



POLYTECH[®]
TOURS



GINGER
BURGEAP



STAGE DAE 5 - IMA

Bureau d'étude BURGEAP

Les ouvrages hydrauliques et leurs impacts

Rapport de stage de fin d'étude

Baptiste **PICHEREAU**

04/09/2017

Date du stage :	Du 03 Avril 2017 au 29 Septembre 2017
Tuteur professionnel	GNOUMA Raouf – Responsable France de l'activité EAU
Tuteur universitaire	RODRIGUES Stéphane – Enseignant Chercheur
Mots clé du thésaurus	OUVRAGES HDYRAULIQUES ETUDE DE DIAGNOSTIC RESTAURATION ET GESTION DES MILIEUX AQUATIQUES ETUDE PATRIMONIALE ET PAYSAGERE CONTINUITE ECOLOGIQUE

Remerciements

Je tiens à remercier Monsieur Stéphane RODRIGUES, professeur à l'école Polytechnique de l'Université de Tours. Il a su me conseiller et me guider durant mes deux derniers stages. Présent, passionné, il m'a donné l'envie et la curiosité d'en apprendre plus sur l'hydromorphologie.

De plus, je tiens à remercier toute l'équipe « Eau » de BURGEAP dans laquelle j'ai réalisé mon stage. Une équipe dans laquelle j'ai été très bien accueilli et, où entraide, sérieux et bonne entente ne font qu'un.

Je souhaite remercier mon tuteur professionnel, Raouf GNOUMA, pour m'avoir donné sa confiance et la chance de découvrir la vie au sein d'un bureau d'étude. Malgré un agenda très chargé, il a été là pour me conseiller et me soutenir notamment dans la rédaction du rapport de stage.

Je remercie également Coralie SARRON pour m'avoir fait partager ses connaissances sur les études de restauration de cours d'eau et autres milieux naturels. Elle m'a apporté une vraie compétence dans ce domaine. Nous avons travaillé ensemble sur les sujets principaux de mon stage. Son expérience, son dynamisme et son soutien ont été de grands atouts pour la réussite de mon stage.

Je remercie également Anthonin GUILLON pour sa patience, car il a été présent pour répondre à mes questions concernant les études de gestion d'eaux pluviales et les dossiers loi sur l'eau ainsi que sur l'utilisation de QGIS, logiciel SIG¹. De plus, c'est à lui que je dois ma formation Infoworks, logiciel de modélisation hydraulique.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à Véronique BRIGUET pour sa pédagogie. Notamment concernant l'utilisation du Trimble.

Je remercie sincèrement Idir HAMOU de m'avoir apportée ses compétences de terrain telles que la réalisation d'essais d'infiltration.

Enfin, je tiens à exprimer ma gratitude à Yuna DAUVILLIERS, qui a été présente pour m'aider dans des moments parfois surchargés. Ses connaissances et son bagage technique m'ont aidé dans le bon déroulement de ce stage.

Enfin, je souhaiterais remercier l'ensemble des collaborateurs de BURGEAP avec qui j'ai pu travailler, échanger, partager et qui ont été là pour me conseiller et avancer sereinement dans mon stage. Aussi bien des personnes de Lyon (Sophie MERAT) à Tours (Florent GADIN) en passant par Avignon (Marie VOGUET) et Caen (Camille MOREL).

¹ Système d'Information Géographique

Résumé / Summary

L'objectif de mon stage est d'évaluer les impacts des ouvrages hydraulique sur les cours d'eau ainsi que les contraintes et les limites du rétablissement de ces derniers. Pour ce faire, je me suis appuyé sur trois études distinctes, avec pour problématique commune, le dysfonctionnement morphologique du cours d'eau, suite à la présence d'ouvrages transversaux. Le diagnostic de ces zones d'étude a été fait de la façon suivante (même méthodologie) : En parallèle de recherches bibliographiques, nous avons réalisé des expertises de terrain (mesures, relevés GPS, photos, observations, etc...) afin de corroborer ou compléter les informations. Puis, il a été possible de réaliser des expérimentations, telles que des modélisations hydrauliques, des sondages pédologiques ou encore des entretiens auprès des propriétaires riverains du linéaire étudié.

Une fois le diagnostic établi, la démarche a été de réaliser un listing des dysfonctionnements et des contraintes du site, réduisant au fur et à mesure les actions envisageables.

À partir de cette première phase (diagnostic), il a été possible d'observer que les ouvrages hydrauliques, de par leurs caractéristiques et leur nature (largeur passante, profondeur de la fosse d'appel, état, etc...), ont des impacts différents. De plus, nous avons identifié l'influence de ces « points durs » sur le profil en long du cours d'eau : présence d'une zone de remous, rupture brutale de la pente en aval, réduction de la vitesse d'écoulement, élargissement progressif du lit, etc... Parallèlement à la dégradation des facteurs abiotiques, la richesse écologique décroît. Cependant, lors de nos expertises de terrain, nous avons pu observer des tronçons dis de référence témoignant d'une dynamique fluviale subsistante, malgré la forte artificialisation des cours d'eau.

Enfin, il a été possible de relever les différentes contraintes qui apparaissent suivant le contexte (réglementaire, sociétal, environnemental, etc...) de chaque site.

En définitif, la réflexion d'aménagements pour le rétablissement de la continuité écologique ou l'amélioration de l'hydromorphologie des cours d'eau nécessite une démarche rigoureuse et complète, intégrant l'ensemble des composantes (sociale, environnementale, réglementaire, paysagère, etc...) du milieu étudié.

The aim of my internship is to evaluate impacts of hydraulic structure on rivers as well as restauration constraints and limits of them. In order to achieve this, I used three different studies with a common problematic, rivers morphologic dysfunction cause of transverse structures. Diagnostic of these areas was done according to this methodology: Simultaneously with bibliographical searches, we realized field expertise (measurement, GPS readings, pictures, and observations) in order to corroborate or to complete information. Then, experimentations have been realized such as hydraulic modellings, soil survey or interviews with owners riverfront properties.

Once the diagnostic has been done, the goal has been to do a listing of all dysfunctions and constraints of the area, reducing possible actions.

On this basis, it was possible to observe different impacts on rivers according to the nature and characteristics of hydraulic structure (width, pool depth, condition...). Moreover, we have identified impacts of them on the longitudinal profile: eddy size, slope failure downstream, flow velocity reduction, riverbed enlargement... In addition to abiotic factors degradation, ecology richness decreases. However, during field expertise, we have observed referent sections indicating fluvial dynamic despite of streams artificialization.

At last, it was possible to identify different constraints which appear according to the context (social, environmental, legislation...) of each site survey.

In conclusion, planning reflections for restoration ecological continuity or river hydromorphology improvement require complete and rigorous approach, by integrating all the components of the area.

Avant-propos

Le présent rapport a pour objectif d'illustrer une partie du travail réalisé au cours de ces 6 mois de stage, à travers la problématique suivante : Quels sont les impacts des ouvrages hydrauliques sur les cours d'eau ? Et quelles sont les limites et contraintes à leur rétablissement ?

Pour répondre à cette problématique, nous nous baserons sur trois études distinctes dites de « restauration de cours d'eau », sur lesquelles j'ai pu travailler durant mon stage. En effet, j'ai choisi de présenter plusieurs études car étant longues (1 à 2 ans en moyenne) et n'avançant pas au même rythme ainsi qu'en raison de multiples imprévus (congés maternité, congés maladie, etc...), je n'ai pas pu les réaliser dans leur entièreté. Il est important de spécifier que ces études ont toutes été réalisées au stade « Phase 1 : Diagnostic ». Par ailleurs, chez BURGEAP, les études de restauration de cours d'eau partent du postulat selon lequel l'objectif premier sur chaque site est la renaturation totale du cours d'eau. Puis au travers du diagnostic, les contraintes et limites du site sont listées afin de déterminer un aménagement les satisfaisant tout en s'éloignant le moins possible de l'objectif premier.

J'ai pu mettre en application l'ensemble des techniques et connaissances que je vous présenterai par la suite. Je suis donc intervenu au sein des trois études mais à des étapes et pour des tâches différentes. La complémentarité de ces interventions et missions m'ont permis d'acquérir le matériel nécessaire pour produire ce rapport.

La finalité de ce mémoire est dans premier temps de présenter une démarche et des outils permettant de mettre en exergue l'impact des ouvrages hydrauliques sur les cours d'eau. Puis, dans un second temps, de présenter des contraintes et limites rencontrées lors de la détermination d'aménagements possibles.

Sommaire

1.	Introduction	2
2.	Matériels et Méthodes	3
2.1	Entreprise d'accueil.....	3
2.2	Contexte : Terrains d'étude.....	3
2.2.1	Les moulins de la rivière Essonne (45, 77, 91)	3
2.2.2	L'Ecole au parc de la Mairie de Pringy (77)	3
2.2.3	La Launette au parc Jean-Jacques Rousseau à Ermenonville (60)	4
2.3	Données bibliographiques.....	5
2.3.1	Bases de données utilisées	5
2.3.2	Textes de référence	5
2.4	Outils	6
2.4.1	Le Trimble	6
2.4.2	InfoWork	7
2.4.3	QGIS.....	8
2.5	Expertises de terrain	8
2.5.1	Entretiens.....	8
2.5.2	Ouvrages hydrauliques.....	9
2.5.3	Potentiel morphodynamique et état de référence	10
2.5.4	Tests pédologiques et sédimentaires	11
2.5.5	Ecologie et patrimoine	13
3.	Résultats.....	15
3.1	Hydromorphologie.....	15
3.1.1	Les types d'ouvrages hydrauliques.....	15
3.1.2	Impacts des ouvrages hydrauliques	16
3.1.3	Relevés pédologiques et sédimentaires.....	19
3.2	Hydraulique	20
3.2.1	Modélisation hydraulique de la Launette	20
3.3	Ecologie et Patrimoine	21
3.3.1	Qualité écologique.....	21
3.3.2	Qualité paysagère et patrimoniale	23
4.	Discussion	24
4.1	Les ouvrages hydrauliques et leurs impacts	24
4.2	Limites et contraintes.....	26
5.	Conclusion.....	27
6.	Travaux annexes.....	28
	Références	29
	Tableaux et figures	31
	Annexes	32
	Table des matières	48

1. Introduction

Les cours d'eau sont sujets à de multiples pressions anthropiques (artificialisation des berges, élargissement du lit, pollution, etc...) menant à la dégradation de leur état (écologique, chimique et physique). Aujourd'hui, « 41,4 % des masses d'eau de surface, toutes catégories d'eau confondues, sont au moins en bon état écologique en 2010 et 43,4 % en 2013 » ([EauFrance](#)). Un des facteurs dégradant l'état écologique d'un cours d'eau, selon la Directive cadre sur l'Eau (DCE 2000/60/CE du 23 octobre 2000), est la rupture de la continuité écologique. [France Nature Environnement](#)² (2014) définit la continuité écologique comme « la libre circulation des espèces, une hydrologie proche des conditions naturelles et le bon déroulement du transport naturel des sédiments ». Les acteurs à l'origine de ces perturbations sont le plus souvent les ouvrages hydrauliques : des barrages aux déversoirs en passant par les moulins. Et pour cause, ces derniers marquent fortement la morphologie des rivières. Afin de rétablir le bon état écologique, un des leviers d'action serait alors de rétablir l'hydromorphologie des cours d'eau ([Gorius et al., 2010](#)).

Avec BURGEAP, j'ai travaillé sur trois sites ayant pour problématique commune le dysfonctionnement morphologique dû à la présence d'ouvrages transversaux :

- Les moulins de la rivière Essonne entre Augerville-la-Rivière (45) et Buno-Bonnevaux (91) ;
- La rivière Launette au parc Jean-Jacques Rousseau à Ermenonville (60) ;
- La rivière Ecole au parc de la Mairie de Pringy (77).

Une présentation succincte du contexte de chacune des études est présentée en **Annexe 1**.

Mon rôle a été de participer à la réalisation du diagnostic ainsi qu'à plusieurs missions de terrain. Cependant, le rythme d'avancement et la durée de ce type de mission ne m'a pas permis de suivre l'ensemble de ces études dans leur entièreté. Elles sont d'ailleurs en cours de réalisation et ne seront pas terminées avant plusieurs mois encore. Ainsi, à travers ce rapport, je vais vous présenter les tâches auxquelles j'ai pu participer et qui, par complémentarité permettent d'aboutir à la mise en place de solutions à la problématique suivante :

Quels sont les impacts des ouvrages hydrauliques sur les cours d'eau ? Et quelles sont les limites et contraintes à leur rétablissement ?

À travers ces trois études, je chercherai à mettre en lumière les thématiques, les techniques et les connaissances que j'ai pu acquérir et exploiter. Pour cela, le rapport sera articulé de la façon suivante : après une présentation des outils et techniques utilisés pour établir le diagnostic (méthodologie similaire sur les trois études), les résultats obtenus seront illustrés puis exploités afin de discuter des impacts des ouvrages hydrauliques et des limites de la restauration des milieux.

La dernière partie a pour but de présenter succinctement d'autres études annexes qui m'ont apporté de vraies compétences complémentaires, notamment dans la gestion des eaux pluviales.

² Fédération française des associations de protection de la nature et de l'environnement

2. Matériels et Méthodes

2.1 Entreprise d'accueil

Le bureau d'étude BURGEAP a été racheté par le groupe français GINGER en 2016. Ce dernier est composé de 17 filiales « au service de tous les acteurs de la construction, de l'aménagement et du développement durable » ([GINGER](#)).

Riches de 65 ans d'expériences dans la mise en œuvre de solutions pratiques pour le développement durable, BURGEAP est composé de 21 agences³ à travers le monde avec plus de 400 collaborateurs dont 350 ingénieurs. L'entreprise représente un chiffre d'affaires de 42 millions d'euros. Leader de la dépollution des sites et de l'hydrogéologie en France, les équipes de BURGEAP sont compétentes aussi bien dans les activités de l'eau, de l'air et des déchets que dans l'efficacité énergétique et l'accompagnement à la transition aux énergies renouvelables ([GINGER](#)).

L'activité « EAU » représente 8 % du CA de BURGEAP. Le service « EAU », à Boulogne-Billancourt, est composé de 8 collaborateurs dont le Responsable France de l'activité, Raouf GNOUMA. Leurs missions sont de natures variées : de l'hydraulique fluviale et urbaine à la gestion des eaux pluviales en passant par la lutte contre les inondations, la restauration et la renaturation de cours d'eau. J'ai ainsi pu travailler avec eux, mais aussi avec les autres collaborateurs de l'agence Boulogne-Billancourt et ceux des autres agences de France. Une certaine complémentarité des services existe, permettant une unification des forces de travail mais aussi une solidarité.

2.2 Contexte : Terrains d'étude

2.2.1 Les moulins de la rivière Essonne (45, 77, 91)

Le site d'étude présente 6 moulins hydrauliques consécutifs sur la rivière Essonne. L'ensemble du secteur d'étude est subdivisé en 4 zones d'étude, réparties entre 7 communes et 3 départements. En effet, étant hydrauliquement dépendants, les 3 moulins à l'aval de la zone d'étude (Paillard, Argeville et Roisneau) sont considérés comme un seul et même site.

L'**Annexe 2** localise ces différents moulins et présente les mètres linéaires de cours d'eau présents entre chaque moulin (mesure du linéaire de l'Essonne uniquement). L'ensemble du linéaire de cours d'eau depuis le début de la zone de remous du moulin Beaudon jusqu'à 50 m en aval du moulin Paillard correspond à environ 12,7 km linéaires.

Le lit majeur du linéaire étudié est relativement naturel avec une richesse patrimoniale intéressante. Par ailleurs, l'ensemble des propriétés concernées par le projet sont privées ([Sarron et al., 2017](#)).

2.2.2 L'Ecole au parc de la Mairie de Pringy (77)

Le site d'étude est entièrement situé sur le territoire de la commune de Pringy, dans le département de la Seine-et-Marne (77). La zone d'étude correspond au parc de la Mairie de Pringy, d'une surface d'environ 9 ha, incluant environ 500 m de linéaire de cours d'eau, 2 plans d'eau et un vannage, tel qu'indiqué sur la **Figure 1** ci-après. Les aménagements, à réaliser sur le site, ont déjà été réfléchis lors d'une étude précédente : la suppression du vannage ainsi que des deux plans d'eau existants sont prévus. L'objet de cette mission est de déterminer la faisabilité de ces aménagements puis de les dimensionner en conséquence ([Sarron et al., 2017](#)).

³ Dont 15 en France Métropolitaine.

