
Rapport de stage individuel

5^{ème} année

Etudes et travaux de restauration
morpho-écologique

Egis eau

15 avenue du Centre. 78280 Guyancourt



Tuteur entreprise :
Jean-François Salmin
Chef de projet Etudes et travaux fluviaux

Mathieu Rambaud
IMA
2021-2022

Tuteur académique :
Pierre Peeters

Remerciements

Je tenais à remercier l'ensemble de l'équipe d'Egis qui m'a accueilli et qui m'a permis de réaliser ce stage.

Je remercie tout particulièrement Jean-François Salmin, mon tuteur de stage et chef de projet, ainsi que Christelle Tison et Soizic Heuzé pour leur confiance et pour m'avoir donné l'opportunité de découvrir les nombreux projets réalisés par l'équipe de renaturation d'Egis Eau.

Je voulais également remercier toute l'équipe : Florian Graux, Arnaud Béné, Jacques Montariol, Moussa Tall, Solenn Thommeret et Augustin Joneau pour leur aide et pour l'ensemble des moments partagés.

Merci également à toute l'équipe d'Egis Eau de Guyancourt pour leur accueil et pour ces 6 mois passés à leurs côtés.

Je tenais également à remercier Quentin Dhénaut pour m'avoir fait confiance pour ce stage et pour me permettre de continuer l'aventure à Egis.

Table des matières

1.	Introduction.....	1
2.	Présentation de la structure d'accueil	2
2.1.	L'organisme d'accueil : Egis.....	2
2.2.	Egis Eau.....	2
3.	Missions et problématiques abordées	3
3.1.	Les différentes missions et leurs problématiques.....	3
3.1.1.	L'état des lieux et diagnostic hydromorphologique du ru de Vaugondran.....	3
3.1.2.	Le suivi de chantier sur le ru du Bicheret	4
3.1.3.	Mission d'expertise de suivi de chantier sur la RCEA, A79.....	5
3.1.4.	Les visites d'appels d'offres.....	5
3.1.5.	Réunions et présentations	6
3.2.	Mission principale : Le diagnostic de l'Orge et ses affluents	6
3.2.1.	Contexte, objectifs et enjeux de l'étude	6
3.2.2.	Présentation du site d'étude	6
4.	Méthodologie	9
4.1.	Les tâches confiées.....	9
4.2.	Les entrants et leurs limites	9
4.2.1.	Les éléments de l'état des lieux	9
4.2.2.	Les anciens diagnostics par cours d'eau.....	9
4.2.3.	Le diagnostic terrains et les éléments de l'étude fournis	10
4.2.4.	Principales limites liés aux entrants	10
4.3.	La phase terrain complémentaire	12
4.4.	Les méthodes et analyses développées	12
4.4.1.	Découpage et notation des tronçons	12
4.4.2.	Homogénéisation des données et analyse statistique.....	15
4.4.3.	Calcul d'une note d'efficience	16
4.4.4.	Définition des enjeux et objectifs.....	17
4.4.5.	Elaboration d'une méthode d'analyse multicritère	19
5.	Résultats et discussion	21
5.1.	Etat fonctionnel des cours d'eau diagnostiqués	21
5.2.	Les problématiques mises en évidences sur le linéaire d'étude.....	22
5.2.1.	Généralités	22
5.2.2.	Modifications du tracé et bras perchés.....	22
5.2.3.	Les bassins de rétention en dérivation en fond de vallée, et les bassins sur le tracé... 23	23

5.2.4.	Les ouvrages transversaux et leurs impacts.....	25
5.2.5.	Les franchissements urbains	26
5.3.	Notes d'efficience.....	27
5.4.	Résultats de l'analyse multicritère et priorisation des tronçons	28
6.	Conclusion	29
	Bibliographie.....	31
	Sitographie	31
	Annexes	32
	.....	38

Références

Table des figures

Figure 1: Exemple de cartographie présentant les désordres hydromorphologiques observés lors de la prospection terrain du 13/04/2022	3
Figure 2: Illustrations de l'ouvrage de franchissement nouvellement créé et de la partie aval du ru du Bicheret (juin 2022 – juillet 2022)	4
Figure 3: Problématique d'érosion diagnostiquée (a) et solution proposée dans le CR du 11 juillet 2022 (b)	5
Figure 4: Bassin versant de l'Orge hors Yvette	7
Figure 5: Le territoire gérée par le Syndicat de l'Orge	8
Figure 6: Pourcentage de linéaire colmaté et de linéaire lentique et stagnant.....	16
Figure 7: Enjeux du SDAGE Seine-Normandie 2022-2027.....	18
Figure 8: Etat éco-morphologique des tronçons de la Rémarde en fonction du linéaire	21
Figure 9: Etat hydromorphologique des tronçons définis.....	21
Figure 10: La Rémarde perchée au Château du Marais (a) et à l'amont du moulin de Granville (b) ...	23
Figure 11: Bassin de rétention en rive droite de la Rémarde.....	24
Figure 12: Nombre d'OH par kilomètre pour les principaux cours d'eau	25
Figure 13: Endiguements de la Morte rivière en zone urbaine.....	26
Figure 14: Hiérarchisation des tronçons selon la note d'altération de l'analyse multicritère	28

Table des tableaux

Tableau 1: Tables et champs complétés lors des relevés terrain.....	12
Tableau 2: Extrait du tableau « note tronçon » développé par Egis	14
Tableau 3: Note et état attribué selon la note calculée.....	14
Tableau 4: Extrait du tableau "note tronçon"	15
Tableau 5: Extrait de la grille de notation par paramètre	20
Tableau 6: Coefficients appliqués aux compartiments	20
Tableau 7: Résultats des notes d'efficience calculées.....	27

Annexes

Table des annexes

Annexe 1: Définition des enjeux de l'étude en lien avec les dysfonctionnements recensés.....	32
Annexe 2: Objectifs définis.....	33
Annexe 3: Exemple de fiche tronçon pour la Sallemouille.....	34
Annexe 4: Exemple de descriptif tronçon pour la Sallemouille	35
Annexe 5: Exemple de cartographie présentant les principaux dysfonctionnements sur la Prédecelle	36
Annexe 6: Exemple de fiche d'identité par cours d'eau réalisé pour la Rémarde	37
Annexe 7: Localisation et typologie des plans d'eau situés sur le bassin site d'étude	38
Annexe 8: Grille de calcul pour la note d'efficience.....	39
Annexe 9: Tronçons les plus altérés d'après les résultats de l'analyse multicritère	39

1. Introduction

Ce stage de fin d'étude s'inscrit dans la formation Ingénierie des Milieux Aquatiques (IMA) du département Aménagement et Environnement de Polytech Tours. Il a été réalisé en 5ème année du 07 février au 05 août 2022 à Egis Eau à Guyancourt (78).

Le stage s'est déroulé en bureau d'études. Il est intitulé « *Assistant chargé d'étude. Etudes et travaux de restauration éco-morphologique* ». Il s'agissait d'une offre de stage de fin d'étude pour laquelle j'ai candidaté. Le cadre du stage et les missions proposées correspondaient parfaitement à mes recherches. Je voulais en effet travailler en bureau d'étude en restauration éco-morphologique avec des volets études, projets et travaux. De plus, intégrer une structure comme Egis me paraissait une bonne opportunité pour travailler sur des projets importants en terme de dimensions et d'enjeux. Le secteur du stage, Ile-de-France, Nord, Nord-Est, me convenait également pour pouvoir travailler sur des projets diversifiés : milieux ruraux, urbains avec des enjeux et contraintes de restauration de cours d'eau pouvant être très différentes d'un site à un autre. Cette offre de stage, en plus de convenir à mes attentes, était une vraie opportunité de me former dans la continuité de la formation Ingénierie des Milieux Aquatiques et de découvrir des projets diversifiés.

Les objectifs du stage étaient de participer aux projets en cours en renforçant l'équipe actuelle en production avec des attentes sur les volets éco-morphologiques. Le travail mené pouvait être très diversifié suivant les projets :

- Inspections de terrain (Ripisylve, berges, lit mineur, lit majeur, ouvrages transversaux, ouvrage de protection longitudinaux...),
- Analyse du fonctionnement morphologique et écologique de tronçons de cours d'eau,
- Collecte, analyse et exploitation des données existantes (Etudes bibliographiques),
- Définition de programmes d'action de restauration et de gestion de la ripisylve,
- Hiérarchisation et planification des interventions,
- Définition des aménagements,
- Rendus cartographiques,
- Participation aux réunions de travail,
- Rédaction de notes et de rapports.

Durant ce stage j'ai participé à une mission principale : « L'étude globale de l'Orge et ses affluents », il s'agissait d'un état des lieux du bassin versant, d'un diagnostic hydromorphologique et de propositions d'aménagements. D'autres missions complémentaires ont été réalisées comme l'« Etude hydromorphologique du ru de Vaugondran », des suivis de chantiers sur le ru du Bicheret notamment, un chantier de restauration morphologique avec une réouverture de cours d'eau. J'ai également eu l'occasion de participer à des visites d'expertises en génie écologique sur les chantiers de la RCEA A79 dans l'Allier.

Des visites et reconnaissances de terrain ont également été menées pour des appels d'offres.

2. Présentation de la structure d'accueil

2.1. L'organisme d'accueil : Egis

Egis est un groupe international de conseil, d'ingénierie de la construction et d'exploitation œuvrant dans les secteurs du transport, de l'eau, de l'énergie, du bâtiment et des villes. Fondé en 1970, le groupe s'est diversifié autour de ces thématiques et s'est développé à l'international dans plus de 100 pays : au Moyen-Orient, en Inde, en Amérique latine, en Afrique, en Asie Pacifique et en Europe et réalise aujourd'hui 62% de son activité hors de France.

L'activité Conseil et ingénierie occupe 79% de l'activité d'Egis contre 21% pour l'exploitation et services à la mobilité.

En France, le groupe est installé dans de nombreuses villes avec pour chaque bureau des spécialités différentes. Le siège social de l'entreprise se situe à Guyancourt (78).

2.2. Egis Eau

L'activité Egis Eau est implantée dans de nombreuses villes françaises, elle est découpée en plusieurs secteurs. Egis Eau Guyancourt est ainsi inscrit dans le secteur Île-de-France, Nord, Nord-Est. Le siège social d'Egis Eau se situe à Montpellier.

Egis Eau apporte son expertise sur l'ensemble des problématiques de l'eau comme l'assainissement, la distribution et la gestion de l'eau potable, ainsi que l'aménagement et la restauration des milieux aquatiques. Egis propose plusieurs champs d'expertise diversifiés:

- Stratégie, accompagnement des acteurs institutionnels
- R&D et transfert de connaissances
- Planification, master plans
- Gestion du risque et asset management
- Procédures de diligence préalable, audits, rapports d'expertise
- Études environnementales
- Gestion de projet

Le stage a été réalisé dans le domaine de l'aménagement et la restauration des milieux aquatiques. C'est un domaine en expansion avec de plus en plus d'offres, en particulier en Ile-de-France. Différents types de projets et études sont réalisés :

- Des études et diagnostics hydromorphologiques et écologiques ;
- Des projets de renaturation et restauration de cours d'eau ;
- Des projets de réouverture de cours d'eau ;
- De la maîtrise d'œuvre et suivis de travaux ;
- De l'assistance à la maîtrise d'ouvrage ;
- Des études hydrauliques ;
- Des dossiers lois sur l'eau.

L'équipe fluviale de Guyancourt est composée d'une directrice de projets, de deux chefs de projets, de plusieurs chargés d'études et d'une technicienne rivière. La pluridisciplinarité au sein de l'équipe permet de travailler sur les différents types de projets allant de la maîtrise d'œuvre en renaturation de cours d'eau jusqu'aux études hydrauliques.

3. Missions et problématiques abordées

3.1. Les différentes missions et leurs problématiques

3.1.1. L'état des lieux et diagnostic hydromorphologique du ru de Vaugondran

Ce projet est une étude commanditée par le syndicat de l'Yvette et la commune de Gif-sur-Yvette. Le ru de Vaugondran est concerné par plusieurs problématiques, notamment d'inondations et d'érosions de berges. Un état des lieux et un diagnostic du bassin versant et du cours d'eau ont été menés pour déterminer et localiser précisément les dysfonctionnements et altérations sur le cours d'eau.

Une prospection de terrain a été menée sur l'ensemble du linéaire du cours d'eau. De plus, une analyse diachronique à l'échelle du bassin versant et du cours d'eau a été réalisée pour dater et observer les modifications du tracé, ainsi que la densification urbaine aux abords du ru. Une analyse des pressions a également été réalisée pour chacun des six tronçons homogènes déterminés à l'issue de la prospection sur le terrain. Après les avoir délimités, des fiches tronçons, des fiches ouvrages ont été réalisées. Un SIG reprenant l'ensemble des observations sur le terrain a été réalisé. De plus, pour cette étude, un rapport présentant l'état des lieux et le diagnostic a été écrit avec une cartographie présentant les principaux dysfonctionnements.

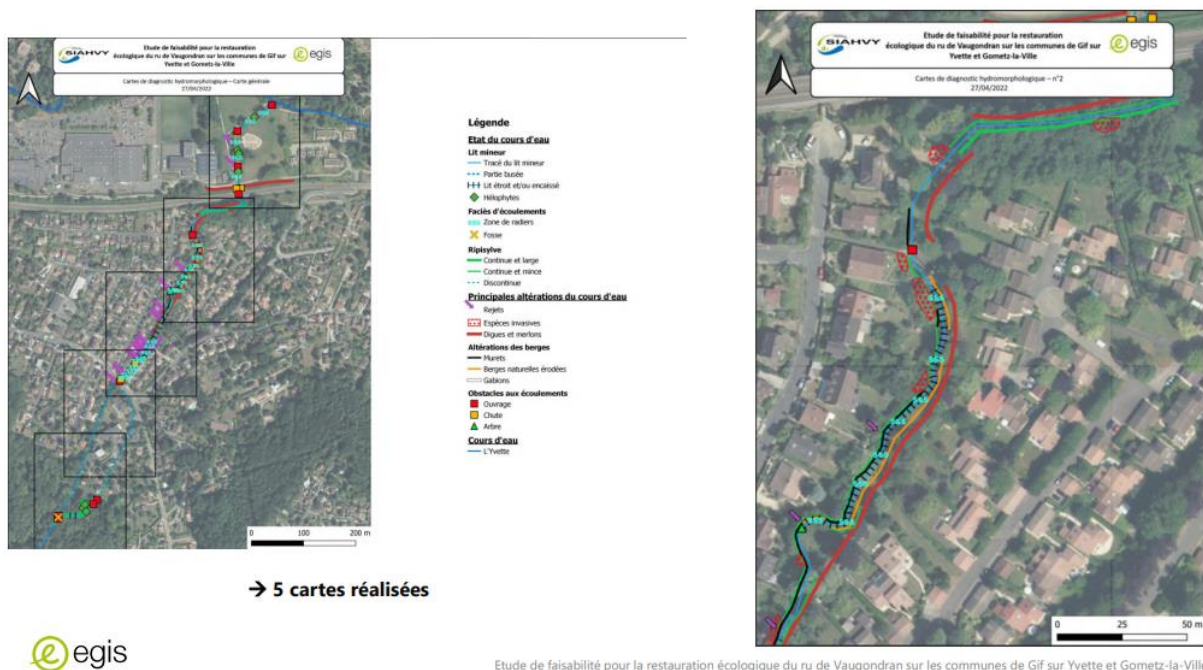


Figure 1: Exemple de cartographie présentant les désordres hydromorphologiques observés lors de la prospection terrain du 13/04/2022

Cette première étape a été présentée en réunion avec les élus de la commune de Gif-sur-Yvette et le responsable milieux aquatiques du Syndicat de l'Yvette. Il en est ressorti une attente très importante de la part des élus pour proposer des solutions à ces problématiques d'inondation et d'érosion.

