
Rapport de stage individuel

4^{ème} année

Projet d'aménagement
hydromorphologique de l'Ardoux et de
restauration de zones humides sur le site
du Bouchet

Office français de la biodiversité Direction
Centre-Val-de-Loire

9 avenue de Buffon 45071 ORLEANS



OFB
OFFICE FRANÇAIS
DE LA BIODIVERSITÉ

Tuteur entreprise :
Laetitia Boutet-Berry
Technicienne Appui Technique

Tuteur académique :
Catherine Boisneau

Marion Manaud
IMA
2019-2020

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier l'ensemble des personnes qui ont, de prêt ou de loin, participé à mon étude et à son bon déroulement.

Je commencerais tout d'abord par remercier Laetitia Boutet-Berry qui, en tant que maître de stage m'a accompagnée et aiguillée dans mes recherches. Grâce à elle j'ai pu réaliser mon stage dans les meilleures conditions (tout en appliquant les gestes barrières), bénéficier de nombreux conseils et découvrir de jolis endroits pour pique-niquer.

Je pense également à Frédéric Michau, mon second maître de stage, pour m'avoir fait découvrir le domaine du Bouchet ainsi que ses conseils et sa gentillesse.

Merci à toi Laurent, sans qui je n'aurais pas eu le plaisir de me « baigner » dans l'Ardoux lors de cette journée de relevés !

Je tiens à remercier Clémence Poissonnier pour l'implication que tu as eu pour mon stage, ta disponibilité et ta gentillesse.

Merci à Marine Colombey avec qui j'ai pu échanger au sujet des zones humides et notamment sur la problématique de celles situées au Bouchet, ainsi que Pierre Caessteker d'avoir pris le temps de me répondre et de m'avoir fourni de nombreuses informations à ce sujet.

Merci également à Guillaume Demange avec qui j'ai pu réaliser une journée de prospection de terrain botanique sous 37°C et avec qui j'ai pu partager sur nos sujets d'étude.

Je souhaite également remercier l'ensemble de l'équipe du centre de formation du Bouchet de leur accueil et leur écoute lors de la présentation de mon étude.

Enfin, merci aux personnes ayant participé au comité de pilotage de mon stage qui, malgré le temps imparti, m'a permis d'orienter mon étude de manière pertinente.

PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

L'Office français de la biodiversité (OFB) est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et solidaire et du ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation créé au 1er janvier 2020 suite à la loi n°2019-773 du 24 juillet 2019.

Il est issu de l'union entre l'Agence Française pour la Biodiversité (AFB), elle-même créée par la loi sur la reconquête de la biodiversité du 8 août 2016 découlant du regroupement de différents organismes (Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA), Etablissement public des parcs nationaux, Agence des aires marines protégées, groupement d'intérêt public ATEN), et de l'Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage (ONCFS). (figure 1)

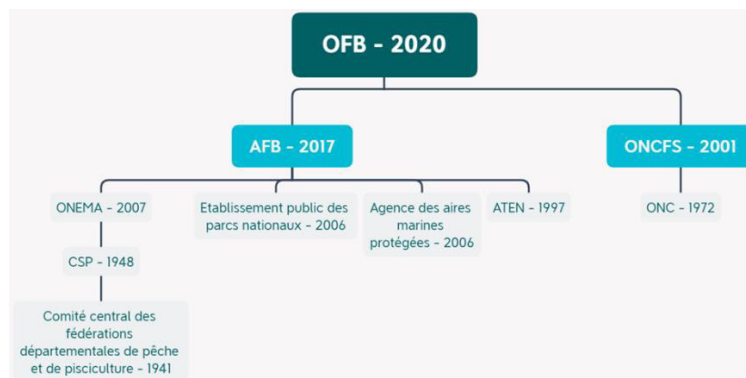


Figure 1 : Origine de l'OFB et dates de création

L'objectif premier de l'OFB est de répondre aux enjeux de préservation du vivant au travers la surveillance, la préservation, la gestion et la restauration de la biodiversité ainsi que la gestion équilibrée et durable de l'eau en coordination avec la politique nationale de lutte contre le réchauffement climatique.

L'établissement réalise des missions à caractères techniques et de police telles que :

- La connaissance, la recherche et l'expertise sur les espèces, les milieux et leurs usages
- La police de l'environnement et la police sanitaire de la faune sauvage
- L'appui à la mise en œuvre des politiques de l'eau et de la biodiversité
- La gestion, la restauration et l'appui aux gestionnaires d'espaces naturels
- La formation et la mobilisation des citoyens et des parties prenantes

Implanté sur la totalité du territoire français, l'OFB s'articule à différentes échelles (annexe 1) :

- Echelle nationale : définition et pilotage de la politique et la stratégie de l'OFB via les directions et délégations nationales ;
- Echelle régionale : exécution de la coordination et de la déclinaison territoriale via les directions régionales ;
- Echelle départementale et locale : mise en œuvre opérationnelle et spécifique (services départementaux, antennes de façade, parcs naturels marins, etc.).

L'OFB en Centre-Val-de-Loire

La direction régionale Centre-Val-de-Loire de l'Office Français de la Biodiversité, dont le siège est basé à Orléans, regroupe 113 agents dont 20 répartis dans 4 services régionaux et 93 dans 6 services départementaux dont les implantations sont basées dans chacun des 6 départements de la région Centre-Val-de-Loire (figure 2). Les organigrammes des services départementaux sont présentés en annexe 2.

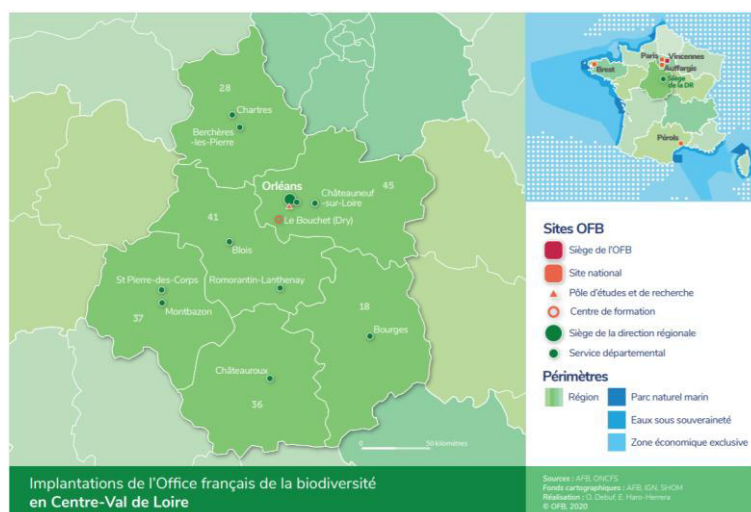


Figure 2 : Implantation de l'OFB en région Centre-Val-de-Loire (OFB)

Les 4 services régionaux sont :

- Le service administratif
- Le service police regroupant une unité « Appui Technique à la Police Administrative » et une unité « Contrôles et Enquêtes Judiciaires »
- Le service connaissance
- Le service appui aux acteurs et mobilisation des territoires

La région Centre-Val-de-Loire accueille également un des centres nationaux de formations des agents techniques et des techniciens de l'environnement, sur le domaine du Bouchet situé sur la commune de Dry (45, Loiret).

Le présent stage s'est effectué au sein des services régionaux de la direction régionale Centre-Val-de-Loire de l'OFB, sous la tutelle de Laetitia Boutet-Berry, technicienne Appui technique ainsi que Frederic Michau, chef du service Appui aux acteurs et Mobilisation des territoires (figure 3).

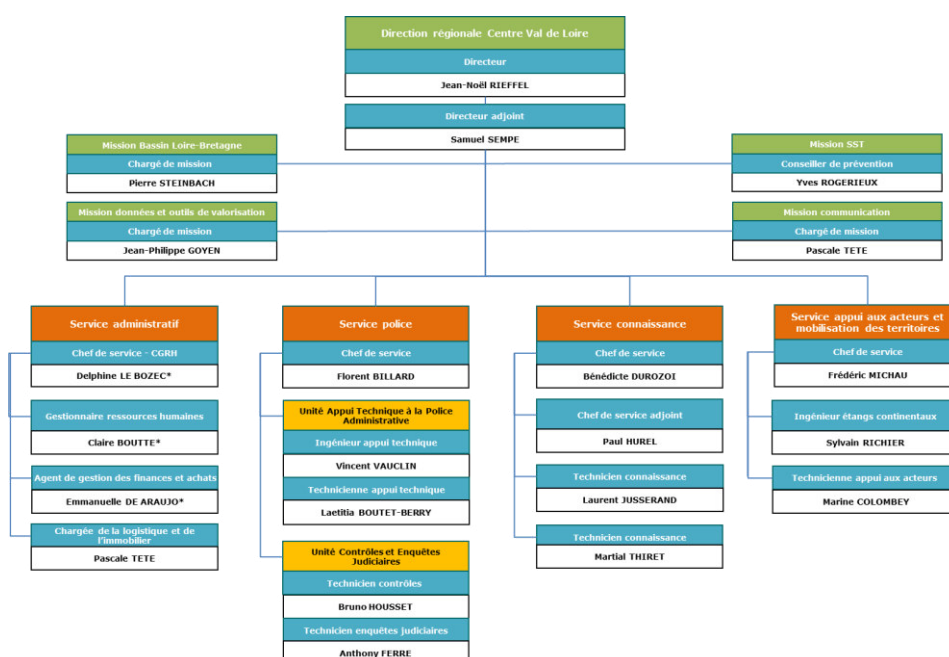


Figure 3 : Organigramme de la Direction régionale et des différentes unités qui la compose (OFB)

TABLE DES MATIERES

Table des figures	
Table des tableaux	
Sigles et abréviations	
Introduction	1
1. Contexte d'étude	1
1.1. Objectifs et attendus de l'étude	1
1.2. Cadre de l'étude	1
1.3. Présentation générale du site	2
2. Méthodes et matériel	2
2.1. Diagnostic	3
2.2. Méthodes de dimensionnement	10
2.3. Dimensionnements de suivi	13
3. Résultats	15
3.1. Diagnostic du milieu actuel	15
3.2. Dimensionnement du projet	22
3.3. Propositions de restauration des secteurs 1, 2 et 3	25
3.4. Dimensionnement du suivi	28
4. Discussion	29
4.1. Diagnostic	29
4.2. Propositions d'aménagements	30
4.3. Perspectives d'études	30
Conclusion	31
Bibliographie	
Annexes	

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Origine de l'OFB et dates de création	3
Figure 2 : Implantation de l'OFB en région Centre-Val-de-Loire (OFB)	4
Figure 3 : Organigramme de la Direction régionale et des différentes unités qui la compose (OFB)	4
Figure 4 : Limite du site d'étude de l'Ardoux (Site de formation du Bouchet – ArcGIS)	2
Figure 5 : Sectorisation du site d'étude de l'Ardoux (ArcGIS)	4
Figure 6 : Bassins hydrologiques de l'Ardoux (BD Carthage – ArcGIS)	16
Figure 7 : Réseau hydrographique du bassin versant de l'Ardoux (SMETABA – BD Carthage – ArcGIS)	17
Figure 8 : Profil en long et droite de régression linéaire du fond du lit mineur de l'Ardoux	20
Figure 9 : Bouches de terrier de ragondin creusées dans la berge de l'Ardoux	21
Figure 10 : Localisation des zones humides annexes du domaine du Bouchet (OFB - ArcGIS)	21
Figure 11 : Localisation de la station de référence avec coordonnées GPS (ArcGIS)	23
Figure 12 : Carte de Cassini (Géoportail)	23
Figure 13 : Carte de l'état-major (1820-1866) (Géoportail)	23
Figure 14 : Station se rapprochant du critère de référence située en amont du secteur d'étude	24
Figure 15 : Exemple de restauration hydromorphologique à l'aide de banquettes alternes en lit emboité (M. Bramard)	26
Figure 16 : Reméandrage de l'Echandon sur la commune de Tauxigny-Saint Bauld (37) (M. Bramard)	28
Figure 17 : Localisation des stations du SSM (IED Carhyce - ArcGIS)	28
Figure 18 : Programmation actualisée du SSM de l'hydromorphologie, la biologie et la physico-chimie (Rolan-Meynard et al., 2019)	29

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Sectorisation du périmètre d'étude	3
Tableau 2 : Détails des valeurs de n et m relatifs au calcul du coefficient de rugosité	5
Tableau 3 : Principaux documents bibliographiques exploités pour le calcul des paramètres hydromorphologiques actuels de l'Ardoux	6
Tableau 4 : Liste du matériel nécessaire par atelier	7
Tableau 5 : Corrélation entre l'indice de sinuosité et la forme du cours d'eau	8
Tableau 6 : Processus hydromorphologiques d'un cours d'eau en fonction de sa puissance	9
Tableau 7 : Synthèse des méthodes, protocoles et paramètres mesurés des suivis à réaliser dans le cadre du SSM	14
Tableau 8 : Masses d'eau du bassin versant de l'Ardoux	16
Tableau 9 : Station de suivi hydrométrique de l'Ardoux à Lailly-en-Val	17
Tableau 10 : Données principales du suivi hydrologique de l'Ardoux à Lailly-en-Val entre 1967 et 2019	17
Tableau 11 : Synthèse des valeurs du calcul du débit plein bord	18
Tableau 12 : Synthèses des valeurs du calcul de la puissance spécifique	20
Tableau 13 : Valeurs des L_{PB} et P_{PB} moyenne en fonction du débit de crue moyenne journalière (1.1, 1.5 et 2 ans)	24
Tableau 14 : Représentation des classes granulométriques dans le radier de référence	25

SIGLES ET ABREVIATIONS

AFB : Agence Française pour la Biodiversité

ARB : Agence Régionale de la Biodiversité

ATEN : Atelier Technique des Espaces Naturels

BD CARTAG : Base de Données sur la CARTographie Thématique des AGences de l'eau et du ministère chargé de l'environnement

CARHYCE : CARactérisation HYdromorphologique des Cours d'Eau

CBNBP : Conservatoire Botanique National du Bassin Parisien

CEN : Conservatoires d'Espaces Naturels

COPIL : COmité de PILotage

CSP : Conseil Supérieur de la Pêche

DCE : Directive Cadre sur l'Eau

IBD : Indice Biologique Diatomées

IBG : Indice Biologique Global

IBMR : Indice Biologique Macrophytique en Rivière

IPR : Indice Poisson Rivière

IRSTEA : Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture

LiDAR : Light Detection And Ranging

MEFZH : Méthode d'Evaluation des Fonctions des Zones Humides

MNT : Modèles Numérique de Terrain

OFB : Office Français de la Biodiversité

ONC : Conseil National de la Chasse

ONCFS : Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage

ONEMA : Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques

ORB : Observatoire Régional de la Biodiversité

SIEL : Système d'Information des Evolutions du lit de la Loire

SMETABA : Syndicat Mixte d'Etude et de Travaux pour l'Aménagement du Bassin de l'Ardoux

SSM : Suivi Scientifique Minimal

ZNIEFF : Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique

INTRODUCTION

Depuis l'antiquité, l'homme a modifié les milieux aquatiques en réponse à différents usages. De fait, les cours d'eau ont été utilisés comme moyen de transport, source d'énergie, d'alimentation et d'irrigation, etc. (Roche, 1984). C'est au cours des derniers siècles que les aménagements se sont intensifiés ce qui a conduit à l'artificialisation de la majorité des cours d'eau à l'échelle nationale et européenne. Le remembrement agricole datant de la fin du XX^{ème} siècle a engendré à lui seul de nombreux dommages ; des cours d'eau ont été rectifiés, d'autre curés, certains ont vu l'apparition de plans d'eau sur leur tracé non sans impact (homogénéisation des habitats, qualité et quantité de l'eau impactées, érosion du lit mineur, rupture de la continuité écologique, ...).

C'est dans ce contexte que le 23 octobre 2000 a été adoptée la Directive Cadre sur l'Eau (DCE), dont l'objectif est de préserver et d'améliorer l'état écologique des systèmes aquatiques afin d'en promouvoir un usage durable et de garantir l'approvisionnement en eau (Bouleau and Pont, 2014). Elle fixe l'atteinte du « bon état écologique » des masses d'eau souterraines et de surface, initialement à 2015 et au plus tard à l'horizon 2027 (Castelain et al., 2016).

En France, pour répondre en partie à cet objectif d'atteinte de bon état écologique, de nombreux projets de restaurations écologiques des cours d'eau sont menés par des collectivités territoriales soutenues financièrement et techniquement par diverses institutions étatiques dont l'Office Français de la Biodiversité (OFB).

Ce stage, mené au sein de l'OFB s'inscrit dans ce contexte. Son sujet est de proposer un projet de restauration hydromorphologique de l'Ardoux et de ses zones humides annexes sur son cours actuellement rectifié et situé dans le domaine du Bouchet à Dry (45), centre de formation national de l'établissement public. Ce projet s'inscrit dans la suite d'une première action de restauration de la continuité écologique menée en 2017 par l'effacement de l'étang sur cours situé à l'amont du site.

Ce rapport présente en premier lieu le contexte de l'étude avec ses objectifs. Une seconde partie reprend l'ensemble des méthodes et matériel mis à contribution lors de cette étude pour aboutir à la troisième partie qui présente les résultats dont un prédiagnostic du site, le dimensionnement du projet de restauration écologique de l'Ardoux et de ses zones humides annexes ainsi que le suivi scientifique du projet. Enfin une discussion vient terminer ce rapport.

1. CONTEXTE D'ETUDE

1.1. OBJECTIFS ET ATTENDUS DE L'ETUDE

L'objectif de cette étude est d'établir un projet de restauration hydromorphologique de l'Ardoux et de ses zones humides annexes sur le site de formation de l'OFB, situé sur le domaine du Bouchet à Dry (45). Cela comprend :

- L'Acquisition des paramètres hydromorphologiques du site
- L'évaluation des paramètres de référence (données physiques : pente, rugosité, gabarit, sinuosité, etc.)
- Le dimensionnement du projet de restauration hydromorphologique de l'Ardoux
- Le dimensionnement des suivis (suivi scientifique minimal et un suivi des zones humides annexes)

1.2. CADRE DE L'ETUDE

Pour mener à bien l'étude, un COmité de PILotage (COPIL) a été mis en place dans le but de mieux comprendre et de réaliser un état des lieux du site ainsi que d'émettre des hypothèses quant aux futurs travaux de restauration de l'Ardoux, projet voué à devenir un site de démonstration. Ce comité est constitué des personnes suivantes :

- Laetitia BOUTET-BERRY (maitre de stage), OFB, Direction Régionale Centre-Val-de-Loire
- Michel BRAMARD, OFB Direction Régionale Nouvelle-Aquitaine
- Pierre CAESSTEKER, OFB, Direction Générale
- Gabriel MELUN, OFB, Direction Générale
- Marlène MEYNARD, INRAE Aix-en-Provence
- Frederic MICHAU (maitre de stage), OFB, Direction Régionale Centre-Val-de-Loire
- Josée PERESS, OFB, Direction Générale
- Anne VIVIER, OFB, Direction Générale

1.3. PRESENTATION GENERALE DU SITE

Le site concerné par l'étude est situé dans le domaine du Bouchet sur la commune de Dry (45130) en région Centre-Val-de-Loire. D'une superficie totale de 70 hectares, le domaine est traversé dans toute sa longueur par l'Ardoux, cours d'eau affluent de la Loire. Sur ce domaine, un étang avait été aménagé sur le cours d'eau en amont du site sur une longueur d'environ 345 m, puis a été effacé en 2017.

Le château du Bouchet qui y siège a été construit en 1853 sur les ruines d'un édifice de la fin du XVIème siècle. La mise en place de seuils à l'origine du plan d'eau daterait de cette époque voire même avant puisqu'ils figurent déjà sur les cartes de l'Etat-Major (1820-1866) (Rousseau et al., 2019). Un bras de dérivation encore visible à ce jour fut quant à lui créé un peu plus tard puisqu'il n'apparaît pas sur la carte.

Des travaux de restauration de ce cours d'eau ont depuis été réalisés avec notamment l'enlèvement de seuils durant l'été 2017, vidant ainsi le plan d'eau.

L'étude porte sur un linéaire d'environ 1210 mètres positionné entre des parcelles agricoles appartenant au domaine, parcelles exploitées en prairies de fauche (figure 4). Il s'agit de prairies mésophiles ou aucun fertilisant n'est utilisé et ou une fauche tardive a été mise en place courant mi-juillet (Rousseau et al., 2019).



Figure 4 : Limite du site d'étude de l'Ardoux (Site de formation du Bouchet – ArcGIS)

2. METHODES ET MATERIEL

La démarche de travail adoptée s'est déroulée en 3 temps. Dans un premier temps, un diagnostic de la zone d'étude a été réalisé. Cette étape a permis de définir le bassin versant, son occupation du sol et de caractériser

l'hydromorphologie actuel et de référence du cours d'eau et de ses zones humides annexes (hydrologie, profil en long, profil en travers, gabarit existant, gabarit hydraulique (L_{PB} , H_{PB}), pente, coefficient de sinuosité, débit de plein bord (Q_{PB}), etc. (Boutet-Berry, 2020a; Bramard and Boutet-Berry, 2018)).

Ce diagnostic a permis dans une seconde partie d'aboutir à des propositions de restauration du lit du cours d'eau sur le site étudié suivant 3 secteurs distincts.

Enfin, la dernière partie propose une méthodologie de suivis scientifiques de ce projet de restauration. Ce suivi est dimensionné suivant la méthode du Suivi Scientifique Minimal (SSM) (Rolan-Meynard et al., 2019), afin que le site puisse intégrer le réseau national de sites de démonstrations porté par l'OFB. Un suivi des zones humides annexes est également proposé sur la base d'outils nationaux (Ligéro, ...).

2.1. DIAGNOSTIC

Une première phase de travail préalable au diagnostic du site d'étude a été la collecte de plusieurs documents dans le but de synthétiser les connaissances actuelles de l'Ardoux relatives à l'hydrologie et l'hydraulique du site, ses caractéristiques physiques, son fonctionnement morphodynamique, etc. Les principales données qui ont été utilisées dans le cadre de cette étude sont présentées dans chacune des parties concernées. Un travail de terrain a ensuite été réalisé pour compléter ces recherches. Cette phase a également servi à rechercher une station de référence sur le cours d'eau. Un autre aspect important a été le contact auprès des acteurs plus ou moins en lien avec le site d'étude, que ce soit pour de la recherche bibliographique, de la logistique ou encore de l'aide pour réaliser les relevés de terrain.

2.1.1. SECTORISATION

Après avoir fait une première visite du site d'étude, il s'est avéré pertinent de le sectoriser de façon à pouvoir différencier les zones en fonctions des contraintes ou caractéristiques physiques qui les définissent. Cette sortie a également permis de trouver une station correspondant aux secteurs de référence.

Trois secteurs ont ainsi été identifiés (tableau 1). Le premier correspond à la zone humide qui s'est développée suite à l'effacement des ouvrages en 2017. Le second se réfère à la petite portion de l'Ardoux située entre deux ouvrages. Le troisième secteur correspond au cours aval de la suite du linéaire de l'Ardoux partant du troisième pont jusqu'à la limite aval du domaine (figure 5), secteur ayant subi des modifications par recalibrage et rectification.

Tableau 1 : Sectorisation du périmètre d'étude

SECTEUR	LIMITE AMONT	LIMITE AVAL	LONGUEUR
N° 1 : ZONE DANS L'ANCIENNE RETENUE DU PLAN D'EAU	Ouvrage situé au début du domaine du Bouchet	Ouvrage situé en aval de l'ancien étang	345 m
N°2 : ZONE INTER PONTS	Ouvrage situé en aval de l'ancien étang	Ouvrage situé en amont de la zone rectifiée	35 m
N°3 : ZONE RECTIFIEE	Ouvrage situé en amont de la zone rectifiée	Fin du domaine du Bouchet	830 m
TOTAL SECTEUR D'ETUDE			1210 m

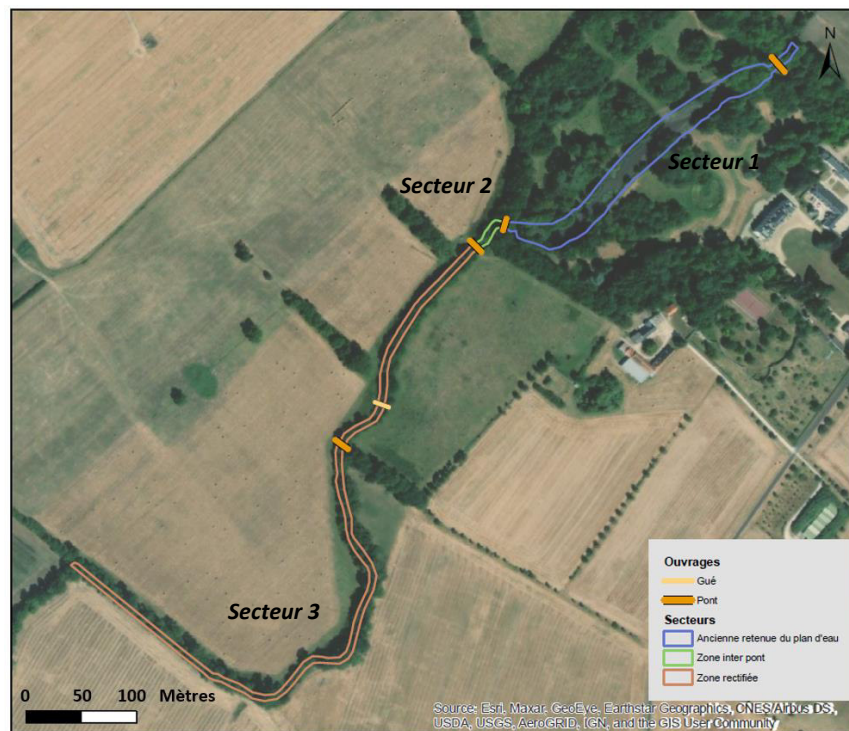


Figure 5 : Sectorisation du site d'étude de l'Ardoux (ArcGIS)

2.1.2. HYDROGRAPHIE ET HYDROLOGIE

Les données relatives aux débits de références proviennent de la Banque HYDRO.

- Bassin versant

La surface du bassin versant au droit du projet est issue d'un calcul théorique sur un MNT de maille 25x25 m considéré comme imperméable, prenant en compte la surface d'écoulement d'un point du réseau hydrographique donné. La BD CARTHAGE, fournie par les agences de l'eau, provient du service de géotraitement disponible sur <https://reseau.eaufrance.fr/geotraitement/content/les-services-de-calcul-de-bassin-versant>. Le résultat a été visualisé sous ArcGIS.