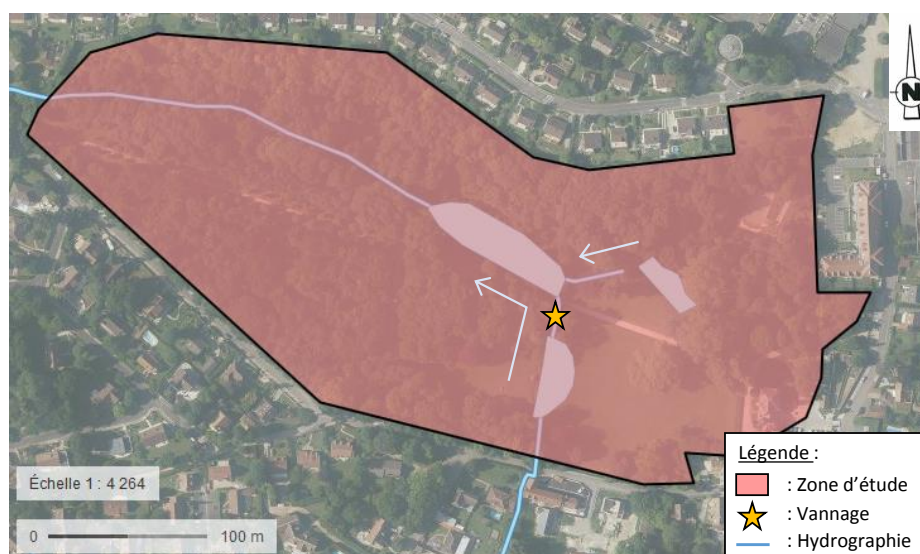


Figure 1 : Schématisation du site d'étude (fond de carte : GEOPORTAIL)

2.2.3 La Launette au parc Jean-Jacques Rousseau à Ermenonville (60)

Le site d'étude est localisé sur les communes d'Ermenonville et de Ver-sur-Launette, dans le département de l'Oise (60) et correspond à l'enceinte du parc Jean-Jacques Rousseau, soit 1 300 m de cours d'eau environ plus environ 1 000 m de bras secondaires et 3 plans d'eau (**Figure 2**). La problématique majeure pour ce site est le fort envasement suite à une obstruction de la continuité sédimentaire et une faible dynamique hydraulique ([Sarron et Dauvillier, 2017](#))

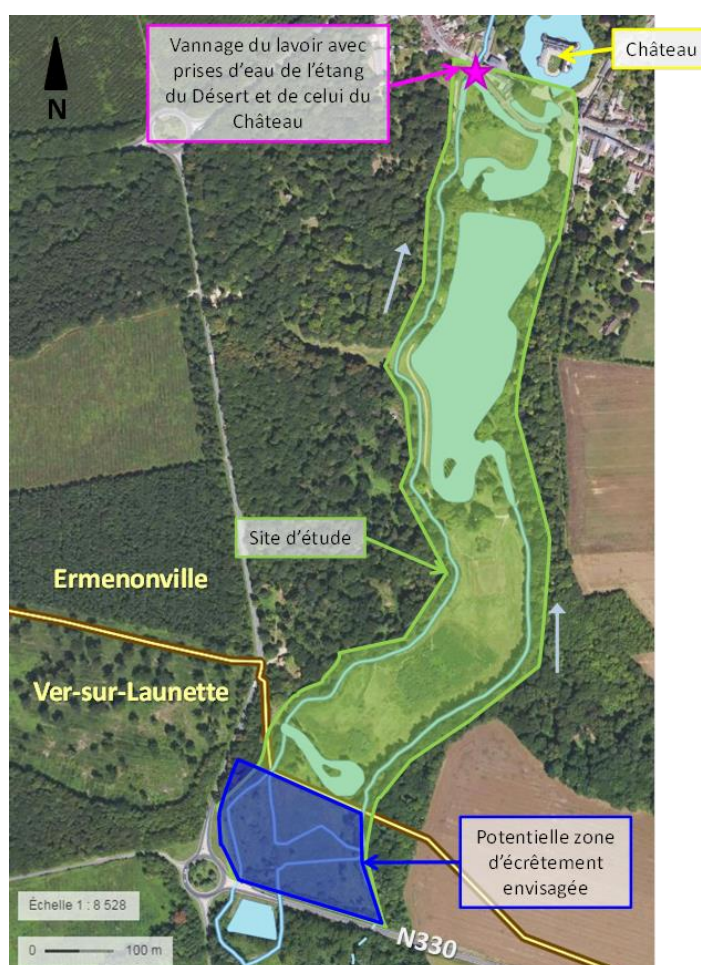


Figure 2 : Localisation du site d'étude à Ermenonville (fond de carte : GEOPORTAIL)

2.3 Données bibliographiques

Avant toute intervention sur un terrain, il est nécessaire d'effectuer une étude préalable. Ceci peut s'effectuer via l'analyse des bases de données gratuites à disposition sur Internet ou bien via les textes officiels et précédentes études réalisées. Une fois le contexte environnemental et réglementaire identifié, il sera possible d'intervenir sur le terrain à la fois pour compléter les informations et pour soulever les zones d'ombre.

2.3.1 Bases de données utilisées

2.3.1.1 BRGM

Le BRGM (Bureau de Recherches en Géologiques et Minières) est un établissement public à caractère industriel et commercial (Epic). Spécialisé dans le domaine des sciences de la Terre (gestion des ressources, risques naturels, pollutions du sol et sous-sol, etc...), le BRGM met à disposition ses bases de données via un portail en ligne gratuit : InfoTerre ([BRGM](#)). On peut y trouver les informations suivantes :

- Cartes géologiques (du 1 / 1 000 000 au 1 / 50 000) ;
- Banque du Sous-Sol (la BSS) : La BSS regroupe l'ensemble des données « sur les ouvrages (forages, sondages, puits et sources) souterrains du territoire ». L'accès à ces données permet de connaître la géologie au droit d'un site et ainsi établir un diagnostic ciblé ainsi que des aménagements en cohérence avec la nature du sol ([BSS](#), [BRGM](#)).
- Sites industriels et activités de service (BASIAS) et sites pollués (BASOL) : Les bases de données BASIAS et BASOL recensent l'ensemble des sites industriels abandonnés ou non et sites pollués, susceptibles de causer une dégradation de l'environnement. Cet historique permet de connaître le passif d'une zone d'étude et ainsi être averti de tout risque potentiel pouvant être présent ([BASIAS](#), [BRGM](#)).

2.3.1.2 DREAL et DRIEE

Les DREAL⁴ et la DRIEE⁵ Ile-de-France permettent aussi un accès libre à de nombreuses bases de données en ligne telles que les enveloppes d'alerte des zones humides ou encore les données qualité des cours d'eau et des masses d'eau de la région.

2.3.1.3 Géoportail

Ce portail permet d'avoir accès à une multitude de cartes interactives et informatives de l'IGN telles que des cartes historiques (cartes de Cassini, de l'état-major ou encore des photographies aériennes d'années antérieures), la localisation des ZNIEFF⁶ et zone Natura 2000 ou encore du réseau hydrographique, sur fond de plan IGN. Ainsi, une multitude de thématiques sont cartographiées permettant d'avoir une vision globale et complète de la zone d'étude. Ce portail nous a permis, par exemple, de visualiser au cours du temps le déplacement du lit de la rivière Ecole à Pringy.

2.3.2 Textes de référence

Outre les bases de données en ligne, de nombreux textes réglementaires permettent de contextualiser l'environnement dans lequel se trouve notre site.

⁴ Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

⁵ Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Energie

⁶ Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique

2.3.2.1 SDAGE et SAGE

Le SDAGE⁷ et le SAGE⁸ sont des documents de planification permettant de connaître les objectifs environnementaux, la réglementation en vigueur, l'état écologique et chimique d'une masse d'eau. Le SDAGE a une portée plus globale (bassin versant) contrairement au SAGE, qui a une portée plus locale.

Dans le cas de nos trois études, le SDAGE Seine-Normandie 2016/2021 a fait office de document de référence. Concernant le SAGE, nous nous sommes appuyés sur le SAGE Nonette (Ermenonville) et le SAGE Nappe de Beauce (Pringy et la rivière Essonne).

2.3.2.2 Rapports d'étude

Souvent, des rapports de bureaux d'étude ou d'organismes publics ont été réalisés auparavant. Dans le cas des moulins de l'Essonne, étant donné la complexité du site et la taille de ce dernier, il existe plusieurs études préalables. De plus, le bureau d'étude Fluvia.IS avait réalisé une étude hydromorphologique de l'intégralité de la rivière Essonne. Ce document a été une source d'informations importante. Dans le cas de la rivière Ecole traversant le parc de la mairie de Pringy, le bureau d'étude SAFEGE avait effectué une étude préalable à la restauration des cours d'eau sur l'ensemble du bassin versant de l'Ecole.

2.3.2.3 Autres

Il existe une multitude d'autres documents réglementaires et informatifs propres à chaque territoire permettant de discerner l'environnement global du territoire et ainsi avoir une idée des études à mener sur le terrain. En plus des contrats de bassin, il est possible d'étudier par exemple les SRCE⁹, le PPRI¹⁰, etc...

2.4 Outils

En parallèle des recherches bibliographiques, nous commençons à mettre en place différents protocoles de visites et de relevés de terrain en fonction des informations que nous trouvons ou bien nous manquons. De ce fait, j'ai pu découvrir et utiliser de nombreux outils.

2.4.1 Le Trimble

Lors des relevés de terrain, nous disposons d'un outil GPS de prise de données appelé Trimble. Ce dernier permet de notifier et géolocaliser sur le GPS l'ensemble des levés terrain, au fur et à mesure, pour ensuite produire des cartes à une échelle adaptée, sur fond IGN ou orthophotoplan (**Figure 3**).

Les levés de terrain sont donc géolocalisés avec un SIG/GPS portable de terrain (Trimble JUNO) équipé du logiciel Pathfinder/Terrasync compatible avec MAPINFO, ARCGIS et QGIS. J'ai pu utiliser cet outil pendant trois jours lors de l'étude sur les moulins de la rivière Essonne. Pour utiliser cet outil sur le terrain, un travail en amont est nécessaire. En effet, pour plus d'efficacité sur le terrain, j'ai dû réaliser un dictionnaire des attributs. C'est-à-dire que

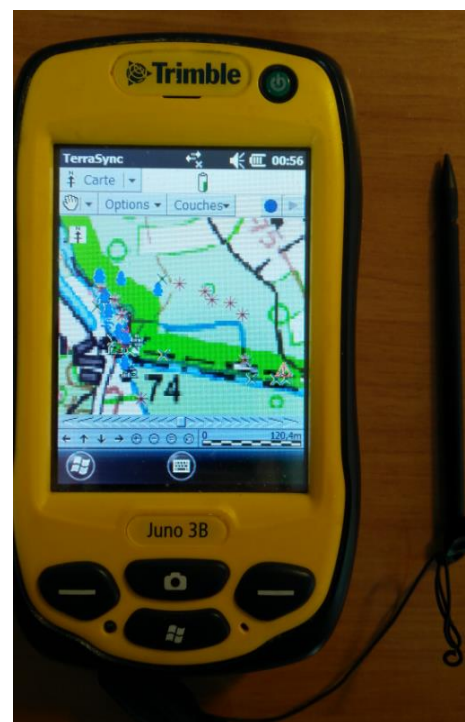


Figure 3 : Saisie de données Trimble

⁷ Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux

⁸ Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux

⁹ Schéma Régional de Cohérence Ecologique

¹⁰ Plans de Prévention des Risques Inondation

nous préparions un fichier (format ddf) contenant l'ensemble des caractéristiques (embâcles, rejets, ponts, buses, etc...) possible de rencontrer sur le terrain, avec pour chacun des éléments observés, un menu déroulant permettant d'étayer l'information (état, odeur, couleur, diamètre, longueur, etc...). Ainsi, une fois sur le terrain, je n'avais plus qu'à sélectionner dans le menu déroulant les informations et le GPS les enregistrait et les géolocalisait instantanément (**Annexe 3**).

2.4.2 InfoWork

Afin d'évaluer l'évolution potentielle d'un cours d'eau après aménagements, BURGEAP utilise un logiciel permettant d'effectuer des modélisations hydrauliques : InfoWorks. Le logiciel InfoWorks® RS de la société INOVYZE, permet de construire des modèles 1D-linéaire à casiers ou 2D¹¹ et ainsi de réaliser des simulations en régime permanent¹² ou transitoire¹³. Il a été utilisé sur les trois études sujettes du présent rapport.

Je n'ai pas eu l'occasion de l'utiliser dans le cadre de mes études mais sur une étude hydraulique de la Loire (c.f paragraphe « Travaux annexes »). Cependant, il m'a semblé primordial de présenter cet outil et les résultats obtenus pour comprendre l'influence des ouvrages hydrauliques sur les cours d'eau.

Plusieurs étapes sont à suivre afin de mettre en place un modèle hydraulique viable. Tout d'abord, il est nécessaire de déterminer l'emprise du modèle. Les limites aval/amont sont conditionnées par la présence ou non d'ouvrages ainsi que la topographie du site d'étude. À l'aval, il faut chercher à localiser les ouvrages susceptibles d'influencer le régime hydraulique (moulin, seuil, pont, etc...). Outre les ouvrages, la morphologie de la vallée peut elle aussi influencer le régime hydraulique de la zone d'étude (rétrécissement de la section). De ce fait, si les ouvrages localisés en aval influencent notre zone d'étude, nous les considérons comme la limite aval de notre modèle. De même pour un rétrécissement de section.

À Ermenonville, nous étions dans la situation où il n'y avait rien en aval. Dans ce cas, nous prenons un point à 2 ou 3 km en aval, afin d'éviter toutes influences pouvant venir de l'aval et que nous n'aurions pas pris en compte. Si possible, nous choisissons un point à proximité d'un secteur où l'on connaît la hauteur d'eau (repères de crue ou relevés topographiques existants). Un géomètre avait réalisé des profils en travers le long du linéaire et avait relevé le niveau d'eau à l'aval. Concernant la limite amont, cette dernière n'a pas d'influence sur les résultats mais sur le rendu. En effet, en régime fluvial, nous sommes conditionnés par l'aval. Le mieux est de déterminer une zone en amont qui soit hors influence du linéaire étudié. Les limites latérales du modèle sont déterminées à partir du MNT¹⁴. Ces dernières doivent intégrer la zone d'influence de la crue. On peut s'aider du PPRI pour cela.

Une fois les limites spatiales définies, nous établissons les conditions limites appliquées sur le modèle. C'est-à-dire que nous allons paramétrer les grandeurs (hauteur d'eau et débit) aux extrémités du modèle. En aval, nous cherchons, via la bibliographie ou les repères de crue, la hauteur d'eau aval. À Ermenonville, le géomètre avait mesuré la hauteur d'eau. Il a fallu ensuite aller sur la banque Hydro pour connaître le débit qu'il y avait le jour du relevé. En effet, le débit est paramétré en amont. Ainsi, une fois la hauteur d'eau définie en aval, le débit en amont déterminé et les limites spatiales établies, nous pouvons construire le modèle. Cela est réalisé à partir des profils en travers, le long du linéaire étudié, que nous introduisons dans le modèle. Les ouvrages présents sont également mesurés (hauteur, largeur passante, etc...) et intégrés au modèle (**Annexe 4**).

La dernière étape consiste à caler le modèle, c'est-à-dire à ajuster les données en jouant sur la rugosité du lit de telle façon à avoir la même ligne d'eau que dans les conditions réelles. Pour

¹¹ 1 dimension ou 2 dimensions

¹² Un régime permanent est le régime d'un système stable observable après un certain temps, lorsque le régime transitoire est éteint.

¹³ Un régime transitoire est le régime d'évolution d'un système qui n'a pas encore atteint un état stable.

¹⁴ **M**odèle **N**umérique de **T**errain

déterminer si le modèle est correctement calé, nous lançons la simulation pour un régime permanent. Si les différences entre les hauteurs d'eau mesurées et les hauteurs d'eau modélisées ne dépassent pas 20 cm et que la moyenne des écarts absolus est inférieure à 10 cm, alors le modèle est considéré comme correctement calé.

On utilise le modèle pour évaluer l'impact des aménagements prévus, pour cela on modélise le site en état initial et en état aménagé pour des situations hydrologiques données. Par exemple, les quatre conditions hydrologiques suivantes ont été choisies : le module, le Q_2 , le Q_{MNA5} et le Q_{10} .

- La Module : Evènement central, souvent demandé par l'ONEMA pour démontrer l'efficacité de l'aménagement sur la population piscicole, pendant à minima la moitié de l'année ;
- Q_2 : crue biennale, considérée comme la crue morphogène à partir de laquelle les caractéristiques du lit mineur sont déterminées (Sarron *et al*, 2017).
- Q_{MNA5} : étiage, permettant d'estimer le maintien en eaux des prises d'eau alimentant les étangs en période de basses eaux ;
- Q_{10} : crue décennale, crue de récurrence moyenne.

2.4.3 QGIS

Afin de produire les cartographies des relevés terrains, BURGEAP utilise le logiciel gratuit QGIS. Ce système d'information géographique permet de lire et de travailler sur des images rasters ou vectorielles ainsi que des bases de données. Par ailleurs, j'ai aussi pu lire les données du Trimble (c.f paragraphe 2.4.1).

J'ai très souvent utilisé cet outil sur les trois études. J'ai ainsi pu produire un ensemble de cartographies présentant la zone d'étude dans son ensemble, comportant l'ensemble des caractéristiques relevées lors de l'expertise de terrain (**Annexe 5**).

2.5 Expertises de terrain

Dans le cadre de la restauration de la continuité écologique au niveau d'un ouvrage hydraulique ou de remise en fond de thalweg, il est essentiel de parcourir toute la zone d'influence (zone impactée en cas d'aménagement) afin d'y relever les zones à préserver, les éléments à risque ou encore les dysfonctionnements et/ou potentiels dus au déséquilibre écologique. Ces différentes caractéristiques nous permettent d'évaluer les pertes, bénéfices, éléments à risques et précautions à prendre lors de la réalisation de l'aménagement.

Dans le cas des moulins de la rivière Essonne, j'ai pu effectuer une expertise complète du linéaire du réseau hydrographique sous influence, soit 7500 mètres de linéaires. Elle a été réalisée depuis les berges ainsi que sur une barque. Cette visite avait pour objectif de prendre la mesure du site sur toutes les thématiques (les éléments hydrauliques, les contraintes inhérentes aux sites, etc...), d'évaluer les potentialités de restauration, de valider la pertinence des données bibliographiques et d'anticiper le contenu du programme de travaux. De plus, nous prenions des mesures, des photos et utilisons le Trimble.

2.5.1 Entretien

Bien que je n'ai pas pu les réaliser, j'ai tenu à présenter cette étape essentielle. Les entretiens avec les propriétaires riverains ont pour but de présenter l'étude mais également d'évaluer la sensibilité des riverains vis-à-vis des possibles aménagements et de les impliquer dans le projet.

Les entretiens individuels avec les riverains sont systématiques dans le cadre des études de restauration, sauf pour Pringy et Ermenonville où le propriétaire était le Maître d'Ouvrage.

2.5.2 Ouvrages hydrauliques

Lors de l'expertise de terrain le long de l'Esnonne, nous avons recensé l'ensemble des ouvrages hydrauliques présents (**Figure 4**), répertoriés en deux catégories : les ouvrages majeurs (présentant une discontinuité écologique majeure : vannes(V), déversoirs (D), seuils (S), etc...); les ouvrages mineurs (petits seuils (PS), grilles (G), trop pleins (TP), etc...). Pour chacune de ces structures, nous prenons les dimensions (largeur, longueur, hauteur d'eau amont et aval, etc...) et les caractéristiques (nature, état, chute d'eau, franchissabilité, etc...). Nous répertorions ces données sur des fiches terrain ainsi que sur le Trimble. À partir de ces relevés sont ensuite élaborés :

- Les schémas hydrauliques (**Figure 5**) ;
- Le profil de l'ouvrage hydraulique (**Annexe 8**) ;
- La carte SIG.

