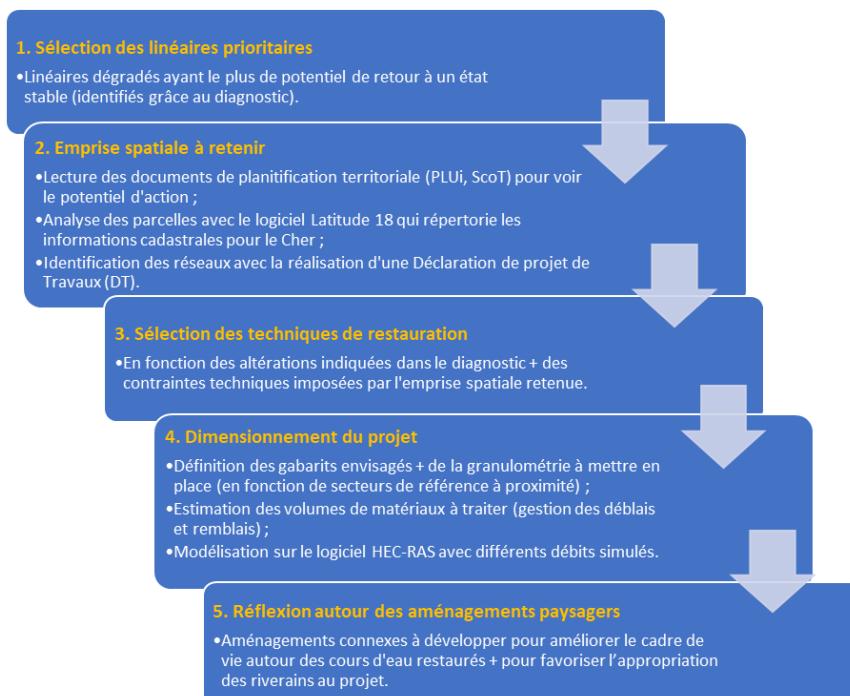


Figure 34 : Processus suivi lors du développement de projet
(Source : CHARONNAT, 2022)

Bien que la réflexion se soit voulue la plus adaptée aux enjeux écologiques et sociaux, la méthode adoptée a présenté quelques limites.

II.4. Des limites méthodologiques dans le diagnostic et le projet de restauration

Un certain nombre d'irrégularités scientifiques se sont manifestés durant l'étude qui ont pu affecter les résultats.

Dans un premier temps, même si le diagnostic bibliographique s'est efforcé d'être le plus complet possible, il s'est confronté à plusieurs obstacles. Dans l'analyse historique par exemple, il n'a pas été possible de remonter au tracé naturel de la Bondonne et du Tribaut par manque d'informations sur la période antérieure au XV^{ème} siècle. De plus, les cartes pré-XX^{ème} siècle sont souvent peu précises, ce qui ne garantit pas d'identifier les modifications morphologiques au cours du temps. Puis, d'un point de vue physique, les stations hydrométriques et piézométriques les plus proches de la zone d'étude sont peu représentatives du contexte local⁸, ce qui oblige à relativiser les données recueillies.

Ensuite, des limites sont apparues dans l'analyse de terrain. En effet, le diagnostic qui a été effectué correspond à une vision à l'instantané et pas sur le temps long. Par exemple, les débits ponctuels mesurés sur la Bondonne et le Tribaut ne sont pas comparables à des débits moyens. Par la suite, les mesures réalisées sur place, notamment altimétriques et débimétriques, ne sont pas forcément précises car elles restent manuelles et dépendantes de l'agent. Dans le même esprit, le diagnostic hydromorphologique de chaque segment a pu être influencé par la vision de l'opérateur de terrain, même si les fiches standardisées permettent de dégager une tendance.

Enfin, des défauts ont émergé dans la réflexion du projet de restauration. En effet, il s'avère que le côté opérationnel a pu remplacer le côté scientifique sur certains aspects du projet. C'est le cas au niveau de la localisation du nouveau tracé envisagé qui répond plus à des contraintes de faisabilité technique et sociale, d'autant plus que le lit originel n'a pas pu être identifié dans le diagnostic bibliographique. Il s'agit donc d'un compromis entre la volonté de restaurer le cours d'eau et une réalité pragmatique inhérente aux syndicats de rivière. Toutefois, dans le cadre de ce mémoire, il sera proposé des tracés supplémentaires, difficilement réalisables mais plus justes scientifiquement. Par ailleurs, une des limites sur cette étude est de ne pas avoir de retour d'expérience sur le projet puisqu'il ne sera concrétisé que dans quelques années potentiellement.

En définitive, ce deuxième chapitre a contribué à mieux appréhender la méthodologie utilisée pour traiter concrètement du sujet de la restauration de cours d'eau. Sur un secteur d'étude clairement délimité dans le bassin de l'Yèvre, une organisation cohérente et progressive a été mise en place avec deux phases successives, un diagnostic et un développement de projet.

Même si des limites de recherche subsistent, cette démarche appliquée a apporté progressivement des résultats quant à l'état écologique des cours d'eau étudiés et les solutions pour les restaurer de manière adaptée.

⁸ Respectivement en lien avec l'éloignement et le contexte hydrogéologique.

Chapitre III : Dans quelle mesure la Bondonne et le Tribaut sont des cours d'eau dégradés nécessitant une intervention et quelles solutions sont envisageables ?

Grâce à la méthodologie employée, il est possible de faire ressortir un bilan écologique des cours d'eau étudiés et d'envisager un projet de restauration en fonction des altérations identifiées. Ce troisième chapitre aura donc pour ambition de justifier la mise en place d'une intervention sur le secteur d'étude et de construire des solutions techniques potentielles.

Dans un premier temps, le diagnostic de la Bondonne et du Tribaut sera détaillé avec leur contexte physique et historique puis l'évaluation de leur état écologique. Ensuite, au-delà des altérations identifiées, il sera montré que les enjeux sociaux autour de ces cours d'eau rendent essentielle une intervention. Enfin, pourachever cette partie sur les résultats de l'étude, un projet technique de restauration sera développé afin de répondre aux problématiques soulevées.

III.1. Des cours d'eau soumis à des facteurs d'influence physique et anthropique

Avant de présenter l'état écologique des segments étudiés, il convient d'introduire les paramètres ayant un impact sur leur fonctionnement.

III.1.1. Un contexte physique déterminant

Au travers du diagnostic, il résulte que la Bondonne et le Tribaut se retrouvent particulièrement tributaires de l'environnement physique dans lequel ils évoluent.

III.1.1.1. Un régime pluvial vulnérable aux assecs

Tout d'abord, le Tribaut et la Bondonne sont dépendants des conditions pluviométriques.

Au départ, le territoire de la zone d'étude est caractérisé par un climat océanique dégradé avec des températures intermédiaires (11,9°C en moyenne) et une pluviométrie faible (839 mm en moyenne) (METEOFRACTION, 2022⁹). Les mois de juillet et août sont considérés comme secs (courbe de température supérieure à la barre de précipitations) (Figure 35).

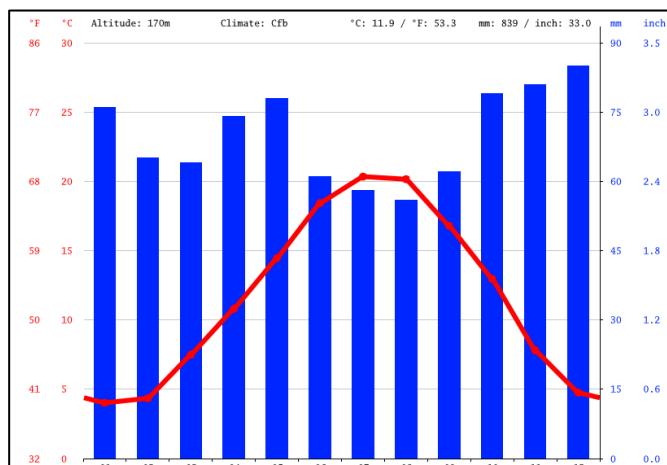


Figure 35 : Diagramme ombro-thermique de Baugy sur

la période 1999-2019

(Source : CLIMATE-DATA, 2019)

Or ces référentiels pluviométriques ont un impact direct sur les débits puisque ces derniers réagissent principalement aux précipitations localement.

⁹ Données de Baugy extrapolées à partir des résultats de la station météorologique d'Avord à 8 km au Sud.

Pour le démontrer, la référence prise en compte est la station hydrométrique de Savigny-en-Septaine qui permet de mesurer l'amont du bassin de l'Yèvre¹⁰, à 13 km de Baugy où se situe la zone d'étude (cf. carte en Annexe 27, p 107). Sur cette station, le module de l'Yèvre est de 3,17 m³/s et le débit de crue décennale est de 8,63 m³/s (Figure 36) (HYDROPORTAIL, 2022).

D'après les débits moyens mensuels mesurés depuis 1996, les hautes-eaux sont en hiver (décembre-mars) puis les basses-eaux en été-automne (juin-octobre). Cette alternance est très marquée comme le montre le coefficient mensuel de débits, c'est-à-dire le rapport entre le débit mensuel et le module inter-annuel (Figure 37). En janvier et février, ce coefficient est supérieur à 200%, alors que de juillet à septembre, il est inférieur à 20%. De fait, la répartition des débits mensuels est déséquilibrée au cours de l'année. Cette situation traduit un régime pluvial puisque la pluviométrie mensuelle concorde avec les débits mensuels.

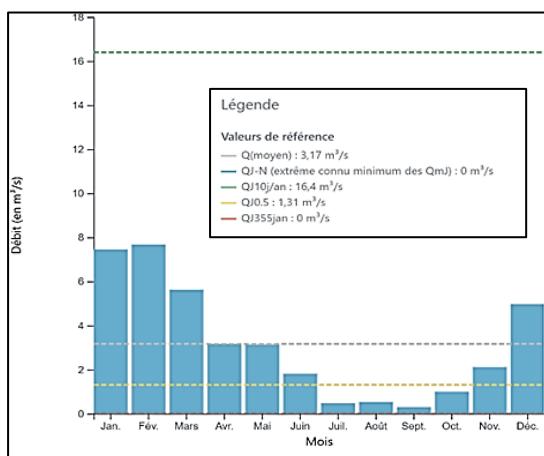


Figure 36 : Débits mensuels moyens (m³/s) de l'Yèvre à la station de Savigny-en-Septaine du 01/01/1996 au 01/04/2022
(Source : HYDROPORTAIL, 2022)

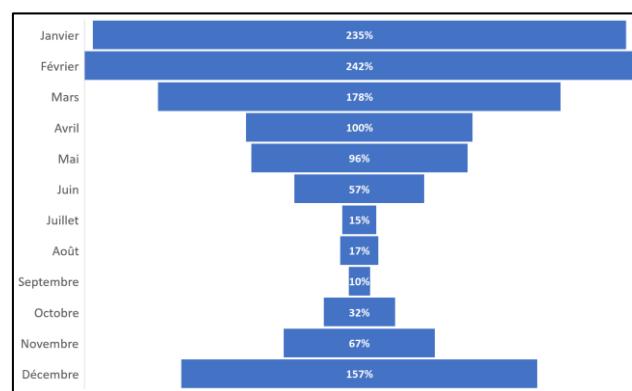


Figure 37 : Coefficient mensuel de débits à la station de Savigny-en-Septaine (débit mensuel moyen/module interannuel)
(Source : HYDROPORTAIL (données), 2022 ; CHARONNAT (réalisation), 2022)

Sur la dernière année 2021, cette réponse des débits aux précipitations a surtout était observée en période hivernale (cf. hydrogramme de la station en Annexe 28, p 108).

Par ailleurs, avec la présence de mois secs (juillet et août), il s'avère qu'en été les rivières ne peuvent plus s'appuyer sur les précipitations pour maintenir leur niveau et doivent compter sur la recharge hivernale des nappes. Or d'après le réseau ONDE (Observatoire National Des Etiages), les assecs sont récurrents dans la masse d'eau Yèvre Amont (EAUFRANCE, 2022). Par exemple, l'Yèvre en amont et en aval de la Bondonne et du Tribaut, n'a régulièrement plus d'eau entre juin et septembre (cf. tableau récapitulatif des écoulements en Annexe 29, p 109).

III.1.1.2. Un faible relief limitant

Puis, outre les conditions climatiques, la topographie locale est un deuxième paramètre physique d'importance.

¹⁰ Ses données sont à remettre dans leur contexte puisque le bassin versant de la station, c'est-à-dire la surface drainée jusqu'à cet exutoire, mesure 531km², soit cinq fois plus que la masse d'eau Yèvre Amont (HYDROPORTAIL, 2022).

La zone d'étude comprend une altitude moyenne entre 172 et 174 mètres avec très peu de fortes variations (cf. carte en Annexe 30, p 110), ce qui est caractéristique de la Champagne berrichonne (cf. partie II.1.2 sur le cadre régional, p 33). Seule une petite colline surplombe le secteur d'une quinzaine de mètres à l'Est.

Par conséquent, la pente naturelle des cours d'eau se retrouve très faible (Figure 38). ce qui ne doit pas favoriser un écoulement très dynamique. Sur la figure ci-dessous, les bras de chaque cours d'eau ont été combinés sur le même profil en long à partir des mesures effectuées dans le lit avec le SIVY. Ce graphique montre que la pente, hors ouvrage, n'excède pas 0,39 % et peut même être inférieure à 0,1%. Le critère de 1%, parfois utilisé pour définir les têtes de bassin, exclurait donc cette zone.

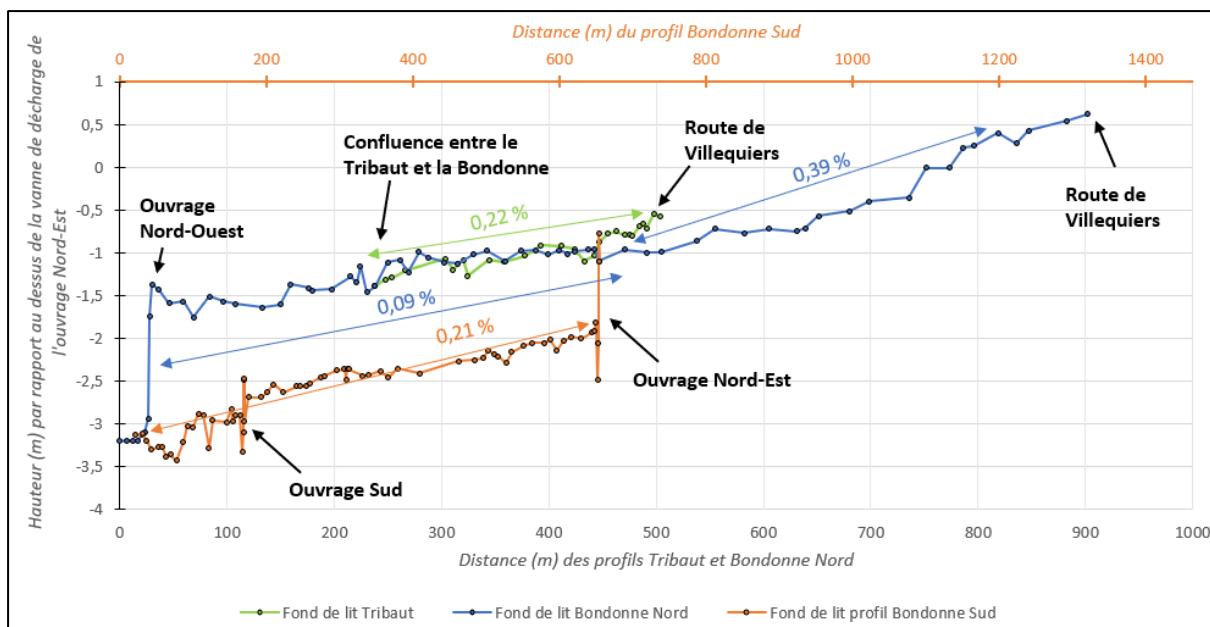
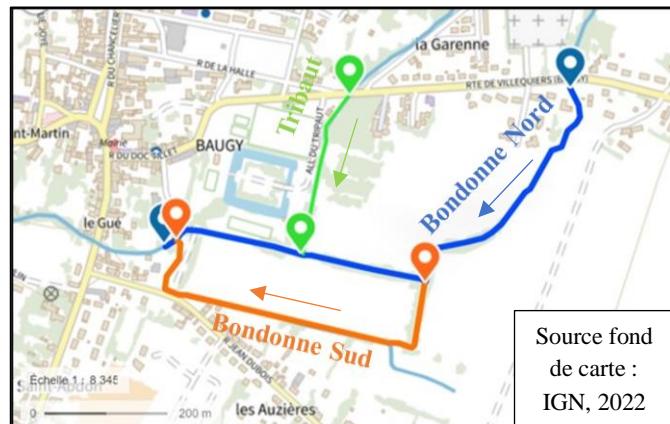


Figure 38 : Profil en long combiné de la Bondonne et du Tribaut à Baugy

(Source : CHARONNAT, 2022)

En raison de ce relief plat, le temps de réponse en aval, c'est-à-dire le décalage entre la pluie nette et le pic de crue, est assez long. En reprenant la station hydrométrique de Savigny-en-Septaine, ce temps varie entre 2 et 3 jours, ce qui montre que l'amont du bassin de l'Yèvre est peu réactif. Avec cette topographie limitante, les têtes de bassin étudiées ne sont donc pas des espaces de fort dynamisme.

III.1.1.3. Une activité hydrogéologique en interaction directe avec les eaux de surface

Enfin, le dernier facteur physique à prendre en compte est l'environnement hydrogéologique qui est favorable à une connexion avec les cours d'eau superficiels.

Au préalable, il s'avère que le secteur d'étude est implanté dans deux couches à tendance calcaire (*cf.* carte géologique en Annexe 31, p 110). Grâce aux calcaires lités et des marnes, datant de l’Oxfordien supérieur (LABRANCHE *et al.*, 1992), le milieu est favorable au karst. En effet, ces éléments ont tendance à s’altérer et à se dissoudre sous l’effet de l’eau, surtout des pluies. Quand la roche se fissure en profondeur, on parle alors d’un phénomène de karstification qui engendre des cavités et des réseaux de rivières en souterrain. Ainsi, le milieu karstique laisse s’infiltrer rapidement l’eau, avec des échanges très rapides entre la nappe et les eaux de surface.

A Baugy, ce phénomène semble bien implanté et le réseau souterrain semble bien connecté avec les eaux superficielles, ce que souligne les fortes fluctuations saisonnières dans la nappe (*cf.* cotes piézométriques en Annexe 32-Annexe 34, p 111). De plus, la zone d'étude est située en plein cœur d'un axe de drainage des eaux souterraines. La circulation générale est orientée Sud-Sud-Est vers Nord-Nord-Ouest et chemine vers l'Yèvre en suivant les vallées (Figure 39).

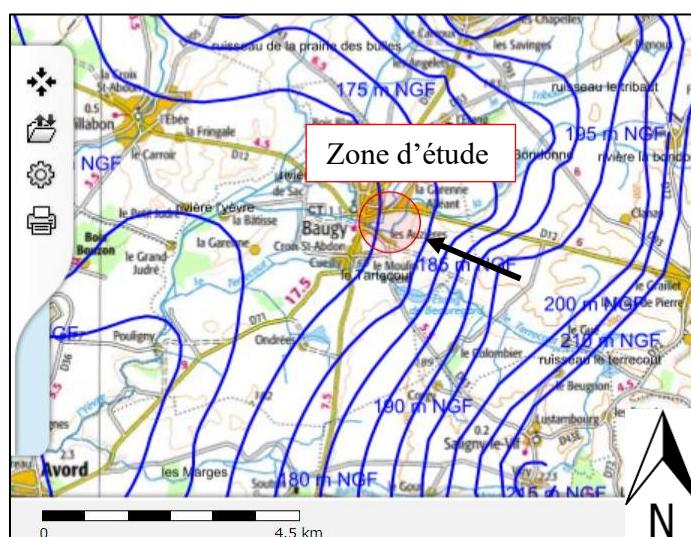


Figure 39 : Isopièzes et circulation piézométrique à proximité du secteur d'étude
 (Source : BRGM, 2001 (annoté))

De fait, par cette connexion verticale facilitée, l'hydrogéologie prend une part influente dans l'état écologique des cours d'eau étudiés.

Mais au-delà de ces trois caractéristiques physiques (climatique, topographique et hydrogéologique), le fonctionnement de la Bondonne et du Tribaut est surtout impacté par des modifications anthropiques ayant eu lieu depuis plusieurs siècles.

III.1.2. Une anthropisation historique de la Bondonne et du Tribaut à Baugy

Evoluant dans un cadre urbanisé et agricole, la morphologie de Bondonne et du Tribaut a été profondément transformée par les activités humaines.

III.1.2.1. Un territoire marécageux transformé par les seigneurs médiévaux

A l'origine, Baugy est implanté dans un environnement marécageux comme le prouve son nom gallo-romain *Balgacium* retrouvé en 856 (BUHOT DE KERSERS, 1875) et qui signifierait « lieu boueux ». Au Moyen Âge, de nombreux étangs faisaient la renommée de la commune¹¹, dont quatre disposés sur les cours d'eau étudiés ([Figure 40](#)). Ces derniers ont été asséchés après la Révolution française (ASSOCIATION POUR LA PROMOTION DES ETUDES ET DE LA RECHERCHE ARCHEOLOGIQUE DANS LE CANTON DE BAUGY, 1981).

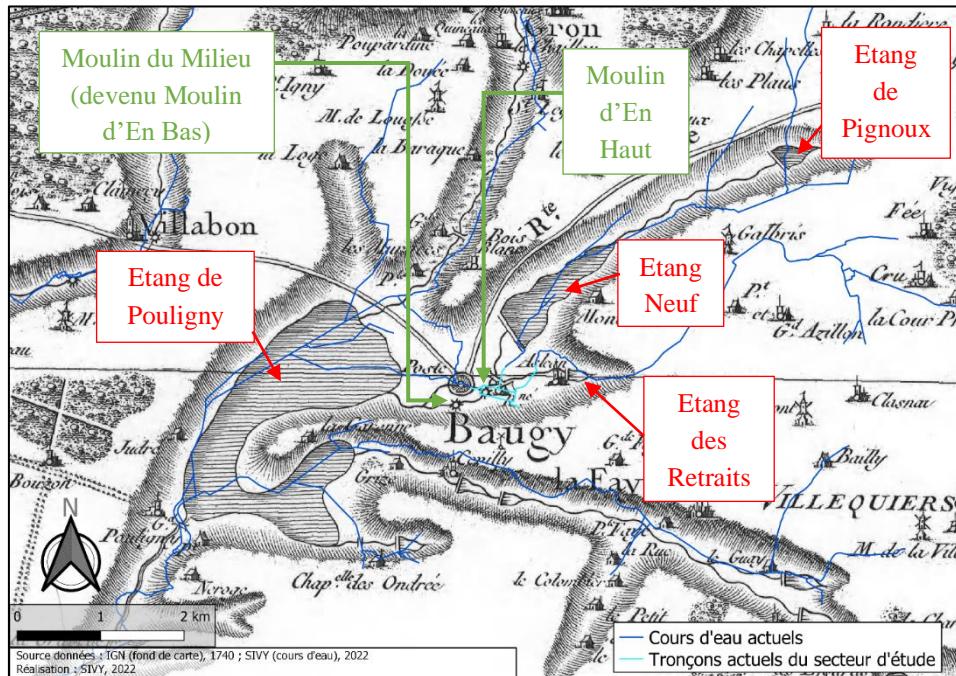


Figure 40 : Ancienne localisation des principaux étangs et moulins à eau autour de Baugy d'après la carte de Cassini (vers 1740)

(Source : CHARONNAT, 2022)

Dans la zone d'étude, le paysage hydrologique a aussi été bouleversé par la construction d'un château, sur un tertre au milieu de marais, probablement au XIV^{ème} ou XV^{ème} siècle (ARISTIDE, 1990) ([Figure 41](#)).

A sa création, la forteresse prend une forme rectangulaire, avec quatre tours d'angle et une ligne de fossés entourant les murailles, mise en eau grâce à l'apport de la Bondonne qui a donc été déviée (ASSOCIATION PATRIMOINE BALGYCIEN 18, 2018). Puis le château, racheté par un prince en 1624, se dote d'une deuxième ligne de fossés de quelques mètres, surmontée d'un talus de trois mètres (BUHOT DE KERSERS, 1875). Or ce fossé extérieur correspond au tracé actuel du Tribaut qui a donc été rectifié pour l'occasion (Figure 42, page suivante).

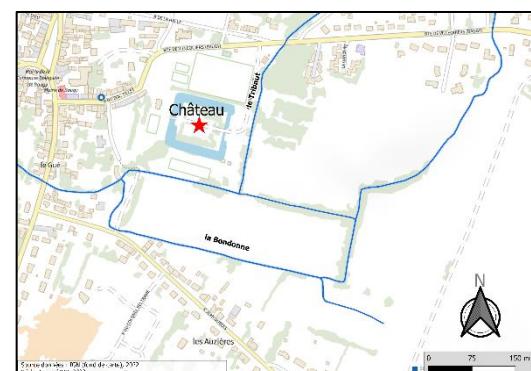


Figure 41 : Localisation de l'ancien château

(Source : CHARONNAT, 2022)

¹¹ Au maximum, jusqu'à quinze étangs au XVI-XVII^{ème} siècle (BUHOT DE KERSERS, 1875).

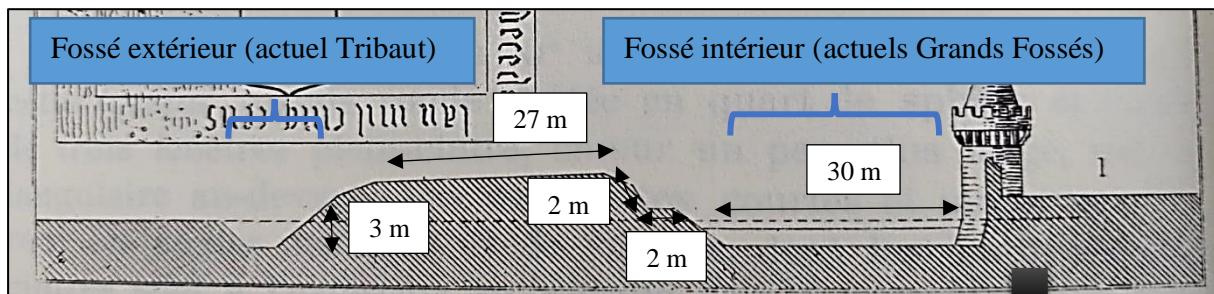
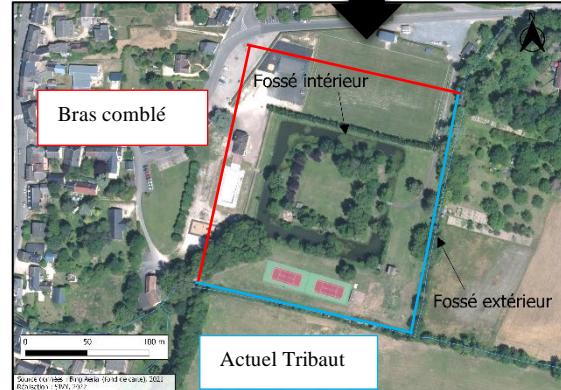


Figure 42 : Profil et localisation des anciennes fortifications du château

(Source : BUHOT DE KERSERS (profil), 1875 ; CHARONNAT (localisation), 2022)

Ainsi, les seigneurs balgyciens ont contribué à modifier le tracé des cours d'eau.



III.1.2.2. La création d'un grand complexe hydraulique après le Moyen Âge

A l'issue de l'époque médiévale, la Bondonne et le Tribaut ont été interconnectés dans un grand complexe hydraulique.

Dans un premier temps, des moulins se sont développés. Dans le secteur d'étude, le moulin d'En Haut ou moulin du château a été construit sur la Bondonne au XVI^{ème} ou au XVII^{ème} siècle (LEMOINE, 2001). Durant sa période fonctionnelle, sa chute d'eau (Figure 43) permettait de faire « tourner un moulin à farine » (SERVICE HYDRAULIQUE DES PONTS ET CHAUSSEES DU DEPARTEMENT DU CHER, 1895). Une vanne de décharge, aujourd'hui inactive, permettait également à l'eau de s'écouler sur la gauche en amont du moulin. Le haut de cette vanne bouchée sert de référence pour nos mesures altimétriques.

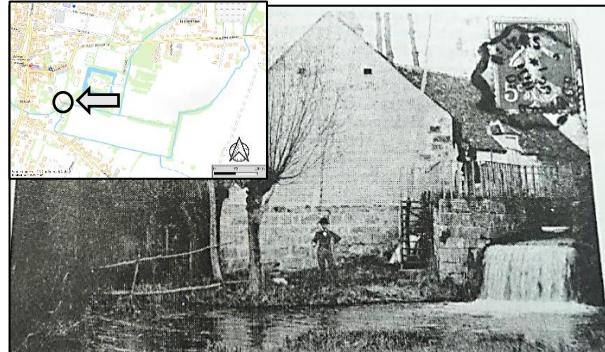


Figure 43 : Carte postale de l'ancien moulin d'En Haut au début du XX^{ème} siècle

(Source : ANONYME, années 1920. Publiée par l'Association pour la promotion des études et de la recherche archéologique dans le canton de Baugy, 1981)

Par conséquent, on peut estimer que le caractère rectiligne de la Bondonne dans le centre-bourg résulte fortement de cette canalisation pour l'activité des moulins, d'où cette configuration artificielle dans le secteur au cœur de l'étude. En complément de ces deux moulins, deux abreuvoirs et trois lavoirs ont été disposés sur la Bondonne et le Tribaut.

Aujourd'hui, de cet héritage hydraulique, il demeure trois ouvrages transversaux, des seuils, placés dans le lit mineur des deux cours d'eau (Figure 44, page suivante). L'ouvrage Nord-Ouest correspond à l'ancien moulin d'En-Haut et l'ouvrage Sud à l'ancien lavoir de la rue Jean Dubois. En revanche, aucune information n'a permis de retracer l'histoire de l'ouvrage Nord-Est qui doit être un ancien

vannage permettant d'avoir un bras de décharge de la Bondonne. Cette origine expliquerait la forme rectangulaire du réseau : le bras Nord a été dévié pour les fossés du château et le moulin ; le bras Sud a été créé en tant que décharge et pour faire fonctionner le lavoir. De plus, le dessus de l'ouvrage Nord-Ouest et Nord-Est sont à la même altitude, ce qui montre l'interconnexion volontaire. Ces aménagements étant tous les trois non franchissables, ils ont forcément une influence sur la continuité écologique et sur le fonctionnement dynamique des rivières.