- Débit d'étiage et module

Les débits d'étiage et module au droit du site d'étude proviennent de la cartographie de consensus du débit de référence d'étiage (Q_{MNA5}) et du module (Q_A) à l'échelle de la France (Riffard et al., 2012).

Les variables Q_A et Q_{MNA5} ont été reconstituées sur la base de chroniques existantes (peu influencées par les activités humaines et de bonne qualité météorologique) d'une durée maximale de 26 ans sur la période 1970-2005, aboutissant à un total de 632 stations disponibles dans la banque HYDRO.

Cette cartographie est issue d'un travail d'interpolation spatiale s'appuyant sur une méthodologie nationale qui recourt à plusieurs modèles et reflète l'état des connaissances de fin 2012. Elle résulte d'une combinaison de trois estimations obtenues par les équipes de recherche d'IRSTEA de Lyon, Aix et Antony. Seule la meilleure estimation en chaque point de mesure a été retenue. Un indice de robustesse (fragile, prudence, robuste) et une fourchette d'incertitude sont précisés pour chaque données (Colin, 2019).

Ces données sont accessibles depuis le site de <http://carmen.carmencarto.fr>. Une fois la base de données sélectionnée sous format de fichier Excel, elle a été rapportée dans un document de contextualisation hydrologique fourni par l'OFB qui permet d'obtenir un graphique de contextualisation hydrologique pluriannuelle où figure les débits de module, Q2 et Q10 à la station sélectionnée.

- Débit à plein bord

Le débit à plein bord (Q_{PB}) peut être estimé selon différentes formules. Dans notre cas les formules de Manning-Strickler et celle de Mayer ont été appliquées au droit du projet. Chacune d'entre elles est présentée avec les paramètres nécessaires à son calcul.

1. Selon la formule de Manning-Strickler :

$$Q_{PB} = K \times L_{PB} \times P_{PB}^{\frac{5}{3}} \times J^{\frac{1}{2}}$$

K : Coefficient de rugosité

L_{PB} : Largeur plein bord (m)

P_{PB} : Profondeur plein bord (m) (également appelée HPB : Hauteur plein bord)

J : Pente (m/m)

Le coefficient de rugosité (K) a été calculé à l'aide de la formule de Cowan (1956) :

$$K = 1 / [(n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \times m]$$

n_0 : Matériaux constitutifs de la berge

n_1 : Degré d'irrégularité

n_2 : Variation de la section

n_3 : Présence d'obstacles

n_4 : Méandrement

Chaque valeur a été appréciée sur le terrain selon les différentes classes (tableau 2).

Tableau 2 : Détails des valeurs de n et m relatifs au calcul du coefficient de rugosité

Tableau relatif à la détermination des valeurs de n et m			
Matériaux constitutifs de la berge	Limons	n_0	0,028
	Sables		0,030
	Graviers		0,031
	Pierres		0,040
	Blocs		0,055
Degré d'irrégularité	faible	n_1	0,003
	moyen		0,008
	important		0,015
Variations de section	progressives	n_2	0,000
	occasionnelles		0,003
	fréquentes		0,012
Présence d'obstacles	négligeable	n_3	0,002
	faible		0,010
	appréciable		0,025
	élevé		0,045
Végétation dans le lit mineur	basse	n_4	0,006
	moyenne		0,025
	haute		0,050
	très haute		0,075
Méandrement (distance écologique/distance euclidienne)	1 < faible <= 1,2	m	1,000
	1,2 < appréciable <= 1,5		1,150
	1,5 < fort		1,300

La largeur à plein bord (L_{PB}), la profondeur à plein bord (P_{PB}) et la pente proviennent respectivement des données issues des différents profils en travers et du profil topographique qui ont été réalisés suite à la journée de relevés (Cf. 2.1.3.2).

2. Selon la formule de Mayer :

$$Q_b/Q_r = \left(\frac{S}{S_r}\right)^{0.8}$$

Ce qui donne :

$$Q_b = \left(\frac{S}{S_r}\right)^{0.8} \times Q_r$$

Q_b = Débit de dimensionnement (correspondant au débit de plein bord Q_{PB})

Q_r = Débit moyen journalier maximal de temps de retour 1 à 2 ans au niveau de la station hydrométrique (point de référence sur le même bassin ou bassin voisin)

S = Surface amont drainée au droit du site de travaux

S_r = Surface amont drainée au droit de la station hydrométrique

Pour cette formule, il s'agit d'une transposition directe du débit d'une station hydrométrique voisine jaugée avec un ajustement au ratio des surfaces respectives de bassin versant.

La surface amont drainée au droit du site d'étude correspond à la surface du bassin versant qui a été déterminé d'après la méthode expliquée précédemment. La surface amont drainée au droit de la station hydrométrique a quant à elle été déterminée à partir de la banque HYDRO (Cf. 3.1.1.2).

Le débit moyen journalier de temps de retour 1 à 2 ans a été défini à l'aide de la loi de Gumbel (Bramard and Boutet-Berry, 2020) détaillée en annexe 3.

2.1.3. CARACTERISTIQUES HYDROMORPHOLOGIQUES DE L'ARDOUX

2.1.3.1. RECUEIL DES DONNEES

La caractérisation de l'Ardoux s'est faite en deux temps. Des relevés de terrains ont d'abord été effectués sur le site d'étude et sur le secteur de référence, puis l'étude s'est ensuite tournée sur le traitement des données.

Chaque paramètre hydromorphologique au droit du projet et sur le secteur de référence, développé par la suite, a été calculé à l'aide de formules issues des documents présentés dans le tableau 3.

Tableau 3 : Principaux documents bibliographiques exploités pour le calcul des paramètres hydromorphologiques actuels de l'Ardoux

Auteur	Titre	Date
Malavoi & Souchon	Description standardisée des principaux faciès d'écoulement observables en rivière : clé de détermination qualitative et mesure physiques.	2002
CATER	La recreation de cours d'eau	2018
Laetitia Boutet-Berry	Définition d'un projet de restauration Etude de cas : L'Amasse au Moulin de Givry	2020

Au droit du projet, il est à noter que la caractérisation hydromorphologique de l'Ardoux n'a été réalisée que sur le troisième secteur, les deux autres étant impraticables les jours de relevés. Néanmoins des propositions d'aménagement sont suggérées dans la partie « résultats ».

2.1.3.2. PHASE DE TERRAIN

Le protocole utilisé pour caractériser l'hydromorphologie du cours d'eau est STREAM-CE qui a été développé par Le Bihan et al. (2019). Il s'agit d'un outil d'aide à la décision pour la mise en œuvre d'opérations de restauration hydromorphologique en France métropolitaine et dans les DOM-TOM. Il fournit des éléments de calculs de base pour des projets de restauration et permet de maîtriser une partie de la complexité de la démarche. Il permet également de rendre compte des ordres de grandeurs des différents éléments hydromorphologiques proposés et d'apporter des arguments techniques pour avancer diverses propositions.

Les mesures et relevés de terrain ont été adaptés par rapport au temps imparti et de l'objectif premier qui était d'apporter les paramètres nécessaires à la restauration hydromorphologique de l'Ardoux.

Le recueil de données sur le terrain a été effectué sur deux journées (le 11 et le 16 juillet 2020) avec l'aide de deux agents des services régionaux, Laetitia Boutet-Berry et Laurent Jusserand, ainsi que Clémence Poissonnier, technicienne médiatrice rivière au Syndicat Mixte d'Etude et de Travaux pour l'Aménagement du Bassin de l'Ardoux (SMETABA).

Le protocole de terrain s'est décomposé en trois ateliers : i) profil en long, ii) profil en travers et iii) granulométrie sur radier. Le matériel nécessaire est présenté dans le tableau 4. Les fiches sont quant à elle présentées en annexe 4.

Tableau 4 : Liste du matériel nécessaire par atelier

ATELIER	MATERIEL NECESSAIRE
Profil en long	Fiche terrain « profil en long complexe »
	Niveau optique laser
	Trépied
	Mire
	Topofil
Profil en travers	Fiche terrain « profil en travers complexe »
	2 mires
	Décamètre
	Fer à béton torsadé
	Massette
Granulométrie	Fiche terrain « granulométrie sur radier »
	Décamètre
	Pieds à coulisse

2.1.3.3. PARAMETRES HYDROMORPHOLOGIQUES CALCULES OU MESURES

❖ Sinuosité

Les coefficients de sinuosité du cours d'eau actuel et de référence ont été déterminés sur cartographie sur Géoportail à l'aide de l'outil « Mesurer une distance » pour limiter le biais dans la mesure in situ. Dans un premier temps la longueur écologique est déterminée en suivant le tracé du cours d'eau en son centre. Ensuite, la longueur euclidienne est tracée, ne passant que par les points d'inflexion entre deux méandres puis le calcul suivant est effectué :

$$Si = \frac{\text{longueur écologique}}{\text{longueur euclidienne}}$$

NB : un cours d'eau à l'état naturel possède un coefficient de sinuosité (SI) généralement supérieur à 1.05 (tableau 5) (Fournials, 2018).

Tableau 5 : Corrélation entre l'indice de sinuosité et la forme du cours d'eau

VALEUR SI	FORME DU COURS D'EAU
SI < 1.05	cours d'eau « subrectiligne »
1.05 < SI < 1.25	cours d'eau « sinueux »
1.25 < SI < 1.5	cours d'eau « très sinueux »
SI > 1.5	cours d'eau « méandriforme »

❖ Pente

Le profil en long du secteur d'étude est réalisé sur 820m en partant du troisième ouvrage (limite amont du secteur 3) jusqu'à la fin du domaine. La cote de fond du cours d'eau, au niveau de l'écoulement principal, est lue à chaque changement de faciès d'écoulements : fosses, plat et radier. La profondeur d'eau et la distance au point aval sont notées à chaque mesure.

La pente de l'Ardoux est ensuite déterminée par un calcul de régression linéaire de son profil en long. La droite de régression linéaire permet de caractériser la tendance de la pente du cours d'eau.

Un raccord a également été fait avec la cote limite amont du domaine du Bouchet et la cote radier amont du pont, là où le profil en long débute pour avoir une idée globale de la pente sur l'ensemble du domaine.

❖ Puissance spécifique

La puissance spécifique correspond à la quantité d'énergie que possède l'écoulement d'un cours d'eau pour transporter sa charge sédimentaire et qui doit être absorbée par sa friction (force de frottement de la paroi). Elle est donc indispensable à calculer puisqu'elle permet de caractériser ses potentialités dynamiques pour une crue de fréquence considérée et une section donnée.

Si l'énergie est absorbée par la friction, alors les sédiments se déposeront au fond du lit. En revanche, si l'énergie ne peut être absorbée par friction, le fond du cours d'eau et / ou les berges seront érodés.

La puissance spécifique se calcule de cette façon :

$$\text{Puissance} : \Omega = \rho QJ$$

Ω : Puissance en W/m-1 ;

ρ : Poids volumique de l'eau en N/m-3 ;

J : Pente de la ligne d'énergie en m/m (pente moyenne de la ligne d'énergie approchée par la pente moyenne du fond du lit estimée à partir des levés topographiques) ;

Q : Débit considéré en m³/s (crue de période de retour T = 2ans) ;

$$\text{Puissance spécifique} : \omega = \Omega / L$$

ω : Puissance spécifique en W/m-2 ;

L : Largeur du lit pour le débit Q en m (largeur moyenne pour le débit de pleins bords est évaluée à partir des profils en travers).

Une étude de la puissance spécifique de plusieurs cours d'eau évoluant sur des matériaux alluvionnaires au Danemark a démontré que les cours d'eau tendent à de nouveau recréer des sinuosités lorsque la puissance spécifique dépasse 35 W/m^2 (tableau 6) (Brookes, 1988).

Tableau 6 : Processus hydromorphologiques d'un cours d'eau en fonction de sa puissance

$\omega > 100 \text{ W/m}^2$	Cours d'eau se tressant activement
$35 \text{ W/m}^2 < \omega < 100 \text{ W/m}^2$	Cours d'eau se méandrisant activement
$5 \text{ W/m}^2 < \omega < 35 \text{ W/m}^2$	Cours d'eau stable
$\omega < 8 \text{ W/m}^2$	Cours d'eau avec sédimentation

❖ Granulométrie

La mesure de la granulométrie permet de répondre à plusieurs objectifs notamment de fournir des éléments complémentaires pour l'étude de la typologie du cours d'eau, d'évaluer le transport suffisant des sédiments ainsi que la rugosité granulométrique du lit (paramètre nécessaire pour les modélisations hydrauliques) et de donner une indication « d'habitat ». On la caractérise à l'aide du protocole de Wolman (1954) qui consiste à mesurer la largeur la plus importante de 100 éléments prélevés au hasard et constituant le radier de la station présentant la fraction granulométrique la plus grossière (Baudoin et al., 2017). Le protocole est expliqué plus en détail dans la partie 2.2.3.4.

❖ Faciès d'écoulement

Les différents faciès d'écoulement sont identifiés d'après la méthode Carhyce sur la base de la typologie présentée en annexe 5 qui identifie 11 types de faciès (Malavoi and Souchon, 2002). Cette typologie permet d'identifier les faciès d'écoulement selon l'aspect du profil en travers et du profil en long de l'Ardoux, sa vitesse d'écoulement et sa profondeur.

2.1.4. CARACTERISATION ET SUIVI DES ZONES HUMIDES ANNEXES

2.1.4.1. DEFINITION

Les zones humides sont définies comme des « terrains, exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire ; la végétation, quand elle existe, y est dominée par des plantes hygrophiles pendant au moins une partie de l'année » (Art. L.211-1 du Code de l'environnement précisé par l'arrêté interministériel du 24 juin 2008 modifié).

Elles peuvent se former de différentes manières et parfois suite à l'arasement d'ouvrages comme c'est le cas sur les rives de la Sélune (fleuve côtier de 85km se jetant dans la Manche). Ces travaux se sont réalisés en plusieurs phases de vidange et de gestion des sédiments longue (2014 – 2018). La végétation qui colonisa de façon spontanée les berges suite aux travaux était codominée par des espèces liées aux perturbations comme des espèces pionnières au cycle court (généralement rudérales ou adventices de culture), et des espèces de zones humides à hauteur de 35 à 40% de couverture du sol. En 2.5 ans d'évolution suite à l'arasement des barrages, il y a eu un gain d'espèces de zones humide de + 35% malgré les travaux qui sont intervenus pendant cette période (dénoisement de sédiments après chaque baisse de niveau qui ont eu lieu en 2014 et 2017) (Ravot et al., 2020).

Ainsi sur le site d'étude, le développement de la zone humide au niveau de l'ancienne assiette du plan d'eau de l'Ardoux n'est donc pas phénomène rare.

2.1.4.2. CARACTERISATION DES ZONES HUMIDES

Pour démontrer l'existence d'une zone humide, un protocole de l'arrêté d'identification et de délimitation des zones humides a été mis en place dès le 24 juin 2008, en application des articles L.214-7-1 et R.211-108 du code de l'environnement (annexe 6).

L'examen sur le terrain que présente la méthode a été appliqué au site d'étude. La recherche des zones humides existantes s'est faite à l'aide de critères relatif à l'hydromorphologie des sols et relatifs aux plantes hygrophiles.

2.1.4.3. EVALUATION DES FONCTIONS DE LA ZONE HUMIDE

Pour évaluer les fonctions d'une zone humide, il existe une méthode expliquée dans le « Guide de la méthode nationale d'évaluation des fonctions des zones humides » (MEFZH) (Gayet et al., 2016). L'intérêt de l'appliquer au site permet de savoir en quoi la restauration de l'Ardoux au niveau du premier secteur aurait comme conséquence pour la zone humide actuelle.

Cette méthode évalue trois fonctions hydrologiques, cinq fonctions biogéochimiques et deux fonctions en rapport avec l'accomplissement du cycle biologique des espèces tout en tenant compte des propriétés intrinsèques du site et de son environnement (Gayet et al., 2016).

2.1.4.4. PROSPECTION DE TERRAIN

Des relevés pédologiques et botaniques ont été réalisés par Marine Colombey, technicienne Appui aux acteurs et mobilisation des territoires à la direction régionale de l'OFB, et Guillaume Demange, apprenti OFB en Gestion des Espaces Naturels et Agricoles en début d'année 2020. Dans le cadre de cette étude, des relevés botaniques complémentaires ont été réalisés le 31 juillet 2020. La détermination des plantes s'est faite à l'aide de :

- L'Atlas de la flore sauvage du département du Loiret (Pujol et al., 2007)
- La clé de détermination des Cypéracées du Centre-Val-de-Loire (Cordier, 2017)

2.2. METHODES DE DIMENSIONNEMENT

2.2.1. RESTAURATION HYDROMORPHOLOGIQUE DE L'ARDOUX

La restauration écologique, est un processus qui assiste l'autoréparation d'un écosystème qui a été dégradé, endommagé ou détruit (*The SER International Primer on Ecological Restoration*, 2004). La restauration hydromorphologique des cours d'eau est partie intégrante de ce processus. Elle nécessite en fonction de la puissance spécifique du cours d'eau, une mise en œuvre soignée des travaux afin de permettre une cicatrisation rapide et une remise en état des habitats présents. De fait, elle va rétablir les processus physiques, assurer une bonne stabilité et une bonne résilience du milieu en visant un effet sensible sur les communautés biologiques.

Différents types d'opérations de restauration hydromorphologique existent :

- ✓ Le reméandrage
- ✓ L'effacement ou le contournement d'ouvrage
- ✓ La remise dans le talweg
- ✓ La recharge du matelas alluvial
- ✓ La suppression de contraintes latérales
- ✓ La diversification des habitats (Boutet-Berry, 2020b)

Trois méthodes sont possibles pour dimensionner au mieux le projet. I) La méthode par analogie va permettre de reproduire les caractéristiques morphologiques d'un tronçon non altéré du même cours d'eau ou d'un cours d'eau voisin ou historique (Palmer, 2009; Sundermann et al., 2011). II) La méthode par approche empirique

régionalisée va se caractériser par le mimétisme des formes fluviales caractéristiques à l'échelle d'une région hydromorphologiquement homogène. Enfin III), la méthode analytique sera appliquée à partir d'équations de transport solide et de modèles hydrauliques. Généralement les différentes approches nécessitent d'être combinées.

L'ouvrage « La Recréation de Cours d'Eau » du CATER (Fournials, 2018) parle également de méthode ASR (avec station de référence), pouvant correspondre à la méthode analogique et la méthode empirique régionalisée, et la méthode SSR (sans station de référence) correspondant à la méthode dite analytique.

N'ayant pas de station de « référence hydro-morphologique » présente sur l'Ardoux, la première étape a été de rechercher un secteur en cours de réajustement possédant les caractères de référence du cours d'eau avant d'utiliser la méthode analytique.

2.2.2. SECTEUR DE REFERENCE

2.2.2.1. PRESENTATION

Le secteur de référence doit indiquer les principales caractéristiques morphologiques à recréer en présentant le moins possible d'altérations physiques tout en étant représentative du type de cours d'eau concernés.

Il peut être historique (anciens tracés, cartographies et gabarits avant travaux) ou géographique (à l'amont de la perturbation, à l'aval de la perturbation, par extrapolation par rapport à des cours d'eau voisins, par extrapolation de zones en cours d'autoépuration). Il doit également valoir au moins 14 fois la largeur moyenne à pleins bords et si possible être délimité par des radiers (Fournials, 2018).

2.2.2.2. RECHERCHE DU SECTEUR DE REFERENCE

La sortie de prospection du secteur de référence s'est tenue le vendredi 10 juillet en compagnie de Clémence Poissonnier et Laetitia Boutet-Berry.

2.2.3. RECHERCHE DES PARAMETRES DE REFERENCE

2.2.3.1. TRACE EN PLAN ET SINUOSITE

L'évolution de l'Ardoux, et des cours d'eau en général, peut être observée avec l'étude de photographies et de cartes pouvant dater de plus de 250 ans. Cette analyse visuelle permet de déterminer le niveau d'altération qu'a subi le cours d'eau en plus de connaître son état de référence. Le tracé historique de l'Ardoux a donc été recherché par analyse cartographiques aériennes provenant des sites www.geoportail.gouv.fr et www.remonterletemps.ign.fr.

Les données Lidar (Light detection and ranging) issues du SIEL (Système d'information des évolutions du lit de la Loire) ont également été exploitées. Fonctionnant sur le même principe que les radars avec des ondes lumineuses émises par un laser à la place des ondes radio, l'analyse des retours d'ondes lumineuses permet de calculer la distance par rapport aux obstacles. De fait, cela permet d'obtenir une topographie détaillée sous forme de nuage de points en 3D. Autrement dit, ces données peuvent mettre en évidence les anciens tracés des cours d'eau lorsque le sol n'a pas été trop remanié. Ces données ont été obtenues dans la rubrique des Modèles Numérique de Terrain (MNT) sur le site <http://www.centre-val-de-loire.developpement-durable.gouv.fr> puis analysées sous le logiciel ArcGIS.

Enfin, des documents anciens permettent parfois de retrouver l'ancien tracé du cours d'eau d'origine. Pour cela, une première demande d'archives a été passée auprès du SMETABA. La Direction des Archives départementales du département du Loiret a été contactée dans un second temps.

Le coefficient de sinuosité (SI) de référence a été déterminé à l'aide des cartes de l'état-major disponibles sur Géoportail. Il a été calculé à partir de la même technique que celle utilisée pour le SI actuel au droit du projet.

2.2.3.2. GABARIT

Le gabarit d'un cours d'eau correspond aux dimensions de son lit mineur, à savoir la largeur à plein bord (L_{PB}) ainsi que la profondeur à plein bord (P_{PB}), avant débordement. Un gabarit naturel est adapté au régime hydrique du cours d'eau tout en lui permettant d'inonder la plaine alluviale lors de crues de fréquences régulières. Il correspond approximativement à un gabarit permettant d'entonner une crue moyenne journalière de retour 2 ans ou crue de fréquence biennale autrement appelé Q_2 (Malavoi and Bravard, 2011).

C'est un élément majeur à la réussite de la restauration car il conditionne la capacité hydraulique et la puissance du cours d'eau. En plus de cela, il permet de dimensionner le rapport de forme (L_{PB}/P_{PB}), les successions de faciès et d'aider à la définition du tracé en plan à partir de sa largeur et sa hauteur à plein bord.

Les 2 types de méthodes qui permettent d'estimer le gabarit ont été appliqués au droit du projet. Il s'agit de :

- **La méthode par mesures de profils en travers** de gabarits sur des secteurs de référence
- **La méthode par le calcul** avec les débits de crue moyens journaliers et le rapport de surfaces de bassins versants (méthode analogique).

Il est néanmoins recommandé de croiser ces deux méthodes tout en privilégiant l'estimation du gabarit de plein bord d'un cours d'eau altéré via la première méthode des mesures de profils en travers (Bramard and Boutet-Berry, 2020).

La **méthode par mesures de profils** en travers qui consiste à estimer le gabarit en effectuant plusieurs profils en travers sur des secteurs de référence peut se faire à partir de :

- Un secteur identifié non ou peu altéré (généralement appelé secteur ou station de référence) situé en amont ou aval du cours d'eau à restaurer
- Des traces encore visibles sur le terrain sur un tracé ancien du cours d'eau à restaurer
- Un secteur où le cours d'eau altéré s'est réajusté en créant des banquettes alternes
- Un secteur où le cours d'eau altéré par incision présente en berges un étagement de la végétation rivulaire
- L'analyse d'archives
- Un cours d'eau voisin

Dans le cas de l'Ardoux, la méthode par mesures de profils en travers s'est faite à partir d'un secteur où le cours d'eau altéré s'est réajusté en créant des banquettes alternes (Cf. 3.2.2.3). Plusieurs profils ont ainsi été mesurés à l'aide de mire et la moyenne des L_{PB} et P_{PB} a ensuite été déterminée.

Pour ce qui est de la **méthode par le calcul**, il a suffi de reprendre les valeurs de Q_{PB} obtenus à partir de la formule de Mayer présentée en 2.1.2. A partir de là, on a pu déduire les largeurs et profondeurs à plein bord de la section permettant d'écouler le débit de crue estimé avec les calculs présentés ci-dessous.

Calcul de la largeur :

$$W = \left(\frac{Q_b (1 + 2\alpha)^{2/3}}{K_s i^{1/2} \alpha^{5/3}} \right)^{3/8}$$

Calcul de la profondeur :

$$D = \alpha W$$

Où $\alpha = D/W$ (Fournials, 2018)

Pour utiliser ses formules, il a fallu :

- Estimer le débit de plein bord
- Calculer la pente i du secteur restauré. Pour cela il suffit de reprendre la pente déterminée postérieurement (Cf. 3.1.2.2)
- Connaître le rapport régionalisé de forme L_{PB}/P_{PB} qui est choisi en fonction du type de cours d'eau et notamment à la sinuosité et à la cohésion des futures berges. Cette valeur varie généralement de 6 à 8 pour les petits cours d'eau de plaine de faible énergie et aux berges de nature cohésives.
- Estimer le coefficient de rugosité K_s du futur lit mineur. Il peut être calculé suivant plusieurs méthodes (méthode de Cowan, méthode empirique, etc.) mais doit toujours être évalué en tenant compte que le nouveau lit est plus lisse qu'un lit naturel dans les premiers temps (le développement de la strate arbustive et arborée peut prendre plusieurs décennies) (Bramard and Boutet-Berry, 2020).

2.2.3.3. SUCCESSION DE FACIES ET REPARTITION DE LA PENTE

Le choix du tracé en plan détermine la manière dont le cours d'eau sera restauré entre les points A (limite amont) et B (limite aval) en suivant l'axe de la ligne du talweg prédéfini tout en respectant certains paramètres comme c'est le cas de la pente (Fournials, 2018). Dans un premier temps, la longueur totale en fonction du SI de référence est calculé :

$$L_{\text{finale}} = L_{\text{altérée}} \times \text{SI de référence}$$

Une fois cette valeur obtenue, on calcule la longueur d'onde λ , qui correspond à la distance entre chaque radier, par le calcul suivant :

$$\lambda = 10 \times L_{PB}$$

Le nombre de point d'inflexion n (qui correspond au nombre de radeaux) est ensuite calculé :

$$n = L_{\text{finale}} / \lambda$$

Enfin, la pente est répartie sur l'ensemble de la zone à restaurer. Pour cela il suffit de connaître le ΔZ (différentiel altimétrique entre l'amont et l'aval du projet) et de le répartir sur le nombre de radeaux précédemment déterminé. Ainsi :

$$\text{Pente au droit des radeaux} = n / \Delta Z$$

2.2.3.4. MATELAS ALLUVIAL

Pour caractériser la granulométrie de référence, le protocole Wolman (1954) a été appliqué sur 100 éléments du substrat d'une station de référence. Chaque élément a été prélevé de façon aléatoire à distance égale sur la station, tant en lit mouillé que sur le radier. Ils ont été mesurés à l'aide d'un pied à coulisse au niveau de la perpendiculaire du plus grand axe.