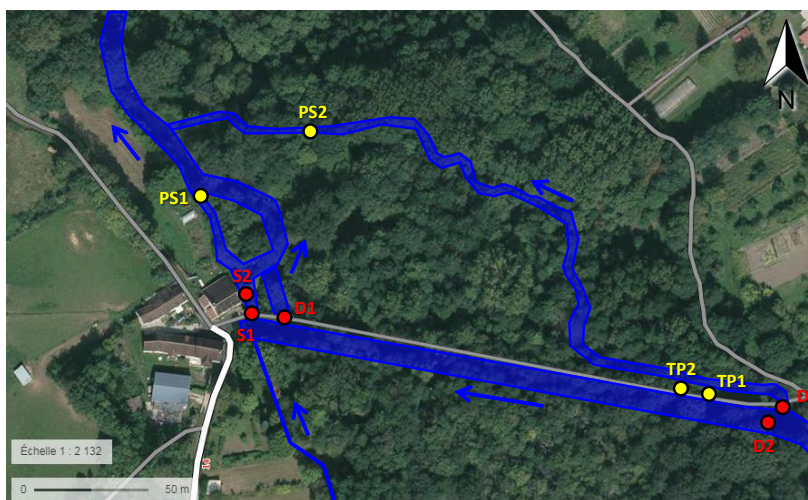


Figure 4 : Localisation des ouvrages hydrauliques du moulin Beaudon (Sarron *et al.*, 2017)

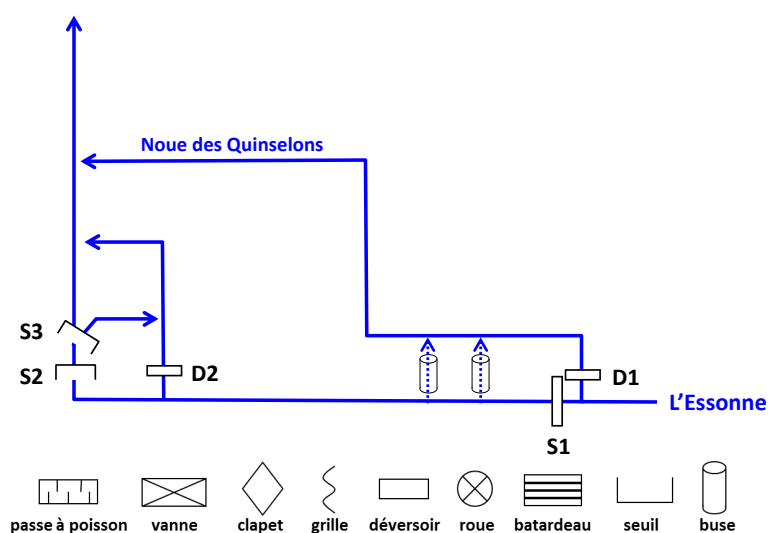


Figure 5 : Exemple du schéma hydraulique du moulin Beaudon (Sarron *et al.*, 2017)

2.5.2.1 Franchissabilité piscicole

Pour toute étude RCE¹⁵, on évalue la franchissabilité des ouvrages hydrauliques en fonction des espèces cibles du cours d'eau. Dans le cas de la Launette, deux espèces cibles ont été prises en considération : la Truite fario et le Brochet (PDPG, 2015¹⁶). Pour chacune de ces espèces ont été élaborées des grilles de franchissabilité simplifiées (Annexe 6). Ces grilles prenaient en compte les 4 critères majeurs de franchissabilité suivant : la lame d'eau ; la hauteur de chute ; le linéaire sous-terrain et la profondeur de la fosse d'appel.

2.5.2.2 Profil en long

Les profils en long des rivières étudiées sont élaborés à partir des relevés topographiques réalisés. Pour les trois études, Ces relevés ont été effectués par un sous-traitant. En effet, ce travail de topographie nécessite beaucoup de techniques et de méthodes que seuls des géomètres-topographes peuvent réaliser. Une fois les données obtenues, BURGEAP interprète l'information et construit son modèle hydraulique.

L'étude des profils en long aide à mettre en évidence les formes caractéristiques d'altération liées aux ouvrages hydrauliques : zone d'influence de l'ouvrage (remous solide et remous liquide), fosse d'érosion ou encore la modification de la pente. De plus, le profil en long permet de déterminer l'égagement de la rivière (hauteur cumulée des chutes artificielles rapportée sur la dénivellation naturelle). Selon Charrier et Delorme (2013), « le taux d'égagement [...] permet [...] d'évaluer le niveau [...] d'artificialisation des cours d'eau ».

2.5.3 Potentiel morphodynamique et état de référence

Score géodynamique

L'évaluation du score géodynamique a pour but de définir le potentiel morphodynamique de la rivière. Cette approche permet de définir la capacité des cours d'eau à saper leurs berges et à divaguer dans leur plaine alluviale (Malavoi *et al.*, 2007). En d'autres termes, le score géodynamique permet d'estimer si les travaux de restauration seront efficaces, c'est à dire d'évaluer le potentiel de mobilité du cours d'eau. Le score géodynamique dépend de trois paramètres :

- La **puissance spécifique** : C'est un outil de mesure qui permet de comparer l'énergie des rivières entre elles. La puissance spécifique (W/m^2) s'exprime de la façon suivante :

$$\omega = \rho . g . Q_b . S / w \text{ (Expression n°1)}$$

ρ = Masse volumique du fluide (1000 kg/m^3) ; g = Accélération de la gravité (9.81 m/s) ; Q_b = Débit à plein bords (m^3/s) ; S = La pente moyenne de la ligne d'eau (m/m) ; W = Largeur moyenne du chenal à plein bord (m).

- L'**érodabilité des berges** : Correspond à la stabilité des berges de la rivière prenant en compte : la cohésion des berges et la végétalisation des berges. Mes collègues ont collectés ces informations sur le terrain et grâce aux données disponibles dans des études antérieures du cours d'eau.
- Les **apports solides** : L'estimation des apports solides a été réalisée en se basant sur la densité des bancs alluviaux répertoriés lors des expertises de terrain.

¹⁵ Rétablissement de la Continuité Ecologique

¹⁶ Plans Départementaux pour la Protection des milieux aquatiques et la Gestion des ressources piscicoles – Source : Grimaud, 2015

Sur la base de ces trois variables (puissance spécifique fluviale, érodabilité des berges et apports solides) le cours d'eau sera classé selon 4 classes d'activité dynamique permettant de déterminer son potentiel morphodynamique (**Figure 6**).

	1	2	3	4
Puissance spécifique - ω	< 10 W/m ²	10 - 30 W/m ²	30 - 100 W/m ²	> 100 W/m ²
Erodabilité des berges - B	Nulle	Faible	Moyenne	Forte
Apports solides - A	Nuls	Faibles	Moyens	Forts

Figure 6 : Classe d'activité dynamique (Malavoi *et al.*, 2007)

► Etat de référence

Selon [Niedermeyer in Wald Wissen \(2015\)](#), « les cours d'eau de référence décrivent, pour différents types de cours d'eau, le très bon ou le bon état [du cours d'eau étudié] ». Ce dernier considère « un cours d'eau [...] en très bon état lorsqu'il ne présente aucune ou très peu de modifications par rapport aux valeurs normalement constatées en l'absence d'influences anthropogènes négatives ».

Au sein de l'étude Fluvia.IS portant sur l'hydromorphologie de l'Essonne, [Charrier et Delorme \(2013\)](#) ont séquencé l'Essonne en tronçons. Pour chacun d'eux, ils ont mesuré la largeur moyenne du lit et la puissance fluviale spécifique moyenne. Puis, ils ont comparé ces résultats avec les valeurs théoriques. Afin de calculer la largeur théorique, l'étude Fluvia.IS utilise l'expression suivante :

$$L_{\text{théorique}} = 2.84 * Q_2^{0.5} \text{ (Expression } ^\circ 2); \text{ avec } Q_2 \text{ le débit biennal}$$

Une fois la largeur théorique connue, il est possible de déterminer la puissance spécifique moyenne théorique à partir de l'*expression n°1* vue précédemment. La comparaison de ces deux valeurs permet, additionnée aux observations sur le terrain, de déterminer des tronçons de cours d'eau de référence mais aussi de détecter les secteurs fortement déséquilibrés.

2.5.4 Tests pédologiques et sédimentaires

2.5.4.1 Sondage pédologique

Après analyse de la bibliographie, il est parfois nécessaire de confirmer des informations par des inspections, tels que des sondages pédologiques. Ces sondages ont pour objectif d'identifier la nature du sol. Par exemple, à Pringy, j'ai effectué 4 sondages à la tarière manuelle afin de vérifier la présence ou non d'une zone humide à l'endroit de la construction du futur plan d'eau. Ainsi, nous avons réalisé des carottages (**Figure 7**) pour obtenir le profil du sol depuis la surface jusqu'à 1,20 mètre de profondeur. Nous avons pu alors analyser la texture, l'hydromorphie, la teinte, etc... Par exemple, la présence de fer oxydé (couleur rouille), est un des marqueurs d'un sol hydromorphe caractéristique d'une zone humide ([Eau & Rivière de Bretagne, 2012](#)).



Figure 7 : Carotte obtenue après extraction à la tarière manuelle le 25 avril 2017

2.5.4.2 Test de perméabilité

Toujours dans le cas du parc de Pringy, la création d'un nouveau plan d'eau a nécessité de connaître la perméabilité du sol. De ce fait, 2 tests de perméabilité de Porchet ont été effectués. Le protocole utilisé est présenté dans l'**Annexe 7**. Je n'ai pas eu la possibilité d'opérer cette technique dans le cadre de ces études mais au cours d'autres missions.

2.5.4.3 Prélèvement de sédiments et test de qualité

Dans le cadre des présentes études ont également été réalisés des tests de qualité sur sédiments. En effet, en cas de réaménagement de cours d'eau ou suppression d'ouvrages, les sédiments piégés par ces retenues pourraient être potentiellement relargués dans le milieu naturel, il est donc important d'en tester la qualité. En cas de présence de pollution, avant toute intervention sur le cours d'eau, les sédiments pollués devront en être extraits et transportés en un lieu adapté (exploitation agricole, décharge, etc...).

Ainsi, j'ai pu réaliser 3 prélèvements de sédiments au sein du parc Jean-Jacques Rousseau à Ermenonville. Les 3 points de prélèvement sont localisés sur la **Figure 8**. Dans un premier temps, nous avons commandé auprès d'un laboratoire (EUROFINS) les flacons de prélèvement stockés dans une glacière (afin de préserver l'intégrité des sédiments). Puis, une fois sur le site, nous avons prélevés dans les zones fortement envasées avec des atterrissements. Ceci pour une question de sécurité (accessibilité) et car ce seront les endroits curés. Les échantillons sont ensuite renvoyés, dans des glacières, pour analyse au laboratoire. Une fois les résultats obtenus, nous les comparons avec la réglementation (métaux, HAP, pH, etc...) et déterminons le devenir possible des sédiments.

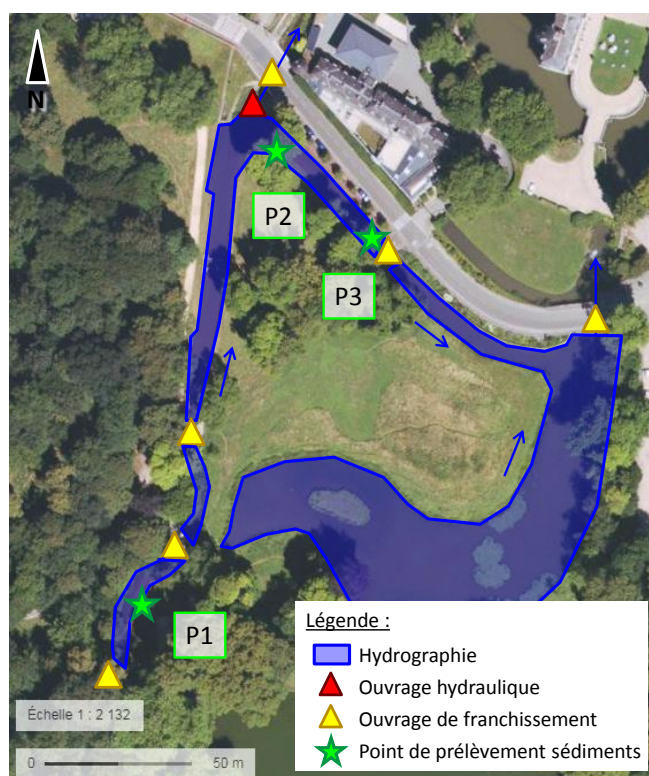


Figure 8 : Localisation des points de prélèvements réalisés le 09 mai 2017
(fond de carte : GEOPORTAIL)

2.5.5 Ecologie et patrimoine

Un des points communs aux trois études ici présentées est le contexte paysager et patrimonial particulièrement remarquable. En outre, la richesse écologique présentait, quant à elle, un fort potentiel.

2.5.5.1 Faune et flore

Lorsque nous étions confrontés à des zones d'étude avec un enjeu écologique majeur (Natura 2000, grande richesse écologique, etc...), nous faisons appel à un sous-traitant. Nous avons fait appel à ces derniers dans le cas de Pringy et les moulins de l'Essonne. Dans les autres cas, comme à Ermenonville, nous avons réalisé nous-mêmes une étude écologique globale. Cependant, dans toutes les études, nous avons effectué nous-mêmes l'analyse hydroécologique (sinuosité, blocs, ombrage, faciès, granulométrie, etc...). Pour cela, nous utilisons le Trimble afin de noter et géolocaliser les éléments remarquables.

Sur l'ensemble des études RCE, nous relevons également, lors de l'expertise de terrain, les espèces invasives /indésirables/ remarquables présentent le long des berges.

Ces relevés permettent d'appréhender les potentialités de la zone d'étude ainsi que d'éventuelles espèces à préserver pouvant éventuellement contraindre les aménagements réalisables.

2.5.5.2 Habitats piscicoles

Afin d'évaluer l'impact des ouvrages sur l'écosystème, nous avons évalué la qualité des habitats aquatiques des sites. Pour cela plusieurs éléments ont été observés : la granulométrie du lit, l'envasement, les berges et sous-berges, la présence d'atterrissements, la présence d'herbiers aquatiques, la présence de radiers / frayères ainsi que des faciès d'écoulement. Nous enregistrons et géolocalisons ces données dans le Trimble au fur et à mesure.

2.5.5.3 Paysage et patrimoine

Dans des contextes avec un enjeu paysagé, patrimonial remarquable, nous avons fait appel à un sous-traitant. C'était le cas pour Ermenonville et les moulins de l'Essonne. Dans des contextes plus classiques, nous réalisons dans un premier temps une analyse bibliographique en amont, au bureau. On y recherche les monuments historiques possibles et les périmètres (base de recherche MERIMEE ou IAUIF). Ensuite, sur le terrain, on étudie la covisibilité (visibilité du projet et du bâtiment) et l'état du bâti.

3. Résultats

3.1 Hydromorphologie

3.1.1 Les types d'ouvrages hydrauliques

Au cours des missions que j'ai pu suivre, nous avons relevé une multitude d'ouvrages hydrauliques du plus complexe (**Figure 9**) au plus simple (**Figure 5**). Par exemple, au cours de l'expertise de terrain le long de la rivière Essonne, nous avons relevé l'ensemble des caractéristiques des différents ouvrages localisés sur la zone d'étude. On a ainsi dénombré un total de 38 ouvrages¹⁷ impactant la continuité écologique. L'**Annexe 8** présente quelques exemples des relevés réalisés.

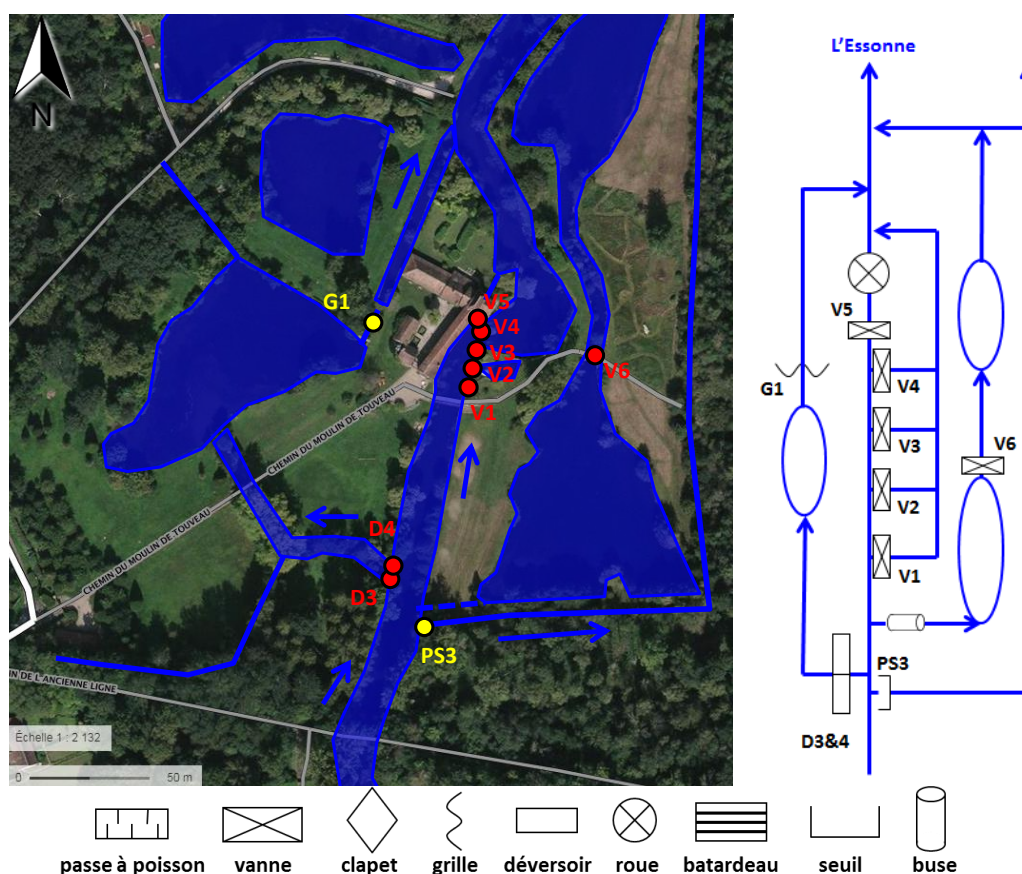


Figure 9 : Localisation des ouvrages hydrauliques et schéma hydraulique du moulin de Touveau (Sarron et al., 2017)

Le complexe hydraulique du moulin Touveau, ci-dessus, est donc composé entre autre, de 9 ouvrages hydrauliques majeurs (**Tableau 1**). Ces derniers sont globalement en état correct sauf le petit seuil (PS3) qui est en mauvais état. Les vannes sont quant à elles en bon état et toujours ouvertes (**Figure 10**). La hauteur de chute globale du site est de 0,85 mètres avec une zone de remous hydraulique estimée à 2 650 mètres (SEGI, 2013). La franchissabilité du site, évaluée lors de l'étude globale SEGI 2013 et de l'expertise de terrain, est infranchissable.

Le **Tableau 1** présente le travail réalisé pour résumer les caractéristiques des différents ouvrages présents sur le site du moulin Touveau :

¹⁷ 8 seuils, 10 déversoirs, 14 vannages, 3 grilles métalliques, 3 clapets.