Pour la suite de ce projet, une étude hydraulique sera menée par une autre équipe pour identifier les principaux axes de ruissellements du bassin versant et identifier les secteurs sujets au risque inondation.

Des solutions d'aménagements seront ensuite proposées par notre équipe pour permettre de réduire les risques d'inondations, de ruissellements et d'érosions de berges notamment.

3.1.2. Le suivi de chantier sur le ru du Bicheret

Une de mes missions durant ce stage était de réaliser un suivi de chantier de restauration écomorphologique sur le ru du Bicheret, un affluent de la Marne en Val-de-Marne. Le projet consistait à rouvrir le cours d'eau qui était busé sur sa partie aval sur 500 ml. Les principales phases du chantier étaient la pose d'un ouvrage de franchissement permettant la continuité écologique (Figure 2) et la création d'un lit reméandré avec un apport granulométrique.



Figure 2: Illustrations de l'ouvrage de franchissement nouvellement créé et de la partie aval du ru du Bicheret (juin 2022 – juillet 2022)

Un cours d'eau plus sinueux avec des variations du lit a été créé avec une zone d'expansion de crue à l'aval. Une confluence avec la Marne a également été réalisée. Je suis intervenu sur ce projet en dernière partie lors des deux derniers mois. Il s'agissait pour moi d'apprendre le déroulement et les problématiques d'un suivi de chantier en accompagnant un chargé d'étude confirmé. J'ai pu voir l'importance des échanges entre les différents partis : Maître d'Ouvrage, Chef de chantier, Paysagiste et Maître d'œuvre. J'ai pu aussi proposer de légères modifications et donner mon avis sur les problématiques hydromorphologiques du chantier.

3.1.3. Mission d'expertise de suivi de chantier sur la RCEA, A79

Lors de mon dernier mois de stage je suis intervenu sur le chantier de la RCEA avec la création de l'A79 dans l'Allier. Des dérivations de cours d'eau avaient été réalisées avec des ouvrages de franchissement mais le décalage entre le terrassement du lit et le génie écologique avait modifié les aménagements initialement prévus. Notre intervention venait donc en appui des ingénieurs d'Egis environnements qui avaient en charge le suivi de chantier.

Lors de ces visites, il a fallu proposer des solutions d'aménagements éco-morphologique en prenant en compte les problématiques de planning d'intervention des différents acteurs et des aménagements déjà réalisés. Les réunions se faisaient avec la présence d'Egis Environnement, d'une entreprise de travaux en génie écologique et des maîtres d'œuvres de l'autoroute. Lors de la première visite j'accompagnais mon tuteur de stage J-F.Salmin avant d'y retourner seul pour continuer le suivi de certains cours d'eau aménagés entre temps et aller voir d'autres franchissements à enjeux. La visite a également permis de relever les espèces d'arbres naturellement présents sur un site pour lutter contre l'érosion diagnostiquée lors de la visite précédente (Figure 3).



Figure 3: Problématique d'érosion diagnostiquée (a) et solution proposée dans le CR du 11 juillet 2022 (b)

Une troisième visite a eu lieu pour accompagner la visite de la DDT et de l'OFB. Cette visite a été très intéressante avec un point de vue extérieur et des critiques constructives vis-à-vis de certains franchissements visités.

3.1.4. Les visites d'appels d'offres

J'ai également participé à deux visites obligatoires pour des appels d'offres. Il s'agissait de rencontrer le maître d'ouvrage, de prendre connaissance des lieux pour imaginer des idées de conception et de prendre connaissance des problématiques du site d'étude. Ces visites ont été l'occasion pour moi de rédiger quelques notes sur le contexte de l'offre qui a ensuite pu être intégré à la réponse de l'appel d'offre dans le CCTP.

Nous sommes aussi allés faire une reconnaissance de terrain pour un autre appel d'offre pour permettre de mettre en avant là aussi les principales problématiques, de les localiser et de visualiser le site étudié. Cette visite s'est avérée très utile pour avoir une visualisation des enjeux plus proche du terrain et ainsi proposer des éléments cohérents dans notre offre.

3.1.5. Réunions et présentations

Lors des différentes missions réalisées, j'ai pu participer à des réunions de travail et de suivis de chantiers. J'ai également animé quelques réunions, notamment pour les échanges avec le Syndicat de l'Orge sur la mission principale présentée ci-après.

J'ai aussi été amené à faire des présentations lors de CoTech pour les phases 1 du diagnostic de l'Orge et ses affluents et celui du ru de Vaugondran. La première était une présentation devant les différents responsables de services du Syndicat de l'Orge et la deuxième consistait à une présentation de l'avancement du projet devant les élus de Gif-sur-Yvette et le maître d'ouvrage, le syndicat de l'Yvette. Ces présentations sont l'occasion de faire une synthèse des éléments déjà réalisés et permettent de mieux se projeter sur la suite des études.

3.2. Mission principale : Le diagnostic de l'Orge et ses affluents

3.2.1. Contexte, objectifs et enjeux de l'étude

Commandité par le syndicat de l'Orge pour s'inscrire dans la politique générale de la DCE et atteindre les objectifs de « bon état » d'ici 2027, le diagnostic de l'Orge et ses affluents doit permettre de réaliser un schéma directeur de restauration hydromorphologique permettant de définir un programme d'action hiérarchisé.

Le syndicat de l'Orge exerce la compétence GEMAPI pour 65 communes du bassin versant de l'Orge et souhaite mettre en place des actions en vue de « Protéger les biens et les personnes contre le risque inondation » et « Améliorer l'état des écosystèmes aquatiques de l'Orge et ses affluents ».

Un diagnostic terrain, ayant pour objectif de définir l'état éco-morphologique des cours d'eau, avait déjà été réalisé par le syndicat sur 80% du réseau hydrographique du syndicat de l'Orge. Une problématique d'homogénéisation des données a donc conduit au choix de la méthode employée et des éléments à relever. D'autres limites sont apparues en cours d'étude en raison des différences d'attributs pris en compte dans les analyses.

Le projet se découpait en 4 phases :

Phase 1: Etat des lieux

Phase 2 : Analyse du diagnostic, évaluation des tendances, enjeux et objectifs

Phase 3 : Le schéma directeur de restauration hydromorphologique

Phase 4 : Plan d'actions pluriannuel

Les trois premières phases ont été menées durant ce stage. L'étude a été initiée deux mois avant le début du stage. Je suis ainsi arrivé pour finaliser les derniers kilomètres de cours d'eau à prospecter et pour réaliser les analyses du diagnostic. Lors de la fin du stage j'ai pu participer au début de l'élaboration du schéma directeur de restauration hydromorphologique après avoir défini et localisé les enjeux et objectifs.

3.2.2. Présentation du site d'étude

Le bassin versant de l'Orge est situé dans le Sud de la région Île-de-France sur les départements des Yvelines et de l'Essonne. C'est un bassin versant de 950 km² drainé par 407 km de cours d'eau. On compte 7 cours d'eau référencés comme masse d'eau avec leurs bassins versants présentés Figure 4,

l'Orge se découpant généralement en deux parties du fait de ses caractéristiques différentes entre l'amont et l'aval.

L'amont du bassin versant est plutôt à dominante rurale. Plusieurs boisements sont également présents à l'Ouest et dans la vallée de l'Orge amont, de la Rémarde et de la Renarde. L'aval du bassin versant est lui très urbanisé avec une explosion démographique à partir des années 1950 et un étalement urbain très important autour des principaux axes de communication (A6, N20, N104...).

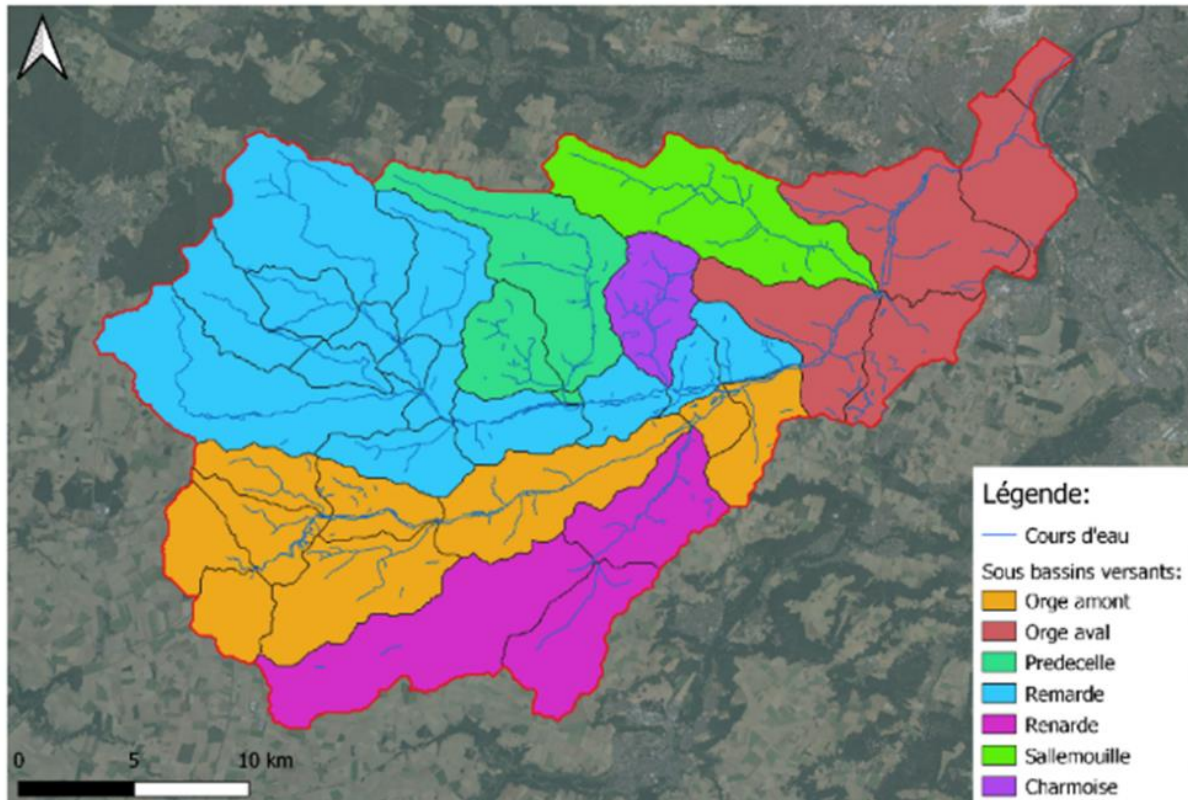


Figure 4: Bassin versant de l'Orge hors Yvette

Source: Egis, Etude globale de l'Orge et ses affluents. 2022

La totalité du bassin versant n'a pas pris en compte dans l'étude. En effet, trois structures gemapiennes s'occupent de la gestion des milieux aquatiques et du risque inondation :

- Le syndicat de l'Orge
- Rambouillet territoire pour les sources de l'Orge et de la Rémarde
- Le SIAHVY pour les sources de la Prédecelle et de la Sallemouille

Le site d'étude se limite ainsi au territoire géré par le syndicat de l'Orge (Figure 5) et du SHIAVY, suite à un accord de participation à l'étude pour la partie amont de la Sallemouille et de la Prédecelle. L'Yvette, le principal affluent de l'Orge n'a pas été intégré à cette étude, ce cours d'eau possède en effet son propre syndicat : le SIAHVY et est géré indépendamment du bassin versant de l'Orge.

Le territoire étudié possède une surface de 548 km² pour environ 300 km de cours d'eau. 62 communes sont situées sur le site d'étude. La taille du bassin versant étudiée explique la diversité des cours d'eau, de leurs vallées et de leurs caractéristiques. On observe ainsi des formations géologiques diversifiées allant des grès et sables de Fontainebleau au calcaire et argile à meulière. Certaines vallées sont ainsi plus encaissées et pentues comme la Renarde et la Sallemouille alors que d'autres présentent une

4. Méthodologie

4.1. Les tâches confiées

Lors de mon arrivée, l'étude globale de l'Orge et ses affluents m'a été confiée. Il s'agissait d'intégrer l'étude qui avait déjà commencée. L'étude bibliographique des éléments fournis et la prospection terrain avait été réalisées. La première mission a donc été d'analyser les données récoltées, de proposer un découpage par tronçons homogènes et de réaliser des fiches tronçons.

Ce premier travail s'est vu accompagné de réalisations cartographiques et de l'élaboration d'un rapport mettant en avant les dysfonctionnements par cours d'eau. Ces derniers ont ensuite été hiérarchisés et ont été intégrés à une analyse multicritère réalisée sur SIG permettant de prioriser les actions à réaliser sur les tronçons. Pour chaque cours d'eau des enjeux et des objectifs ont été élaborés. L'ensemble de ces éléments ont permis de proposer des aménagements de restauration éco-morphologique.

D'autres éléments ont été réalisés dans cette étude. J'ai par exemple participé à réaliser l'état des lieux à partir de l'ensemble des éléments fournis. J'ai également réalisé des présentations pour le Comité technique de la phase 1 en début juillet que j'ai eu l'occasion d'animer.

L'ensemble des missions réalisées au sein de cette étude m'ont permis de réaliser plusieurs analyses et rédactions. La majorité des analyses ont été développées spécialement pour cette étude pour répondre à la spécificité du projet.

J'ai eu beaucoup d'autonomie sur la manière de répondre aux objectifs tout en étant bien encadré par mon tuteur de stage. Des échanges réguliers avec la responsable du projet pour le Syndicat de l'Orge m'ont également permis d'améliorer mon travail en proposant des analyses plus précises.

4.2. Les entrants et leurs limites

4.2.1. Les éléments de l'état des lieux

Plusieurs rapports ont été fournis par le Syndicat de l'Orge pour réaliser l'état des lieux du territoire de l'Orge et ses affluents. Ils ont permis d'apporter des éléments intéressants sur l'occupation du sol, l'évolution du territoire, le paysage, les usages et les activités.

Nous disposons de deux rapports récents qui ont constitué l'essentiel de l'apport bibliographique de ces parties.