La fraction de chaque élément a ensuite été déterminée à l'aide de l'échelle granulométrique de Wentworth (1922) modifiée par Souchon and Malavoi (1989) présentée dans l'annexe 7.

2.3. DIMENSIONNEMENTS DE SUIVI

2.3.1. LE DIMENSIONNEMENT DU SUIVI SCIENTIFIQUE MINIMAL (SSM) ET SITE DE DEMONSTRATION NATIONAL

Le SSM est une démarche initiée afin de proposer un cadre commun d'élaboration, de mise en œuvre, d'analyse et d'interprétation des suivis écologiques des opérations de restauration hydromorphologique des cours d'eau.

Ce SSM est le suivi standardisé nécessaire pour intégrer le réseau de « sites de démonstrations » (annexe 8), auquel ce projet de restauration hydromorphologique de l'Ardoux envisage de faire partie.

Le SSM impose de rigoureusement positionner trois stations de suivi de façon à caractériser les évolutions du milieu liées à l'opération de restauration. Elles doivent être positionnées de manière à assurer la représentativité morphodynamique, biologique du linéaire et rendre compte au mieux de l'atteinte des objectifs principaux de l'étude. Les trois types de stations sont :

- La station Restaurée. C'est la station qui permet de suivre les évolutions liées à l'opération de restauration du site. L'objectif est de pouvoir suivre l'évolution de l'hydromorphologie et des peuplements biologiques au niveau des travaux réalisés.
- La station Témoin non altérée (TNA). Cette station ne subit pas l'altération liée aux travaux et en est peu ou pas influencée. Elle est de préférence positionnée sur le même tronçon, en amont du site restauré. Son objectif est de détecter des modifications du système pouvant impacter l'hydromorphologie ou les peuplements biologiques n'étant pas liés aux travaux.
- La station Témoin altérée (TA). Il s'agit d'une station impactée par le même type d'altération que la station Restaurée avant travaux. Comme la station TNA, elle ne doit pas subir d'altération liée aux travaux et doit être positionnée sur le même tronçon, et idéalement en amont du linéaire restauré. L'objectif de la station TA est de quantifier l'évolution du milieu et des peuplements sur une station subissant le même type d'altération, mais n'ayant pas bénéficié de travaux de restauration (Rolan-Meynard et al., 2019).

Les trois compartiments qui font l'objet d'un suivi sont présentés dans le tableau 7 avec les protocoles qui leurs sont associés.

Tableau 7 : Synthèse des méthodes, protocoles et paramètres mesurés des suivis à réaliser dans le cadre du SSM

Compartiment suivi	Paramètres mesurés	Protocole	Référence	Objectifs du protocole
Hydromorphologique	L_{PB} , rapport Largeur/profondeur, Q_{PB} , puissance spécifique plein bord, H_{PB} , profondeur, substrat minéral, berges, faciès, etc.	CARHYCE (Caractérisation hydromorphologique des cours d'eau)	(Baudoin et al., 2017)	Caractérisation hydromorphologique des cours d'eau par application d'un protocole de terrain. L'objectif est de suivre les évolutions apportées par le reméandrage (reprise des processus d'érosion/ de dépôt, diversification des écoulements).
Biologique	IPR	Guide pratique de mise en œuvre des opérations de pêche à l'électricité	(Belliard et al., 2012)	Suivre l'évolution des peuplements avant-après travaux, les effets de la diversification des habitats sur les peuplements en lien avec la qualité de l'eau et le fonctionnement hydrologique.
	I2M2	Norme NF T90-333 NF T90-733	(AFNOR, 2017, 2016)	
	IBMR	Norme NF T90-395	(AFNOR, 2003)	
Physico-chimique	Température, pH, conductivité, oxygène dissous, turbidité, paramètres liés à l'azote, au phosphore, au carbone organique, paramètre de l'eutrophisation (facultatif)	Guide du prélèvement d'échantillons en rivières	(Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2006)	Suivre l'évolution de la physico-chimie, détecter des perturbations éventuelles.

2.3.2. LE DIMENSIONNEMENT DE SUIVI DES ZONES HUMIDES ANNEXES

2.3.2.1. PRESENTATION DU CHOIX DU SUIVI

Pour suivre l'état, les fonctions et les pressions des zones humides du domaine du Bouchet, le choix s'est porté sur la Boîte à Outils (BAO) pour le suivi de milieux humides lié au programme LigérO, qui est un dispositif d'observation engagé sur le bassin de la Loire. Ce programme découle du projet MhéO coordonné par la Fédération des Conservatoires d'Espaces Naturels (CEN) qui a permis d'attribuer une définition commune aux protocoles de suivis et de l'évaluation des milieux humides. La démarche de LigérO a un double objectif :

- Evaluer l'état de conservation des fonctionnalités des zones humides
- Suivre et évaluer l'efficacité des travaux de restauration des zones humides (Blanchet and Hubert, 2018)

L'intérêt est également de mettre en pratique la formation sur l'utilisation de la BAO proposées au centre de formation du Bouchet.

2.3.2.2. PROTOCOLES ET INDICATEURS

Les protocoles et indicateurs que propose le programme LigérO présentés ci-dessous sont décrits dans le programme RhoméO (Conservatoire d'espaces naturels de Savoie, 2014).

La méthode préconise la mise en place de cinq protocoles (PO) permettant de faire le suivi des sept indicateurs (I) suivants :

- I01 : Niveau d'humidité du sol (PO1)
- I02 : Indice floristique d'engorgement (PO2)
- I03 : Dynamique hydrologique de la nappe – piézomètres (PO3)
- I06 : Indice floristique de fertilité du sol (PO2)
- I07 : Intégrité du peuplement d'odonates (PO6)
- I08 : Indice de qualité floristique (PO2)
- I11 : Intégrité du peuplement d'amphibiens (PO7)

Les protocoles sont présentés en annexe 9.

3. RESULTATS

3.1. DIAGNOSTIC DU MILIEU ACTUEL

3.1.1. HYDROGRAPHIE ET HYDROLOGIE

3.1.1.1. GENERALITES

L'Ardoux s'écoule sur un linéaire de 47 km prenant sa source à Ardon dans le Loiret (45) avant de confluer avec la Loire à Saint-Laurent-Nouan dans le Loir-et-Cher (41). Les cinq principaux affluents de l'Ardoux sont d'amont en aval : le Petit Ardoux, le ru de Vézenne, le ruisseau de Beauregard, l'Ime et le ruisseau de Geloux.

L'ensemble du chevelu de l'Ardoux et de ses affluents s'étale sur plus de 108 km pour une surface de bassin versant de 386 km². Le linéaire du réseau hydrographique est donc considéré comme faible puisque sa densité est de 0.3 km/km².

Au droit du projet, la surface du bassin versant est estimée à 163 km² (figure 6).

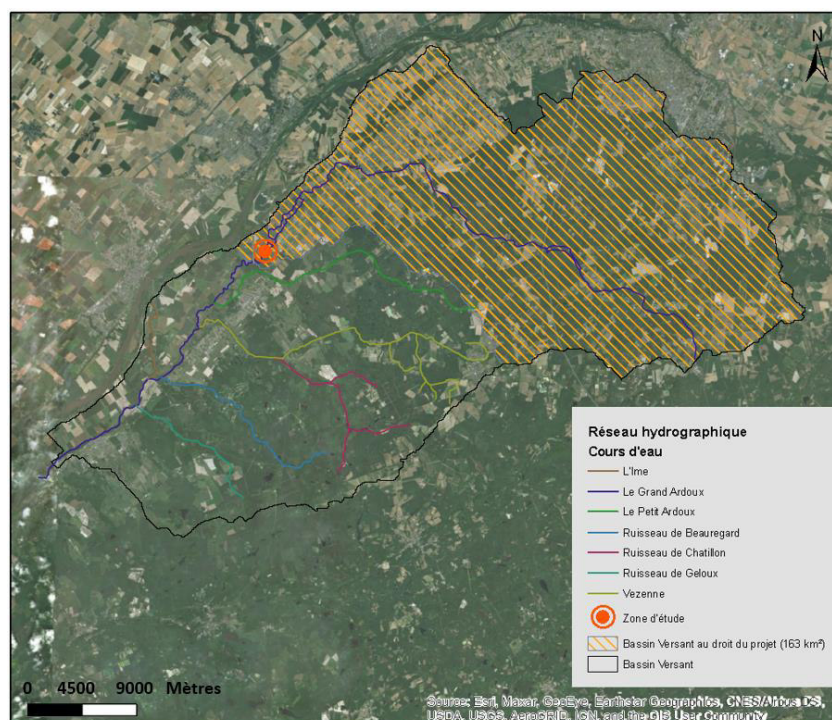


Figure 6 : Bassins hydrologiques de l'Ardoux (BD Carthage – ArcGIS)

L'Ardoux et l'ensemble de ses affluents sont répartis sur cinq masses d'eau présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 8 : Masses d'eau du bassin versant de l'Ardoux

NOM DE LA MASSE D'EAU	LIMITES GEOGRAPHIQUES DE LA MASSE D'EAU
FRGR1566	L'Ardoux et ses affluents depuis la source jusqu'à Ardon
FRGR0300	L'Ardoux depuis Ardon jusqu'à sa confluence avec la Loire
FRGR1122	Le Petit Ardoux et ses affluents depuis la source jusqu'à sa confluence avec l'Ardoux
FRGR1111	Le Vézenne et ses affluents depuis la source jusqu'à sa confluence avec l'Ardoux
FRGR1091	Le Rau de Saint-Laurent-Nouan et ses affluents depuis la source jusqu'à sa confluence avec l'Ardoux

La zone d'étude appartenant à la masse d'eau FRGR0300, possède un rang de Strahler de niveau 1 car est située à l'amont de ces principaux affluents (figure 7).

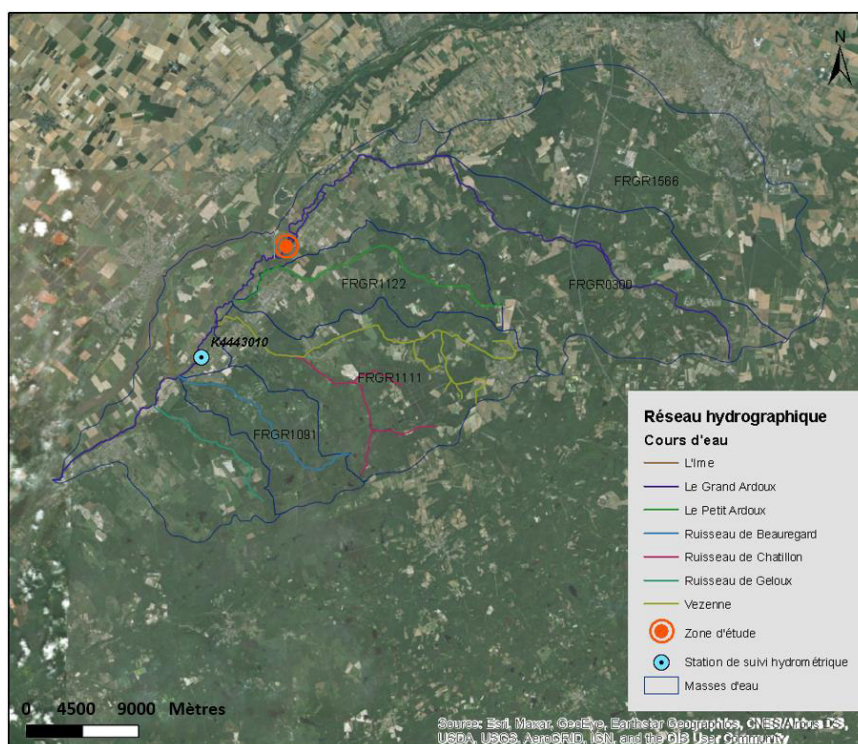


Figure 7 : Réseau hydrographique du bassin versant de l'Ardoux (SMETABA – BD Carthage – ArcGIS)

3.1.1.2. REGIMES HYDROLOGIQUES

- **STATION HYDROLOGIQUE DE LAILLY-EN-VAL**

Une station de jaugeage de la banque nationale de données pour l'hydrométrie et l'hydrologie (Banque HYDRO) est située au sein du bassin versant de l'Ardoux (tableau 9). Elle est localisée à 7 km en aval de la zone d'étude, après l'affluence du Petit Ardoux et du Vézénne.

Tableau 9 : Station de suivi hydrométrique de l'Ardoux à Lailly-en-Val

Code station	Libellé station	Code masse d'eau	Libellé masse d'eau	Surface du bassin versant	Période du suivi
K4443010	L'Ardoux à Lailly-en-Val	FRGR0300	L'Ardoux depuis Ardon jusqu'à sa confluence avec la Loire	222 km ²	1967 - 2019

Le tableau présenté ci-dessous détail les débits caractéristiques calculés au niveau de la station sur une durée de 52ans (1967 à 2019).

Tableau 10 : Données principales du suivi hydrologique de l'Ardoux à Lailly-en-Val entre 1967 et 2019

QMNA5 (m ³ /s)	0.024	Q10	8
Module (m ³ /s)	0.521	Q50	11.5
DC10	0.043	Q100	Non calculé
Q2	4.1		

Le régime hydrologique de l'Ardoux est de type « tempéré océanique » à savoir que l'alimentation du cours d'eau est essentiellement influencée par la pluviométrie et non par les nappes aquifères (Cf. 3.1.1.3).

- **STATION RCS A CLÉRY-SAINT-ANDRÉ**

Le réseau de contrôle de surveillance (RCS) des eaux douces de surface concerne les cours d'eau, les canaux et les plans d'eau. Son but est d'évaluer l'état général des eaux et à suivre les changements à long terme de l'état des eaux suite à des changements d'origines naturels ou anthropiques. Il est constitué de sites pérennes répartis sur l'ensemble du territoire.

Opérationnel depuis janvier 2007, chacune des stations qui le composent fait l'objet de suivis physico-chimiques et biologiques tous les deux ans, conformément à l'arrêté du 25 janvier 2010 établissant un programme de surveillance de l'état des eaux en application de l'article R. 212-22 du code de l'environnement.

La station RCS à Cléry-Saint-André dispose donc de 7 campagnes de données réalisées entre 2007 et 2019 sur les indicateurs biologiques (IPR, IBG DCE, IBMR, IBD) et paramètres physico-chimiques DCE ainsi que deux campagnes Carhyce en 2011 et 2017.

- **DEBITS D'ETIAGE ET DE MODULE**

Après interprétations des données issues de la reconstitution des chroniques de débit issues de la base de données CEMAGREF / IRSTEA, on obtient les résultats suivant :

- Un module à 0.475 m³/s
- Un Q2 à 4.894 m³/s
- Un Q10 à 9.406 m³/s

- **DEBITS CARACTERISTIQUES AU DROIT DU PROJET : Q_{PB}**

Le Q_{PB} actuel au droit du projet a été obtenu à partir de deux formules. Le tableau suivant fait une synthèse des données et résultats obtenus à partir de la formule de Manning-Strickler :

Tableau 11 : Synthèse des valeurs du calcul du débit plein bord

Paramètres	Provenance de la donnée	Valeurs
L _{PB} (moyen en m)	Partie 3.1.2.1	8.08
P _{PB} (moyen en m)	Partie 3.1.2.1	1.09
Pente (en m/m)	Partie 3.1.2.2	0.0018
K (coefficient de rugosité)	Calcul - méthode en 2.1.2	21
Q_{PB} (m³/s)		8.31

Les résultats obtenus à partir de la formule de Mayer sont présentés en 3.2.2.3 par souci de répétition et puisqu'ils sont également nécessaire pour déterminer les dimensions du gabarit à restaurer.

3.1.1.3. NAPPES AQUIFERE EN RELATION AVEC L'ARDOUX

Deux réservoirs aquifères sont connectés au réseau hydrographique de l'Ardoux :

- La nappe de Beauce
- La nappe alluviale de la Loire

Au droit de la zone d'étude, une seule des deux nappes est présente à savoir la nappe alluviale de la Loire. Elle est d'ailleurs visible aux abords de l'Ardoux à certains endroits sous forme d'affleurements d'eau ou de saturation des alluvions à faible profondeur (Colin, 2019).

3.1.2. CARACTERISTIQUES HYDROMORPHOLOGIQUES DE L'ARDOUX

3.1.2.1. LIT MINEUR ET SINUOSITE

Le lit mineur de l'Ardoux se situe en rive gauche de la plaine alluviale de la Loire.

Les 1200 m de linéaire sur le site à restaurer sont caractérisés par un indice de sinuosité estimé à 1.05, soit une valeur relativement faible. Il est considéré comme cours d'eau subrectiligne. Au niveau de la zone humide, apparue que récemment, l'Ardoux ne présente pas non plus un profil très sinueux. Il aurait plutôt tendance à se soumettre au substrat qui compose son lit mineur à savoir de la vase.

Trois profils en travers ont été réalisés à trois endroits présentant des caractéristiques différentes malgré un linéaire relativement homogène. La largeur du lit plein bord variant de 6.4 à 10.4 m présente un profil de lit emboîté, traduisant des modifications importantes de l'Ardoux dont l'origine est sans doute anthropique. Les hauteurs de berges traduisent également une forte incision. Les dimensions moyennes obtenues sont :

- $L_{PB} = 8.08 \text{ m}$
- $P_{PB} = 1.09 \text{ m}$

Leurs représentations sont présentées en annexe 10.

3.1.2.2. PENTE

La pente du lit mineur de l'Ardoux est très faible (figure 8). Elle indique une pente moyenne de 0.0018 m/m, soit une pente de 1.8‰. Elle a été caractérisée sur le troisième secteur du site d'étude ce qui représente un dénivelé de 37.6 cm pour un linéaire de 830 m de long. Si l'on rajoute le raccord côte limite amont du domaine du Bouchet au profil en long, on obtient une pente encore plus faible, de 0.2‰ (la courbe est présentée en annexe 11). Le dénivelé obtenu entre ces deux limites est de 22 cm pour 380 m de linéaire. Au total le dénivelé entre les deux limites amont et aval du site d'étude est de 59.6 cm sur une longueur de 1210 m.

Si l'on se réfère à la méthode préconisée par STREAM-CE qui permet de connaître la **pente de l'eau**, le résultat s'avère totalement différent à la pente obtenue au droit du secteur 3. En effet, le calcul indique une pente de 0.53‰ soit une différence d'un peu plus de 1.2‰. Cette différence s'explique en raison de l'effet retenu causé par les ouvrages présents sur le cours d'eau.

La valeur qui a été retenue pour la suite de l'étude est celle de la droite d'équation linéaire à savoir 1.8‰.

Sur le profil en long présenté ci-dessous on remarque la présence de différents ouvrages ayant plus ou moins un impact sur le profil en long du cours d'eau. De façon générale, le lit du cours d'eau a tendance à s'affaisser en aval d'un ouvrage par la formation d'une fosse de dissipation de l'énergie de l'eau occasionnée par la chute d'eau. Les embâcles présents sont les restes d'un ancien barrage de castor, qui n'est plus habité depuis quelques temps. Une zone type plateau est également visible de 24.8 à 570.7 m sur le profil en long. Cette zone est le résultat d'une accumulation de sédiments due à des embâcles présents en aval de la zone occasionnant un effet de retenu (visible sur le profil de la ligne d'eau).

Profil en long de l'Ardoux

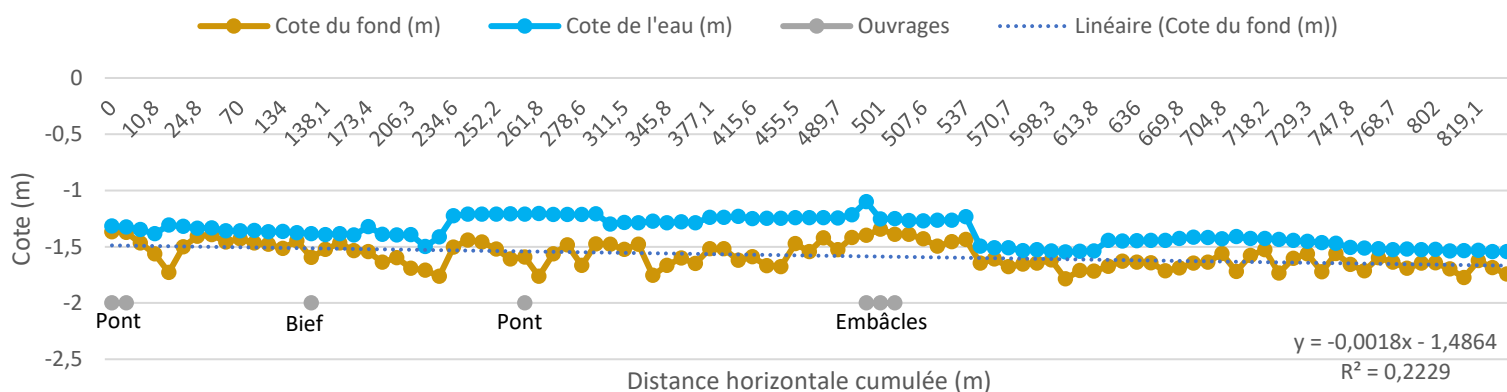


Figure 8 : Profil en long et droite de régression linéaire du fond du lit mineur de l'Ardoux

3.1.2.3. PUISSANCE THEORIQUE

Les valeurs utilisées pour calculer la puissance spécifique sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 12 : Synthèses des valeurs du calcul de la puissance spécifique

Paramètres	Valeurs
ρ	9807 N/m ³
J	0.0018 m/m
Q	8.31 m ³ /s
L	8.08 m

Ainsi pour un débit Q_{PB} estimé à 8.31 m³/s, la puissance spécifique de l'Ardoux est estimée à 18.16 W/m², ce qui correspond à un débit peu énergétique où les processus d'érosion des berges ou d'apport de solides sont nuls.

3.1.2.4. FACIES D'ÉCOULEMENT

Les sorties de terrain ont fait état de :

- Lamme d'eau < 60 cm sur l'ensemble de la zone étudiée (présence de fosses de 56 cm de profondeur maximum)
- Vitesse d'écoulement faibles sur l'ensemble de la zone étudiée
- Profils en travers généralement symétrique (même si quelques fosses étaient présentes)

Le secteur d'étude est majoritairement occupé par un seul type de faciès d'écoulement : le plat lentique. Cependant deux autres types de faciès ont pu être observés tels que des fosses d'affouillement et des plats courants.

3.1.2.5. MATELAS ALLUVIAL

Les nombreuses visites de terrains nous montrées que le matelas alluvial sur le site d'étude est essentiellement composé d'alluvions avec certains endroits où des matériaux sableux sont retrouvés. On retrouve également une grande quantité de matériaux organiques fins (vase) qui sédimentent, notamment au niveau de l'ancienne assiette du plan d'eau. De fait, le protocole de Wolman (1954) n'a pas pu être appliqué en raison d'un manque de radier et plat lentique sur le cours d'eau montrant une granulométrie plus importante.

3.1.2.6. BERGES

Malgré la différence entre les profils en travers étudiés, certaines similitudes ressortent :



Figure 9 : Bouches de terrier de ragondin creusées dans la berge de l'Ardoux

- Une puissance spécifique faible donc peu favorable aux processus érosifs latéraux
- Un tracé du lit mineur majoritairement rectiligne traduisant un potentiel érosif faible
- Une absence de protection de berge

Les hauteurs de berges sont assez importantes au niveau de la zone rectifiée attestant de l'incision du lit et présentent de nombreuses cavités dont les ragondins sont à l'origine (figure 9). Ces bouches de terriers sont responsables de l'accélération du phénomène d'érosion en pied de berge et de leur effondrement.

3.1.3. ZONES HUMIDES

3.1.3.1. IDENTIFICATION ET DELIMITATION

Plusieurs zones humides sont présentes sur le site du Bouchet. Trois mares ont été inventoriées ainsi que l'assiette de l'ancien plan d'eau (figure 10). Ces zones sont visibles sur les images du Lidar (annexe 15).



Figure 10 : Localisation des zones humides annexes du domaine du Bouchet (OFB - ArcGIS)

3.1.3.2. INVENTAIRE FAUNISTIQUE

Un inventaire entomologique a été réalisé en 2020 par le laboratoire d'éco-entomologie d'Orléans sur l'ensemble du domaine du Bouchet. En tout, 1 935 observations ont été effectuées pour un total de 239 espèces répertoriées dont 15 espèces d'intérêt patrimonial (Chapelin-Viscardi, 2020).

Parmi celles-ci, *Donacia crassipes*. Toutes les espèces de donacies sont menacées au niveau régional et classées déterminantes des Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique (ZNIEFF). Elles se

développent aux dépens de la végétation aquatique ou subaquatique (Bordy et al., 2012) et sont en régression au niveau national et européen. Elle a été observée sur les nénuphars sur lesquels elle se développe (*Nymphaea alba* et *Nuphar lutea*), situés au niveau de la zone humide de l'ancien étang (secteur n°1).

Cet inventaire met également en avant la présence de *Coenagrion mercuriale*, une demoiselle protégée et inscrite à la Directive Habitat européenne. Cette espèce a été observée au niveau de la mare du château, la mare de la ferme et le long de l'Ardoux (Chapelin-Viscardi, 2020).

L'intérêt des milieux aquatiques et humides est donc essentiel au maintien de nombreuses espèces dont celles citées précédemment qui sont respectivement des espèces menacées et protégées.

L'inventaire complet est présenté en annexe 12.

3.1.3.3. INVENTAIRE FLORISTIQUE

Le Conservatoire Botanique National du Bassin Parisien (CBNBP) prévoit de réaliser un inventaire floristique ainsi qu'une cartographie phytosociologique de la flore des prairies ainsi que des zones humides sur les périodes de mai et juillet 2021 du domaine du Bouchet.

Celui réalisé avec Marine Colombey donne déjà un aperçu du cortège floristique présente sur les zones humides avec un total de 50 espèces déterminées sur l'ensemble des zones humides du domaine du Bouchet. Les résultats sont présentés en annexe 13.

3.2. DIMENSIONNEMENT DU PROJET

3.2.1. STATION DE REFERENCE

Ayant fait l'objet de profondes modifications pour des raisons d'usages et d'enjeux sur la totalité de son linéaire, aucune station de référence n'a pu être retrouvée sur l'Ardoux. En effet, les interventions sur le cours d'eau ont pu être décelées dès le XIX^{ème} siècle avec l'apparition de l'étang sur le domaine du Bouchet.

