

Projet de Fin d'Études (PFE) 2022-2023

Analyse de données : Suivis biologiques et morphologiques après des travaux de renaturation



© BioSaulé

Sous la direction de M. Bacchi

Arthur GUIBERT

AVERTISSEMENT

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnel, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

L'auteur (les auteurs) de cette recherche a (ont) signé une attestation sur l'honneur de non-plagiat.

Formation par la recherche, Projet de Fin d'Etudes en génie de l'Aménagement et de l'Environnement

La formation au génie de l'aménagement et de l'environnement, assurée par le département aménagement et environnement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme, de l'aménagement des espaces fortement à faiblement anthropisés, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir-faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement et de l'environnement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Dynamiques et Actions Territoriales et Environnementales de l'UMR 7324 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne sur la base du Système Universitaire de Documentation (SUDOC), les mémoires à partir de la mention bien.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier Michel BACCHI pour son encadrement, son soutien et ses conseils pour la réalisation de ce travail de recherche.

SOMMAIRE

0 – Introduction	9
1 – Etat des données	10
1.1 – Enjeux des travaux de renaturation.....	11
1.2 – Types de travaux.....	12
1.2.1 – Elargissement du lit mineur.....	12
1.2.2 – Reméandrage	12
1.2.3 – Talutage des berges	13
1.2.4 – La recharge granulométrique.....	14
1.2.5 – Arasement de seuil.....	14
1.2.6 – Remise à ciel ouvert	14
1.2.7 – Création d'épis déflecteurs.....	15
1.2.8 – Le génie végétal.....	15
2 – Les suivis en fonction de la nature des travaux.....	19
2.1 – Les petites opérations	20
2.2 – Les opérations lourdes.....	20
3 – Les différents types de suivis	21
3.1 – Le suivi morphologique	21
3.1.1 – Le suivi bathymétrique.....	21
3.1.1.2 – Le suivi morphologique à l'aide d'images aériennes.....	21
3.2 – Le suivi biologique.....	22
3.2.1 – L'Indice Poisson Rivière (IPR)	22
3.2.2 – L'Indice Biologique Diatomées (IBD).....	22
3.2.3 – L'Indice Biologique Global (IBG).....	23
3.2.4 – L'Indice Biologique Macrophyte en Rivière (IBMR).....	24
3.2.5 – Le suivi de plantation	24
5 – Synthèse et retour personnel.....	26
6 – Bibliographie	27
7 – Sitographie	27

0 – Introduction

De nos jours, le climat change, les étés sont de plus en plus chauds et secs tandis que les phénomènes pluvieux sont de plus en plus intenses et dévastateurs. Les cours d'eau jouent un rôle indispensable dans le maintien de la qualité de notre environnement. Ils représentent une ressource d'eau pour les êtres-vivants, l'agriculture, l'industrie. Ce sont des écosystèmes aux habitats variés, pouvant être utilisés comme zone de reproduction pour certaines espèces aquatiques. Ces cours d'eau souvent bordés de végétation offre aux différents organismes la possibilité de se déplacer d'un habitat à un autre tout en étant en sécurité, à l'abris des menaces, des prédateurs (corridors écologique).

Malheureusement, lors des dernières décennies l'Homme a contribué à l'endommagement des rivières notamment par la volonté d'optimiser l'aménagement des terres pour le développement des villes ou encore pour l'agriculture. Indirectement, les polluants émis par les activités humaines, ruissellent jusqu'aux cours d'eau et altèrent lourdement leur qualité et leurs fonctionnalités. En effet les cours d'eau offrent divers services tels que la purification de l'eau par la ripisylve, cette dernière intercepte et limite le flux entrant de matières en suspension vers le cours d'eau. Ils vont également jouer un rôle régulateur face aux crues et aux sécheresses. Et enfin il donne lieu à des espaces de récréation pour le public avec des bases nautiques, de la pêche ou encore de la baignade. C'est ainsi que depuis plusieurs années de nombreuses études portent sur la restauration de ces milieux aux bénéfices multiples. Toutefois, il est impossible de prévoir avec certitude les conséquences de ces modifications, c'est pourquoi des suivis sont réalisés à l'issue des travaux.

Ce travail de recherche portera sur l'analyse des données de suivis consultables en ligne, une présentation de certains suivis sera fournie ainsi qu'un retour critique sur la situation à ce jour.

1 – Etat des données

La collecte de données s’est déroulée du mois d’octobre et s’est terminée à la mi-novembre 2023. Sur cette période, ce sont soixante-dix opérations de travaux de renaturation de cours d’eau qui ont été consultées et considérées. Ces restaurations éco-morphologiques ont eu lieu sur les territoires français et suisse. Les maitres d’ouvrage (MOA) sont les commanditaires de projets et pour cette étude, ils étaient majoritairement représentés par des syndicats de bassin versant ou des communautés de communes. La maîtrise d’ouvrage définit à travers un cahier des charges les besoins, le budget, les conditions du projet. La maîtrise d’œuvre (MOE) quant à elle, a pour rôle de concevoir un avant-projet, conseiller les entreprises travaux, contrôler l’avancée du chantier. Les maitres d’œuvre étaient principalement des bureaux d’études (INGEROP, ARTELIA, EGIS, SINBIO).

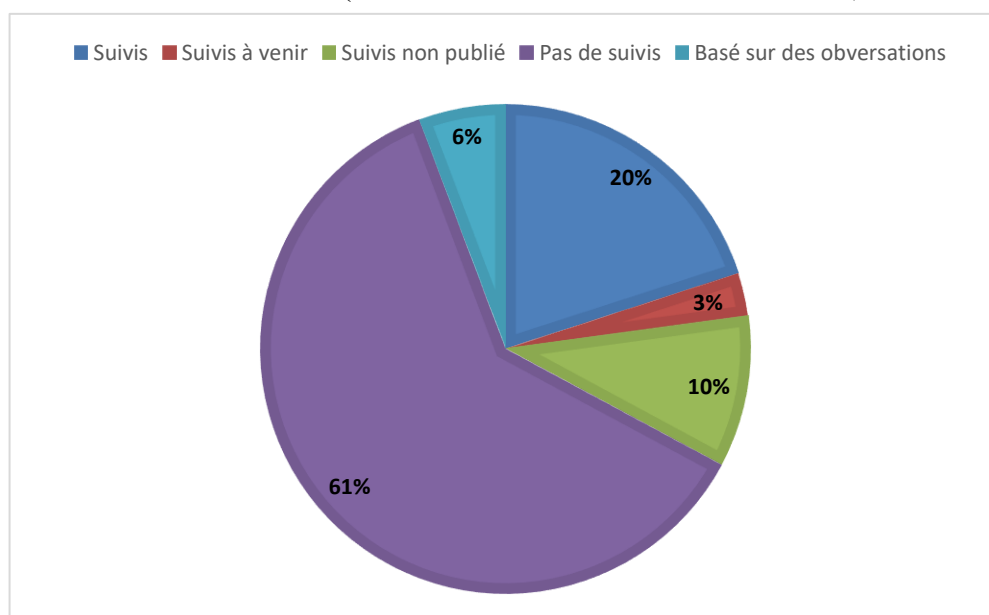


Figure 1 : graphique de la réalisation des suivis post-travaux (© Guibert A.)