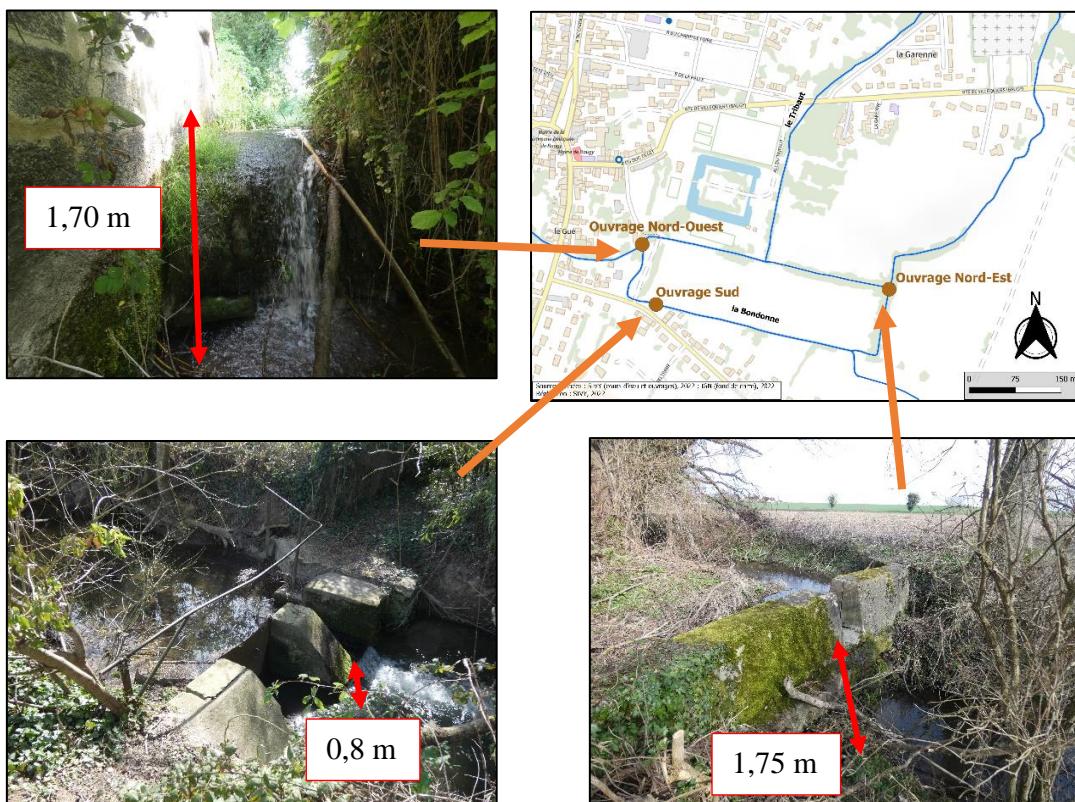


Figure 44 : Ouvrages implantés dans la zone d'étude

(Source : CHARONNAT, 2022)

L'évolution de ce complexe hydraulique peut être synthétisé grâce à une analyse diachronique des cartes et des orthophotographies¹² (cf. cartes en Annexe 35 et Annexe 36 , p 112). Même s'il est compliqué d'imaginer le tracé originel des cours d'eau à Baugy, cette contextualisation historique a permis de retracer l'anthropisation exercée depuis le Moyen Âge, à l'origine de l'altération écologique de la Bondonne et du Tribaut.

III.2. Des cours d'eau à l'état écologique dégradé

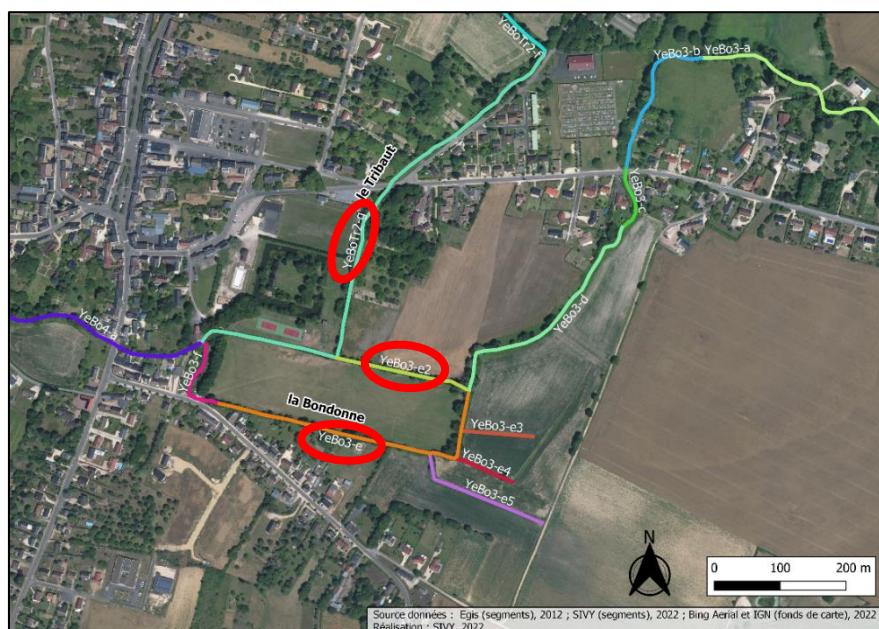
Sous l'effet de certains des facteurs présentés, les segments étudiés se retrouvent en mauvais état écologique. Cette évaluation repose en partie sur le diagnostic hydromorphologique.

III.2.1. Un diagnostic hydromorphologique révélant trois segments prioritaires.

A partir des fiches de terrain, les douze segments ciblés (Figure 45, page suivante) ont fait l'objet d'une description hydromorphologique détaillée qu'il est possible de synthétiser sous forme de tableau

¹² La plus ancienne carte ou croquis accessible sur Baugy est la carte de Cassini (vers 1740) (cf. Figure 40, p 48), d'où ce manque d'informations sur l'évolution géographique des tracés de cours d'eau avant le XVIII^{ème} siècle.

qui récapitule chaque compartiment pris en compte ([Tableau 3](#)). Il est ressorti que l'ensemble des linéaires était dégradé, particulièrement au niveau de la morphologie des cours d'eau avec un lit mineur souvent incisé, déplacé de son fond de vallée et peu connecté avec sa plaine alluviale. Cependant, trois linéaires sont particulièrement problématiques au centre de la zone ([Figure 45](#)) : le YeBoTr2-g (**Tribaut**), le YeBo3-e (**Bondonne Sud**) et le YeBo3-e2 (**Bondonne Nord**). Ces segments se sont donc révélés prioritaires durant l'étude.



[Figure 45 : Segments analysés lors du diagnostic hydromorphologique](#)

(Source : CHARONNAT, 2022)

[Tableau 3 : Synthèse du diagnostic hydromorphologique par segment \(en italique, les segments prioritaires\)](#)
(Source : CHARONNAT, 2022)

Segment	Débit	Ligne d'eau	Lit	Berges et ripisylve	Continuité	Annexes et lit majeur
<u>YeBoTr2 - g</u>	Moyen	Mauvais	Très mauvais	Mauvais	Mauvais	Mauvais
<u>YeBo3 - a</u>	Mauvais	Mauvais	Bon	Mauvais	Bon	Moyen
<u>YeBo3 - b</u>	Moyen	Moyen	Moyen	Mauvais	Moyen	Bon
<u>YeBo3 - c</u>	Moyen	Moyen	Bon	Très mauvais	Bon	Moyen
<u>YeBo3 - d</u>	Mauvais	Mauvais	Mauvais	Moyen	Bon	Mauvais
<u>YeBo3 - e</u>	Moyen	Mauvais	Très mauvais	Très mauvais	Très mauvais	Mauvais
<u>YeBo3 - e2</u>	Très mauvais	Mauvais	Très Mauvais	Moyen	Bon	Mauvais
<u>YeBo3 - e4</u>	Mauvais	Moyen	Mauvais	Mauvais	Bon	Mauvais
<u>YeBo3 - f</u>	Moyen	Moyen	Bon	Très mauvais	Moyen	Mauvais
YeBo4 - a	Bon	Mauvais	Moyen	Moyen	Moyen	Mauvais

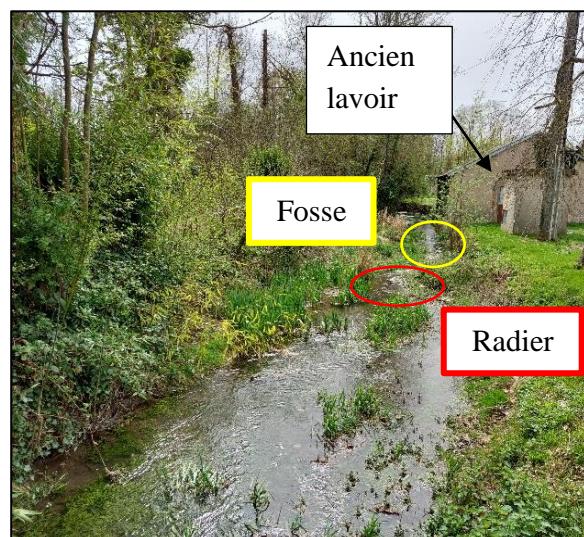
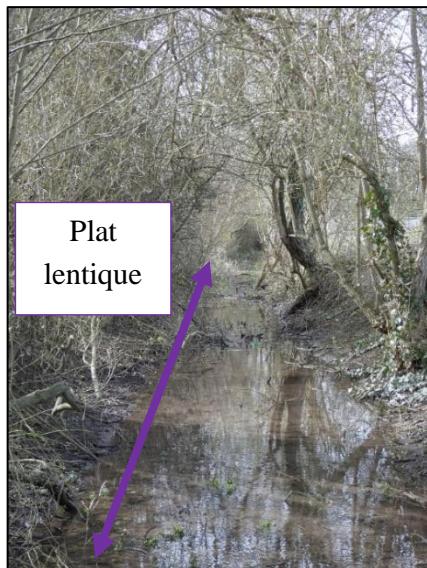
III.2.2. Les principales dégradations observées sur les segments prioritaires

Les altérations s'observent sur plusieurs compartiments correspondant à des dimensions différentes (longitudinale, latérale, verticale et temporelle).

III.2.2.1. Des faciès d'écoulement peu diversifiés

Tout d'abord, ces segments sont marqués par un manque d'équilibre dynamique dans les écoulements. En effet, avec leur faible pente et le caractère rectiligne de leur morphologie, les linéaires présentent principalement des plats lenticques (Figure 46), entraînant de nombreux phénomènes de dépôt et d'envasement. Cette homogénéité des faciès est particulièrement flagrante sur le segment du bras Nord de la Bondonne (YeBo3 – e2), secteur ayant le moins de pente (moins de 0,1%).

Ponctuellement, il existe une diversité avec des radiers, des fosses et des plats courants mais cette situation est surtout visible en amont sur le Tribaut (Figure 47).



Sur les profils en long, cette homogénéité des faciès est très visible (*cf.* profils en Annexe 37-Annexe 39, pp. 113-115). Cette situation entraîne des vitesses d'écoulement et des débits insignifiants sur le secteur, même pour des ruisseaux de tête de bassin (*cf.* débits sur la Figure 55, p 57). Lors des mesures effectuées en mars 2022 sur les cours d'eau en module, le Tribaut avait un débit de 0,116 m³/s, le bras Sud de la Bondonne coulait à 0,084m³/s et le bras Nord de la Bondonne à 0,003 m³/s. Avec la formule de Myer, le débit décennal théorique serait de 0,96 m³/s pour la Bondonne et de 0,53 m³/s pour le Tribaut.

A cause de ces faibles débits et pentes, la puissance des cours d'eau est très insuffisante pour obtenir un équilibre d'érosion-dépôt satisfaisant. Cette capacité de transport limitée ne leur permettent pas de s'ajuster naturellement.

III.2.2.2. Une déconnexion latérale induite par des lits incisés

Par la suite, les cours d'eau sont faiblement connectés à la plaine alluviale comme le souligne la forte hauteur de berge liée à l'incision du lit (Figure 48, page suivante). De plus, il faut noter la présence d'arbres et de laisses de crue en mi-berge, ce qui confirme la faiblesse des crues (Figure 49, page suivante).

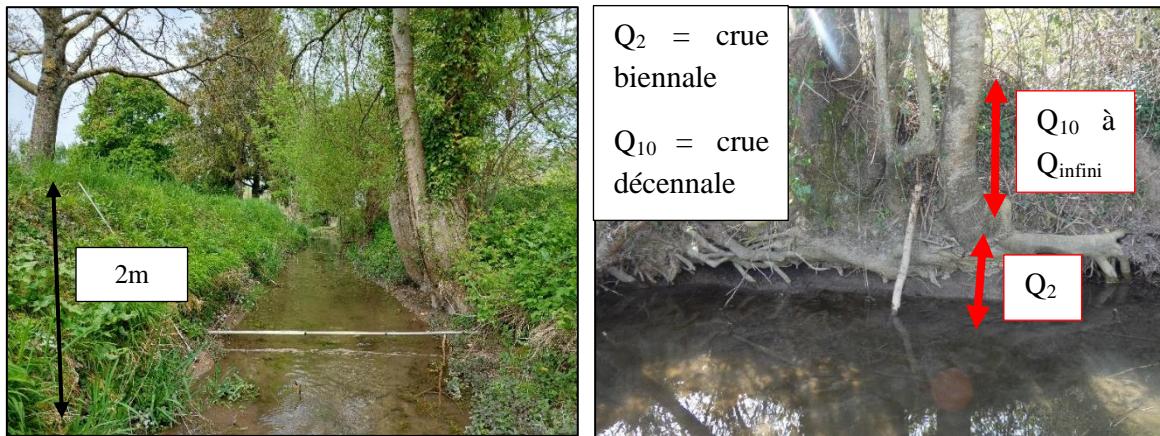


Figure 48 : Lit incisé sur le Tribaut
(Source : CHARONNAT, 2022)

Figure 49 : Capacité de débordement de la berge gauche sur la Bondonne Sud
(Source : CHARONNAT, 2022)

Les profils en travers tendent aussi à montrer que les berges sont trop importantes (Figure 50).

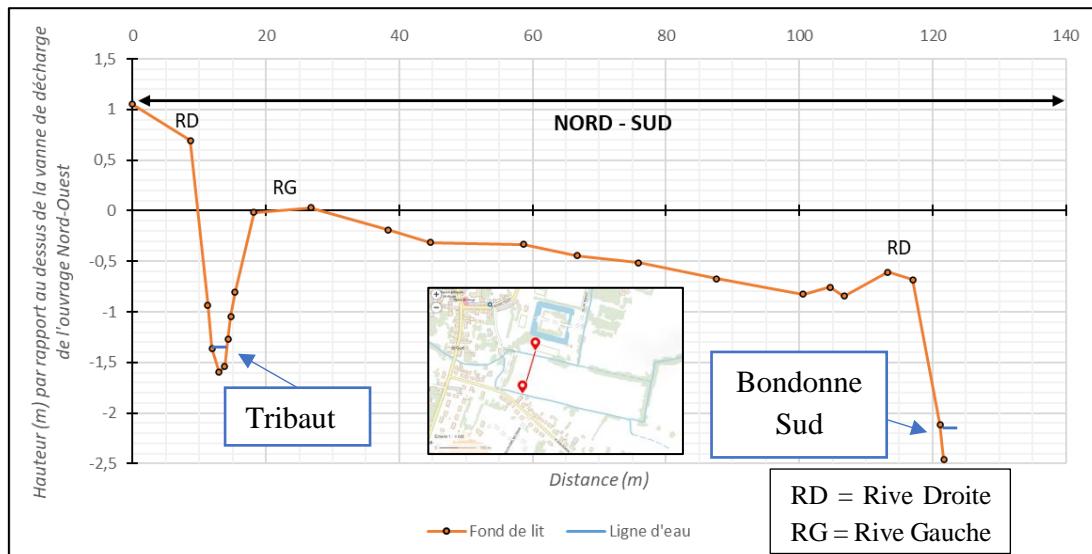


Figure 50 : Profil en travers entre le Tribaut et la Bondonne Sud
(Source : CHARONNAT, 2022)

Avec des hauteurs de 1,50 m à 2 m, le Tribaut et la Bondonne Sud sont très contraints et ne possèdent pas de zones de débordement naturel. Ainsi, la connexion latérale des segments est remise en cause.

III.2.2.3. Une continuité écologique perturbée

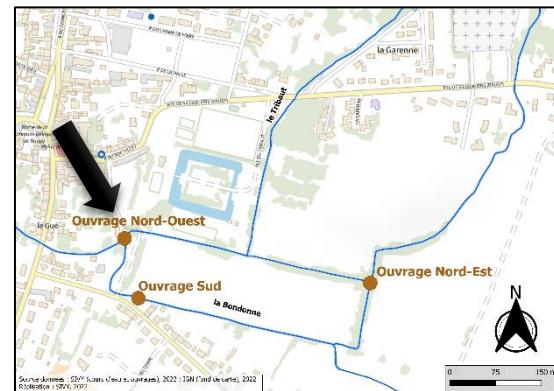
Dans la dimension longitudinale, les cours d'eau sont marqués par une altération de la continuité écologique. En effet, comme évoqué dans la partie III.1.2.2 (p 49) sur la création du complexe hydraulique, trois ouvrages sont installés sur le Tribaut et la Bondonne. Ces derniers sont infranchissables et créent une forte rupture de pente (*cf. profils en long en Annexe 37-Annexe 39, pp. 113-115*).

Dans ce cadre-là, la libre circulation des espèces est impossible comme le prouve la pêche électrique sur deux stations en amont et en aval de l'ouvrage Nord-Ouest sur le Tribaut (*cf. carte en Annexe 26, p 107*).

Les résultats sont très contrastés entre les deux côtés du seuil, que ce soit d'un point de vue quantitatif que qualitatif (Tableau 4).

*Tableau 4 : Inventaire de la pêche électrique en amont et en aval de l'ouvrage Nord-Ouest
(Source : FEDERATION DE PECHE CHER (résultats), 2022 ; CHARONNAT (carte), 2022)*

Amont de l'ouvrage		Aval de l'ouvrage	
Espèce	Quantité	Espèce	Quantité
Epinochette	3	Bouvière	10
		Chabot	5
		Rotengle	10
		Gardon	6
		Epinochette	21
		Goujon	2
		Carpe commune	1
		Chevesne	42
		Brochet	5
		Vairon	166
		Loche Franche	25



Une très faible quantité et diversité de poissons est située en amont de l'ouvrage, prouvant que la continuité et la qualité habitationnelle sont très perturbées. L'IPR y est mauvais (67,8) (Tableau 5).

En aval, on repère la présence de quelques espèces repères (en vert sur le tableau) qui montrent qu'il existe un potentiel réel dans ce cours d'eau qui est une zone cyprinique au même titre que la Bondonne. Toutefois, l'IPR est qualifié de médiocre (35,5) (Tableau 5).

Dans un second temps, la continuité écologique est dégradée par le blocage du transit sédimentaire. Dans les segments étudiés, la granulométrie est fine et peu diversifiée (Figure 51, page suivante). Dans ce contexte, dans la quasi-totalité des linéaires prioritaires, le matelas alluvial est absent, d'autant plus que de nombreuses campagnes de curage ont eu lieu historiquement.

Sur la courbe présentée ci-contre, trois données sont importantes : le D16 (diamètre de la fraction fine = 12 mm), le D50 (diamètre médian = 21 mm) et le D84 (diamètre de la fraction grossière = 37 mm). Enfin, le ratio D16/D84 est souvent utilisé pour caractériser la dispersion des échantillons choisis. Il est ici de 25 mm, ce qui est relativement faible.

Tableau 5 : Valeurs et significations de l'IPR

(Source : FDPPMA18, 2022)

Valeur de l'IPR	Classe d'état
[0-5]	Très bon
[5-16]	Bon
[16-25]	Moyen
[25-36]	Médiocre
>36	Mauvais

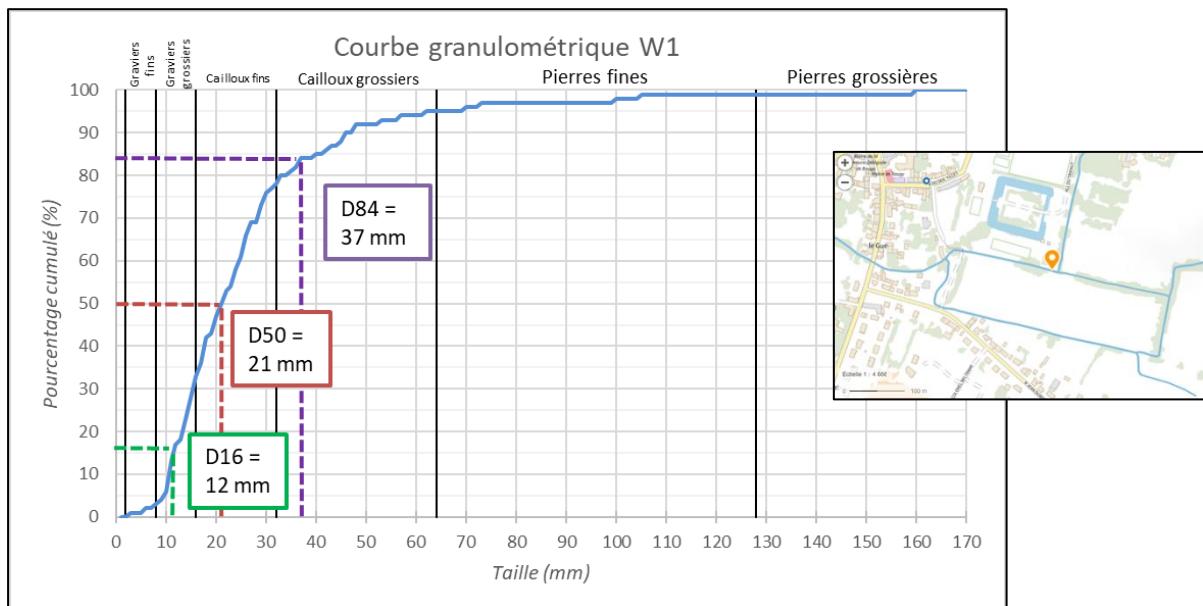


Figure 51 : Courbe granulométrique à la jonction entre le Tribaut et la Bondonne Nord

(Source : CHARONNAT (courbe), 2022 ; IGN (carte), 2022)

Or bien plus à l'amont sur la Bondonne, les éléments sont globalement plus grossiers et diversifiés avec une dispersion de 47 mm, soit pratiquement deux fois plus qu'en aval (Figure 52).

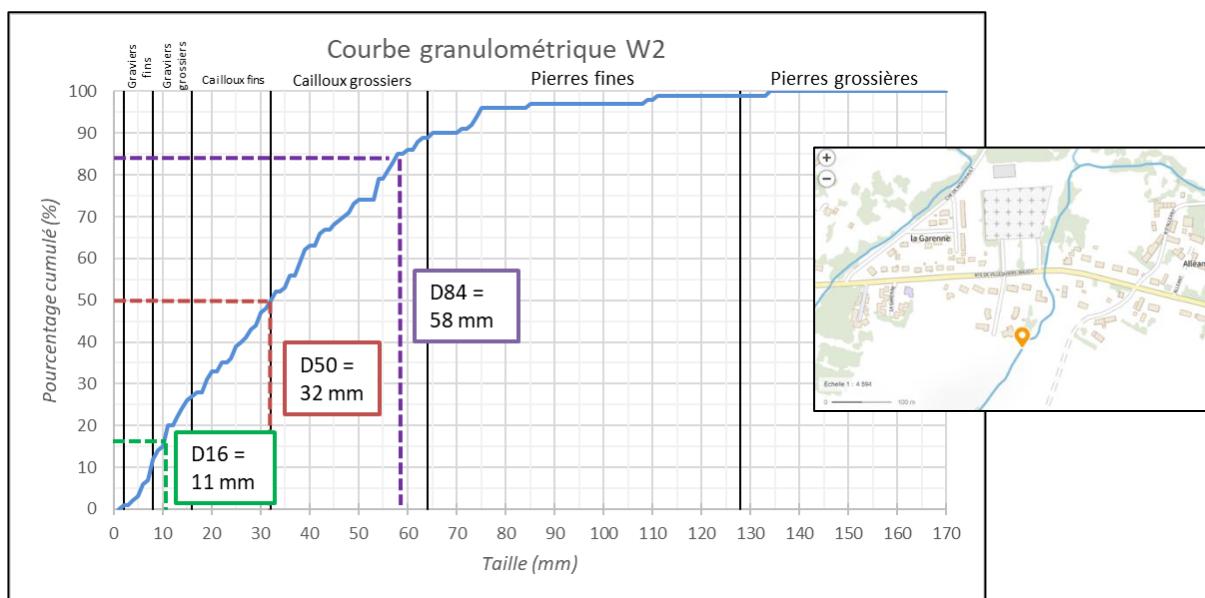


Figure 52 : Courbe granulométrique sur la Bondonne en amont des segments prioritaires

(Source : CHARONNAT (courbe), 2022 ; IGN (carte), 2022)

Cette analyse comparative montre que le réseau hydrologique dépose des fractions plus grossières en amont, ce qui est grandement lié aux ouvrages. En effet, à l'endroit où la Bondonne possède la granulométrie la plus importante, il s'agit de la limite d'influence de l'ouvrage Nord-Est (Figure 53, page suivante), situé à 300 mètres en amont. De fait, lors des fortes crues, les éléments les plus grossiers sont bloqués bien avant les segments prioritaires.

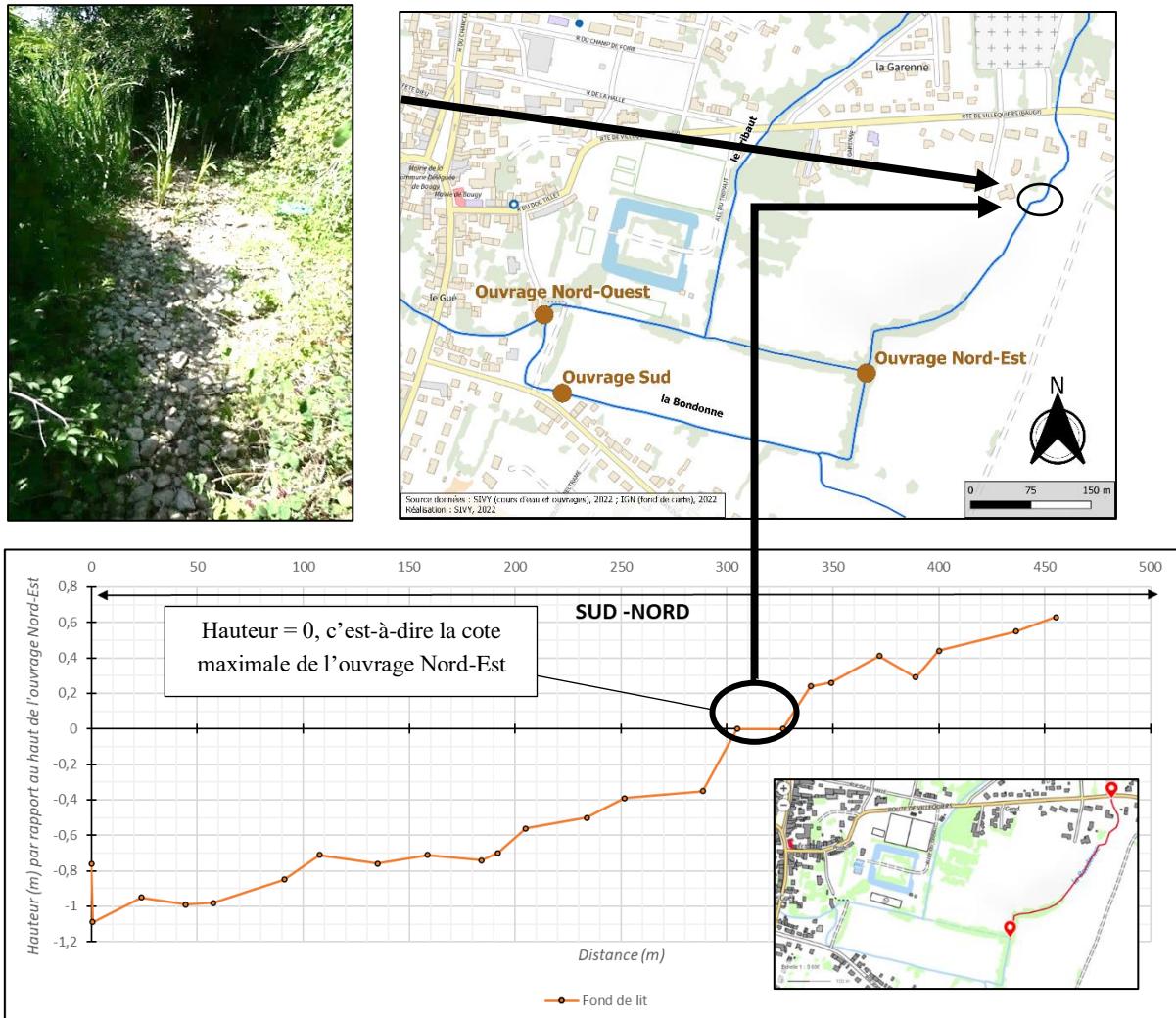


Figure 53 : Explication de l'influence de l'ouvrage sur le dépôt de granulométrie grossière en amont
 (Source : CHARONNAT, 2022)

Par ailleurs, les ouvrages les plus en aval (Sud et Nord-Ouest) produisent un réhaussement du fond de lit qui a tendance également à ralentir le transit sédimentaire.

Ainsi, la rupture de la continuité écologique participe à la dégradation de la Bondonne et du Tribaut.

III.2.2.4. Des segments plus ou moins connectés à la nappe

Enfin, la dimension verticale n'est pas de même qualité sur les trois segments ciblés. En effet, deux linéaires représentent un bras perché ([Figure 54](#), page suivante), c'est-à-dire qu'ils ont été déplacés de leur talweg naturel et replacé au-dessus de celui-ci. Dans ce cas-ci, le fond de vallée a été identifié dans la prairie centrale entre la Bondonne Nord et Sud, à partir les profils en travers effectués.

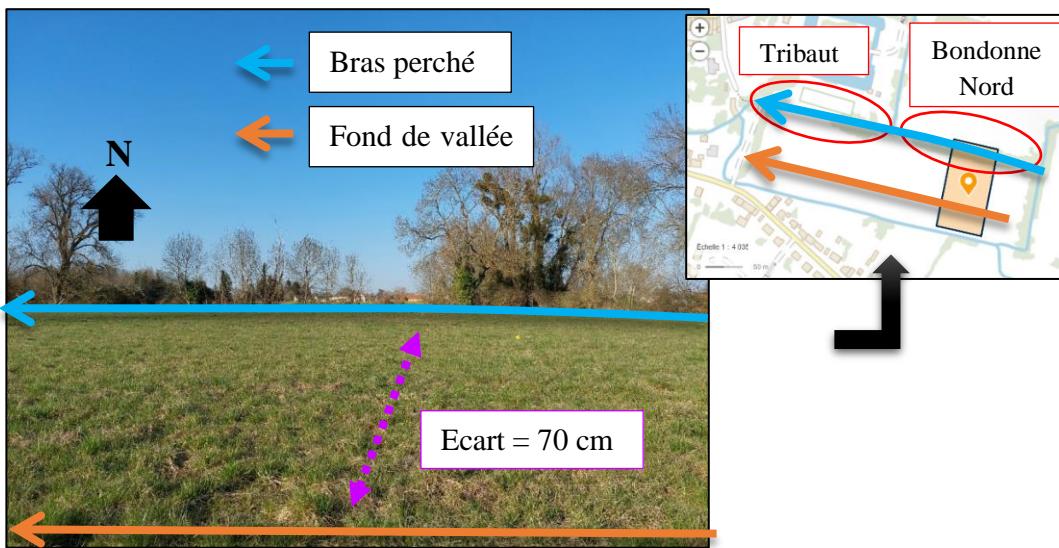


Figure 54 : Bras perché de la Bondonne Nord et du Tribaut

(Source : CHARONNAT, 2022)

Or l'une des conséquences associées est de déconnecter le cours d'eau de sa nappe d'accompagnement, ce qui est prouvé par deux mesures.

D'une part, les débits (Figure 55) montrent que le bras Nord de la Bondonne (point 4 et 5) est tombé en assec dès mai. Le Tribaut a été observé dans le même état en juillet. Au contraire, l'influence de la nappe est importante pour l'alimentation du bras Sud de la Bondonne (points 8 et 12). Ce bras n'est jamais en assec et les débits diminuent moins que sur le Tribaut (points 2 et 3), alors que l'amont de la Bondonne est en assec (point 5). Les fossés de drainage (points 9, 10 et 11) contribuent à maintenir un écoulement sur ce linéaire, même en période estivale.