Cependant, une station située à l'amont du site d'étude (figure 11) a retenu l'attention puisqu'elle présentait des caractéristiques de réajustement pouvant servir de référence à savoir un profil de réajustement en banquettes plus ou moins matures et une granulométrie plus grossière que le reste du cours d'eau. Les mesures des profils en travers au niveau des banquettes les plus matures ont été utilisées notamment la moyenne de ses L_{PB} et P_{PB} ainsi que la granulométrie (détaillées dans les parties suivantes) pour mener la méthode de dimensionnement par analogie.

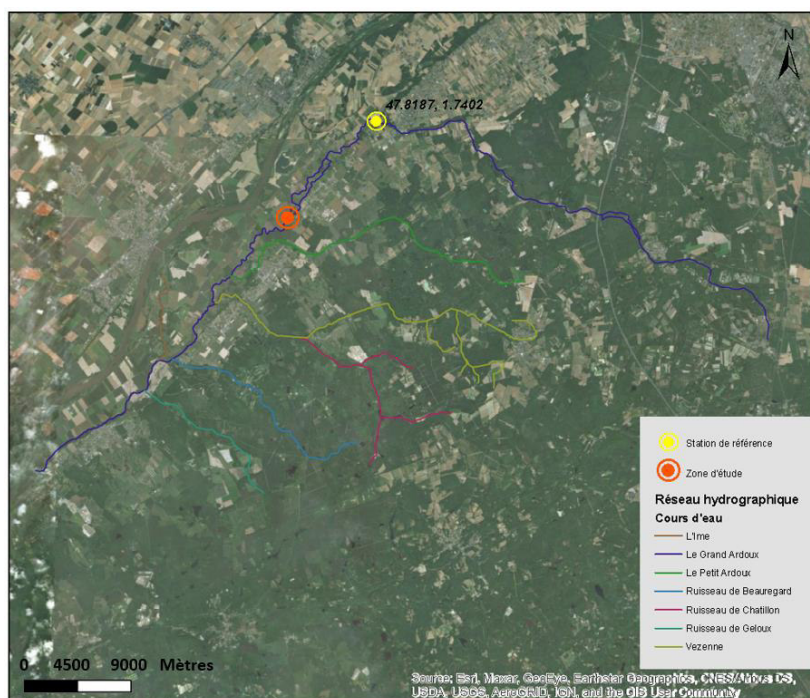


Figure 11 : Localisation de la station de référence avec coordonnées GPS (ArcGIS)

3.2.2. PARAMETRES DU DIMENSIONNEMENT

3.2.2.1. TRACE EN PLAN

Les recherches de références historiques du domaine du Bouchet ont débuté avec les cartes de Cassini datant de XVIIIème siècle qui n'ont rien montré de très détaillé (figure 12). Le cours d'eau semble divisé en deux bras, large et rectiligne à une échelle peu précise.

La carte de l'état-major (1820-1866) (figure 13) indique déjà la présence de l'étang avec un tracé de l'Ardoux plus sinueux que celui de la carte précédente. Le tracé semble avoir peu évolué par rapport au tracé actuel et on remarque que le bras de contournement n'est pas encore présent. Les bâtiments du domaine sont déjà présents ce qui laisse supposer que l'étang fut aménagé à cette période tout comme le reste du cours d'eau.



Figure 12 : Carte de Cassini (Géoportail)

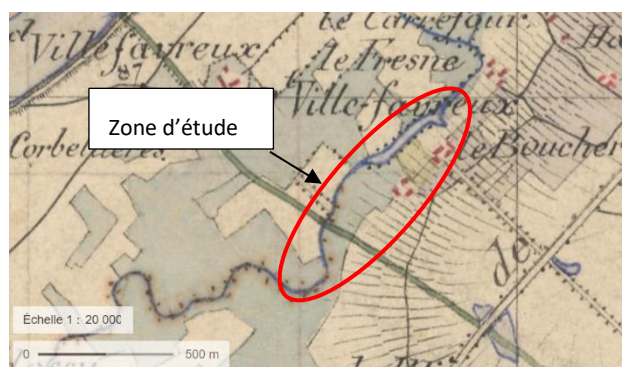


Figure 13 : Carte de l'état-major (1820-1866) (Géoportail)

Après une recherche sur les cartes historiques peu concluante, les recherches se sont tournées sur les archives du domaine.

Les documents consultés aux archives départementales n'ont pas permis de connaître le gabarit d'origine mais permettent de dater la création du bras de contournement en l'an 1869. C'est également à cette période que l'Ardoux a été recalibré (1m pour la P_{PB}, 4m de L_{PB}, des berges inclinées à 45°).

Les dernières interventions survenues sur le cours d'eau suite à l'élargissement du lit mineur, sont des opérations de curages et d'entretien de la ripisylve du chenal de l'Ardoux. Ces interventions datent du XIX^{ème} siècle et furent répétées jusqu'au XX^{ème} siècle. Des archives datant de la fin du XX^{ème} siècle ont montré que de grands travaux ont eu lieu en 1991 suite au recalibrage effectué en 1981, qui n'avait pas été « entretenu » depuis (annexe 14).

Une étude réalisée en 2019 par le bureau d'étude Ingérop de l'Ardoux sur un site d'étude localisé en aval du bassin versant montre que le cours d'eau est bel et bien dans son talweg d'origine mais présente un lit mineur relativement modifié (Colin, 2019).

Concernant les données Lidar, elles ne permettent pas de dire si le lit mineur du cours d'eau est bien dans son talweg d'origine (annexe 15). En revanche, elles mettent en évidence la trace d'un ancien bras connectant le Grand Ardoux avec le Petit Ardoux.

Dans le cas où l'Ardoux ne serait pas dans son talweg d'origine, des études complémentaires pourraient être réalisées via des études topographiques à partir du LiDAR du SIEL (outils profils de Qgis) et pédologiques de terrain et ce par de la géodétection (radar de sol), ou de la détection des horizons avec des galets roulés (Ballais et al., 2005).

3.2.2.2. SINUOSITE

Le coefficient de sinuosité a été mesuré au niveau du site d'étude à partir d'une carte de l'état-major. Le tracé pris pour référence a été choisi car il s'agissait du segment le plus sinueux du cours d'eau. La carte est présentée dans l'annexe 16. La valeur du coefficient de sinuosité d'origine ainsi obtenue est de 1.33 pour des valeurs de :

- Longueur écologique : 2.81 km
- Longueur euclidienne : 2.12 km

3.2.2.3. GABARIT

Comme il a été indiqué précédemment, une station localisée en amont de la zone d'étude a retenu l'attention en raison des banquettes plus ou moins matures qui s'y développaient (figure 14). Les mesures relevées au droit de ces banquettes sont :

- $L_{PB} \approx 1.3$ m
- $H_{PB} \approx 0.4$ m
-

Figure 14 : Station se rapprochant du critère de référence située en amont du secteur d'étude



Afin d'enrichir les données, la méthode de dimensionnement par le calcul a également été appliquée à commencer par la définition du débit de crue moyenne journalière aux fréquences de retour allant de 1.1 à 2 ans issue de la formule de Mayer. Les résultats obtenus sont présentés dans l'annexe 17.

A partir de ces résultats, les largeurs et hauteurs à plein bord ont pu être définies en fonction des débits de crue moyenne journalière de fréquence 1.1, 1.5 et 2 ans. Le tableau 13 présente les résultats ainsi obtenus.

Tableau 13 : Valeurs des L_{PB} et P_{PB} moyenne en fonction du débit de crue moyenne journalière (1.1, 1.5 et 2 ans)

T (TEMPS DE RETOUR EN AN)	Q_{PB} (M ³ /S)	L_{PB} (MOYENNE EN M)	P_{PB} (MOYENNE EN M)
1.1	0.98	3.08	0.62
1.5	2.20	4.17	0.83
2	2.92	4.64	0.93

Afin de favoriser le débordement de l'Ardoux dans son lit majeur, la fréquence du débit de crue de moyenne journalière choisie est comprise entre 1.1 et 1.5 ans. Malgré cela les valeurs de L_{PB} et P_{PB} semblent être surdimensionner par rapport au cours d'eau actuel puisqu'elles correspondent au projet de curage datant de 1869 dont le but était d'agrandir le gabarit de l'Ardoux. La largeur est quasiment triplée par rapport à ce que l'on a observé sur le terrain. De fait, le gabarit qui a été retenu pour dimensionner le futur gabarit du cours d'eau correspond aux valeurs relevées sur le terrain à savoir :

- $L_{PB} = 1.3 \text{ m}$
- $P_{PB} = 0.4 \text{ m}$

3.2.2.4. SUCCESSION DE FACIES D'ÉCOULEMENT ET REPARTITION DE LA PENTE

La succession de faciès d'écoulement et la répartition de la pente se déterminent à partir de radiers. Ces zones correspondent aux faciès où la lame d'eau sera pincée et prennent pour section d'écoulement le gabarit de référence défini précédemment.

Connaissant le coefficient de sinuosité de référence, on peut en tirer la longueur du futur tracé soit : $1.3 \times 830 \text{ m} = 1080 \text{ m}$ de cours d'eau à restaurer au niveau du secteur rectiligne. De plus, d'après le profil en long (Cf. 3.1.2.2), le ΔZ s'élève à 37.6 cm.

D'après les données énumérées ci-dessus on peut en déduire les caractéristiques des radiers :

- Distance entre chaque radier après calcul : 13 mètres.
- Nombre de radiers : $\frac{1080 \text{ m}}{13 \text{ m}} = 83 \text{ radiers}$
- Dénivelé par radier entre la tête et le pied de radier : $\frac{83}{37.6 \text{ cm}} \approx 2.2 \text{ cm}$

3.2.2.5. MATELAS ALLUVIAL

L'analyse des 100 éléments sédimentaires sur le radier de référence nous révèle :

- 16% des éléments mesurés (D16) ont un diamètre inférieur à 14 mm
- 50% des éléments mesurés (D50) ont un diamètre inférieur à 23 mm
- 84% des éléments mesurés (D84) ont un diamètre inférieur à 36.2 mm
- Une étendue granulométrique (rapport D16/D84) de 0.39

La répartition granulométrique du radier est illustrée en annexe 18.

La fraction de chaque classe granulométrique a ensuite été déterminée à partir la classe granulométrique des graviers grossiers. En effet, la fraction fine est déjà surreprésentée sur le site d'étude ce pourquoi elle n'a pas été prise en compte (tableau 14).

Tableau 14 : Représentation des classes granulométriques dans le radier de référence

Classe granulométrique	Pourcentage représenté
Graviers grossiers	24%
Cailloux fins	53%
Cailloux grossiers	19%
Pierres fines	4%

3.3. PROPOSITIONS DE RESTAURATION DES SECTEURS 1, 2 ET 3

3.3.1. SECTEUR 1 : ANCIENNE RETENUE DU PLAN D'EAU

D'après les inventaires faunistiques et floristiques (annexes 12 & 13) des zones humides du site du Bouchet, certaines espèces rares sont présentes telles que *Donacia sp.* aperçue au niveau de l'ancienne assiette du plan d'eau.

La zone humide localisée dans l'ancien plan d'eau ne devrait subir aucune modification, le principe étant de la maintenir. Seul le lit mineur de l'Ardoux doit être restauré ainsi que sa pente de façon à retrouver une continuité d'écoulement contrairement à ce qui est observable actuellement ; le remous engendré par le seuil du radier du pont qui sépare les secteurs 1 et 2 redonne un profil de plan d'eau avec une surface d'eau stagnante importante. Cela prend en compte la recharge du matelas alluvial selon les fractions granulométriques estimée en 3.2.2.5.

La restauration du cours d'eau depuis l'aval permettra à la nappe d'accompagnement de se rehausser tout en maintenant le caractère humide de la zone comme ce fut le cas dans plusieurs projets (Ravot et al., 2020).

La mise en œuvre de ces travaux nécessite l'accès à des engins de chantier adaptés aux milieux humides (à faible portance) dans le but d'alimenter le lit du cours d'eau en granulométrie et de façonner le tracé du lit en limitant au maximum le passage sur la zone humide.

Plusieurs travaux de restauration en référence à ce type de milieux ont déjà vu le jour tel que la restauration de la Houzée sur la commune de Selommes (41) (CPIE Val de Gartempe, 2019a) et la déconnexion de l'étang communal et restauration de l'Echandon à Manthelan (37) (CPIE Val de Gartempe, 2019b).

3.3.2. SECTEUR 2 : ZONE INTER PONTS

Compte tenu des contraintes physiques de la zone, entourée par deux ponts qui ne seront pas supprimés et une longueur assez faible (35m), la meilleure solution est d'aménager des banquettes alternes afin de restaurer au mieux le gabarit hydraulique en lit emboîté (figure 15). L'objectif étant de resserrer le lit mineur actuel qui est trop large et trop profond par rapport à son gabarit naturel.

Les banquettes devront avoir les caractéristiques suivantes :

- Longueur (entre 6 à 10x) : $6 \times L_{PB}$ soit $6 \times 1.3 = 7.8 \text{ m}$
- Forme : « haricot »
- Composition : matériaux adaptés de façon à façonner le nouveau lit mineur selon le gabarit qui sera mis en place et de créer des zones d'interfaces entre le lit mineur et le lit majeur, favorable à la biodiversité.



Figure 15 : Exemple de restauration hydromorphologique à l'aide de banquettes alternes en lit emboîté (M. Bramard)

Des radiers seront mis en place à l'inflexion de chacune des courbes réalisées par le lit mineur soit à la superposition de 2 banquettes successives. Ils seront composés de granulats adaptés à la pente. Comme pour le secteur 1 la pente va devoir être restaurée pour retrouver une continuité de l'écoulement hydraulique et sédimentaire et combler la fosse liée au pont, située à son aval. Il en est de même pour la recharge du matelas alluvial qui semble nécessaire au vu de son homogénéité (alluvion et vase).

Pour réaliser ces travaux l'accès à des engins est également nécessaire pour les mêmes raisons citées dans le paragraphe précédent (3.3.1).

Pour reprendre un exemple pertinent, une partie de la restauration de la Veude de Ponçay dans le cadre de mesures compensatoires sur les communes de Marigny Marmande, Pussigny et Ports (37) consistait à créer des banquettes par retalutage des berges, dont le but est de n'avoir recours à aucun apport de terre extérieur au projet (CPIE Val de Gartempe, 2018).

3.3.3. SECTEUR 3 : ZONE RECTIFIEE

Le diagnostic a permis de mettre en évidence plusieurs dysfonctionnements importants de l'Ardoux avec notamment la présence d'un faciès d'écoulement assez homogène (plat lentique), un surdimensionnement du cours d'eau et des berges relativement hautes ayant pour conséquence une faible diversité d'habitat. De plus, d'après les inventaires des zones humides annexes, la mare située dans la prairie au nord du domaine s'avère intéressante puisque des *Coenagrion mercuriale* ont été observés à cet endroit.

La restauration de cette zone consisterait ainsi à déplacer le cours d'eau ex-nihilo au droit de la zone d'étude puisque le lit mineur actuel est trop fortement incisé et demanderait un apport de matériaux conséquent (qui aurait nécessairement une répercussion sur le coût des travaux). Cette restauration impliquerait la réduction du lit mineur (avec les dimensions du gabarit de référence) qui permettra de favoriser le débordement du cours d'eau dans son futur lit majeur.

Le tracé imaginé à partir des paramètres calculés (SI, longueur du nouveau tracé) évoluera dans la prairie en rive gauche pour ne pas affecter la parcelle agricole située en rive droite, plus intéressante d'après l'agriculteur qui s'en occupe (qualité fourragère) et sert également de zone de tire en lien avec les formations proposées par le centre de formations du Bouchet. Le lit mineur franchira l'ancien lit au niveau de l'ancien gué où les berges sont beaucoup plus basses pour ensuite rejoindre la rive droite où est située la mare (scénario détaillés dans le prochain paragraphe). Ce franchissement de l'ancien lit mineur se fera en réalisant un apport de matériaux de façon à remettre à niveau le lit et servira également à former des merlons.

Deux scénarii sont proposés quant à l'avenir de la mare :

- Soit il est considéré que la mare est autosuffisante et n'a pas besoin d'apport hydrique supplémentaire pour pérenniser ; dans ce cas le tracé sera placé aux endroits les plus efficaces (point bas) sans la prendre en compte
- Soit il est considéré que la mare s'avère plus intéressante d'un point de vue écologique avec une source hydrique plus abondante ; dans ce cas on pourrait envisager de rapprocher le tracé de façon à connecter la nappe d'accompagnement de l'Ardoux à la mare.

Pour répondre à cela, des études complémentaires (dont le suivi BAO) permettront de savoir quel scénario serait le plus judicieux d'appliquer.

La ripisylve sera préalablement déboisée au niveau des zones qui nécessiteront des opérations de terrassement. Le boisement alluvial sera restauré dans un second temps.

Les matériaux de déblais issus du terrassement seront valorisés in-situ pour les travaux de restauration des secteurs précédents et/ou serviront à rehausser le fond de l'ancien lit mineur de l'Ardoux. L'ancien lit formera quant à lui une annexe hydraulique connectée au cours d'eau.

Enfin, les radiers seront mis en place à l'inflexion de chacune des courbes réalisées par le nouveau lit mineur.

Les exemples de reméandrage de l'Echandon (figure 16) sur la commune de Tauxigny-Saint Bauld (37) (CPIE Val de Gartempe, 2019c) et de restauration de la continuité écologique et de l'hydromorphologie de l'Aigre à Romilly-sur-Aigre (SMAR, 2019) mettent en avant des travaux de reméandrage dont on pourrait tirer profit pour la restauration de ce secteur.



Figure 16 : Reméandrage de l'Echandon sur la commune de Tauxigny-Saint Bauld (37) (M. Bramard)

3.4. DIMENSIONNEMENT DU SUIVI

3.4.1. SUIVI SCIENTIFIQUE MINIMAL

Parmi les trois stations de référence nécessaires au SSM, des hypothèses ont été émises quant à leur position.

En raison de la diversité du site d'étude et de l'enjeu que représentent les zones humides annexes, on envisage de positionner plusieurs stations restaurées. La première serait nécessairement localisée au niveau du secteur 1, et la seconde se situerait sur le troisième. La station Témoin Altérée (TA) pourrait être représentée par la station RCS située à l'amont du domaine du Bouchet et donc ne sera pas impactée par les futurs travaux de restauration. La station Témoin Non Altérée (TNA) n'a pas encore été déterminée mais pourrait être positionnée au niveau du secteur de référence sur lequel plusieurs relevés ont été réalisés pour cette étude (figure 17).

Figure 17 : Localisation des stations du SSM (IED Carhyce - ArcGIS)

NB : Les stations restaurées du SSM ont été localisées sur le tracé actuel de l'Ardoux pour donner un ordre d'idée mais dans les faits elles seront disposées sur le cours restauré.



La fréquence du suivi va se baser sur la chronique « BACI » (before, after, contrôle, impact) comme il est conseillé dans le « Guide pour l'élaboration de suivis d'opérations de restauration hydromorphologique en cours d'eau » de Rolan-Meynard et al. (2019). Il préconise de réaliser de suivi avant travaux avant l'année précédant les travaux

jusqu'à la veille du début des travaux. Pour rappel, les trois compartiments qui font l'objet du SSM sont la biologie, l'hydromorphologie ainsi que la physico-chimie. Un suivi photographique (terrestre et aérien) sera également appliqué au site d'étude.

Le premier suivi après travaux doit être réalisé entre 9 et 15 mois après les travaux puis un an sur deux, toujours à la même période. Le suivi de la physico-chimie se fait sur une année glissante, il doit donc commencer environ 6 mois après travaux et se poursuivre pendant 12 mois. Le suivi de la température débute à la pose des sondes environ un an avant les travaux et se termine à la fin des suivis, à au moins n+7.

La figure 18 permet d'avoir un aperçu de la programmation nécessaire au SSM.

Organisation générale

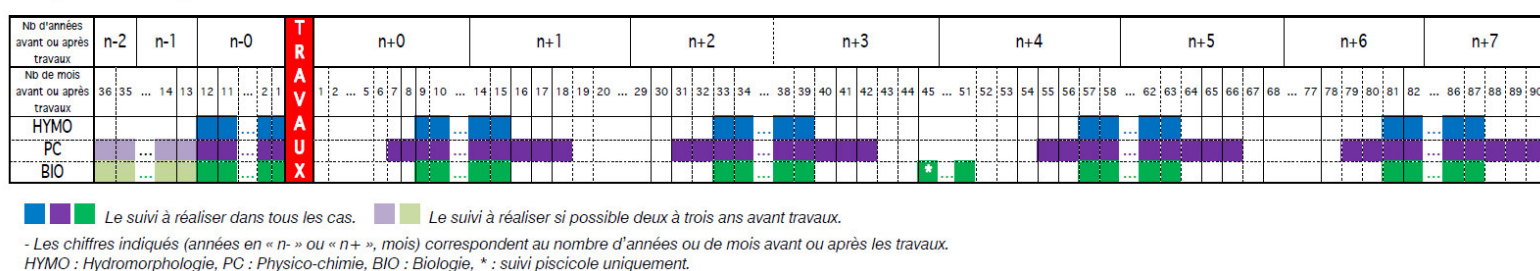


Figure 18 : Programmation actualisée du SSM de l'hydromorphologie, la biologie et la physico-chimie (Rolan-Meynard et al., 2019)

Sachant que les travaux sont prévus à 2023, les suivis des compartiments biologique et physico-chimique vont être à réaliser dès que possible.

Une fois les dates de travaux estimées et fixées, un tableau avec l'échéancier de dates pourra être conçu.

3.4.2. SUIVI DES ZONES HUMIDES ANNEXES

Les préconisations faites pour réaliser le suivi BAO fixent :

- une à deux campagnes avant travaux pour définir l'état initial
- suivi biennuel les cinq premières années pour établir la tendance d'évolution (R+1, R+3, R+5)
- poursuivre le suivi jusqu'à dix ans (T+7, T+10) pour confirmer et valider la tendance.

Ces suivis pourraient donc facilement s'intégrer au planning du SSM.

Un suivi supplémentaire des insectes aquatiques et subaquatiques proposé par le laboratoire d'éco-entomologie permettrait de compléter le suivi BAO qui tient compte seulement du suivi des Odonates et SSM sur le compartiment biologie via le protocole IBG DCE. Le suivi entomologique inventorie en plus des Odonates, les Coléoptères (aquatiques et subaquatiques) et les Hémiptères (aquatiques et subaquatiques)

Les Donaciacs que l'on retrouve sur le secteur 3 et considérées comme espèces menacées à l'échelle européenne, font partie de l'ordre des Coléoptères.

Un devis proposant le suivi sur une période d'un an est présenté en annexe 19.

4. DISCUSSION

4.1. DIAGNOSTIC

Cette étude permet de rendre compte de l'état actuel du cours d'eau avec ses principales caractéristiques. Cependant, le temps imparti n'a pas permis de dresser un diagnostic plus exhaustif ce pourquoi il serait intéressant de terminer ces recherches et de renseigner les paramètres qui n'ont pas pu être déterminés.

Parmi cela, la recherche du talweg d'origine qui reste encore en suspens puisqu'aucune des données exploitées dans ce rapport ne permet d'affirmer ou d'infirmer l'hypothèse qu'il s'agit bien du talweg originel dans lequel l'Ardoux se trouve actuellement. Pour cela il faudrait effectuer les recherches complémentaires telles que la réalisation d'une étude pédologique du site en plus de l'analyse des données LiDAR via le logiciel Qgis comme il est mentionné précédemment.

Il semble également nécessaire de compléter le profil topographique avec les données des secteurs 1 et 2 qui n'ont pas pu être relevés en raison de contraintes d'accessibilité. En plus de compléter le diagnostic du site d'étude, cela permettrait de connaître les paramètres de dimensionnement de restauration au droit de ces secteurs (par exemple connaître le dénivelé attendu par tête de radier).

Enfin, et toujours dans l'optique d'enrichir le diagnostic, il semble intéressant de faire un inventaire faunistique complet de la zone en ne prenant pas seulement en compte les insectes présents, mais aussi les amphibiens, l'avifaune, les mammifères ou encore les espèces piscicoles (des relevés ont été réalisés au niveau de l'ancien plan d'eau et de la station RCS mais n'ont pas été traités dans ce rapport par manque de temps). Concernant le cortège floristique du site d'étude, un inventaire est déjà prévu dans l'année 2021 et pourra compléter celui déjà réalisé.

4.2. PROPOSITIONS D'AMENAGEMENTS

Les propositions d'aménagements présentées dans ce rapport pour chacun des secteurs énoncent simplement celles qui semblaient pertinentes. Cela laisse donc le champ des possibles à d'autres propositions au vu de la multitude de techniques que l'on connaît à l'heure actuelle qui restent à déterminer.

Autre paramètre non négligeable à prendre en compte est le degré d'ambition et le niveau d'efficacité attendu qui dépend généralement du coût des travaux envisagés. Il s'agit là encore d'un autre paramètre manquant à cette étude.

Sachant que le site d'étude a pour ambition d'intégrer le programme de « sites de démonstration », la question qui se pose est de savoir s'il faut privilégier une restauration hydromorphologique la plus poussée qu'il soit sans que le prix ne soit considéré comme facteur limitant ou au contraire orienter les travaux selon les coûts envisagés, comme ce qui est fait dans la plupart des cas.

Pour rappel, les sites de démonstration ont pour but de servir d'exemple en termes de travaux de restauration hydromorphologique. Ils se doivent donc prendre en compte des techniques réalisables par la majorité des bureaux d'étude en charge de ces travaux, tout en incluant des prix accessibles.

4.3. PERSPECTIVES D'ETUDES

Le dimensionnement du gabarit « projet » est un paramètre primordial de la réussite d'une restauration hydromorphologique. Dans ce cas, le secteur de référence sur lequel se base l'intégralité des mesures n'est pas totalement fiable. En effet, les banquettes qui s'y développaient, étaient plus ou moins matures. Ainsi, la recherche d'éléments complémentaires de référence est à envisager (hauteur d'implantation de la ripisylve sur les berges,) afin de conforter les valeurs de gabarits obtenus.

Une fois cette valeur confortée, le tracé en plan final du projet pourra être déterminé en fonction des points de connexions amont / aval au projet, de la topographie du terrain la plus adaptée (recherche des points bas) et des caractéristiques du tracé en plan défini (coefficient de sinuosité, longueur d'onde et nombres de radiers). Dans un second temps, une estimation de la quantité de matériaux à remblayer et / ou déblayer ainsi que ceux nécessaires à la reconstruction du matelas alluvial pourra être menée au regard du tracé obtenu.