La figure 1 présente le diagramme de la réalisation des suivis post-travaux pour l'échantillon étudié. Pour plus de 60% des cas de restauration éco-morphologique, aucune donnée n'est consultable en ligne, de plus la présentation des travaux n'évoque pas de suivi. Pour 10% des cas, des suivis sont évoqués dans la publication des travaux, néanmoins aucune précision n'est donnée sur le contenu, sur la durée, sur les méthodes, et sur les résultats de ces suivis. Pour 3% des cas, les suivis doivent être publiés prochainement. Pour un nombre assez conséquent, soit 20% des cas, l'appréciation des travaux est principalement basée sur des observations, ces dernières sont focalisées davantage sur la beauté du paysage, du cours d'eau que sur la qualité biologique et sur la qualité des peuplements de la station. Finalement, dans seulement 6% des cas, il est possible d'obtenir quelques informations sur les suivis.

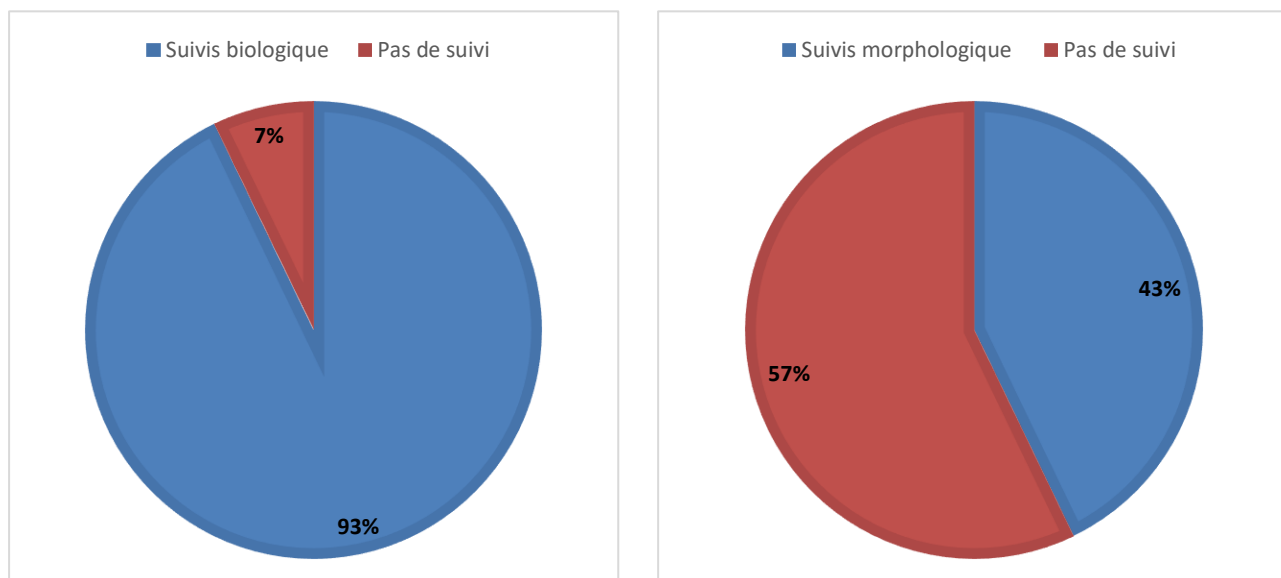


Figure 2 : graphique de la nature des suivis (© Guibert A.)

Ainsi, pour 14 projets de renaturation, des données ont été collectées. La figure 2 présente les diagrammes relatifs au type de suivis effectués. Pour treize d'entre eux, un suivi biologique a été réalisé. Un suivi morphologique a été quant à lui initié sur six projets de restauration morphologique. Bien souvent, seule la nature du suivi est publiée, malheureusement pour le public, les entreprises, laboratoires d'analyses, ne rendent pas accessibles le contenu, les conditions de la réalisation de ces derniers, ni même les résultats. Des données chiffrées ont été collectées pour un seul projet de renaturation de l'échantillon d'étude. Le suivi portait sur l'inventaire piscicole réalisé par le bureau d'études SARL RIVE sur le cours d'eau de l'Auxigny à Saint-Martin d'Auxigny. Malgré le peu de données à disposition, une analyse de la situation sera présentée dans la suite de ce rapport.

1.1 – Enjeux des travaux de renaturation

De manière générale, les projets de restauration morphologique de cours d'eau sont réalisés sur des territoires avec de forts enjeux : zone inondable, zone récréative, proximité d'une source d'intrants. Ces travaux ont pour but d'offrir aux espèces animales et végétales un milieu de meilleure qualité pour l'accomplissement de leur cycle de vie. Sur l'échantillon initial de travaux de restauration de cours d'eau, trois grands enjeux sont à déplorer :

- Les enjeux liés aux phénomènes naturels, tels que les fortes pluies à l'origine des crues pouvant engendrer des dégâts humains et matériels colossaux. A l'issue des travaux, le cours d'eau aura la capacité d'absorber un débit plus important de manière à limiter le débordement de l'eau, ainsi le phénomène de crue sera entièrement ou partiellement endigué. Cela va dépendre des moyens et des objectifs du projet. Le changement climatique impacte également la période de basses eaux, aussi appelée la période d'étiage. Les sécheresses à répétition et de plus en plus durables engendrent une diminution drastique des débits dans les rivières, voire un

assèchement total du lit. Les travaux peuvent alors être axés sur l'entretien ou la mise en place d'une ripisylve qui apportera de l'ombre et limitera l'évaporation.

- Les enjeux liés à la qualité de l'écosystème, en effet il est possible qu'un projet cible une ou plusieurs espèces, les actions à mener devront alors avoir des effets bénéfiques pour ces espèces. Quelques exemples :
 - La création de caches ou d'abris
 - La recharge granulométrique
 - L'arasement ou le dérasement d'un seuil ou d'un ouvrage...
- Les enjeux liés à l'Homme et à son bien être : il est vrai qu'aujourd'hui les travaux de restauration hydromorphologique peuvent être réalisés en partie pour l'Homme. Favoriser le retour de la population sur les abords des rivières est largement envisageable. En été lors d'extrêmes canicules, la proximité de l'eau et l'ombrage du cordon boisé sont deux des atouts que possède un cours d'eau. Cela offre un véritable îlot de fraîcheur à la population. Un accès et des zones de baignade sont parfois aménagés lors des travaux, ainsi les riverains peuvent profiter librement de la rivière.

1.2 – Types de travaux

1.2.1 – Elargissement du lit mineur

L'élargissement du lit de la rivière peut être un processus naturel en lien direct avec l'érosion, mais dans notre cas d'étude, cet élargissement est mécanique et causé par une intervention humaine. Elargir le lit mineur a des effets positifs sur le milieu, tels que :

- La diversification des habitats disponibles pour les organismes aquatiques
- L'amélioration paysagère
- La régulation du débit : plus la rivière est large, plus elle est capable d'absorber une grande quantité d'eau, ainsi le débordement est moindre

C'est également un bienfait pour l'économie locale, les touristes aiment particulièrement se promener ou pique-niquer le long des rivières.