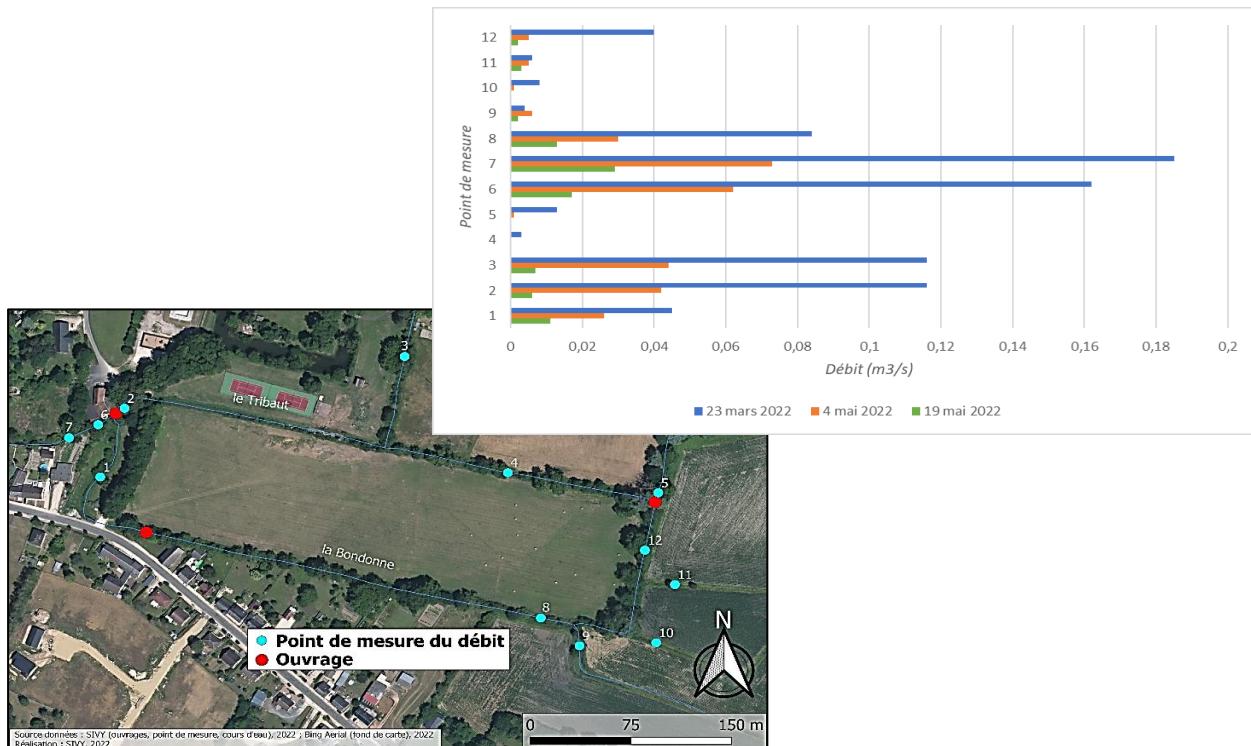


Figure 55 : Débits mesurés sur le Tribaut, la Bondonne et leurs fossés de drainage

(Source : CHARONNAT, 2022)

D'autre part, la mesure des températures de l'eau a montré une différence de température entre le Tribaut et la Bondonne Sud ([Figure 56](#) et [Figure 57](#)).

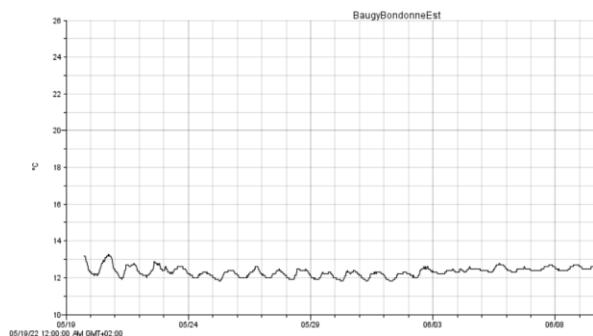


Figure 56 : Température de la Bondonne Sud entre le 19 mai et le 9 juin 2022
(Source : CHARONNAT, 2022)

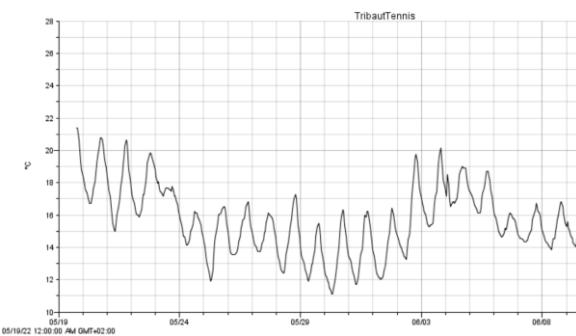


Figure 57 : Température du Tribaut entre le 19 mai et le 9 juin 2022
(Source : CHARONNAT, 2022)

Sur ces deux graphiques, on peut remarquer que la température du Tribaut est souvent plus importante que celle de la Bondonne Sud (15-16°C contre 12-13°C en moyenne). Cette situation montre probablement que la Bondonne Sud draine la nappe puisque ses eaux sont froides. De plus, l'amplitude de température est beaucoup plus importante pour le Tribaut que pour la Bondonne. Cette situation montre l'influence directe des conditions climatiques sur le Tribaut. Au contraire, il y a très peu d'amplitude thermique pour la Bondonne Sud, prouvant encore une fois qu'il s'agit d'une eau abritée des conditions superficielles.

De fait, les connexions avec la nappe sont différencierées selon les segments. Cette analyse contribue à montrer que selon les compartiments étudiés, les linéaires n'ont pas les mêmes dégradations. Mais l'état écologique global reste négatif, mettant en avant le besoin de restaurer les cours d'eau étudiés, ce qui est renforcé par le contexte social.

III.3. Des enjeux sociaux denses autour des cours d'eau qui amplifient la nécessité d'une restauration

Etant situé dans le bourg de Baugy, le secteur d'étude concentre de nombreux enjeux sociaux qui diffèrent d'un segment à l'autre. La carte de synthèse ci-dessous permet de résumer les différentes visions des riverains autour de la Bondonne et du Tribaut ([Figure 58](#), page suivante).

Principaux usages associés aux cours d'eau et à la zone d'étude



Arrosage des jardins



Drainage de parcelles agricoles



Réseau d'eau

Principaux risques associés aux cours d'eau



Inondations de caves plus ou moins induites par les cours d'eau et les remontées de nappe



Interrogations sur la pérennité des ouvrages (mauvais état, fuites)

Principales demandes pour un potentiel projet



Valorisation du paysage le long du cours d'eau



Respect et valorisation du patrimoine

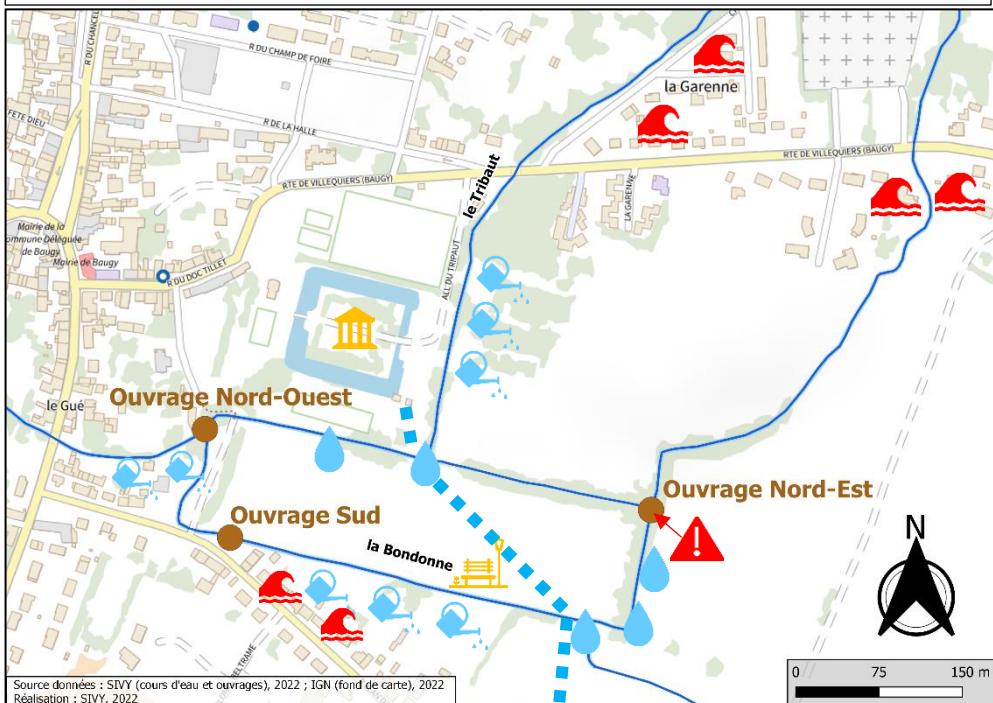


Figure 58 : Synthèse des enjeux sociaux autour de la Bondonne et du Tribaut

(Source : CHARONNAT, 2022)

En termes d'usages, les cours d'eau sont surtout concernés par l'arrosage des jardins de riverains. Par ailleurs, les cours d'eau servent au drainage, surtout au Sud-Est avec les trois fossés qui drainent des parcelles de maïs.

Quelques risques ont également été évoqués par les riverains, notamment les inondations de caves. Celles-ci sont directement provoquées par les remontées de nappe mais les cours d'eau peuvent influencer ces inondations avec les ouvrages qui peuvent faire remonter le niveau des nappes souterraines (Figure 59, page suivante). En effet, des mesures dans les caves de certains habitants inondés en amont ont montré que théoriquement, la montée en charge du Tribaut liée à l'ouvrage Nord-Ouest pourrait impacter la nappe et les caves.

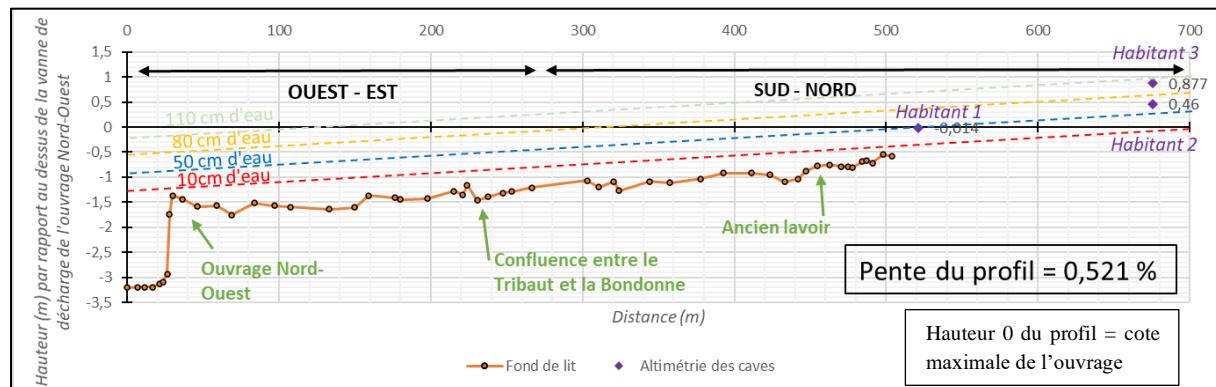


Figure 59 : Influence théorique de l'ouvrage Nord-Ouest sur la remontée de nappe et les inondations de cave
 (Source : CHARONNAT (profil), 2022 ; IGN (carte), 2022)

Parmi les aménagements hydrauliques, l'ouvrage Nord-Est est particulièrement en mauvais état, risquant de disparaître lors d'une prochaine crue (cf. photos en [Annexe 40](#), p 116). Certains habitants sont donc préoccupés par l'impact que pourrait engendrer cette suppression brutale en aval (risque de submersion).

Enfin, les riverains ont fait part de certaines propositions pour les abords des cours d'eau comme la mise en place d'un chemin de promenade le long de la Bondonne dans la parcelle centrale. Il a aussi été demandé de respecter et valoriser le secteur historique de l'ancien château.

Ainsi, les différentes préoccupations des riverains tendent à concevoir un projet de restauration qui pourra pérenniser leurs usages, limiter les risques et améliorer leur cadre de vie.

III.4. A partir du diagnostic, plusieurs techniques de restauration envisagées dans le secteur le plus prioritaire écologiquement et le plus favorable opérationnellement

En raison des enjeux écologiques et sociaux identifiés lors du diagnostic, un projet de restauration peut être envisagé sur les trois segments prioritaires.

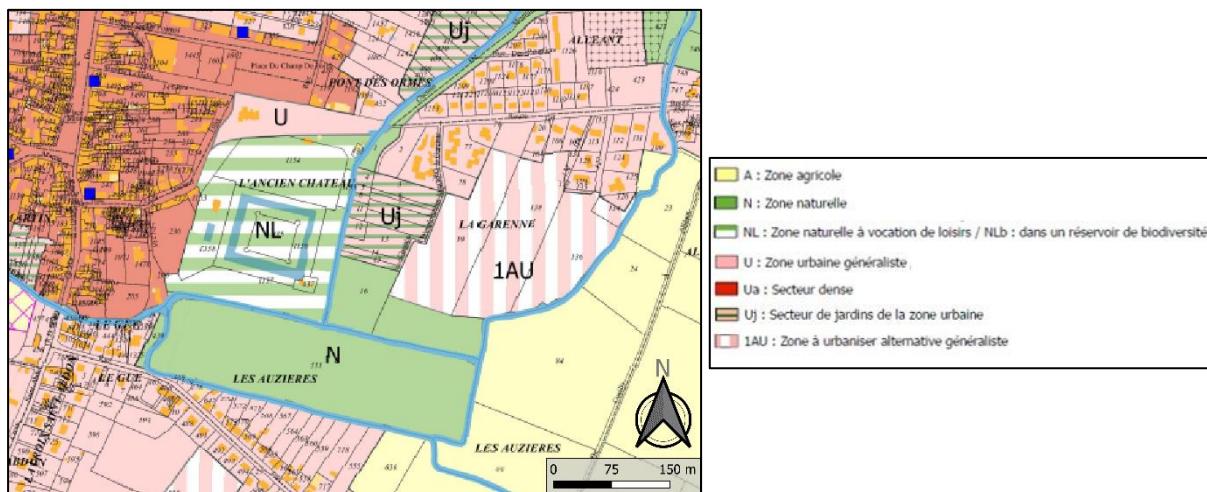
III.4.1. Le potentiel de mise en œuvre et l'ambition de la restauration

Le processus de réflexion du projet doit être intégré dans une emprise spatiale permettant de déterminer l'ambition de l'intervention.

Autour des linéaires choisis, il s'avère qu'il existe une grande surface disponible pour mettre en place une restauration. En effet, les segments sont souvent entourés de jardins, de prairies ou de zones agricoles avec une urbanisation peu dense le long des berges (cf. carte en [Annexe 41](#), p 116).

De plus, il est intéressant de projeter la restauration au travers des plans d'aménagements locaux. Dans le PLUi de Baugy ([Figure 60](#), page suivante), les zones naturelles (« N », « NL ») en bordure de la

Bondonne et du Tribaut peuvent constituer des espaces privilégiés pour l'implantation du projet. Elles peuvent maximiser l'efficacité du projet dans le temps car elles sont classées pour la préservation de l'environnement en tant que réservoir de biodiversité et sont protégées de l'artificialisation (COMMUNAUTE DE COMMUNES DE LA SEPTAINE, 2020). De plus, la parcelle centrale en « N » et le secteur en « NL » sont intégrés dans la Trame verte et Bleue (TVB) du SCoT en tant que « corridor milieux humides » (SIRDAB, 2012). Ils constituent ainsi des espaces prioritaires pour la reconquête de la qualité des cours d'eau et de leurs abords.



Par conséquent, afin de mettre en place le projet, une prairie a été sélectionnée avec la parcelle centrale B0551 (Figure 61). Outre les arguments précédents, sa situation est très favorable car elle est bordée par les trois segments ciblés de la Bondonne et du Tribaut. D'autre part, sa surface apparaît importante avec près de 4,3 hectares, ce qui permet d'envisager une restauration ambitieuse redonnant un grand espace de mobilité au cours d'eau (niveau « R2 » voire « R3 »). Enfin, il s'agit d'une parcelle communale avec un seul exploitant, d'où une concertation facilitée pour utiliser le terrain.



Par conséquent, cette zone a été retenue pour la réflexion d'un projet.

III.4.2. Des scenarii de projets techniques en réflexion

Pour finaliser ce chapitre, des propositions techniques de restauration peuvent être présentées. Leur dimensionnement et leur spatialisation sont encore à l'état de réflexion, d'où l'aspect partiel des résultats.

III.4.2.1. *Les techniques retenues et leur dimensionnement*

Une combinaison de différentes techniques peut être esquissée. Afin de les dimensionner, la méthode privilégiée a été celle par analogie (BRAMARD, 2012), c'est-à-dire que le cours d'eau restauré reprend les mêmes caractéristiques morphologiques qu'un segment peu dégradé de la Bondonne et du Tribaut, en amont ou en aval¹³.

Parmi les techniques à adopter, pour rétablir la continuité écologique, il peut être envisagé l'**effacement** (=suppression) **d'un ou plusieurs seuils** qui ne seraient plus utiles et en mauvais état comme l'ouvrage Nord-Est. Mais il faut alors veiller à anticiper l'érosion régressive qui sera provoquée naturellement pour rééquilibrer la pente (*cf. explication dans la partie I.2.1.1, p 20*). De fait, si l'ouvrage Nord-Est est effacé, il est nécessaire de rétablir une pente d'équilibre équivalente à 0,39% d'après les profils.

A cette intervention s'ajoute la **remise en fond de vallée** afin de replacer les cours d'eau perchés (Tribaut et Bondonne Nord) dans leur talweg d'origine au cœur de la prairie centrale (Figure 62). Ce déplacement doit apporter une reconnexion à la nappe et implique également de refaire la jonction entre le Tribaut et la Bondonne au milieu de la parcelle.

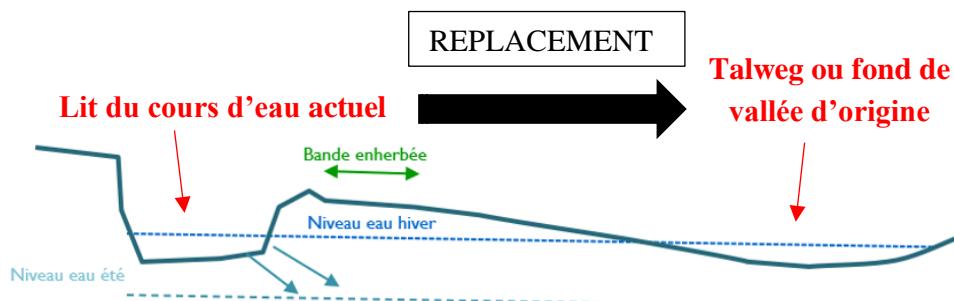


Figure 62 : Schéma de principe de la remise en fond de vallée
(Source : CHARONNAT, 2022)

Pour ce faire, les profils en travers réalisés ont permis d'identifier les points bas de la parcelle et de tracer des talwegs potentiels pouvant être repris dans le futur projet (Figure 63, page suivante). Toutefois, seuls les points rouges correspondent au vrai fond de vallée de la prairie.

¹³ Cette méthode peut aussi reprendre les caractéristiques d'un autre cours d'eau proche géographiquement ou d'un tracé naturel du cours d'eau retrouvé dans les cartes historiques.

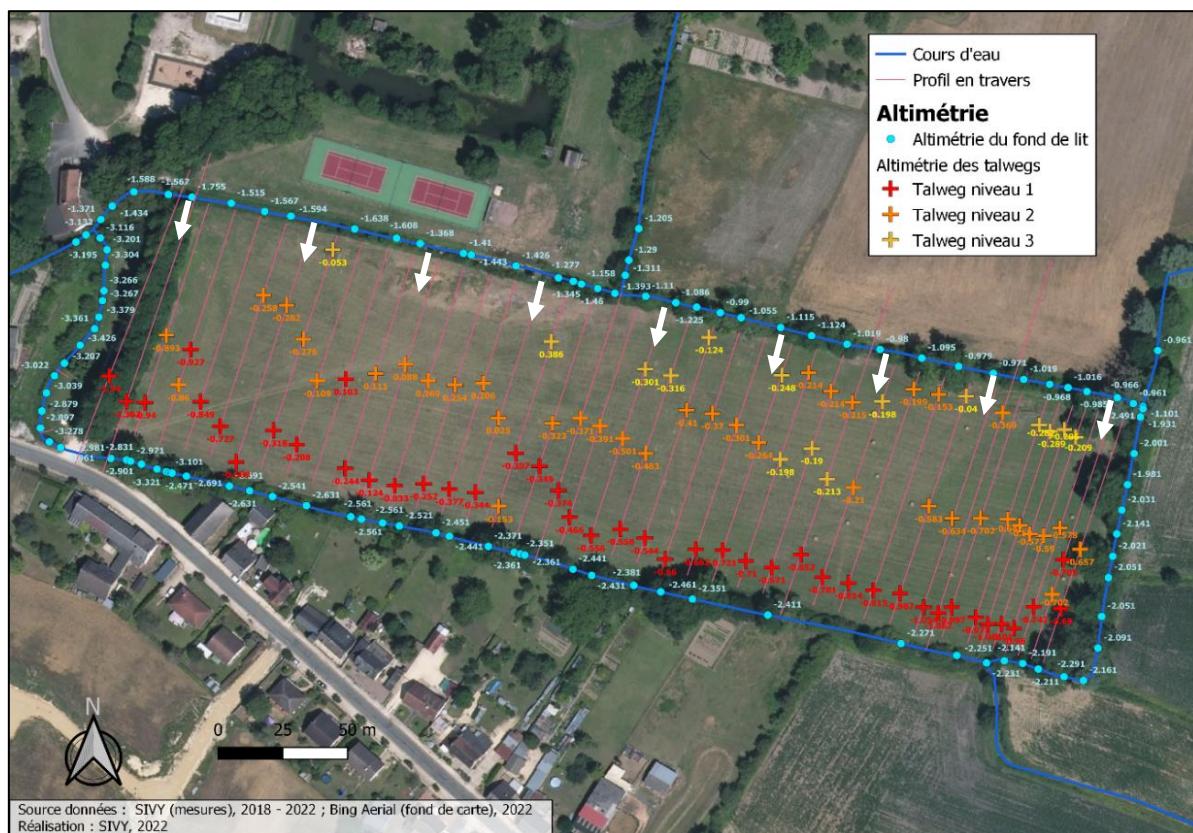


Figure 63 : Identification des talwegs dans la parcelle centrale

(Source : CHARONNAT, 2022)

Il s'avère également essentiel de mettre en place un **reméandrage** pour ces cours d'eau rectilignes. Le degré de sinuosité se situe entre 1,4 et 1,5 et a été déterminé en fonction de la pente d'équilibre à respecter (0,39%) et de la distance à parcourir (environ 600 m pour une parcelle de 400 m de large). D'après les retours d'expérience de projets dans le Centre-Ouest français, il apparaît compliqué d'obtenir des habitats très diversifiés en-dessous d'un degré de 1,2 à 1,3 (BRAMARD, 2012).

Etant donné que le fond du lit actuel de la Bondonne et du Tribaut est plus incisé que le talweg d'origine, ce reméandrage doit être intégré dans un **lit emboîté** ([Figure 64](#), page suivante), c'est-à-dire « *un lit mineur inséré dans un lit majeur « restreint »* » (BRAMARD, 2015). Cette association de techniques permet de recréer un cours d'eau capable de concentrer ses faibles débits (lit d'étiage) et de dissiper son énergie en période de crue (lit majeur « emboité »). Elles diversifient les habitats aquatiques et reconstitue un milieu alluvial humide.

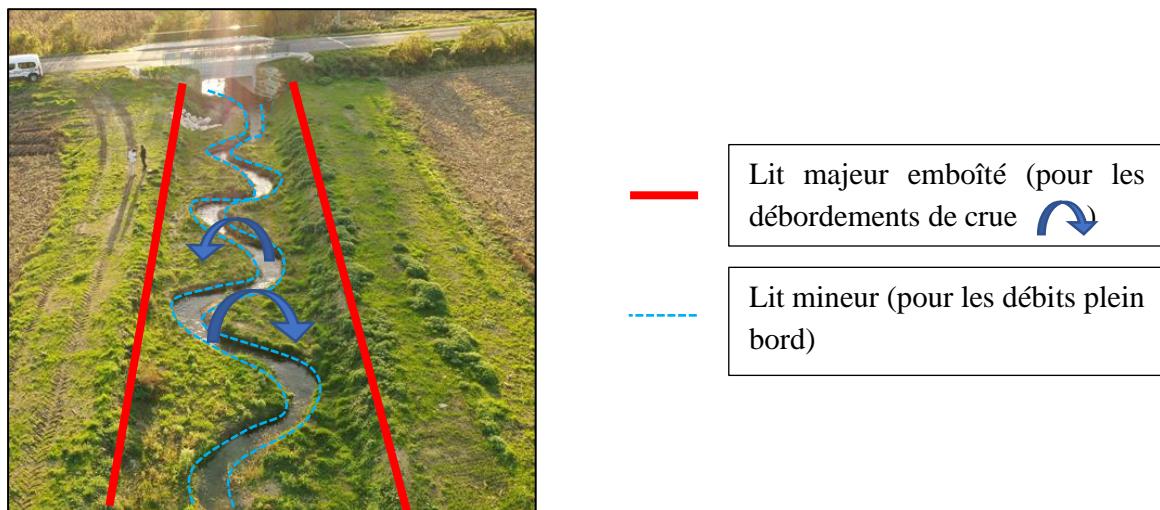


Figure 64 : Exemple de lit emboîté reméandré sur l'Yèvre à Baugy
 (Source : CHARONNAT, 2022)

Les gabarits choisis (Figure 65) reprennent les mesures de radiers de référence sélectionnés en amont du Tribaut et de la Bondonne (largeur et hauteur plein bord), tout en sachant qu'il faut que la largeur du lit majeur soit au moins six fois supérieure à la largeur du lit mineur (BRAMARD, 2012).

La distance entre deux têtes de radiers étant définie par l'OFB comme six fois la largeur plein bord (lit mineur), elle sera environ de 8 m pour la Bondonne, 9 m pour le Tribaut et de 13 m pour la jonction Bondonne-Tribaut. De plus, pour des cours d'eau de pente inférieure à 1,5%, l'OFB indique que les radiers doivent représenter 20 à 30% du linéaire restauré. De fait, pour respecter cette proportion (30% choisi) et la longueur entre deux têtes de radier, ces faciès doivent mesurer environ quatre mètres de long.

Ensuite, une **recharge granulométrique** est nécessaire pour reconstituer un matelas alluvial de bonne qualité avec des sédiments diversifiés. L'épaisseur choisie pour ce matelas est de 30 cm, soit la couche moyenne sur les cours d'eau d'après l'OFB¹⁴. La granulométrie retenue correspond à celle mesurée dans un secteur de référence, en amont des segments impactés par les ouvrages (*cf. carte sur la Figure 52, p 55*). Les mêmes proportions sont donc reprises (Figure 66, page suivante) : 26 % de graviers (2-16 mm), 22% de cailloux fins (16-32 mm), 41% de cailloux grossiers (32-64 mm) et 11% de pierres (64-256 mm).

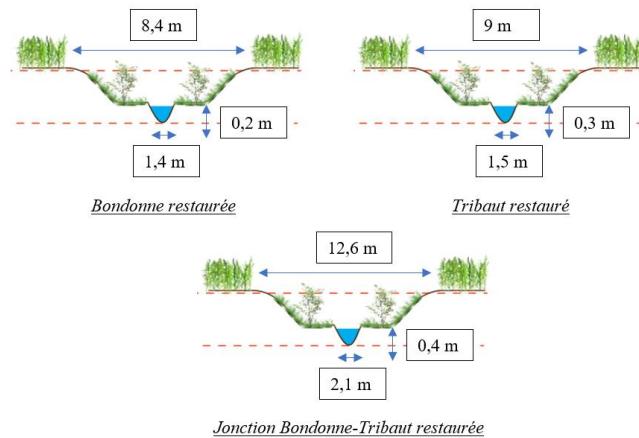


Figure 65 : Gabarit des radiers pour les cours d'eau restaurés

(Source : CHARONNAT, 2022)

¹⁴ L'OFB recommande de recréer une couche alluviale allant de 15 cm à 50 cm.

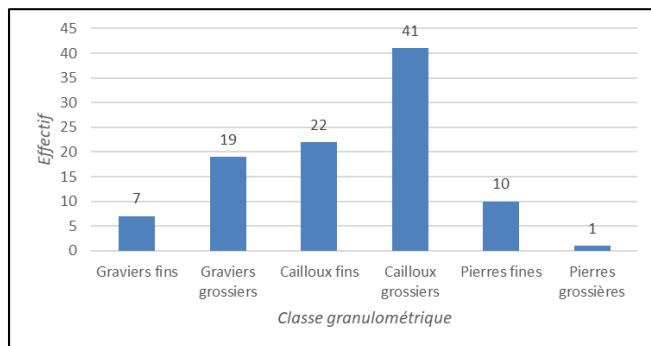


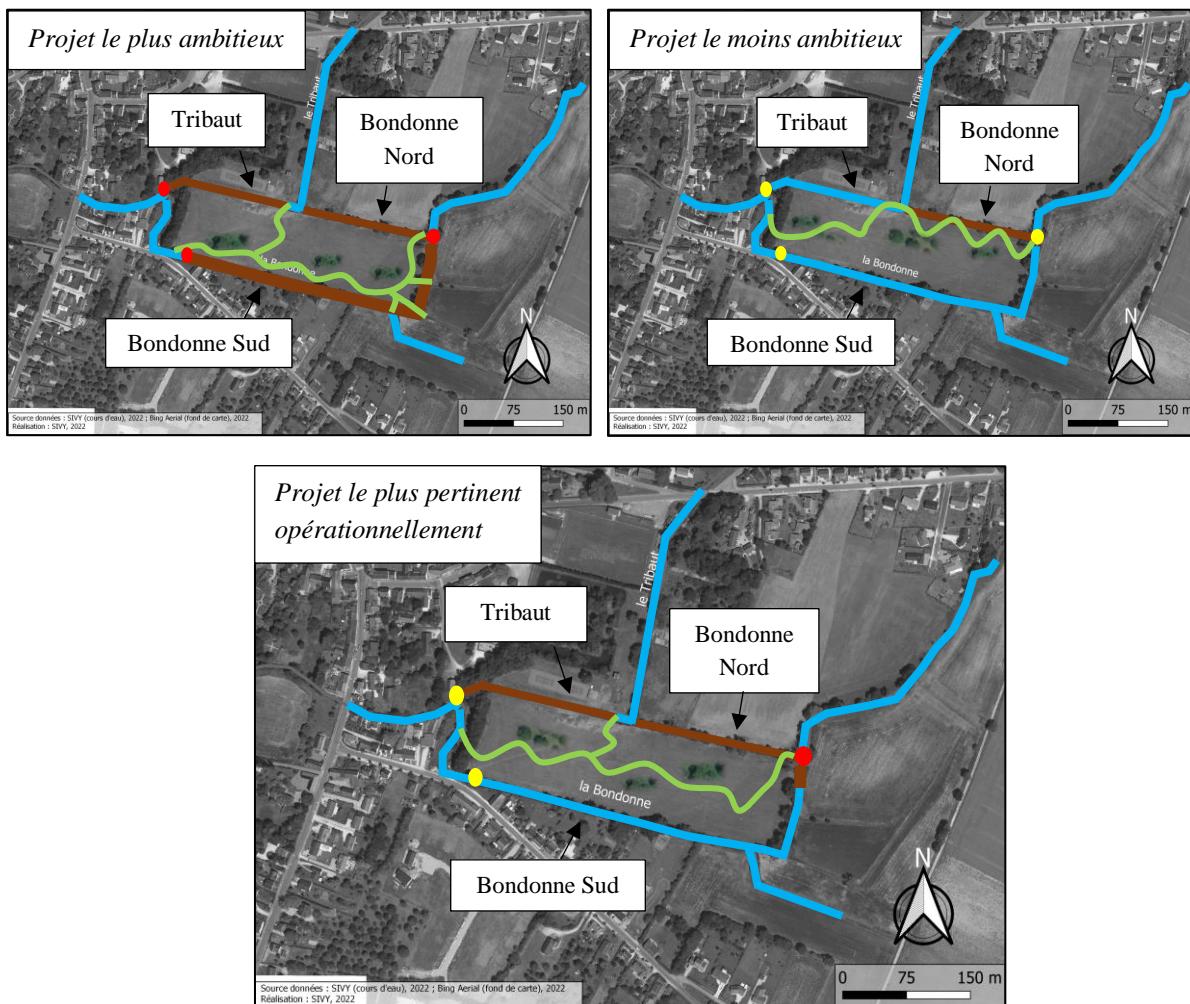
Figure 66 : Distribution des classes granulométriques dans le secteur de référence
 (Source : CHARONNAT, 2022)

Enfin, la **plantation de ripisylve**, avec une alternance de bosquets et d'alignements, est prévue pour stabiliser les berges du futur lit restauré et apporter de l'ombrage.