Concernant le matelas alluvial, il est préconisé de reconstituer une épaisseur minimale de 20 cm et sur toute la largeur du lit. La granulométrie des cours d'eau de référence en région Centre-Val-de-Loire indiquent une

épaisseur moyenne du matelas alluvial d'environ 29 cm et une granulométrie moyenne sur les radiers à 51 mm (Boutet-Berry, 2019).

Enfin, après avoir réalisé différents scénarii selon les modalités présentées dans le paragraphe précédent, différents tracés en plan leur correspondant devront être à réaliser tout en indiquant les différents aménagements prévus sur chaque secteur.

CONCLUSION

L'objet de cette étude était de proposer un projet de restauration hydromorphologique de l'Ardoux et de ses zones humides annexes sur le domaine du Bouchet à Dry. En raison des diverses contraintes et / ou caractéristiques physiques observées sur le site, il a été découpé en 3 secteurs :

- La zone humide située dans l'ancienne retenue du plan d'eau
- La zone inter ponts
- La zone rectifiée

L'acquisition des paramètres hydromorphologiques par le biais de mesures sur le terrain, de calculs ou encore de recherches bibliographiques et historiques, a permis de dresser un prédiagnostic du site mettant en évidence plusieurs points sur le domaine du Bouchet :

- La présence des zones humides riches que ce soit d'un point de vu faunistique ou floristique
- Un dysfonctionnement hydromorphologique de l'Ardoux causé par de nombreuses altérations induites par des travaux subits depuis au moins 1809 (d'après les archives départementales du Loiret)
- une pente du lit très faible

Connaissant ces caractéristiques, des propositions de dimensionnement de la restauration hydro morphologique de l'Ardoux et de différentes techniques de restauration ont été faites en fonction des contraintes présentes sur le site. Au vu de ces propositions d'aménagement, un suivi scientifique associé à la fois sur le cours d'eau et sur les zones humides connexes a pu être proposé dans l'objectif que le site intègre le réseau national des sites de démonstrations.

Le temps imparti à cette étude n'a pas permis de recenser l'ensemble des possibilités de restaurations sur chacun des secteurs notamment au droit sur la zone de l'ancien plan d'eau, néanmoins il y figure les propositions d'aménagements qui offrent des perspectives intéressantes. La poursuite de cette étude semble donc nécessaire et aura pour but entre autres de conforter les valeurs de dimensionnement notamment du gabarit « projet » du cours d'eau. Suite à cela, différents scénarii vont pouvoir être présentés variant selon les techniques employées, le degré d'ambition et le niveau d'efficacité. Leur estimation fera également parti de ce travail.

Une fois terminé, ce projet permettrait d'offrir au domaine du Bouchet la perspective d'intégrer le programme des sites de démonstration porté par l'OFB. Ce projet permettra également de faire du domaine du Bouchet un support de formation interne et externe à l'OFB sur la restauration hydromorphologique, celui-ci pouvant regrouper sur un même lieu un panel de techniques adaptées à diverses problématiques (zone humide, reméandrage, banquette alternes). Le site pourrait également servir de support de communication et de mobilisation citoyenne pour la préservation et la restauration de la biodiversité, rôle essentiels de l'OFB.

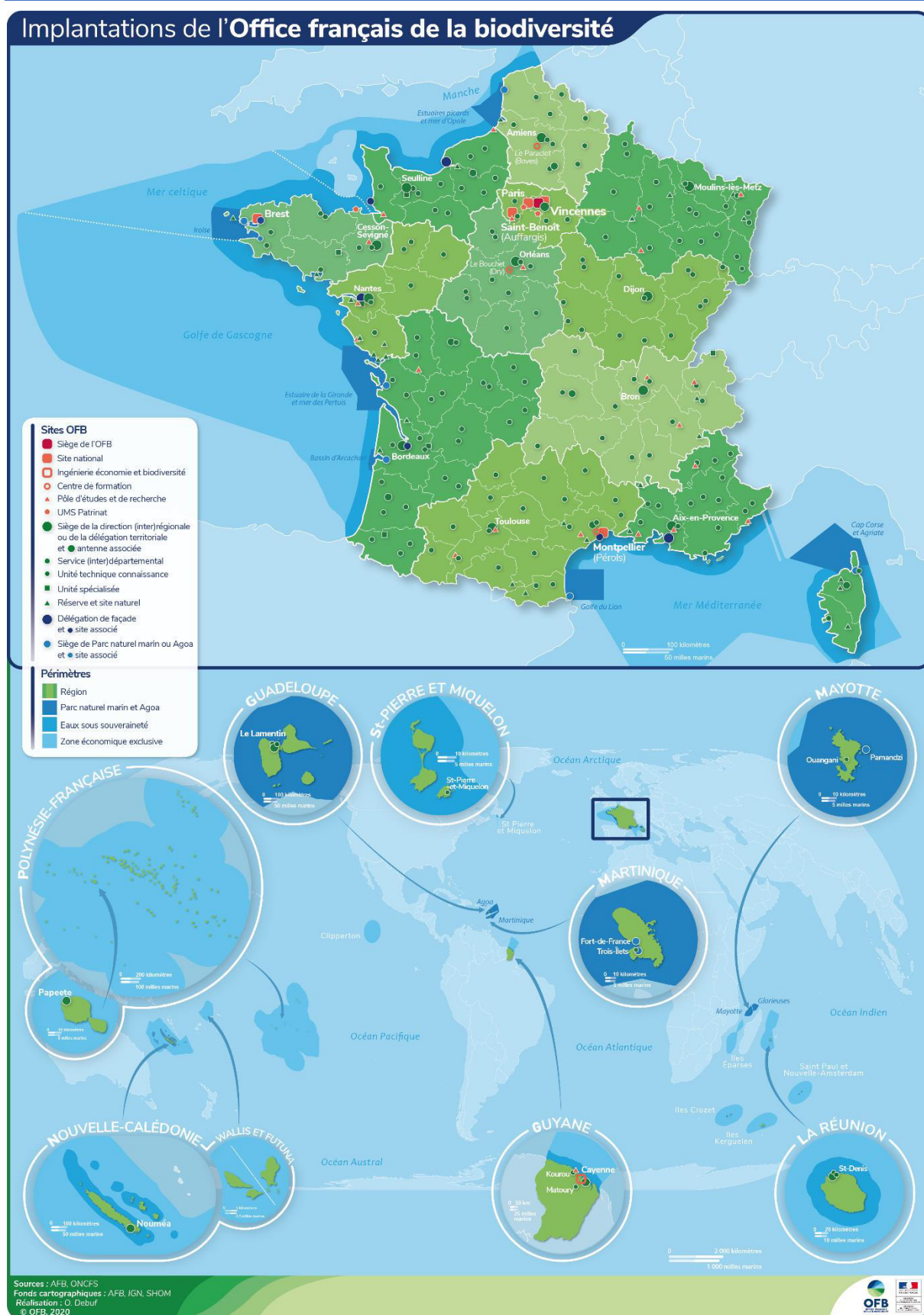
BIBLIOGRAPHIE

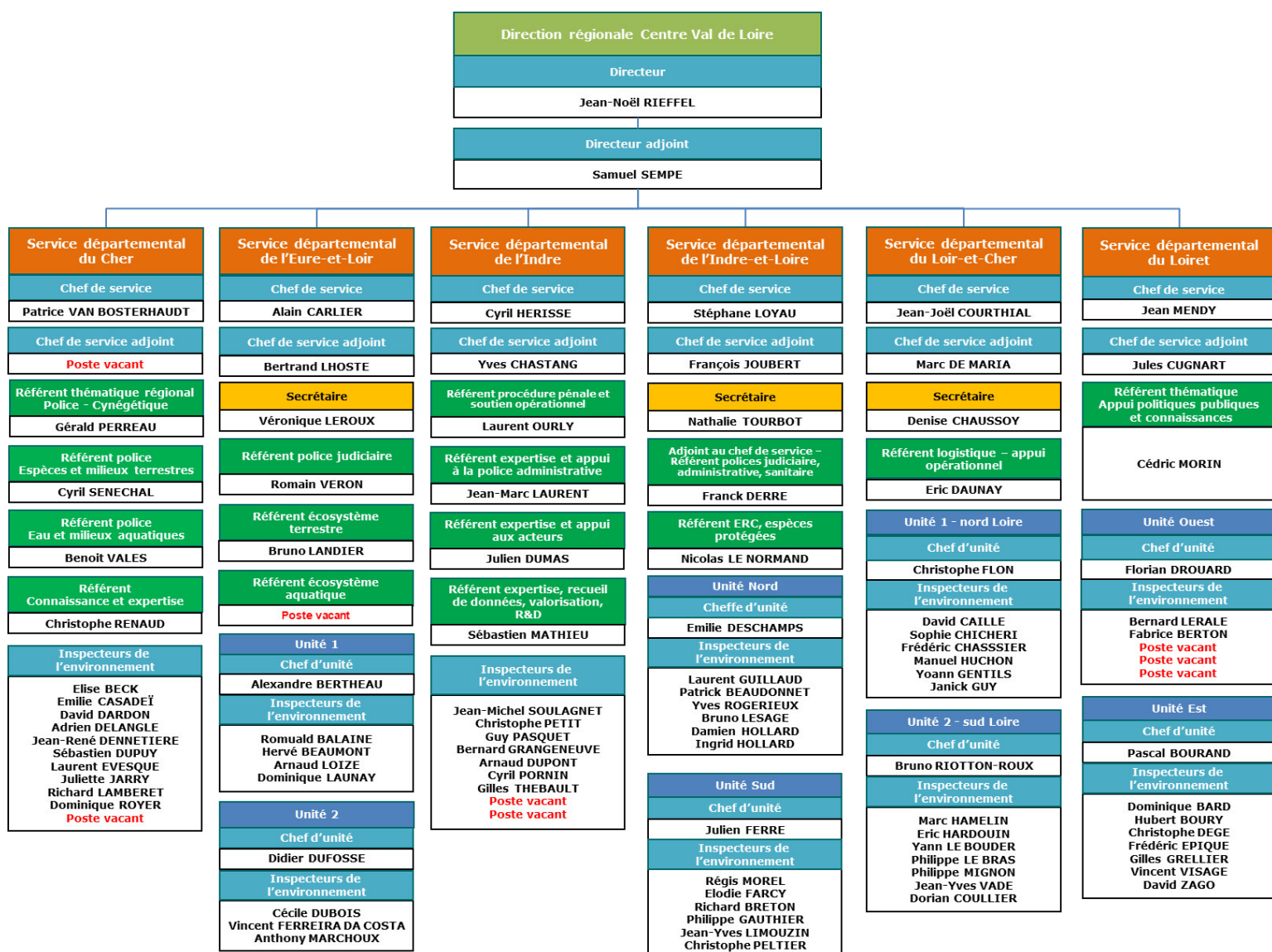
- AFNOR, 2017. NF T90-733 - Qualité de l'eau - Guide d'application de la norme NF T90-333:2016 (Prélèvement des macro-invertébrés aquatiques en rivières peu profondes).
- AFNOR, 2016. NF T90-333 - Qualité de l'eau - Prélèvement des macro-invertébrés aquatiques en rivières peu profondes.
- AFNOR, 2003. NF T90-395 - Qualité de l'eau - Détermination de l'indice biologique macrophytique en rivière (IBMR).
- Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2006. Le prélèvement d'échantillons en rivière techniques d'échantillonnage en vue d'analyses physico-chimiques: guide technique. Agence de l'eau Loire-Bretagne, Orléans.
- Ballais, J.-L., Garry, G., Masson, M., 2005. Contribution de l'hydrogéomorphologie à évaluation du risque d'inondation : le cas du Midi méditerranéen français. *Comptes Rendus Geoscience - C R GEOSCI* 337, 1120–1130. doi:10.1016/j.crte.2005.06.010
- Baudoin, J.M., Boutet-Berry, L., Cagnant, M., Gob, F., Kreutzenberger, K., Lemand, F., Malavoi, J.R., Marmonier, P., Pénil, C., Rivière, C., Sadot, M., Tamisier, V., Tual, M., 2017. Carhyce Caractérisation hydromorphologique des cours d'eau Protocole de recueil de données hydromorphologiques à l'échelle de la station sur les cours d'eau prospectables à pied. Agence française pour la biodiversité.
- Bayley, D.P.B., 2002. A review of studies on responses of salmon and trout to habitat change, with potential for application in the Pacific Northwest 38.
- Belliard, J., Ditché, J.M., Roset, N., Dembski, S., 2012. Guide pratique de mise en oeuvre des opérations de pêche. ONEMA.
- Bernhardt, E.S., Palmer, M.A., Allan, J.D., Alexander, G., Barnas, K., Brooks, S., Carr, J., Clayton, S., Dahm, C., Follstad-Shah, J., Galat, D., Gloss, S., Goodwin, P., Hart, D., Hassett, B., Jenkinson, R., Katz, S., Kondolf, G.M., Lake, P.S., Lave, R., Meyer, J.L., O'donnell, T.K., Pagano, L., Powell, B., Sudduth, E., 2005. Ecology. Synthesizing U.S. river restoration efforts. *Science* 308 5722 , 636–637. doi:10.1126/science.1109769
- Blanchet, F., Hubert, J., 2018. Calculette LigéO.
- Bordy, B., Doguet, S., Debreuil, M., 2012. Les Donaciinae de France (Coleoptera: Chrysomelidae), Rutilans&Magellanes. ed.
- Bouleau, G., Pont, D., 2014. Les conditions de référence de la directive cadre européenne sur l'eau face à la dynamique des hydrosystèmes et des usages. *Nat. Sci. Soc.* 22 1 , 3–14. doi:10.1051/nss/2014016
- Boutet-Berry, L., 2020a. Définition d'un projet de restauration - Etude de cas : L'Amasse au Moulin de Givry.
- Boutet-Berry, L., 2020b. Suivi des opérations de restauration hydromorphologique en cours d'eau.
- Boutet-Berry, L., 2019. Retour d'expériences et outils pour la restauration hydromorphologique des cours d'eau.
- Bramard, M., Boutet-Berry, L., 2020. Le dimensionnement du gabarit de restauration de cours d'eau (remise en fond de talweg, reméandrage, contournement, banquettes).
- Bramard, M., Boutet-Berry, L., 2018. Eléments techniques pour l'élaboration d'un dossier de restauration hydromorphologique linéaire de cours d'eau 13.
- Brookes, A., 1988. Channelized rivers: Perspectives for environmental management. *Earth Surface Processes and Landforms* 15 3 , 291–292. doi:10.1002/esp.3290150312
- Castelain, L., Peeters, A., Halleux, M., De Le Court, B., Verniers, G., 2016. Walphy, un projet expérimental de réhabilitation de cours d'eau : suivis hydromorphologiques et écologiques. *Hydroécologie Appliquée*. doi:10.1051/hydro/2015014
- Chapelin-Viscardi, J.-D., 2020. Inventaire entomologique du domaine du Bouchet à Dry (Loiret) (Rapport du Laboratoire d'Eco-Entomologie pour l'Office français de la biodiversité).
- Colin, K., 2019. Étude de faisabilité et comparaison de scenarii Site des Grandes Eaux et amont du Port Pichard. Ingérop.
- Conservatoire d'espaces naturels de Savoie, 2014. La boîte à outils de suivi des zones humides du bassin Rhône-Méditerranée (No. Version 1).

- Cordier, J., 2017. Clé de détermination CYPERACEES Centre-Val de Loire. Muséum National d'Histoire Naturelle.
- Cowan, W.L., 1956. Estimating hydraulic roughness coefficient, *Agricultural Engineering* (No. 37).
- CPIE Val de Gartempe, 2019a. Restauration de la Houzée sur la commune de Selommes (41). Territoires vendomois.
- CPIE Val de Gartempe, 2019b. Deconnexion de l'étang communal et restauration de l'Echandon à Manthelan (37). Syndicat d'Aménagement de la Vallée de l'Indre.
- CPIE Val de Gartempe, 2019c. Reméandrage de l'Echandon - Commune de Tauxigny-Saint Bauld (37). Syndicat d'Aménagement de la Vallée de l'Indre.
- CPIE Val de Gartempe, 2018. Restauration de la Veude de Ponçay dans le cadre de mesures compensatoires - Communes de Marigny Marmande, Pussigny et Ports (37). Fédération départementale de pêche (37).
- Fournials, X., 2018. La Recréation de Cours d'Eau. CATER.
- Gayet, G., Baptist, F., Baraille, L., Caessteker, P., Clément, J.-C., Gaillard, J., Gaucherand, S., Isselin-Nondedeu, F., Poinot, C., Quétier, F., Touroult, J., Barnaud, G., 2016. Guide de la méthode nationale d'évaluation des fonctions des zones humides, Guides et protocoles. ONEMA.
- Géoportail [WWW Document], n.d. URL <https://www.geoportail.gouv.fr/> (accessed 1.17.20).
- Kondolf, G.M., 2006. River Restoration and Meanders. *Ecology and Society* 11 2 .
- Le Bihan, M., Souvais, P., Boutet-Berry, L., Bramard, M., Melun, G., Huger, F., Leleu, W., Péress, J., Rivière, C., Vauclin, V., 2019. Soutien Technique à la Restauration ou l'Evaluation des Altérations de la Morphologie des Cours d'Eau (STREAM-CE).
- Malavoi, J.-R., Bravard, J.-P., 2011. Éléments d'hydromorphologie fluviale. Édité par l'Onema (Office national de l'eau et des milieux aquatiques), 2010, 224 p. En ligne sur : <http://www.onema.fr/hydromorphologie-fluviale>. Physio-Géo. Géographie physique et environnement Volume 5 , 1.
- Malavoi, J.R., Souchon, Y., 2010. Elements pour une harmonisation des concepts et des méthodes de suivi scientifique minimal 95.
- Malavoi, J.R., Souchon, Y., 2002. Description standardisée des principaux faciès d'écoulement observables en rivière : clé de détermination qualitative et mesure physiques. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 365–366 , 357–372. doi:10.1051/kmae:2002040
- Palmer, M.A., 2009. Reforming Watershed Restoration: Science in Need of Application and Applications in Need of Science. *Estuaries and Coasts* 32 1 , 1–17. doi:10.1007/s12237-008-9129-5
- Palmer, M.A., Bernhardt, E.S., Allan, J.D., Lake, P.S., Alexander, G., Brooks, S., Carr, J., Clayton, S., Dahm, C.N., Shah, J.F., Galat, D.L., Loss, S.G., Goodwin, P., Hart, D.D., Hassett, B., Jenkinson, R., Kondolf, G.M., Lave, R., Meyer, J.L., O'Donnell, T.K., Pagano, L., Sudduth, E., 2005. Standards for Ecologically Successful River Restoration. *Journal of Applied Ecology* 42 2 , 208–217.
- Pujol, D., Cordier, J., Moret, J., 2007. Atlas de la flore sauvage du département du Loiret, Muséum national d'Histoire naturelle. Paris.
- Ravot, C., Laslier, M., Hubert-Moy, L., Dufour, S., Le coeur, D., Bernez, I., 2020. Apports d'une observation précoce de la végétation spontanée pionnière pour la renaturation des rives de la rivière Sélune 9.
- Riffard, M., Andréassian, V., Nicolle, P., Peschard, J., 2012. Combinaison multi-modèle et cartographie de consensus du débit de référence d'étiage et du débit moyen à l'échelle de la France. CEMAGREF / IRSTEA / ONEMA.
- Roche, D., 1984. Le temps de l'eau rare du Moyen Âge à l'époque moderne. *Annales* 39 2 , 383–399. doi:10.3406/ahess.1984.283062
- Rolan-Meynard, M., Vivier, A., Reyjol, Y., Boutet-Berry, L., Bouchard, J., Mangeot, P., Navarro, L., Melun, G., Moreira-Pellet, B., Bramard, M., Le bihan, M., Magand, C., Leurent, T., Vigneron, T., Cagnant, M., Bourrain, X., Morel, A., Kreutzenberger, K., 2019. Guide pour l'élaboration de suivis d'opérations de restauration hydromorphologique en cours d'eau.
- Rousseau, C., Manchion, P., Michau, F., 2019. Domaine du Centre de formation du Bouchet - Plan de gestion 2019-2023.

- SMAR, 2019. Restauration de la continuité écologique et de l'hydromorphologie de l'Aigre à Romilly-sur-Aigre. Syndicat Mixte d'Aménagement et de Restauration du bassin du Loir en Eure-et-Loir.
- Souchon, Y., Malavoi, J.R., 1989. Méthodologie de description, quantification des variables morphodynamiques d'un cours d'eau à fond caillouteux: exemple d'une station sur la Fillière (Haute-Savoie). *Géocarrefour: Revue de géographie de Lyon* 64 4 , 252–259.
- Sundermann, A., ANTONS, C., CRON, N., Lorenz, A., Hering, D., Haase, P., 2011. Hydromorphological restoration of running waters: Effects on benthic invertebrate assemblages. *Freshwater Biology* 56, 1689–1702. doi:10.1111/j.1365-2427.2011.02599.x
- The SER International Primer on Ecological Restoration, 2004.
- Wentworth, C.K., 1922. A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *The Journal of Geology* 30 5 , 377–392.
- Wolman, M.G., 1954. A method of sampling coarse river-bed material. *Eos, Transactions American Geophysical Union* 35 6 , 951–956. doi:10.1029/TR035i006p00951

ANNEXES





L'analyse fréquentielle d'une longue série de débits maximaux permet d'estimer le temps de retour d'une valeur particulière. Cette prédiction repose sur la définition et la mise en œuvre d'un modèle fréquentiel qui est une équation modélisant le comportement statistique d'un processus. Ces modèles décrivent la probabilité d'apparition d'un événement de valeur donnée. C'est du choix du modèle fréquentiel (et plus particulièrement de son type) que dépendra la validité des résultats de l'analyse fréquentielle.

Un modèle fréquentiel très souvent utilisé pour décrire le comportement statistique des valeurs extrêmes est la distribution statistique de Gumbel (loi double exponentielle ou loi de Gumbel). La fonction de répartition de la loi de Gumbel $F(x)$ s'exprime de la manière suivante :

$$F(x) = \exp \left(-\exp \left(-\frac{x-a}{b} \right) \right) \quad (1)$$

avec la variable réduite suivante : $u = \frac{x-a}{b}$ (2) où a et b sont les paramètres du modèle de Gumbel.

La distribution s'écrit alors de la manière suivante : $F(x) = \exp(-\exp(-u))$ (3) et $u = -\ln(-\ln(F(x)))$ (4)

L'avantage d'utiliser la variable réduite est que l'expression d'un quantile est alors linéaire : $x_q = a + bu_q$

En conséquence, dès lors que les points de la série à ajuster peuvent être reportés dans un système d'axes x - u il est possible d'ajuster une droite qui passe le mieux par ces points et d'en déduire les deux paramètres a et b de la loi. Il existe différentes méthodes d'ajustement : méthode graphique (ajustement à l'œil ou à l'aide d'une régression statistique), méthode des moments etc.

En pratique, il s'agit essentiellement d'estimer la probabilité de non-dépassement $F(x_i)$ qu'il convient d'attribuer à chaque valeur x_i . Il existe de nombreuses formules d'estimation de la fonction de répartition à l'aide de la fréquence empirique. Elles reposent toutes sur un tri de la série par valeurs croissantes permettant d'associer à chaque valeur son rang r. Des simulations ont montré que pour la loi de Gumbel, il faut utiliser la fréquence empirique de Hazen : $\frac{r-0.5}{n}$ (5)

où r est le rang dans la série de données classée par valeurs croissantes, n est la taille de l'échantillon, $x[r]$ la valeur de rang r.