Tableau 1 : Description des ouvrages hydrauliques du moulin Touveau (Sarron *et al.*, 2017)

OUVRAGE	PS3	D3	D4	V1	V2	V3	V4	V5	V6
TYPE	petit seuil	déversoir	déversoir	vanne	vanne	vanne	vanne	vanne usinière	vanne
N° ROE	NC	NC	NC	ROE 78 109	ROE 78 109	ROE 78 109	ROE 78 109	ROE 55 584	NC
Largeur passante	2	9	0.9	2.8	1.8	3.3	2.65	1.3	3x1
Nature	maçonnerie	maçonnerie	maçonnerie	bois	bois	bois	bois	bois	bois
Etat	mauvais	mauvais	mauvais	bon	bon	bon	bon	bon	bon
Chute (m)	0.4	0	0.4	0.3	0.5	0.2	0	0	0
Lame d'eau (cm)	10	assec	assec	0	10	10	5	15	100
Franchissabilité*	4	5	5 2 si ouvert	5	5	5	5	5	1

* de 0 à 5, 0 = transparent, 5 = infranchissable

**Figure 10** : Vannes (V1 à V3) à gauche et vanne usinière V5 à droite

3.1.2 Impacts des ouvrages hydrauliques

3.1.2.1 Continuité piscicole de la Launette

Parmi l'ensemble des ouvrages étudiés, le vannage du lavoir à Ermenonville, est un obstacle particulièrement important à la continuité piscicole sur la Launette. En effet, le vannage du lavoir (**Figure 11**) présente :

- Des vannes fermées (chute de 2 m) ;
- Suivi d'une rampe en pierre avec peu d'eau ;
- Puis le seuil du lavoir (30 cm de chute) ;
- Et un passage sous route (obscurité) présentant un manque de rugosité et une faible lame d'eau.

Ce dernier est totalement infranchissable pour les brochets comme pour les truites fario, les deux espèces cibles de la Launette. La continuité sédimentaire pourrait, elle, être assurée en partie sous condition d'ouvrir les vannes.



Figure 11 : Vannage du lavoir à Ermenonville (BURGEAP, 2017)

3.1.2.2 Zone de remous de la Launette

Lors de la phase diagnostic d'une étude RCE, on évalue la franchissabilité piscicole mais également le transit sédimentaire. Sur la Launette à Ermenonville, l'influence des ouvrages a ainsi été évaluée ; dans un premier temps visuellement, puis à l'aide des relevés topographiques effectués (**Figure 12**).

Concernant le vannage du lavoir, son influence (remous liquide) remonte à minima jusqu'au batardeau du pont de pierre, soit 205 m environ. Concernant le batardeau, son influence hydraulique est assez réduite, environ une centaine de mètres.

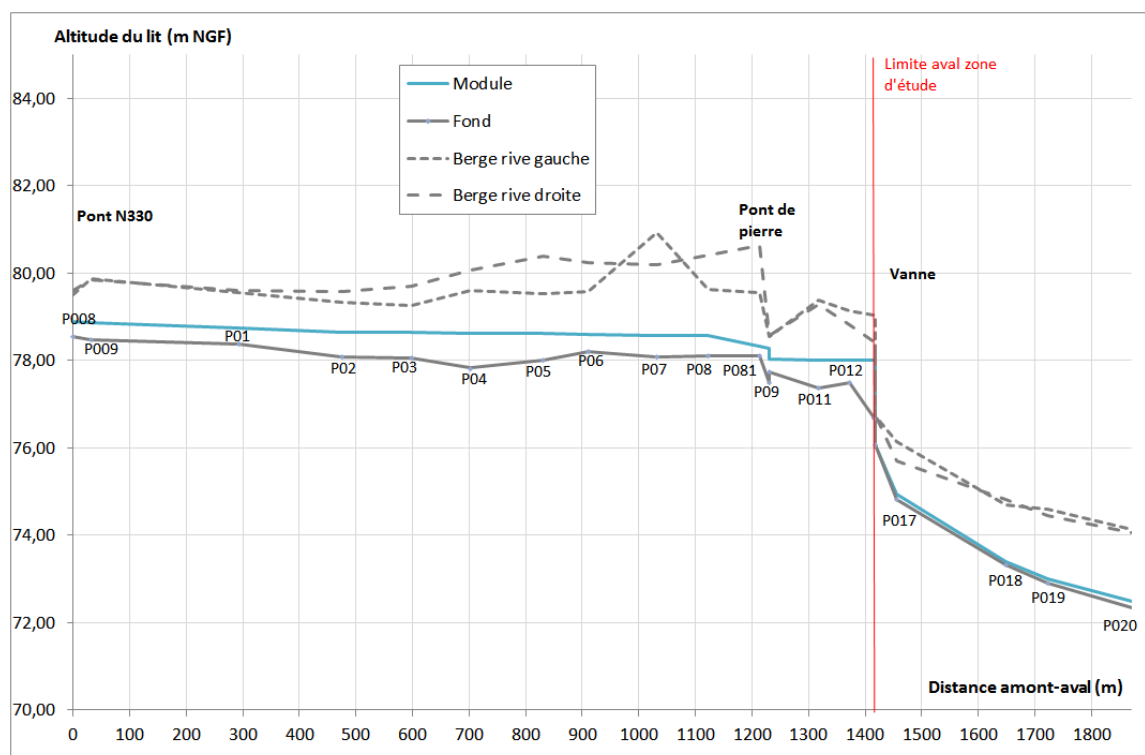


Figure 12 : Profil en long de la Launette sur le site d'étude (Sarron et Dauvillier, 2017)

On constate, à partir de la figure ci-dessus, une rupture de pente significative après le vannage. L'altimétrie décroît de 78 m NGF à 73 m NGF en 300 mètres environ. A contrario, l'amont du vannage est caractérisé par une pente faible jusqu'au batardeau. Il est possible de visualiser une légère hausse

du fond du lit ainsi que de la hauteur d'eau, à proximité du profil n°09. Cela correspond à la zone d'influence de l'ouvrage (la zone de remous). Bien que légère, elle est distinguable.

3.1.2.3 Etagement de l'Essonne

Sur l'Essonne, à partir des relevés topographiques existants et effectués, nous avons pu évaluer l'étagement (ratio entre la hauteur de chute cumulée des ouvrages avec le dénivelé du cours d'eau) du cours d'eau. Par exemple, l'étagement sur le linéaire étudié atteint 67%, ce qui est une valeur, preuve d'artificialisation, très forte. La densité des ouvrages est parfois si forte que les zones de remous se rejoignent (**Figure 13**). C'est encore plus significatif tout en aval de l'Essonne où l'étagement atteint environ 90 % ([Sarron C, BURGEAP, comm. pers.](#)).

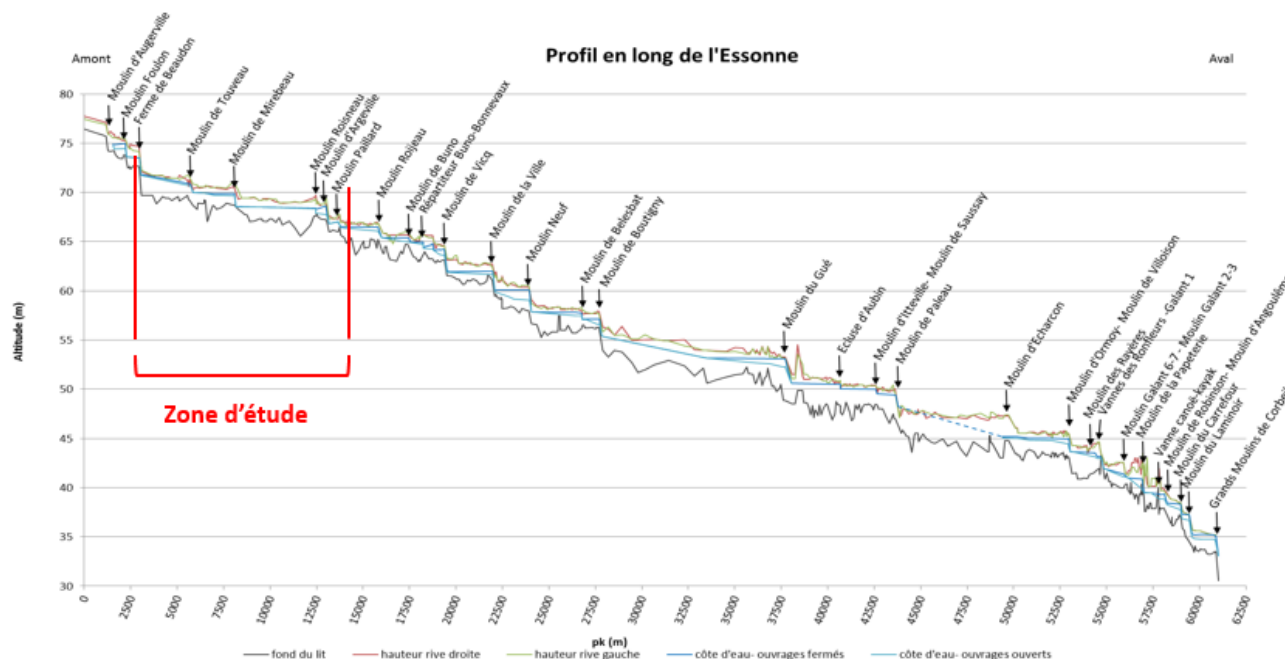


Figure 13 : Profil en long de la rivière Essonne (Source : Charrier et Delorme, 2013)

3.1.2.4 Score géodynamique de l'Essonne et état de référence

À partir des relevés terrain et de la bibliographie, on a pu déterminer le score géodynamique du linéaire de l'Essonne étudié. Sur la base du rapport de [Charrier et Delorme \(2013\)](#), la puissance spécifique moyenne sur les tronçons étudiés de l'Essonne varie entre 0 et 2 W/m², sur les zones sous influence. Selon [Malavoi et al \(2007\)](#), cela induit une faible érodabilité des berges ainsi qu'un faible apport solide et de ce fait, une très faible dynamique du cours d'eau. Néanmoins, aucune donnée n'existe concernant la puissance spécifique pour les zones hors de l'influence des moulins. Elle serait probablement plus grande au vu de l'hydromorphologie de qualité que l'on a pu observer lors des expertises de terrain sur certains tronçons naturels ([Sarron C, BURGEAP, comm. pers.](#)) Ces tronçons sont classés comme des états de référence. C'est-à-dire qu'ils reflètent la nature initiale du cours d'eau, avant toute intervention de l'Homme. Le rapport Fluvia.IS avait classifié un des bras du site comme état de référence. Lors de l'expertise de terrain, nous avons découvert un second bras de référence (la noue de Quinselons).

Le **Tableau 2** ci-dessous présente ces deux tronçons de référence ainsi qu'un tronçon impacté. Au regard des données, on constate que la différence entre les valeurs théoriques et les valeurs observées sont proches pour les entités de références contrairement au tronçon dégradé. Nous avons réalisé les calculs pour la noue de Quinselons à partir de la méthodologie de Fluvia.IS. Les valeurs pour la rivière poissonneuse et le tronçon impacté sont celles déterminées par ce même bureau d'étude.

Tableau 2 : Critères morphologiques des tronçons de référence et d'un tronçon dégradé
(Etude RCE des moulins de l'Essonne)

Paramètres	Rivière Poissonneuse	Noue de Quinselons	Tronçon impacté
Indice de sinuosité	1,6	1,4	1.2
Pente moyenne (mm)	0.0001	0.0047	0.00009
Largeur moyenne du lit (m)	7	2.5	14.5
Largeur moyenne théorique du lit (m)	3,47	2.45	3.47
Puissance fluviale spécifique moyenne (W/m²)	2	45.2	0
Puissance fluviale spécifique théorique moyenne (W/m²)	6	46.0	5.0

3.1.3 Relevés pédologiques et sédimentaires

3.1.3.1 Sondages pédologiques et tests de perméabilité à Pringy

La figure ci-dessous localise les points de sondage (**Figure 14**) réalisés le 25 avril 2017 au parc de Pringy.

- Tests d'infiltration

Les perméabilités mesurées selon cette méthodologie sont respectivement $9,52 \times 10^{-6}$ m/s pour I1 et $5,95 \times 10^{-6}$ m/s pour I2. Ces valeurs, assez similaires, sont considérées comme peu perméables.

La valeur moyenne de $7,7 \times 10^{-6}$ m/s sera utilisée lors des calculs de dimensionnement du futur plan d'eau. Pour un dimensionnement plus précis, il est recommandé de réaliser un test à la fosse dit de MATSUO pour lequel est réalisée une fosse d'environ 1m sur 1m et également d'1m de profondeur, ce type de méthodologie est plus représentatif du type d'aménagement qu'il est prévu de réaliser (création d'un plan d'eau).

- Sondages pédologiques

Aucun des quatre sondages réalisés n'a montré de signe d'hydromorphie (traces d'oxydo-réduction). À l'heure actuelle, la zone ne peut être considérée comme une zone humide. Les feuilles de relevés pédologiques sont présentées en **Annexe 9**.

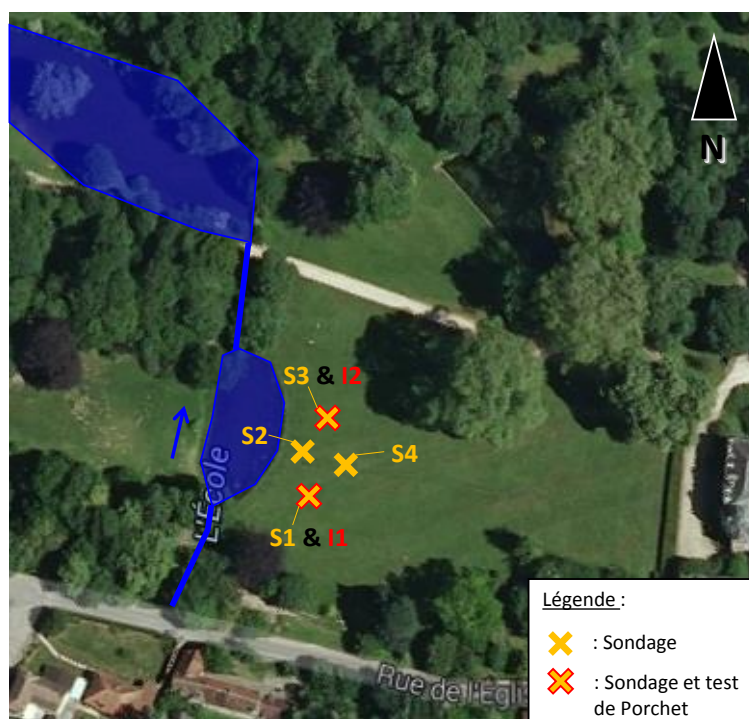


Figure 14 : Localisation des 4 sondages et 2 tests de Porchet réalisés (fond de carte : GEOPORTAIL)

3.1.3.2 Qualité des sédiments à Ermenonville

► Résultats des analyses

Les 3 prélèvements de sédiment (**Figure 8**) ont été envoyés pour analyse au laboratoire EUROFINs pour des mesures de qualité selon le test « LIXITEST » ainsi que le « Pack Dragage ». Ces deux tests permettent d'évaluer la qualité des sédiments fluviaux d'un point de vue réglementaire mais également en termes de future valorisation. La synthèse des résultats de ces tests sont présentés en **Annexe 10**. Les analyses ont mis en évidence plusieurs éléments :

- La disparité de résultats selon les échantillons, le prélèvement P2 est de bien meilleure qualité que les deux autres ; P3 est, de loin, le plus pollué ;
- La forte teneur en Toluène dans les prélèvements P1 et P3 est anormale et problématique. Le Toluène peut avoir plusieurs origines : carburant, solvants industriels, peintures, tannage du cuir, etc...

Etant donné la présence de ce composé sur 2 des 3 échantillons, il est probable qu'il soit d'origine accidentelle, tel qu'un accident de véhicule.

3.2 Hydraulique

3.2.1 Modélisation hydraulique de la Launette

3.2.1.1 Calage du modèle

Le calage s'est fait en situation de basses eaux. D'après l'**Annexe 11** on constate que les différences entre les hauteurs mesurées et les hauteurs d'eau modélisées ne dépassent pas 11 cm, le modèle est donc correctement calé, sur la base des données disponibles.

3.2.1.2 Niveaux des eaux

Le modèle ainsi calé, 4 simulations de l'état initial ont été lancées. Les profils en long des différentes situations hydrologiques (Q_{MNA5} , module, Q_2 et Q_{10}) modélisées sont présentés sur la **Figure 15**. Cette dernière permet de se rendre compte que :

- de P1 à P3 : la Launette déborde légèrement en rive gauche pour la Q_{10} . Attention cependant, lorsque l'on regarde dans le détail, la zone de débordement ne fait pas plus d'1 mètre de largeur, le phénomène est donc minime, voir même pourrait être considéré comme nul ;
- de P3 à P20 : le lit de la Launette est plus encaissé et ne déborde pas pour les crues modélisées ;
- les différents ponts et passerelles du secteur ne sont pas limitants et ne sont pas en charge pour les crues modélisées.

Il ressort qu'à l'heure actuelle, la Launette ne déborde presque jamais, même pour une crue décennale.

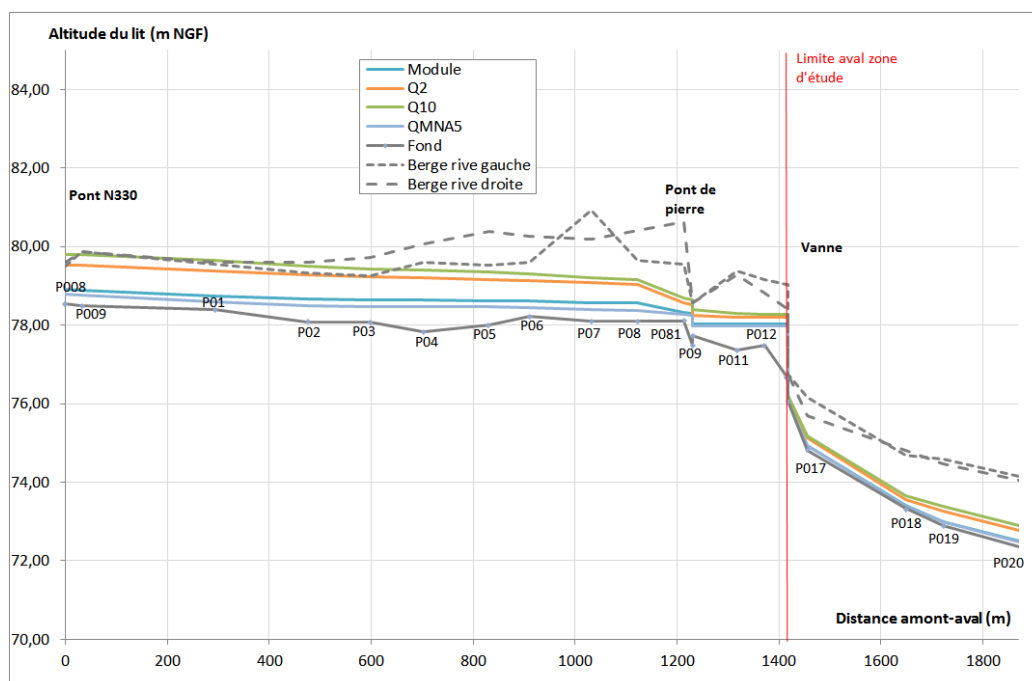


Figure 15 : Profil en long des différentes crues modélisées (Sarron et Dauvillier, 2017).