- Le diagnostic de la masse d'eau Orge réalisé par le syndicat en 2020;
- Le contrat Eau et Climat réalisé par le syndicat de l'Orge en 2021.

Une synthèse des éléments intéressants était alors réalisée pour apporter seulement les informations nécessaires à la compréhension du bassin versant et de son fonctionnement.

D'autres rapports complétaient ces documents sur plusieurs points mais la plupart étaient trop anciens et ne permettaient pas d'apporter des informations suffisamment fiables.

4.2.2. Les anciens diagnostics par cours d'eau

D'anciens diagnostics ont été fournis pour permettre de préciser et/ou de comparer les éléments récoltés sur le terrain. Ils avaient été réalisés sur quelques cours d'eau du site d'étude : Prédécelle, Charmoise, Sallemouille, Orge amont, Orge aval.

Ces documents ont cependant deux limites principales. En effet, ils sont pour la plupart anciens, les Schémas Directeur de la Charmoise, de la Prédecelle et de la Sallemouille ont été réalisés en 2010 et apportent ainsi des informations qui pour certaines ne sont plus d'actualité (aménagement déjà réalisé, nouvelles altérations...).

L'échelle d'étude est également une limite sur ce projet. Les diagnostics à l'échelle du cours d'eau détaillaient des altérations très locales qui ne sont pas autant précisés sur l'étude globale de l'Orge et ses affluents.

4.2.3. Le diagnostic terrains et les éléments de l'étude fournis

La grande partie du linéaire de l'étude a été diagnostiquée par le Syndicat de l'Orge. Il s'agissait d'un diagnostic éco-morphologique avec une prise en compte de l'état général du cours d'eau et de son état écologique.

Plusieurs éléments ont été fournis :

- Des tronçons avaient été établis sur chaque cours d'eau. Des descriptifs, des fiches et des notations par tronçons avaient aussi été réalisés. Ces dernières ont servi d'éléments de base pour diagnostiquer le réseau hydrographique.
- Des photographies classées par tronçons ont également été fournies. Elles se sont révélées indispensables pour visualiser les dysfonctionnements et altérations sans parcourir l'ensemble des cours d'eau.
- Les tables SIG avec les données relevées ont permis de localiser précisément les problématiques et ont permis de faire des analyses statistiques.
- Des fiches ouvrages ont également été fournies et ont permis de préciser les altérations engendrées par les ouvrages.

4.2.4. Principales limites liés aux entrants

4.2.4.1. Limites liées au diagnostic réalisé par le Syndicat de l'Orge

Le diagnostic réalisé par le Syndicat de l'Orge était une étude éco-morphologique s'intéressant principalement à l'état général du cours d'eau, de l'état de ses berges et de sa ripisylve. Les processus morphologiques et dynamiques des cours d'eau n'ont pas été relevés créant des manques importants pour réaliser un diagnostic complet du réseau hydrographique. L'incision, le colmatage et l'état perché de certains cours d'eau étaient par exemple manquants alors qu'il s'agit d'éléments indispensables expliquant les dysfonctionnements ou permettant d'identifier les causes des altérations.

Le découpage tronçon du syndicat réalisé n'avait par conséquent pas pris en compte les limites hydromorphologiques normalement utilisées pour découper des tronçons homogènes (méthode expliquée dans la partie 4.4.1). Certains tronçons étaient par exemple continus bien qu'une confluence importante avec un autre cours d'eau ne soit présente au milieu.

- ➔ Plusieurs tronçons du Syndicat de l'Orge ont donc été redécoupés pour permettre d'avoir une cohérence sur l'ensemble du bassin versant vis-à-vis de la méthode utilisée.

4.2.4.2. Limites liées aux données

- **Les données topographiques**

Plusieurs éléments ont limité la qualité et la précision des analyses. En effet, l'absence de topographie complète sur les cours d'eau a perturbé les calculs de pentes. Ces dernières ont alors été réalisées à partir de données topographiques sur la vallée avec les altitudes présentes sur Géoportail. Les profils longitudinaux, réalisés avec les entrants topographiques sont également peu précis en raison du manque de données complétant ceux relevés sur les ouvrages.

- **Les données hydrauliques**

L'absence de données hydrauliques a été limitante dans le diagnostic car seules quelques stations de mesures sont présentes sur les cours d'eau principaux. Très peu de données sur les débits, fiables et actualisées, ne sont disponibles sur les cours d'eau secondaires comme la Renarde, la Prédecelle ou la Sallemouille. Des modèles hydrauliques permettraient d'améliorer la précision du diagnostic avec une partie hydraulique complète.

- **Les données de qualité**

Les données sur la qualité écologique et chimique des cours d'eau du bassin versant étaient insuffisantes pour pouvoir donner une qualité à l'échelle du tronçon comme demandé dans le CCTP. L'essentiel des points de mesures étant situé sur l'Orge, la Rémarde ou au niveau des confluences avec leurs affluents, il est impossible d'estimer une qualité sur les tronçons amont. De plus, les données disponibles sont souvent anciennes avec plusieurs indices biologiques manquants pour les suivis de qualité les plus réguliers. Pour les suivis complets de l'ensemble des indicateurs, il faut se référer au diagnostic de masse d'eau de la DRIEE datant de 2015. Les compléments fournis par le Syndicat de l'Orge ont permis d'utiliser les données de qualité de 2019.

- **Les espèces à enjeux**

Les données traitées sur les espèces à enjeux fournies par le syndicat étaient limitées à certains cours d'eau ou à certains tronçons. Les espèces à enjeux sur les cours d'eau comme la Renarde, le Mort-Ru ou la Vidange n'avaient pas été diagnostiquées.

L'ensemble des données manquantes ont été remontés au Syndicat qui pourra compléter ces données avec leurs études en cours ou de nouvelles.

4.2.4.3. Autres limites liées à la temporalité de l'étude

D'autres limites sont à souligner dans cette étude. En effet, les relevés terrain réalisés par le syndicat entre 2015 et 2021 peuvent ne plus être effectifs au moment du diagnostic en raison d'aménagements déjà réalisés ou de modifications du cours d'eau liées aux processus hydromorphologiques.

Une autre problématique temporelle peut aussi être mise en avant. Il s'agit des éléments de végétation relevés qui n'ont pas pu être recensés de manière homogène lors des différentes phases du diagnostic. En effet, la phase terrain réalisée par Egis s'est déroulée principalement en hiver avec une ripisylve moins développée et des espèces végétales aquatiques ou des héliophytes absentes alors que les prospections terrains réalisées par le Syndicat de l'Orge ont principalement eu lieu en été. En conséquence, la végétation (héliophytes et hydrophytes notamment) n'a pas fait l'objet d'un diagnostic poussé permettant de montrer un manque ou un excès.

4.3. La phase terrain complémentaire

Pour compléter le diagnostic réalisé par le Syndicat de l'Orge, quatre cours d'eau ont été diagnostiqués :

- La Sallemouille amont (Compétence SIAHVVY)
- La Renarde
- La Remarde
- La Vidange d'Egly

Le diagnostic proposé par Egis était plus complet avec des volets hydromorphologiques en plus des éléments morfo-écologiques.

11 couches SIG ont été produites dont 6 principales: lit mineur, nature des berges, ripisylve, obstacles à l'écoulement, espèces invasives et rejets. Ces couches étaient remplies à travers plusieurs champs détaillés Tableau 1. Les éléments relevés étaient donc directement annotés sur SIG sur le terrain avec deux tablettes, une par opérateur. Les différentes couches étaient donc réparties entre ces derniers pour être plus efficaces.

Tableau 1: Tables et champs complétés lors des relevés terrain

Tables	Champs à remplir	Exemples de champs
Lit mineur	25	Granulométrie, écoulements, largeur, profondeur, incision, végétation aquatique...
Nature berges	9	Type, pente, stabilité, hauteur...
Végétation berges	15	Densité, continuité, essences, type, strates, état, stabilité, largeur...
Obstacles écoulements	26	Type, franchissabilité, usage, continuité, longueur d'influence, états...

Lors de ce stage j'ai pu participer au diagnostic terrain sur la Rémarde et quelques-uns de ses petits affluents.

4.4. Les méthodes et analyses développées

4.4.1. Découpage et notation des tronçons

4.4.1.1. Approche par segment

Le segment correspond à l'unité sectorielle à laquelle est associée la description des différents paramètres impactant sur la qualité morphologique du cours d'eau. Il possède une étendue spatiale plus courte que le tronçon (ce dernier étant le cumul de plusieurs segments), de l'ordre d'une centaine de fois la largeur du cours d'eau. Leur découpage se fait lors de la phase d'état des lieux en parallèle de la collecte de données brutes sur le terrain. La délimitation des segments s'appuie sur le recoupement d'un certain nombre de paramètres à l'échelle globale du cours d'eau (affluents/difffluence, présence d'ouvrages hydrauliques) mais aussi issue de trois compartiments plus spécifiques : le **lit mineur**, les **berges** et la **ripisylve**.

Lorsque l'on observe le changement d'un ou de plusieurs compartiments, la présence d'un ouvrage ou d'une confluence / difffluence, un découpage est opéré. Le découpage segment permet par la suite de découper le cours d'eau en tronçon.

4.4.1.2. Approche par tronçon

Le tronçon constitue une portion de cours d'eau typologiquement homogène (débit, largeur, profondeur, pente) susceptible d'abriter un type de peuplement piscicoles donné. Les tronçons ont une longueur variable de quelques centaines de mètres à plusieurs kilomètres (plusieurs centaines de

fois la largeur du cours d'eau), et sont délimités par des facteurs de modifications physiques majeures, tels que :

- La pente et forme de la vallée,
- La largeur du fond de vallée alluvial (correspondant à la largeur en alluvions modernes),
- Le rang hydrographique de Strahler,
- La nature du substratum géologique
- La présence d'ouvrage

Les tronçons ont été définis à partir des découpages segments lors de l'analyse des données récoltées sur le terrain. Ils servent également d'unité spatiale pour analyser et noter l'état du cours d'eau et proposer des solutions d'actions et d'interventions.

4.4.1.3. Notation des tronçons homogènes

La méthode de notation a été inspirée par celle réalisée par le Syndicat, elle permet de noter les segments puis les tronçons en passant par une notation par paramètre, puis par compartiment (Lit mineur, Berges, Ripisylve). Les paramètres diagnostiqués sont les suivants :

Le lit mineur :

- Tracé en plan,
- Eclaircement,
- Diversité des fasciés d'écoulement,
- Diversité de la granulométrie,
- Densité et diversité de la végétation aquatique,
- Continuité écologique.

Les Berges :

- Degré d'artificialisation,
- Pente de berge dominante,
- Stabilité des berges,
- Nombre d'habitats particuliers,
- Occupation du sol la plus représenté.

La Ripisylve :

- Densité des strates arborées et arbustives,
- Type de végétation,
- Largeur de la ripisylve,
- Continuité,
- Classe d'âge,
- Stratification,
- Diversité des essences arborées et arbustives,
- Présence d'espèces invasives,
- Sujets remarquables.

Une note par paramètre et par segment est attribuée selon la grille d'évaluation du syndicat. Celle-ci est rapportée au linéaire du segment concerné. La somme des points attribués à tous les paramètres donne la notation du compartiment correspondant (Tableau 2).

Tableau 2: Extrait du tableau « note tronçon » développé par Egis

N° SEGMENT	f	g	Total (km)	Niveau d'altération du Tronçon	Niveau d'altération du Tronçon / Compartiment	Note du tronçon / compartiment
Linéaire Total (km)	0,162	1,79	1,79			
BERGES						
Degré d'artificialisation	0,75	0,75		0,82	2,95	4
Pente de berge dominante	0	0		0,00		
Stabilité des berges	0,75	0,75		0,82		
Diversité d'habitats	0,75	0,75		0,82		
Occupation du sol	0	0,5		0,50		

Cette notation a permis d'attribuer des points de 1 à 5 comme présenté ci-dessous. L'état général est également calculé, il s'agit de la somme des points attribués à chaque compartiment transformé en note allant de 1 à 5 selon la grille du tableau ci-dessous.

Tableau 3: Note et état attribué selon la note calculée

Etat	Etat du lit	Pt	Etat des berges	Pt	Etat de la ripisylve	Pt	Etat général
Très bon (5)	] 5 - 5.5]	5	] 3 - 3.75]	5	] 8 - 10]	5	] 12 ; 15]
Bon (4)	] 3.75 - 5]	4	] 2.25 - 3]	4	] 6 - 8]	4	] 9 ; 12]
Moyen (3)	] 2.5 - 3.75]	3	] 1.5 - 2.25]	3	] 4 - 6]	3	] 6 ; 9]
Médiocre (2)	] 1.25 - 2.5]	2	] 0.75 - 1.5]	2	] 2 - 4]	2	] 3 ; 6]
Mauvais (1)	[0 - 1.25]	1	[0 - 0.75]	1	[0 - 2]	1	[0 ; 3]

Pour les compartiments « berges » et « ripisylve », les données ont été relevées pour chacune des rives et la notation prend en compte l'ensemble. Pour les paramètres « continuité » et « densité » qui peuvent différer entre la rive gauche et la droite sur un même segment, le paramètre discriminant a été retenu.

Une note par tronçon a ensuite été définie sur la base du cumul des notes des 3 compartiments à l'échelle du segment (Tableau 4).

Tableau 4: Extrait du tableau "note tronçon"

Nom du cours d'eau : La Sallemouille						egiseau	
Numéro du tronçon : 19		Limite amont :	Point/Buse D40	Géolocalisation amont (X,Y) :	635818.7	6841142.6	Note générale : 9
Segments concernés: f, g		Limite aval :	Confluence	Géolocalisation aval (X,Y) :	637899.8	6840159.6	Etat : Moyen
N° SEGMENT	f	g	Total (km)	Niveau d'altération du Tronçon	Niveau d'altération du Tronçon / Compartiment	Note du tronçon / compartiment	
Linéaire Total (km)	0,162	1,79	1,79				
LIT							
Tracé en plan	0	0	0,00	1,52	2		Etat
Eclairciment	0	0,5	0,50				Etat de lit
Diversité des faciès d'écoulements	0,25	0,25	0,27				Pt
Diversité granulométrique	0	0	0,00				Pt
BERGES							
Degré d'artificialisation	0,75	0,75	0,82	2,95	4		Pt
Pente de berge dominante	0	0	0,00				Etat de lit
Stabilité des berges	0,75	0,75	0,82				Pt
Diversité d'habitats	0,75	0,75	0,82				Pt
Occupation du sol	0	0,5	0,50				Etat général
RIPISYLVE							
Densité ripisylve strate arborée	0,75	0,75	0,82	5,34	3		Très bon (5)
Densité ripisylve strate arbustive	0,75	0,75	0,82				Bon (4)
Type de végétation	0,5	0,75	0,80				Moyen (3)
Présence d'espèces invasives ou indésirables	0,75	0,5	0,57				Médiocre (2)
Espèce ou sujets remarquables	0	0	0,00				Mauvais (1)

4.4.2. Homogénéisation des données et analyse statistique

Un travail d'homogénéisation des données a dû être réalisé afin de pouvoir traiter les données relevées par le Syndicat et par Egis. Quand cela était possible, les modifications ont été réalisées directement sur les tables attributaires SIG.