La sélection des techniques et leur dimensionnement étant réalisée, il faut désormais spatialiser l'intervention dans l'emprise sélectionnée.

III.4.2.2. La spatialisation des différents scenarii

Trois projets différents, avec différents niveaux d'ambition, ont été spatialisés (Figure 67, légende page suivante).



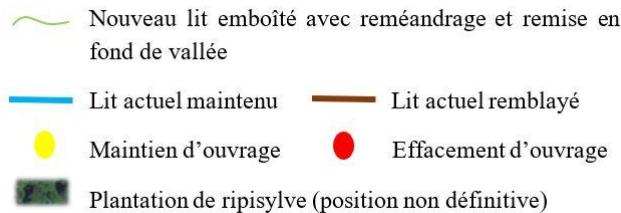


Figure 67 : Croquis des projets de restauration

(Source : CHARONNAT, 2022)

Dans un premier temps, le scénario le plus ambitieux est celui qui est le plus logique scientifiquement : déplacement vers le vrai fond de vallée (*cf.* carte sur la [Figure 63](#), p 63), disparition de tous les segments rectilignes et effacement de tous les ouvrages. Cependant, il est très difficilement réalisable en raison du coût élevé demandé et des enjeux sociaux qui accompagnent la Bondonne Sud. De plus, techniquement, il peut s'avérer très complexe avec de très nombreux volumes de terre à manier.

Dans un second temps, le projet le moins ambitieux est le plus simple techniquement : maintien des trois ouvrages, comblement d'un seul bras (le plus dégradé) et déplacement des segments à proximité. Il nécessite donc moins d'emprise spatiale et il est moins problématique archéologiquement (pas de modification à côté de l'ancien château, pas de suppression de l'ouvrage de l'ancien moulin). Toutefois, même s'il rétablit en partie la continuité, il n'est pas très convaincant scientifiquement en s'appuyant sur la dépression la plus haute de la parcelle (*cf.* carte sur la [Figure 63](#), p 63), en gardant actifs des bras dégradés et en divisant le Tribaut en deux bras (problème au niveau de la disponibilité en eau).

Enfin, le dernier scénario est celui qui se rapproche le plus du projet finalisé. En effet, il est à la fois pertinent scientifiquement (reconnexion des bras perchés avec la nappe, création d'un grand espace de mobilité, effacement de l'ouvrage le plus sensible) et opérationnellement (coûts réduits par le maintien d'ouvrages ayant encore un intérêt local, équilibre possible entre le volume de terre déblayé et remblayé, pas de modification près des jardins irrigués de la Bondonne Sud). Il demeure des défauts comme la non-utilisation du vrai fond de vallée (par proximité avec le bras de la Bondonne Sud) mais il s'agit d'un compromis pour assurer la concrétisation d'un projet de restauration.

En conclusion, ce troisième chapitre a permis de dévoiler les principaux résultats de l'étude. Il ressort que sous l'influence de facteurs essentiellement anthropiques avec la création d'un complexe hydraulique, le Tribaut et la Bondonne ont été dégradés écologiquement dans le bourg de Baugy. Pour faire face à cette altération multi-dimensionnelle et répondre à certains enjeux sociaux, la restauration est indispensable sur les segments les plus prioritaires. Le projet qui en découle se base sur une combinaison de plusieurs techniques pour accroître l'efficacité de l'intervention.

Cependant, cette réflexion autour de la restauration reste théorique et rien ne prédit le succès du projet dans l'avenir. Par conséquent, quels obstacles sont à prendre en compte sur le long terme et peut-on les éviter ?

Chapitre IV : Le projet de restauration peut-il se construire comme un succès socio-écologique, s'inscrivant durablement dans un environnement urbanisé et agricole ?

A partir du diagnostic et des scénarii techniques, cette étude se clôture par une discussion sur la pérennité socio-écologique de la restauration de cours d'eau. Ce dernier chapitre se propose donc d'offrir des perspectives, en expliquant ce qui peut favoriser l'exploitation du projet ou ce qui risque d'y faire obstacle.

En premier lieu, la nécessité d'accompagner les solutions techniques par une concertation locale sera abordée. Ensuite, différentes limites externes seront dévoilées concernant l'efficacité écologique de l'opération sur le long terme. Enfin, il sera démontré que la réussite de la restauration passe surtout par un changement de paradigme, en considérant le projet comme un processus et non comme une intervention ponctuelle.

IV.1. La nécessaire intégration du projet écologique à une concertation territoriale visant l'acceptabilité sociale

Tout d'abord, pour que la restauration hydromorphologique soit un succès, il est essentiel d'intégrer une démarche participative et territoriale.

IV.1.1. La restauration de cours d'eau face à l'acceptabilité sociale

Dès le processus de réflexion d'une opération, la restauration se confronte souvent à une réalité territoriale où les habitants sont « méfiants ». Les porteurs de projet doivent alors construire un travail d'acceptabilité sociale, c'est-à-dire un processus « *cherchant à défendre la légalité et la légitimité d'une action, à créer un contexte favorable et des dispositions facilitatrices qui garantissent que ce qui est proposé à un public reçoit leur consentement* » (PERRIN, 2019). Dans le contexte du bourg de Baugy, cette concertation est nécessaire puisque le Tribaut et la Bondonne sont des rivières semi-urbaines, avec de nombreux riverains. Cependant, ce travail d'acceptabilité peut être contrarié pour deux raisons principales.

D'une part, les habitants peuvent avoir une vision passéeiste de l'entretien des cours d'eau. Lors de nos échanges, certains locaux regrettaiient les fréquents travaux de nettoyage qui permettaient d'enlever la vase et les végétaux aquatiques comblant le fond du lit. Par exemple, au XIX^{ème} siècle et jusqu'au milieu du XX^{ème} siècle, les campagnes de curage et de fauкардement étaient très nombreuses sur les ruisseaux balgyciens (SERVICE HYDRAULIQUE DES PONTS ET DES CHAUSSEES, 1904-1937).

Des riverains considèrent que ces actions de sur-entretien étaient bénéfiques car elles permettaient un plus libre écoulement de l'eau et limitaient le risque d'inondation. Toutefois, leur impact sur les écosystèmes était néfaste (Figure 68, page suivante): élargissement morphologique, disparition du matelas alluvial, destruction d'habitats aquatiques... Si bien qu'aujourd'hui, les pouvoirs publics souhaitent limiter les opérations de curage et de fauкардement (sauf cas particulier comme les biefs de moulins par exemple).

Il s'agit donc d'un conflit entre une vision anthropo-centrée (sur-entretien) et éco-centrée (« *naturalisation des cours d'eau* » (PERRIN, 2019))



Cours d'eau naturel : diversité des zones d'ombres et de lumière.



Cours d'eau curé : élargissement du lit d'étiage, réduction de l'ombrage, réchauffement de l'eau. Développement d'espèces invasives, type renouée du Japon, sur les matériaux de curage.

Figure 68 : Impacts induits par le curage du fond de lit

(Source : SYNDICAT DE RIVIERES BREVENNE TURDINE, n.d.)

D'autre part, la critique et la méfiance vis-à-vis des savoirs et de l'expertise technique nuisent à la légitimation de la restauration des cours d'eau. En effet, théoriquement, un projet se construit à partir de deux référentiels : un référentiel environnementaliste qui se base sur une « *posture scientifique et rationnelle-légale* » (ANQUETIL et al., 2018) et un référentiel local qui s'appuie sur les représentations, pratiques et interactions locales. Entre ces deux dimensions, il existe des connexions qui permettent de faire évoluer le projet : on parle alors de réflexivité (ANQUETIL et al., 2018).

Or, il est démontré que cette réflexivité s'avère limitée car les techniciens de rivière privilégient souvent le référentiel environnementaliste et diluent le référentiel local en minimisant la logique territoriale et participative (PERRIN, 2019). D'après une étude réalisée dans le bassin de la Vilaine, seuls 8% des acteurs engagés dans un projet retiennent la dimension humaine de la restauration (ANQUETIL et al., 2018). Dans ce contexte, les habitants et certains élus peuvent s'opposer à la conception écologique du projet et ne pas adhérer à la restauration.

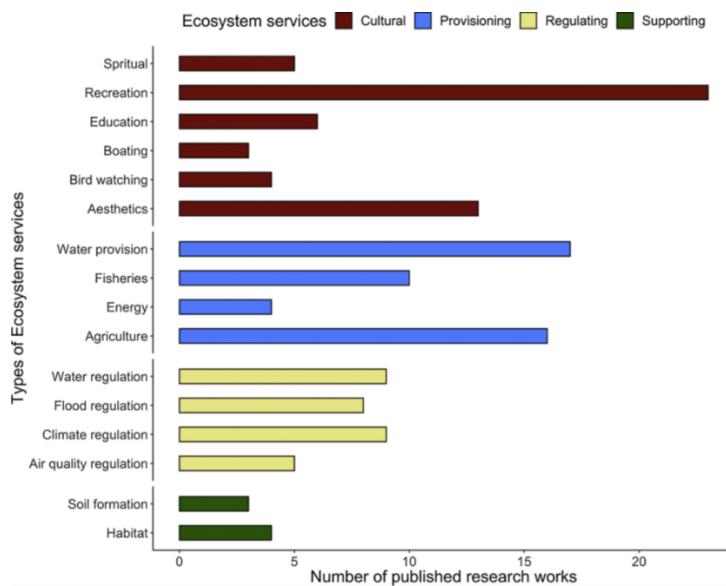
De fait, le travail du porteur de projet devient celui d'un médiateur qui doit négocier localement les contours du projet technique pour accroître sa légitimité socio-politique.

IV.1.2. La mise en place d'un projet de territoire partagé pour améliorer l'articulation techniciens-riverains

Afin d'obtenir l'acceptabilité sociale et dépasser les clivages idéologiques, le projet ne peut pas seulement avoir une ambition technico-écologique, il doit être co-construit avec les acteurs du territoire. Dans cette optique, une grande concertation s'impose pour engager une « *restauration inclusive* » (HIGGS, 1997). Pour le porteur de projet, il s'agit alors de réaliser une territorialisation des enjeux en prenant en compte les « *intérêts (usages, pratiques) et les attachements locaux (paysage, patrimoine)* » (PERRIN, 2019).

Pour faciliter la transparence avec les locaux, il est conseillé de considérer le cours d'eau comme un élément-cadre du paysage. En effet, en plus d'améliorer les fonctionnalités des rivières, la restauration peut constituer un « *catalyseur de développement social, de revitalisation urbaine et de soutien aux politiques publiques* » (GUIMARAES et al., 2021). L'intervention sur une rivière dégradée pourrait

produire des services écosystémiques plus larges que ceux écologiques (BASAK *et al.*, 2021). Par exemple, les services culturels sont souvent évoqués dans les travaux de recherche sur la restauration, surtout en termes de loisirs et d'esthétique ([Figure 69](#)). A Baugy, certains riverains ont d'ailleurs exprimé leurs demandes de valorisation du paysage pour se promener autour des cours d'eau.



[Figure 69 : Poids des différents services écosystémiques apportés par la restauration dans les articles de recherche publiés de 1999 à 2019 \(nombre d'articles = 125\)](#)

(Source : BASAK *et al.*, 2021)

De fait, pour tenir compte des enjeux paysagers et de l'avis des habitants, des aménagements connexes vont être associés à la restauration hydromorphologique de la Bondonne et du Tribaut. Il pourrait s'agir de chemins végétalisés avec des passerelles permettant de traverser les rivières. De plus, pour répondre aux demandes de valorisation de l'histoire de Baugy, le parcours pourrait mettre en valeur le patrimoine disparu de la commune (ancien château, aménagements autour de l'eau, anciens usages) grâce à des bornes pédagogiques.

Ainsi, une « *dynamique d'apprentissage collectif* » (ANQUETIL *et al.*, 2018) est indispensable. Cependant, d'autres obstacles peuvent être rédhibitoires.

IV.2. Des limites de pérennité pouvant remettre en cause la restauration en tant qu'outil opérationnel

Même si un projet hydromorphologique et paysager réussit à se concrétiser, il n'est pas évident d'assurer une amélioration de l'état écologique du cours d'eau sur le long terme.

IV.2.1. Les effets du changement climatique sur la ressource en eau

En premier lieu, l'une des principales limites est l'incertitude planant autour de la disponibilité en eau. Dans le contexte de changement climatique, les prévisions sont plutôt pessimistes dans le Cher ([Figure 70](#), page suivante). Les températures devraient augmenter de 2,3°C en moyenne en cinquante ans (ETABLISSEMENT PUBLIC LOIRE, 2017), ce qui accentuerait l'évaporation. (ETABLISSEMENT PUBLIC LOIRE, 2017). De plus, la pluviométrie serait plus faible au Milieu du Siècle avec une baisse de l'ordre de 1,1 à 1,3% du cumul de pluie annuel.

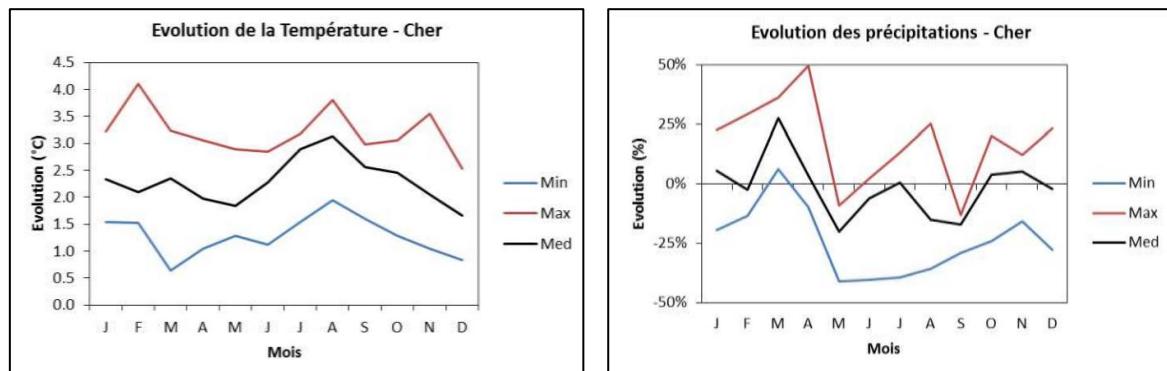


Figure 70 : Evolution de la température et des précipitations dans le département du Cher du Temps Présent (période 1961-1990/2000) à l'horizon du Milieu du Siècle (2046-2065)

(Source : SAGE YEVRE-AURON, 2017)

Par cette combinaison de facteurs climatiques, un important déséquilibre évapotranspiration (ETP) - pluie va se former et menacer durablement l'hydrologie des cours d'eau (cf. graphique en [Annexe 42](#), p 117). Or la Bondonne et le Tribaut ont déjà des débits très faibles (moins de 0,2 m³/s en module) et sont intermittents (environ trois mois de l'année sans eau). Par conséquent, ils vont être à sec de plus en plus longtemps, probablement de la fin du printemps à l'automne au milieu du siècle.

Alors pourquoi continuer à travailler sur des cours d'eau dont la ressource pourrait être inexisteante la moitié du temps ? Le projet proposé à Baugy, en reconnectant le cours d'eau à la nappe, va permettre de mieux soutenir les débits d'étiage et d'avoir un temps de recharge plus long. Mais cette intervention ne va probablement que retarder l'accélération des assecs. On peut donc considérer que la restauration est un outil d'amélioration qualitative sur le long terme mais d'amélioration quantitative uniquement sur le moyen terme (quelques années) pour les ruisseaux.

Ces perspectives en demi-teinte sont également corroborées par d'autres contraintes pragmatiques.

IV.2.2. Une ambition réduite par les contraintes financières et foncières

Dans un second temps, l'ambition des interventions peut être limitée par le coût et l'emprise spatiale demandée. En effet, les porteurs de projets comme les syndicats de rivière ne peuvent pas mettre régulièrement en place des actions « R3 », les plus ambitieuses. Elles nécessitent des centaines de milliers d'euros chacune et un important espace disponible (au moins dix fois le lit mineur¹⁵). A titre d'exemple, lors du dernier Contrat Territorial des Milieux Aquatiques du bassin de l'Yèvre (2016-2020), seulement deux actions « R3 » morphologiques sur lit mineur (730 m de linéaire) et sept suppressions d'ouvrages ont pu être appliquées ([Figure 71](#), page suivante). D'un point de vue foncier, ce résultat est prévisible : il peut être difficile de trouver une grande surface disponible en milieu urbain et même au milieu de champs, surtout si les cours d'eau sont très contraints.

¹⁵ Par exemple, si le nouveau lit mineur fait 1,5m, il faut trouver 15m d'emprise minimum, ce qui est très significatif.



Figure 71 : Action R3 de remise en fond de vallée et reméandrage à Saint-Martin-d'Auxigny
(Source : SIVY, 2022)

De plus, à l'échelle française, le manque d'ambition de la restauration est caractérisé par la prédominance des interventions passives ou douces. Ces dernières représentent des opérations de faible envergure (végétalisation des banques, relèvement des berges...), ayant un coût moindre. Ainsi, entre 1997 et 2011, la ripisylve et les actions au sein du lit mineur (recharge en granulats, gestion des embâcles...) ont été les principaux types de travaux réalisés avec une part moyenne de 70% en cumulé (MORANDI et al., 2016). Au contraire, la restauration active, nécessitant des travaux morphologiques de grande ampleur, est réalisée moins régulièrement en raison de coûts plus importants. Pourtant, elle s'avère indispensable pour « *les cours d'eau peu puissants, peu actifs et à faibles apports solides* » (CHANDRESRIS et SOUCHON, 2008) comme le Tribaut et la Bondonne.

Enfin, outre le type d'intervention, le linéaire concerné est aussi problématique puisque chaque action concerne souvent des tronçons de quelques centaines de mètres. Par exemple, à Baugy, il s'agira probablement de 600 mètres environ.

D'autres limites externes auraient également pu être citées (pompage de l'eau, pollution diffuse...). Au final, le seul moyen d'évaluer la pertinence des opérations est de réaliser des suivis constants.

IV.3. Avec les retours d'expérience, la nécessité de considérer un projet de restauration comme un processus et non comme une intervention ponctuelle

Pour terminer cette étude, il est utile de montrer que la restauration ne peut être durable que si un modèle de gestion est appliqué, avec une continuité de l'étude avant et après les travaux, ce qui n'est pas forcément le cas aujourd'hui.

En effet, l'un des principaux problèmes en France est l'absence de suivi pré et post-intervention, en raison de coûts trop importants. Avant 2014, seulement 16% des projets français de restauration écologique avaient fait l'objet d'une évaluation (MORANDI, 2014). À ce titre, il est relaté que « *l'action est davantage valorisée que son résultat* » (MORANDI et PIEGAY, 2011). De plus, quand le suivi est réalisé, il est souvent effectué sur une période assez courte après les travaux (dix ans au maximum), sans forcément des mesures avant l'opération et une comparaison avec un site témoin (*cf. graphique en Annexe 43, p 117*) (MORANDI et al., 2014).

Pourtant, en prenant en considération les retours d'expérience dans le cadre des travaux du SIVY, les suivis prennent une place prépondérante dans la réussite d'un projet.

D'une part, ils permettent de faire des ajustements sur les linéaires restaurés. Par exemple, il arrive que la granulométrie prévue soit trop fine par rapport à la puissance spécifique du cours d'eau et que le matelas alluvial ne puisse pas se maintenir. De fait, après des crues morphogènes, les techniciens peuvent décider de recharger le lit avec une plus grosse granulométrie, comme des blocs, pour stabiliser les radiers ou les berges face à des ruptures de pente (Figure 72).

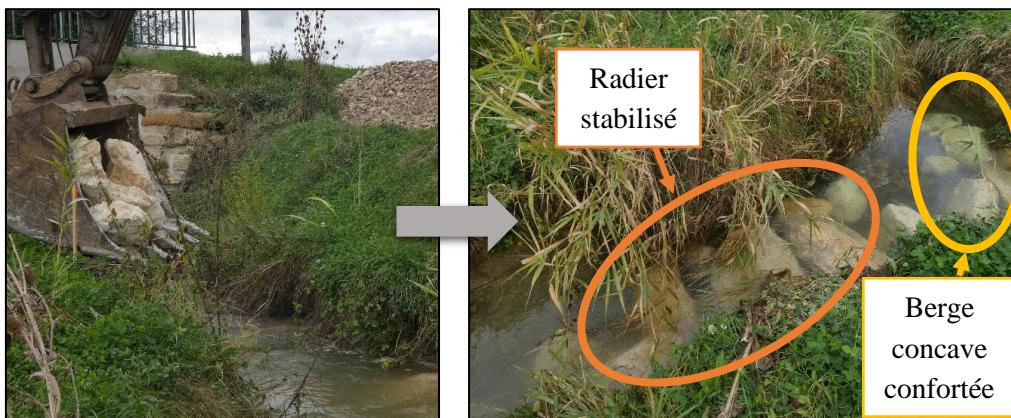


Figure 72 : Ajustement sous forme de recharge alluviale sur l'Yèvre à Baugy (un an après la restauration)
(Source : SIVY, 2021)

D'autre part, la surveillance des sites restaurés est utile pour constituer de solides références dans la construction de futurs projets comme celui en réflexion sur la Bondonne et le Tribaut. Le gabarit se base notamment sur les retours d'autres secteurs. Par exemple, il a été souvent observé que les fosses pouvaient être plus profondes et les radiers plus pincés. Le suivi est ainsi intéressant pour limiter le décalage entre la théorie dimensionnée et la réalité.

Sur le long terme, il est possible de voir si les fonctionnalités naturelles prennent le pas sur l'intervention anthropique : recouplement de méandre, création de banquettes... Au fur et à mesure, les crues morphogènes permettent d'ajuster naturellement le cours d'eau et retrouver un équilibre dynamique global.

Finalement, la restauration ne peut pas se restreindre à une stricte intervention ponctuelle. Elle doit s'appuyer sur un processus qui va de l'étude diagnostic avant les travaux, jusqu'à l'« auto-naturalisation » du cours d'eau, soit pendant dizaines d'années.

Ainsi, cet ultime chapitre a ouvert des perspectives tout en soulignant les principaux obstacles au succès durable de la restauration. Il se dégage alors un bilan en demi-teinte pour le futur. D'une part, les difficultés d'acceptation sociale peuvent être résolues grâce à une concertation mettant le riverain au cœur du projet. D'un autre côté, en termes d'efficacité écologique, il apparaît compliqué de contrôler la disponibilité future de la ressource en eau en raison du changement climatique. L'enjeu est donc de construire la restauration comme un processus ajustable afin de s'adapter au mieux à l'évolution des conditions locales.

Conclusion

Finalement, on peut affirmer qu'il est nécessaire de restaurer les cours d'eau dégradés de tête de bassin, avec la mise en place de solutions techniques et paysagères pouvant être adaptées aux enjeux socio-environnementaux. Cette conclusion s'appuie sur le projet en réflexion dans le bassin versant de l'Yèvre qui apporte des enseignements sur la pertinence de la restauration.

Tout d'abord, il s'avère que cet outil s'est rendu indispensable dans la gestion de l'eau en France, pour faire face aux altérations du fonctionnement hydromorphologique liées à l'anthropisation des bassins versants. A l'origine, il s'agissait d'un concept né dans la deuxième moitié du XX^{ème} siècle en France, qui prônait le retour à un état stable des écosystèmes aquatiques. Grâce à une importante réglementation nationale et européenne, la restauration est devenue opérationnelle, particulièrement dans les années 2000 avec l'introduction de la DCE. Avec un large éventail de techniques, son objectif est de participer à l'amélioration de l'état écologique des masses d'eau, avec une attention particulière portée sur les têtes de bassin.

Pour analyser l'intérêt de cette politique localement, une méthode d'étude a été mise en place sur un secteur clairement délimité autour de deux ruisseaux du bassin de l'Yèvre, la Bondonne et le Tribaut. Elle s'est basée sur deux phases avec un diagnostic territorial et un développement de projet dans le centre-bourg d'une commune de Champagne berrichonne.

Il est ressorti que sous la pression anthropique (création d'un grand complexe hydraulique), les deux cours d'eau étudiés ont été dégradés : homogénéité des faciès d'écoulement, rupture de la continuité écologique, déconnexion avec la plaine alluviale et la nappe d'accompagnement. Pour répondre à ces altérations multi-dimensionnelles et à certains enjeux sociaux, la restauration apparaît nécessaire sur les segments les plus prioritaires. Le projet qui en découle combine différentes techniques adaptées aux dégradations identifiées : remise en fond de vallée dans un lit emboîté avec reméandrage, effacement d'ouvrage, recharge granulométrique ou encore plantation de ripisylve.

Cependant, une intervention technique ne suffit pas. Pour constituer un succès socio-écologique durable, la restauration doit obligatoirement s'associer à une concertation territoriale et à un processus de suivi des actions. Le modèle à suivre est de construire un projet de territoire ajustable en fonction des retours d'expérience, pouvant intégrer des aménagements paysagers améliorant le cadre de vie des riverains. Malgré ces perspectives positives, des limites climatiques et d'ambition peuvent affecter à terme l'efficacité écologique des actions.

Bien que cet outil soit émergent dans le domaine hydromorphologique, la restauration est un procédé assez ancien en France. En effet, la politique forestière s'est appuyée dès le XIX^{ème} siècle sur la Restauration des Terrains en Montagne (RTM), afin de protéger les versants de l'érosion des sols. Son développement peut être comparable à celui des cours d'eau avec l'importance de la connaissance scientifique et technique pour améliorer l'état des écosystèmes.

Bibliographie

ACCES AUX DONNEES SUR LES EAUX SOUTERRAINES (ADES), 2022. *Point d'eau BSS001KJWM (05203X0083/P) LA GRANDE FAYE VILLEQUIERS – 18* [en ligne]. [Consulté le 15 mai 2022]. Disponible à l'adresse : <<https://ades.eaufrance.fr/Fiche/PtEau?Code=05203X0083/P>>.

AGENCE DE L'EAU LOIRE-BRETAGNE, 2020. Etat des lieux 2019 du bassin Loire-Bretagne. *Agence de l'Eau Loire-Bretagne* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <<https://donnees-documents.eau-loire-bretagne.fr/home/cartes/cartes-de-letat-des-lieux-2019.html>>.

AGENCE DE L'EAU LOIRE-BRETAGNE, 2019. *Fiche descriptive de la masse d'eau. L'YEVRE ET SES AFFLUENTS DEPUIS LA SOURCE JUSQU'A LA CONFLUENCE AVEC LES MARGES. État des lieux 2019* [en ligne]. 6 p. Disponible à l'adresse : <<https://datavisu.eau-loire-bretagne.fr/masse-eau/FRGR2087/export>>.

AGENCE EUROPEENNE POUR L'ENVIRONNEMENT, 2018. Corine Land Cover 2018. *Copernicus* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <<https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018>>.

ANQUETIL V. *et al.*, 2018. La restauration hydromorphologique des cours d'eau ou la difficile articulation des référentiels environnementalistes et territoriaux. *Géocarrefour* [en ligne], Volume 92, Numéro 1, 25 p. Disponible à l'adresse : <<http://journals.openedition.org/geocarrefour/10540>>.

ARISTIDE I., 1990. Chapitre premier. Le dessein territorial de Sully : le duché-pairie de Sully-sur-Loire et les terres berrichonnes. In : *La fortune de Sully* [en ligne]. Vincennes : Institut de la gestion publique et du développement économique, pp. 247-307. Disponible à l'adresse : <<http://books.openedition.org/igpde/3390>>.

ARNAUD F. et SCHMITT L., 2018. Hydrosystème fluvial. *Géoconfluences* [en ligne]. [Consulté le 3 juin 2022]. Disponible à l'adresse : <<http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/hydrosysteme-fluvial#:~:text=L'hydrosyst%C3%A8me%20fluvial%20est%20un,au%20sein%20du%20bassin%20versant>>.

ARONSON J. et LE FLOC'H E., 1995. Ecologie de la restauration. Définition de quelques concepts de base. *Natures – Sciences - Sociétés*, Hors-série, pp. 29-35.

ASSOCIATION PATRIMOINE BALGYCIEN 18, 2018 (mise à jour en 2022). *Patrimoine Balgycien 18* [en ligne]. [Consulté le 24 mars 2022]. Disponible à l'adresse : <<https://patrimoinebalgycien.fr/>>.

ASSOCIATION POUR LA PROMOTION DES ETUDES ET DE LA RECHERCHE ARCHEOLOGIQUE DANS LE CANTON DE BAUGY, 1981. *Baugy : Des Gaulois à nos jours*. Baugy : FeniXX réédition numérique (Association archéologique), 174 p.

BASAK S.M. *et al.*, 2021. Social benefits of river restoration from ecosystem services perspective: A systematic review. *Environmental Science and Policy* [en ligne], Volume 124, pp. 90-100. Disponible à l'adresse : <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901121001659>>.

BIORET F. et CHLOUS-DUCHARME F., 2011. Evaluer la dégradation en écologie de la restauration, une question d'échelles de références et de perception. *Sciences Eaux et territoires*, Numéro 5, pp. 3-5. Disponible à l'adresse : <<https://www.cairn.info/revue-sciences-eaux-et-territoires-2011-2-page-3.htm>>.

BOULEAU G., 2008. L'épreuve de la directive-cadre européenne sur l'eau. *Responsabilité et environnement* [en ligne], Volume 1, Numéro 49, pp. 84-91. Disponible à l'adresse : <<https://Annales.org/re/2008/re49/Bouleau.pdf>>.

BRAMARD M., 2018. *Rencontres techniques. Géomorphologie des petits cours d'eau en tête de bassin versant* [diapositives]. Formation. Poitiers : Agence Française pour la Biodiversité.

BRAMARD M., 2015. Notions d'hydromorphologie. *Stage restauration petits cours d'eau* [diapositives]. Formation. Amboise : Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA).

BRAMARD M., 2012. *Rencontres des Techniciens Rivière de la Région Centre. Le reméandrage des cours d'eau* [diapositives]. Formation. Amboise : Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA).

BRIERLEY G. J. et al, 2008. Chapter 5. Working with Change : The Importance of Evolutionary Perspectives in Framing the Trajectory of River Adjustment. In : *River futures. An integrative Scientific Approach to River Repair* [en ligne]. Society for Ecological Restoration International. Washington : Island Press, pp. 65-84. Disponible à l'adresse : <https://books.google.fr/books?id=icvSCIOhhGIC&pg=PA78&hl=fr&source=gbs_selected_pages&cad=3#v=onepage&q&f=false>.

BUHOT DE KERSERS A., 1875. Canton de Baugy. In : *Histoire et statistique monumentale du département du Cher*. Paris : A. Morel et Cie, Volume I, pp. 188-198.

CHANDRESSIS A. et SOUCHON Y., 2008. *Bien connaître le fonctionnement hydromorphologique des cours d'eau : une étape incontournable pour une restauration efficace* [en ligne]. Cemagref. Sinfotech - Les fiches Savoir-faire, 4p. Disponible à l'adresse : <<https://hal.inrae.fr/hal-02591510/document>>.

CHAUSSIS R. et SUADEAU R., 2012 (réed.). *Morphologie des cours d'eau* [en ligne]. France Nature Environnement. Paris : la Selva Editions, 21 p. Disponible à l'adresse : <https://ged.fne.asso.fr/silverpeas/LinkFile/Key/cfe49a96-82e2-4f89-926b-af75cd100370/guide_morpho-new2012-.pdf>.

COMMISSION LOCALE DE L'EAU (CLE) DU SAGE YEVRE-AURON, 2005. *Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux du bassin Yèvre-Auron. Etat des lieux* [en ligne]. 464 p. Disponible à l'adresse : <https://sage-yevre-auron.fr/wp-content/uploads/2015/12/Rapport_etat_lieux_SAGEYA_nov2005.pdf>.