Rappelons encore que le temps de retour T d'un événement est défini comme étant l'inverse de la fréquence d'apparition de l'événement. Soit :

$$T = \frac{1}{1-F(x_i)} \quad (6)$$

Source : https://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/annexes/AnalFrequ_rep.html

! 𐤀 𐤁 𐤂 𐤃 𐤄 𐤅 𐤆 𐤇 𐤈 𐤉 𐤊 𐤋 𐤌 𐤍 𐤎 𐤏 𐤐 𐤑 𐤒 𐤓 𐤔 𐤕 𐤖 𐤗 𐤘 𐤙 𐤚 𐤛 𐤜 𐤝 𐤞 𐤟 𐤠 𐤡 𐤢 𐤣 𐤤 𐤥 𐤦 𐤧 𐤨 𐤩 𐤪 𐤫 𐤬 𐤭 𐤮 𐤯 𐤰 𐤱 𐤲 𐤳 𐤴 𐤵 𐤶 𐤷 𐤸 𐤹 𐤺 𐤻 𐤼 𐤽 𐤾 𐤿 𐥀 𐥁 𐥂 𐥃 𐥄 𐥅 𐥆 𐥇 𐥈 𐥉 𐥊 𐥋 𐥌 𐥍 𐥎 𐥏 𐥐 𐥑 𐥒 𐥓 𐥔 𐥕 𐥖 𐥗 𐥘 𐥙 𐥚 𐥛 𐥜 𐥝 𐥞 𐥟 𐥠 𐥡 𐥢 𐥣 𐥤 𐥥 𐥦 𐥧 𐥨 𐥩 𐥪 𐥫 𐥬 𐥭 𐥮 𐥯 𐥰 𐥱 𐥲 𐥳 𐥴 𐥵 𐥶 𐥷 𐥸 𐥹 𐥺 𐥻 𐥼 𐥽 𐥾 𐥿 𐦀 𐦁 𐦂 𐦃 𐦄 𐦅 𐦆 𐦇 𐦈 𐦉 𐦊 𐦋 𐦌 𐦍 𐦎 𐦏 𐦐 𐦑 𐦒 𐦓 𐦔 𐦕 𐦖 𐦗 𐦘 𐦙 𐦚 𐦛 𐦜 𐦝 𐦞 𐦟 𐦠 𐦡 𐦢 𐦣 𐦤 𐦥 𐦦 𐦧 𐦨 𐦩 𐦪 𐦫 𐦬 𐦭 𐦮 𐦯 𐦰 𐦱 𐦲 𐦳 𐦴 𐦵 𐦶 𐦷 𐦸 𐦹 𐦺 𐦻 𐦼 𐦽 𐦾 𐦿 𐧀 𐧁 𐧂 𐧃 𐧄 𐧅 𐧆 𐧇 𐧈 𐧉 𐧊 𐧋 𐧌 𐧍 𐧎 𐧏 𐧐 𐧑 𐧒 𐧓 𐧔 𐧕 𐧖 𐧗 𐧘 𐧙 𐧚 𐧛 𐧜 𐧝 𐧞 𐧟 𐧠 𐧡 𐧢 𐧣 𐧤 𐧥 𐧦 𐧧 𐧨 𐧩 𐧪 𐧫 𐧬 𐧭 𐧮 𐧯 𐧰 𐧱 𐧲 𐧳 𐧴 𐧵 𐧶 𐧷 𐧸 𐧹 𐧺 𐧻 𐧼 𐧽 𐧾 𐧿 𐨀 𐨁 𐨂 𐨃 𐨄 𐨅 𐨆 𐨇 𐨈 𐨉 𐨊 𐨋 𐨌 𐨍 𐨎 𐨏 𐨐 𐨑 𐨒 𐨓 𐨔 𐨕 𐨖 𐨗 𐨘 𐨙 𐨚 𐨛 𐨜 𐨝 𐨞 𐨟 𐨠 𐨡 𐨢 𐨣 𐨤 𐨥 𐨦 𐨧 𐨨 𐨩 𐨪 𐨫 𐨬 𐨭 𐨮 𐨯 𐨰 𐨱 𐨲 𐨳 𐨴 𐨵 𐨶 𐨷 𐨸 𐨹 𐨺 𐨻 𐨼 𐨽 𐨾 𐨿 𐩀 𐩁 𐩂 𐩃 𐩄 𐩅 𐩆 𐩇 𐩈 𐩉 𐩊 𐩋 𐩌 𐩍 𐩎 𐩏 𐩐 𐩑 𐩒 𐩓 𐩔 𐩕 𐩖 𐩗 𐩘 𐩙 𐩚 𐩛 𐩜 𐩝 𐩞 𐩟 𐩠 𐩡 𐩢 𐩣 𐩤 𐩥 𐩦 𐩧 𐩨 𐩩 𐩪 𐩫 𐩬 𐩭 𐩮 𐩯 𐩰 𐩱 𐩲 𐩳 𐩴 𐩵 𐩶 𐩷 𐩸 𐩹 𐩺 𐩻 𐩼 𐩽 𐩾 𐩿 𐪀 𐪁 𐪂 𐪃 𐪄 𐪅 𐪆 𐪇 𐪈 𐪉 𐪊 𐪋 𐪌 𐪍 𐪎 𐪏 𐪐 𐪑 𐪒 𐪓 𐪔 𐪕 𐪖 𐪗 𐪘 𐪙 𐪚 𐪛 𐪜 𐪝 𐪞 𐪟 𐪠 𐪡 𐪢 𐪣 𐪤 𐪥 𐪦 𐪧 𐪨 𐪩 𐪪 𐪫 𐪬 𐪭 𐪮 𐪯 𐪰 𐪱 𐪲 𐪳 𐪴 𐪵 𐪶 𐪷 𐪸 𐪹 𐪺 𐪻 𐪼 𐪽 𐪾 𐪿 𐫀 𐫁 𐫂 𐫃 𐫄 𐫅 𐫆 𐫇 𐫈 𐫉 𐫊 𐫋 𐫌 𐫍 𐫎 𐫏 𐫐 𐫑 𐫒 𐫓 𐫔 𐫕 𐫖 𐫗 𐫘 𐫙 𐫚 𐫛 𐫜 𐫝 𐫞 𐫟 𐫠 𐫡 𐫢 𐫣 𐫤 𐫥 𐫦 𐫧 𐫨 𐫩 𐫪 𐫫 𐫬 𐫭 𐫮 𐫯 𐫰 𐫱 𐫲 𐫳 𐫴 𐫵 𐫶 𐫷 𐫸 𐫹 𐫺 𐫻 𐫼 𐫽 𐫾 𐫿 𐬀 𐬁 𐬂 𐬃 𐬄 𐬅 𐬆 𐬇 𐬈 𐬉 𐬊 𐬋 𐬌 𐬍 𐬎 𐬏 𐬐 𐬑 𐬒 𐬓 𐬔 𐬕 𐬖 𐬗 𐬘 𐬙 𐬚 𐬛 𐬜 𐬝 𐬞 𐬟 𐬠 𐬡 𐬢 𐬣 𐬤 𐬥 𐬦 𐬧 𐬨 𐬩 𐬪 𐬫 𐬬 𐬭 𐬮 𐬯 𐬰 𐬱 𐬲 𐬳 𐬴 𐬵 𐬶 𐬷 𐬸 𐬹 𐬺 𐬻 𐬼 𐬽 𐬾 𐬿 𐭀 𐭁 𐭂 𐭃 𐭄 𐭅 𐭆 𐭇 𐭈 𐭉 𐭊 𐭋 𐭌 𐭍 𐭎 𐭏 𐭐 𐭑 𐭒 𐭓 𐭔 𐭕 𐭖 𐭗 𐭘 𐭙 𐭚 𐭛 𐭜 𐭝 𐭞 𐭟 𐭠 𐭡 𐭢 𐭣 𐭤 𐭥 𐭦 𐭧 𐭨 𐭩 𐭪 𐭫 𐭬 𐭭 𐭮 𐭯 𐭰 𐭱 𐭲 𐭳 𐭴 𐭵 𐭶 𐭷 𐭸 𐭹 𐭺 𐭻 𐭼 𐭽 𐭾 𐭿 𐮀 𐮁 𐮂 𐮃 𐮄 𐮅 𐮆 𐮇 𐮈 𐮉 𐮊 𐮋 𐮌 𐮍 𐮎 𐮏 𐮐 𐮑 𐮒 𐮓 𐮔 𐮕 𐮖 𐮗 𐮘 𐮙 𐮚 𐮛 𐮜 𐮝 𐮞 𐮟 𐮠 𐮡 𐮢 𐮣 𐮤 𐮥 𐮦 𐮧 𐮨 𐮩 𐮪 𐮫 𐮬 𐮭 𐮮 𐮯 𐮰 𐮱 𐮲 𐮳 𐮴 𐮵 𐮶 𐮷 𐮸 𐮹 𐮺 𐮻 𐮼 𐮽 𐮾 𐮿 𐯀 𐯁 𐯂 𐯃 𐯄 𐯅 𐯆 𐯇 𐯈 𐯉 𐯊 𐯋 𐯌 𐯍 𐯎 𐯏 𐯐 𐯑 𐯒 𐯓 𐯔 𐯕 𐯖 𐯗 𐯘 𐯙 𐯚 𐯛 𐯜 𐯝 𐯞 𐯟 𐯠 𐯡 𐯢 𐯣 𐯤 𐯥 𐯦 𐯧 𐯨 𐯩 𐯪 𐯫 𐯬 𐯭 𐯮 𐯯 𐯰 𐯱 𐯲 𐯳 𐯴 𐯵 𐯶 𐯷 𐯸 𐯹 𐯺 𐯻 𐯼 𐯽 𐯾 𐯿 𐰀 𐰁 𐰂 𐰃 𐰄 𐰅 𐰆 𐰇 𐰈 𐰉 𐰊 𐰋 𐰌 𐰍 𐰎 𐰏 𐰐 𐰑 𐰒 𐰓 𐰔 𐰕 𐰖 𐰗 𐰘 𐰙 𐰚 𐰛 𐰜 𐰝 𐰞 𐰟 𐰠 𐰡 𐰢 𐰣 𐰤 𐰥 𐰦 𐰧 𐰨 𐰩

5 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 600 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 699 700 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 760 761 762 763 764 765 766 767 768 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 799 800 801 802 803 804 805 806 807 808 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000 1001 1002 1003 1004 1005 1006 1007 1008 1009 1010 1011 1012 1013 1014 1015 1016 1017 1018 1019 1020 1021 1022 1023 1024 1025 1026 1027 1028 1029 1030 1031 1032 1033 1034 1035 1036 1037 1038 1039 1040

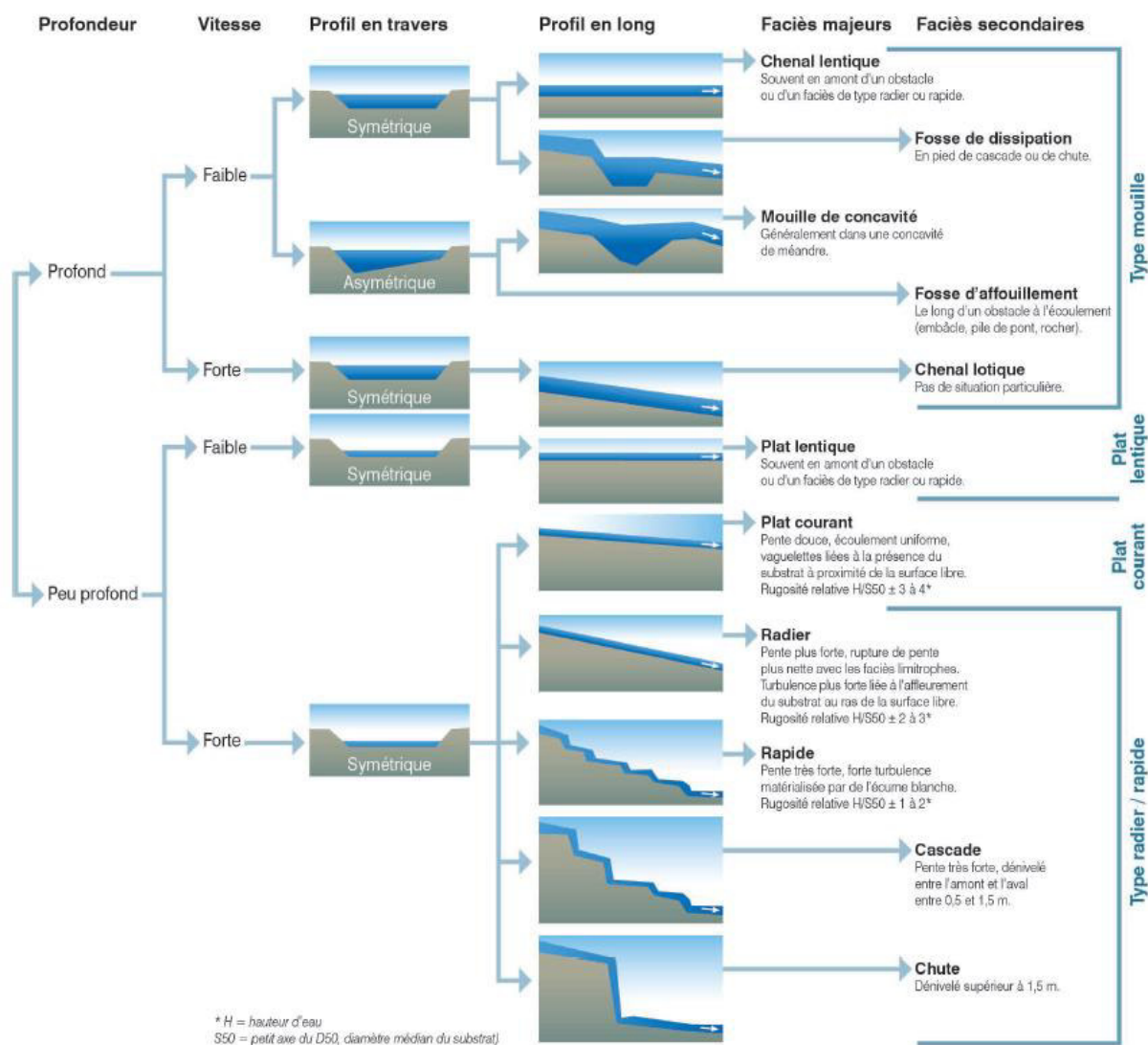
□ ₄₉ ↑			□ ₄₉ ↑			□ ₄₉ ↑		
	5□ ₄₉ ↑ I、	/I ₄₉ o ₅ HXB I、		5□ ₄₉ ↑ I、	/I ₄₉ o ₅ HXB I、		5□ ₄₉ ↑ I、	/I ₄₉ o ₅ HXB I、
/I ₄₉ ㄷ	ㄷ		/I ₄₉ ㄷ	ㄷ		/I ₄₉ ㄷ	ㄷ	
/I ₄₉ ㅌ			/I ₄₉ ㅌ			/I ₄₉ ㅌ		
/I ₄₉ ㄱ			/I ₄₉ ㄱ			/I ₄₉ ㄱ		
/I ₄₉ ㄲ			/I ₄₉ ㄲ			/I ₄₉ ㄲ		
/I ₄₉ ㄴ			/I ₄₉ ㄴ			/I ₄₉ ㄴ		
/I ₄₉ ㄷ			/I ₄₉ ㄷ			/I ₄₉ ㄷ		
/I ₄₉ ㄹ			/I ₄₉ ㄹ			/I ₄₉ ㄹ		
/I ₄₉ ㅁ			/I ₄₉ ㅁ			/I ₄₉ ㅁ		
/I ₄₉ ㅂ			/I ₄₉ ㅂ			/I ₄₉ ㅂ		
/I ₄₉ ㅅ			/I ₄₉ ㅅ			/I ₄₉ ㅅ		
/I ₄₉ ㅆ			/I ₄₉ ㅆ			/I ₄₉ ㅆ		
/I ₄₉ ㅈ			/I ₄₉ ㅈ			/I ₄₉ ㅈ		
/I ₄₉ ㅊ			/I ₄₉ ㅊ			/I ₄₉ ㅊ		
/I ₄₉ ㅋ			/I ₄₉ ㅋ			/I ₄₉ ㅋ		
/I ₄₉ ㆁ			/I ₄₉ ㆁ			/I ₄₉ ㆁ		
/I ₄₉ ㅅ			/I ₄₉ ㅅ			/I ₄₉ ㅅ		
/I ₄₉ ㅆ			/I ₄₉ ㅆ			/I ₄₉ ㅆ		
/I ₄₉ ㅈ			/I ₄₉ ㅈ			/I ₄₉ ㅈ		
/I ₄₉ ㅊ			/I ₄₉ ㅊ			/I ₄₉ ㅊ		
/I ₄₉ ㅋ			/I ₄₉ ㅋ			/I ₄₉ ㅋ		
/I ₄₉ ㆁ			/I ₄₉ ㆁ			/I ₄₉ ㆁ		
/I ₄₉ ㅅ			/I ₄₉ ㅅ			/I ₄₉ ㅅ		
/I ₄₉ ㅆ			/I ₄₉ ㅆ			/I ₄₉ ㅆ		
/I ₄₉ ㅈ			/I ₄₉ ㅈ			/I ₄₉ ㅈ		
/I ₄₉ ㅊ			/I ₄₉ ㅊ			/I ₄₉ ㅊ		
/I ₄₉ ㅋ			/I ₄₉ ㅋ			/I ₄₉ ㅋ		
/I ₄₉ ㆁ			/I ₄₉ ㆁ			/I ₄₉ ㆁ		

[illegible]

[illegible]

$\begin{aligned} & / \text{IX} \uparrow \text{OT} \uparrow \text{ф} \uparrow \text{Пт} \uparrow \text{Дт} \uparrow \text{с} \\ & 5 \uparrow \text{д} \uparrow \text{Г} \uparrow \text{ф} \uparrow \text{Пт} \uparrow \text{с} \uparrow \text{д} \uparrow \text{Г} \uparrow \text{ф} \uparrow \text{Пт} \uparrow \text{с} \uparrow \text{д} \uparrow \text{Г} \uparrow \text{ф} \uparrow \text{Пт} \uparrow \text{с} \\ & \uparrow \text{ф} \uparrow \text{Пт} \uparrow \text{Дт} \uparrow \text{с} \end{aligned}$

ANNEXE 5 : CLE DE DETERMINATION DES FACIES D'ECOULEMENT



Article L214-7

Les installations classées pour la protection de l'environnement définies à l'article L. 511-1 sont soumises aux dispositions des articles L. 211-1, L. 212-1 à L. 212-11, L. 214-8, L. 216-6 et L. 216-13, ainsi qu'aux mesures prises en application des décrets prévus au 1° du II de l'article L. 211-3. Les mesures individuelles et réglementaires prises en application du titre Ier du livre V fixent les règles applicables aux installations classées ayant un impact sur le milieu aquatique, notamment en ce qui concerne leurs rejets et prélèvements.

Article R211-108

- I. Les critères à retenir pour la définition des zones humides mentionnées au 1° du I de l'article L. 211-1 sont relatifs à la morphologie des sols liée à la présence prolongée d'eau d'origine naturelle et à la présence éventuelle de plantes hygrophiles. Celles-ci sont définies à partir de listes établies par région biogéographique.
En l'absence de végétation hygrophile, la morphologie des sols suffit à définir une zone humide.
- II. La délimitation des zones humides est effectuée à l'aide des cotes de crue ou de niveau phréatique, ou des fréquences et amplitudes des marées, pertinentes au regard des critères relatifs à la morphologie des sols et à la végétation définis au I.
- III. Un arrêté des ministres chargés de l'environnement et de l'agriculture précise, en tant que de besoin, les modalités d'application du présent article et établit notamment les listes des types de sols et des plantes mentionnés au I.
- IV. Les dispositions du présent article ne sont pas applicables aux cours d'eau, plans d'eau et canaux, ainsi qu'aux infrastructures créées en vue du traitement des eaux usées ou des eaux pluviales.

ANNEXE 7 : ECHELLE GRANULOMETRIQUE DE WENTWOTH (1922) MODIFIEE PAR SOUCHON ET MALAVOI (1989)

Nom de la classe granulométrique	Classe de taille (diamètre en mm)	Code utilisé
Dalles (dont dalles d'argile)	> 1024	D
Rochers	> 1024	R
Blocs	256 - 1024	B
Pierres grossières	128 - 256	PG
Pierres fines	64 - 128	PF
Cailloux grossiers	32 - 64	CG
Cailloux fins	16 - 32	CF
Graviers grossiers	8 - 16	GG
Gravier fins	2 - 8	GF
Sables	0,625 - 2	S
Limons	0,0039 - 0,0625	L
Argiles	< 0,0039	A

ANNEXE 8 : SITES DE DEMONSTRATION

Malgré le véritable essor que connaît la restauration hydromorphologique depuis ces dernières années, des études de synthèse et retour d'expérience en France et à l'étranger ont montré que leur suivi d'opérations sont souvent peu ou mal mis en œuvre. Ces dernières soulignent également le manque de données de suivi fiables et robustes permettant de conforter les connaissances sur l'efficacité des techniques de restauration utilisées actuellement et leurs effets sur les milieux (Bayley, 2002; Bernhardt et al., 2005; Palmer et al., 2005; Kondolf, 2006; Palmer, 2009).

De ce fait, le projet de « sites de démonstrations » permettrait de combler ce manque de production d'éléments de connaissance. Son but est de concevoir un réseau de sites d'opérations de restauration hydromorphologique, un suivi standardisé, le suivi scientifique minimal (SSM) (Malavoi and Souchon, 2010), permettant d'acquérir sur le long terme des données homogènes et traçables.

L'objectif du projet de « sites de démonstration » est double :

- *scientifique* : tirer des enseignements scientifiques extrapolables, améliorer la connaissance notamment sur le fonctionnement des milieux à l'échelle locale et nationale,
- *opérationnel* : prévoir l'efficacité de l'opération de restauration, être en capacité de communiquer à partir de retours d'expérience mieux documentés, tirer des enseignements sur les techniques de génie écologique, contribuer à l'élaboration de stratégies de suivis adaptés aux enjeux locaux.

Aujourd'hui, une quarantaine de sites sont candidats à l'intégration dans le réseau « sites de démonstration » (Cf figure ci-dessous).



Figure : Réseau de sites de démonstration et sites de démonstration potentiels en France



Principes généraux

les modalités (généralement 4 possibles) de 17 descripteurs de texture, de structure et de couleur.

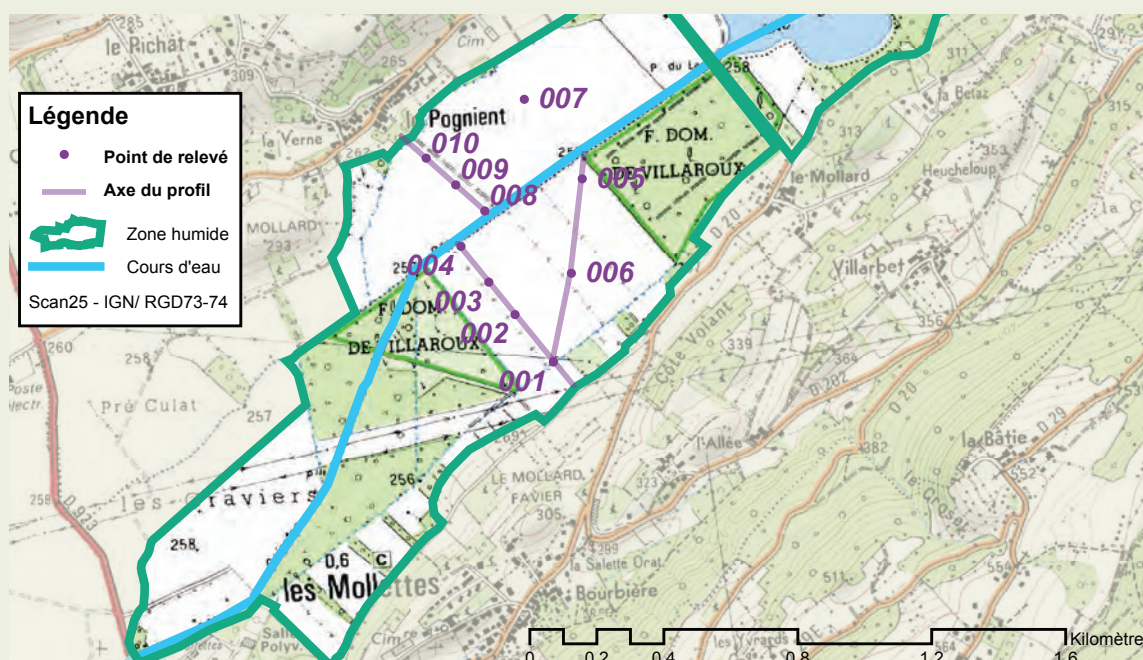
Les points de relevés sont réalisés à intervalles réguliers le long de transects préalablement positionnés pour être les plus représentatifs de la diversité du milieu et du gradient d'hydromorphie, généralement de la périphérie vers le centre de la zone humide.

Les différents horizons sont caractérisés par



la plus forte. Pour cela, il s'agit de positionner un ou plusieurs transects qui partent du bord en direction du centre de la zone humide. Si la zone humide a une forme quasi-circulaire, ou du moins compacte, un seul transect peut être réalisé.

Figure 1 : exemple de stratégie d'échantillonnage





Description et principes du protocole

Principes généraux

La flore d'un site est évaluée par la réalisation d'inventaires (les relevés) sur un ensemble de placettes réparties de manière à échantillonner le plus d'habitats naturels possibles.

Type de données collectées

Sur chaque placette, on note l'ensemble des espèces présentes à l'intérieur de celle-ci et on en estime le recouvrement. On note également la taille de la placette, la physiologie de la

végétation (annexe 2), le recouvrement et la hauteur des différentes strates de la végétation. La position des placettes est mesurée avec un GPS, de même que la distance au point d'origine du transect.

Type d'échantillonnage

Les points de relevés sont réalisés à intervalles réguliers le long de transects préalablement positionnés pour être les plus représentatifs de la diversité des milieux présents sur le site.

Méthode de mise en place

Selon la taille des sites et la diversité des habitats (une visite rapide préalable du site peut être utile), l'ordre de grandeur du nombre de placettes varie (Annexe 2). Celles-ci sont ventilées sur 1 à 3 transects par site (cas général), de manière régulière et définie au préalable, et les relevés sont effectués systématiquement du même côté du transect. Typiquement, entre 5 et 20 placettes seront positionnées par transect, sur des longueurs oscillant entre 100 et 800 mètres, soit des espacements compris entre 20 et 50 mètres le plus souvent. Les points de départ et d'arrivée des transects peuvent être matérialisés de manière pérenne (bornes) ou a minima repérés sur le terrain par des points remarquables, des photographies et bien sûr le positionnement par GPS. L'orientation du transect peut être notée à la boussole ou, notamment en milieu ouvert, en suivant des points de repère lointains (photo ci-contre). Tous ces éléments sont reportés sur la fiche terrain (Annexe1).

Les relevés sont effectués sur les placettes dont la taille usuelle dépend de la structure de la végétation (Annexe 2), d'après **CHYTRY & OPTIKOVA (2003)**, quelle que soit l'homogénéité apparente de la placette, sauf si celle-ci est à cheval sur :

- deux physiologies très différentes (par

Axe de la visée du transect



Exemple de visée lointaine

exemple à l'interface entre forêt / prairie humide ou milieu naturel / milieu artificiel (piste...);

- une rupture topographique majeure (fossé, butte de plus d'1m...)

Dans certains cas, la taille normale doit être réduite (1 m^2 , voire 0.25 m^2) et leur espacement également réduit (5 m), comme les grèves d'étangs ou les berges des cours d'eau, les bas-marais artico-alpins ou certains complexes tourbeux à sphaignes.



PIÉZOMÉTRIE

Description et principes du protocole

Principes généraux

Il s'agit de suivre les variations de la nappe d'eau dans le sol et de traduire la dynamique hydrologique de la zone humide. Pour cela, un piézomètre, servant de puits d'observation, est installé et équipé d'une sonde de pression permettant l'enregistrement automatique des valeurs de nappe. Comme il s'agit de mesurer les variations de la nappe à proximité de la surface et non dans les formations superficielles profondes, les piézomètres peuvent ne pas excéder deux mètres de longueur. Ce protocole nécessite d'envisager une maintenance du matériel à moyen et long terme (TAYLOR et ALLEY, 2001).

Type de données collectées

Les sondes acquièrent des données au pas de temps horaire, soit 8760 valeurs par an. Comme il s'agit de profondeur par rapport à la surface du sol, les valeurs sont positives lorsque la nappe se situe dans le sol et négatives si elle dépasse la surface et inonde le sol.

Type d'échantillonnage

Un seul piézomètre équipé peut être installé par site. Bien évidemment, la localisation du piézomètre doit être réfléchie afin de se situer dans un contexte hydrologique et topographique moyen à l'échelle du site. Cela est d'autant plus vrai que le site est vaste.



Méthode de mise en place



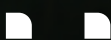
Les piézomètres « ouverts » sont de simples tubes, qui permettent depuis la surface d'accéder à l'eau d'une nappe. Fabriqués à partir de tubes métalliques ou en PVC perforés sur toute leur longueur (tous les 10 centimètres), ils permettent d'observer le niveau piézométrique. Il est parfois préconisé de recouvrir le tube d'un géotextile, pour empêcher le matériel du sol de rentrer dans le tube. Si cela est recommandé dans les sol minéraux friables ou argileux, cela n'est généralement pas nécessaire dans la tourbe, dans la mesure où les perforations sont de petite taille (inférieure à 10 mm). Les tubes dépassent du sol pour faciliter leur repérage au milieu de la végétation. Une marque est réalisée au niveau du sol pour matérialiser le niveau 0 et vérifier que le piézomètre ne bouge pas au fil du temps. Les tubes sont équipés de sondes à capteur de pression permettant l'enregistrement automatique des valeurs à un pas de temps défini.