1.2.2 – Reméandrage

Pour être fonctionnel sur le plan écologique, il est préférable qu'un cours d'eau soit sinueux et qu'il possède des alternances de zones lenthiques et de zones logiques. Il y a plusieurs dizaines d'années, l'Homme a fortement canalisé les cours d'eau, notamment dans le but de gagner de l'emprise au sol pour pouvoir pratiquer l'agriculture. Ainsi dans les régions agricoles de nombreux cours d'eau sont

totalement rectiligne. Le reméandrage est alors une solution pour redonner de la vitalité au chenal.

Ce processus possède divers atouts :

- L'amélioration de la qualité de l'eau : en effet, le linéaire du cordon boisé augmente avec des sinuosités, le pouvoir purificateur des plantes rivulaires est alors amélioré.
- La diversification des habitats (voir figure 3) : le courant lorsqu'il arrive dans un méandre va venir se confronter à la berge concave, comme le montre la figure 1 ci-dessous. Cela va engendrer une érosion de cette berge, et un affouillement, c'est-à-dire que la profondeur d'eau va être augmentée en extrados de méandre. A l'inverse, un dépôt alluvionnaire de sédiments fins va se faire en intrados de méandre. Ainsi, les écoulements et les substrats varient en fonction de leur positionnement dans le méandre et offrent une diversité accrue d'habitats.

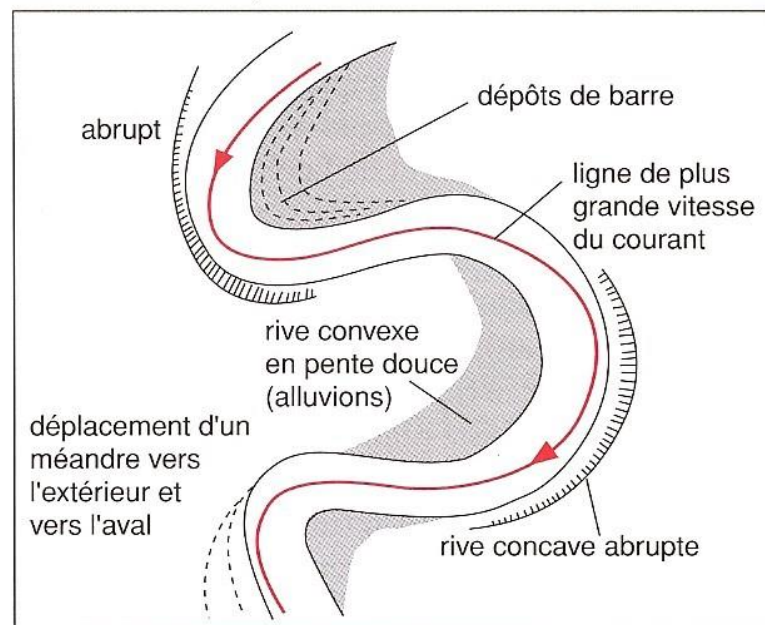


Figure 3 : fonctionnement d'un méandre (Ch. Pomerol, Y.Lagabrielle, M.Renard)

1.2.3 – Talutage des berges

Afin de stabiliser les berges d'un cours d'eau dans un but de les protéger contre l'érosion, il est possible d'entreprendre des travaux de talutage de berges. Cela va permettre de redessiner et de consolider les berges. En effet les berges ont divers rôles : elles peuvent abriter des espèces animales et/ou végétales à forts enjeux, elles peuvent également être le pilier stabilisateur d'une route, d'un parking, ou d'un bâtiment se situant à son sommet. Ainsi, le talutage, aussi bien manuel que mécanique va permettre la diversification des habitats, la stabilisation des berges, et réduire les impacts liés à l'érosion.

1.2.4 – La recharge granulométrique

La recharge granulométrique d'un cours d'eau est une technique consistant à un apport de matériaux alluvionnaires (graviers, pierres, galets) par l'Homme. En effet les sédiments grossiers sont des habitats relativement biogènes que certaines espèces de macro-invertébrés utilisent pour vivre. C'est une technique pouvant avoir des effets bénéfiques mais elle est difficile à appliquer. Lors d'une crue, les pierres peuvent très rapidement être évacuées de la station cible. Il est aussi possible qu'un dépôt de matières en suspension recouvre les pierres et les rendent inhabitables. Une étude préalable se focalisant sur les apports en amont de la station (débits, polluants, matériaux) est nécessaire pour une recharge granulométrique efficace et durable.

1.2.5 - Arasement de seuil

L'arasement d'un seuil peut être entrepris lors de travaux de renaturation. Les seuils sont des aménagements hydrauliques posant dans la grande majorité des cas des problèmes environnementaux : ce sont de véritables obstacles à la continuité piscicole et au transport sédimentaire. Il existe plusieurs raisons à la mise en place d'un seuil :

- la régulation des débits, de par la création d'une retenue d'eau en amont de l'ouvrage
- la protection contre l'érosion du lit : en effet un seuil va permettre un exhaussement du lit de la rivière en amont

Néanmoins, aujourd'hui la tendance est davantage axée sur la suppression de ces aménagements qui procurent plus d'inconvénients que de bénéfices. Que cela soit pour un petit ou pour un grand aménagement, sur une rivière moyenne ou sur un grand fleuve, un projet de ce type, quelle que soit son envergure doit s'accompagner d'une étude de faisabilité.

1.2.6 – Remise à ciel ouvert

Il y a plusieurs dizaines d'années, une partie non-négligeable des cours d'eau agricoles ont été comblés ou busés, parfois sur des linéaires de plusieurs centaines de mètres, dans le but de gagner du terrain en faveur de la production agricole. Ces cours d'eau ont un fort rôle environnemental à jouer puisque qu'ils contribuent à l'épuration par les plantes des polluants issus de l'agriculture, forment de véritables écosystèmes, peuvent agir comme des zones tampons lors de crues ou comme soutien lors de la période des basses eaux. Bien que ces cours d'eau agricoles soient souvent très petits et intermittents, c'est-à-dire qu'un assec à lieu fréquemment, la remise à ciel consiste à démonter les drains ou les busent et de recréer, sur ces tronçons, les différents compartiments du cours d'eau (les berges, le lit, les banquettes, la ripisylve...). C'est une technique de restauration coûteuse mais qui s'avère être bénéfique pour l'écosystème.

1.2.7 – Création d'épis déflecteurs

Les épis déflecteurs sont des dispositifs installés dans le lit d'un cours d'eau, afin de dévier et rediriger les écoulements dans une direction spécifique. La mise en place de ces aménagements vient palier à un problème d'érosion, ces épis vont permettre le dépôt de sédiments directement à l'aval. Ces ouvrages sont souvent réalisés à l'aide de blocs, mais ces épis peuvent aussi être réalisés en rondins. Les épis possèdent un ancrage dans la berge afin d'assurer leur maintien dans le cours d'eau.