COMMISSION LOCALE DE L'EAU (CLE) DU SAGE YEVRE-AURON, 2014. *Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) Yèvre-Auron. Plan d'Aménagement et de Gestion Durable de la ressource en eau (PAGD)* [en ligne]. 188 p. Disponible à l'adresse : <[https://sage-yevre-auron.fr/wp-content/themes/sage_val_dhuy_loiret/img/documents_officiels_SAGE/SAGE_yevre_Auron_PAGD\[1\].pdf](https://sage-yevre-auron.fr/wp-content/themes/sage_val_dhuy_loiret/img/documents_officiels_SAGE/SAGE_yevre_Auron_PAGD[1].pdf)>.

COMMUNAUTE DE COMMUNES DE LA SEPTAINE, 2020. *Plan Local d'Urbanisme Intercommunal (PLUi) de la Septaine. 1- Rapport de présentation (RP) – Tome 1* [en ligne]. 174 p. Disponible à l'adresse : <http://cc-laseptaine.fr/wp-content/uploads/2020/07/1-RP_Tome_1_Septaine_2020.pdf>.

EAUFRANCE, 2022. *Observatoire National des Etages (ONDE)* [en ligne]. [Consulté le 5 mai 2022]. Disponible à l'adresse : <<https://onde.eaufrance.fr/>>.

EGIS EAU, 2013. *Etude préalable au Contrat Territorial du bassin versant de l'Yèvre. Rapport diagnostic - phase 2* [en ligne]. 141 p. Disponible à l'adresse : <<https://fr.calameo.com/books/002506847cc672b3a1e91>>.

ETABLISSEMENT PUBLIC LOIRE, 2017. *Bilan des connaissances des impacts du changement climatique sur le SAGE Yèvre-Auron* [diapositives][en ligne]. Réunion SAGE Yèvre-Auron. Disponible à l'adresse : <https://www.eptb-loire.fr/wp-content/uploads/2017/06/Reunion_SAGE_Yevre-Auron.pdf>.

FEDERATION DEPARTEMENTALE POUR LA PECHE ET LA PROTECTION DES MILIEUX AQUATIQUES DU CHER, 2022. *Compte rendu d'inventaire par pêche électrique : l'Yèvre, la Bondonne, le Tribaud. Opération du 16/05/2022.* 15 p.

FEDERATION DEPARTEMENTALE POUR LA PECHE ET LA PROTECTION DES MILIEUX AQUATIQUES DU CHER, 2018. *Plan Départemental pour la Protection des milieux aquatiques et la Gestion des ressources piscicoles (PDPG 18). Document de synthèse* [en ligne]. 102 p. Disponible à l'adresse : <<https://www.cher.gouv.fr/content/download/23973/165576/file/synthese+PDPG+.pdf>>.

GAHON Z., 2018. *Rapport de l'étude diagnostic. Projet de restauration de l'Auxigny à Saint-Palais.* Stage. Bourges : SIVY, 89 p.

GHIOTTI S., 2007. *Les territoires de l'eau. Gestion et développement en France.* Paris : CNRS Editions, 246 p.

GUERRIN J. et BOULEAU G., 2014. Remparts ou menaces ? Trajectoires politiques de l'endiguement en France, aux Pays-Bas et aux États-Unis. *Revue internationale de politique comparée* [en ligne], Volume 21, Numéro 1, pp. 89-109. Disponible à l'adresse : <<https://www.cairn.info/revue-internationale-de-politique-comparee-2014-1-page-89.htm>>.

GUIMARAES L.F. *et al.*, 2021. The challenges of urban river restoration and the proposition of a framework towards river restoration goals. *Journal of Cleaner Production* [en ligne], Volume 316, Numéro 128330, 13 p. Disponible à l'adresse : <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621025440>>.

HAKOUN V., 2020. *Appui au SCHAPI -Module 1 Caractérisation des apports du karst aux crues sur le territoire du SPC Loire-Cher-Indre (Bassin de l'Yèvre)* [en ligne]. [Rapport de recherche]. BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières), 49 p. Disponible à l'adresse : <<https://hal-brgm.archives-ouvertes.fr/hal-03295378>>.

HIGGS E. S., 1997. What is Good Ecological Restoration ? *Conservation Biology* [en ligne], Volume 11, Numéro 2, pp. 338-348. Disponible à l'adresse : <<https://www.jstor.org/stable/2387608>>.

HYDRO CONCEPT, 2021. *Etude Bilan du Contrat Territorial Milieux Aquatiques du Bassin de l'Yèvre 2016-2020 et Elaboration d'un Futur Programme d'Actions - Bassin versant de l'Yèvre. Document 1 : Bilan évaluatif de la mise en oeuvre du Contrat Territorial Milieux Aquatiques (2016-2020)*. 115 p.

HYDROPORTAIL, 2022. Site hydrométrique - K555 2300 : L'Yèvre à Savigny-en-Septaine. *HydroPortail* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <<https://www.hydro.eaufrance.fr/sitehydro/K5552300/fiche>>.

INSTITUT NATIONAL DE LA STATISTIQUE ET DES ETUDES ECONOMIQUES (INSEE), 2022. Dossier complet. Commune de Baugy (18023). *Insee* [en ligne]. [Consulté le 02 avril 2022] Disponible à l'adresse : <<https://www.insee.fr/fr/statistiques/2011101?geo=COM-18023>>

INSTITUT NATIONAL DE L'INFORMATION GEOGRAPHIQUE ET FORESTIERE (IGN), 2022. *Géoportail* [en ligne]. [Consulté le 02 avril 2022]. Disponible à l'adresse : <<https://www.geoportail.gouv.fr/>>.

KAGAN R., 2017. *Cours d'eau de tête de bassin versant en bon état : quels enjeux et quelles actions de non dégradation ?* [en ligne]. Synthèse documentaire. Collection Les Synthèses de l'Office International de l'Eau, 23 p. Disponible à l'adresse : <www.oieau.fr/eaudoc/publications>.

LABLANCHE G. *et al*, 1992. *Notice explicative de la feuille Nérondes à 1/50 000*. BRGM, 43 p.

LE CALVEZ C., 2020. La gestion de l'eau en France. *Module Territoires de l'Eau*. Cours. Orléans : Faculté de Lettres, Langues et Sciences Humaines.

LEMOINE C. (coord.) *et al.*, 2001. Canton de Baugy. In : *Le patrimoine des communes du Cher*. Paris : Flohic Editions, Collection Le patrimoine des communes de France, Tome I, pp. 114-118.

MALAVOI J.-R. et ADAM P., 2007. La restauration hydromorphologique des cours d'eau : concepts et principes de mise en œuvre. *Ingénieries* [en ligne], Volume 50, pp. 49-61. Disponible à l'adresse : <<https://biotec.ch/Htdocs/Files/v/5932.pdf>>.

MALAVOI J.-R. et BRAVARD J.-P., 2010. *Eléments d'hydromorphologie fluviale*. Vincennes : Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA), 224 p.

MAUSSION A., 2004. Le rôle des limons dans l'implantation antique en Champagne berrichonne (Indre et Cher) [en ligne]. *Histoire & mesure*, Volume 19, Numéros 3-4, pp. 399-420. Disponible à l'adresse : <<https://journals.openedition.org/histoiremesure/780>>.

METEO FRANCE, 2022. *Météo France* [en ligne]. [Consulté le 15 août 2022]. Disponible à l'adresse : <<https://meteofrance.fr>>.

MINISTÈRE DE L'ECOLOGIE, DU DEVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ENERGIE, 2012. *Arrêté du 10 juillet 2012 portant sur la liste 2 des cours d'eau, tronçons de cours d'eau ou canaux classés au titre de l'article L. 214-17 du code de l'environnement du bassin Loire-Bretagne.*

MORANDI B., 2014. *La restauration des cours d'eau en France et à l'étranger : de la définition du concept à l'évaluation de l'action. Eléments de recherche applicables.* Thèse de doctorat en Géographie. Lyon : Ecole Normale Supérieure, 430 p. Disponible à l'adresse : <<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01126880>>.

MORANDI B. *et al.*, 2016. Les Agences de l'eau et la restauration : 50 ans de tensions entre hydraulique et écologique. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [en ligne], Volume 16, Numéro 1, 36 p. Disponible à l'adresse : <<http://journals.openedition.org/vertigo/17194>>.

MORANDI B. *et al.*, 2014. How is success or failure in river restoration projects evaluated? Feedback from French restoration projects. *Journal of Environmental Management* [en ligne], Volume 137, pp. 178-188. Disponible à l'adresse : <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479714000930>>.

MORANDI B. et PIEGAY H., 2017. *Restauration de cours d'eau en France : comment les définitions et les pratiques ont-elles évolué dans le temps et dans l'espace, quelles pistes d'action pour le futur ?* Agence Française pour la Biodiversité, Collection Comprendre pour agir, Numéro 27, 28 p.

MORANDI B. et PIEGAY H., 2011. Les restaurations de rivières sur Internet : premier bilan. *Natures Sciences Sociétés* [en ligne], Volume 19, pp. 224-235. Disponible à l'adresse : <<https://www.cairn.info/revue-natures-sciences-societes-2011-3-page-224.htm>>.

OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU (OIEAU), 2018 (mise à jour en 2022). *Glossaire Eau, Milieu marin et Biodiversité* [en ligne]. [Consulté le 04 avril 2022]. Disponible à l'adresse : <<https://glossaire.eauetbiodiversite.fr/>>.

PERRIN J.-A., 2019. Eléments sur l'acceptabilité socio-technique d'une politique environnementale : le cas de la restauration de la continuité des cours d'eau. *Territoire en mouvement* [en ligne]. 20 p. Disponible à l'adresse : <https://www.researchgate.net/publication/337272977_Elements_sur_l'acceptabilite_socio-technique_d'une_politique_environnementale_le_cas_de_la_restauration_de_la_continuite_des_cours_d'eau>.

PROUST J.-C. et LORAIN J.-M., 1989. *Découverte géologique de la Région Centre : Val de Loire – Touraine – Sologne – Beauce - Berry.* Editions BRGM, pp. 45-51.

REY F. et al., 2018. *Ingénierie écologique appliquée aux milieux aquatiques. Pour qui ? Pour quel bénéfices ?* ASTEE. Volume 2, 135p.

ROLAN-MEYNARD M. et al., 2019. *Guide pour l'élaboration de suivis d'opérations de restauration hydromorphologique en cours d'eau.* Agence Française pour la Biodiversité, Collection Guides et protocoles, 190 p.

SCHEMA D'AMENAGEMENT ET DE GESTION DES EAUX (SAGE) YEVRE-AURON, 2022. *SAGE Yèvre-Auron [en ligne].* [Consulté le 15 août 2022]. Disponible à l'adresse : <<https://sage-yevre-auron.fr/>>.

SECRETARIAT TECHNIQUE DU BASSIN LOIRE-BRETAGNE, 2012. Améliorer l'état écologique des cours d'eau - 18 questions, 18 réponses. ONEMA, Agence de l'eau Loire-Bretagne, Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Centre. 40 p.

SERVICE D'ADMINISTRATION NATIONALE DES DONNEES ET REFERENTIELS SUR L'EAU (SANDRE), 2017. Cours d'eau selon la version Carthage 2017. *Sandre [en ligne].* Disponible à l'adresse : <<https://www.sandre.eaufrance.fr/atlas/srv/fre/catalog.search#/metadata/7381de46-42f7-42df-9abe-0ecd4b946034>>.

SERVICE HYDRAULIQUE DES PONTS ET CHAUSSEES DU DEPARTEMENT DU CHER, 1887-1897. *BONDONNE. – Aménagements de barrages et abreuvoirs, règlements d'eaux.* Bourges : Archives départementales du Cher (3S/124).

SERVICE HYDRAULIQUE DES PONTS ET CHAUSSEES DU DEPARTEMENT DU CHER, 1904-1937. *BONDONNE. – Curage et faucardement.* Bourges : Archives départementales du Cher (3S/126).

SERVICE HYDRAULIQUE DES PONTS ET CHAUSSEES DU DEPARTEMENT DU CHER, 1926-1939. *BONDONNE.- Moulin d'En Bas (Baugy).* Bourges : Archives départementales du Cher (3S/125).

SERVICE HYDRAULIQUE DU MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE DANS LE DEPARTEMENT DU CHER, 1934. *Baugy, La Garenne, Ruisseau le Tribaut.* Bourges : Archives départementales du Cher (3S/621).

SERVICE HYDRAULIQUE DU MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE DANS LE DEPARTEMENT DU CHER, 1932. *TRIBAULT.- Curage (Baugy).* Bourges : Archives départementales du Cher (3S/622).

SOCIETE SUISSE DE GEOMORPHOLOGIE, 2009. *Fiche 1.5.3. L'érosion fluviatile régressive [en ligne].* Fiches Géomorphologie de la montagne, 5 p. Disponible à l'adresse : <<https://geomorphologie-montagne.ch/wp-content/uploads/2020/09/5.1.3.pdf>>.

STAENTZEL C., 2021. Hydro-écologie. *Module Hydrosystèmes fluviaux.* Cours. Strasbourg : Faculté de géographie et d'aménagement.

SYNDICAT INTERCOMMUNAL DE LA VALLEE DE l'YEVRE (SIVY), 2022. *Vallée de l'Yèvre - SIVY* [en ligne]. [Consulté le 15 août 2022]. Disponible à l'adresse : <<https://www.vallee-yevre.com/>>.

SYNDICAT INTERCOMMUNAL DE LA VALLEE DE L'YEVRE, 2013. *Programmes d'actions sur les milieux aquatiques du bassin de l'Yèvre. Dossiers réglementaires.* 237 p.

SYNDICAT INTERCOMMUNAL POUR LA REVISION ET LE SUIVI DU SCHEMA DIRECTEUR DE L'AGGLOMERATION BERRUYERE (SIRDAB), 2012. *SCoT Agglomération berruyère. Projet d'Aménagement et de Développement Durable (PADD). Dossier d'approbation* [en ligne]. pp. 50-57. Disponible à l'adresse : <https://www.sirdab.fr/wp-content/uploads/2018/07/SCoT_PADD_approbation.pdf>.

SYSTEME D'INFORMATION POUR LA GESTION DES EAUX SOUTERRAINES (SIGES) CENTRE-VAL DE LOIRE, 2022. *Synthèse des principales informations relatives aux eaux souterraines pour la commune de BAUGY* [en ligne]. 22 p. Disponible à l'adresse : <<https://sigescen.brgm.fr/?page=ficheMaCommune&codeCommune=18023>>.

TERRIER B., 2020. Eléments d'hydromorphologie fluviale. *Module Hydrosystème* [diapositives]. Cours. Montpellier : AgroParisTech.

VANNOTE et al., 1980. The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* [en ligne], Volume 37, Numéro 1, pp. 130-137. Disponible à l'adresse : <<https://cdnsciencepub.com/doi/10.1139/f80-017>>.

WHITE D.-S., 1993. Perspectives on defining and delineating hyporheic zones. *Journal of the North American Benthological Society* [en ligne], Volume 12, Numéro 1, p. 61-69. Disponible à l'adresse : <<https://www.jstor.org/stable/1467686>>.

WOHL E. et al., 2021. Rediscovering, Reevaluating, and Restoring Lost River-Wetland Corridors. *Frontiers in Earth Science* [en ligne], Volume 9, Article 653623, 21 p. Disponible à l'adresse : <<https://www.researchgate.net/publication/352839633> Rediscovering, Reevaluating, and Restoring Lost River-Wetland Corridors>.

Glossaire

Assec : « *phénomène d'interruption du cours de la rivière, en cas de manque d'eau prononcé* » (CHAUSSIS et SUADEAU, 2012).

Banquette : atterrissement de sédiments se créant dans le lit mineur en situation de sur-largeur.

Bassin versant : « *ensemble de la surface recevant les eaux qui circulent naturellement vers un même cours d'eau ou vers une même nappe* » (OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU, 2018). « *Il faut distinguer le bassin hydrogéologique qui n'est pas toujours ajusté aux dimensions du bassin versant de surface* » (CHAUSSIS et SUADEAU, 2012).

Bief : « *tronçon d'un cours d'eau ou canal amenant l'eau jusqu'à un ouvrage hydraulique (bief de moulin par exemple)* » (OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU, 2018).

Bon état des eaux : « *des eaux en bon état permettent la plus large panoplie des usages de l'eau (production d'eau potable, usages économiques, de loisirs...) tout en assurant de bonnes conditions de vie et de reproduction pour les espèces animales et végétales qu'elles contiennent. L'atteinte du bon état suppose que la pression exercée par les activités humaines sur les milieux aquatiques soit réduite. La notion de bon état des eaux est définie par la directive cadre sur l'eau. Pour les cours d'eau, elle intègre le bon état chimique et le bon état écologique* » (SECRETARIAT TECHNIQUE DU BASSIN LOIRE-BRETAGNE, 2012).

Colmatage : « *dépôt de sédiments fins en surface et dans les interstices de substrats plus grossiers* » (MALAVOI et BRAVARD, 2010).

Connectivité latérale : Capacité d'échanges bi-directionnels entre le lit mineur et le lit majeur. Cela induit que le lit mineur peut déborder dans le lit majeur lors d'une crue.

Continuité écologique : « *dans une rivière, se définit par la possibilité de circulation des espèces animales et le bon déroulement du transport des sédiments. Elle a une dimension amont-aval, impact des obstacles transversaux comme les seuils et barrages, et une dimension latérale, impacts liés aux ouvrages longitudinaux comme les digues et les protections de berges* » (SECRETARIAT TECHNIQUE DU BASSIN LOIRE-BRETAGNE, 2012).

Débit de plein bord : « *débit maximal avant que le cours d'eau ne déborde de son lit habituel, délimité par ses berges et sa ripisylve* » (CHAUSSIS et SUADEAU, 2012).

Débit liquide (Q): « *eau véhiculée par le cours d'eau* » (CHAUSSIS et SUADEAU, 2012).

Débit solide (Q_s) : « *sédiments véhiculés par le cours d'eau* » (CHAUSSIS et SUADEAU, 2012).

Débits morphogènes : « *crues annuelles à quinquennales en moyenne* » (REY *et al.*, 2018) qui engendrent une modification de la morphologie du cours d'eau.

Etiage : « *période de basses eaux, en été généralement* » (CHAUSSIS et SUADEAU, 2012).

Eutrophisation : « *phénomène d'enrichissement naturel des eaux par lessivage des sols. Par extension, phénomène de multiplication rapide d'algues filamenteuses ou planctoniques ou de végétaux supérieurs due à des excès de nutriments (phosphore, azote ou indirectement matière organique), favorisé par de l'eau chaude et calme. S'observe régulièrement dans les lacs de barrage*

dont le bassin versant d'alimentation est cultivé de manière intensive (apport de nutriments par les engrangis, les effluents d'élevage, les agglomérations) » (CHAUSSIS et SUADEAU, 2012).

Faciès d'écoulement : « petites portions de cours d'eau (d'une longueur comprise entre 1 et 10 fois la largeur à pleins bords environ) présentant une homogénéité, à l'échelle de quelques m² à quelques centaines de m², sur le plan des vitesses, des profondeurs, de la granulométrie, de la pente du lit et de la ligne d'eau , des profils en travers » (MALAVOI ET BRAVARD, 2010).

Fosse : « zone où le courant est faible et la profondeur du lit importante » (MALAVOI et BRAVARD, 2010).

Gabarit : Largeur et profondeur du lit du cours d'eau.

Hydromorphologie : « processus physiques régissant le fonctionnement des cours d'eau (= dynamique fluviale) et les formes qui en résultent (= morphologie fluviale) » (MALAVOI et BRAVARD, 2010)

Isopière : « courbe joignant les points où une nappe aquifère est à la même altitude » (LAROUSSE, 2022) »

Lit majeur : « lit maximal occupé par un cours d'eau, dans lequel l'écoulement ne s'effectue que temporairement, lors du débordement des eaux hors du lit mineur » (OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU, 2018).

Lit mineur : « partie du lit comprise entre des berges bien marquées dans laquelle l'intégralité de l'écoulement s'effectue la quasi-totalité du temps, en-dehors des périodes de très hautes-eaux et de crues débordantes » (OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU, 2018)

Masse d'eau : « partie distincte et significative des eaux de surface » (OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU, 2018). Adopté essentiellement en fonction de « la taille du cours d'eau et [de] la notion d'hydro-écorégion », ce référentiel unitaire sert « de base à la définition de la notion de bon état » (OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU, 2018).

Matelas alluvial : « couche de matériaux grossiers en fond de lit mineur » (OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU, 2018).

Module : « débit moyen interannuel calculé sur l'année hydrologique, en un point d'un cours d'eau. Il est évalué par la moyenne des débits moyens annuels sur une période d'observations suffisamment longue pour être représentative des débits mesurés ou reconstitués » (CHAUSSIS et SUADEAU, 2012).

Mouille de concavité : « zone de faible vitesse et de profondeur importante, située dans la partie concave des méandres » (MALAVOI et BRAVARD, 2010).

Nappe d'accompagnement : « nappe d'eau souterraine voisine d'un cours d'eau dont les propriétés hydrauliques sont très liées à celle du cours d'eau » (OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU, 2018).

Ouvrages transversaux : barrages ou seuils.

Pente d'équilibre : « profil en long que devrait avoir le cours d'eau entre un point amont et un point aval, en l'absence d'altération d'origine anthropique » (GAHON, 2018).

Piézométrie : « mesure de profondeur de la surface de la nappe d'eau souterraine » (SIGES CENTRE-VAL DE LOIRE, 2022).

Plat courant : « zone à vitesse de courant élevée, de pente faible et de profondeur moyenne » (MALAVOI et BRAVARD, 2010).

Plat lentique : « zone à vitesse et profondeur faible, souvent situé en amont d'un obstacle ou d'un radier » (MALAVOI et BRAVARD, 2010).

Profil d'équilibre : « profil en long du cours d'eau lorsqu'il se situe dans une situation d'équilibre dynamique, c'est-à-dire que les processus d'érosion et de dépôts se compensent » (MALAVOI et BRAVARD, 2010).

Puissance (Ω): Poids volumique de l'eau γ * débit Q * pente J (TERRIER, 2020).

Puissance spécifique (ω) : Puissance brute Ω (W/m) / largeur du lit l (m) (TERRIER, 2020). Elle s'exprime en W/m² et représente la « puissance rapportée à la largeur du cours d'eau, variant selon les conditions hydrologiques et la morphologie du cours d'eau » (MALAVOI et BRAVARD, 2010).

QmJ : Débit moyen journalier

QmM : Débit moyen mensuel

Q₂ : débit de crue biennale

Q₁₀ : débit de crue décennale

Radier : « zone de forte vitesse et faible profondeur correspondant à une rupture de pente avec les autres faciès » (MALAVOI et BRAVARD, 2010).

Ripisylve : « boisement de bord de cours d'eau » (CHAUSSIS et SUADEAU, 2012).

Segment : portion cours d'eau plus petite qu'un tronçon (une centaine de fois la largeur du lit L contre plusieurs centaines de fois), surtout basée sur la morphologie à l'échelle fine. Au final, plusieurs segments forment un tronçon.

Sinuosité : « indice résultant de la quantité de méandres que présente le cours d'eau. Il se calcule par le rapport de la longueur totale du cours d'eau entre 2 points sur la distance à vol d'oiseau séparant les deux points » (CHAUSSIS et SUADEAU, 2012).

Sur-largeur : création d'un lit mineur beaucoup plus large que la section d'écoulement.

Talweg : « Ligne de fond de vallée. Dans une vallée drainée, le talweg est le lit du cours d'eau » (OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU, 2018).

Tête de bassin : « territoire le plus en amont de la surface d'un bassin versant [...], avec une zone drainée par les petits cours d'eau proches des sources » (OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU, 2018).

Tronçon : portion de cours d'eau dont la morphologie est plutôt « homogène ». Cette homogénéité doit aussi se traduire au travers du contexte autour des cours d'eau avec l'occupation des sols et des usages. La fin d'un tronçon signifie que l'on observe un changement fort dans les caractéristiques du

cours d'eau que ce soit avec l'arrivée d'un affluent ou du passage des champs à la ville par exemple. Il se distingue des segments.

Zone cyprinicolle : Eaux favorables aux cyprinidés comme les brochets, les perches, les anguilles et d'autres poissons blancs.

Zone humide : « *Zone où l'eau, douce, salée ou saumâtre, est le principal facteur qui contrôle le milieu naturel et la vie animale et végétale associée. Les zones humides sont alimentées par le débit du cours d'eau et/ou par les remontées de nappes phréatiques et sont façonnées par l'alternance de hautes eaux et basses eaux. Il s'agit par exemple des ruisseaux, des tourbières, des étangs, des mares, des berges, des prairies inondables...* » (OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU, 2018)

Zone hyporhéique : « *Ensemble des sédiments saturés en eau, situés au-dessus et à côté d'une rivière et contenant une certaine proportion d'eau de surface* » (WHITE, 1993).

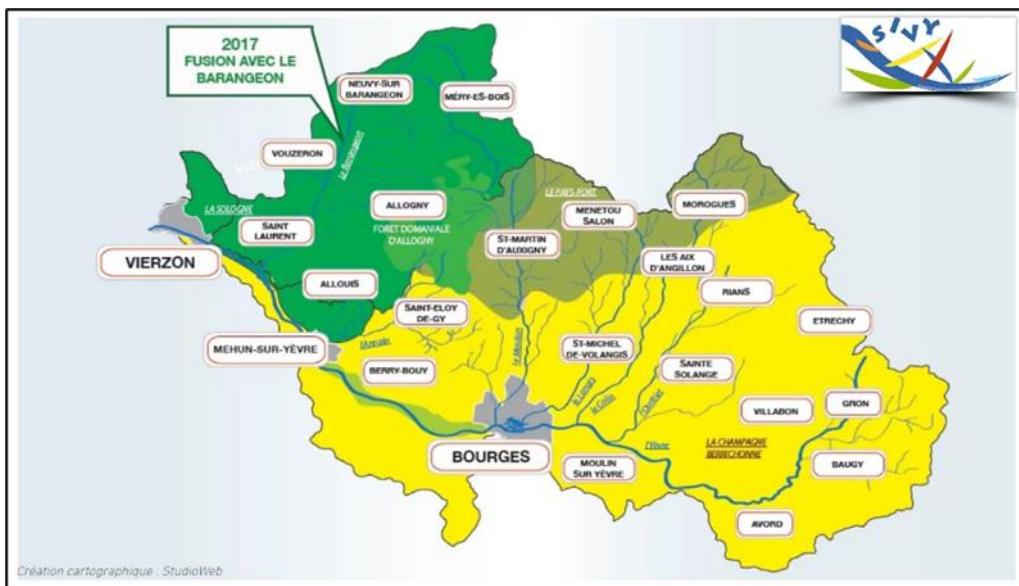
Annexes

Annexe 1 : Délimitation du territoire du SIVY avec ses principales communes	87
Annexe 2 : Frise chronologique récapitulant l'évolution de la réglementation française et européenne.....	87
Annexe 3 : Clé de détermination simplifiée des faciès d'écoulement	88
Annexe 4 : Processus de formation naturelle d'une banquette végétale dans un cours d'eau	89
Annexe 5 : Explication sur l'ordre de Strahler	90
Annexe 6 : Ordre de Strahler théorique.....	90
Annexe 7 : Ordre de Strahler sur le secteur d'étude	90
Annexe 8 : La zonation piscicole selon Huet (1934)	91
Annexe 9 : Les différentes interventions de chenalisation et leurs conséquences sur le milieu	92
Annexe 10 : Les différents types d'altérations liées aux interventions anthropiques dans le bassin versant	93
Annexe 11 : Localisation de la Champagne berrichonne	93
Annexe 12 : Relief de la Champagne berrichonne	93
Annexe 13 : Fonctions de la ripisylve	94
Annexe 14 : Différentes approches autour de la restauration par les acteurs de la gestion de l'eau en France en 2011	95
Annexe 15 : Classification des techniques de restauration en fonction de l'approche adoptée et nombre d'actions réalisées sur la période 1985-2009	96
Annexe 16 : Etat écologique des douze masses d'eau du SIVY.....	97
Annexe 17 : Carte géologique schématique de la région Centre-Val de Loire	98
Annexe 18 : Nappe libre des Calcaires et marnes du Jurassique supérieur du bassin versant de Yèvre/Auron (en violet)	99
Annexe 19 : Nappes captives des calcaires et marnes captifs du Dogger au Sud du Berry (en violet)	99
Annexe 20 : Cours d'eau principaux de Baugy	100
Annexe 21 : Frise chronologique du déroulement de l'étude	101
Annexe 22 : Localisation des segments étudiés	102
Annexe 23 : Fiche de diagnostic hydromorphologique par tronçon ou segment	103
Annexe 24 : Localisation des points de mesure de débit.....	106
Annexe 25 : Localisation des thermomètres placés dans la zone d'étude	106
Annexe 26 : Localisation des stations de pêche électrique du 16 mai 2022	107
Annexe 27 : Localisation de la station hydrométrique de Savigny-en-Septaine	107
Annexe 28 : Hydrogramme en 2021 à la station de Savigny-en-Septaine	108
Annexe 29 : Types d'écoulements observés sur l'Yèvre à Avord et sur le ruisseau de Gron à Baugy de 2012 à 2021	109
Annexe 30 : Relief à 1 m de la zone d'étude	110
Annexe 31 : Contexte géologique de la zone d'étude.....	110
Annexe 32 : Localisation de la station piézométrique de la Grande Faye par rapport au secteur d'étude.....	111
Annexe 33 : Cotes piézométriques journalières entre 1993 et 2022 à la station de la Grande Faye	111

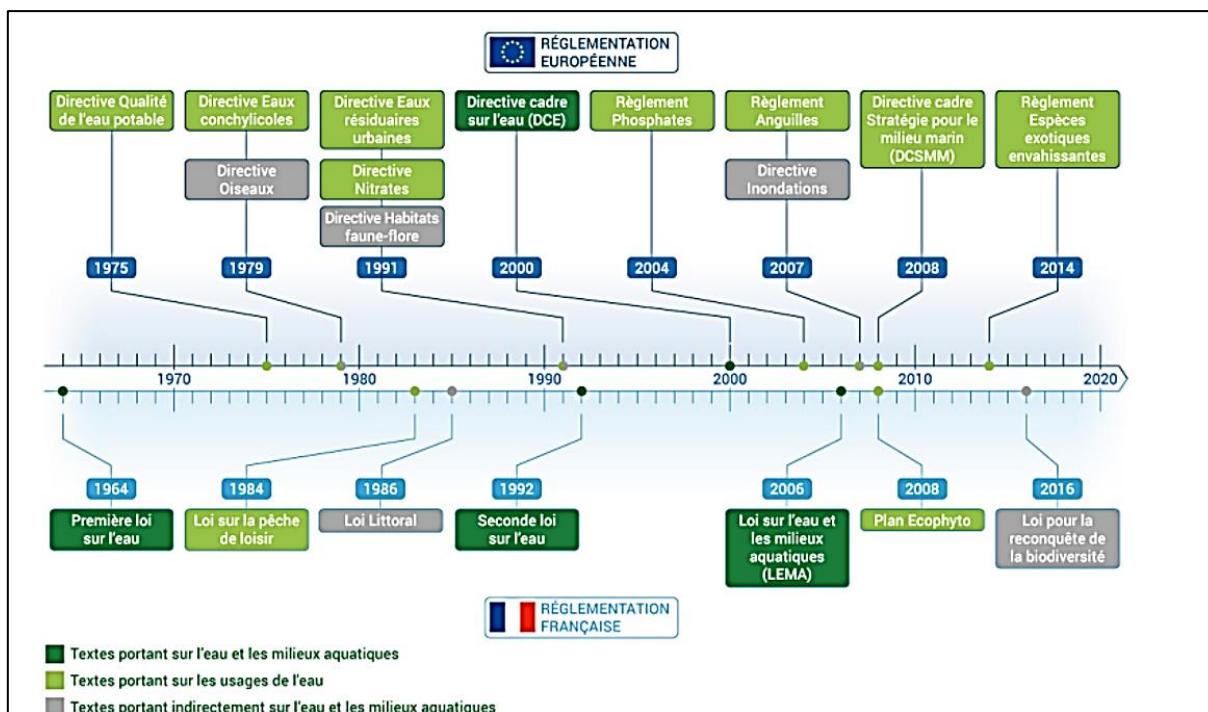
MEMOIRE M2 - LA RESTAURATION DE COURS D'EAU DÉGRADÉS EN TÊTE DE BASSIN AU CŒUR DE LA CHAMPAGNE BERRICHONNE