Différents fabricants proposent aujourd'hui des enregistreurs de niveau de nappes basés sur une sonde de pression (ott, hydreka, aqualyse, schlumberger, paratronic, solinst...).

Si les propositions techniques diffèrent quelque peu, le principe général consiste à mesurer la pression absolue en profondeur, correspondant à la somme de la pression atmosphérique et de la pression due à la colonne d'eau, pour la convertir en hauteur. Pour cela, il est donc nécessaire de compenser la pression absolue par la pression atmosphérique enregistrée en surface et ainsi isoler la pression uniquement liée au poids de la colonne d'eau. Aujourd'hui les capacités de stockage des données ne sont plus un facteur limitant, les sondes pouvant stocker plusieurs centaines de milliers de valeurs. Si, pour le calcul de l'indicateur, les données sont exploitées au pas de temps journaliers, des enregistrements au pas de temps horaire peuvent permettre des observations complémentaires intéressantes.



ODONATES



Description et principes du protocole

L'objectif du protocole est de réaliser un inventaire du peuplement d'odonates de la zone humide le plus complet possible dans un minimum de temps en appliquant une pression d'observation calibrée et reproductible.

Les données collectées sont des informations de présence/absence des espèces, complétées

d'informations semi-quantitatives et qualitatives sur un réseau de points d'observation.

L'échantillonnage est stratifié pour répartir la pression d'observation sur les différents habitats odonatologiques.



Méthode de mise en place



Définir l'univers d'échantillonnage

Il convient, avant d'engager la définition de l'échantillonnage, d'avoir une lecture critique des données d'inventaire des zones humides et le cas échéant de procéder à des regroupements de manière à conduire l'évaluation à la bonne échelle. Les cas suivants ont été rencontrés sur les sites tests :

- Zone humide attenante à une masse d'eau de type lac : vérifier que l'interface entre la masse d'eau et la zone humide (partie du lac de profondeur inférieure à 3 m abritant des formations d'hélophytes et d'hydrophytes) est bien intégrée dans la zone humide. Dans le cas où plusieurs zones humides attenantes au lac ont été définies séparément, les réunir dans un seul polygone rassemblant toutes les zones humides riveraines et la frange peu profonde du lac pour définir l'univers d'échantillonnage ;
- Zone humide alluviale : souvent la masse d'eau (= le cours d'eau) est exclue de l'enveloppe zone humide. Il convient, comme pour les lacs, d'intégrer toutes les zones d'interface des berges et parties peu profondes dans l'univers d'échantillonnage. Afin de simplifier le travail de délimitation, il est préconisé d'intégrer l'ensemble du chenal du cours d'eau. Ces zones humides alluviales posent également d'autres questions :
D'une part celle permettant de délimiter

les limites d'échantillonnage dans le cas de système peu anthropisé. On conseillera dans ce cas de recourir à la méthode de définition des secteurs fonctionnels sur un cours d'eau (*AMOROS et PETTS, 1993*).

A l'inverse, dans le cas de plaines alluviales très anthropisées, chaque petite zone humide vestigiale est le plus souvent cartographiée séparément, alors que fonctionnellement chacune fait partie d'un système beaucoup plus vaste orchestré par le cours d'eau au travers de sa nappe phréatique d'accompagnement et éventuellement de l'inondation périodique. Ici encore, la définition de l'univers d'échantillonnage par la réunion des différentes petites zones humides résiduelles et du chenal du cours d'eau du secteur fonctionnel est recommandée.

- Enfin, le cas des constellations de petites zones humides (marais, mares...), souvent héritées d'une zone humide antérieure plus vaste, réduite ou fragmentée par drainage ou mise en culture, peut être traitée de la même manière en construisant un univers d'échantillonnage unique réunissant l'ensemble du réseau. Dans ces deux derniers cas de zones humides fragmentées, cette méthode facilite la mise en place d'un nombre de points d'observation suffisant pour atteindre une validité correcte de l'échantillonnage.

AMPHIBIENS

Description et principes du protocole

Il n'existe pas de méthode unique de dénombrement applicable à l'ensemble des espèces d'amphibiens et aux différents stades de leur développement. La recherche des amphibiens, tant pour le suivi que pour l'inventaire, s'appuie sur plusieurs méthodes. Certaines visent à rechercher les adultes, soit dans l'eau, soit sur terre, à l'aide de lampes, d'épuisettes ou au chant, d'autres à inventorier

les larves. Tant pour le suivi que pour l'inventaire, la plupart de ces techniques sont utilisables et sont généralement utilisées de manière combinée par les herpétologues.

L'objectif du protocole est de réaliser un inventaire calibré et reproductible du peuplement d'amphibiens de la zone humide. Ce dernier doit être le plus complet possible dans un minimum de temps.

Méthode de mise en place

Type de données collectées

Les données collectées sont des informations de présence/absence des espèces (données qualitatives), complétées d'informations semi-quantitatives (voir paragraphe 2). Elles sont collectées sur un réseau de points d'observation afin d'alimenter l'analyse du peuplement sur l'ensemble du site.

Type d'échantillonnage

Afin de répartir la pression d'échantillonnage sur les différents milieux, une stratification est appliquée ; elle vise à échantillonner de manière représentative les différents habitats herpétologiques (voir liste en annexe 2) ; ils correspondent à une simplification de la liste des habitats odonatologiques produite par la S.F.O. [<http://www.libellules.org/protocole/cilif.html>].

Limites : l'objectif est de ne pas passer plus d'un jour par site et par session, mais cet objectif ne peut être atteint dans toutes les circonstances. Ainsi, pour des sites d'une superficie supérieur à 2 000 hectares, on pourra aller jusqu'à doubler le temps consacré aux inventaires. Entre 500 et 2 000 ha, en fonction de la complexité et de la diversité des milieux, le seuil d'un jour pourra être augmenté dans la limite de 1,5 jour, on veillera à respecter une pression

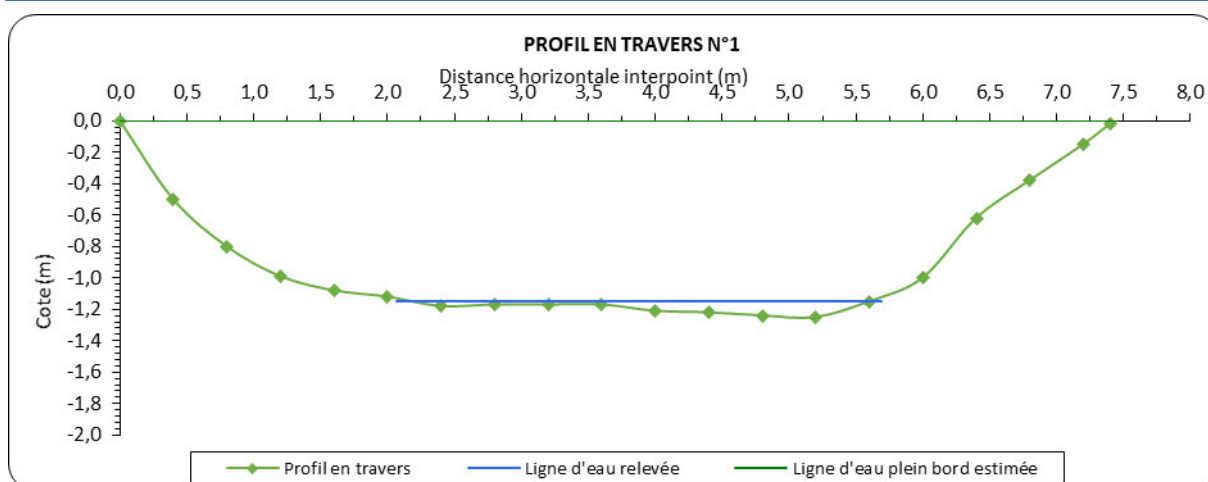
d'échantillonnage sur les habitats conforme à l'ensemble de la surface et à déployer les suivis de manière équitablement répartie sur la totalité du site.

On ne mettra pas en oeuvre le protocole les jours de pluie ou de vent important (c'est-à-dire présence de vagues même légères à la surface de l'eau).

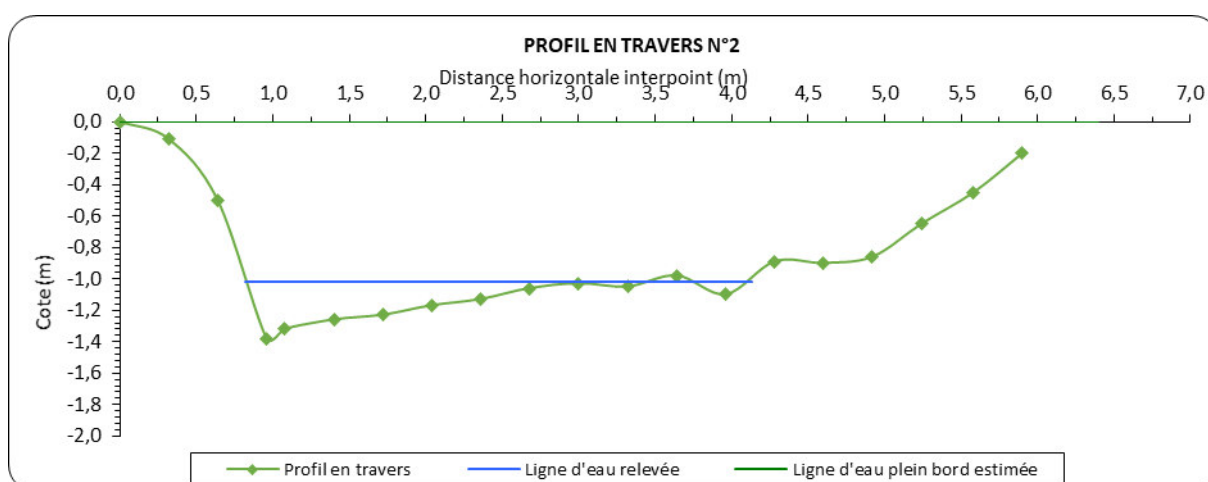
Exemple : Pour un site représentant 4 habitats herpétologiques répartis de manière homogène, on ne réalisera qu'un point par habitat soit au total 4. Pour un site présentant deux habitats herpétologiques, mais répartis de manière non homogène (un ruisseau et 5 mares), on réalisera un point (transect) sur le ruisseau et on tirera au sort 2 mares soit au total 3 points d'échantillonnage pour le site.

Il est prévu 3 visites annuelles par zone humide dont une de nuit. Les dates des visites sont déterminées en fonction des saisons de reproduction des espèces cibles. La date de la première visite sera calée sur la période de reproduction des espèces dites précoces (*Rana temporaria*, *R. dalmatina*, *Bufo bufo*), elle sera idéalement réalisée de jour afin de faire une visite rapide préalable du site. Celle de la seconde visite sera axée sur la reproduction des espèces de mi-saison (*Bufo calamita*, *Hyla*

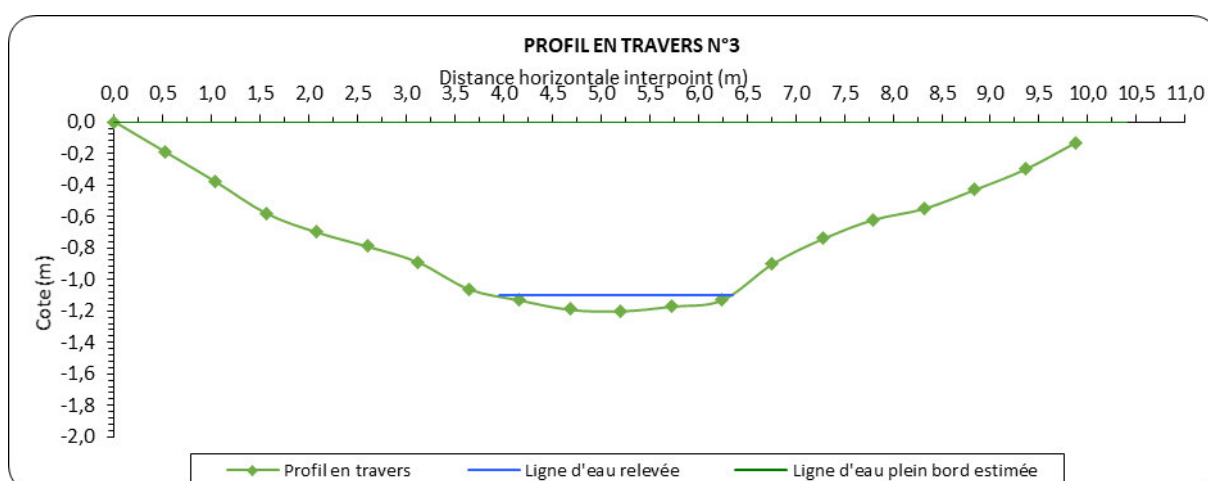
ANNEXE 9 : PROFILS EN TRAVERS



Profil en travers d'un faciès plat lentique



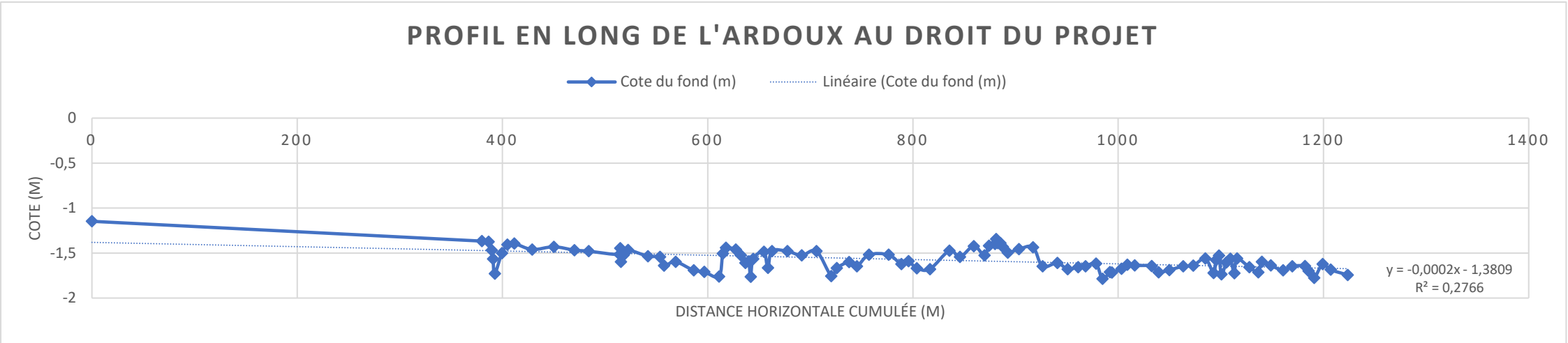
Profil en travers d'un faciès de fosse d'affouillement



Profil en travers d'un faciès plat courant

ANNEXE 10 : PROFIL EN LONG DE LA ZONE D'ETUDE AVEC UN RACCORD LIMITE AMONT DU DOMAINE DU BOUCHET A LA COTE AMONT DU DEBUT DU PROFIL EN LONG DU TROISIEME SECTEUR

NB. : la zone rectiligne correspond aux secteurs 1 et 2 ou aucun relevé n’a pu être effectué en raison de contraintes d’accessibilité.



ANNEXE 11 : INVENTAIRE ENTOMOLOGIQUE – LISTE DES ESPECES RECENSEES EN 2020 AU DOMAINE DU BOUCHET

Source : Inventaire entomologique du domaine du Bouchet à Dry (Loiret)

Observateurs : Jean-David Chapelin-Viscard, Samuel Loiseau, Maxime Bellifa

Légende : PN : protégé au niveau national ; MR : menacé au niveau régional ; ZNIEFF : déterminant des Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique ; SIQF : saproxylique indicateur de la qualité des forêts ; R : assez rare à très rare ; ND : nouveau pour le département ; EXO : exotique.

TAXONS	NBR ESPECES	STATUTS
Blattodea	1	
Ectobiidae		
Ectobius sp.		
Coleoptera	110	
Anthribidae		
Anthribus nebulosus (Forster, 1770)		
Biphyllidae		
Biphyllus lunatus (Fabricius, 1787)		SIQF
Buprestidae		
Agrilus convexicollis (Redtenbacher 1849)		
Agrilus hastulifer (Ratzeburg 1837)		R
Agrilus laticornis (Illiger, 1803)		
Agrilus olivicolor (Kiesenwetter 1857)		
Agrilus viridicaerulans rubi (Schaefer 1937)		R
Anthaxia nitidula (Linnaeus, 1758)		
Aphanisticus elongatus (A. Villa & G.B. Villa, 1835)		R
Byturidae		
Byturus ochraceus (Scriba, 1790)		
Cantharidae		
Cantharis fusca (Linnaeus, 1758)		
Cantharis rustica (Fallén, 1807)		
Malthinus fasciatus (Olivier, 1790)		
Malthinus glabellus (Kiesenwetter, 1852)		
Malthinus seriepunctatus (Kiesenwetter, 1852)		
Malthodes sp.		
Rhagonycha fulva (Scopoli, 1763)		
Rhagonycha lutea (O.F. Müller, 1764)		
Rhagonycha nigriventris (Motschulsky, 1860)		
Carabidae		
Amara aenea (De Geer, 1774)		
Bembidion properans (Stephens, 1828)		

Brachinus elegans (Chaudoir, 1842)	R (localisé)
Demetrias atricapillus (Linnaeus, 1758)	
Diachromus germanus (Linnaeus, 1758)	
Harpalus distinguendus (Duftschmid, 1812)	
Microlestes minutulus (Goeze, 1777)	
Stenolophus mixtus (Herbst, 1784)	
Syntomus obscuroguttatus (Duftschmid, 1812)	
Cerambycidae	
Calamobius filum (Rossi, 1790)	
Cerambyx scopolii (Fuessly, 1775)	
Exocentrus adpersus (Mulsant, 1846)	
Glaphyra umbellatarum (Schreber, 1759)	
Grammoptera ruficornis (Fabricius, 1781)	
Leiopus femoratus (Fairmaire, 1859)	
Pachytodes cerambyciformis (Schränk, 1781)	
Pseudovadonia livida (Fabricius, 1777)	
Rutpela maculata (Poda, 1761)	
Stenocorus meridianus (Linnaeus, 1758)	SIQF
Stenurella melanura (Linnaeus, 1758)	
Stictoleptura fulva (De Geer, 1775)	
Chrysomelidae	
Agelastica alni (Linnaeus, 1758)	
Altica lythri (Aubé, 1843)	
Aphthona nonstriata (Goeze, 1777)	
Cassida viridis (Linnaeus, 1758)	
Chrysolina polita (Linnaeus, 1758)	
Clytra laeviuscula (Ratzeburg, 1837)	
Cryptocephalus chrysopus (Gmelin, 1790)	
Cryptocephalus vittatus (Fabricius, 1775)	
Donacia crassipes (Fabricius, 1775)	MR + ZNIEFF
Galerucella nymphaeae (Linnaeus, 1758)	
Hispa atra (Linnaeus, 1767)	
Labidostomis longimana (Linnaeus, 1760)	
Oulema duftschmidi (Redtenbacher, 1874)	
Oulema gallaeciana (L.F.J.D. Heyden, 1870)	
Oulema melanopus (Linnaeus, 1758)	
Phaedon armoraciae (Linnaeus, 1758)	
Phaedon cochleariae (Fabricius, 1792)	
Prasocuris junci (Brahm, 1790)	R
Psylliodes chrysocephala (Linnaeus, 1758)	

Cleridae

Thanasimus formicarius (Linnaeus, 1758)

Trichodes alvearius (Fabricius, 1792)

Coccinellidae

Adalia decempunctata (Linnaeus, 1758)

Calvia decemguttata (Linnaeus, 1767)

Calvia quatuordecimguttata (Linnaeus, 1758)

Coccinella septempunctata (Linnaeus, 1758)

Exochomus quadripustulatus (Linnaeus, 1758)

Harmonia axyridis (Pallas, 1773)

EXO

Nephus quadrimaculatus (Herbst, 1783)

Oenopia conglobata (Linnaeus, 1758)

Oenopia lyncea (Olivier, 1808)

Propylea quatuordecimpunctata (Linnaeus, 1758)

Psyllobora vigintiduopunctata (Linnaeus, 1758)

Rhyzobius chrysomeloides (Herbst, 1792)

Tytthaspis sedecimpunctata (Linnaeus, 1760)

Curculionidae

Aulacobaris coerulescens (Scopoli, 1763)

Ceutorhynchus pallidactylus (Marsham, 1802)

Ceutorhynchus picitarsis (Gyllenhal, 1837)

Kissophagus hederæ (Schmitt 1843)

Mononychus punctumalbum (Herbst, 1784)

Phyllobius pomaceus (Gyllenhal, 1834)

Dasytidae

Danacea pallipes (Panzer, 1793)

Dasytes plumbeus (O.F. Müller, 1776)

Dolichosoma lineare (Rossi, 1794)

Drilidae

Drilus flavescens (Geoffroy in Fourcroy, 1785)

Elateridae

Adrastus rachifer (Geoffroy in Fourcroy, 1785)

Agrypnus murinus (Linnaeus, 1758)

Cidnopus pilosus (Leske, 1785)

Nothodes parvulus (Panzer, 1799)

Erotylidae

Triplax lacordairii (Crotch, 1870)

SIQF

Gyrinidae

Gyrinus substriatus (Stephens, 1828)

Lampyridae

Lampyris iberica (Geisthardt et al., 2008)	
Lampyris noctiluca (Linnaeus, 1758)	
Meloidae	
Cerocoma schaefferi (Linnaeus, 1758)	ZNIEFF
Malachiidae	
Anthocomus fasciatus (Linnaeus, 1758)	
Malachius bipustulatus (Linnaeus, 1758)	
Mycetophagidae	
Litargus connexus (Geoffroy, 1785)	
Oedemeridae	
Chrysanthia viridissima (Linnaeus, 1758)	
Oedemera flavipes (Fabricius, 1792)	
Oedemera lurida (Marsham, 1802)	
Oedemera nobilis (Scopoli, 1763)	
Oedemera podagrariae (Linnaeus, 1767)	
Pyrochroidae	
Pyrochroa coccinea (Linnaeus, 1760)	
Scarabaeidae	
Cetonia aurata (Linnaeus, 1758)	
Hoplia philanthus (Fuessly, 1775)	
Onthophagus verticicornis (Laicharting, 1781)	R
Oxythyrea funesta (Poda, 1761)	
Trichius fasciatus (Linnaeus, 1758)	
Valgus hemipterus (Linnaeus, 1758)	
Silvanidae	
Silvanus unidentatus (Olivier, 1790)	
Zopheridae	
Bitoma crenata (Fabricius, 1775)	
Dermaptera	1
Forficulidae	
Forficula auricularia (Linnaeus, 1758)	
Diptera	24
Hippoboscidae	
Lipoptena fortisetosa (Maa, 1965)	EXO
Stratiomyidae	
Chloromyia formosa (Scopoli, 1763)	
Syrphidae	
Cheilosia barbata (Loew, 1857)	
Chrysotoxum cautum (Harris, 1778)	
Episyrphus balteatus (De Geer, 1776)	

Eristalis arbustorum (Linnaeus, 1758)	
Eristalis intricaria (Linnaeus, 1758)	
Eristalis pertinax (Scopoli, 1763)	
Eristalis similis (Fallén, 1817)	
Eristalis tenax (Linnaeus, 1758)	
Eumerus ornatus (Meigen, 1822)	
Eupeodes corollae (Fabricius, 1794)	
Helophilus pendulus (Linnaeus, 1758)	
Melanostoma mellinum (Linnaeus, 1758)	
Melanostoma scalare (Fabricius, 1794)	
Meliscaeva auricollis (Meigen, 1822)	
Merodon constans (Wiedemann, 1822)	
Neoscia podagrica (Fabricius, 1775)	
Pipizella viduata (Linnaeus, 1758)	
Sphaerophoria scripta (Linnaeus, 1758)	
Syritta pipiens (Linnaeus, 1758)	
Syrphus ribesii (Linnaeus, 1758)	
Volucella inflata (Fabricius, 1794)	
Xanthogramma dives (Rondani, 1857)	
Hemiptera	35
Alydidae	
Camptopus lateralis (Germar, 1817)	
Aphrophoridae	
Aphrophora alni (Fallén, 1805)	
Philaenus spumarius (Linnaeus, 1758)	
Berytidae	
Berytinus hirticornis (Brullé, 1836)	
Cercopidae	
Cercopis intermedia (Kirschbaum, 1868)	
Cercopis vulnerata (Rossi, 1807)	
Coreidae	
Ceraleptus gracilicornis (Herrich -Schäffer, 1835)	
Coreus marginatus (Linnaeus, 1758)	
Coriomeris denticulatus (Scopoli, 1763)	
Gonocerus acuteangulatus (Goeze, 1778)	
Spathocera lobata (Herrich -Schäffer, 1840)	
Gerridae	
Gerris argentatus (Schummel, 1832)	
Lygaeidae	
Heterogaster urticae (Fabricius, 1775)	

Horvathiolus superbus (Pollich, 1781)	
Ortholomus punctipennis (Herrich -Schäffer, 1838)	
Miridae	
Calocoris nemoralis (Fabricius, 1787)	
Capsodes flavomarginatus (Donovan, 1798)	
Heterotoma planicornis (Pallas, 1772)	
Isometopus intrusus (Herrich -Schäffer, 1835)	R
Pentatomidae	
Aelia acuminata (Linnaeus, 1758)	
Dolycoris baccarum (Linnaeus, 1758)	
Dyroderes umbraculatus (Fabricius, 1775)	
Eurydema oleracea (Linnaeus, 1758)	
Graphosoma italicum (O.F. Müller, 1766)	
Neottiglossa leporina (Herrich -Schäffer, 1830)	
Palomena prasina (Linnaeus, 1760)	
Pentatoma rufipes (Linnaeus, 1758)	
Peribalus strictus vernalis (Wolff, 1804)	
Rhaphigaster nebulosa (Poda, 1761) larve	
Pyrrhocoridae	
Pyrrhocoris apterus (Linnaeus, 1758)	
Reduviidae	
Empicoris rubromaculatus (Blackburn, 1889)	ND + R
Rhopalidae	
Corizus hyoscyami (Linnaeus, 1758)	
Scutelleridae Eurygaster maura (Linnaeus, 1758)	
Thyreocoridae	
Thyreocoris scarabaeoides (Linnaeus, 1758)	R
Tingidae	
Dictyla humuli (Fabricius, 1794)	
Hymenoptera	9
Ampulicidae	
Dolichurus corniculus (Spinola, 1808)	
Apidae	
Apis mellifera (Linnaeus, 1758)	
Xylocopa violacea (Linnaeus, 1758)	
Crabronidae	
Lestica clypeata (Schreber, 1759)	
Pemphredon sp.	
Megachilidae	
Anthidium sp.	