3.2.1.3 Vitesses d'écoulements

Le **Tableau 3** ci-dessous présente les vitesses d'écoulement moyennes pour les 4 configurations hydrologiques modélisées :

Tableau 3 : Vitesses moyennes d'écoulement dans la situation actuelle (Sarron et Dauvillier, 2017)

Vitesses moyennes d'écoulement (m/s)	QMNA5	Module	Q2	Q10
Lit majeur gauche	0,032	0,044	0,114	0,164
Lit mineur	0,166	0,190	0,432	0,558
Lit majeur droit	0	0	0,002	0,011

Les vitesses d'écoulement dans le lit mineur sont faibles (inférieures à 0,2 m/s) et les débordements sont très limités et localisés.

Dans le lit mineur, les vitesses sont en effet de l'ordre de 0,4 m/s, valeur très inférieure aux vitesses d'écoulement de cours d'eau similaires en crues (environ 1 m/s). Au vu des vitesses actuelles du cours d'eau, la problématique d'érosion ne se pose pas ; d'ailleurs aucune zone d'érosion n'a été observée durant l'expertise de terrain.

3.3 Ecologie et Patrimoine

3.3.1 Qualité écologique

3.3.1.1 Inventaires dans le parc Jean-Jacques Rousseau

► Ripisylve

La zone d'étude présente une ripisylve de qualité moyenne. En effet, le site d'étude étant un parc entretenu et ouvert au public,



Figure 16 : Cordon d'hélophyte laissé hors tonte (BURGEAP, 2017).

la strate herbacée est sous représentée (tonte à ras, gazon...), la strate arbustive est quasi absente et la strate arborée présente de grands arbres d'ornement anciennement plantés. Sur plusieurs zones du parc, un cordon d'hélophytes (**Figure 16**) laissé hors tonte a été observé en bord de cours d'eau ou de plan d'eau. Il est recommandé de généraliser cette pratique.

► Espèces indésirables / invasives

Seul un petit foyer de renouée du Japon et un buddleia de David ont été identifiés, en marge du cours d'eau. Concernant les espèces indésirables, on a pu trouver du bambou, un résineux ainsi qu'un robinier faux acacia.

3.3.1.2 Habitats piscicoles

Grâce aux observations sur le terrain, nous avons pu établir un diagnostic des habitats piscicoles des différents cours d'eau. Lors de l'étude sur la rivière Essonne, nous avons eu la possibilité de trouver des bras présentant une qualité hydromorphologique remarquable (**Figure 17**). Un d'eux, la noue de Quinselons, présente un intérêt écologique important et semble tout indiqué, hydrauliquement, comme le bras de contournement idéal du moulin Beaudon. Ce dernier se situe en fond de vallée et y est isolé. La dynamique fluviale y est totalement naturelle (sinuosité, alternance d'atterrissements et de zones d'érosion, alternance de faciès d'écoulement, hauteur de berge, largeur de plein bord, etc..). Nous avons pu évaluer les caractéristiques suivantes :

- La **granulométrie** du fond du lit est de bonne qualité avec une diversité du substrat (sables, graviers, etc...);
- L'**envasement** est nul ;
- Les **berges et sous berges** : les berges sont en pente douce (≈ 50 cm) avec des sous-berges ;
- La présence de nombreux **atterrissements** de part et d'autres du lit de la noue ;
- La présence d'**herbiers aquatiques** diverses ;
- La succession de radiers et la présence de quelques frayères ;
- Des faciès d'écoulement diversifiés (succession de plat lentique et lotique et des radiers) ;
- L'absence d'**obstacles à la continuité écologique**

Toutes ces caractéristiques témoignent d'habitats piscicoles riches et diversifiés.



Figure 17 : La noue de Quinselons, un état de référence

3.3.2 Qualité paysagère et patrimoniale

La rivière Ecole est un élément paysager majeur du parc de Pringy, dans lequel elle forme un coude, 4 pièces d'eau ont également été dispersées dans le parc. L'eau tient ainsi une part importante dans l'identité paysagère et l'attrait du parc (**Figure 1**). De plus, plusieurs « fabriques » ornent les chemins du parc : Un kiosque en chaume, un pont japonais, une grotte, guidant les visiteurs dans ce parc. De nombreux arbres remarquables sont également présents sur le site, dont un Platane (**Figure 18**).



Figure 18 : Fabriques et platane du parc de Pringy (BURGEAP, 2017)

Autre élément paysager clé du parc : la pelouse centrale (**Figure 19**). Cette grande étendue verte est le lieu de prédilection des promeneurs pour s'arrêter quelques instants et profiter du parc ou pique-niquer. Cette pelouse est un grand espace ouvert permettant d'observer d'un seul et même point le cours d'eau, le kiosque situé derrière, le grand platane, le bâtiment de la mairie et le clocher de l'église. C'est le point névralgique du parc. Tous ces éléments seront à respecter lors de la définition des aménagements.

Outre la qualité paysagère, le patrimoine des sites étudiés est également très riche. Par exemple, le parc Jean-Jacques Rousseau à Ermenonville est inscrit dans plusieurs périmètres des monuments historiques (au total 4 sites). De plus, le parc a été identifié comme un paysage emblématique. De ce fait, toute intervention dans le parc doit être préalablement validée par un Architecte des Bâtiments de France (ABF). Ce dernier veillera à ce que l'unité paysagère et architecturale du site soit respectée.



Figure 19 : Château et pièce d'eau du parc de Pringy (BURGEAP, 2017)

4. Discussion

L'établissement du diagnostic pour ces trois sites a été une phase relativement complexe. Néanmoins, la possibilité de travailler sur trois études simultanément avec une problématique commune a permis d'observer les multiples impacts des ouvrages hydrauliques mais aussi les différentes contraintes qui apparaissent suivant le contexte (réglementaire, sociétal, environnemental, etc...) de chaque site.

4.1 Les ouvrages hydrauliques et leurs impacts

De nombreux types d'ouvrages hydrauliques existent le long d'un cours d'eau, du seuil au déversoir en passant par le vannage. Cependant, l'impact de ces derniers sur les dysfonctionnements hydromorphologiques et écologiques des sites n'est pas le même.

Une des premières conséquences des ouvrages est la rupture de la continuité écologique (organismes aquatiques et charge sédimentaire).

Le complexe hydraulique du moulin Touveau par exemple, présente une multitude de vannes avec une franchissabilité piscicole différente suivant la lame d'eau, la hauteur de chute ou encore la profondeur de la fosse d'appel. Par exemple, la vanne usinière (V5) est infranchissable. Cela s'explique par la présence de la chute en aval, pour le fonctionnement de la roue, qui rend compliquée le passage des poissons mais aussi la lame d'eau insuffisante. A contrario, la vanne V6 est totalement franchissable. Bien que en mauvais état, cette dernière ne présente pas d'obstacle ni aux poissons ni aux sédiments, lorsqu'elle est ouverte. À noter que, selon les propriétaires, l'ensemble des vannes du site sont ouvertes depuis la crue de mai 2016. Par ailleurs, suivant les périodes de l'année, les ouvrages sont plus ou moins franchissables. Prenons le cas des déversoirs D3 et D4 ; tous deux sont infranchissables en période d'étiage, cependant avec un niveau d'eau suffisant, le déversoir D4 devient franchissable pour les poissons. Le mauvais état du déversoir D3 est tel que la franchissabilité est impossible l'ensemble de l'année. Le cas de la Launette est moins ambigu. Au vu des caractéristiques du vannage du lavoir, la question de la franchissabilité ne se pose pas. Une solution serait idéalement l'effacement de ces obstacles. En raison de la complexité technique et de l'enjeu historique à Ermenonville, cette solution n'est pas envisageable. Dans le cas du moulin de Touveau, la solution est plus nuancée vu que certains ouvrages n'obstruent pas la continuité écologique. Les déversoirs pourraient être supprimés tandis que les vannes pourraient être préservées.

Outre la franchissabilité piscicole, la continuité sédimentaire est elle aussi impactée. La succession d'ouvrages, qui compartimentent le cours d'eau, constitue un obstacle au transit sédimentaire. Ces derniers forment des « points de rupture » altérant le bon fonctionnement hydromorphologique du cours d'eau ([Huger et Schwab, 2011](#)). Une partie des sédiments fins « tend à s'accumuler par décantation en amont des ouvrages sans pour autant qu'ils soient totalement comblés » ([Charrier et Delorme, 2013](#)). On constate que la perte de charge au droit des ouvrages incite le cours d'eau à se recharger par creusement du fond juste en aval des ouvrages (Principe de la balance de Lane, 1955). À terme, cela conduit à une simplification du style fluvial. De plus, la présence des ouvrages tend à diminuer la pente du fond du lit, ceci est d'autant plus significatif que les ouvrages étudiés existent depuis longtemps. Selon [Charrier et Delorme \(2013\)](#) « si les ouvrages étaient arasés, la pente de la ligne d'énergie de la rivière serait augmentée, comme sa force érosive ». Sous influence, le lit du cours d'eau se creuse au fil du temps. Comme observé lors de la modélisation de la Launette, la rivière se retrouve encaissée dans son lit mineur. En effet, elle n'a plus la possibilité de dissiper le surplus d'énergie en période de crue via les débordements. Par conséquent, « l'effet de chasse » des crues évacue les éléments les plus grossiers ([Charrier et Delorme, 2013](#)), et simplifie le style fluvial (rectiligne) et déstabilise les berges qui induisant un élargissement progressif du lit. Ainsi, pour un même débit, le tirant d'eau diminue ; la vitesse diminue et l'envasement s'accroît. La rivière se trouve alors dénaturée et perd progressivement sa capacité d'autorégulation ([Malavoi et al., 2011](#)).

Dans le cas de la rivière Essonne, les anciennes opérations de recalibrage ont été un facteur aggravant l'hydromorphologie, notamment la surlargeur du cours d'eau.

Cela se confirme à travers l'analyse du score géodynamique, et pour cause, il est dépendant, en partie de la pente et de la largeur du cours d'eau. Selon [Malavoi et Bravard \(2010\)](#), en dessous d'une puissance spécifique de 25 W/m^2 , la dynamique du cours d'eau ne permet pas de retour à la morphologie primitive. Ainsi, même en cas de suppression des ouvrages, le cours d'eau ne sera pas suffisamment puissant pour se rééquilibrer seul.

Dans le cas de l'Essonne, des travaux annexes, en plus de l'effacement des ouvrages, seront alors nécessaires pour permettre à la rivière de rétablir une hydromorphologie en adéquation avec sa nature (rétrécissement du lit, reméandrage du cours d'eau, végétalisation des berges, etc...).

Parallèlement aux dégradations des facteurs abiotiques du milieu, les facteurs biotiques sont eux aussi impactés. À travers les expertises de terrain, nous avons pu constater une faible diversité en végétation aquatique, notamment dans la rivière Ecole et les plans d'eau annexes. Suite au faible écoulement, « le milieu s'eutrophise et devient alors propice à certaines plantes aquatiques qui envahissent le milieu et aggravent l'eutrophisation du plan d'eau » ([Sarron et al., 2017](#)). Nous avons une perte dans la diversité des espèces aquatiques. Par ailleurs, la réduction de la charge sédimentaire et la diminution d'une granulométrie hétérométrique influence la vie aquatique. En effet, le substrat du lit a de multiples usages (abri, support de ponte, lieu de vie, etc...) qui par la réduction de la diversité des faciès d'écoulement et une homogénéisation d'un fond envasé, amène à une perte de la richesse écologique ([Malavoi et al., 2010](#)). Afin de pallier à ce déclin, outre la réduction du lit et le reméandrage, la renaturation des berges permettrait une amélioration de la situation. Dans le cas du parc Jean-Jacques Rousseau, la présence du cordon d'hélophytes, laissés hors tonte, est écologiquement très importante puisqu'il joue un rôle de zone de transition entre le milieu aquatique et le milieu terrestre. Ce dernier reste cependant trop étroit (environ 30 cm).

Malgré l'ensemble des dysfonctionnements relevés, des signes d'une dynamique fluviale intéressante sont parfois observés. Le long de la rivière Essonne, en dépit d'un fort étagement et d'une succession de nombreux ouvrages, des bras avec une hydromorphologie de référence ont été identifiés. En effet, lors de l'expertise de terrain, nous avons découvert un bras sauvage (**Figure 20**). Ce dernier s'est créé de lui-même et présente une hydromorphologie d'une qualité rare (très grande diversité dans la granulométrie, du faciès, des profondeurs, etc...). Le fait d'avoir un cours d'eau, formé sans aucune intervention extérieures, témoigne d'une dynamique fluviale subsistante.



Figure 20 : Le bras sauvage

4.2 Limites et contraintes

Une fois le diagnostic d'un site réalisé, la démarche est de tâcher de tendre, dans un premier temps, vers une restauration optimale. Néanmoins, le listing des dysfonctionnements et des contraintes du site réduit au fur et à mesure les actions envisageables. L'avantage de travailler sur ces trois études a été de pouvoir rencontrer différents degrés d'intervention possible : de la renaturation total d'un site à la simple intervention sur la ripisylve.

La particularité du parc de la mairie de Pringy est la volonté commune des acteurs à lancer une opération de restauration et qui plus est ambitieuse. En effet, il sera possible d'effacer le vannage ainsi que les plans d'eau obstruant les écoulements. Cette étude est un cas « idéal ».

L'étude sur les moulins de la rivière Essonne est, quant à elle, plus classique mais complexe. Complexe de par l'emprise du linéaire étudié mais aussi de par le fait que les propriétés sont privées. Par conséquent, les aménagements proposés doivent se faire en concertation avec les riverains afin d'avoir leur accord. Par exemple, les propriétaires des trois moulins en aval sont favorables aux lançements d'aménagements, à la condition de pouvoir rétablir la production d'énergie électrique sur l'un de leur moulin. Cela nécessite donc de réfléchir à instaurer un débit suffisant pour le fonctionnement de ce dernier.

La complexité de cette étude est donc plus sociale qu'environnementale. Les bords du cours d'eau sont naturels avec une faible anthropisation. Il sera donc possible de créer de nouveaux bras pour contourner les ouvrages. Un second point à prendre en considération est la préservation des bras (noue de Quinselons et rivière poissonneuse) faisant office d'état de référence. Il ne faudrait pas que la création de bras de contournement déconnecte ou altère ces entités remarquables.

Enfin, le dernier degré d'intervention est une intervention minimale due à des contraintes trop fortes. Le parc Jean-Jacques Rousseau à Ermenonville est caractérisé par un contexte patrimonial important. Inscrit dans plusieurs périmètres de protection du patrimoine, il est nécessaire de faire appel à un Architecte des Bâtiments de France (ABF). Ce dernier, au vu de la valeur patrimoniale, risque fortement de refuser les différents scénarii d'aménagement proposés. En effet, la suppression des vannages du lavoir et la suppression du batardeau auront pour conséquences de changer la conception paysagère du site, tout comme la mise en place de banquettes végétalisées. Pour cette étude, il aurait fallu une phase préalable de concertation avec l'ensemble des acteurs impliqués dans le projet, comme ce qui a été fait sur la rivière Essonne où les riverains sont en contacts direct et continu avec le syndicat responsable. Cette étape aurait permis d'identifier les attentes de l'ABF avant de faire des propositions de scénarii. Par ailleurs, la présence d'une pollution au Toluène est un facteur limitant. Cela nécessitera la mise en place d'interventions coûteuses.

5. Conclusion

En somme, l'influence des ouvrages sur les cours d'eau est de nature diverse et variée. Ils affectent non seulement la continuité écologique mais aussi, via la perturbation des facteurs abiotiques (profil en long, stabilité des berges, etc..), la richesse écologique du milieu.

Parfois présents depuis très longtemps, l'environnement s'est alors adapté à leur présence. Ainsi, il est souvent compliqué d'intervenir en voulant par exemple effacer ces derniers. Des zones humides, espèces patrimoniales, activités humaines ou autres peuvent s'y être développées, suite au développement de conditions leur étant favorables. Par conséquent, l'effacement d'ouvrages ou la modification du tracé d'un cours d'eau peuvent nuire à ces enjeux. Par ailleurs, de par leur nature et leurs caractéristiques, les ouvrages transversaux n'affectent pas la rivière de la même façon.

En conséquence, une intégration complète des composantes du site (humaines, patrimoniales, environnementales, etc...) est nécessaire pour la mise en place d'aménagements raisonnés.

En définitive, ces études m'ont permis de prendre conscience de la complexité du sujet et de l'approche adaptée à mettre en place au sein d'études, similaires par leurs problématiques mais différentes par leur contexte. En outre, des enjeux majeurs communs ont pu être observés :

- La restauration du cours d'eau
- Le respect des usages
- La protection des biens personnes
- L'insertion paysagère

Ce stage de fin d'étude a été une expérience très enrichissante me permettant, à travers la diversité des interventions, de découvrir le travail d'un ingénieur dans un bureau d'étude en Environnement. J'ai dû ainsi m'adapter à la gestion du temps propre au bureau d'étude ainsi qu'aux aléas humains survenus dans mon équipe (arrêt maladie, congé maternité, départs, etc...). La gestion de ces paramètres externes a été une de mes difficultés, tout particulièrement la gestion du temps, mais ça était très formateur.

Heureux d'avoir pu autant apprendre en 6 mois, heureux d'avoir pu partager cette expérience avec des personnes intéressantes et attentionnées, j'ai la chance de pouvoir continuer cette aventure avec BURGEAP et ainsi suivre la suite de ces études.

6. Travaux annexes

- **Modélisation 1D** – Carrière à Briare (45), LAFARGE

La société LAFARGE souhaite ouvrir une nouvelle carrière de granulats alluvionnaires dans le lit majeur de la Loire, au nord-ouest de la commune de Briare. Le dossier de demande d'autorisation d'exploiter (DDAE) associé à ce projet doit comprendre les éléments relatifs aux contextes hydraulique et hydrogéologique. La société LAFARGE a donc sollicité BURGEAP pour la réalisation d'une étude de faisabilité du projet portant sur les thématiques hydraulique et hydrogéologie qui comprendront les états initiaux, l'évaluation des incidences et éventuellement la définition des mesures compensatoires et de surveillance. C'est dans ce contexte que j'ai pu réaliser un modèle hydraulique 1D avec pour objectif d'évaluer l'incidence du projet sur les eaux superficielles.