1.2.8 – Le génie végétal

Le génie végétal, aussi appelé génie écologique, représente l'ensemble des techniques végétales disponibles pour l'aménagement des rivières et la confection d'ouvrages de stabilisation. Ces techniques utilisent des végétaux entiers ou partiels et sont combinés avec différents matériaux inertes venant protéger et rendre pérenne la durabilité de l'aménagement réalisé (géotextiles, pieux, etc.).

Le génie végétal permet d'offrir une solution efficace contre l'érosion tout en ayant des coûts de réalisation raisonnables.

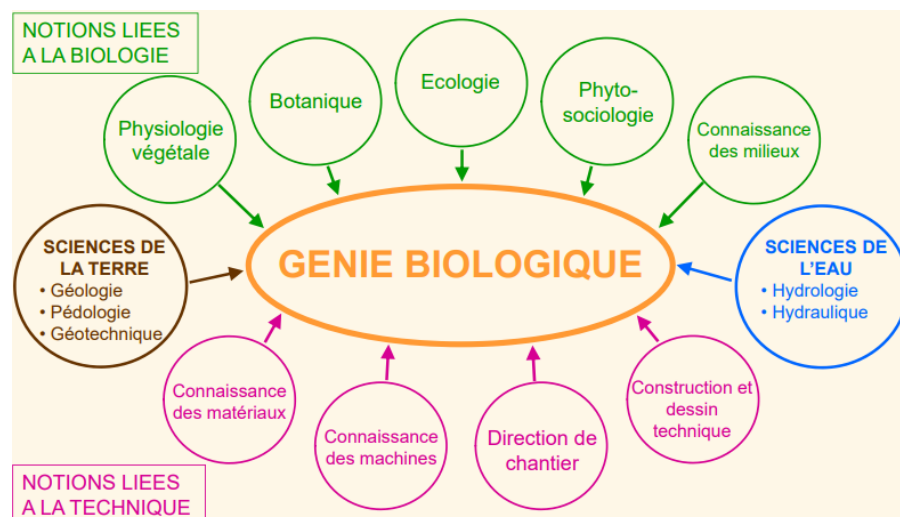


Figure 4 : les domaines associés au génie végétal (© P-A. Frossard)

La figure 4 présente l'ensemble du panel de compétences associé au génie écologique, néanmoins, comme toutes les méthodes d'aménagements, le génie végétal possède des avantages et des limites.

En effet les avantages sont variés :

- La stabilisation de l'ouvrage est croissante dans le temps : en effet, lors des travaux, les végétaux utilisés sont partiels (branches, boutures), ces derniers vont se développer dans les mois suivants les travaux, ainsi l'ancrage des racines dans le sol sera meilleur au fil du temps.
- La relation avec les nappes alluviales n'est pas impactée
- Le pouvoir épuratoire des berges est augmenté par la présence de ces aménagements (fascines, plans et plançons, etc.)

- Amélioration de la qualité de l'eau : l'ombrage permet à l'eau de ne pas se réchauffer trop rapidement en été, la ripisylve permet de garder une certaine fraîcheur. Plus l'eau est chaude, plus la concentration en oxygène dissous est faible, et par conséquent, le milieu peut être déserté par les organismes.
- Les plantes invasives se développent extrêmement rapidement lorsque les conditions du milieu sont favorables et que l'emprise au sol est disponible. Ces techniques qui requièrent un nombre élevé de plants au m² ou au mètre linéaire, sont idéales pour combattre la prolifération de ces espèces exotiques envahissantes.
- Bonne intégration des ouvrages dans le paysage

Quelques limites subsistent néanmoins :

- La répartition géographique des végétaux : certains végétaux ne sont pas adaptés à l'altitude (Pyrénées, Massif central, Alpes, etc.).
- Fort entretien de la végétation sur les premières années après les travaux.
- Stabilisation non optimale dès la mise en place de la technique.

Les techniques de génie végétal sont variées et s'appliquent aussi bien aux ouvrages de stabilisation de berges ou de protection pour lutter contre l'érosion, qu'ils soient en pied de berge ou en sommet de berge. Les végétaux utilisés ont la capacité de survivre et se développer dans un milieu humide pouvant être régulièrement submergé par la montée de l'eau.

1.2.8.1 – Fascines de saules

La fascine de saules joue un rôle de protection de berge. Cette technique est adaptée pour des petits, moyens voire certains grands cours d'eau. Une fascine de saules n'excède généralement pas les 40 centimètres de hauteur, et représente un petit rempart, cela offre une protection immédiate face au phénomène d'affouillement.

1.2.8.2 – Lit de plants et plançons

Le lit de plants et plançons est utilisé pour pallier les problèmes d'érosion et de stabilisation de berges. Il est souvent utilisé dans le cas de pentes raides. Cette technique est une succession de bermes parallèles étagées sur plusieurs niveaux. Les végétaux utilisés sont majoritairement des branches de saules (appelées plançons) ou des plants à racines nues. Ces végétaux sont capables de former des racines adventives ainsi qu'une partie aérienne dense. Les végétaux sont enfouis partiellement, ainsi ils vont rapidement développer leurs racines, ce qui permet une stabilisation accrue de la berge (voir figure 5).



Figure 5 : photographie d'un lit de plants et plançons (© La Compagnie des Forestiers)

Pour cette technique, la majorité des ligneux indigènes peut être utilisée, néanmoins, il est nécessaire de prendre en compte les conditions de la station au préalable : type de sol, température, luminosité...

C'est une technique offrant divers avantages :

- Peu coûteux
- Utilisation d'autres végétaux que les saules (*Salix sp.*)
- Colonisation spontanée de nouvelles espèces possible

Toutefois, un ouvrage de ce type requiert énormément de ressources végétales.

1.2.8.3 – Bouturage

Le bouturage s'effectue majoritairement avec des essences pionnière à bois tendre. Dans un avenir proche, ces plantations seront colonisées par une flore locale et spontanée donnant lieu au principe de successions végétales (voir figure 6). Il est nécessaire de respecter la polarité de la branche à replanter. C'est-à-dire que lors de la collecte des boutures, il faut identifier le bout de la branche qui pointait vers le sol et la replanter ainsi. Le diamètre des boutures ne doit pas excéder 3 à 4 cm afin d'augmenter le taux de reprise des végétaux.



Figure 6 : successions végétales (© P-A Frossard)

1.2.8.4 – Fascine d'hélophytes

Une fascine d'hélophytes est une technique visant à protéger la berge de l'érosion, pour cela, des végétaux semi-aquatiques sont utilisés. Un « boudin » est formé à l'aide d'un géotextile comprenant les mottes d'hélophytes. La fascine est finalement fixée avec des pieux de bois battus mécaniquement. Lorsque la force d'arrachement est trop importante, cette technique n'est pas adaptée, car très souvent elle est endommagée par le courant. La figure 7 présente la mise en œuvre de fascines d'hélophytes sur un chantier de restauration.