Annexe 34 : Cotes moyennes et extrêmes mensuelles de la nappe à la station de la Grande Faye - Villequier	111
Annexe 35 : Evolution du tracé de la Bondonne et du Tribaut dans le secteur d'étude entre 1826 et 2022	112
Annexe 36 : Synthèse diachronique du tracé de la Bondonne et du Tribaut dans le bourg de Baugy entre 1826 et 2022	112
Annexe 37 : Profil en long du Tribaut jusqu'à la jonction avec la Bondonne Sud	113
Annexe 38 : Profil en long de la Bondonne Nord et du Tribaut jusqu'à la jonction avec la Bondonne Sud.....	114
Annexe 39 : Profil en long de la Bondonne Sud jusqu'à la jonction avec le Tribaut	115
Annexe 40 : Etat précaire de l'ouvrage Nord-Est	116
Annexe 41 : Occupation du sol dans le secteur d'étude en 2016.....	116
Annexe 42 : Prévisions d'évolution de l'évapotranspiration (ETP) et du cumul de pluie annuelle sur deux stations de référence du bassin de l'Yèvre (à l'horizon 2046-2065).....	117
Annexe 43 : Part du suivi dans les actions de restauration en France (sur 480 actions recensées)	117

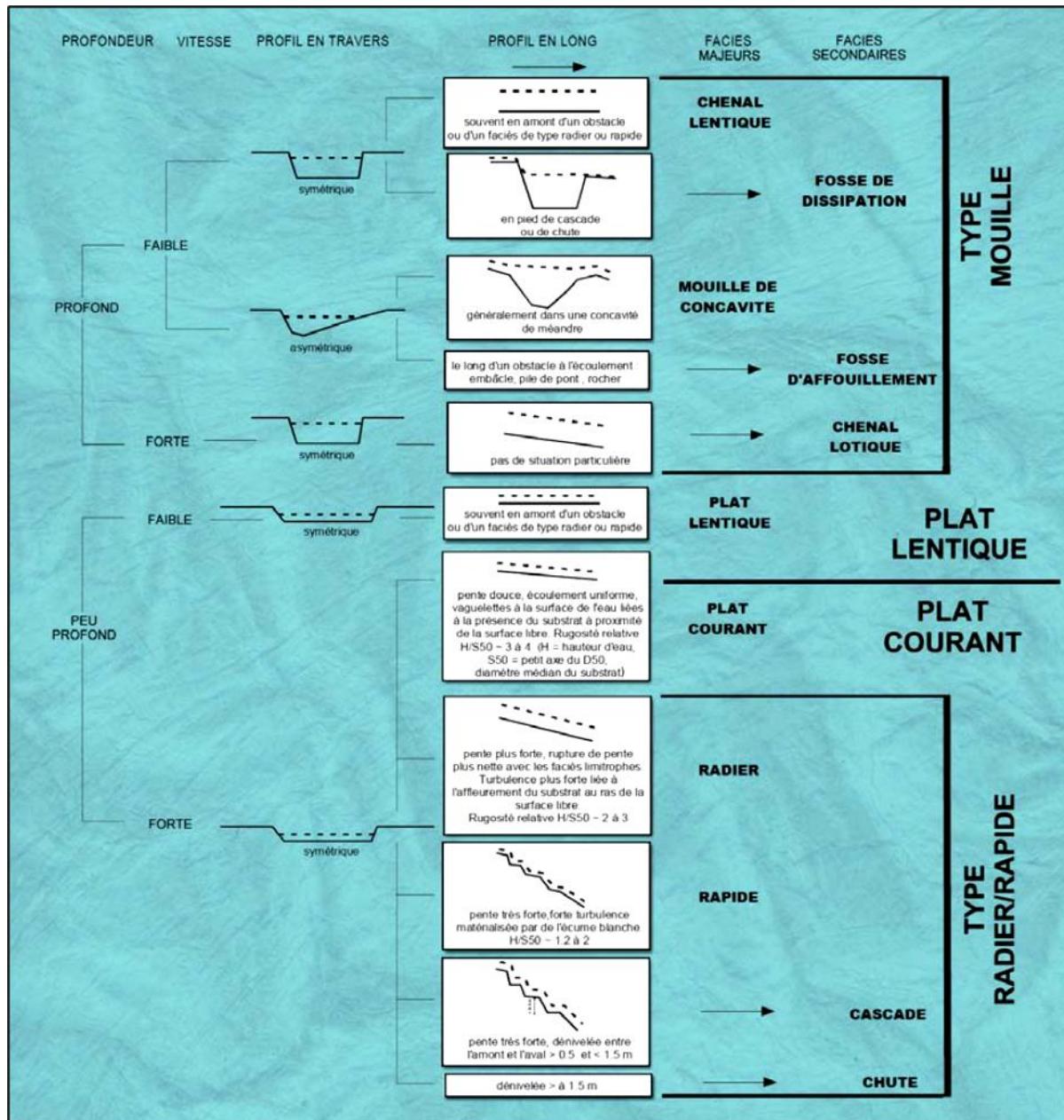
*Annexe 1 : Délimitation du territoire du SIVY avec ses principales communes
(Source : SIVY, 2022)*



*Annexe 2 : Frise chronologique récapitulant l'évolution de la réglementation française et européenne
(Source : OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU, 2022)*



Annexe 3 : Clé de détermination simplifiée des faciès d'écoulement
 (Source : MALAVOI et SOUCHON, 2002)



Annexe 4 : Processus de formation naturelle d'une banquette végétale dans un cours d'eau
(Source : GAHON, 2018)



Annexe 5 : Explication sur l'ordre de Strahler

(Source : CHARONNAT, 2022)

Parmi les ordres les plus utilisés en hydrologie, on retrouve celui de Strahler qui est la classification la plus simple : de la source du cours d'eau à la première confluence, l'ordre est de 1 et deux branches de cours d'eau d'ordre équivalent donnent un ordre +1 (90Annexe 6). Par exemple, deux branches d'ordre 2 donnent $2+1=3$, comme c'est le cas sur le secteur d'étude (Annexe 7). Cet outil permet de donner une idée de l'organisation du cours d'eau et de sa densité d'affluents rencontrés. Par convention, on admet que des cours d'eau sont en tête de bassin dès que leur ordre est inférieur ou égal à 2. Or en arrivant sur le secteur d'étude, le Tribaut et la Bondonne ont des ordres de Strahler de 2. Puis leur jonction donne un cours d'eau de l'ordre de 3 (Annexe 7).

Annexe 6 : Ordre de Strahler théorique

(Source : ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2009)



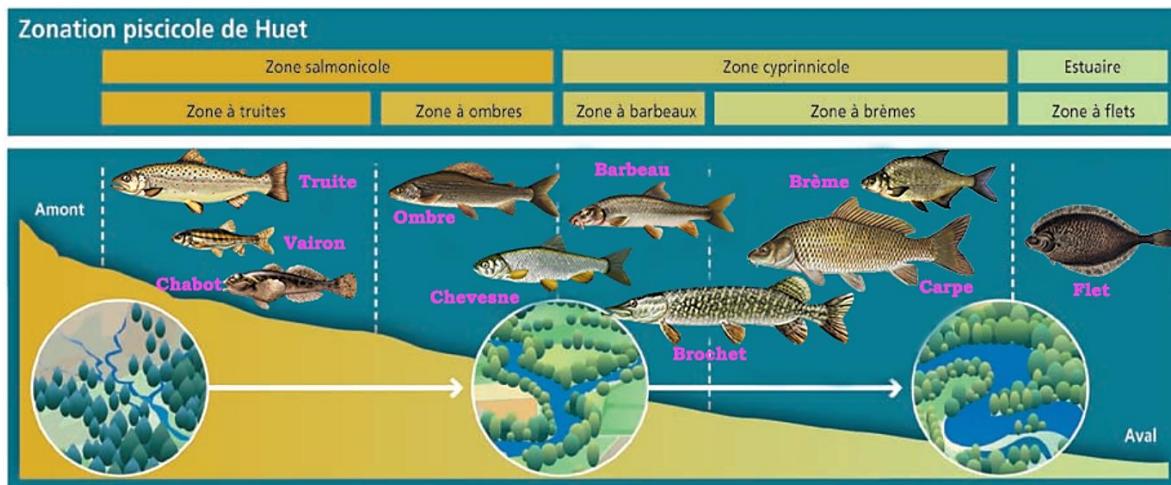
Annexe 7 : Ordre de Strahler sur le secteur d'étude

(Source : CHARONNAT, 2022)



Annexe 8 : La zonation piscicole selon Huet (1934)

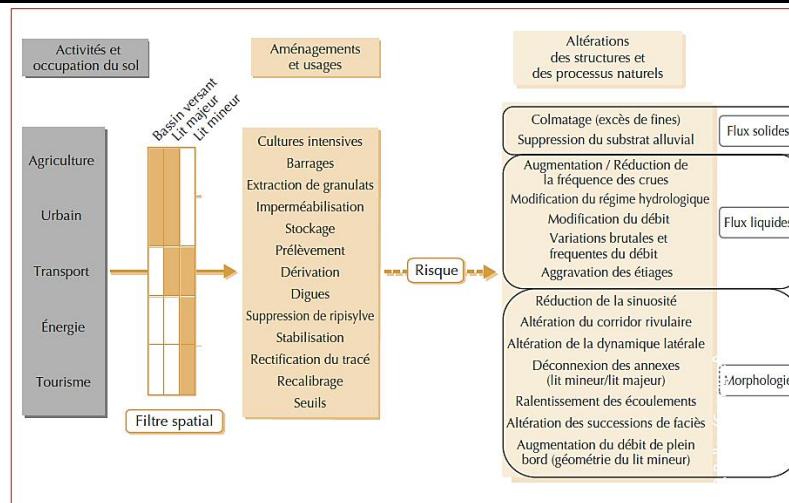
(Source : CHAUSSIS et SUADEAU, 2012)



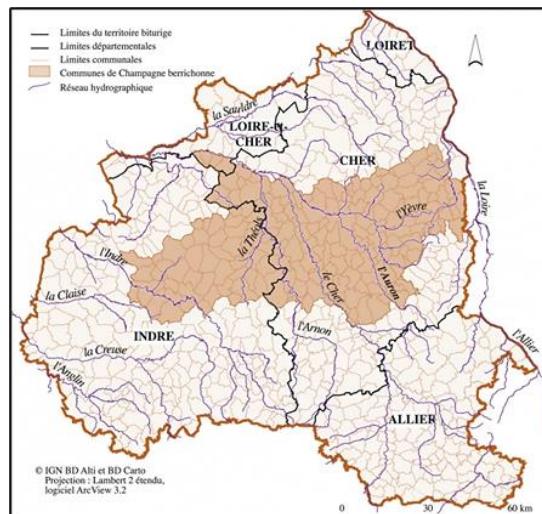
Annexe 9 : Les différentes interventions de chenalisation et leurs conséquences sur le milieu
 (Source : CHARONNAT, 2022)

Opération de chenalisation	Description	Impact sur la qualité hydromorphologique et écologique
Recalibrage	<p>« <i>Elargissement et approfondissement du cours d'eau</i> » (CHAUSSIS et SUADEAU, 2012) afin « <i>d'augmenter la capacité hydraulique du tronçon</i> » (OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU, 2018)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Incision du fond de lit favorisant la déconnexion entre le lit mineur et la plaine alluviale ; - Diminution de la diversité des habitats en homogénéisant les faciès d'écoulement, la granulométrie et les berges ; - Perte de capacité auto-épuratoire de l'eau par un manque d'oxygénation (moins de brassage et accentuation de plats lenticques), ce qui peut favoriser le phénomène d'eutrophisation ; - Augmentation du risque d'inondation à l'aval ; - Diminution de la pente et de la capacité d'ajustement du cours d'eau. <p>(CHAUSSIS et SUADEAU, 2012 ; MALAVOI et BRAVARD, 2010).</p>
Rectification (souvent associée au recalibrage)	<p>« <i>Suppr[ession] des méandres du cours d'eau, de manière à obtenir un tracé rectiligne</i> » (CHAUSSIS et SUADEAU, 2012)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Incision du lit par une amplification de l'érosion latérale ; - Diminution des micro-habitats liés au processus d'érosion/dépôt des berges ; - Perte de substrats et de matelas alluvial. <p>(CHAUSSIS et SUADEAU, 2012)</p>
Déplacement de cours d'eau	<p>Déviation du lit mineur de son tracé d'origine situé en fond de vallée</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Perturbation de la continuité écologique ; - Perte de connexion avec la nappe souterraine, moins de soutien à l'étiage et problème d'inondation ; - Homogénéisation des écoulements et des habitats ; - Perte de capacité auto-épuratoire de l'eau. <p>(TERRIER, 2020)</p>
Curage (souvent associé au recalibrage et à la rectification)	<p>« <i>Retrait de tout ce qui se trouve dans le lit d'un cours d'eau [...] [afin de le] « nettoyer »</i> » (CHAUSSIS et SUADEAU, 2012)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Destruction de micro-habitats (végétaux, matelas alluvial) ; - Homogénéisation et imperméabilisation du fond de lit ; - Incision du fond de lit ; - Création d'un merlon de curage (dépôt de matériaux sur les bords d'un cours d'eau), réhaussant la berge. <p>(CHAUSSIS et SUADEAU, 2012 ; MALAVOI et BRAVARD, 2010)</p>
Protection des berges (endiguement, enrochements...)	<p>Ouvrages latéraux pour consolider les berges face à l'érosion et pour « <i>réduire la fréquence des inondations</i> » (TERRIER, 2020)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Affouillements des berges en aval par l'énergie non dissipée au niveau des protections de berge (point d'érosion déporté) ; - Perturbation du transit sédimentaire avec un déséquilibre érosion/dépôt ; - Disparition de la ripisylve en bord de cours d'eau. <p>(CHAUSSIS et SUADEAU, 2012 ; MALAVOI et BRAVARD, 2010)</p>

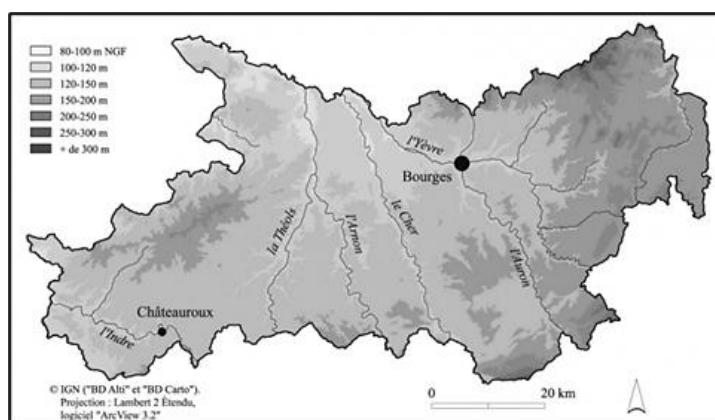
Annexe 10 : Les différents types d'altérations liées aux interventions anthropiques dans le bassin versant
 (Source : CHANDRESIS et SOUCHON, 2008)



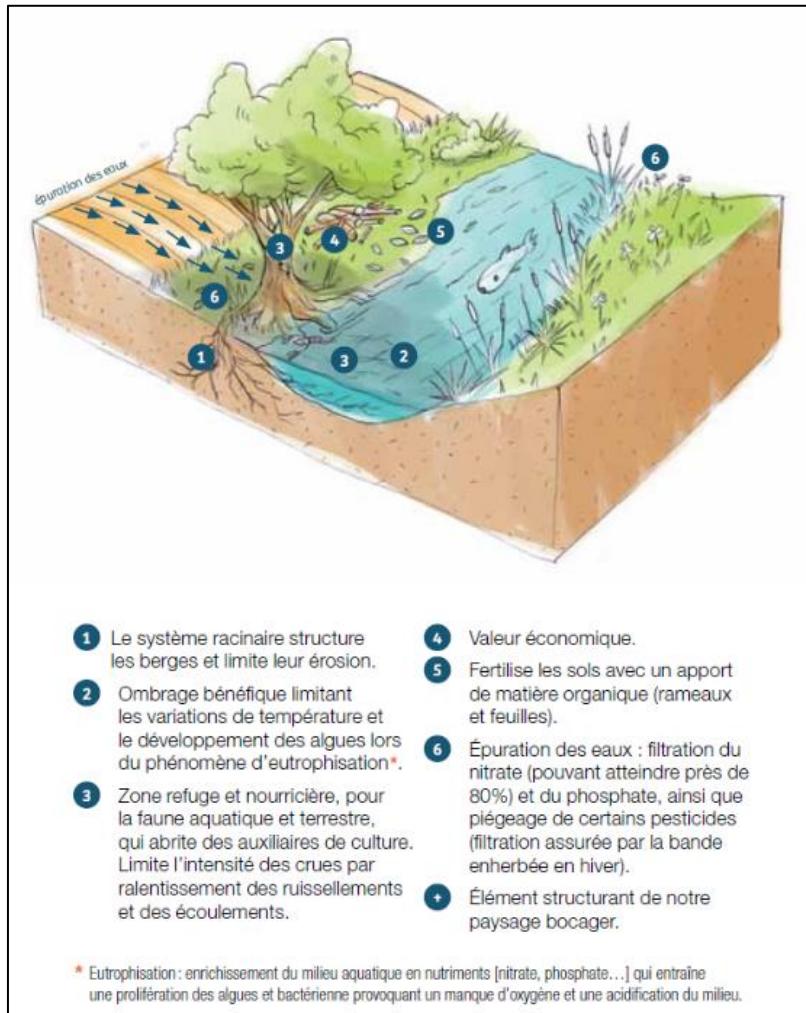
Annexe 11 : Localisation de la Champagne berrichonne
 (Source : MAUSSION, 2004)



Annexe 12 : Relief de la Champagne berrichonne
 (Source : MAUSSION, 2004)

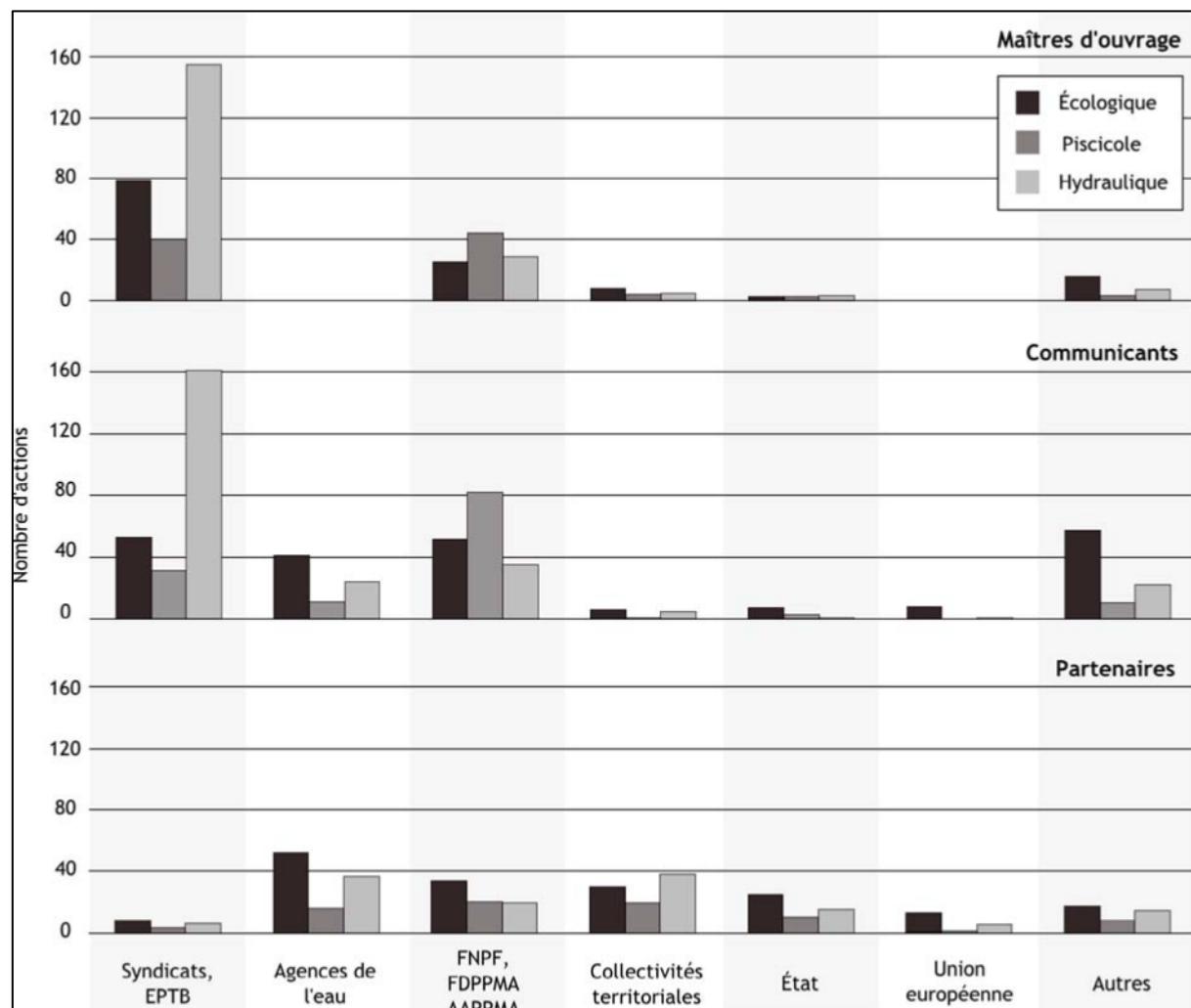


Annexe 13 : Fonctions de la ripisylve
(Source : SYNDICAT MIXTE DU BASSIN DE L'ISLE, n.d.)



Annexe 14 : Différentes approches autour de la restauration par les acteurs de la gestion de l'eau en France en 2011

(Source : MORANDI et PIEGAY, 2011)



Annexe 15 : Classification des techniques de restauration en fonction de l'approche adoptée et nombre d'actions réalisées sur la période 1985-2009
 (Source : MORANDI et PIEGAY, 2011)

Tableau 2. Classification des actions en fonction du type de restauration et des mesures mises en œuvre. Figurent entre crochets les codes utilisés dans les traitements des données.

I. Restauration écologique

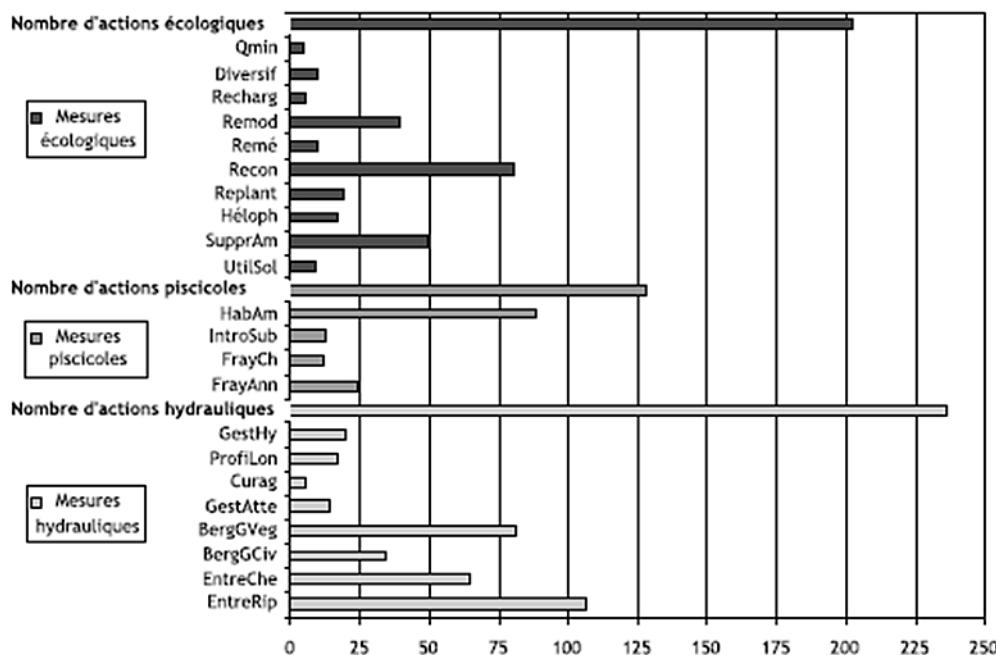
- Relèvement des débits minimums [Qmin]
- Diversification des écoulements [Diversif]
- Recharge sédimentaire / rétablissement de la continuité sédimentaire [Recharg]
- Remodelage du chenal (nouveau lit, lit d'étiage, banquette submersible, sinuosité, terrassements...) [Remod]
- Reméandrage du chenal [Remé]
- Reconnexion / déconnexion / restauration d'annexe hydraulique [Recon]
- Restauration / reconstitution végétale de ripisylve (plantation, bouturage, lutte contre les espèces invasives, déboisement de plantations...) [Replant]
- Restauration végétale du chenal (plantation d'héliophytes, roselières...) [Héloph]
- Suppression / aménagement / non restauration volontaire d'infrastructure (barrage, seuil, digues, palplanches, buses, couverture, plan d'eau...) [SupprAm]
- Utilisation des sols (installation de clôtures, d'abreuvoirs à bétail, suppression de décharges, acquisitions foncières...) [UtilSol]

II. Restauration piscicole

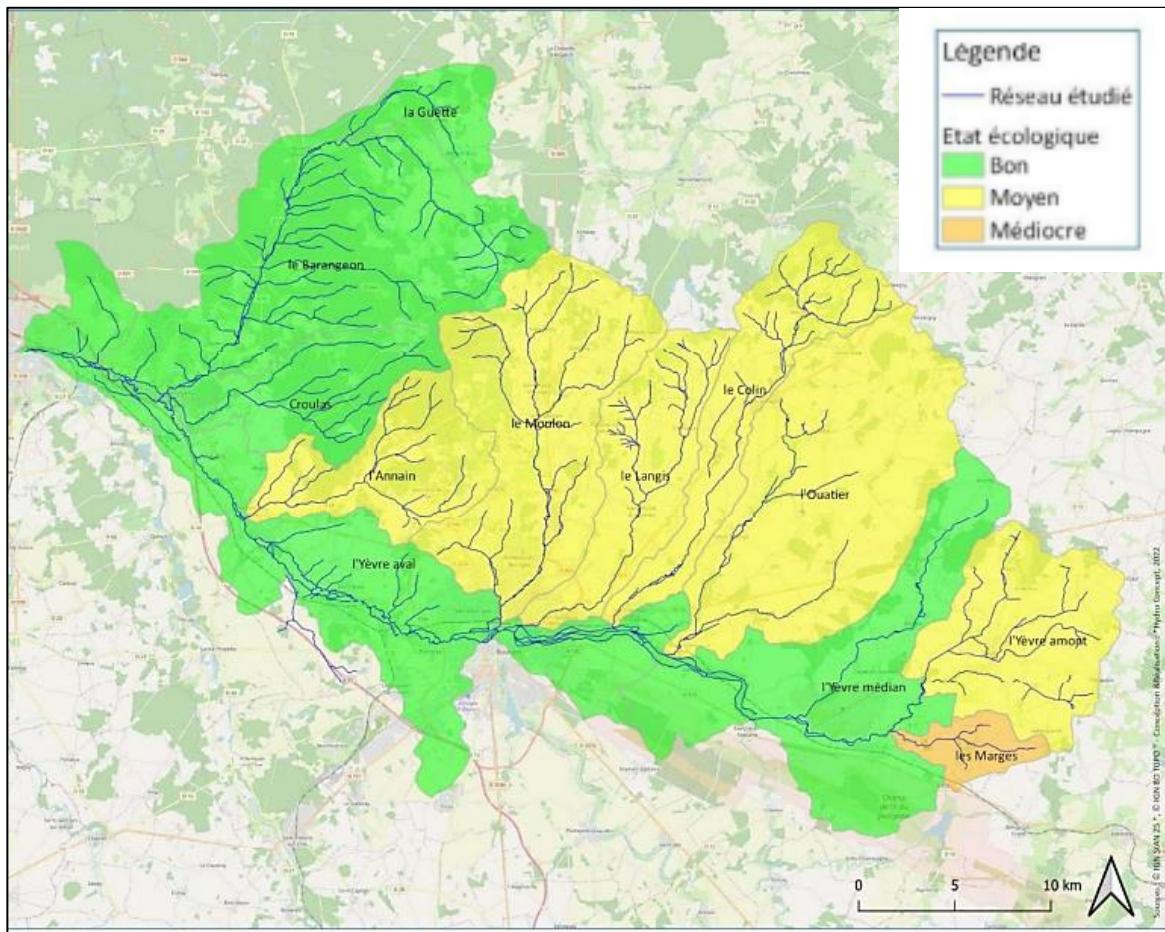
- Restauration / création de frayère annexe [FrayAnn]
- Restauration de l'habitat par construction d'infrastructures (déflecteurs, seuils, caches, blocs, troncs, rondins de bois) [HabAm]
- Restauration de l'habitat par introduction / réintroduction de substrat (sables, graviers) [IntroSub]
- Restauration / création de frayère dans le chenal [FrayCh]

III. Restauration hydraulique

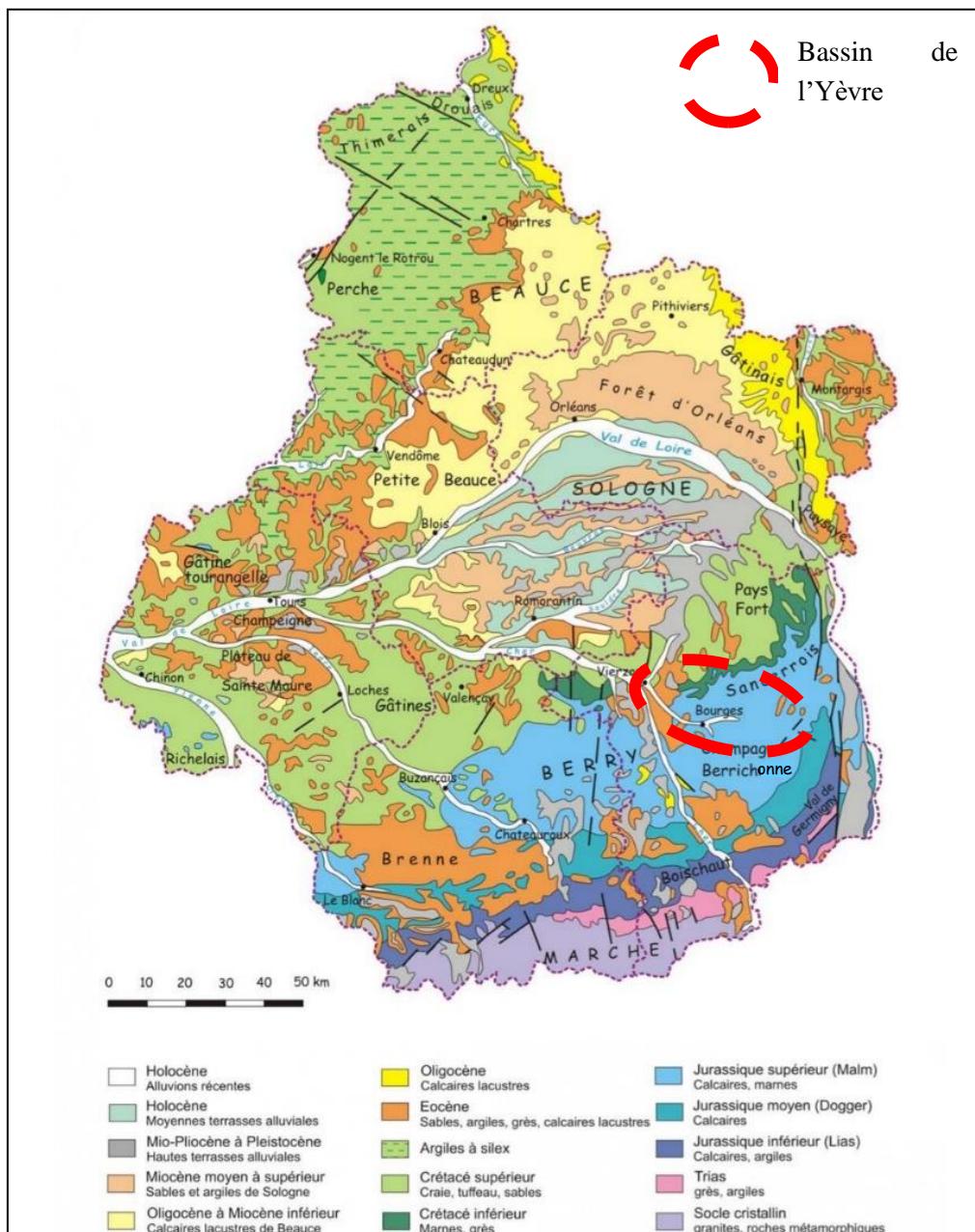
- Gestion hydraulique [GestHy]
- Stabilisation du profil en long par infrastructures (seuils, contre-seuils) [ProfiLon]
- Curage du chenal [Curag]
- Gestion des atterrissements (suppression de la végétation, tranchée...) [GestAtte]
- Protection de berge par génie végétal [BergGVeg]
- Protection de berge en génie civil (mur en pierre sèche, gabion) [BergGCiv]
- Entretien du chenal (suppression d'embâcles) [EntreChe]
- Entretien de la ripisylve (débroussaillage, élagage, coupe sélective) [EntreRip]