- **Gestion d'eaux pluviales** – Carrière à Marcoussis (91), S.E.M

Dans le cadre d'un projet de mise en place d'une plate-forme de transit, de tri et de traitement des terres excavées au droit d'une ancienne carrière (surface d'environ 7 ha), à Marcoussis (91), la Société des Matériaux de la Seine (S.E.M) a sollicité BURGEAP pour réaliser une étude de gestion des eaux pluviales (au stade faisabilité).

Ainsi, après avoir divisé le site en sous bassin, j'ai réalisé une étude complète permettant de déterminer le volume d'eau ruisselé et de ce fait le volume de retenue à stocker à la parcelle. En effet, la réglementation du Syndicat local applique la règle du « zéro rejet ». Toutes les eaux pluviales doivent être gérées à la parcelle. Cependant, il est autorisé un débit de fuite maximum autorisé en cas de rejet au milieu naturel, fixé à 1 l/s/ha de surface active. Une fois le volume d'eau à stocker pour chaque sous bassin, j'ai pu proposer la création de bassins ainsi que de noues avec les dimensions appropriées pour une gestion optimale.

- Inspection du **réseau d'assainissement** – Base aérienne n°110

L'étude s'inscrit dans un projet global de reconversion d'une partie de la base aérienne 110 de l'Armée de l'Air, dans l'Oise. Ainsi la base aérienne a consulté BURGEAP afin de réaliser un schéma directeur des eaux pluviales. Tout d'abord, l'objectif est une étude du réseau existant et le déplacement des réseaux d'eaux pluviales déjà en place dans le cadre d'un projet cadastral. De plus, la base aérienne souhaite connaître les modalités de ce déplacement (bassin, diamètre, conduite, etc...) pour une surface d'environ 270 Ha incluant diverses constructions.

Dans ce contexte, j'ai pu réaliser l'inspection du réseau d'eaux pluviales durant 2 jours. Nous avons soulevé l'ensemble des regards afin de corriger, si besoin, les plans existants. Dans le cas où ces derniers s'avéraient faux, nous réalisons un ensemble de mesure (diamètre, côte tampon, côté fil d'eau,...) ainsi qu'un schéma du nœud. Il était parfois nécessaire d'utiliser de la fluorescéine (colorant mélangé à de l'eau) afin de déterminer l'exutoire du tronçon étudié.

Références

EauFrance. Etat écologique [en ligne]. Disponible sur : < <http://www.eaufrance.fr/observer-et-evaluer/etat-des-milieus/rivieres-et-lacs/etat-ecologique> > (consulté le 24.05.2017)

France Nature Environnement, 2014. Restauration de la continuité écologique des cours d'eau et des milieux aquatiques – Idées reçues et préjugés. Note technique, ONEMA, 31 p.

Gorius L., Bourre N., Boudet C., Simonnet F., 2010. Guide de mise en œuvre de la continuité écologique sur les cours d'eau. Guide méthodologique, Conseil Général du Finistère, 82 p.

GINGER. Ginger BURGEAP [en ligne]. Disponible sur : < <http://www.groupeginger.com/filiales/ginger-burgeap/> > (consulté le 07.06.2017).

Sarron C., Dauvillier Y., Pichereau B., 2017. Etude de faisabilité pour le rétablissement de la continuité écologique sur les biefs des moulins Beaudon, Touveau, Mirebeau, Roisneau, Argeville et Paillard. Rapport d'étude BURGEAP. *(en cours de rédaction pendant la rédaction du rapport de stage)*

Sarron C., Jaouen T., Dauvillier Y., 2017. Rivière Ecole – Parc de la Mairie de Pringy (77) – Phase 1 : Etat des lieux. Rapport BURGEAP, 161 p.

Sarron C., Dauvillier Y., 2017. La Launette au Parc Jean-Jacques Rousseau à Ermenonville – Phase 1 : Etat des lieux et diagnostic. Rapport BURGEAP, 118 p.

BRGM. InfoTerre [en ligne]. Disponible sur : < <http://www.brgm.fr/production-scientifique/donnees-services-numeriques/infoterre-portail-acces-donnees> > (consulté le 25.05.2017).

BRGM. La banque du sous-sol (BSS) [en ligne]. Disponible sur : < <http://infoterre.brgm.fr/la-banque-du-sous-sol-bss> > (consulté le 25.05.2017).

BRGM. Anciens sites industriels (BASIAS) [en ligne]. Disponible sur : < <http://infoterre.brgm.fr/anciens-sites-industriels-basias> > (consulté le 25.05.2017).

Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire. Pollution des sols : BASOL [en ligne]. Disponible sur : < <http://basol.developpement-durable.gouv.fr/accueil.php> > (consulté le 25.05.2017).

PDPG - Grimaud T.B., 2015. Plan de Départemental pour la Protection du milieu aquatique et de la Gestion des ressources piscicoles du département de l'Oise. Document technique, Fédération de l'Oise pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique, 241 p.

Charrier P., Delorme V., 2013. Etude préalable à la restauration hydromorphologique et au rétablissement de la continuité écologique sur la rivière Essonne et ses annexes hydrauliques. Rapport Fluvia.IS, 88 p.

Malavoi J.R., Adam P., Debais N., 2007. Manuel de restauration hydromorphologique des cours d'eau Agence de l'Eau Seine-Normandie, Nanterre, 64 p.

Niedermeyer F., 2008. Optimisation du rôle de la forêt dans la protection des petits cours d'eau et des zones humides. Symposium Forêt & Eau, 29 mai 2008, Mittelwihr, France.

WaldWissen. Cours d'eau de référence [en ligne]. Disponible sur : < https://www.waldwissen.net/wald/naturschutz/gewaesser/fva_wasserhandbuch_referenz/index_FR > (consulté le 12.08.2017)

Eau & Rivières de Bretagne. Formation à la reconnaissance des zones humides [en ligne]. Disponible sur : < <http://www.eau-et-rivieres.asso.fr/media/user/File/formations-ZH-ERB-juin2012.pdf> > (consulté le 03.05.2017)

SEGI., 2013. Etude préalable à la restauration hydromorphologique et au rétablissement de la continuité écologique sur la rivière Essonne et ses annexes hydrauliques. Rapport d'étude, 188 p.

Huger F., Schwab T., 2011. Les obstacles à l'écoulement : identification des « points niors » dans les études de restauration de la continuité écologique. Note technique, ONEMA, 4 p.

Malavoi J.R., Garnier C.C., Landon N., Recking A., Baran P., 2011. Eléments de connaissance pour la gestion du transport solide en rivière. ONEMA. 216 p.

TPAE. Circulaire n° 97-49 du 22 mai 1997 relative à l'assainissement non collectif [en ligne]. Disponible sur : < <http://www.tpae.fr/vars/fichiers/reglementation/circulaire%2097-49%20du%2022%20mai%201997.pdf> > (consulté le 03.06.207)

Tableaux et figures

Figure 1 : Schématisation du site d'étude (fond de carte : GEOPORTAIL)	4
Figure 2 : Localisation du site d'étude à Ermenonville (fond de carte : GEOPORTAIL)	4
Figure 3 : Saisie de données Trimble	6
Figure 4 : Localisation des ouvrages hydrauliques du moulin Beaudon (Sarron <i>et al.</i> , 2017)	9
Figure 5 : Exemple du schéma hydraulique du moulin Beaudon (Sarron <i>et al.</i> , 2017)	9
Figure 6 : Classe d'activité dynamique (Malavoi <i>et al.</i> , 2007)	11
Figure 7 : Carotte obtenue après extraction à la tarière manuelle le 25 avril 2017	12
Figure 8 : Localisation des points de prélèvements réalisés le 09 mai 2017 (fond de carte : GEOPORTAIL)	13
Figure 9 : Localisation des ouvrages hydrauliques et schéma hydraulique du moulin de Touveau (Sarron <i>et al.</i> , 2017)	15
Figure 10 : Vannes (V1 à V3) à gauche et vanne usinière V5 à droite	16
Figure 11 : Vannage du lavoir à Ermenonville (BURGEAP, 2017)	17
Figure 12 : Profil en long de la Launette sur le site d'étude (Sarron et Dauvillier, 2017)	17
Figure 13 : Profil en long de la rivière Essonne (Source : Charrier et Delorme, 2013)	18
Figure 14 : Localisation des 4 sondages et 2 tests de Porchet réalisés (fond de carte : GEOPORTAIL)	19
Figure 15 : Profil en long des différentes crues modélisées (Sarron et Dauvillier, 2017)	21
Figure 16 : Cordon d'hélophyte laissé hors tonte (BURGEAP, 2017)	21
Figure 17 : La noue de Quinselons, un état de référence	22
Figure 18 : Fabriques et platane du parc de Pringy (BURGEAP, 2017)	23
Figure 19 : Château et pièce d'eau du parc de Pringy (BURGEAP, 2017)	23
Figure 20 : Le bras sauvage	25

Annexes

Annexe 1. : Contexte des études

(Source : études BURGEAP, 2017)

► Etude de faisabilité pour le rétablissement de la continuité écologique sur les biefs des moulins Beaudon, Touveau, Mirebeau, Roisneau, Argeville et Paillard.

Le Syndicat Intercommunal d'Aménagement, de Réseaux et de Cours d'Eau (SIARCE) est engagé dans l'entretien, la gestion, l'aménagement et la restauration des cours d'eaux et milieux humides associés du bassin versant de l'Essonne. C'est dans le cadre de cette compétence que le SIARCE a engagé, en 2011, une étude globale, préalable à la restauration des cours d'eau sur le bassin de l'Essonne. Cette étude a permis d'identifier les sites du bassin versant de l'Essonne sur lesquels une intervention était judicieuse mais également les projets d'aménagement correspondant. Sur la haute vallée de l'Essonne, les 6 moulins intégrés dans l'étude ont été identifiés comme prioritaires.

C'est dans ce contexte que s'insère la présente étude pour la restauration de la continuité écologique de la haute vallée de l'Essonne.

En effet, le site d'étude présente un contexte particulièrement fort avec de nombreux éléments à prendre en considération dans le choix des futurs aménagements :

- un intérêt écologique fort (nombreux inventaires et protections du patrimoine naturel présents, Natura 2000, ZNIEFF, réserve de biosphère, etc.) ;
- une valeur patrimoniale et paysagère forte (site classé, site inscrit, moulins anciens) ;
- de plus, l'Essonne est classée en liste 2 à l'aval immédiat du site d'étude (à partir du barrage de Trousseau à Buno-Bonnevaux) ;
- les attentes, inquiétudes et usages des propriétaires, riverains et élus des différents moulins et leurs zones de remous.

L'étude de faisabilité doit permettre de déterminer les solutions d'aménagement optimales permettant d'atteindre ces objectifs en concertation avec le SIARCE, les propriétaires, les élus, les décideurs et les financeurs.

► Mission de maîtrise d'œuvre pour la réalisation des travaux de restauration de la continuité écologique sur l'Ecole : Site du parc de la mairie de Pringy.

Le Syndicat d'Aménagement et de Gestion de l'Ecole et Affluents (SAGEA) est engagé dans la surveillance, l'entretien, l'aménagement et la restauration des cours d'eaux et milieux humides associés du bassin versant de l'Ecole. C'est dans le cadre de cette compétence que le SAGEA a engagé, en 2013, une étude préalable à la restauration des cours d'eau sur le bassin de l'Ecole. Cette étude a permis d'identifier les sites du bassin versant de l'Ecole sur lesquels une intervention était nécessaire mais également possible dans un futur proche. De par son contexte, son agencement et son appartenance à la commune de Pringy, le parc de la mairie de Pringy est apparu comme l'un des premiers sites sur lequel une intervention d'envergure serait réalisable.

En effet, plusieurs facteurs permettent aujourd'hui d'envisager la restauration de ce site :

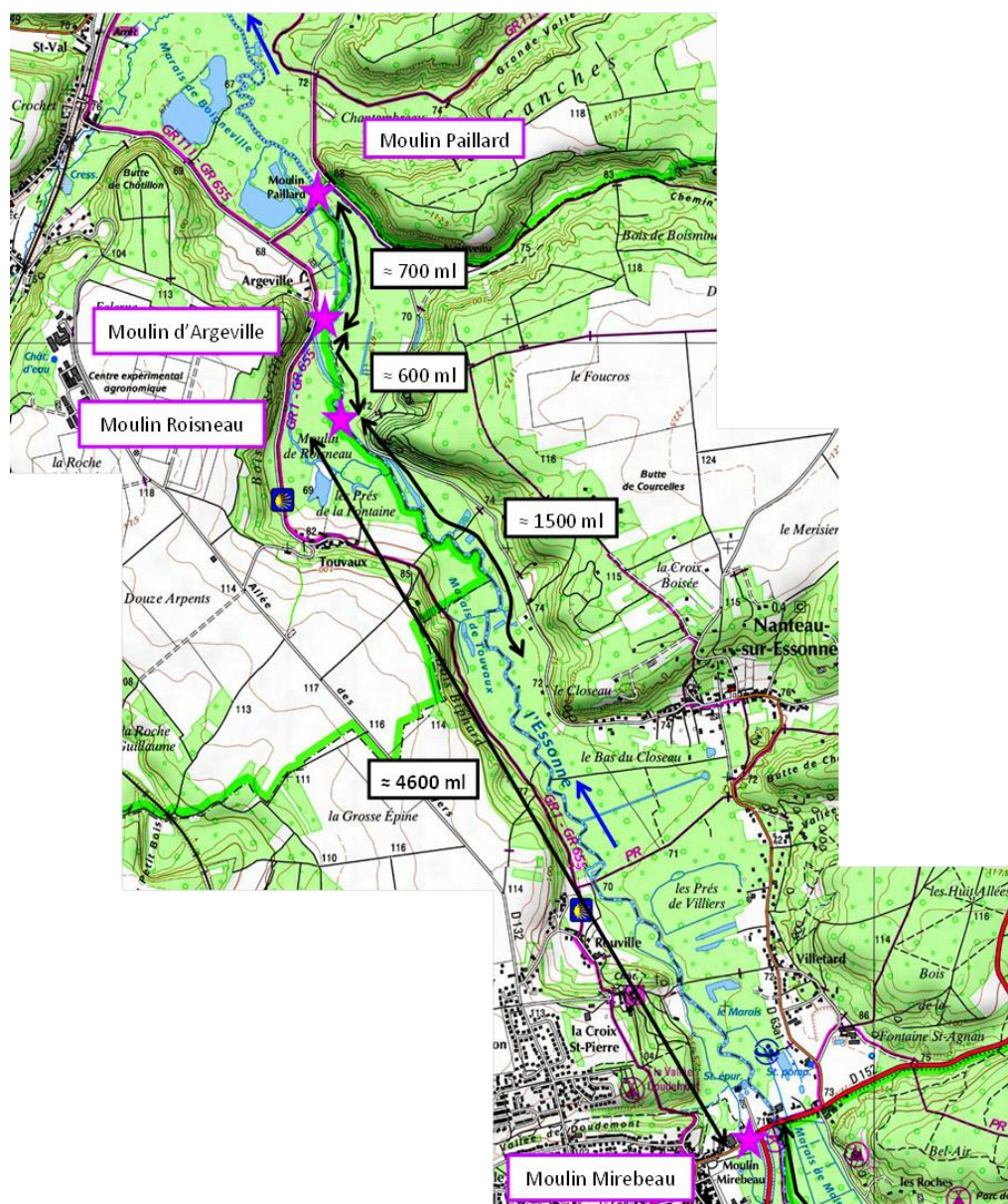
- Le parc présente deux plans d'eau artificiels directement sur le cours de l'Ecole, ces plans d'eau représentent une discontinuité écologique altérant le fonctionnement, l'équilibre et la qualité de l'Ecole ;
- Se trouve également au sein du parc, sur le cours de l'Ecole, un vannage pour le maintien du plus petit étang, ce vannage est un obstacle à la continuité piscicole et sédimentaire ;
- La commune est ouverte à différentes propositions d'aménagement pour la restauration de l'Ecole avec pour unique condition le maintien d'une pièce d'eau pour des raisons paysagères et de loisir (spectacle pyrotechnique annuel) ;
- Ce type d'aménagement est en accord avec la réglementation et l'objectif d'atteinte du bon état écologique des eaux de l'Ecole d'ici 2021 ;
- Cette mission de maîtrise d'œuvre sera la première, sur le cours de l'Ecole, à être engagée ; un parc public tel que celui de la mairie de Pringy représente une importante vitrine pour la restauration de cours d'eau mais aussi un parfait outil de communication pour les futures missions similaires.

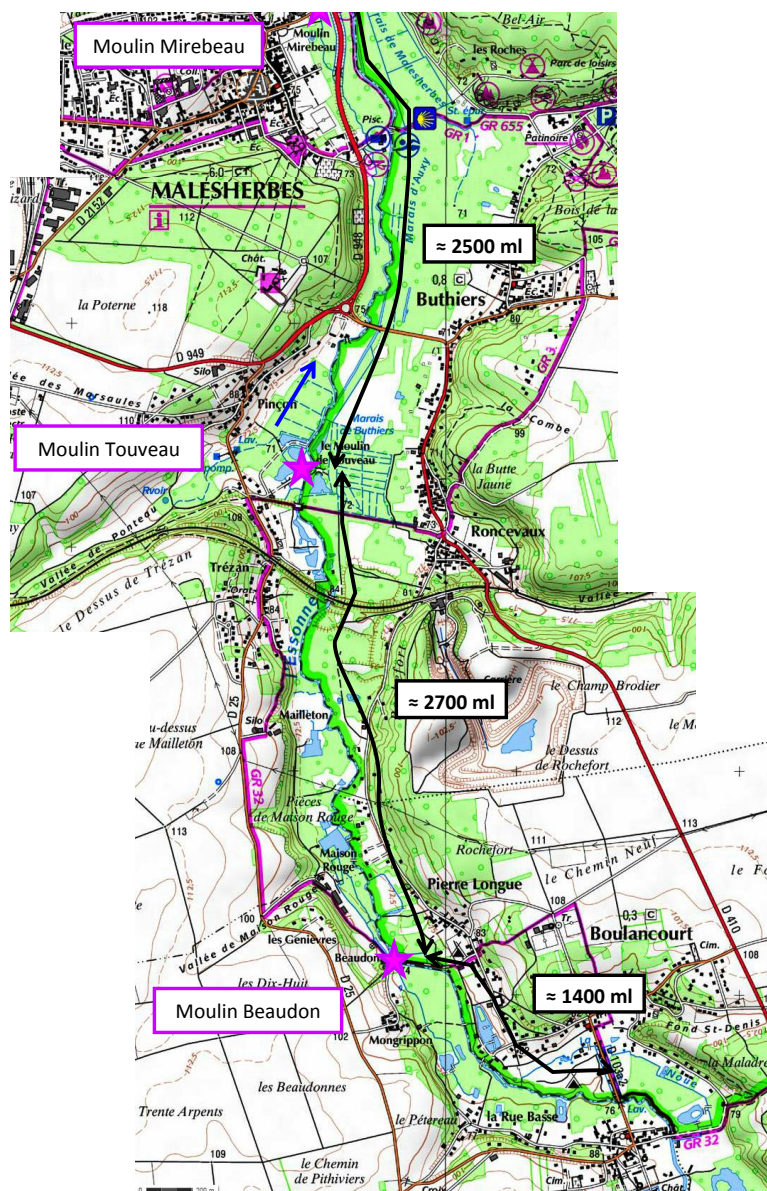
C'est dans ce contexte que s'insère l'étude pour la restauration de la continuité écologique au niveau du parc de la mairie de Pringy. Le rapport réalisé correspond à la phase 1 « Etat des lieux » du dit projet.