Figure 7 : mise en œuvre d'une fascine d'hélophytes (© P-A Frossard)

1.2.8.4 – Ensemencement

L'ensemencement a un but de protection :

- Du sol : lutte contre le ruissellement, contre le piétinement, le compactage
- Contre le dessèchement : le couvert herbacé va retenir l'eau et ainsi atténuer l'assèchement du milieu
- Contre les espèces invasives : concurrence du couvert végétal vis-à-vis de la colonisation spontanée des espèces exotiques envahissantes.

En fonction des contraintes du milieu, l'ensemencement peut être manuel, mécanique et/ou hydraulique. Souvent appliqué sur la partie supérieure de la berge, cette technique consiste à un dépôt du mélange grainier déterminé préalablement afin qu'un couvert végétal se forme. De plus, l'ensemencement peut-être une solution lorsque l'on veut légèrement l'implantation de ligneux.

Pour tous ces différents types de travaux, des études, des modélisations et des investigations sur le terrain sont nécessaires afin de s'assurer que le futur ouvrage sera bénéfique pour le milieu.

2 – Les suivis en fonction de la nature des travaux

Les suivis à entreprendre diffèrent en fonction de la nature des travaux, en effet il y a :

- Les travaux d'aménagements : la création de nouveaux ouvrages ou la suppression d'anciens ouvrages, la modification de la sinuosité du lit
- Les travaux de protection : la protection des berges faces à l'érosion, la protection face aux crues
- Les travaux visant à limiter la pollution : les plantations permettent de capter et d'accumuler de nombreux polluants tels que certains métaux lourds.
- Autre cas : la recharge granulométrique

Nature des travaux	Suivis potentiels
Aménagement	-Morphologique : bathymétrie, hydraulique -Biologique : hydrobiologie
Protection	-Morphologie : bathymétrie -Biologique : hydrobiologie
Dépollution	-Physico-chimique -Biologique : hydrobiologie, floristique
Autres	-Biologique : hydrobiologie

Figure 8 : tableau des suivis en fonction de la nature des travaux (© A.Guibert)

La figure 8 présente le tableau des suivis potentiels en fonction de la nature des travaux. Les suivis biologiques, de par leur simplicité et leurs faibles coûts sont pratiquement réalisés pour tous les projets de restauration. En effet, les travaux impliquent souvent une intrusion dans le milieu de machines. Bien qu'il existe des protections afin de limiter la pollution (MES, hydrocarbures), il faut s'assurer que les modifications apportées sont bénéfiques pour peuplements d'espèces du site. De plus très régulièrement ces suivis sont couplés avec un relevé des paramètres physico-chimique à l'aide de sonde (mono ou multi-paramètres).

Le suivi morphologique est majoritairement préconisé à l'issue de gros chantiers ayant impacter fondamentalement le lit d'origine de la rivière. Ces suivis engendrent des coûts élevés, cela est dû à la complexité des appareils de mesures.

Il est également important de noter qu'une campagne de suivis est souvent réalisée avant les travaux, afin d'utiliser la comparaison comme approche pour savoir si les travaux ont été efficaces.

2.1 – Les petites opérations

Il est possible de faire la distinction entre les petits et les grands chantiers en se basant sur l'ampleur et l'impact d'un projet sur l'environnement. Dans le cas où les opérations n'entravent pas la totalité de la vie du cours d'eau, alors il est possible de parler de « petites opérations de travaux ». Exemple :

- Entretien de la ripisylve
- Stabilisation de la berge (fascines...)

Les suivis à entreprendre pour des petits travaux seront probablement réalisés sur une période plus courte, telles que sur trois, cinq voire dix années.

2.2 – Les opérations lourdes

Dans le cas où les travaux impactent plusieurs compartiments (lit, berges, ripisylve, etc.), et que les travaux nécessitent un remaniement partiel voire total du tronçon, alors il est possible de parler de « lourdes opérations ». Exemple :

- Reméandrage
- Remise à ciel ouvert
- Dérasement, arasement d'ouvrages

Pour ce type d'aménagement, il est important de suivre l'évolution de la qualité du cours d'eau et de son environnement aussi bien biologiquement que morphologiquement. De plus ces suivis peuvent être réalisés sur des périodes plus longues que pour les petites opérations de travaux. Dix, quinze, vingt ans de suivis vont permettre de donner une analyse de la situation sur l'amélioration ou non de l'écosystème et des espèces qui s'y trouvent.

Pour cela, il existe de nombreux suivis, dans la prochaine partie de ce rapport sera détaillée : une liste non exhaustive des principaux suivis réalisés sur les cours.

3 – Les différents types de suivis

3.1 – Le suivi morphologique

3.1.1 – Le suivi bathymétrique

Le suivi bathymétrique correspond à la mesure de la profondeur des eaux. Le suivi est réalisé l'aide d'un sonar ou d'un échosondeur (voir figure 9). Ainsi les données collectées peuvent servir à comprendre et suivre les changements du fond du lit. Deux processus naturels, mais parfois impliqués par l'activité de l'Homme, peuvent alors être observé :

- L'érosion : ce phénomène a lieu dans les cours d'eau lorsque le courant de l'eau arrache les particules de sédiments et les transporte à l'aval
- La sédimentation : ce phénomène a lieu lorsque des particules sédimentaires se déposent sur le fond du cours, et a régulièrement lieu dans zone à faible courant



Figure 9 : Système bathymétrique GEOD BALY (© OCEANLAB)

3.1.1.2 – Le suivi morphologique à l'aide d'images aériennes

Un autre moyen d'étudier les changements morphologiques d'un cours d'eau dans le temps est de suivre son évolution à travers des images aériennes ou des données LIDAR (Light Detection and Ranging). Le LIDAR est un système de mesure de distance utilisant un laser utilisé dans le domaine de la cartographie.

Les suivis morphologiques sont régulièrement couplés à des suivis biologiques.

3.2 – Le suivi biologique

3.2.1 – L'Indice Poisson Rivière (IPR)

Cet indice est une méthode de surveillance de la qualité de l'eau et des habitats présents sur un tronçon de rivière. Il s'applique notamment pour évaluer la franchissabilité d'un ouvrage en évaluant les peuplements piscicoles en amont et en aval de l'aménagement hydraulique, mais aussi dans le cadre de projet de restauration morpho-écologique d'un cours ou encore dans le cadre d'inventaire. La diversité des espèces piscicoles, leur classe d'âge ainsi que leurs caractéristiques morphologiques sont prises en compte pour le calcul de l'indice. Ce suivi s'effectue généralement en période de basses eaux lorsque la turbidité et le débit sont favorables aux prélèvements. A l'issue de la partie terrain, une note est obtenue, cette dernière se base sur des paramètres de présence et de densité.