Annexe 16 : Etat écologique des douze masses d'eau du SIVY
(Source : HYDRO CONCEPT, 2021)

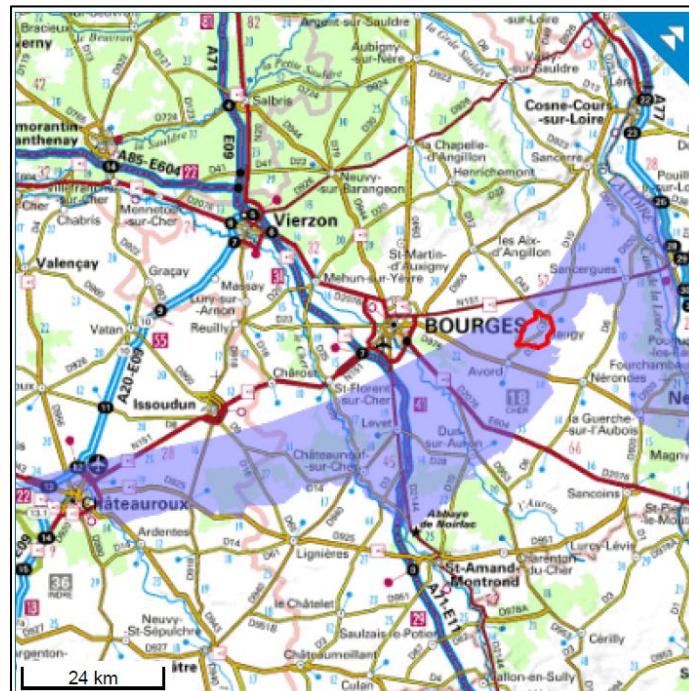


Annexe 17 : Carte géologique schématique de la région Centre-Val de Loire
 (Source : VASLET, 2001 (annoté))



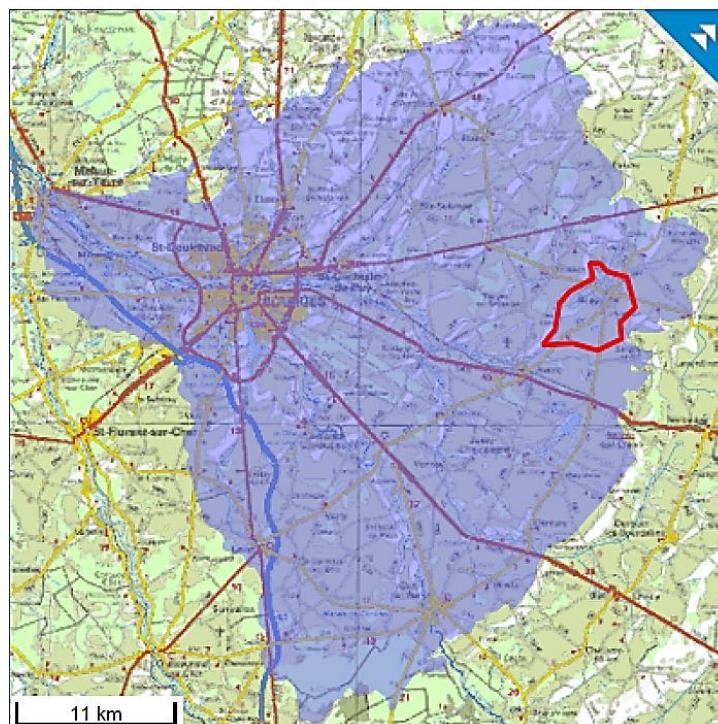
Annexe 18 : Nappe libre des Calcaires et marnes du Jurassique supérieur du bassin versant de Yèvre/Auron (en violet)

(Source : SIGES CENTRE-VAL DE LOIRE, 2022)

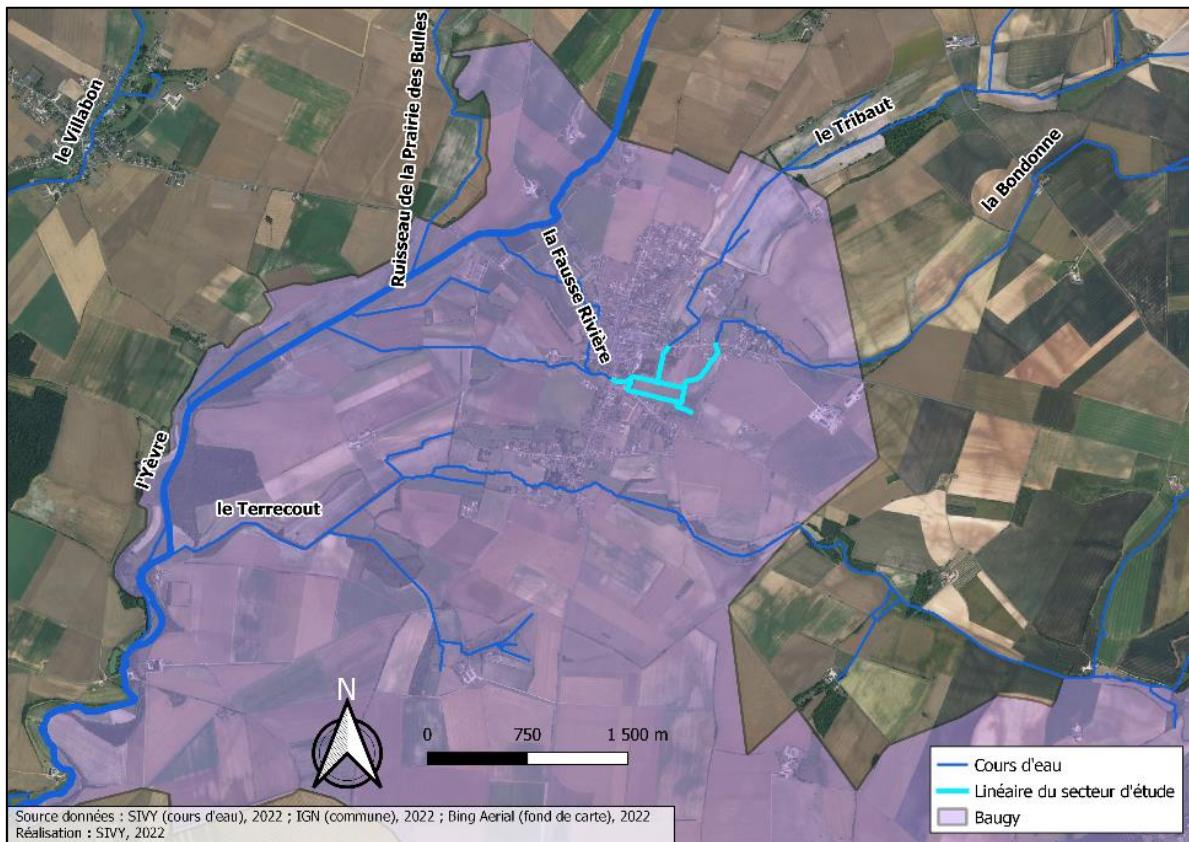


Annexe 19 : Nappes captives des calcaires et marnes captifs du Dogger au Sud du Berry (en violet)

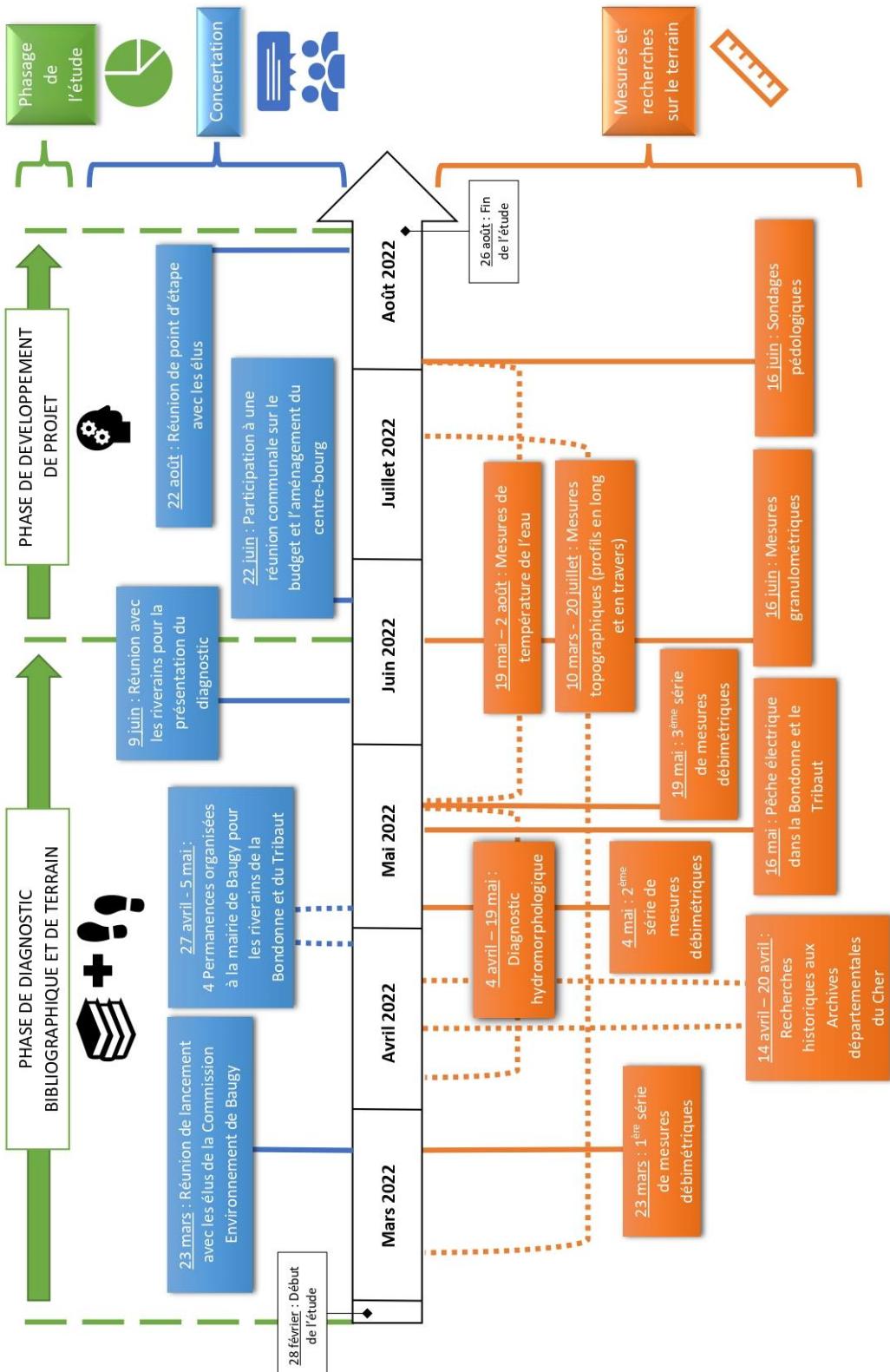
(Source : SIGES CENTRE-VAL DE LOIRE, 2022)



Annexe 20 : Cours d'eau principaux de Baugy
(Source : CHARONNAT, 2022)

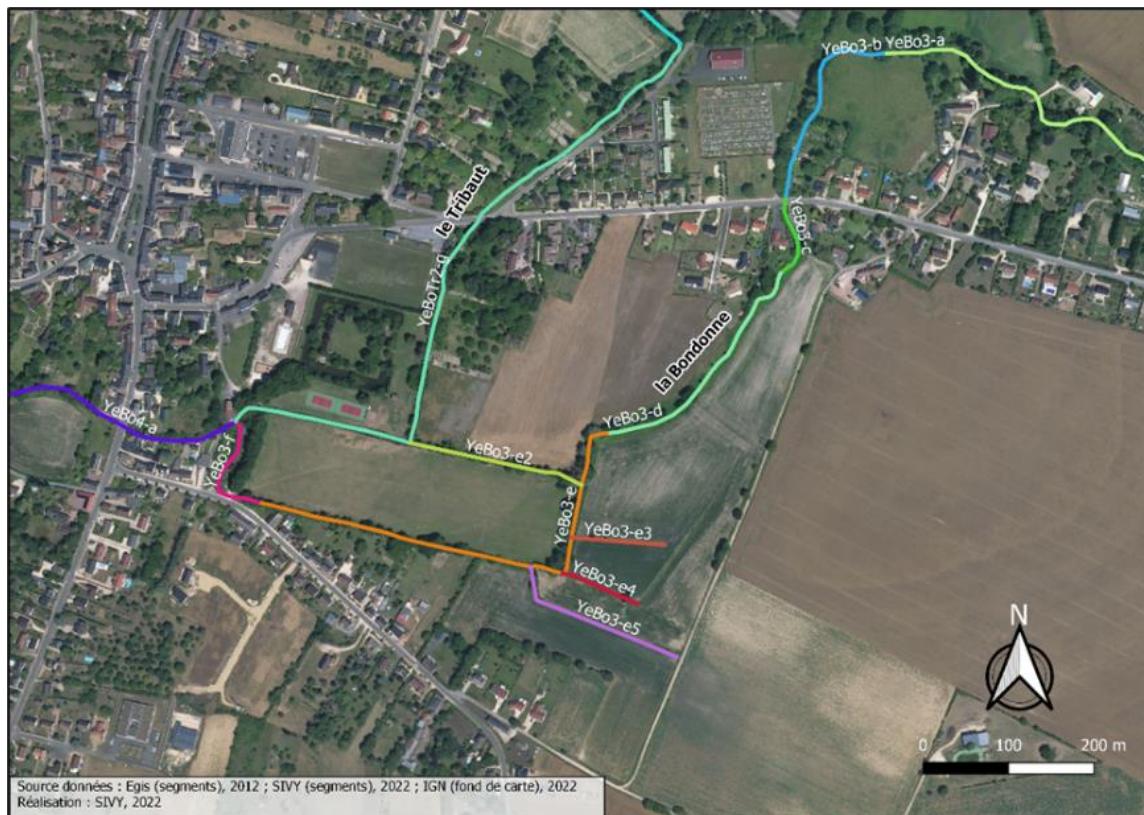


Annexe 21 : Frise chronologique du déroulement de l'étude
 (Source : CHARONNAT, 2022)



Annexe 22 : Localisation des segments étudiés

(Source : CHARONNAT, 2022)



Annexe 23 : Fiche de diagnostic hydromorphologique par tronçon ou segment
(Source : CHARONNAT, 2022)

Description de la station					
Nom du cours d'eau :		Date :	Heure :		
Commune :		Météo :			
Nom/code station :					
Opérateurs :		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>			
Coordonnées amont :		SCR :	Longueur station : m		
Coordonnées aval :					
Hydrologie	<input type="checkbox"/> Assec <input type="checkbox"/> Module	<input type="checkbox"/> Etiage <input type="checkbox"/> Ecoulement interrompu	Pente IGN : Surface BV et méthode acquisition :		
Environnement et usages					
Rive gauche	<input type="checkbox"/> Cultures (type :) <input type="checkbox"/> Elevage (type :)		<input type="checkbox"/> Bois <input type="checkbox"/> Prairies <input type="checkbox"/> Jardins <input type="checkbox"/> Urbanisé		
Rive droite	<input type="checkbox"/> Cultures (type :) <input type="checkbox"/> Elevage (type :)		<input type="checkbox"/> Bois <input type="checkbox"/> Prairies <input type="checkbox"/> Jardins <input type="checkbox"/> Urbanisé		
Prélèvements	Type	Description /remarques/N° photo			
Rejets	Type	Hauteur/lit	Description /remarques/N° photo		
		m			
		m			
		m			
Affluent		Largeur :			
Rives et végétation					
Utilité vis à vis du cours d'eau		<input type="checkbox"/> Ombrage (<input type="checkbox"/> ponctuel)	<input type="checkbox"/> Végétation perchée		
		<input type="checkbox"/> Habitats			
		G D			
Absence			<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
Isolée			<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
Espacee-régulière			<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
Bosquets éparses			<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
Semi-continue			<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
Continue			<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
			<input type="checkbox"/> Naturelle <input type="checkbox"/> Plantée		
			Epaisseur ripisylve ~ m		
Peuplement	Rive droite	<input type="checkbox"/> Feuillus :	<input type="checkbox"/> Résineux :		
	Rive gauche	<input type="checkbox"/> Feuillus :	<input type="checkbox"/> Résineux :		
Bandes enherbées (si milieu agricole)	Rive droite	<input type="checkbox"/> Absence	<input type="checkbox"/> < 5m	<input type="checkbox"/> 5-10m	<input type="checkbox"/> > 10m
	Rive gauche	<input type="checkbox"/> Absence	<input type="checkbox"/> < 5m	<input type="checkbox"/> 5-10m	<input type="checkbox"/> > 10m
Berges					
Composition	<input type="checkbox"/> Limon <input type="checkbox"/> Pierres/galets	<input type="checkbox"/> Argile <input type="checkbox"/> Terre végétale	<input type="checkbox"/> Sable <input type="checkbox"/> Anthropique	Entretien	<input type="checkbox"/> Absence <input type="checkbox"/> Raisonné <input type="checkbox"/> Sur-entretien
Erodabilité	<input type="checkbox"/> Erodable	<input type="checkbox"/> Moyennement érodable	<input type="checkbox"/> Cohésive	Commentaires et remarques	
Etat des berges	<input type="checkbox"/> Incision	<input type="checkbox"/> Equilibre	<input type="checkbox"/> Dépôt		
Expertise quant à l'état des berges					

FICHE TERRAIN - IDENTIFICATION DES TRONÇONS POUR PRIORISATION ETUDE/CHANTIER 2/3

Habitats écologiques

Observations et remarques

Embâcles	<input type="checkbox"/> Présence - <input type="checkbox"/> Dense - <input type="checkbox"/> Ponctuelle - <input type="checkbox"/> Insignifiante	<input type="checkbox"/> Absence	
Végétation aquatique	<input type="checkbox"/> Oui - <input type="checkbox"/> Hélophytes - <input type="checkbox"/> Hydrophytes - <input type="checkbox"/> Amphiphytes	<input type="checkbox"/> Non	
Taux recouvrement du lit par la végétation		%	
Espèce invasive	<input type="checkbox"/> Présence	<input type="checkbox"/> Absence	

Habitats présents	<input type="checkbox"/> Sous-berge <input type="checkbox"/> Blocs rocheux	<input type="checkbox"/> Chevelu racinaire <input type="checkbox"/> Végétations surplombantes	<input type="checkbox"/> Débris ligneux grossiers <input type="checkbox"/> Végétation aquatique
Habitat dominant (1 à 2)	<input type="checkbox"/> Sous-berge <input type="checkbox"/> Blocs rocheux	<input type="checkbox"/> Chevelu racinaire <input type="checkbox"/> Végétations surplombantes	<input type="checkbox"/> Débris ligneux grossiers <input type="checkbox"/> Végétation aquatique
Luminosité/ombre	<input type="checkbox"/> Lumineux	<input type="checkbox"/> Alterné	<input type="checkbox"/> Ombrage

Aménagements sur la rivière

Présence d'ouvrages ?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	 Chaque ouvrage devra faire l'objet d'un schéma technique → «Fiche Schéma Ouvrage»
Ouvrages	N°	Type	Hauteur/lit
			m
			m

Recalibrage et curage	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	Observations
Merlon curage	<input type="checkbox"/> Présence	<input type="checkbox"/> Absence	
Déplacement du cours d'eau	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	

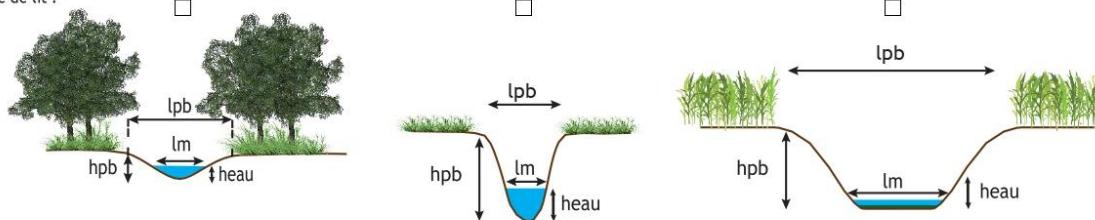
Si présence d'un merlon de curage
→ Sondage tarière

Les matériaux sont-ils constitutifs de l'ancien lit (avant curage) ? Oui Non

 Si oui, déterminer la granulométrie selon la méthode de Wolman → Fiche Wolman Terrain

Géométrie du lit

Type de lit :

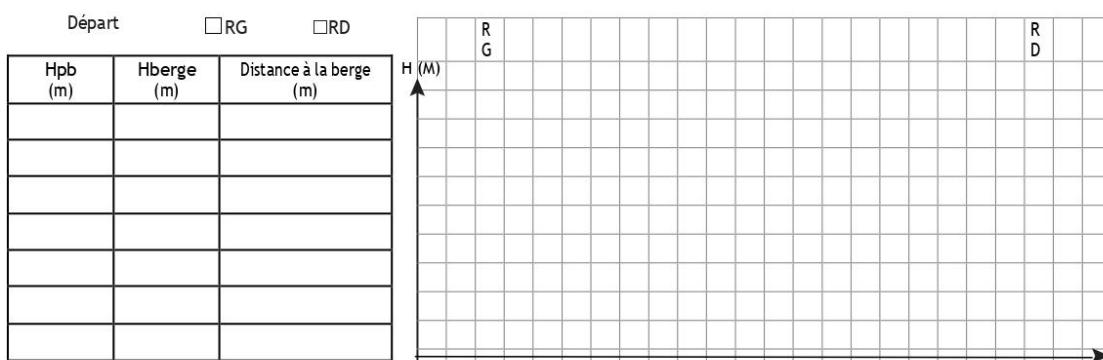


Radier ?	Largeur mouillée (lm)	Largeur plein bord (lpb)	Hauteur plein bord(hpb)	Hauteur d'eau (heau)
<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	m	m	m	m
<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	m	m	m	m
<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	m	m	m	m

FICHE TERRAIN - IDENTIFICATION DES TRONÇONS POUR PRIORISATION ETUDE/CHANTIER 3/3

Géométrie du lit (suite)

→ Réaliser un transect perpendiculaire à l'écoulement (Radier ou plat à défaut)



Sédiments constitutifs du lit

Matelas alluvial	Radier		Fosse		Epaisseur cm
	<input type="checkbox"/> Présence	<input type="checkbox"/> Absence	<input type="checkbox"/> Présence	<input type="checkbox"/> Absence	
Colmatage (Zone de radier)	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	Classe(s) granulométrique(s) présente(s)		Classe granulométrique dominante
Présence de vase	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Limon <input type="checkbox"/> Argile <input type="checkbox"/> Sable <input type="checkbox"/> Graviers <input type="checkbox"/> Blocs <input type="checkbox"/> F. Héritée		<input type="checkbox"/> Limon <input type="checkbox"/> Argile <input type="checkbox"/> Sable <input type="checkbox"/> Graviers <input type="checkbox"/> Blocs <input type="checkbox"/> F. Héritée
Hmoy vase	m		Diversité granulométrique	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Ponctuellement	

Observations - Remarques (type de sur-largeurs/hypothèses sur l'origine/etc.)

Présence de sur - largeurs	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
----------------------------	---	--

Ecoulements et faciès

Faciès d'écoulement présents	<input type="checkbox"/> Mouille de concavité <input type="checkbox"/> Plat lenticulaire	<input type="checkbox"/> Fosse <input type="checkbox"/> Plat courant	<input type="checkbox"/> Fosse de dissipation <input type="checkbox"/> Radier
Faciès d'écoulement dominant (1 à 2)	<input type="checkbox"/> Mouille de concavité <input type="checkbox"/> Plat lenticulaire	<input type="checkbox"/> Fosse <input type="checkbox"/> Plat courant	<input type="checkbox"/> Fosse de dissipation <input type="checkbox"/> Radier

Pourcentage radier	<input type="checkbox"/> 0 %	<input type="checkbox"/> <10 %	<input type="checkbox"/> 10 - 30 %	<input type="checkbox"/> > 30 %
--------------------	------------------------------	--------------------------------	------------------------------------	---------------------------------

⚠ Si le pourcentage estimé se situe entre 10 - 30%, il est nécessaire de mesurer les longueurs de radier et de plat/mouille → Fiche Alternances

Diversité des faciès	<input type="checkbox"/> Homogène (absence de diversité)	<input type="checkbox"/> Peu diversifié	<input type="checkbox"/> Diversifié
----------------------	--	---	-------------------------------------

Morphodynamique

Sinuosité	<input type="checkbox"/> < 1,10	<input type="checkbox"/> 1,10 - 1,25	<input type="checkbox"/> > 1,25
	Rive Droite	<input type="checkbox"/> < Q2	<input type="checkbox"/> < Q10
	Rive Gauche	<input type="checkbox"/> < Q2	<input type="checkbox"/> < Q10
	Indices utilisés et commentaires		
Connectivité lit mineur - lit majeur	<input type="checkbox"/> Incision	<input type="checkbox"/> Equilibre	<input type="checkbox"/> Dépôt
Equilibre dynamique global	<input type="checkbox"/> Incision	<input type="checkbox"/> Equilibre	<input type="checkbox"/> Dépôt
			<input type="checkbox"/> En cours d'équilibre

⚠ Si le cours d'eau est considéré comme à l'équilibre, il est nécessaire d'effectuer des mesures complémentaires
→ Fiche mesures complémentaires

Annexe 24 : Localisation des points de mesure de débit

(Source : CHARONNAT, 2022)



Annexe 25 : Localisation des thermomètres placés dans la zone d'étude

(Source : CHARONNAT, 2022)



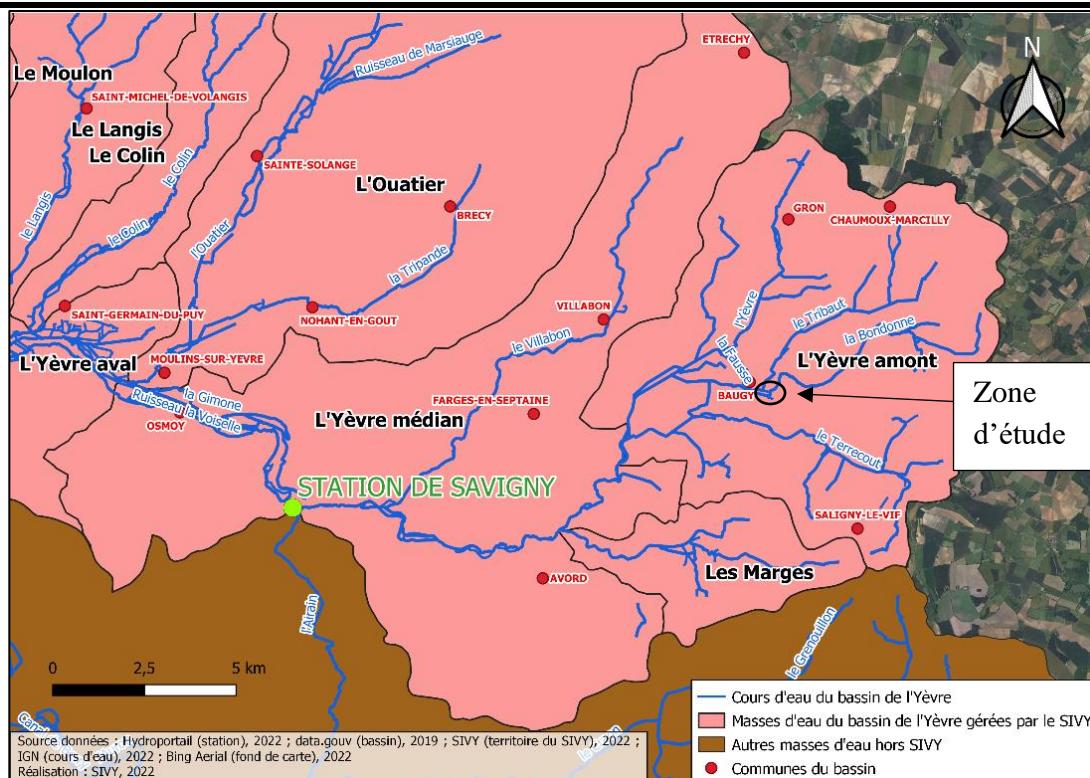
Annexe 26 : Localisation des stations de pêche électrique du 16 mai 2022

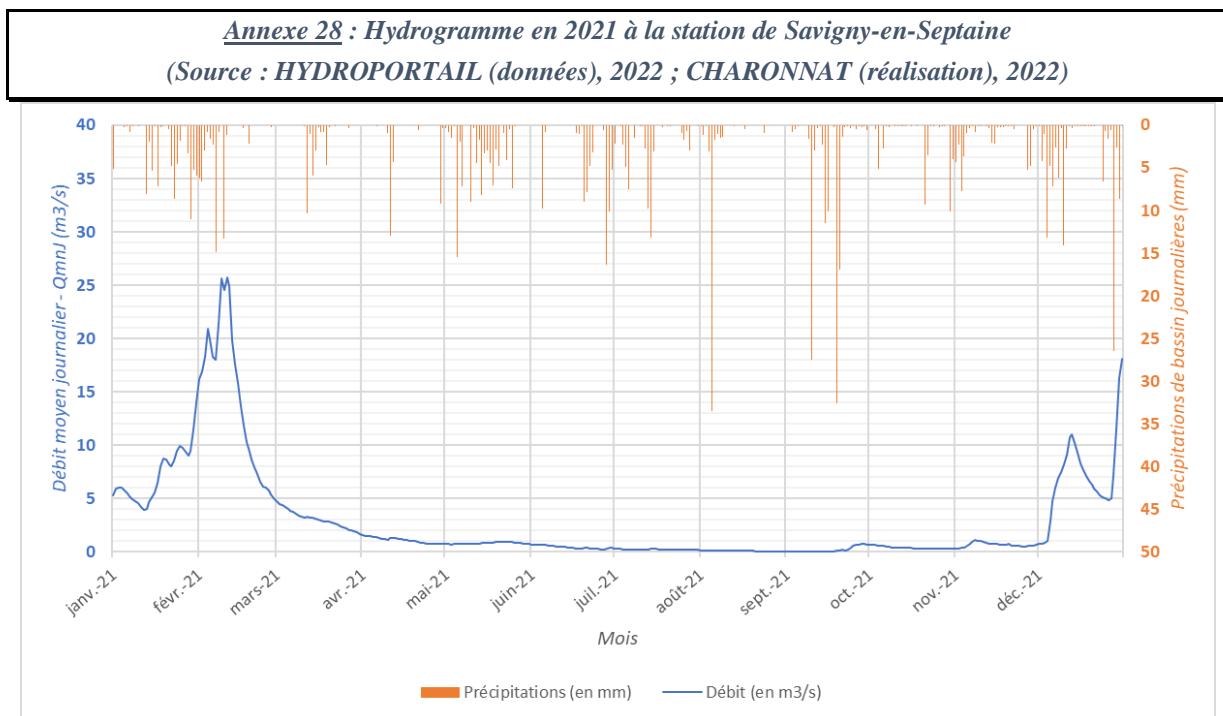
(Source : CHARONNAT, 2022)