Vespidae

Polistes dominula (Christ, 1791)

Vespa crabro (Linnaeus, 1758)

Vespa velutina (Lepeletier, 1836)

EXO

Lepidoptera

31

Erebidae

Tyria jacobaeae (Linnaeus, 1758)

Hesperiidae

Ochlodes sylvanus (Esper, 1777)

Thymelicus lineola (Ochsenheimer, 1808)

Thymelicus sylvestris (Poda, 1761)

Lycaenidae

Aricia agestis (Denis & Schiffermüller, 1775)

Celastrina argiolus (Linnaeus, 1758)

Lycaena phlaeas (Linnaeus, 1760)

Lycaena tityrus (Poda, 1761)

Polyommatus icarus (Rottemburg, 1775)

Nymphalidae

Aglais io (Linnaeus, 1758)

Argynnis paphia (Linnaeus, 1758)

Brintesia circe (Fabricius, 1775)

Coenonympha pamphilus (Linnaeus, 1758)

Issoria lathonia (Linnaeus, 1758)

Lasiommata megera (Linnaeus, 1767)

Maniola jurtina (Linnaeus, 1758)

Melanargia galathea (Linnaeus, 1758)

Melitaea cinxia (Linnaeus, 1758)

Pararge aegeria (Linnaeus, 1758)

Polygonia c-album (Linnaeus, 1758)

Pyronia tithonus (Linnaeus, 1771)

Vanessa atalanta (Linnaeus, 1758)

Vanessa cardui (Linnaeus, 1758)

Pieridae

Anthocharis cardamines (Linnaeus, 1758)

Gonepteryx rhamni (Linnaeus, 1758)

Leptidea sinapis (Linnaeus, 1758)

Pieris brassicae (Linnaeus, 1758)

Pieris napi (Linnaeus, 1758)

Pieris rapae (Linnaeus, 1758)

Sphingidae

Macroglossum stellatarum (Linnaeus, 1758)	
Yponomeutidae	
Yponomeuta evonymella (Linnaeus, 1758)	
Mecoptera	1
Panorpidae	
Panorpa germanica (Linnaeus, 1758)	
Neuroptera	1
Chrysopidae	
Chrysopidae sp. (larves)	
Odonata	18
Aeshnidae	
Aeshna affinis (Vander Linden, 1820)	
Anax imperator (Leach, 1815)	
Calopterygidae	
Calopteryx splendens (Harris, 1780)	
Coenagrionidae	
Coenagrion mercuriale (Charpentier, 1840)	PN + DH
Coenagrion puella (Linnaeus, 1758)	
Erythromma lindenii (Selys, 1840)	
Ischnura elegans (Vander Linden, 1820)	
Pyrrhosoma nymphula (Sulzer, 1776)	
Lestidae	
Chalcolestes viridis (Vander Linden, 1825)	
Lestes barbarus (Fabricius, 1798)	
Sympecma fusca (Vander Linden, 1820)	
Libellulidae	
Libellula depressa (Linnaeus, 1758)	
Libellula fulva (O.F. Müller, 1764)	
Orthetrum albistylum (Selys, 1848)	
Orthetrum cancellatum (Linnaeus, 1758)	
Sympetrum meridionale (Selys, 1841)	
Sympetrum sanguineum (O.F. Müller, 1764)	
Platycnemidae	
Platycnemis pennipes (Pallas, 1771)	
Orthoptera	8
Acrididae	
Chorthippus brunneus (Thunberg, 1815)	
Chorthippus parallelus (Zetterstedt, 1821)	
Euchorthippus declivus (Brisout de Barneville, 1848)	
Gryllidae	

Gryllus campestris (Linnaeus, 1758)	
Tetrigidae	
Tetrix ceperoi (Bolívar, 1887)	
Tettigoniidae	
Roeseliana roeselii (Hagenbach, 1822)	
Tettigonia viridissima (Linnaeus, 1758)	
Trigonidiidae	
Nemobius sylvestris (Bosc, 1792)	
TOTAL	239

ANNEXE 12 : INVENTAIRE FLORISTIQUE DES ZONES HUMIDES SITUEES SUR LE DOMAINE DU BOUCHET

Date	Espèces	Statut Flore du Loiret
2020 07 31	<i>Alisma plantago aquatica</i>	TC
2020 07 31	<i>Bidens frondosa</i>	C Naturalisé,
2020 07 31	<i>Bidens tripartita</i>	TC Indigène,
2020 07 31	<i>Callitrichia sp</i>	
2020 07 31	<i>Callystegia sepium</i>	TC
2020 08 04	<i>Cardamine flexuosa ?</i>	TR
2020 07 31	<i>Carex groupe cuprina</i>	C
2020 07 31	<i>Carex pseudocyperus</i>	AC
2020 07 31	<i>Carex riparia ?</i>	
2020 07 31	<i>Cirsium vulgare</i>	TC
2020 07 31	<i>Conyza sp</i>	Naturalisée
2020 08 04	<i>Cyperus sp ?</i>	
2020 07 31	<i>Eleocharis multicaulis ?</i>	AR
2020 07 31	<i>Eleocharis palustris</i>	TC
2020 07 31	<i>Epilobium sp</i>	
2020 08 04	<i>Gallium palustre</i>	TC
2020 08 04	<i>Helosciadium nodiflorum</i>	C
2020 08 04	<i>Humulus lupulus</i>	C
2020 07 31	<i>Iris pseudacorus</i>	TC
2020 08 04	<i>Juncus effusus</i>	TC
2020 07 31	<i>Lemna minor</i>	TC
2020 07 31	<i>Lycopus europeus</i>	TC
2020 08 04	<i>Lysimachia nummularia</i>	TC
2020 07 31	<i>Lythrum salicaria</i>	TC
2020 07 31	<i>Mentha aquatica</i>	TC
2020 08 04	<i>Mentha suaveolens</i>	C
2022 08 04	<i>Myosotis laxa ?</i>	AR
2020 07 31	<i>Myosotis scorpiodes</i>	TC
2020 08 04	<i>Nuphar lutea</i>	C
2020 07 31	<i>Oenanthe aquatica</i>	C
2020 08 04	<i>Persicaria hydropiper</i>	TC
2020 07 31	<i>Phalaris arundinacea</i>	TC
2020 07 31	<i>Phragmites australis</i>	TC
2020 07 31	<i>Populus sp</i>	
2020 07 31	<i>Prunella vulgaris</i>	TC
2020 08 04	<i>Ranunculus repens</i>	TC
2020 08 04	<i>Ranunculus sceleratus</i>	C
2020 08 04	<i>Rorripa sp</i>	
2020 07 31	<i>Rumex sp</i>	
2020 07 31	<i>Salix sp</i>	
2020 07 31	<i>Scrophularia auriculata</i>	C
2020 07 31	<i>Solanum dulcamara</i>	TC

2020 08 04	<i>Sparganium emersum</i>	AR
2020 07 31	<i>Sparganium erectum</i>	AC
2020 07 31	<i>Stachys palustris</i>	C
2020 08 04	<i>Urtica dioica</i>	TC
2020 07 31	<i>Veronica anagallis aquatica</i>	C

Des travaux sur le Grand-Ardoux à Cléry à l'initiative du Syndicat du bassin

Une série de travaux vient d'être entreprise sur le Grand-Ardoux faisant suite au recalibrage effectué voilà dix ans, mais qui, malheureusement, n'a été suivi d'aucun entre-

tien.

La végétation a repris ses droits en envahissant de nouveau complètement, par endroit, ce cours d'eau, sans parler de bran-

ches et même d'arbres entiers obstruant l'écoulement des eaux.

Le Syndicat du bassin de l'Ardoux, présidé par M. Le Quesne, a donc pris l'initiative d'organiser une

nouvelle fois le nettoyage de cette rivière, avec toutefois, l'aide financière du département qui participe à hauteur de 50% du montant des travaux. Le reste étant financé par le Syndicat du bassin et, en ce qui concerne Cléry, le budget communal et l'Association foncière de Cléry.

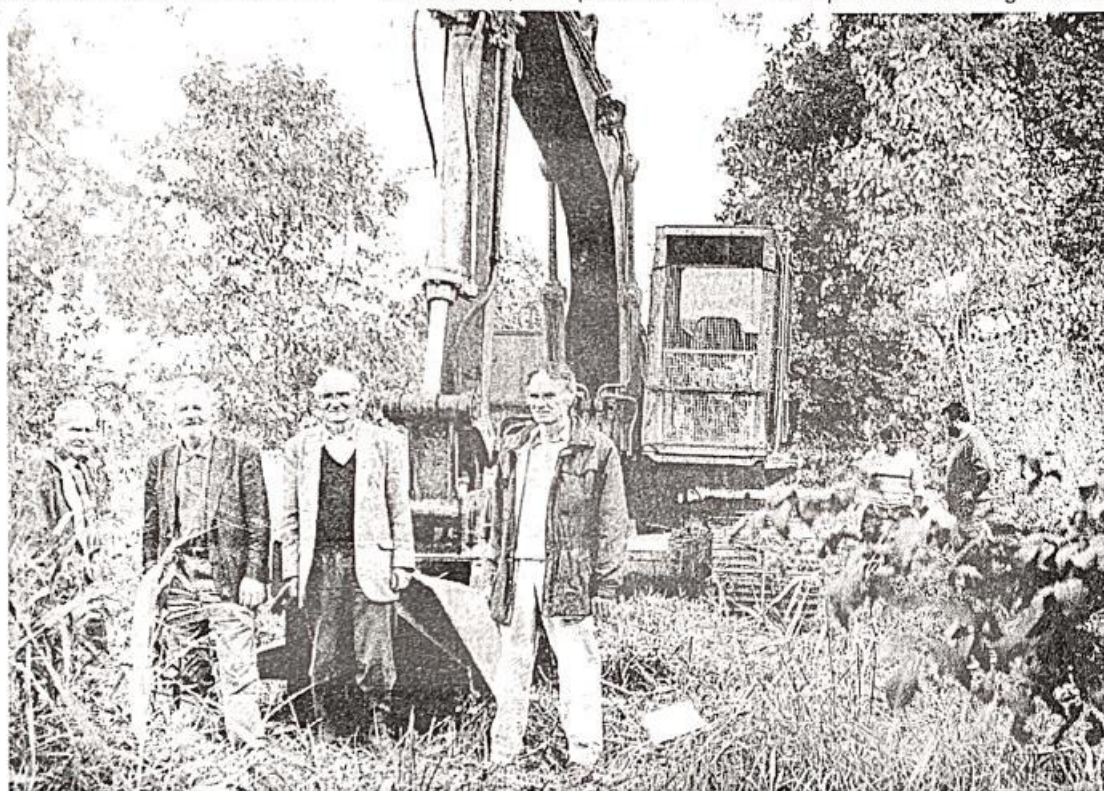
Lundi après-midi, le docteur Bridart, conseiller général-maire de Cléry, et les représentants du syndicat ont effectué une visite du chantier.

Le docteur Bridart rappela : « En accordant sa subvention, le conseil général a émis le vœu qu'un entretien annuel soit effectué ce qui paraît tout à fait indispensable. »

Notons que le Code rural stipule toujours que les propriétaires riverains doivent effectuer le fauchement, mais le bouleversement des structures, au cours de ces dernières années, fait apparaître l'impossibilité actuelle de procéder à l'entretien individuel de cette rivière, d'où cette opération collective.

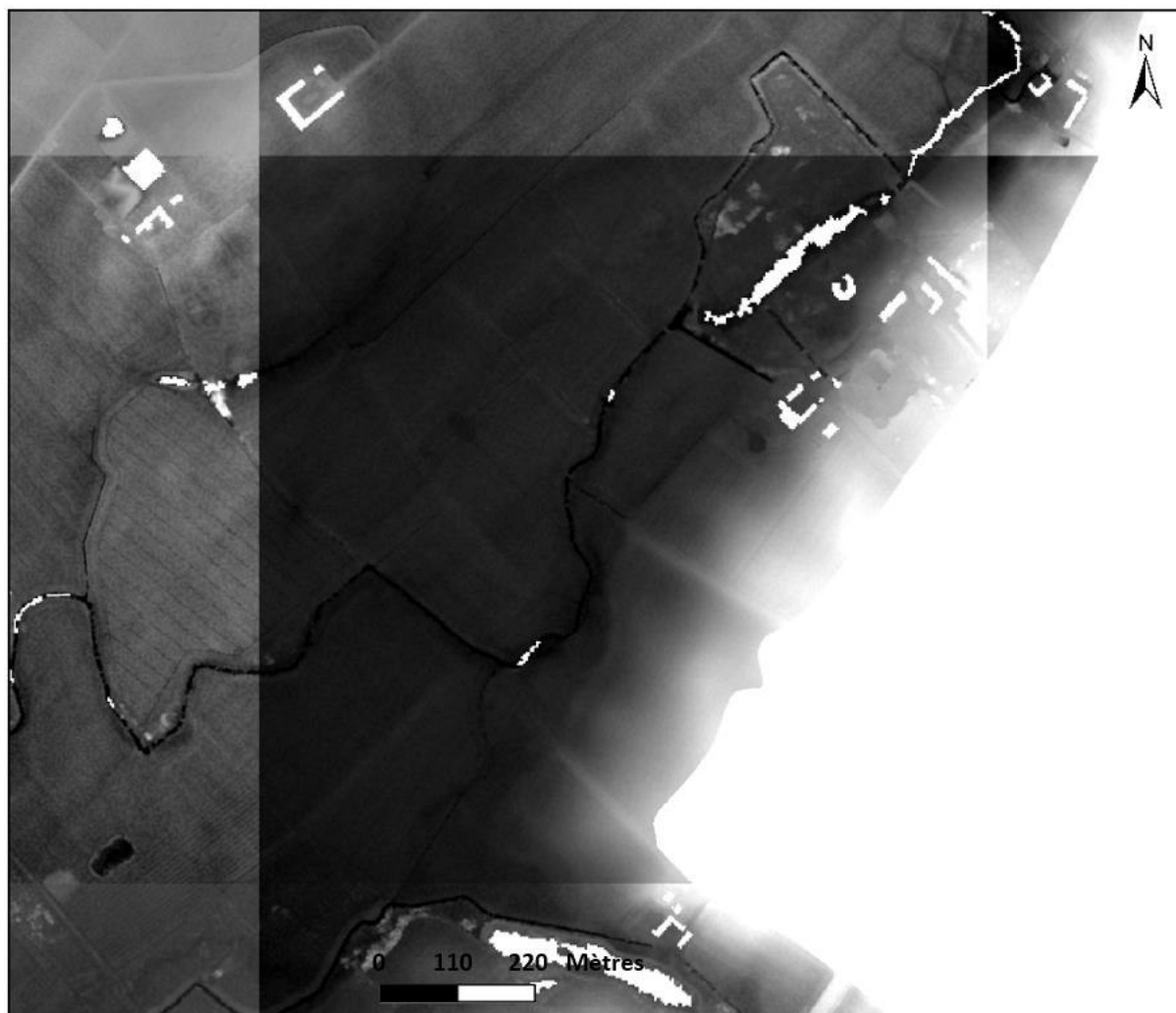
Mais ces travaux annuels ne seront réalisables que dans la mesure où les rives seront accessibles et les distances de plantation d'arbres bien définies, permettant un travail fonctionnel des engins. Des précisions à ce sujet seront données ultérieurement.

Ces travaux se poursuivent sur l'Ardoux de Cléry à Saint-Laurent-Nouan pour que cette rivière soit entretenue.

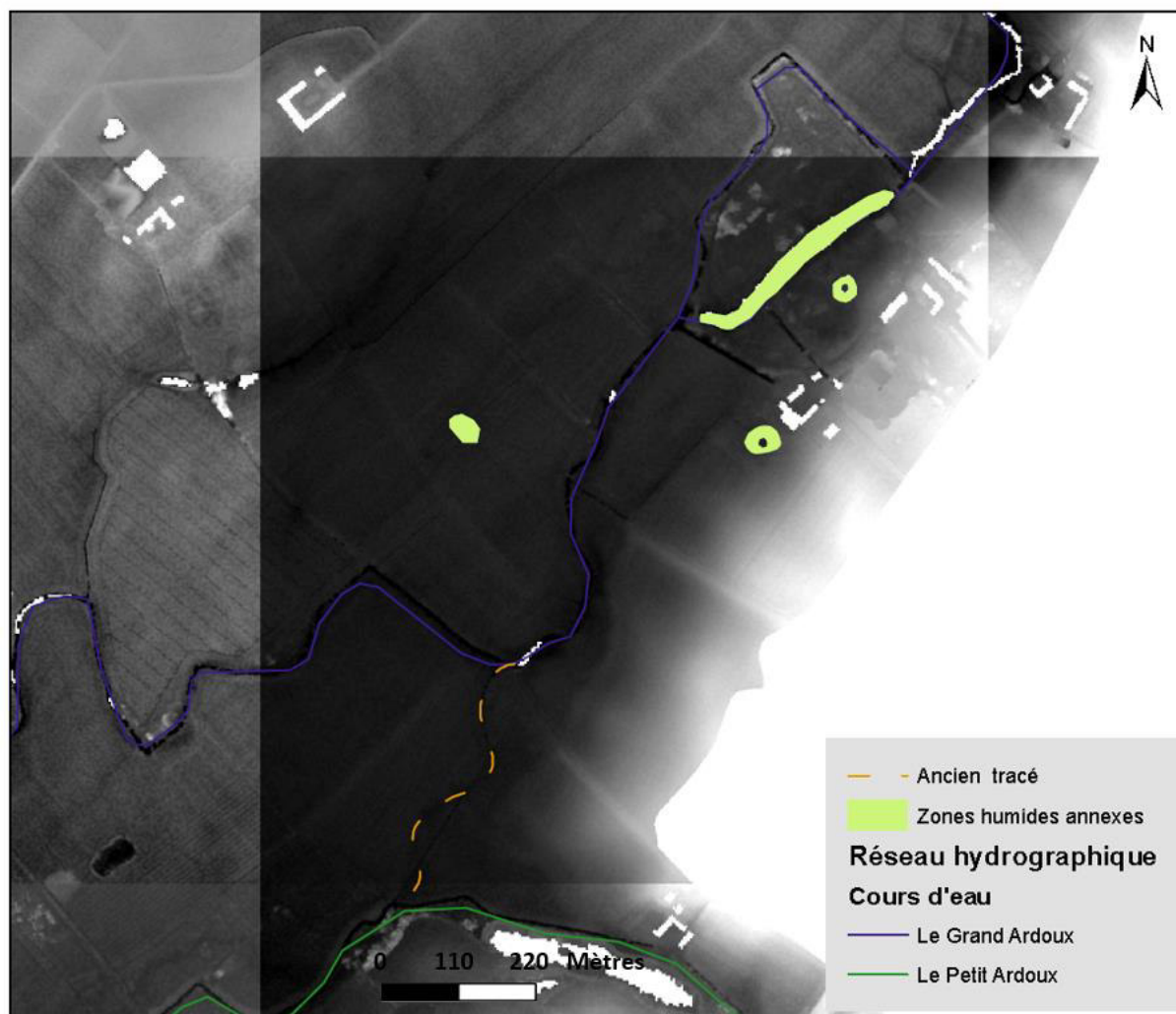


La visite au bord de l'Ardoux.

Avant interprétation (SIEL)



Après interprétation (SIEL)



ANNEXE 15 : CARTE DE TRACE DE REFERENCE A L'ELABORATION DU COEFFICIENT DE SINUOSITE DE REFERENCE (GEOPORTAIL)



Longueur écologique = 2.81 km

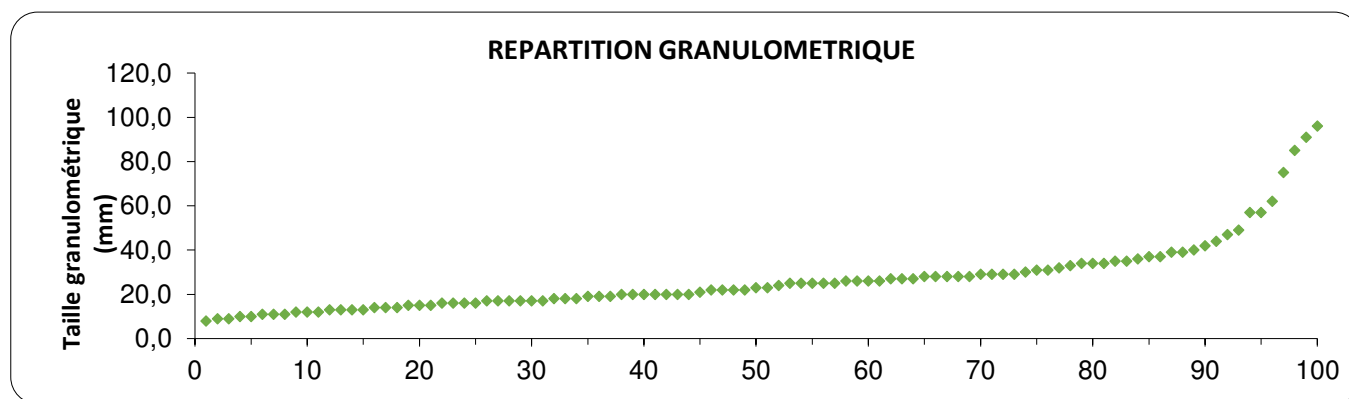


Longueur euclidienne = 2.12 km

ANNEXE 16 : DEBITS DE CRUE MOYENNE JOURNALIERE (1.1 A 2 ANS)

<i>X0</i>	<i>Gradex</i>	<i>T (Temps de retour en an)</i>	<i>Débit moyen de crue journalier (m³/s) (Q_{PB})</i>
3	2	1,1	0,98
3	2	1,2	1,43
3	2	1,3	1,75
3	2	1,4	1,99
3	2	1,5	2,20
3	2	1,6	2,37
3	2	1,7	2,53
3	2	1,8	2,67
3	2	1,9	2,80
3	2	2	2,92

ANNEXE 17 : REPARTITION GRANULOMETRIQUE DU RADIER DE REFERENCE



ANNEXE 18 : DEVIS DE RELEVES ENTOMOLOGIQUES – SUIVI DES INSECTES AQUATIQUES ET
SUBAQUATIQUES

LABORATOIRE D'ECO-ENTOMOLOGIE

Jean-David Chapelin-Viscardi

5 rue Antoine Mariotte

45000 ORLEANS

Tél : 0954692414 / 0685558721

e-mail : contact@laboratoireecoentomologie.com

N° TVA intracom. :FR52 513 166 744



A l'attention de F. MICHAU
OFB - Direction régionale CVDL
9, avenue Buffon
45071 Orléans Cedex 2

Date: 18/08/2020

Devis N° 202058

Code Client : CL208

Code	Désignation	Qt	P.U. HT	Total HT	TVA%
RELEVES ENTOMOLOGIQUES - SUIVI DES INSECTES AQUATIQUES ET SUBAQUATIQUES					
<u>Matériel biologique</u> : Odonates, Coléoptères (aquatiques et subaquatiques), Hémiptères (aquatiques et subaquatiques) <u>Milieus prospectés</u> : rivière Ardoux et 2 mares					
4 déplacements sur le terrain séparés d'un mois (avril - mai - juin - juillet)					
Réalisation de transects d'observation pour les Odonates Collecte de Coléoptères et Hémiptères aquatiques par filet troubleau au niveau de plusieurs placettes (4 placettes le long de l'Ardoux et 1 placette par mare)					
-	<u>Phase de terrain</u> : 4 passages sur site - 22 heures (entre avril et juillet)	22.00	37.00	814.00	20.00
-	<u>Phase de laboratoire</u> - Estimée à 21 heures	21.00	37.00	777.00	20.00
-	<u>Gestion BDD et rédaction compte-rendu</u> - Estimée à 21 heures	21.00	37.00	777.00	20.00
-	Réunion de restitution - Offerte	1.00	0.00	0.00	20.00
-	Forfait déplacements	200.00	0.50	100.00	20.00
-	Frais divers (consommable de laboratoire, matériel de collecte...)	1.00	32.00	32.00	20.00

LABORATOIRE D'ECO-ENTOMOLOGIE

Jean-David Chapelin-Viscardi

5 rue Antoine Mariotte

45000 ORLEANS

Tél : 0954692414 / 0685558721

e-mail : contact@laboratoireecoentomologie.com

N° TVA intracom. :FR52 513 166 744



A l'attention de F. MICHAU
OFB - Direction régionale CVDL
9, avenue Buffon
45071 Orléans Cedex 2

Date: 18/08/2020

Devis N° 202058

Code Client : CL208

Code	Désignation	Qt	P.U. HT	Total HT	TVA%
------	-------------	----	---------	----------	------

Conditions :

- Identification au plus haut rang taxonomique possible

Mode de règlement :

Devis valable jusqu'au : 27/09/2020

Cachet et signature précédés de "Bon pour accord"

Total H.T. :	2500.00 €
TVA 20.00 %	500.00 €
<hr/>	
Total TTC :	3000.00 €
A régler :	3000.00 €

Acceptant le règlement des sommes dues par chèques libellés à son nom, en sa qualité de membre d'une Association Agréée
SIRET / 51316674400021 - Code A.P.E. 7490B



POLYTECH[®]
TOURS

35 ALLÉE FERDINAND DE LESSEPS
37200 TOURS

Marion Manaud
2019-2020

Projet d'aménagement hydromorphologique de l'Ardoux et de restauration de zones humides sur le site du Bouchet

Résumé : L'Ardoux est un cours d'eau qui, comme beaucoup, a subi de nombreuses modifications dès le XIX^{ème} siècle dont la réalisation d'un étang sur son tracé. Une première action de restauration de la continuité écologique a été d'effacer ce plan d'eau en 2017 où une zone humide s'est implantée quelques temps après. Le projet de restauration hydromorphologique s'est ainsi concentré sur deux axes : la restauration de l'Ardoux qui traverse la zone humide tout en essayant de la maintenir, et reméandrer la partie aval qui a été sujet à diverses interventions (recalibrage, curage, etc.). L'OFB souhaitant à terme classer ce site en tant que site de démonstration de bonnes pratiques de restauration hydromorphologique, un suivi scientifique est proposé.

Mots Clés : Ardoux, cours d'eau, étang, zone humide, restauration hydromorphologique, reméandrer, site de démonstration, suivi scientifique

Office français de la biodiversité direction Centre-Val-de-Loire
9 avenue de Buffon 45071 ORLEANS

Tuteur entreprise :
Laetitia Boutet-Berry
Technicienne Appui Technique

Tuteur académique :
Catherine Boisneau