Méthode d'échantillonnage :

Quelques minutes avant le début du lancement de l'opération, le tronçon étudié est rendu étanche à l'aide de filets en amont et en aval du site : les poissons ne peuvent plus entrer, ni sortir du périmètre de l'étude. La capture des poissons est réalisée par une pêche électrique. Les poissons sont attirés grâce à un courant électrique émis par une anode, puis ils sont étourdis et récupérés à l'aide d'épuisettes. Les poissons sont récupérés à l'aide de grosses bassines, et sont ramenés sur la berge où se trouve des seaux servant de vivier le temps de la mesure. L'échantillonnage des individus peut alors commencer. Les poissons sont triés par espèces, sont mesurés et pesés. A la fin de l'opération les poissons sont relâchés dans le milieu naturel. La pêche peut s'effectuer à pied comme à l'aide d'une petite embarcation. Un ou deux passages peuvent être réalisés.

3.2.2 – L'Indice Biologique Diatomées (IBD)

Les diatomées sont des algues microscopiques à coque siliceuse présentes dans la plupart des milieux aquatiques, ces êtres sont plus ou moins sensibles aux perturbations de leur environnement : qualité physico-chimique de l'eau, luminosité. Cet indice se base sur l'étude des populations de diatomées afin d'évaluer la qualité générale d'un tronçon de rivière. La note de l'indice est calculée à partir des effectifs des différentes espèces identifiées, le but étant de se rapprocher le plus possible du cortège naturel de la station d'étude. Ce suivi est souvent réalisé en période d'étiage mais est rarement utilisé seul dans l'évaluation de la qualité d'un linéaire de cours d'eau, il est à minima accompagné d'un suivi de macrofaune benthique.

Méthode d'échantillonnage :

Le site choisi est généralement un site éclairé par la lumière du soleil, avec une faible profondeur d'eau et un substrat majoritairement pierreux, le point de prélèvement est bien souvent situé dans une zone de radier. Une fois sur le terrain, les coordonnées GPS sont relevées et des photographies de la limite amont, du site et de la limite aval sont prises. L'opérateur va ensuite prospector le radier à la recherche de pierres, qu'il va placer dans une bassine. La surface totale échantillonnée doit être supérieure à 100 cm². Les diatomées vont ensuite être prélevées à l'aide d'une brosse à dents et d'une pissette d'éthanol, en grattant les pierres. Pour finir l'échantillon obtenu est versé dans un pilulier et est fixé à l'éthanol. La durée de la phase de terrain est comprise entre 20 et 40 minutes.

Analyse laboratoire :

Au laboratoire, le spécialiste des diatomées commence par préparer plusieurs lames sous hotte aspirante. L'identification et le comptage des algues microscopiques sont réalisés au microscope. Il faut compter environ une demi-journée de travail pour l'analyse au laboratoire du peuplement diatomique.

3.2.3 – L'Indice Biologique Global (IBG)

L'Indice Biologique Global se base sur l'étude des peuplements de macro-invertébrés benthiques afin d'évaluer la qualité de l'eau et des habitats composant le lit du cours d'eau. A l'instar des autres indices écologiques, la période de prélèvements idéale correspond à la période de basses eaux, en effet il est indispensable que la situation hydrologique soit stable. Les prélèvements sont réalisés à l'aide de filets de type « SURBER » dont la surface de base représente 1/20^{ème} de m². Les substrats sont échantillonnés et nettoyés par les opérateurs. Les échantillons sont fixés à l'éthanol. Ultérieurement, au laboratoire, un hydrobiologiste confirmé est chargé de l'identification des différentes larves de macro-invertébrés. La note finale dépend du nombre de taxons capturés et du niveau de sensibilité du taxon le plus sensible. Les IBG sont souvent réalisés pour évaluer la qualité d'un tronçon de rivière :

- Dans le cas de travaux : un prélèvement sera effectué avant les travaux et plusieurs prélèvements seront réalisés après les travaux avec des intervalles de temps réguliers ou différents (tous les ans, ou à N+1, N+2, N+3, N+5, N+10)
- Dans le cas d'un rejet industriel, ou d'un rejet de station d'épuration : un prélèvement est effectué en amont et en aval du rejet
- Suivi général d'une station dans le temps : souvent à la demande des agences de l'eau

3.2.4 – L'Indice Biologique Macrophyte en Rivière (IBMR)

Cet indice est fondé sur l'étude des végétaux aquatiques pour évaluer la qualité globale des cours d'eau et détermine le degré trophique du milieu lié à sa teneur en nutriments (phosphate, azote) et en polluant organiques. Ce relevé s'effectue en période d'étiage, lorsque le régime hydrologique est stable afin de donner lieu à un développement adéquat de la végétation. Sur le terrain, un inventaire exhaustif des végétaux aquatiques est alors mené par les opérateurs. Le taux de recouvrement des différents taxons est quant à lui relevé, tout comme les caractéristiques morphologiques, le substrat, les différents faciès d'écoulements et les conditions hydrologiques. La note est calculée à partir de la liste floristique et de la combinaison de trois composantes :

- La côte spécifique (CS) : représentant le statut trophique
- Le coefficient d'abondance (K) : pourcentage de recouvrement
- Le coefficient de sténocécie (E) : représentant l'amplitude écologique de l'espèce par rapport au niveau trophique du milieu

3.2.5 – Le suivi de plantation

Dans un grand nombre de projet de restauration de cours d'eau, des plantations sont à prévoir, que cela soit pour des techniques de stabilisation de berges en génie végétal, ou bien pour la création d'une nouvelle ripisylve de part et d'autre de la rivière. Il est nécessaire qu'un suivi soit effectué afin de s'assurer tout d'abord que le taux de reprise des boutures est en accord avec les résultats attendus. De plus les opérateurs chargés de ce suivi pourront être menés à effectuer des inventaires floristiques afin de s'assurer qu'aucune espèce exotique ne s'installe spontanément. Dans le cas où une espèce invasive est avérée, les opérateurs seront chargés de son arrachage. Aujourd'hui les cours d'eau français sont menacés par le développement rapide et l'expansion géographique des espèces exotiques envahissantes provenant d'Asie ou d'Amérique telles que :

- La renouée du Japon (*Reynoutria japonica*)
- La solidage géante (*Solidago gigantea*)
- L'élodée du Canada (*Elodea canadensis*)
- La jussie à grandes feuilles (*Ludwigia grandiflora*)



Figure 10 : photographie *Reynoutria japonica*
© Lowthar W.



Figure 11 : photographie *Solidago gigantea*
© O. Tackenberg

Ces espèces sont très concurrentielles, et souvent plus tolérantes aux conditions climatiques (sécheresse, froid) et à la teneur en polluants que les espèces indigènes, ce qui favorise leur prolifération. L'introduction de l'élodée du Canada et de l'élodée de Nuttall peuvent provoquer une augmentation du pH, cela peut alors être néfaste pour les autres organismes. Cela engendre par conséquent une diminution des populations de certaines espèces patrimoniales sur l'hexagone telles que :

- La petite massette (*Typha minima*)
- Le callitriche à crochets (*Callitriche hamulata*)



Figure 12 : photographie *Typha minima*
© Z. Rohrkolben



Figure 13 : photographie *Callitriche hamulata*
© K. Lauber

5 – Synthèse et retour personnel

Les interventions sur la morphologie des cours d'eau sont des opérations souvent très délicates et difficilement maîtrisables. Les conséquences post-travaux peuvent être lourdes, d'où la nécessité de s'approprier l'environnement avant le début du projet :

- Des études : géotechniques, hydrauliques peuvent être envisagées
- Des inventaires : déterminer les espèces cibles, les espèces rares ou en danger à protéger
- Des visites de sites : afin de comprendre les enjeux (protection des habitations face aux crues, érosions, pollutions...)