Annexe 27 : Localisation de la station hydrométrique de Savigny-en-Septaine

(Source : CHARONNAT, 2022)





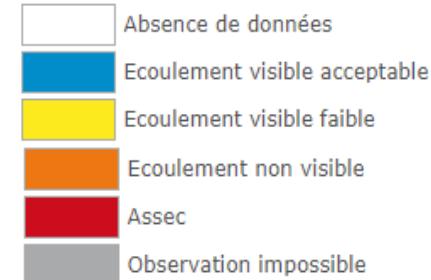
Annexe 29 : Types d'écoulements observés sur l'Yèvre à Avord et sur le ruisseau de Gron à Baugy de 2012 à 2021
 (Source : ONDE, 2022)

Yèvre à Avord

2012	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	aoû	sep	oct	nov	déc
- ► Campagnes complémentaires												
2013	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	aoû	sep	oct	nov	déc
2014	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	aoû	sep	oct	nov	déc
2015	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	aoû	sep	oct	nov	déc
- ► Campagnes complémentaires												
2016	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	aoû	sep	oct	nov	déc
2017	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	aoû	sep	oct	nov	déc
- ► Campagnes complémentaires												
2018	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	aoû	sep	oct	nov	déc
- ► Campagnes complémentaires												
2019	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	aoû	sep	oct	nov	déc
- ► Campagnes complémentaires												
2020	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	aoû	sep	oct	nov	déc
- ► Campagnes complémentaires												
2021	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	aoû	sep	oct	nov	déc
- ► Campagnes complémentaires												

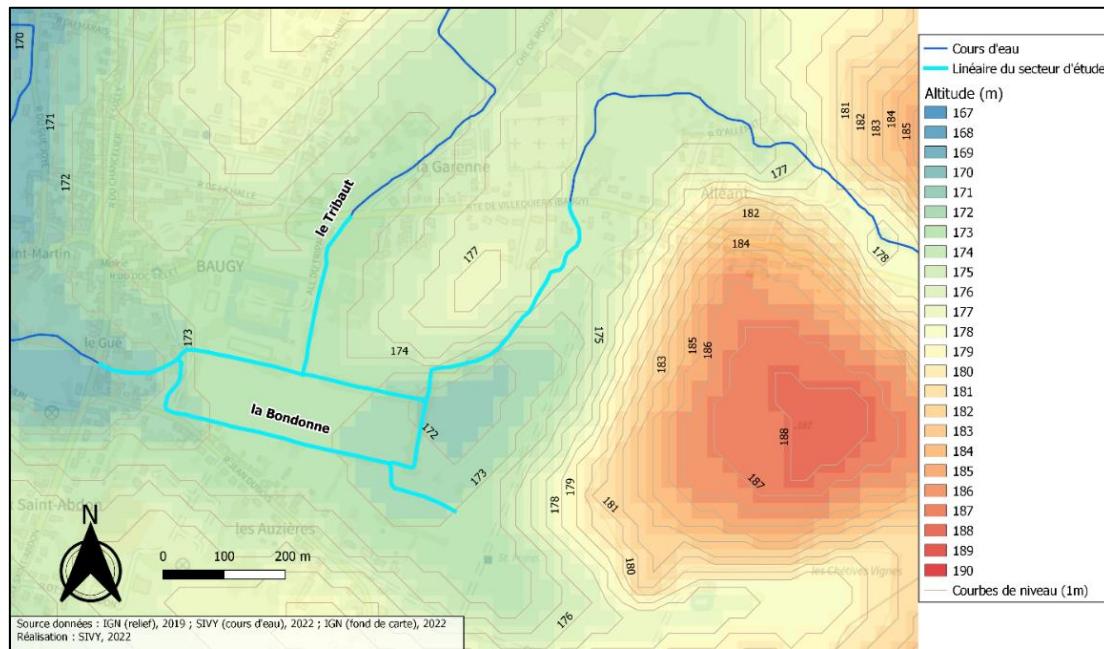
Ruisseau de Gron à Baugy

2012	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	aoû	sep	oct	nov	déc
- ► Campagnes complémentaires												
2013	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	aoû	sep	oct	nov	déc
2014	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	aoû	sep	oct	nov	déc
2015	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	aoû	sep	oct	nov	déc
- ► Campagnes complémentaires												
2016	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	aoû	sep	oct	nov	déc
2017	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	aoû	sep	oct	nov	déc
- ► Campagnes complémentaires												
2018	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	aoû	sep	oct	nov	déc
- ► Campagnes complémentaires												
2019	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	aoû	sep	oct	nov	déc
- ► Campagnes complémentaires												
2020	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	aoû	sep	oct	nov	déc
- ► Campagnes complémentaires												
2021	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	aoû	sep	oct	nov	déc



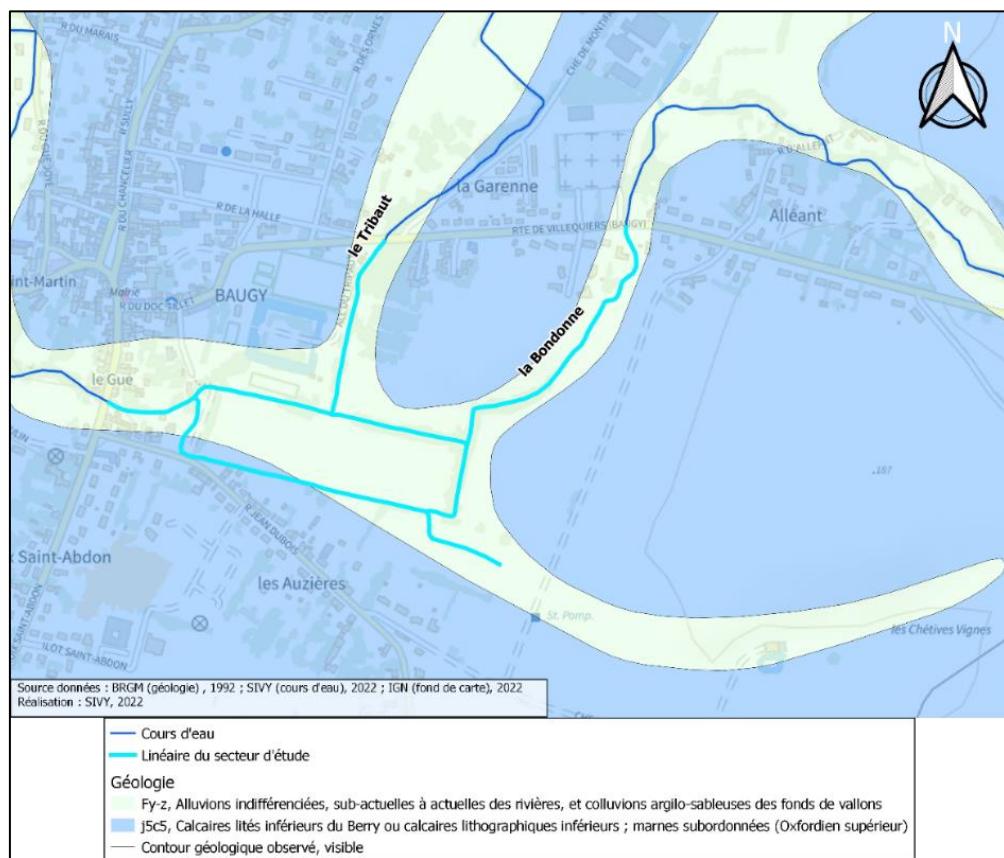
Annexe 30 : Relief à 1 m de la zone d'étude

(Source : CHARONNAT, 2022)

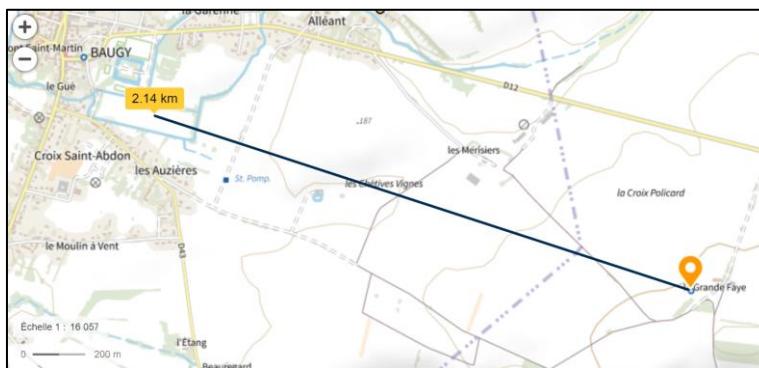


Annexe 31 : Contexte géologique de la zone d'étude

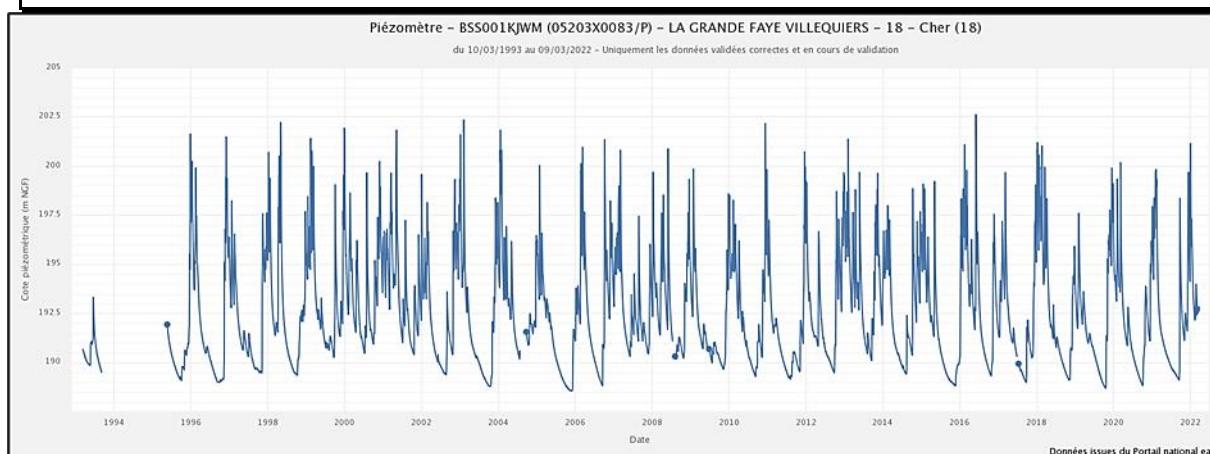
(Source : CHARONNAT, 2022)



Annexe 32 : Localisation de la station piézométrique de la Grande Faye par rapport au secteur d'étude
 (Source : IGN, 2022)



Annexe 33 : Cotes piézométriques journalières entre 1993 et 2022 à la station de la Grande Faye
 (Source : ADES, 2022)



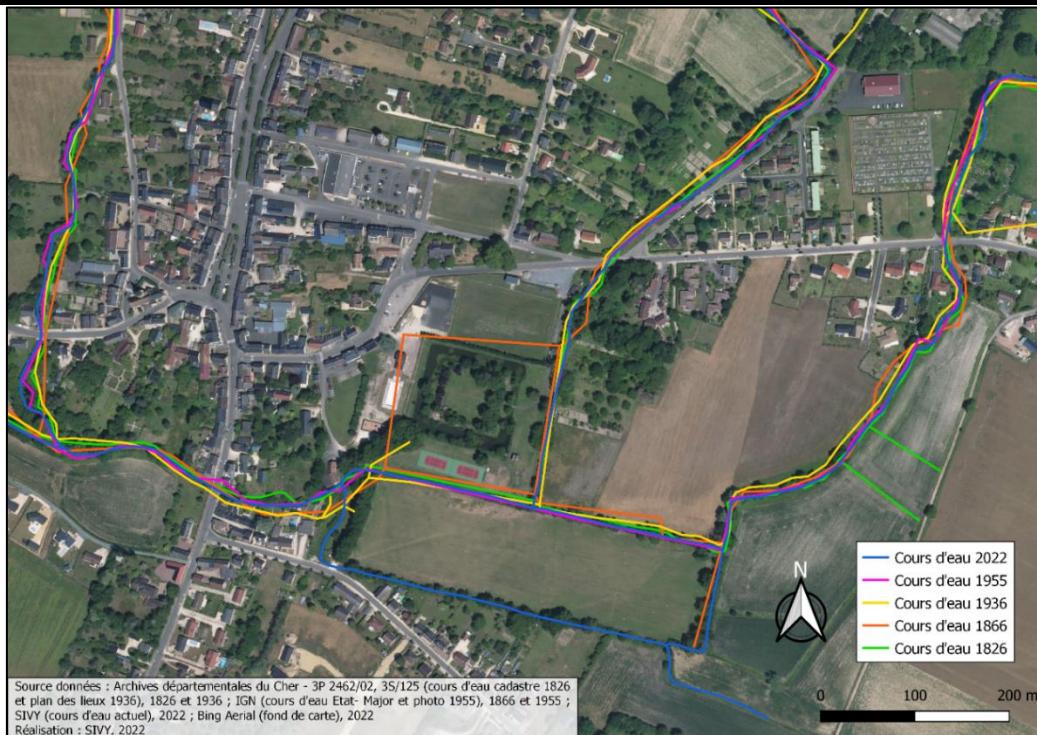
Annexe 34 : Cotes moyennes et extrêmes mensuelles de la nappe à la station de la Grande Faye - Villequier
 (Source : ADES, 2022)



Annexe 35 : Evolution du tracé de la Bondonne et du Tribaut dans le secteur d'étude entre 1826 et 2022
 (Source : CHARONNAT, 2022)

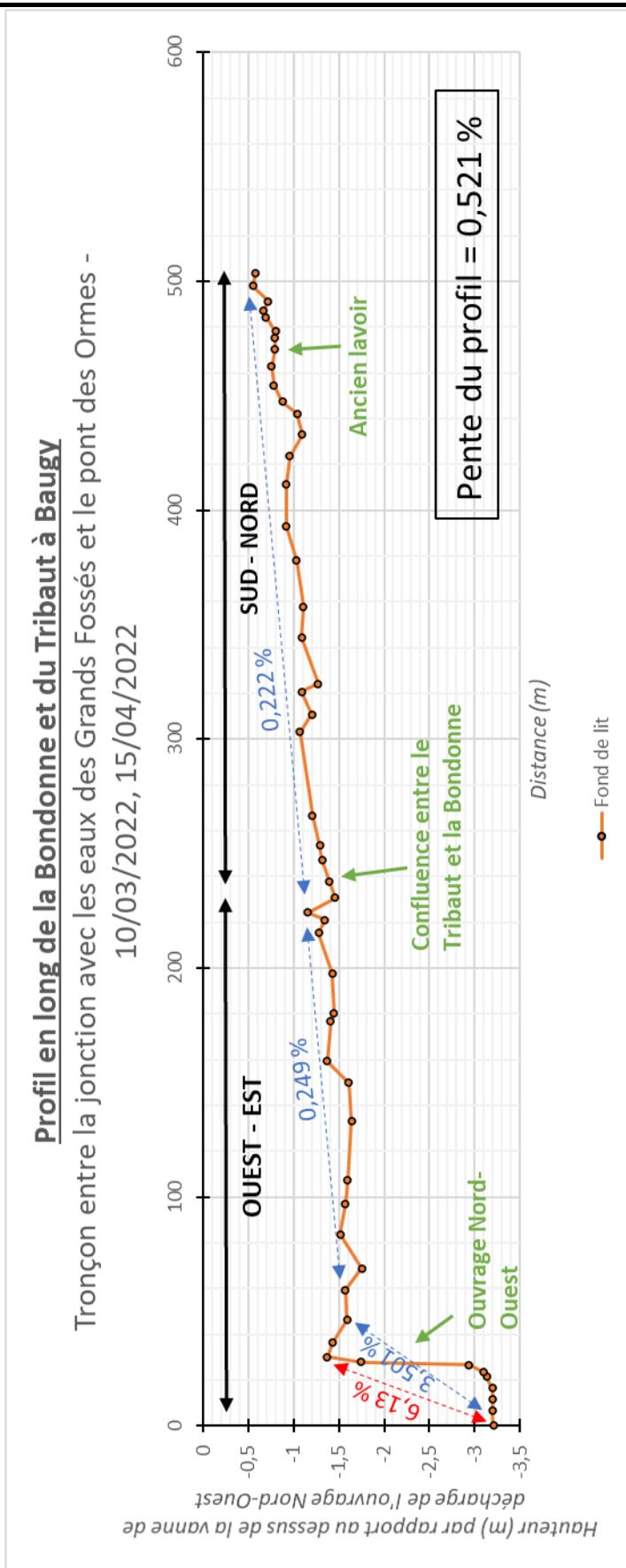


Annexe 36 : Synthèse diachronique du tracé de la Bondonne et du Tribaut dans le bourg de Baugy entre 1826 et 2022
 (Source : CHARONNAT, 2022)

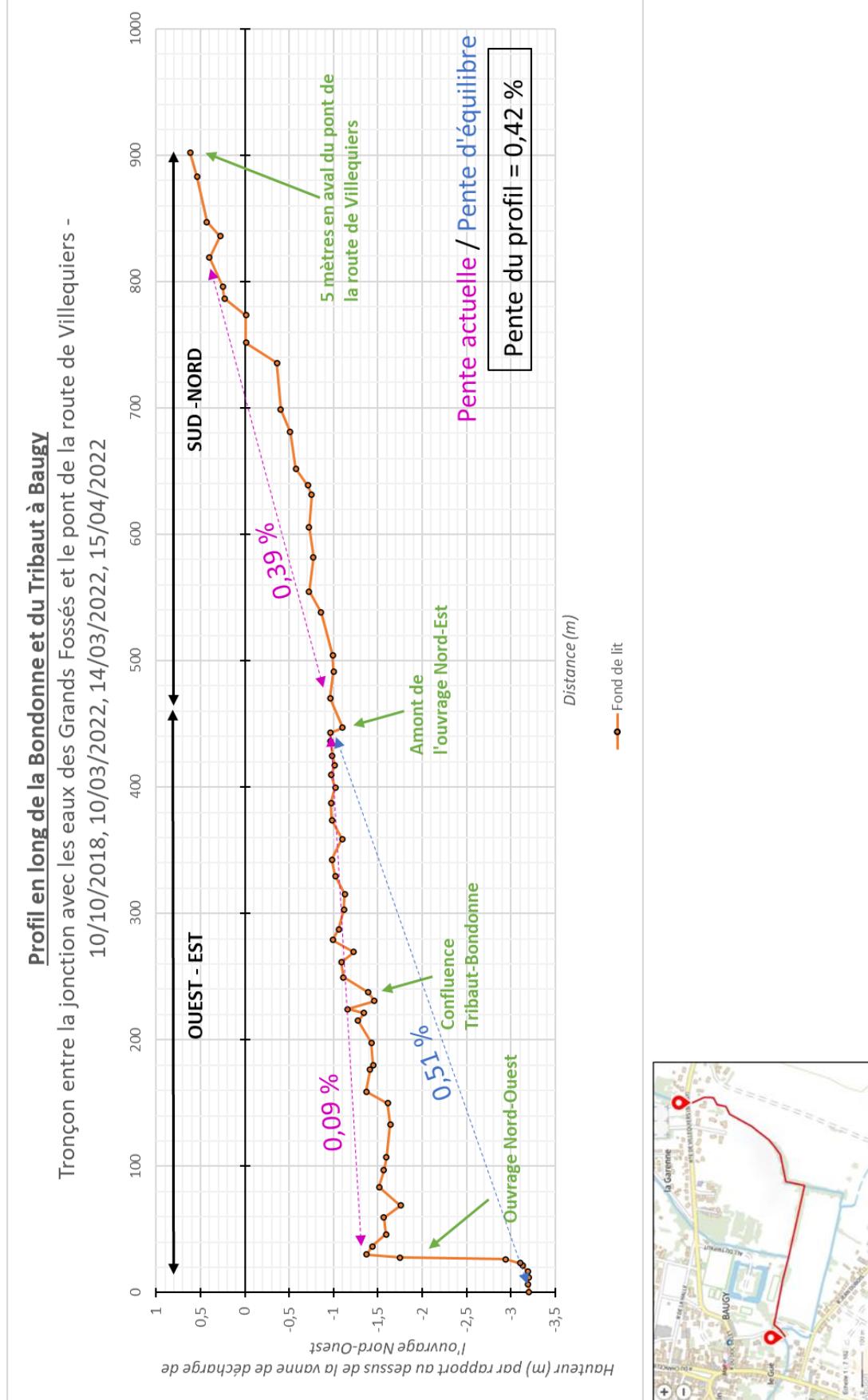


Attention : la carte ci-dessus est à relativiser en raison de la différence de précision entre les cartes historiques et les photographies récentes, ainsi que des décalages liés au géoréférencement.

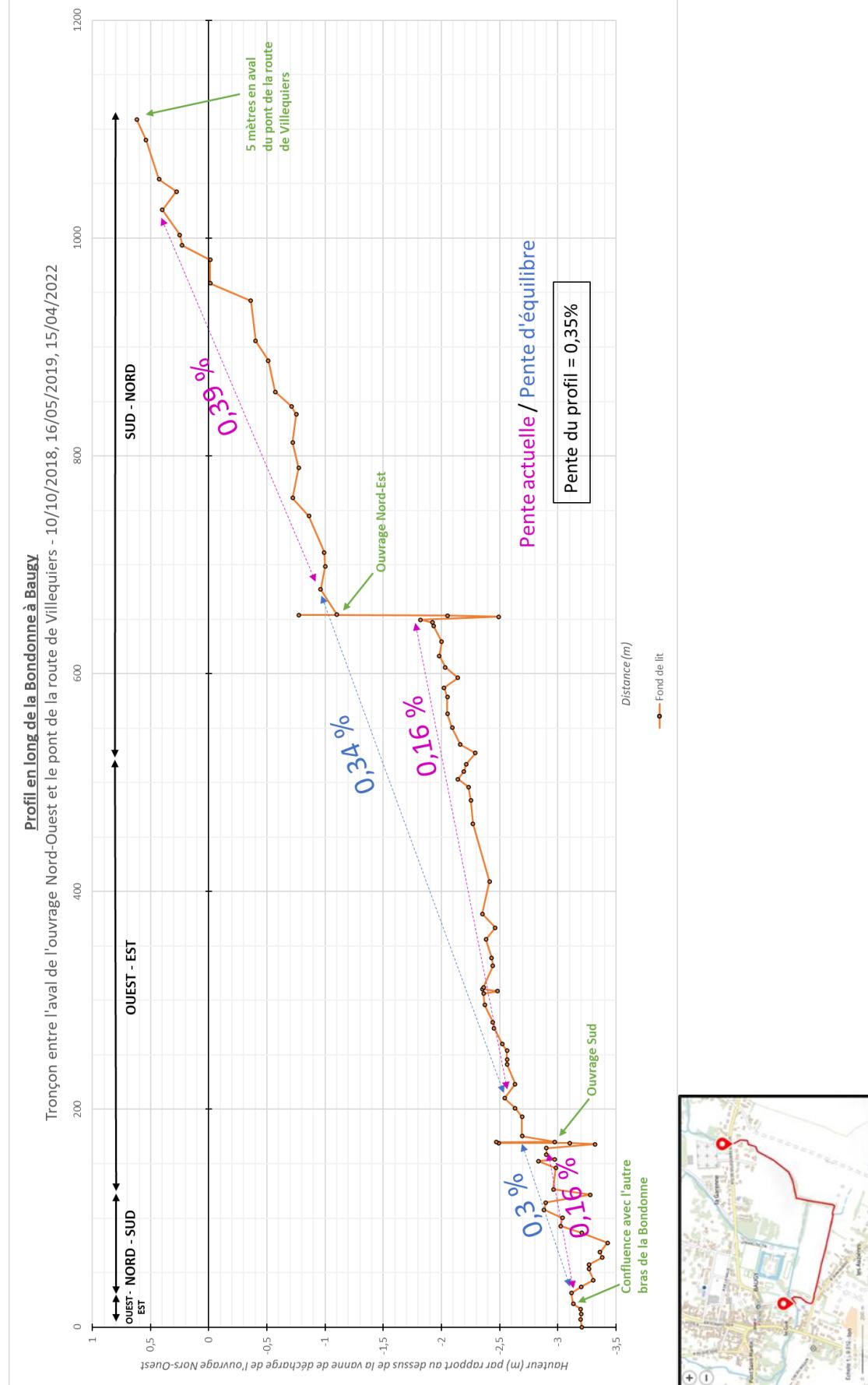
Annexe 37 : Profil en long du Tribaut jusqu'à la jonction avec la Bondonne Sud
 (Source : CHARONNAT, 2022)



Annexe 38 : Profil en long de la Bondonne Nord et du Tribaut jusqu'à la jonction avec la Bondonne Sud
 (Source : CHARONNAT, 2022)



Annexe 39 : Profil en long de la Bondonne Sud jusqu'à la jonction avec le Tribaut
 (Source : CHARONNAT, 2022)



Annexe 40 : Etat précaire de l'ouvrage Nord-Est

(Source : CHARONNAT, 2022)

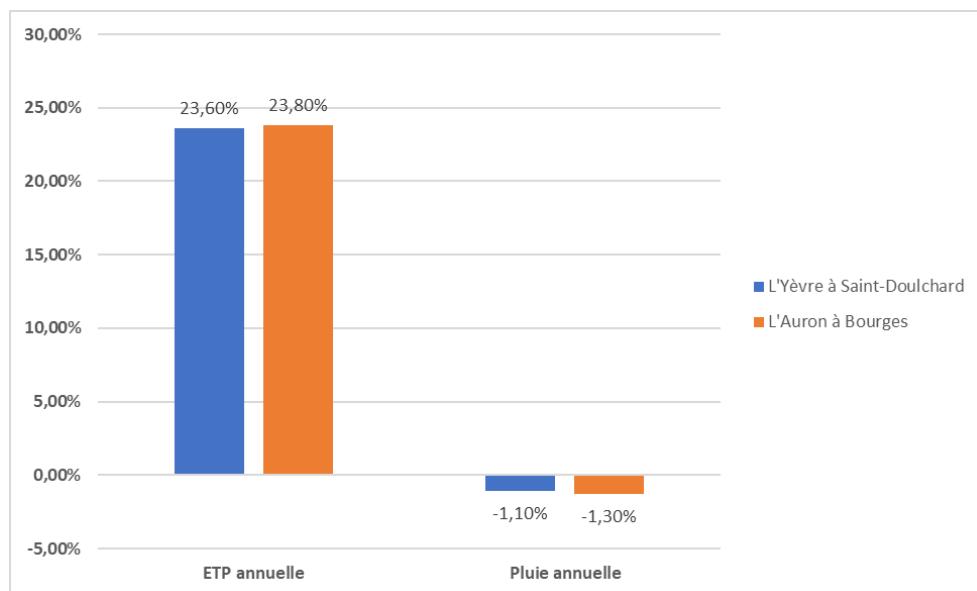


Annexe 41 : Occupation du sol dans le secteur d'étude en 2016

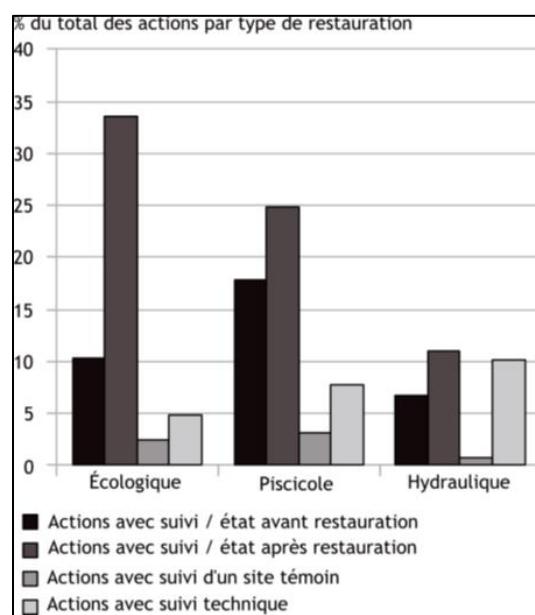
(Source : CHARONNAT, 2022)



Annexe 42 : Prévisions d'évolution de l'évapotranspiration (ETP) et du cumul de pluie annuelle sur deux stations de référence du bassin de l'Yèvre (à l'horizon 2046-2065)
(Source : CHARONNAT, 2022 (d'après SAGE YEVRE-AURON, 2017))



Annexe 43 : Part du suivi dans les actions de restauration en France (sur 480 actions recensées)
(Source : MORANDI et PIEGAY, 2011)



MEMOIRE M2 - LA RESTAURATION DE COURS D'EAU DÉGRADÉS EN TÊTE DE BASSIN AU CŒUR DE LA CHAMPAGNE BERRICHONNE

MEMOIRE M2 - LA RESTAURATION DE COURS D'EAU DÉGRADÉS EN TÊTE DE BASSIN AU CŒUR DE LA CHAMPAGNE BERRICHONNE

Résumé

Pour faire face aux altérations hydromorphologiques en France, la restauration des cours d'eau a émergé dans la réglementation depuis la fin du XX^{ème} siècle. En prenant l'exemple de deux ruisseaux dans le bassin versant de l'Yèvre en Champagne berrichonne, ce mémoire analyse la pertinence de cet outil pour améliorer l'état écologique de masses d'eau dégradées, particulièrement en tête de bassin. Après avoir exposé le cadre conceptuel et technique de la restauration, un diagnostic territorial et un développement de projet ont été appliqués sur un secteur spécifique autour des cours d'eau étudiés, la Bondonne et le Tribaut. Cette méthodologie a permis de faire ressortir un bilan écologique des linéaires ciblés et d'envisager des interventions en fonction des perturbations identifiées. En raison d'une forte anthropisation historique, il s'avère que les ruisseaux sont en mauvais état sous toutes les dimensions (longitudinale, latérale, verticale et temporelle). De fait, une restauration ambitieuse est justifiée sur les segments les plus prioritaires. Pour favoriser le succès socio-écologique du projet, les techniques hydromorphologiques doivent être associées à une concertation territoriale ainsi qu'à un processus de suivi des actions. Même si des obstacles peuvent impacter la pérennité de la restauration, il s'agit d'un outil opérationnel adapté à la gestion locale de l'eau.

Mots-clés : restauration, cours d'eau, altération, tête de bassin, hydromorphologie, bassin versant de l'Yèvre, Champagne berrichonne.

Abstract

To cope with hydromorphological alterations in France, the restoration of waterways has emerged in the legislation since the end of the 20th century. By taking the example of two streams in the catchment area of the Yèvre in Berry Champagne, this thesis analyzes the relevance of this tool to improve the ecological state of degraded water bodies, particularly at the head of the basin. After presenting the conceptual and technical framework of the restoration, a territorial diagnosis and project development were applied to a specific sector around the rivers studied, the Bondonne and the Tribaut. This methodology has made it possible to bring out an ecological assessment of the targeted linear areas and to consider interventions according to the disturbances identified. Due to a strong historical anthropization, it turns out that the streams are in poor condition in all dimensions (longitudinal, lateral, vertical and temporal). In fact, an ambitious restoration is justified on the highest priority segments. To promote the socio-ecological success of the project, hydromorphological techniques must be associated with territorial consultation and a process for monitoring actions. Even if obstacles can impact the sustainability of the restoration, it is an operational tool adapted to local water management.

Keywords: restoration, waterways, alteration, basin head, hydromorphology, Yèvre watershed, Berry Champagne.