Pour des problématiques de gain de temps et de simplicité, l'homogénéisation des deux sources de données a été effectuée principalement sur Excel. Plusieurs paramètres ont ainsi été choisis pour illustrer certaines altérations ou certains atouts des cours d'eau diagnostiqués :

- Faciès d'écoulements ;
- Linéaire colmaté ;
- Linéaire perché ;
- Nombre d'ouvrages/km ; nombre d'ouvrages impactant la continuité écologique/km ;
- Linéaire busé ;
- Berges artificielles ;
- Pente des berges ;
- Linéaire sans ripisylve ; linéaire avec une ripisylve partielle.

Certains paramètres ont pu être corrélés comme le linéaire colmaté et le linéaire lentique ou stagnant (Figure 6).

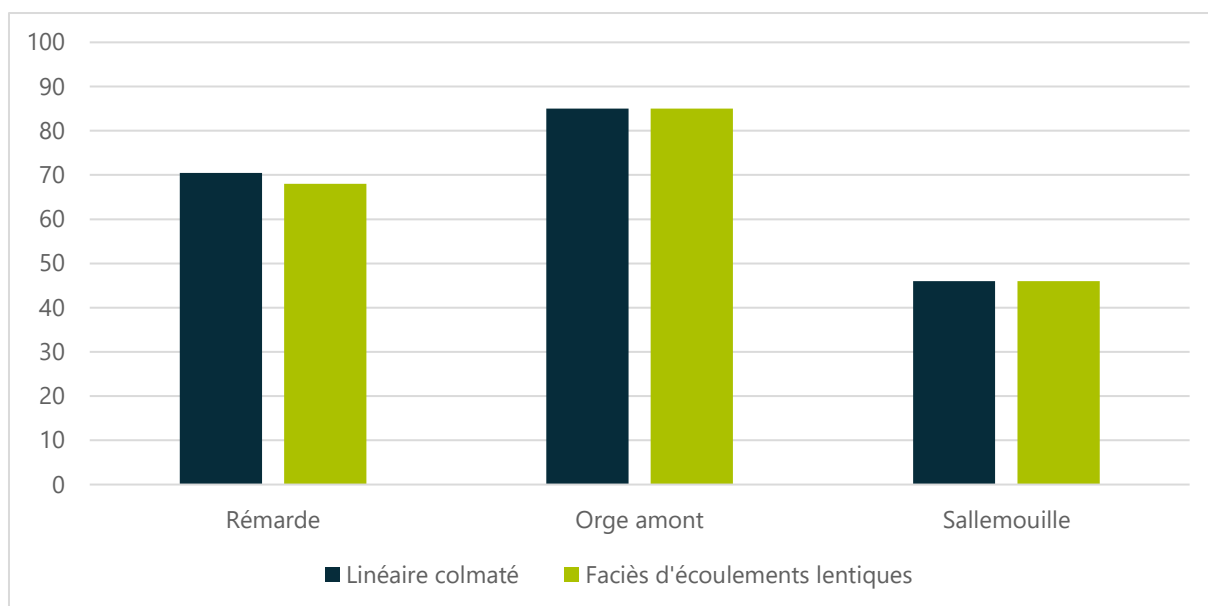


Figure 6: Pourcentage de linéaire colmaté et de linéaire lentic et stagnant

4.4.3. Calcul d'une note d'efficacité

L'efficacité probable d'une opération de restauration de cours d'eau a pu être estimée. Elle est basée sur une démarche empirique et pragmatique, cette évaluation permet d'identifier les opérations qui pourraient, a priori, présenter les meilleurs taux de réussite. Cette méthodologie avait déjà été mise au point par l'équipe d'Egis eau, il s'agissait alors d'une application de la méthode en acquérant les données nécessaires.

La note d'efficacité a été calculée selon trois valeurs typologiques majeures caractérisant l'activité géodynamique d'une rivière :

- **la puissance spécifique (exprimée en W/m^2)**. Elle caractérise les potentialités dynamiques de la rivière pour une crue de fréquence considérée et une section donnée. Elle correspond au produit de la pente par le débit et par la largeur du cours d'eau. Il est considéré généralement qu'une rivière est active au-delà de 25 à 35 W/m^2 .
- **l'érodabilité des berges**. Elle dépend de la nature plus ou moins cohésive du substrat en pied de berge.
- **les apports solides existants ou potentiels en provenance de l'amont**

La note d'efficacité prend également en compte deux autres valeurs :

- **l'emprise foncière disponible**
- **la qualité de l'eau**

Le score d'efficacité probable est déterminé à partir d'un calcul empirique (noté sur 50) et en fonction des 5 variables énoncées (chacune étant notée sur 10 et présentant un « poids » respectif équivalent). Le score d'efficacité probable d'une opération de restauration a été établi pour les cours d'eau de la zone d'étude considérés comme masse d'eau.

Sur un cours d'eau à score très bas, (faible puissance, faible transport solide et érodabilité des berges, qualité d'eau mauvaise et minimum d'espace pour réaliser les travaux), le projet devra nécessairement être très abouti et très construit dès le départ pour atteindre un minimum de résultats positifs, ce qui influe évidemment directement sur les coûts de réalisation des travaux de restauration.

A l'inverse, un cours d'eau puissant, à berges très érodables et encore abondamment fourni en charge alluviale ne nécessitera que peu de travaux pour que les résultats soient rapidement positifs. L'essentiel du coût sera lié à la suppression des contraintes et à la maîtrise foncière.

Un faible résultat ne doit pas laisser croire que les travaux sont à proscrire mais plutôt permettre de définir le niveau d'intervention à mettre en œuvre. Plus le score d'efficacité est faible, plus les travaux se devront d'être importants pour atteindre un même résultat.

- **Quelques limites**

Dans le cadre de cette étude, plusieurs limites doivent être prises en compte pour l'interprétation de la puissance spécifique et du score d'efficacité.

Tout d'abord, dans le cadre du calcul de la puissance spécifique le débit considéré est le débit biennal estimé par la méthode SHYEG à l'exutoire des cours d'eau du bassin-versant. Le débit à l'exutoire étant celui le plus élevé sur un cours d'eau il est possible que ce biais surestime le résultat de la puissance spécifique.

Ensuite, la pente utilisée pour le calcul de la puissance spécifique est la pente moyenne du cours d'eau. Cette pente est donc représentative de la pente sur toute la longueur du cours mais peut différer ponctuellement de la réalité sur certains tronçons des cours d'eau. De plus, la pente d'un cours d'eau est généralement plus forte à l'amont qu'à l'aval.

Concernant le score d'efficacité il faut noter que les données de qualité de l'eau sont incomplètes. Les stations sont généralement situées à l'aval des cours d'eau. Cela permet de déterminer toutes les pressions que subit un cours d'eau sur son bassin versant mais n'est pas forcément représentatif de la qualité chimique de ce cours d'eau sur la totalité de son linéaire.

4.4.4. Définition des enjeux et objectifs

Après avoir identifié l'ensemble des dysfonctionnements et altérations, des enjeux et objectifs ont été définis dans la seconde phase de l'étude. Ces enjeux se veulent généraux et orientés sur les cours d'eau suite à la demande du Syndicat de l'Orge.

4.4.4.1. Définition des enjeux

- **Les enjeux du SDAGE Seine-Normandie**

Les enjeux définis doivent également prendre en compte les 5 enjeux déterminés par le SDAGE¹ Seine-Normandie 2022-2027 présenté Figure 7.

¹ Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux

Enjeux du bassin (questions importantes)	Orientations fondamentales (OF)
ENJEU 1 - Pour un territoire sain : réduire les pollutions et préserver la santé	OF2 : Réduire les pollutions diffuses en particulier sur les aires d'alimentation de captages d'eau potable OF3 : Pour un territoire sain : réduire les pressions ponctuelles OF5 : Protéger et restaurer la mer et le littoral
ENJEU 2 - Pour un territoire vivant : faire vivre les rivières, les milieux humides et la biodiversité en lien avec l'eau	OF1 : Pour un territoire vivant et résilient : des rivières fonctionnelles, des milieux humides préservés et une biodiversité en lien avec l'eau restaurée OF5 : Protéger et restaurer la mer et le littoral
ENJEU 3 - Pour un territoire préparé : anticiper le changement climatique et gérer les inondations et les sécheresses	OF4 : Pour un territoire préparé : assurer la résilience des territoires et une gestion équilibrée de la ressource en eau face aux changements climatiques
ENJEU 4 - Pour un littoral protégé : concilier les activités économiques et la préservation des milieux littoraux et côtiers	OF5 : Protéger et restaurer la mer et le littoral
ENJEU 5 - Pour un territoire solidaire : renforcer la gouvernance et les solidarités du bassin	Les 5 orientations fondamentales

Figure 7: Enjeux du SDAGE Seine-Normandie 2022-2027

- **Les enjeux des SAGE Orge-Yvette et Nappe de Beauce**

Les enjeux des deux SAGE présents sur le territoire d'étude doivent être également pris en compte pour que les enjeux de restauration hydromorphologique soient en accord avec les documents cadres. Quatre enjeux par SAGE avaient ainsi été définis dans ces orientations:

Les enjeux du SAGE Orge-Yvette

- Qualité des eaux
- Fonctionnalité des milieux aquatiques et humides
- Gestion quantitative de la ressource en eau
- Sécurisation de l'alimentation en eau potable

Les enjeux du Sage Nappe de Beauce

- Gérer quantitativement la ressource
- Assurer durablement la qualité de la ressource
- Préserver les milieux naturels
- Prévenir et gérer les risques d'inondations et de ruissellement

- **Les enjeux et objectifs de l'étude**

Suite à la demande du Syndicat de l'Orge, les enjeux et objectifs de restauration hydromorphologique et écologique ont été prioritaires dans l'étude et ont ainsi été plus détaillés que des objectifs d'usages, de paysage, et de lutte contre les inondations. Ces derniers sont placés au second plan mais ils restent tout de même pris en compte et seront atteints grâce aux aménagements proposés. Par exemple, une opération de reméandrage du lit avec la création d'une ripisylve adaptée répondra également à des objectifs paysagers.

Les enjeux et objectifs définis dans l'étude sont présentés en *Annexe 1* et *Annexe 2*.

4.4.5. Elaboration d'une méthode d'analyse multicritère

4.4.5.1. Objectif et intérêt pour l'étude

Après avoir définis, décrits et localisés les dysfonctionnements sur les différents cours d'eau, l'objectif fut de hiérarchiser les tronçons selon leur degré d'altération dans le but de prioriser les opérations d'aménagement qui seront proposées en Phase 3. Une analyse multicritère a donc été effectuée sur SIG pour permettre de localiser les tronçons prioritaires et de les classer selon les cours d'eau, avec la totalité du réseau hydrographique ou selon les types de dysfonctionnements souhaités.

4.4.5.2. Méthodologie

Pour proposer une analyse multicritère prenant en compte l'essentiel des dysfonctionnements, plusieurs compartiments ont été choisis. L'effet d'emboîtement des dysfonctionnements a été pris en compte en choisissant des problématiques « source ». Par exemple, le colmatage a été pris en compte dans les compartiments surlargeur ou lit perché sans pour autant constituer un compartiment à part entière.

• Les compartiments

L'analyse multicritère a été réalisée sur SIG. La table des tronçons homogènes a été complétée par des champs correspondant à 16 compartiments choisis :

- ✓ **Hydraulique** (problématiques d'étiages, d'inondations, de répartition de débits) ;
- ✓ **Qualité Physico-chimique** ;
- ✓ **Rejets/Assainissements**, points noirs et rejets importants, rejets ponctuels ;
- ✓ **Plans d'eau**, impactant la morphologie : sur le tracé du cours d'eau ou impactant l'hydrologie du système ;
- ✓ **Linéaire perché**, plus ou moins altéré ;
- ✓ **Surlargeur** ;
- ✓ **Tracé rectiligne et homogène** ;
- ✓ **Ouvrages**, impactant la continuité écologique, ou seulement la dynamique morphologique et hydraulique ;
- ✓ **Tracé souterrain** ;
- ✓ **Réduction de la largeur du lit** ;
- ✓ **Endiguements**, en lit mineur et en lit majeur ;
- ✓ **Incision et érosions** ;
- ✓ **Berges**, artificielle, naturelles hautes et abruptes ;
- ✓ **Ripisylve**, absente ou clairsemée ;
- ✓ **Espèces exotiques envahissantes et inadaptées** ;
- ✓ **Ruissellement** ;

• Les indicateurs

Une note de 0 à 10 a été attribuée à chaque compartiment suivant des indicateurs définis (le linéaire de tronçon impacté par exemple). Quand cela n'est pas possible la note est attribuée selon l'expertise de l'opérateur.

Les indicateurs utilisés sont différents selon les dysfonctionnements qu'ils caractérisent, ils sont présentés ci-dessous :

- Le pourcentage de linéaire altéré, il a été pris en compte pour caractériser les compartiments : Linéaire perché, Tracé rectiligne et uniforme, Tracé souterrain, Incision, Berges artificielles, Ripisylve dégradée, Endiguements.
- Un nombre d'éléments par kilomètre pour les rejets et les ouvrages ;
- Des ratios de débits : QMNA5/Module ; Module/Q2 ;

- L'état physico-chimique : moyen, médiocre ou mauvais pour noter la qualité physico-chimique ;
- La typologie de l'altération au sein d'un même compartiment :
 - Plans d'eau sur le tracé, placés en dérivation, déconnectés mais placés en lit majeur ;
 - Ouvrages impactant la continuité écologique ou seulement la dynamique morphologique et hydraulique ;
 - Endiguement en lit majeur ou mineur ;
 - Ripisylve absente ou clairsemée ; Berges artificielles ou naturelles dégradées.

● **La notation**

La note de 0 à 10 par compartiment est donnée suivant une grille présentée Tableau 5. Des indicateurs ont été utilisés pour établir cette grille et parfois croisés pour prendre en compte les dysfonctionnements en les hiérarchisant. Par exemple un plan d'eau situé sur le tracé du cours d'eau aura une note plus élevée qu'un bassin en dérivation ou qu'un plan d'eau déconnectée situé dans le lit majeur.