► Etude de maîtrise d'œuvre relative à la restauration de la continuité écologique sur la Launette au Parc Jean-Jacques Rousseau à Ermenonville.

Le Conseil Départemental de l'Oise (CD60), propriétaire du parc Jean-Jacques Rousseau à Ermenonville (60), possède un vannage sur la rivière Launette permettant d'alimenter en eau les étangs du Désert et du Château. Ce vannage, présent dans le parc Jean-Jacques Rousseau, n'est plus manipulé est reste en position fermée la totalité de l'année. Ce vannage est un obstacle à la continuité piscicole et sédimentaire. Il est notamment observé une forte sédimentation en amont des vannes, formant une épaisseur de vase significative.

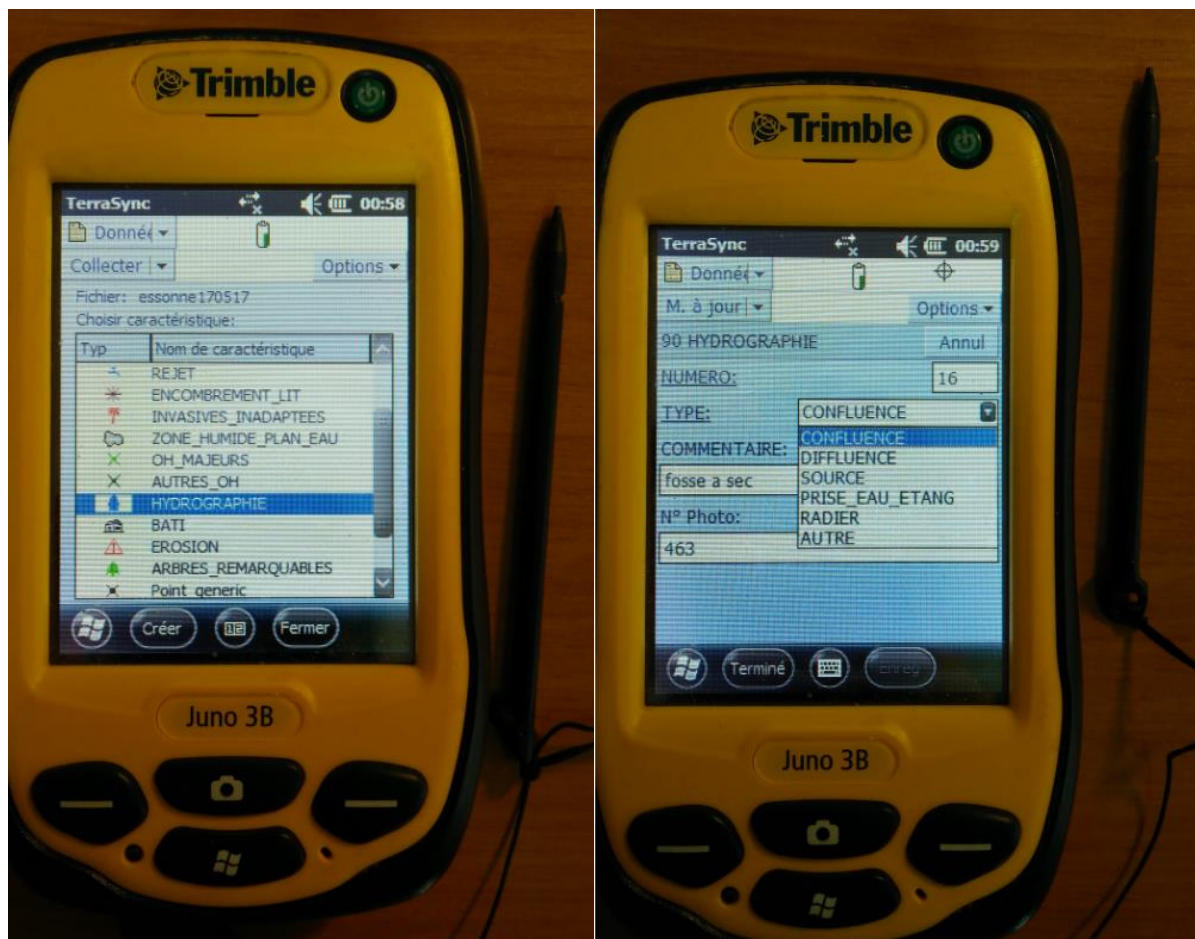
Annexe 2. : Zone d'étude pour le rétablissement de la continuité écologique sur l'Essonne et ses annexes hydrauliques



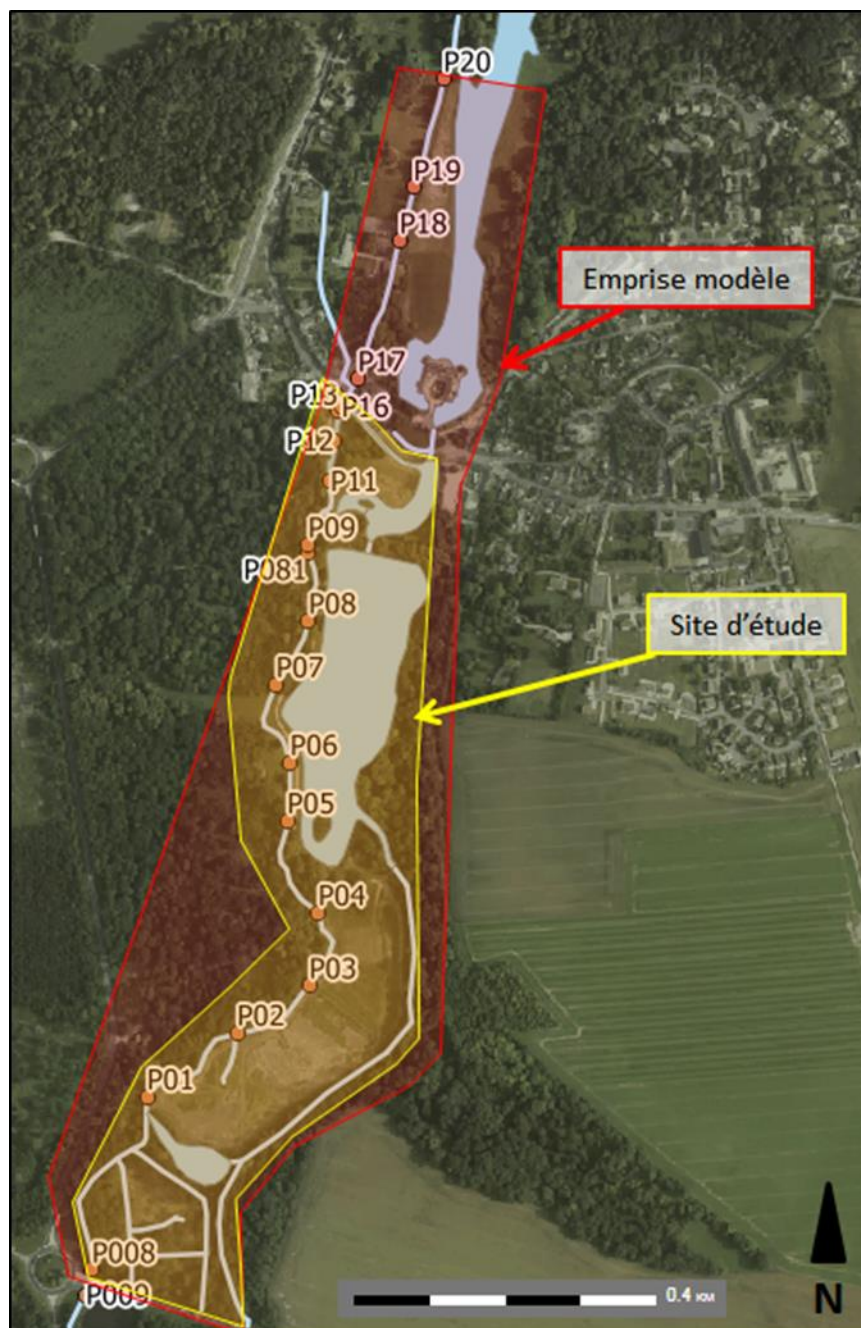


(Source : Sarron et al., 2017)

Annexe 3. : Saisie de données sur Trimble

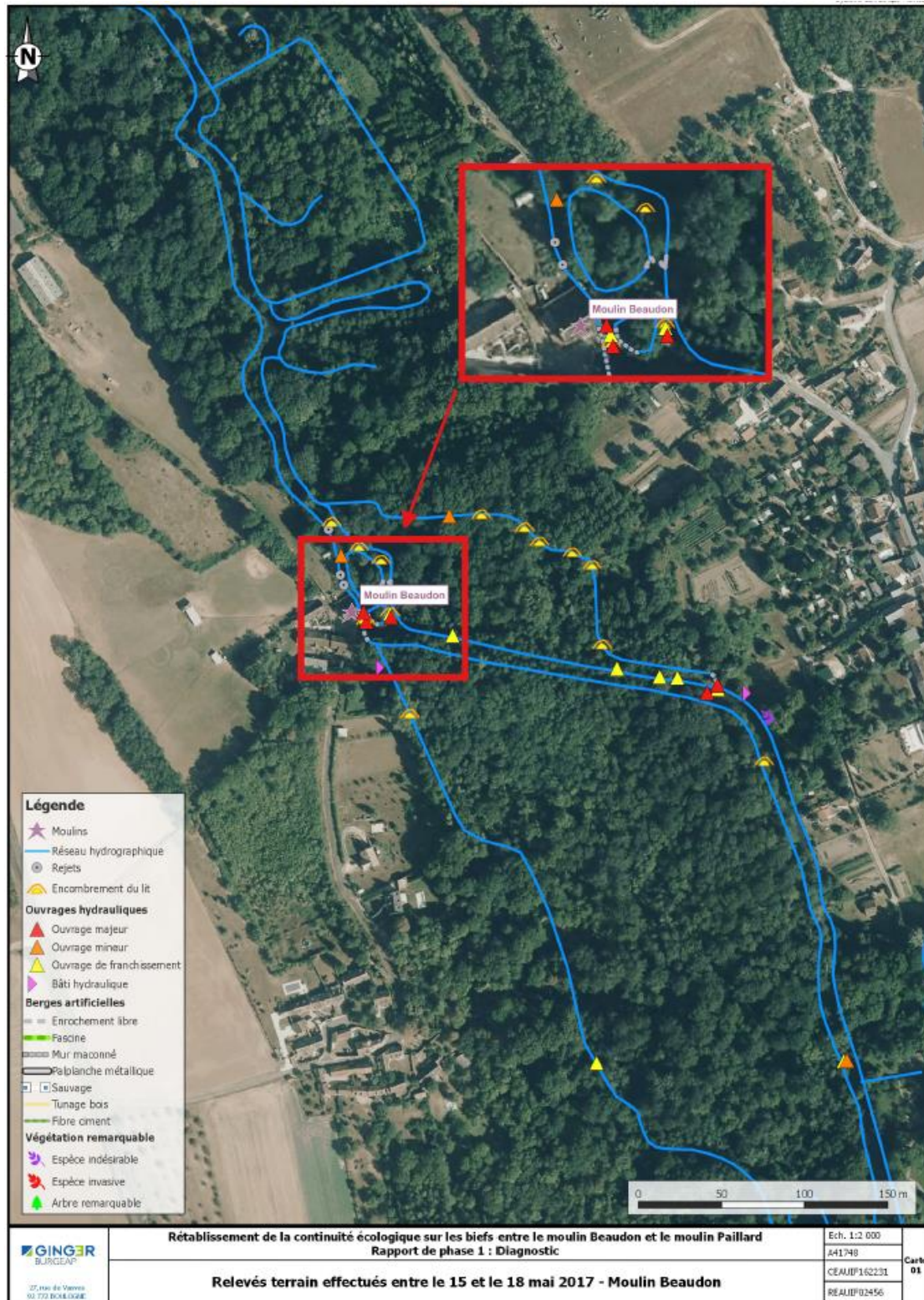


Annexe 4. Emprise du modèle hydraulique et profils en travers



(Source : Sarron & Dauvillier, 2017)

Annexe 5. Exemple de production cartographique à partir de QGIS



(Source : Sarron et al., 2017)

Annexe 6. : Grilles de franchissabilité pour les espèces cibles de la Launette

Truite fario		Profondeur de la fosse d'appel (cm)				Partie souterraine		
						< 5 m	5 à 10 m	> 10 m
		< 20	20 à 30	30 à 60	> 60	2	5	
Hauteur de chute (cm)	Pas de chute		0	0	0	0		
	]0 à 20]		2	1	1	1		
	]20 à 30]	> 10	4	3	3	2		
		[5 à 10]	4	4	4	4		
	]30 à 40]	< 5	5	5	5	5		
		> 5	5	4	4	4		
	> 40	< 5	5	5	5	5		
		> 5	5	5	5	5		

Obstacle effacé et/ou absence d'obstacle	0
Franchissable sans difficulté apparente	1
Franchissable avec risque de retard	2
Difficilement franchissable	3
Très difficilement franchissable	4
Infranchissable	5

Grille BURGEAP validée par l'ONEMA 60 sur un projet similaire

Brochet		Profondeur de la fosse d'appel (cm)				Partie souterraine		
						< 5 m	5 à 10 m	> 10 m
		< 20	20 à 30	30 à 60	> 60	2	5	
Hauteur de chute (cm)	Pas de chute		0	0	0	0		
	]0 à 5]		2	1	1	1		
	]5 à 10]	> 15	4	3	3	2		
		< 15	5	5	5	5		
	]10 à 15]	> 15	5	4	4	4		
		< 15	5	5	5	5		
	> 15		5	5	5	5		

(Source : Sarron & Dauvillier, 2017)

Annexe 7. : Protocole test Porchet

Voici le protocole opératoire du test de perméabilité de Porchet employé :

- Creuser un trou de diamètre déterminé, à l'aide d'une tarière manuelle (diamètre 150 mm), sur une profondeur de 70 cm ;
- Pendant une période de 4 heures, le trou est maintenu en permanence en eau (à l'aide d'un tuyau d'arrosage ou de bonbonnes d'eau). Cette opération a pour objet de replacer le sol dans les conditions de saturation en eau.
- Au bout de ces 4 heures, on mesure la quantité d'eau à rajouter pour maintenir le niveau d'eau constant ($h = 25$ cm du fond de trou ou 45 cm de la surface) et ceci pendant une durée de 10 minutes.

La valeur du coefficient de perméabilité K est donnée par :

$$K \text{ (mm/h)} = \text{volume d'eau rajouté en 10 minutes (litres)} \times 6 / \text{surface mouillée (m}^2\text{)}.$$

Dans le cas d'un trou rond de diamètre d réalisé à l'aide d'une tarière, le calcul de la surface mouillée est donné dans ce cas par :

$$S_m \text{ (m}^2\text{)} = \pi \times r^2 + 2 \times \pi \times r \times h = \pi \times r (r + 2 h)$$

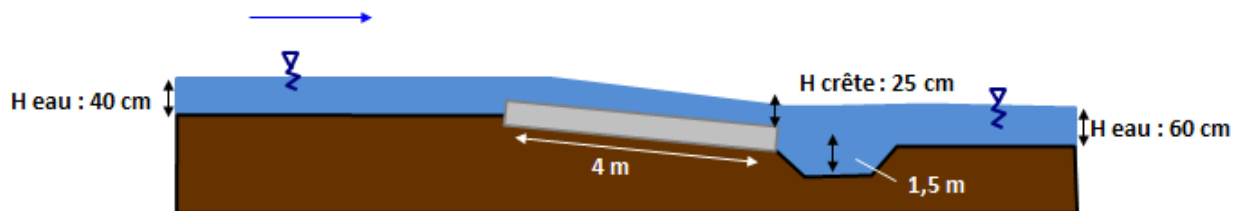
Avec $\pi = 3,141\,592$ et $h = 0,25$ m (si par exemple $d = 150$ mm alors $S_m = 0,14$ m²)

Pour obtenir K en m/s on divise simplement K en mm/h par 3 600 000.