Tout ceci doit s'accompagner de suivis, aussi bien biologiques que morphologiques afin de s'assurer de la pérennité de l'ouvrage.

En ce qui concerne le Projet de Fin d'Etudes (PFE), initié début octobre 2023, notamment dû au fait que je suis en échange inter-Polytech ce semestre, cela a été enrichissant et m'a apporté de nouvelles connaissances dans le domaine vers lequel je souhaite m'orienter après mes études : la revitalisation des cours d'eau. Néanmoins, plusieurs limites entrent en jeu pour le sujet traité :

- La disponibilité des données de suivis : très peu de données sont consultables en ligne, il est possible de se demander pourquoi ?
 - Les entreprises n'ont peut-être pas envie de publier des résultats de suivis qui iraient à l'encontre des attentes visées ?
 - Les résultats de suivis sont peut-être trop difficiles à interpréter pour un citoyen lambda ?
- Le manque de temps : seulement 3 mois pour réaliser entièrement le PFE, en effet ce semestre a été intense et la collecte des données a été gourmande en temps, bien qu'elle ne soit même pas suffisante à mon goût.

Selon moi il devrait y avoir une plateforme mise en place par le gouvernement où serait publiées toutes les données relatives aux suivis. Cette plateforme devrait être libre et facile d'accès et regrouperait les suivis, les inventaires réalisés sur le territoire français.

6 – Bibliographie

- Adam, Ph., Malavoi, J.R. & Debiais, N., 2008. Manuel de restauration hydromorphologique des cours d'eau. Agence de l'Eau Seine-Normandie. DEMAA - Service eaux de surface. Manuel : 61 p. ; fiches techniques : 100 p
- Frossard P.-A., Jund S., Lachat B., Paillard C., 2000. Guide de gestion de la végétation des bords de cours d'eau, Agence de l'Eau Rhin-Meuse.

7 – Sitographie

- CAPITALE BIODIVERSITE : Renaturation de l'Yerres sur la commune de Boussy-Saint-Antoine. Disponible sur : [Renaturation de l'Yerres sur la commune de Boussy-Saint-Antoine | Capitales Françaises de la Biodiversité \(capitale-biodiversite.fr\)](https://www.capitale-biodiversite.fr/experiences/renaturation-de-l-erres-sur-la-commune-de-boussy-saint-antoine) (04/10/2022)
- CAPITALE BIODIVERSITE : Renaturation du ruisseau de Beaume-Haie. Disponible sur : <https://www.capitale-biodiversite.fr/experiences/renaturation-du-ruisseau-de-beaume-haie> (04/10/2022)
- CAPITALE BIODIVERSITE : Réouverture d'une rivière : Le Croult. Disponible sur <https://www.capitale-biodiversite.fr/experiences/reouverture-dune-riviere-le-croult> (04/10/2022)
- CAPITALE BIODIVERSITE : Réouverture du cours de l'Iton. Disponible sur <https://www.capitale-biodiversite.fr/experiences/reouverture-du-cours-de-liton> (04/10/2022)
- CAPITALE BIODIVERSITE : Restauration de la continuité écologique de l'Yvette. Disponible sur : [Restauration de la continuité écologique de l'Yvette | Capitales Françaises de la Biodiversité \(capitale-biodiversite.fr\)](https://www.capitale-biodiversite.fr/experiences/restauration-de-la-continuite-ecologique-de-l-yvette) (04/10/2022)
- CAPITALE BIODIVERSITE : Restauration des continuités écologiques et renaturations de berges. Disponible sur : <https://www.capitale-biodiversite.fr/experiences/restauration-des-continuites-ecologiques-et-renaturation-de-berges> (04/10/2022)
- CAPITALE BIODIVERSITE : Restauration et renaturation de la Seille. Disponible sur : <https://www.capitale-biodiversite.fr/experiences/restauration-et-renaturation-de-la-seille> (04/10/2022)
- CAPITALE BIODIVERSITE : Restauration des continuités écologiques et renaturations de berges. Disponible sur : <https://www.capitale-biodiversite.fr/experiences/restauration-des-continuites-ecologiques-et-renaturation-de-berges> (04/10/2022)
- CAPITALE BIODIVERSITE : Rétablissement de la continuité écologique d'une rivière. Disponible sur <https://www.capitale-biodiversite.fr/experiences/retablissement-de-la-continuite-ecologique-dune-riviere> (04/10/2022)

- CAPITALE BIODIVERSITE : Rétablissement de la continuité écologique d'une rivière urbaine. Disponible sur [Restauration de la continuité écologique d'une rivière urbaine | Capitales Françaises de la Biodiversité \(capitale-biodiversite.fr\)](http://Capitales Françaises de la Biodiversité (capitale-biodiversite.fr)) (05/10/2022)
- CAPITALE BIODIVERSITE : Rétablissement de la continuité piscicole sur l'Ardières – restauration de continuité écologique sur un cours d'eau. Disponible sur <https://www.capitale-biodiversite.fr/experiences/retablissement-de-la-continue-piscicole-sur-lardieres-restauration-de-continue> (04/10/2022)
- COMMUNAUTE DE COMMUNES DU PAYS DE BITCHE : Inauguration des travaux de renaturation de la Horn. Disponible sur : <https://www.cc-paysdebitche.fr/inauguration-des-travaux-de-renaturation-de-la-horn/> (07/10/2022)
- EAU SEINE NORMANDIE : Travaux de renaturation de la Vesle. Disponible sur : <https://www.eau-seine-normandie.fr/node/3722> (08/10/2022)
- ELECTRICITE DE FRANCE (EDF) : Lancement des travaux de renaturation de la Moyenne Romanche. Disponible sur <https://www.edf.fr/hydraulique-isere-drome/lancement-des-travaux-de-renaturation-de-la-moyenne-romanche> (29/10/2022)
- ETABLISSEMENT PUBLIC D'AMENAGEMENT ET DE GESTION DES EAUX DU BASSIN DU LOING : Travaux de renaturation du Loing à la suite de l'effacement du déversoir de l'Ancien Moulin. Disponible sur : <https://www.epageloing.fr/index.php/le-bassin-du-loing/les-actions-de-l-epage/74-travaux-de-renaturation-du-loing-suite-a-l-effacement-du-deversoir-de-l-ancien-moulin> (05/10/2022)
- ETABLISSEMENT PUBLIC D'AMENAGEMENT ET DE GESTION DES EAUX DU BASSIN DU LOING : Travaux de restauration de la continuité du Lunain   Montacher Villegardin. Disponible sur : <https://www.epageloing.fr/index.php/le-bassin-du-loing/les-actions-de-l-epage/131-travaux-de-restauration-de-la-continue-ecologique-sur-la-bezonde-a-saint-maurice-sur-fessard> (05/10/2022)
- ETABLISSEMENT PUBLIC D'AMENAGEMENT ET DE GESTION DES EAUX DU BASSIN DU LOING : Travaux de restauration de la continuité écologique en amont du Moulin Pousserau   Château Renard. Disponible sur : <https://www.epageloing.fr/index.php/le-bassin-du-loing/les-actions-de-l-epage/120-travaux-de-restauration-de-la-continue-en-amont-du-moulin-poussereau-a-chateau-renard-ecologique> (05/10/2022)
- ETABLISSEMENT PUBLIC D'AMENAGEMENT ET DE GESTION DES EAUX DU BASSIN DU LOING : Travaux de restauration de la continuité écologique sur la Bezonde   Saint Maurice sur Fessard. Disponible sur : <https://www.epageloing.fr/index.php/le-bassin-du-loing/les-actions-de-l-epage/131-travaux-de-restauration-de-la-continue-ecologique-sur-la-bezonde-a-saint-maurice-sur-fessard> (05/10/2022)
- ETABLISSEMENT PUBLIC D'AMENAGEMENT ET DE GESTION DES EAUX DU BASSIN DU LOING : Travaux de restauration hydromorphologique du Betz   Bazoches sur le Betz. Disponible sur : <https://www.epageloing.fr/index.php/le-bassin-du-loing/les-actions-de-l-epage/136-travaux-de-restauration-hydromorphologique-du-betz-a-bazoches-sur-le-betz> (05/10/2022)