Tableau 5: Extrait de la grille de notation par paramètre

Dysfonctionnements		Indicateurs		Notes min	Notes max	Coefficient	Nom champs dans la table attributaire	
Impact hydraulique	Enjeux étiage	QMNAS/Module		1	10	4	"Hydrologie"	
	Enjeux inondation	Module/Q2		1	10			
	Répartition débit	Présence d'un bras secondaire		1	10			
Qualité physico-chimique		Etat physico-chimique	Mauvaise		10	4	"Qual_PhyCh"	
			Médiocre		7			
			Moyenne		3			
Rejets/Assainissements	Points noirs et rejets importants				5	4	"Rej_Assain"	
	Rejets ponctuels	Nombre de rejet par km			10			
Plans d'eau (morpho)	Sur le tracé	Linéaire (m)	300		10	8	"Plans_deau"	
			200		8			
			100		6			
	(zone d'expansion)	En dérivation	Taille bassin/ Taille CE	"+"				4
				"="				2
	Déconnecté				1			
Linéaire perché/Influence d'OH	Pente faible, lentique, colmatage	% linéaire tronçon	80-100		10	7	"TracePerch"	
			60-80		9			
			40-60		8			
			20-40		7			
			0-20		6			
	Ecoulements diversifiés, absence de colmatage	% linéaire tronçon	80-100		5			
			60-80		4			
			40-60		3			
			20-40		2			
			0-20		1			

16 notes de 0 à 10 sont donc attribuées par tronçon. Une note globale prenant en compte ces notes et pondérée par des coefficients est ensuite calculée. Les coefficients ont été attribués selon le degré d'altération et les dysfonctionnements qu'ils engendrent. Les ouvrages, les linéaires perchés, les tracés souterrains, les plans d'eau et les berges ont fait l'objet d'un coefficient important (

Tableau 6).

Tableau 6: Coefficients appliqués aux compartiments

Compartiments	Coefficient
Impact hydraulique	4
Qualité physico-chimique	4
Rejets/Assainissements	4
Plans d'eau	8
Linéaire perché/Influence d'OH	7
Surlargeur	4
Tracé rectiligne et homogène	5
Ouvrages	12
Tracé souterrain	16
Réduction de la largeur du lit	4
Endiguement	3
Incision	4
Berges	8
Ripisylve	5
EEE et inadaptées	3
Ruissellement	6

5. Résultats et discussion

5.1. Etat fonctionnel des cours d'eau diagnostiqués

Une notation de l'état hydromorphologique et écologique a été attribuée selon la méthode présentée partie 4.4.1. Les 232 tronçons ont ainsi fait l'objet d'une notation de l'état hydromorphologique du cours d'eau. Egis a noté l'ensemble des tronçons de la Rémarde (Figure 8), de la Renarde, de la Vidange et de la partie amont de la Sallemouille.

La notation étant réalisée par deux structures différentes, une problématique d'homogénéisation des notes se pose. Les notes données par le Syndicat de l'Orge sont généralement surestimées en raison du manque de prise en compte des processus hydromorphologiques. La cartographie représentant l'état des tronçons est présentée Figure 9. Chaque tronçon a fait l'objet d'une fiche et d'un descriptif. Un exemple est présenté *Annexe 3* et *Annexe 4*.

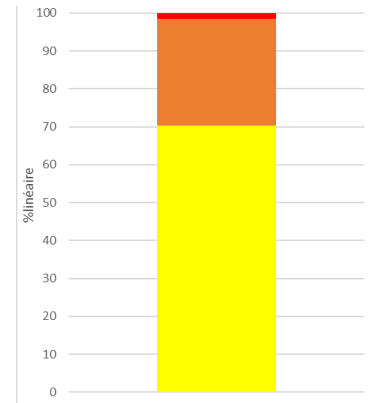


Figure 8: Etat éco-morphologique des tronçons de la Rémarde en fonction du linéaire

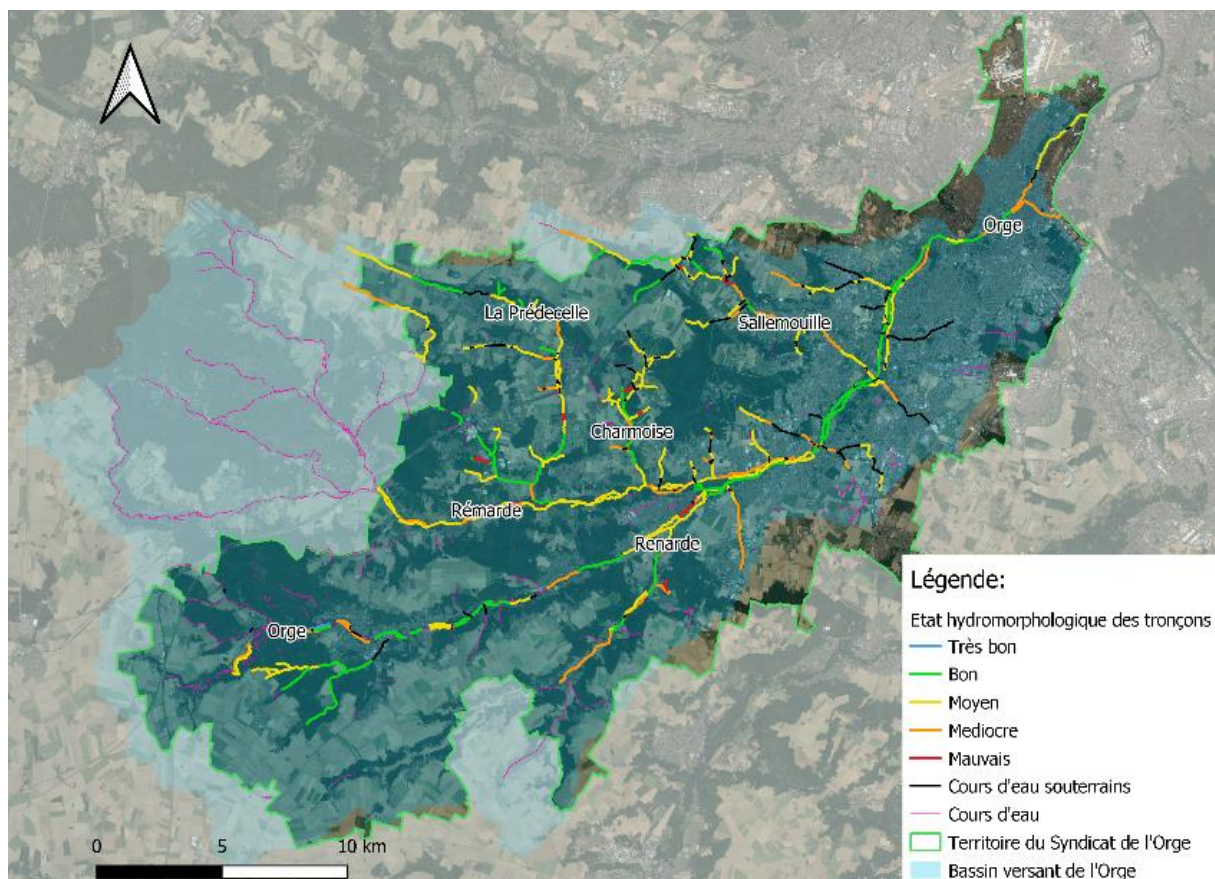


Figure 9: Etat hydromorphologique des tronçons définis

5.2. Les problématiques mises en évidences sur le linéaire d'étude

5.2.1. Généralités

Les principales modifications anthropiques (édification d'ouvrages transversaux, modification du tracé) subies par l'Orge et ses affluents ont fortement impactées et altérées le fonctionnement morpho-dynamique du réseau hydrographique du bassin versant de l'Orge.

Les modifications du tracé, l'édification d'ouvrage, les changements de pentes et de largeur ont eu tendance à ralentir les écoulements favorisant le colmatage. La diversité des faciès d'écoulements s'est réduite sur l'ensemble du linéaire, entraînant un appauvrissement des habitats.

Des renforcements de berges, parfois en génie civil, édifiés lors de la réalisation d'ouvrages transversaux s'ajoutent aux perturbations des cours d'eau. Ils contrôlent les phénomènes d'érosions et réduisent l'espace de mobilité du cours d'eau. La présence de nombreux secteurs urbanisés sur le territoire d'étude constitue également une problématique importante. Ces zones réduisent l'espace latéral du cours d'eau avec des berges artificielles et impactent la continuité écologique par une densité importante d'ouvrages hydrauliques. Des problématiques de biodiversité, d'inondations, de rejets et de qualité viennent s'ajouter à cela.

Une analyse par cours d'eau a été menée lors de ce diagnostics. Un exemple de présentation des principaux dysfonctionnements est présenté *Annexe 5*. Des fiches d'identités récapitulant les informations importantes mises en avant dans le diagnostic ont été réalisées. Un exemple est présenté *Annexe 6*.

5.2.2. Modifications du tracé et bras perchés

L'Orge et la Rémarde, sont les deux principaux cours d'eau en terme de débits et taille. Ils sont situés en fond de vallée avec un lit majeur naturel assez important. Ces deux cours d'eau ont fait l'objet de modifications importantes de leurs tracés. En effet, ils sont souvent détournés de leur lit naturel pour être perché et alimenter les nombreux moulins présents. Environ 63% du linéaire étudié de la Rémarde a par exemple été dévié du fond de vallée pour être perché. Le lit naturel est alors occupé par des « boëllles » proches du thalweg permettant de drainer le fond de vallée. Elles font également offices de bras de décharges et permettent de gérer une partie du débits lors des crues.

Ces modifications du réseau hydrographique sont anciennes, lors de notre étude diachronique nous avons observé qu'elles étaient déjà présentes sur la carte de Cassini au 18^{ème} siècle. En réalité, les premières modifications ont eu lieu au Moyen-Âge durant la construction des moulins. Une trentaine de moulins est présente sur l'Orge, la Rémarde, et la Renarde dont certains sont encore en fonctionnement aujourd'hui. De plus, beaucoup de moulins ont également disparus laissant seulement un nom de rue ou un lieu-dit. Les rectifications sont cependant toujours présentes créant plusieurs problématiques :

- Homogénéisation des habitats du cours d'eau (tracé rectiligne, berges hautes et abruptes),
- Déconnexion lit mineur/majeur,
- Déconnexion du cours d'eau avec la nappe d'accompagnement (problématiques d'étiages, d'inondation),
- Faciès lenticulaires entraînant du colmatage,
- Présence de nombreux ouvrages de régulation hydraulique

La pente de ces cours d'eau perchés est souvent faible et la morphologie peu diversifiée (Figure 10). On retrouve ainsi des faciès d'écoulements lenticulaires favorisant le dépôt de sédiments fins et le colmatage du substrat.

La dynamique sédimentaire naturelle du cours d'eau est également fortement altérée. Il en résulte une faible diversité de milieux et d'habitats pour les peuplements piscicoles et l'ensemble des espèces naturellement présentes.



Figure 10: La Rémarde perchée au Château du Marais (a) et à l'amont du moulin de Granville (b)

Les solutions d'aménagements ambitieuses proposées seront de remettre le lit en fond de vallée pour reconnecter le cours d'eau avec sa nappe et restaurer sa dynamique morphologique naturelle.

Au vu du contexte urbain d'une partie du bassin versant, les opérations ambitieuses pourront être remplacées par des aménagements plus légers de reméandrage et de diversification des écoulements.

5.2.3. Les bassins de rétention en dérivation en fond de vallée, et les bassins sur le tracé

5.2.3.1. Les bassins de rétention placés en dérivation en fond de vallée

Les surfaces laissées libres en fond de vallée par la modification du tracé des cours d'eau a permis l'installation de bassins de rétention. L'analyse diachronique menée à l'aide des orthophotographies de l'IGN a permis de dater la construction de ces bassins aux années 70.

Ils ont été édifiés dans un objectif hydraulique pour lutter contre le risque inondation suite à l'étalement urbain et à la densification de l'aval du bassin versant de l'Orge dans le fond de vallée. Ces bassins sont surtout présents à la confluence Rémarde/Orge (*Annexe 7*) et sur la partie aval de l'Orge. On en recense une quinzaine, reliée aux cours d'eau par des boîtes ou des bras de décharges. Ils sont connectés à la nappe d'accompagnement et peuvent ainsi l'appauvrir lors des périodes d'étiages en raison de l'augmentation plus importante de la température sur des eaux stagnantes par rapport à des eaux courantes, favorisant ainsi l'évaporation de l'eau.

La configuration observée en fond de vallée sur la Rémarde ou l'Orge crée des problématiques liées aux endiguements (Figure 11). Les tronçons perchés sont séparés des plans d'eau par des berges hautes artificielles empêchant ainsi la mobilité du cours d'eau, la recharge sédimentaire liée à l'érosion et empêchant le remplissage du rôle écologique d'une berge ou du lit pour la biodiversité.



Figure 11: Bassin de rétention en rive droite de la Rémarde

5.2.3.2. Les plans d'eau déconnectés situés en fond de vallée

Certains plans d'eau situés en fond de vallée sont déconnectés du réseau hydrographique. Ils ont été édifiés pour des objectifs de loisirs et ont servis d'anciennes gravières lors de leur création. Ils sont également connectés à la nappe d'accompagnement et peuvent, comme pour les plans d'eau, réduire son volume lors des périodes sèches, réduisant ainsi le rôle de soutien à l'étiage pour les cours d'eau que peut jouer la nappe.

5.2.3.3. Les plans d'eau situés sur le tracé des cours d'eau

Plusieurs plans d'eau ont été édifiés sur le tracé des cours d'eau (Annexe 7). Il s'agit des plans d'eau les plus impactants. Leur présence perturbe le fonctionnement morphologique, sédimentaire et écologique du cours d'eau. La largeur importante entraîne une perte de vitesses des écoulements créant ainsi des zones de dépôts de sédiments. Ils entraînent ainsi une rupture dans la continuité sédimentaire. L'aval peut ainsi être impacté par un manque de sédiments favorisant les processus d'érosions et d'incisions, observables sur la Charmoise notamment. De plus, ces bassins sont souvent créés à partir d'ouvrages (vanne ou seuil aval), augmentant ainsi les problématiques d'obstacles à la continuité écologique. L'eau stagnante des retenues favorise également l'augmentation de la température. Les différentes espèces naturellement présentes sont donc impactées par toutes ces modifications de leur milieu de vie.

Les solutions d'aménagements ambitieuses proposées seront de supprimer les plans d'eau et bassins de rétentions afin de remettre le lit en fond de vallée et créer des zones d'expansion de crues tout en gardant un espace de mobilité pour le cours d'eau.

La priorité sera de supprimer les plans d'eau situés sur le tracé du cours d'eau. Le tracé pourra être restauré en gardant une zone d'expansion avec l'espace laissé libre par le plan d'eau.

5.2.4. Les ouvrages transversaux et leurs impacts

La présence de seuils, buses et autres ouvrages sur les cours d'eau modifie profondément le fonctionnement des rivières. Ils altèrent le régime hydrique, atténuent les événements hydrologiques et bouleversent les processus naturels de redistribution des sédiments. Leurs présences entraînent un ralentissement des vitesses d'écoulement, favorisant les processus de sédimentation à l'amont immédiat des ouvrages et accentue le relèvement de la pente longitudinale du lit mineur. La continuité écologique est également fortement impactée par un effet de cloisonnement de la rivière dans sa dimension longitudinale. Les espèces piscicoles migratrices sont principalement touchées. Les incisions engendrées à l'aval par certains ouvrages accentuent ce cloisonnement du cours d'eau en entraînant des chutes et en augmentant ainsi le taux d'étagement. Le Mort ru est principalement concerné par ce phénomène.