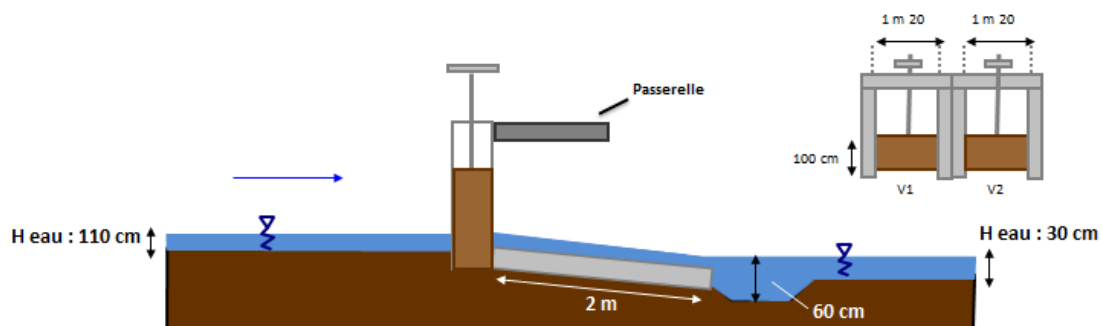
(Source : Circulaire n°97-49 du 22 mai 1997 relative à l'assainissement non collectif)

Annexe 8. : Relevés pour les moulins de la rivière Essonne

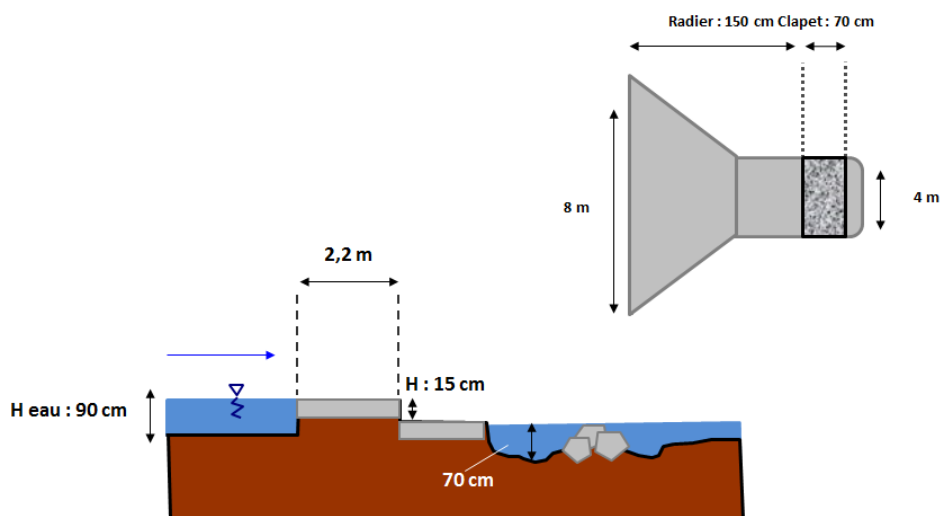
- Seuil de décharge au Moulin Paillard



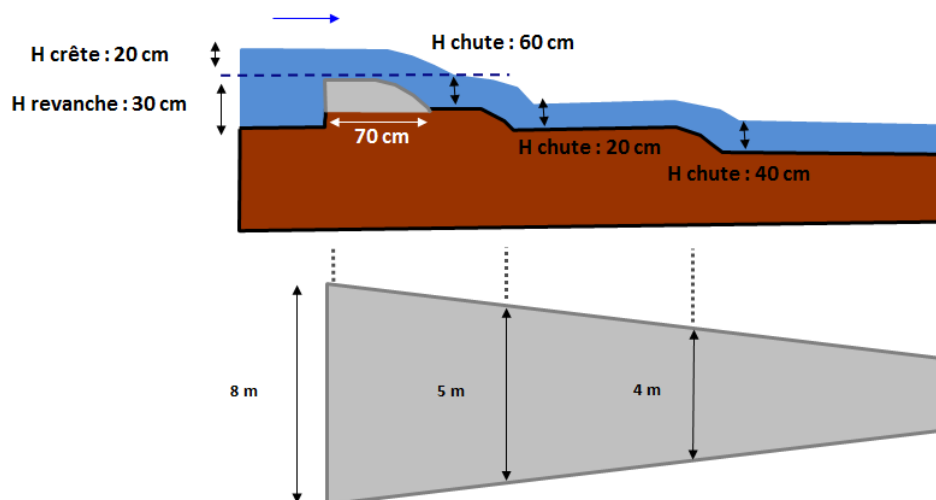
- Vanne usinière au moulin Argeville



- Clapet de décharge au moulin Roisneau



- Déversoir au moulin Beaudon



Annexe 9. Relevés des sondages pédologiques

GINGER BURGEAP		FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES			
Opérateur : ANGU	Date :	Sondage n° : S1			
Couvert végétal :	Herbe tondue				
Description générale :					
Description par horizon :					
Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0-30	Terre végétale	Frais	Brun	/	/
30-70	Limon argileux	Frais	Brun	/	/
* : Sec, frais, humide, très humide, noyé. ** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante. *** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.					

GINGER BURGEAP		FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES			
Opérateur : ANGU	Date :	Sondage n° : S2			
Couvert végétal :	Herbe tondue				
Description générale :					
Description par horizon :					
Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 20	Terre végétale	Frais	Brun	/	/
20 - 100	Limon argileux	Frais	Brun	/	/
* : Sec, frais, humide, très humide, noyé. ** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante. *** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.					



FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : ANGU Date : Sondage n° : S3

Couvert végétal : Herbe tondue

Description générale :

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 15	Terre végétale	Frais	Brun	/	/
15 - 50	Limon argileux	Frais	Brun	/	/
50 - 120	Argile	Frais	Brun	/	/

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
 ** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
 *** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.



FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : ANGU Date : Sondage n° : S4

Couvert végétal : Herbe tondue

Description générale :

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 15	Terre végétale	Frais	Brun	/	/
15 - 20	Argilo-limoneux	Frais	Brun	/	/

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
 ** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
 *** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.

Annexe 10. : Synthèse des résultats d'analyse des sédiments au parc JJ.Rousseau à Ermenonville

Localisation / Nom de la station	Point 1	Point 2	Point 3	Seuils Loi sur l'Eau : valeurs de référence de l'Arrêté du 09/08/2006, du 23/12/2009 et du 08/02/2013	Seuils valo agricole : valeurs de référence de l'Arrêté du 08/01/1998		Seuils d'acceptation en installation de stockage de déchets : valeurs de référence de l'Arrêté du 28/10/2010 et de la Directive 19/12/2002		
Référence laboratoire	17E035034-001	17E035034-002	17E035034-003	Niveaux S1	Epandage	Sol	Inertes	Non Inertes Non dangereux	Dangereux
CARACTERISTIQUES PHYSIQUES sur brut									
Sables grossiers : 200 µm - 2 mm	% prod < 2 mm en volume	-	6,84	11,27	12,45				
Sables fins : 63 µm - 200 µm	% prod < 2 mm en volume	-	19,21	21,82	20,94				
Limons grossiers : 20 µm - 63 µm	% prod < 2 mm en volume	-	45,54	47,12	40,75				
Limons fins : 2 µm - 20 µm	% prod < 2 mm en volume	-	24,10	16,82	21,93				
Argiles : < 2 µm	% prod < 2 mm en volume	-	4,31	2,98	3,93				
Médiane	en µm	-	38,01	44,53	43,04				
Refus pondéral < 2 mm	en % prod brut LQ : 1	-	<1,00	8,31	12,70				
Matière sèche	en % prod brut LQ : 0,1	-	18,90	43,80	17,40				
Masse volumique	en g/cm³	-	1,09	1,31	1,13				
Perte au feu à 550°C	en % mat sèche LQ : 0,1	-	19,00	11,70	19,90				
pH	-	-	7,20	7,50	7,50				
CARACTERISTIQUES PHYSIQUES sur éluat									
pH	-	-	7,70	7,90	7,90				
Conductivité à 25°C	en µS/cm	-	274	426	468				
Fraction soluble	en mg.kg-1 MS LQ : 2 000	-	14 800	3 160	11 400			< 4 000	4 000 - 60 000 60 000 - 100 000
NUTRIMENTS / ANIONS / CATIONS sur brut									
Azote Kjeldahl (NTK)	en g.kg-1 MS LQ : 0,5	-	14,80	5,60	9,30				
Phosphore (P)	en mg.kg-1 MS LQ : 1	-	5 620	2 110	5 750				
Phosphore total (P ₂ O ₅)	en mg.kg-1 MS LQ : 2,3	-	12 900	4 830	13 200				
COT	en mg.kg-1 MS LQ : 1 000	-	92 500	29 200	97 000			30 000	- -
NUTRIMENTS / ANIONS / CATIONS sur éluat									
COT	en mg.kg-1 MS LQ : 50	-	380	650	650			< 500	500 - 800 800 - 1 000
Chlorure	en mg.kg-1 MS LQ : 10	-	184	1150	1150			< 800	800 - 15 000 15 000 - 25 000
Fluorure	en mg.kg-1 MS LQ : 5	-	<5,00	<5,05	<5,05			< 10	10 - 150 150 - 500
Sulfate	en mg.kg-1 MS LQ : 50	-	2 290	969	969			< 1 000	1 000 - 20 000 20 000 - 50 000
Indice phénol	en mg.kg-1 MS LQ : 0,5	-	<0,50	<0,51	<0,51			< 1	- -
ELEMENTS TRACES METALLIQUES sur brut									
Aluminium (Al)	en mg.kg-1 MS LQ : 5	-	12 800	6 930	11 800				
Arsenic (As)	en mg.kg-1 MS LQ : 0,5	-	7,57	3,79	6,68	30			
Cadmium (Cd)	en mg.kg-1 MS LQ : 0,2	-	0,44	0,25	0,51	2	10	2	
Chrome (Cr)	en mg.kg-1 MS LQ : 0,1	-	27,00	15,30	27,30	150	1 000	150	
Cuivre (Cu)	en mg.kg-1 MS LQ : 0,5	-	101,00	37,70	105,00	100	1 000	100	
Mercure (Hg)	en mg.kg-1 MS LQ : 0,025	-	0,19	<0,10	0,22	1	10	1	
Nickel (Ni)	en mg.kg-1 MS LQ : 0,5	-	18,70	10,30	17,30	50	200	50	
Plomb (Pb)	en mg.kg-1 MS LQ : 0,1	-	32,50	19,10	31,20	100	800	100	
Zinc (Zn)	en mg.kg-1 MS LQ : 0,1	-	301,00	149,00	278,00	300	3 000	300	

ELEMENTS TRACES METALLIQUES sur éluat											
Antimoine (Sb)	en mg.kg-1 MS	LQ : 0,005	0,23	0,43	0,43				< 0,06	0,06 - 0,7	0,7 - 5
Arsenic (As)	en mg.kg-1 MS	LQ : 0,2	<0,20	<0,20	<0,20				< 0,5	0,5 - 2	2 - 25
Baryum (Ba)	en mg.kg-1 MS	LQ : 0,1	1,02	1,20	1,20				< 20	20 - 100	100 - 300
Cadmium (Cd)	en mg.kg-1 MS	LQ : 0,002	<0,002	<0,002	<0,002				< 0,04	0,04 - 1	1 - 5
Chrome (Cr)	en mg.kg-1 MS	LQ : 0,1	<0,10	<0,10	<0,10				< 0,5	0,5 - 10	10 - 70
Cuivre (Cu)	en mg.kg-1 MS	LQ : 0,2	<0,20	<0,20	<0,20				< 2	2 - 50	50 - 100
Molybdène (Mo)	en mg.kg-1 MS	LQ : 0,1	0,47	0,58	0,58				< 0,5	0,5 - 10	10 - 30
Mercure (Hg)	en mg.kg-1 MS	LQ : 0,001	<0,001	<0,001	<0,001				< 0,01	0,01 - 0,2	0,2 - 2
Nickel (Ni)	en mg.kg-1 MS	LQ : 0,1	<0,10	<0,10	<0,10				< 0,4	0,4 - 10	10 - 40
Plomb (Pb)	en mg.kg-1 MS	LQ : 0,1	<0,10	<0,10	<0,10				< 0,5	0,5 - 10	10 - 50
Sélénium (Se)	en mg.kg-1 MS	LQ : 0,01	0,01	<0,01	<0,01				< 0,1	0,1 - 0,5	0,5 - 7
Zinc (Zn)	en mg.kg-1 MS	LQ : 0,2	0,77	0,32	0,32				< 4	4 - 50	50 - 200
MICROPOLLUANTS ORGANIQUES											
Polychlorobiphényles sur brut (PCBi)											
PCB 28	en mg.kg-1	LQ : 0,01	0,0051	0,0034	0,01						
PCB 52	en mg.kg-1	LQ : 0,01	0,015	0,0034	0,0099						
PCB 101	en mg.kg-1	LQ : 0,01	0,022	0,0021	0,0056						
PCB 118	en mg.kg-1	LQ : 0,01	0,016	0,0017	0,0035						
PCB 138	en mg.kg-1	LQ : 0,01	0,023	0,0027	0,0077						
PCB 153	en mg.kg-1	LQ : 0,01	0,022	0,0027	0,0065						
PCB 180	en mg.kg-1	LQ : 0,01	0,0052	< 0,001	0,0023						
Somme des PCBi	en mg.kg-1	LQ : 0,07	0,11	0,016	0,046	0,68	0,8		< 1	50	50
Hydrocarbures aromatiques polycycliques sur brut (HAP)											
Naphtalène	en mg.kg-1	LQ : 0,012	0,061	0,055	0,51						
Acénaphthylène	en mg.kg-1	LQ : 0,012	0,054	0,031	0,46						
Acénaphthène	en mg.kg-1	LQ : 0,012	0,039	0,023	0,42						
Fluorène	en mg.kg-1	LQ : 0,012	0,15	0,087	2,6						
Phénanthrène	en mg.kg-1	LQ : 0,012	0,58	0,21	10						
Anthracène	en mg.kg-1	LQ : 0,012	0,11	0,035	2,1						
Fluoranthène	en mg.kg-1	LQ : 0,012	0,58	0,18	5,4				5		
Pyrène	en mg.kg-1	LQ : 0,012	0,52	0,14	4,9						
Benzo(a)anthracène	en mg.kg-1	LQ : 0,012	0,15	0,071	1,3						
Chrysène	en mg.kg-1	LQ : 0,012	0,21	0,11	2,1						
Benzo(b)fluoranthène	en mg.kg-1	LQ : 0,012	0,34	0,17	3,6		2,5				
Benzo(k)fluoranthène	en mg.kg-1	LQ : 0,012	0,15	0,09	1,3						
Benzo(a)pyrène	en mg.kg-1	LQ : 0,012	0,19	0,16	1,8		2				
Dibenzo(ah)anthracène	en mg.kg-1	LQ : 0,012	0,086	0,055	0,94						
Benzo(ghi)pérylène	en mg.kg-1	LQ : 0,012	0,21	0,12	2,4						
Indeno(1,2,3-c,d)pyrène	en mg.kg-1	LQ : 0,012	0,18	0,12	2,1						
Somme des HAP	en mg.kg-1	LQ : 0,192	3,6	1,7	42	22,8			< 50	500	500
Hydrocarbures totaux sur brut (C10 - C40)											
HCT C10-C40	en mg.kg-1 MS	LQ : 0,03	3 160	1 850	2 170				< 500	500 - 5 000	50 000
Composés volatils sur éluat											
Benzène	en mg.kg-1 MS	LQ : 0,05	<0,10	<0,10	<0,11						
Toluène	en mg.kg-1 MS	LQ : 0,05	89,9	0,43	62						
Ethylbenzène	en mg.kg-1 MS	LQ : 0,05	<0,21	<0,20	<0,23						
m+p-Xylène	en mg.kg-1 MS	LQ : 0,05	<0,21	<0,20	<0,23						
o-Xylène	en mg.kg-1 MS	LQ : 0,05	<0,21	<0,20	<0,23						
Somme des BTEX	en mg.kg-1	LQ : 0,25	90,1	0,63	62,2				< 6	30	200

*LQ : limite de quantification du laboratoire

(Source : Sarron & Dauvillier, 2017)

Annexe 11. Calage en situation de basses eaux

Situation du 16/05/2017 au 19/05/2017	Niveau d'eau mesuré (m NGF)	Niveau d'eau modélisé (m NGF)	Différence (m)
P02	78,77	78,66	-0,11
P03	78,68	78,64	-0,04
P04	78,64	78,64	-0,01
P05	78,64	78,63	-0,02
P06	78,64	78,62	-0,03
P07	78,64	78,6	-0,06
P08	78,64	78,59	-0,08
P11	78,09	78,02	-0,07
P12	78,09	78,02	-0,07

(Source : Sarron & Dauvillier, 2017)

Table des matières

1.	Introduction.....	2
2.	Matériels et Méthodes.....	3
2.1	Entreprise d'accueil.....	3
2.2	Contexte : Terrains d'étude.....	3
2.2.1	Les moulins de la rivière Essonne (45, 77, 91).....	3
2.2.2	L'Ecole au parc de la Mairie de Pringy (77).....	3
2.2.3	La Launette au parc Jean-Jacques Rousseau à Ermenonville (60).....	4
2.3	Données bibliographiques.....	5
2.3.1	Bases de données utilisées.....	5
2.3.1.1	BRGM.....	5
2.3.1.2	DREAL et DRIEE.....	5
2.3.1.3	Géoportail.....	5
2.3.2	Textes de référence.....	5
2.3.2.1	SDAGE et SAGE.....	6
2.3.2.2	Rapports d'étude.....	6
2.3.2.3	Autres.....	6
2.4	Outils.....	6
2.4.1	Le Trimble.....	6
2.4.2	InfoWork.....	7
2.4.3	QGIS.....	8
2.5	Expertises de terrain.....	8
2.5.1	Entretiens.....	8
2.5.2	Ouvrages hydrauliques.....	9
2.5.2.1	Franchissabilité piscicole.....	10
2.5.2.2	Profil en long.....	10
2.5.3	Potentiel morphodynamique et état de référence.....	10
2.5.4	Tests pédologiques et sédimentaires.....	11
2.5.4.1	Sondage pédologique.....	11
2.5.4.2	Test de perméabilité.....	12
2.5.4.3	Prélèvement de sédiments et test de qualité.....	12
2.5.5	Ecologie et patrimoine.....	13
2.5.5.1	Faune et flore.....	13
2.5.5.2	Habitats piscicoles.....	13
2.5.5.3	Paysage et patrimoine.....	14
3.	Résultats.....	15
3.1	Hydromorphologie.....	15
3.1.1	Les types d'ouvrages hydrauliques.....	15
3.1.2	Impacts des ouvrages hydrauliques.....	16
3.1.2.1	Continuité piscicole de la Launette.....	16
3.1.2.2	Zone de remous de la Launette.....	17
3.1.2.3	Etagement de l'Essonne.....	18
3.1.2.4	Score géodynamique de l'Essonne et état de référence.....	18
3.1.3	Relevés pédologiques et sédimentaires.....	19
3.1.3.1	Sondages pédologiques et tests de perméabilité à Pringy.....	19
3.1.3.2	Qualité des sédiments à Ermenonville.....	20
3.2	Hydraulique.....	20
3.2.1	Modélisation hydraulique de la Launette.....	20
3.2.1.1	Calage du modèle.....	20
3.2.1.2	Niveaux des eaux.....	20
3.2.1.3	Vitesses d'écoulements.....	21

3.3	Ecologie et Patrimoine	21
3.3.1	Qualité écologique	21
3.3.1.1	Inventaires dans le parc Jean-Jacques Rousseau	21
3.3.1.2	Habitats piscicoles.....	22
3.3.2	Qualité paysagère et patrimoniale.....	23
4.	Discussion	24
4.1	Les ouvrages hydrauliques et leurs impacts	24
4.2	Limites et contraintes.....	26
5.	Conclusion	27
6.	Travaux annexes	28
	Références	29
	Tableaux et figures	31
	Annexes	32
	Table des matières	48