- FEDERATION DEPARTEMENTALE DE PECHE (60) : Restauration de la Verse Noyon et Beaurains-lès-Noyons. Disponible sur : [Travaux de renaturation de la Verse - Fédération pêche de l'Oise \(peche60.fr\)](https://www.peche60.fr) (28/10/2022)
- JURA NATURE SERVICES : Aménagement du barrage Jacquot en vue du rétablissement de la continuité écologique à Bucey-les-Gy (70). Disponible sur : <https://www.juranaturaservices.fr/references/amenagement-barrage-jacquot-bercey-les-gy/> (03/10/2022)
- JURA NATURE SERVICES : Arasement d'un seuil sur la Saine à Foncine-le-Haut (39). Disponible sur : <https://www.juranaturaservices.fr/references/foncine-le-haut/> (03/10/2022)
-
- JURA NATURE SERVICES : Brion : reméandrement du Bief-sous-Roche et de ses trois affluents (01). Disponible sur : <https://www.juranaturaservices.fr/references/brion/> (03/10/2022)
- JURA NATURE SERVICES : Reméandrement de la Lemme-Amont (39). Disponible sur : <https://www.juranaturaservices.fr/references/lemme-amont/> (17/10/2022)
- JURA NATURE SERVICES : Reméandrement de la Lemme-Aval et de ses 3 affluents (39). Disponible sur : <https://www.juranaturaservices.fr/references/lemme-aval/> (17/10/2022)
- NATURE 2050 : Renaturation de la rivière de l'Ozon. Disponible sur : <https://www.nature2050.com/projet/renaturation-de-la-riviere-de-lozon/> (29/10/2022)
- MAIRIE DE CREST : Renaturation de la rivière Saleine. Disponible sur : <http://www.mairie-crest.fr/Restauration-de-la-riviere-Saleine> (08/10/2022)
- OFFICE FRANÇAIS DE LA BIODIVERSITE (OFB) : Suivre la morphologie des cours d'eau. Disponible sur : [onema-fiche-hydromorpho.pdf \(ofb.fr\)](https://onema.fiche-hydromorpho.pdf) (10/01/2023)
- SIMA COISE : Travaux de restauration d'un tronçon de l'Arbiche à Chevrières. Disponible sur <http://www.sima-coise.fr/Travaux-de-renaturation-d-un.html?retour=back> (03/10/2022)
- SINBIO INGENIERIE ECOLOGIQUE : Renaturation de la Mouge à Azé (71). Disponible sur <http://sinbio.fr/realisations/renaturation-de-la-mouge-a-aze-71> (03/10/2022)
- SINBIO INGENIERIE ECOLOGIQUE : Renaturation de la Trye dans le marais de Bresle (60). Disponible sur <http://sinbio.fr/realisations/renaturation-de-la-trye-dans-le-marais-de-bresles-60/> (03/10/2022)
- SINBIO INGENIERIE ECOLOGIQUE : Renaturation du l'Aunette dans le marais de Bray (60). Disponible sur <http://sinbio.fr/realisations/renaturation-de-launette-dans-le-marais-de-bray-60/> (03/10/2022)
- SINBIO INGENIERIE ECOLOGIQUE : Renaturation urbaine du canal du moulin à Gerbéviller (54). Disponible sur <http://sinbio.fr/realisations/renaturation-du-canal-du-moulin-a-gerbeviller-54/> (03/10/2022)
- SYNDICAT MIXTE DES BASSES VALLEES ANGEVINES ET DE LA ROMME (SMBVAR) : Fin des travaux de renaturation du ruisseau du Marcé. Disponible sur :

<https://www.smbvar.fr/actualites/fin-des-travaux-de-renaturation-du-ruisseau-de-marce>
(17/10/2022)

- SYNDICAT MIXTE DES BASSES VALLEES ANGEVINES ET DE LA ROMME (SMBVAR) : Lancement des travaux de renaturation du ruisseau de Marcé après une année d'étude de dimensionnement du projet. Disponible sur : <https://www.smbvar.fr/actualites/lancement-des-travaux-de-renaturation-du-ruisseau-de-marce-apres-une-annee-detude-de-dimensionnement-du-projet> (17/10/2022)
- UNION DES SYNDICATS D'AMENAGEMENT ET DE GESTION DES MILIEUX AQUATIQUES : Renaturation du ru des Anorelles dans la traversée d'Anor. Disponible sur : <https://www.union-des-syndicats.fr/Projetsencours/fiche/id/29> (01/11/2022)
- VILLE DE MAULE : Renaturation de la Mauldre. Disponible sur : <https://www.maule.fr/a-la-une/626-renaturation-de-la-mauldre> (14/10/2022)

Directeur.rice de recherche :

Michel Bacchi

Arthur GUIBERT

PFE/DAE5

IMA

2022-2023



© BioSaule

Titre : Analyse de données

Sous-titre : de suivis biologiques et morphologiques après des travaux de restauration

Résumé :

Le présent rapport porte sur le sujet de la restauration éco-morphologique des cours d'eau, et des suivis possibles à adopter afin d'obtenir des résultats sur la réussite des travaux. Les projets de restaurations sont initiés dans l'objectif d'améliorer l'état écologique de la rivière mais peuvent également répondre à des enjeux territoriaux. La disponibilité des résultats de suivis étant relativement faible, ce mémoire s'articule principalement sur les suivis à préconiser.

Mots Clés : *renaturation, suivis, morphologie, biologie*