L'ensemble du réseau hydrographique est concerné par la présence d'ouvrages. Les affluents comme la Sallemouille, la Charmoise et la Renarde sont très impactés par l'absence de continuité écologique alors qu'ils disposent de milieux de vie intéressants pour les peuplements piscicoles.

Les ouvrages impactant la continuité de la partie aval de l'Orge ont pour la plupart été effacés mais les affluents sont encore fortement segmentés par des ouvrages infranchissables impactant la morphologie des cours d'eau.

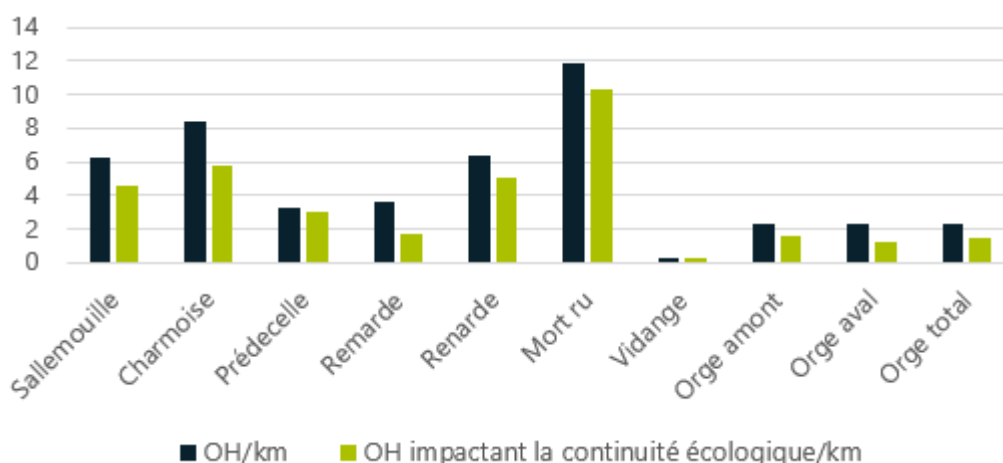


Figure 12: Nombre d'OH par kilomètre pour les principaux cours d'eau

Les ouvrages constituant une rupture de la continuité écologique pourront être supprimés ou modifiés suivant les enjeux dont ils font l'objet. Une buse limitante pour l'hydrologie, la continuité sédimentaire et piscicole pourra par exemple être remplacée par un pont cadre permettant le franchissement avec moins d'altération pour le cours d'eau.

5.2.5. Les franchissements urbains

Le bassin versant de l'Orge est très urbanisé sur sa partie aval. L'amont est plus agricole avec des surfaces boisées. Les tronçons traversant les zones urbaines sont toutefois très altérés. Les berges y sont souvent maçonnées avec un lit mineur parfois restreint (Figure 13). Des cours d'eau comme le Mort ru ont ainsi 50% de leur berges artificielles en maçonnerie. D'autres cours d'eau situés en milieu urbain ont un taux de berges artificielles important comme la Sallemouille avec 19.2%. Ce taux sous-estime l'altération car il est global à l'ensemble du tracé, l'aval est la partie essentiellement concernée par cette problématique alors que l'amont est plus agricole.

La ripisylve est souvent absente des zones urbaines à cause de sols et de berges artificialisées. Quand elle est présente, elle est souvent composée d'espèces ornementales et invasives (Renouée du Japon, Bambou, Laurier cerise...).



Les tronçons traversant les zones urbaines sont également sujets à des problématiques de ruissellement urbains importants lors de fortes pluies. Ce dernier peut accentuer rapidement le débit du cours d'eau et augmenter le pic de crue par rapport à des zones de boisements stockant l'eau. Il essuie également les sols apportant directement des polluants dans le cours d'eau.

Figure 13: Endiguements de la Morte rivière en zone urbaine

De nombreux cours d'eau sont également busés sur plus de 50% de leur linéaire ou leur totalité. Le Blutin, le ru de Fleury ont par exemple été enfouis lors de l'étalement urbain de la zone avec un linéaire busé de 95% soit 9 kilomètres pour le ru de Fleury.

Les tronçons situés en milieu urbain sont très altérés et pourraient faire l'objet de nombreux aménagements : désartificialisation des berges, réouverture de cours d'eau, suppression d'ouvrages impactant la continuité écologique, reméandrage...

Cependant les contraintes foncières et économiques pourront se révéler limitantes et ces cours d'eau risquent de ne pas être prioritaires pour ces raisons

5.3. Notes d'efficience

Les résultats des notes d'efficience par cours d'eau sont présentés Tableau 7.

Tableau 7: Résultats des notes d'efficience calculées

Masses d'eau	Puissance	Erodabilité des berges	Transport solide	Emprises disponibles	Qualité de l'eau	Note d'efficience (/50)
La Sallemouille	10	5	2.5	2.5	0	20
La Charmoise	5	5	2.5	5	2.5	20
La Prédecelle	5	5	2.5	5	2.5	20
La Rémarde	5	2.5	2.5	5	2.5	17.5
La Renarde	5	5	2.5	5	0	17.5
L'Orge amont	0	2.5	2.5	2.5	0	7.5
L'Orge aval	5	0	2.5	2.5	2.5	12.5

- La puissance spécifique des cours d'eau est bonne hormis pour l'Orge amont qui possède une faible pente et un débit assez faible également. La Sallemouille possède une puissance très intéressante.
- Les berges sont globalement érodables dans l'ensemble mis à part la Rémarde et l'Orge amont qui possèdent des berges limoneuses très artificialisées. Les berges de l'Orge aval ne sont pas érodables en raison de leurs artificialisations sur l'essentiel du linéaire.
- Le transport sédimentaire est très faible sur l'ensemble du réseau hydrographique en raison de la faible pente, des ouvrages transversaux et leur influence sur les écoulements.
- L'emprise disponible pour le cours d'eau est correcte dans le fond de vallée avec des milieux boisés. Sur l'Orge et la Sallemouille, la densité de population à proximité des cours d'eau réduit l'emprise disponible.
- La qualité de l'eau est médiocre dans l'ensemble avec un état écologique généralement moyen et une qualité mauvaise.

Dans le cadre de cette étude, plusieurs limites ont été observées. Le calcul a en effet été réalisé à l'échelle du cours d'eau entraînant des problématiques quant au choix des données. Le débit considéré est celui mesuré à l'exutoire des cours d'eau surestimant ainsi le résultat de la puissance spécifique. De plus, la pente utilisée est la pente moyenne du cours d'eau. Cette pente est donc représentative de la pente sur toute la longueur du cours mais peut différer ponctuellement de la réalité sur certains tronçons des cours d'eau.

La surestimation du débit peut potentiellement être compensée par la sous-estimation de la pente à l'amont. Concernant la partie aval, la pente est généralement plus proche de la pente moyenne et le débit est également plus proche du débit à l'exutoire. Les secteurs moyens des cours d'eau du bassin versant sont donc les secteurs où il est le plus probable que la puissance spécifique soit surestimée de manière importante.

Une note d'efficience par tronçon a été réfléchié mais le manque de données disponibles à l'échelle du tronçon s'est révélé limitant.

5.4. Résultats de l'analyse multicritère et priorisation des tronçons

L'analyse multicritère a permis de hiérarchiser les tronçons selon une note d'altération. Une carte permettant de localiser les tronçons les plus impactés a ainsi pu être réalisée (Figure 14).

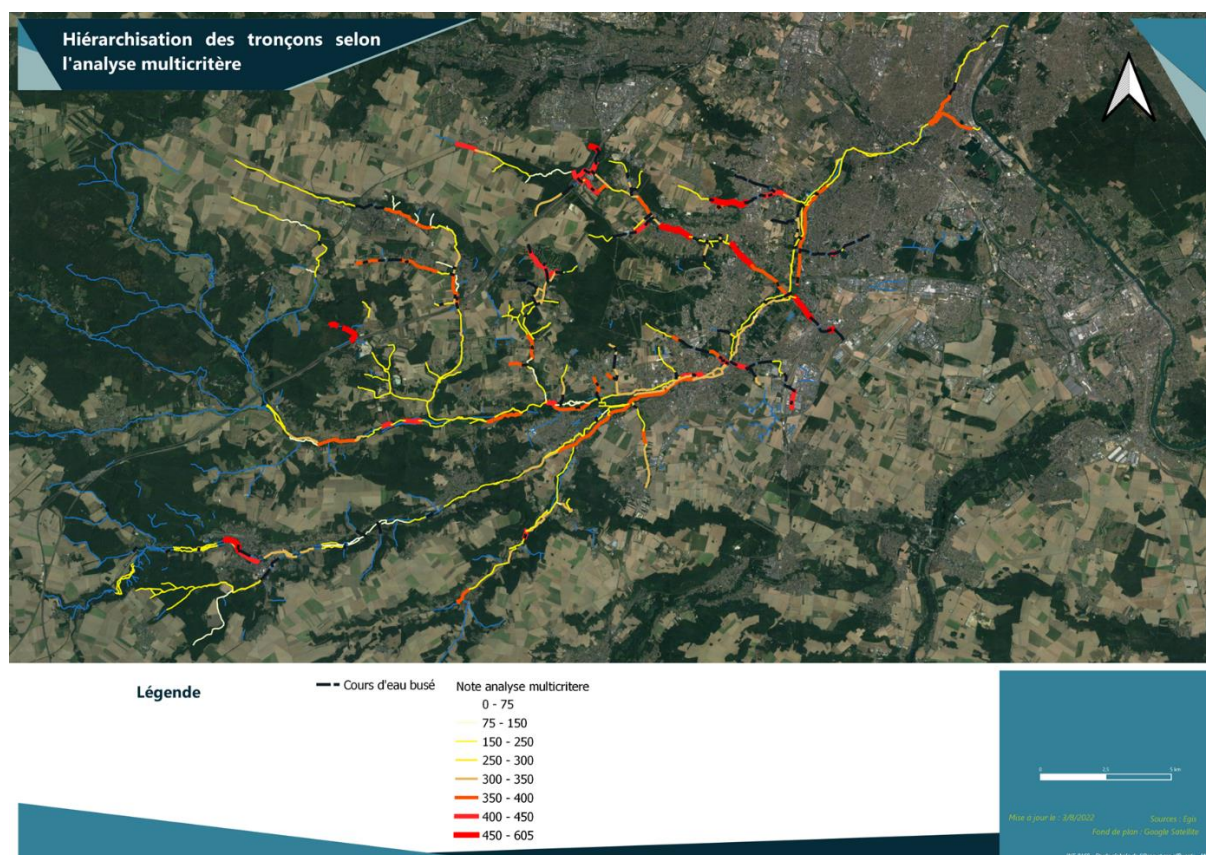


Figure 14: Hiérarchisation des tronçons selon la note d'altération de l'analyse multicritère

La méthodologie employée permet de trier les cours d'eau suivant leur degré d'altération et leur localisation (Annexe 9).

Les tronçons les plus altérés (avec une note importante) pourront ainsi être priorisés pour proposer des opérations d'aménagements visant à restaurer la dynamique hydromorphologie des cours d'eau et d'améliorer leur qualité.

L'analyse multicritère mise au point a été réalisée suivant les demandes du Syndicat de l'Orge. La précision sera à améliorer avec l'acquisition de nouvelles données. Pour cela une méthodologie détaillée sera fournie au Syndicat pour leur permettre de mettre à jour la table attributive suivant l'évolution des connaissances (données hydrologiques, données de qualité notamment).

L'analyse pourra être modifiée pour faire apparaître seulement des paramètres hydromorphologiques, en retirant ainsi les éléments de qualité de l'eau. La qualité pourra être traitée à part pour identifier s'il y a nécessité d'améliorer cette qualité avant de proposer des solutions d'aménagement hydromorphologique et écologique.

6. Conclusion

- **L'Etude globale de l'Orge et ses affluents : situation et projection**

Cette étude a constitué la majeure partie de mon travail de stage. J'ai pu arriver au moment de l'analyse des données récoltées sur le terrain et ainsi faire de nombreuses parties : découpage tronçon, notation et fiches tronçons, étude bibliographique, cartographie, analyse des dysfonctionnements, écriture du rapport de Phase 1 et 2, présentation en comité technique, mise en évidence des enjeux et objectifs, et analyse multicritère permettant de hiérarchiser les tronçons.

Ce projet a été très complet et m'a permis de compléter mes connaissances et mes compétences en étude et diagnostic. Le Chantier école réalisé en 4A en Ingénierie des Milieux Aquatiques a été une très bonne base pour être autonome et pouvoir travailler directement sur l'étude. Mon arrivée en cours de projet a cependant eu des points négatifs. En effet, je n'ai pas pu participer à la plupart du diagnostic terrain ce qui a rendu plus difficile le diagnostic. J'ai ainsi travaillé principalement à partir des photographies, des cartographies et des tables attributaires SIG relevées mais l'observation du terrain s'est révélé être un manque pour gagner du temps sur les analyses et pour proposer un diagnostic plus précis. L'étude bibliographique avait également été menée avant mon arrivée. Pour permettre d'acquérir suffisamment de connaissance sur le bassin versant, j'ai dû reprendre la lecture des documents bibliographiques disponibles. Ceci a pu avoir un effet sur le planning de l'étude.

Les phases 1 et 2 de l'étude globale de l'Orge et ses affluents ont été terminées à l'issue du stage. La phase 3, consistant à proposer des solutions d'aménagements, a été initiée et sera poursuivie en Septembre. Ce projet fera aussi l'objet d'une présentation lors d'un comité technique et d'un comité de pilotage début Septembre que je pourrai poursuivre.

Les échanges avec les clients du Syndicat de l'Orge ont aussi été un point formateur lors du stage. En effet, lors de ces échanges, plusieurs demandes sont faites, il faut donc répondre techniquement pour faire un retour immédiat et proposer des solutions tout en tenant compte des contraintes liées aux données et au planning. Je pense avoir fait des progrès sur ces notions lors de mes 6 mois de stage. De plus, la présentation lors du comité technique en juillet a été très intéressante et m'a permis de prendre plus confiance en moi dans mon travail et dans mes présentations.

- **Apports des autres missions**

Les autres missions se sont aussi révélées très formatrices. Le diagnostic du ru du Vaugondran se déroulant à une autre échelle (2 km contre plus de 300 km pour le diagnostic de l'Orge et ses affluents) m'a permis de réaliser beaucoup de tâches en moins de temps que sur l'Orge et en amenant une échelle d'analyse plus fine ce qui était très intéressant.

Les missions de suivis de travaux sur le ru du Bicheret m'ont également permis de d'apprendre comment se déroulait une visite de chantier et d'en apprendre plus sur les rôles du maître d'œuvre et des différents acteurs sur un chantier. Il s'agissait pour moi d'une première expérience dans ce domaine et j'ai apprécié le fait de voir la concrétisation d'une opération d'aménagement. Cela m'a aussi permis d'avoir une approche différente lorsque je réalise des études et diagnostics. J'aurai l'occasion de poursuivre les suivis de travaux sur deux nouveaux projets en Septembre.

Les visites de chantier de l'A79 sur les déviations de cours d'eau ont aussi été très formatrices. La dimension importante du chantier avec les nombreux sites de déviations m'ont permis d'observer plusieurs types, suivant la configuration des sites et du cours d'eau existant. Les premières visites m'ont également permis de me rendre compte de l'importance du génie écologique dans des opérations d'aménagements de cours d'eau en complément du terrassement. Je me suis aussi aperçu de l'importance d'un phasage précis prenant en compte les deux volets pour éviter les désordres intermédiaires liés aux crues notamment.

- **Situation à la sortie de la formation IMA et bilans des compétences acquises**

Ce stage s'est parfaitement inscrit dans la continuité de la formation Ingénierie des Milieux Aquatiques IMA. Le Chantier école réalisé en 4^{ème} année a permis d'avoir de bonnes connaissances et compétences en études et diagnostics. Les connaissances acquises en morphologie, dynamique fluviale et écologie ont aussi été très importantes pour ce stage et m'ont permis de développer une réelle autonomie dans le travail réalisé. De plus, les outils techniques (SIG, Excel...) utilisés lors des différents projets en IMA ont aussi été beaucoup mobilisés au même titre que les compétences développées en rédaction de rapports, compte rendu et en présentation orale.

Ce stage m'a donc permis de développer l'ensemble des compétences et connaissances acquises en IMA en me permettant d'acquérir une autonomie dans le travail de rédaction, d'analyse et dans la création de méthodes d'analyses pour répondre au mieux aux demandes. J'ai de plus acquis des connaissances en suivis de travaux que je pourrai développer par la suite.

- **Synthèse et perspectives**

Ce stage de fin d'études de 6 mois réalisé à Egis a été très intéressant pour moi. J'ai pu découvrir le travail en bureau d'études et développer de nombreuses connaissances et compétences. Les projets et thématiques abordés correspondaient à mes attentes et ont permis d'acquérir beaucoup d'expériences au cours de ces 6 mois, notamment grâce à l'encadrement et à l'équipe. Egis Eau est de plus une bonne structure pour continuer à me former et évoluer.

Bibliographie

Egis. *Etude globale de l'Orge et ses affluents. Phase 1 : Etat des lieux et Diagnostic*. Août 2022

Egis. *Etude globale de l'Orge et ses affluents. Phase 2 : Enjeux, objectifs et analyse du diagnostic réalisé*. Août 2022

Syndicat de l'Orge. *Diagnostic de la stratégie des milieux naturels*. Juin 2021

Syndicat de l'Orge. *Contrat Eau et Climat Orge. Diagnostic territorial de la masse d'eau Orge (HR97 et HR98)*. Février 2020.

Egis. *CR de visite de chantier. A79 Aménagement en concession autoroutière à 2x2 voies de la RN79 entre Sazaret et Digoin*. Juillet 2022

Sitographie

Agence de l'eau Seine-Normandie. *Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) Seine-Normandie* [en ligne]. Disponible sur : <<https://www.eau-seine-normandie.fr/domaines-d-action/sdage>> (06/07/2022)

Annexes

Annexe 1: Définition des enjeux de l'étude en lien avec les dysfonctionnements recensés

Enjeux morphologiques	Enjeux hydrologiques et hydrauliques
<ul style="list-style-type: none">✓ Tracé rectiligne ;✓ Berges hautes et abruptes ;✓ Endiguement ;✓ Berges artificielles maçonnées ;✓ Déconnexion lit mineur/majeur ;✓ Réduction de la largeur du lit ;✓ Chemins et collecteurs ;✓ Ouvrages transversaux et moulins ;✓ Surlargeur ;✓ Biefs perchés lenticules et uniforme ;✓ Colmatage ;✓ Ripisylve non adaptée, espèces invasives ;✓ Absence de ripisylve ;✓ Ruissellement agricole et urbain ;✓ Bassins sur le tracé du cours d'eau ;✓ Bassins en dérivation ;✓ Réseau hydrographique multiple : Biefs + Bœlles.	<ul style="list-style-type: none">✓ Tracé rectiligne ;✓ Lit et berges artificielles maçonnées ;✓ Endiguement ;✓ Ouvrages transversaux, moulins ;✓ Déconnexion lit mineur/majeur ;✓ Bassins en dérivation ;✓ Bassins sur le tracé du cours d'eau ;✓ Plans d'eau alimenté par la nappe ;✓ Ruissellement agricole et urbain ;✓ Répartition hydraulique : boëlles, biefs.
Enjeux piscicole et écologique	Enjeu qualité
<ul style="list-style-type: none">✓ Déconnexion lit mineur/majeur ;✓ Ouvrages transversaux et moulins ;✓ Biefs perchés lenticules colmatés ;✓ Espèces exotiques envahissantes ;✓ Absence de ripisylve ;✓ Lit et berges artificielles maçonnées ;✓ Milieux uniformes, faiblement diversifiée ;✓ Points noirs et rejets.	<ul style="list-style-type: none">✓ Rejets et points noirs ;✓ Absence de ripisylve ;✓ Ruissellement agricole et urbain ;✓ Lit et berges artificielles maçonnées ;✓ Perte de la fonctionnalité d'autoépuration du cours d'eau.

Enjeux morphologiques : Il s'agit de redonner une morphologie naturelle au cours d'eau qui permettra de retrouver une dynamique sédimentaire, de diversifier les milieux et les habitats et de favoriser la biodiversité. Ces enjeux peuvent s'établir à deux échelles :

- ✓ Une dimension longitudinale
- ✓ Une dimension transversale

Enjeux hydrologiques et hydrauliques : Il s'agit de conserver une ressource suffisante pour le fonctionnement des milieux et ainsi gérer la répartition du débit entre les boëlles, les biefs et les bassins de retenue en dérivation quand toutes ces entités sont maintenues. Il s'agira ainsi de conserver un débit permettant le fonctionnement écologique des milieux à l'étiage. Il conviendra également de réduire le risque inondation et à minima de ne pas l'aggraver. Les apports hydrauliques du ruissellement anthropique urbain et agricole seront également une thématique essentielle pour répondre à cet enjeu.

Enjeu piscicole et écologique : La faune piscicole dépend de la qualité du milieu : Qualité de l'eau, continuité écologique, zones de frai... et constitue donc un indicateur représentatif de cette qualité. Restaurer son milieu de vie passera par une diversification des habitats et une reconquête des fonctionnalités écologiques du cours d'eau (Oxygénation, température, épuration...) ce qui favorisera ainsi la biodiversité associée.

Enjeu qualité : Pour atteindre le bon état écologique, la qualité de l'eau doit être améliorée en complément de l'hydromorphologie du cours d'eau et permettre ainsi de conserver une efficacité des opérations d'aménagements.

Annexe 2: Objectifs définis

Objectif 1 : Restaurer la continuité écologique de la rivière

- Restaurer le transit sédimentaire au niveau des ouvrages transversaux ;
- Restaurer la continuité piscicole ou permettre à minima la franchissabilité des ouvrages transversaux ;
- Remplacer un fonctionnement artificiel de plan d'eau par un fonctionnement naturel de ruisseau: remplacer les bassins de retenues par des zones d'expansions naturelles.

Objectif 2 : Restaurer le fonctionnement hydro-écologique et morphologique de la rivière

- Restaurer le caractère alluvial actif de la rivière ;
- Favoriser le développement de formations végétales ripicoles indigènes et diversifiées ;
- Restaurer les habitats aquatiques et rivulaires ;
- Limiter le développement d'espèces végétales invasives et indésirables.

Objectif 3 : Améliorer les connexions latérales entre le lit mineur et le lit majeur

- Permettre le développement d'un espace de fonctionnalité ;
- Supprimer les contraintes latérales (digues, merlons de curage ...) ;
- Restaurer les annexes hydrauliques, les zones humides.



Objectif 4 : Améliorer la gestion quantitative de la ressource en eau

- Ralentir les ondes de crues ;
- Limiter le nombre de retenues d'eau implantés en fond de vallée sur le lit vif;
- Limiter les pertes d'eau par évaporation ;
- Améliorer les conditions d'étiages ;
- Limiter le ruissellement et favoriser l'infiltration.

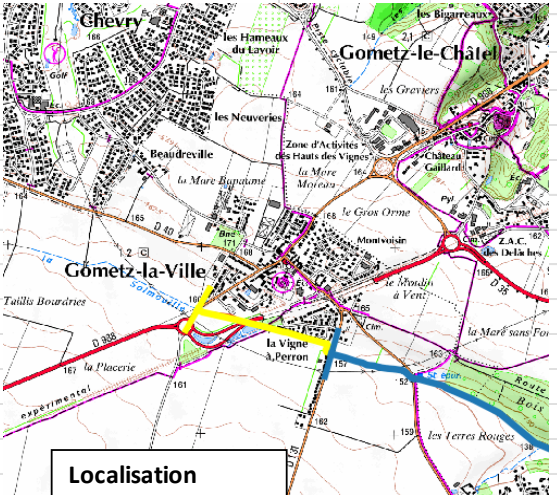


Objectif 5 : Améliorer la qualité de la ressource en eau

- Limiter et stocker les pollutions diffuses ;
- Améliorer les capacités de traitements des eaux usées et pluviales ;
- Réduire les pollutions microbiologiques et la prolifération de cyanobactéries ;
- Limiter l'érosion des sols afin de réduire les apports de MES ;
- Améliorer la qualité des eaux par filtration et par piégeage biologique.

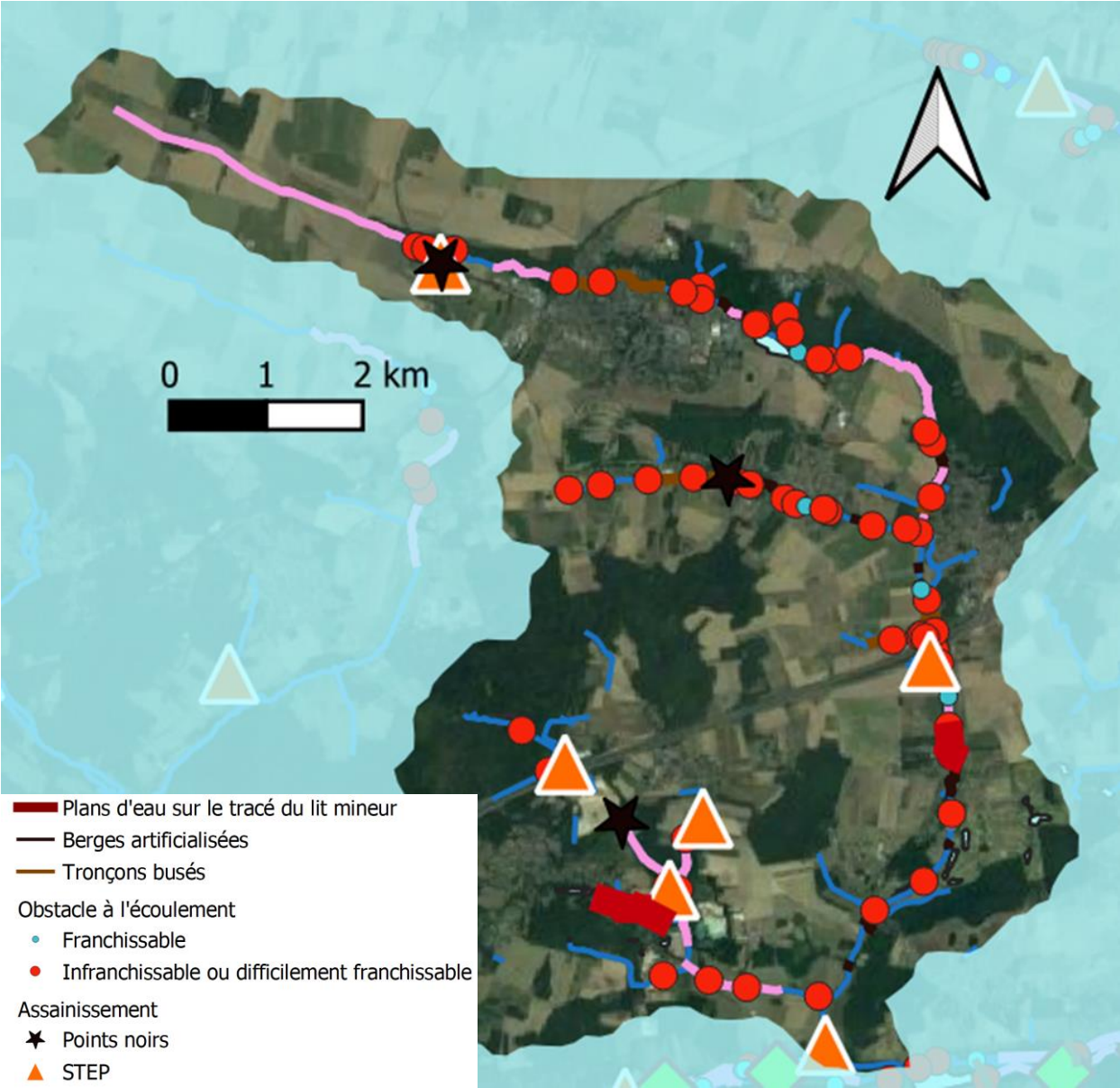
Annexe 3: Exemple de fiche tronçon pour la Sallemouille

Fiche Tronçon					
La Sallemouille amont - Gometz-la-ville			Note - Etat	6	Médiocre
Tronçon 17					
Commune : Gometz-la-ville		X amont:	635132.5	Y amont:	6841382.7
Limites amont/aval : D988	Ovoïde D131	X aval:	635818.7	Y aval:	6841142.6
Longueur :	0.76 km	Distance à la confluence :	15.49 km		
Lit mineur					
Hauteur d'eau max : 0,5 m		Hauteur d'eau min : 0,01 m			
Largeur du lit : 1.7		Continuité : Nombreux ouvrages infranchissables			
Débit caractéristique : /		Ouvrages hydrauliques : oui			
Vitesse d'écoulement : /		Embâcles : non			
Tracé en plan : Rectiligne		Eclaircissement : Très fort			
Facès d'écoulement dominant : Plat lentique		Diversité : Faible			
Granulométrie dominante :	argiles, limons, vase	Diversité : Nulle			
Végétation aquatique : Aucune		Densité : Nulle			
Incisions :	Absente	Colmatage : Moyen			
Berges					
	Rive gauche		Rive droite		
Nature	Matériaux naturels et artificiels		Matériaux naturels et artificiels		
Pente	Forte		Forte		
Hauteur	2 m		2 m		
Stabilité	Stable		Stable		
Habitats particuliers	Végétation surplombante, débris ligneux		Végétation surplombante, débris ligneux		
Occupation du sol	Bâti résidentiel		Espace agricole et zone urbanisée		
Berges opposées	Symétriques et homogènes				
Ripisylve					
Essences dominantes	aulne, chêne, ronciers		aulne, chêne, ronciers		
Type de végétation	Ornementale et friche		Friche		
Largeur	0m		0-2m		
Stratification	1 strate		1 strate		
Densité strate arborée	Absente - clairsemée		Absente		
Densité strate arbustive	Absente - clairsemée		Absente - clairsemée		
Continuité	Absente ou espacée régulièrement		Absente ou espacée régulièrement		
Classes d'âges	Moyennement équilibrée				
Stabilité	Stable		Stable		
Etat sanitaire	Sain		Sain		
Problèmes et enjeux					
Espèces invasives ou inadaptées et recouvrement	Vergerette du Canada				
Autres problèmes	Zone urbaine et agricole, nombreux rejets (suspension d'eaux grises)				
Enjeux	Habitat, Continuité écologique partielle (ouvrages), Invasif				
Remarques	Compartiments berge et ripisylve manquants pour le segment b (pas d'accès). Tronçon très artificiel entre une zone urbaine et agricole avec de nombreux rejets.				 SYNDICAT DE L'ORGE
Etude diagnostique Sallemouille - Egi  egis eau Date d'observation : 01/12/2021					

Annexe 4: Exemple de descriptif tronçon pour la Sallemouille

<p>La Sallemouille amont : Tronçon 17</p>	 <p>Localisation</p>
<p>Lit</p> <p>Tronçon rectiligne et uniforme avec de nombreuses buses. Les écoulements sont lenticulaires et peu diversifiés entraînant du colmatage sur le tronçon. La diversité de la granulométrie est faible avec de l'argile et du limon. La largeur du lit est de 1.7 m et la hauteur d'eau varie de 0.01 à 0.5 m.</p>	
<p>Berges</p> <p>Les berges sont naturelles avec quelques segments artificiels. Elles sont symétriques et homogènes avec une pente forte et une hauteur de 2 m. Les berges sont stables. Le versant rive gauche est une zone résidentielle et le versant rive droite est occupé par des cultures.</p>	 <p>Vue d'ensemble</p>
<p>Ripisylve</p> <p>La ripisylve est absente en rive droite et présente en rive gauche proche des habitations. Elle est essentiellement composée de frênes, de chênes et de ronciers.</p>	
<p>Problèmes et enjeux</p> <p>Les nombreuses buses présentes sur le tronçon constituent une problématique importante pour les enjeux de continuité écologique. Le tracé est rectiligne et uniforme.</p> <p>Une espèce invasive, la Vergerette du Canada, est présente. Plusieurs rejets d'eaux grises ont été identifiés sur le tronçon.</p>	 <p>Enjeux majeurs</p>
<p>Préconisation</p> <p>Modification du profil longitudinal et transversal. Supprimer les espèces invasives. Développer la ripisylve, créer des habitats. Supprimer ou modifier les buses impactantes.</p>	

Annexe 5: Exemple de cartographie présentant les principaux dysfonctionnements sur la Prédecelle



Annexe 6: Exemple de fiche d'identité par cours d'eau réalisé pour la Rémarde

REMARDE

Caractéristiques	
Linéaire du cours d'eau	54,1 km
Superficie du bassin versant	205,6 km ²
Altitude amont	82 m NGF
Altitude confluence	47,5 m NGF
Pente	3,15 %
Taux d'étagement	70 %

Hydrologie	
Débit d'étiage (QMNA 5)	0,45 m ³ /s
Module	1,16 m ³ /s
Débit biennal (Q2)	8,35 m ³ /s

État fonctionnel du cours d'eau		
État éco-morphologique des tronçons	Très bon	0 %
	Bon	0 %
	Moyen	70 %
	Médiocre	28 %
	Mauvais	2 %
Note d'efficience	17,5/50	

Lit		
Faciès d'écoulement	Plat lentique	61%
	Plat courant	23%
	Stagnant	7%
	Alternance radiers / mouilles	9%
Linéaire colmaté	18,6 km soit 34,4 %	
Linéaire perché	34 km soit 63 %	

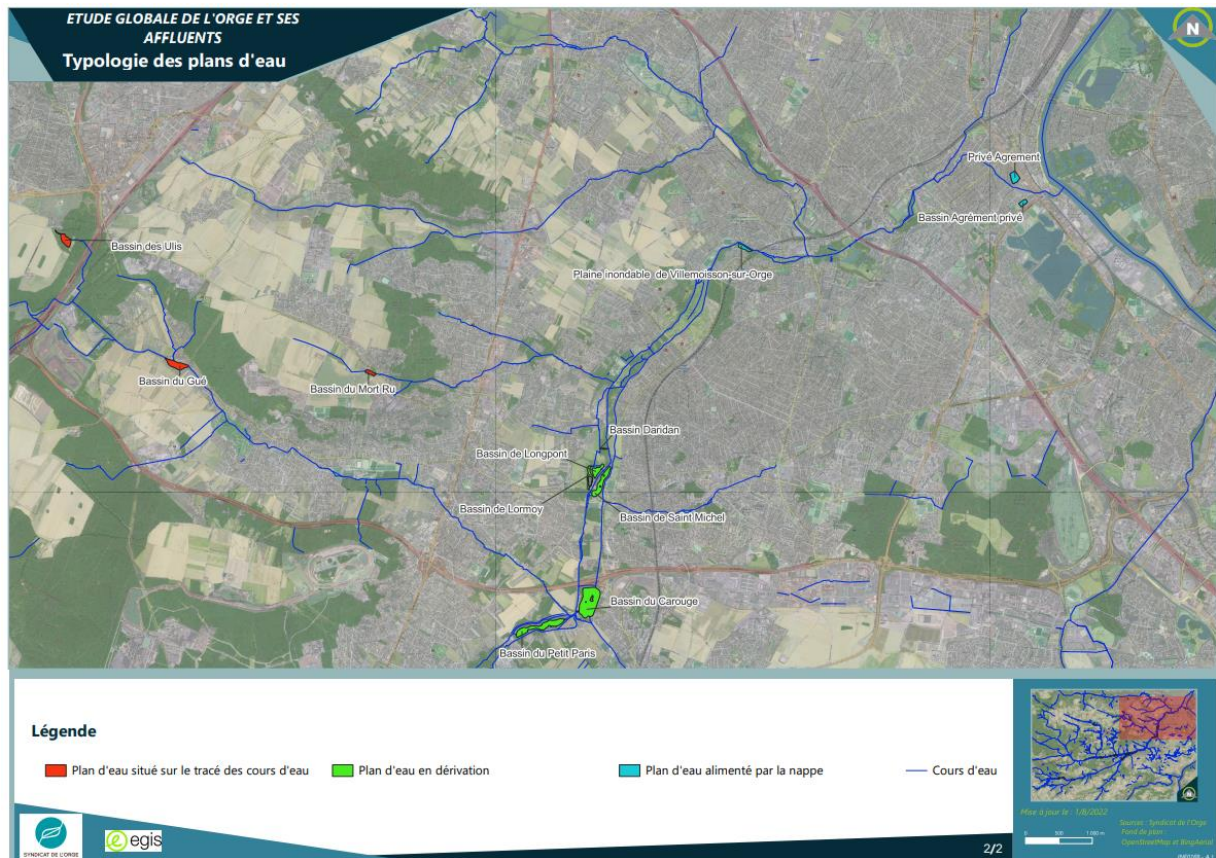
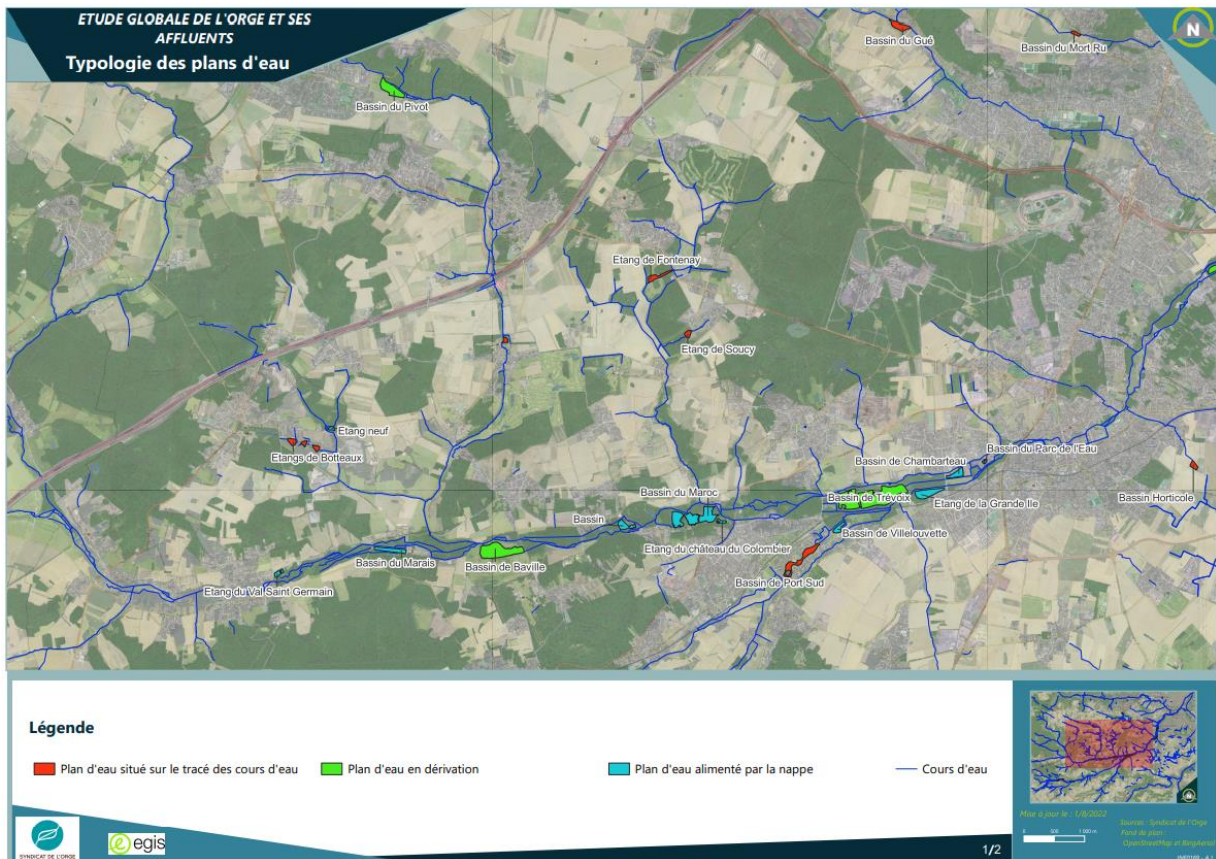
Obstacles à la continuité écologique	
Nombres d'ouvrages	54 soit 1,0/km
Franchissable	24
Difficilement franchissable	0
Infranchissable	30
Nombre d'ouvrages impactant la continuité écologique	30 soit 0,6/km
Linéaire sous influence d'ouvrages	34 %
Linéaire busé	0,05 km

Berges et ripisylve		
Berges artificielles	7,8 %	
Pente des berges	Très forte	48 %
	Forte	45%
	Moyenne	6 %
	Faible	1 %
Linéaire sans ripisylve	4,1 km	

Qualité de l'eau		
		Paramètres déclassant
État écologique	Moyen	
État physico-chimique	Moyen	Phosphore
État biologique	Moyen	IBD ; I2M2
État chimique	Mauvais	

Contexte piscicole	
Zonation piscicole	Cyprinicole
Espèce repère	Brochet
Espèce(s) à enjeux	Anguille Vandoise
État fonctionnel PDPG91	Dégradé

Annexe 7: Localisation et typologie des plans d'eau situés sur le bassin site d'étude



Annexe 8: Grille de calcul pour la note d'efficience

Variable	Classes de valeur et notes afférentes					La Rémarde	
Puissance	Valeur	> 100 W/m ²	100 - 30 W/m ²	10 - 30 W/m ²	< 10 W/m ²	Valeur observée	41,24
	Note	10	5	2,5	0	Note correspondante	5
Erodabilité des berges	Valeur	Forte	Moyenne	Faible	Nulle	Valeur observée	Faible
	Note	10	5	2,5	0	Note correspondante	2,5
Transport solide	Valeur	Fort	Moyen	Faible	Nul	Valeur observée	Faible
	Note	10	5	2,5	0	Note correspondante	2,5
Emprises disponibles	Valeur	> 10 x L	3 - 10 x L	< 3 x L	1 x L	Valeur observée	3 - 10 x L
	Note	10	5	2,5	0	Note correspondante	5
Qualité de l'eau	Valeur	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise	Valeur observée	Médiocre
	Note	10	5	2,5	0	Note correspondante	2,5
						Score d'efficience probable (note sur 50)	17,5
						Présence de réservoirs biologiques	Oui
						Volonté locale	Oui

Annexe 9: Tronçons les plus altérés d'après les résultats de l'analyse multicritère

Tronçons	Longueur (m)	Cours d'eau	Note AMC
Mort Ru2	1362	Mort Ru	572
Sallemouille8	1245	Sallemouille	489
Blutin1	1059	Blutin	482
Sallemouille11	1199	Sallemouille	481
Le Fagot 1	847	Fagot	468
Sallemouille1	269	Sallemouille	466
OrgeAm7	722	Bief pres de l'etang	457
Sallemouille16	723	Sallemouille	447
OrgeAm8	1023	Orge	447
Remarde 4e	824	Remarde	442
Renarde 4_2	227	Renarde	440



Mathieu Rambaud
2021-2022

Etudes et travaux de restauration morpho-écologique

Résumé : Ce stage en bureau d'étude a fait l'objet d'une mission principale : l'Etude globale de l'Orge et ses affluents ; un état des lieux et diagnostic sur 300 km de cours d'eau avec une importante partie d'analyse hydromorphologique et éco-morphologique. Plusieurs méthodologies et analyses ont pu être développées : découpage tronçon, analyses des dysfonctionnements, mise en avant des enjeux et des objectifs, priorisation des secteurs d'interventions, et ce, malgré des contraintes liées à l'acquisition de données par deux structures différentes à des moments différents.

Ce stage a également permis de découvrir la maîtrise d'œuvre et le suivi de travaux sur plusieurs chantiers en Ile-de-France et dans l'Allier.

Mots Clés : Hydromorphologie, Ecologie, Etudes, Diagnostic, Renaturation, Aménagement, Maitrise d'œuvre, Travaux

Egis :

15 avenue du centre. 78280 Guyancourt

Tuteur entreprise :

Jean-François SALMIN

Chef de Projet, étude et travaux fluviaux chez Egis

Tuteur académique :

Pierre Peeters