

Comment la mise en place de suivis doit
être réalisée afin d'évaluer les travaux
de restauration des milieux aquatiques ?

*Étude de cas sur le bassin versant du
Semnon*

STAGE DAE 5 – IMA 2016/2017

LE QUELLEC Kenan

Avril-Août 2017

Organisme d'accueil : Syndicat Intercommunal du bassin du Semnon

Tutrice universitaire : DI PIETRO Francesca

Tutrice professionnelle : MAY Camille

Mots-clés : Suivi – Indicateur – Milieux aquatiques – Restauration – Gestionnaire

Situation géographique : Janzé – Ille-et-Vilaine – Bretagne – France

Remerciements

C'est avec plaisir que je réserve ces quelques lignes en signe de gratitude et de profonde reconnaissance à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'aboutissement de ce travail.

Je voudrais tout d'abord remercier ma maître de stage **Camille May** pour son encadrement, sa disponibilité ainsi que ses conseils judicieux tout au long de mon stage. Grâce à son encadrement, j'ai également pu découvrir de nombreuses facettes du métier de technicien de rivière et ainsi enrichir mon expérience professionnelle.

Je remercie également **Alexandra Hubert** et **Mikaël Le Bihan**, agents de l'Agence Française pour la Biodiversité, pour leurs enseignements et conseils dans la mise en place de suivis de travaux de restauration hydromorphologique.

J'aimerais aussi remercier **Sophie Duchange** et **Alexis Jamet**, employés au Syndicat, pour leur convivialité et leur bonne humeur.

Je remercie également tous les intervenants extérieurs que j'ai croisés durant mon stage avec qui j'ai pu échanger et acquérir de nouvelles connaissances dans le domaine des milieux aquatiques.

Résumé

Le 23 octobre 2000, l'Europe a adopté la Directive Cadre sur l'Eau. Son objectif général est l'atteinte du « bon état » ou le « bon potentiel » des masses d'eau d'ici 2015 sur tout le territoire européen (reporté à 2021 et 2027). Bien que la DCE ait entraîné une augmentation des travaux de restauration hydromorphologique, des données sur les réponses écologiques suite aux actions sont encore rares. La mise en place de suivis est pourtant indispensable pour faire évoluer les techniques de restauration, évaluer leur succès et déterminer les facteurs conditionnant leur réussite ou leur échec. Au vu de l'intérêt que constituent ces suivis, il est nécessaire de développer des indicateurs et des méthodes de suivis de la restauration hydromorphologique des cours d'eau. C'est dans ce contexte qu'en 2016, l'Agence Française pour la Biodiversité et cinq autres organismes publics ont commencé la rédaction d'un guide ayant pour objectif de faciliter la mise en place de suivis sur projets de restauration hydromorphologique pour les gestionnaires des milieux aquatiques. Ce stage avait pour objectif de tester ce « guide » avant qu'il ne puisse être rendu public en mettant en place in situ les indicateurs et en testant la méthode d'application et l'analyse en bureau. Au cours de ce stage, des suivis avant travaux de restauration ont alors été réalisés sur deux cours d'eau et six ouvrages faisant partie du CTMA 2016-2020 du Syndicat Intercommunal du Bassin du Semnon. Ce rapport traitera d'un cas d'étude se limitant à 500 m d'un des cours d'eau suivis. Cette étude présentera la méthode utilisée pour la mise en place de suivis, les résultats des indicateurs utilisés, les points positifs et négatifs de chaque indicateur et l'intérêt d'une standardisation de la mise en place de suivis.

Mots-clés : Suivi – Indicateur – Milieux aquatiques – Restauration – Gestionnaire

Abstract

On 23 October 2000, Europe passed the Water Framework Directive. Its main objective is to achieve the "good status" or "good potential" of water bodies by 2015 throughout Europe (postponed to 2021 and 2027). Although the WFD has led to an increase of hydromorphological restoration works, data on ecological responses following actions are still rare. Nevertheless, ecological follow-ups are essential to improve the restoration techniques, evaluate their success and determine the factors of their success or failure. For these follow-ups, it is necessary to develop indicators and methods for monitoring the hydromorphological restoration of rivers. It is in this context that, in 2016, the French Agency for Biodiversity and five other public bodies began the writing of a guide to facilitate the implementation of follow-ups of hydromorphological restoration projects for managers of aquatic environments. The objective of this internship was to test this "guide" by trying the indicators and testing the method before it could be made public. During this internship, follow-ups before restoration works were made on two rivers and six hydraulic structures of the Aquatic Environment Territorial Contract 2016-2020 of the Intercommunal Association of the Semnon Basin. This report focused on 500 m of one of these rivers. This study will present the method used to set up the follow-ups, the results of the indicators used, the positive and negative points of each indicator and the interest of standardizing them.

Keywords : Follow-up – Indicator – Aquatic environments – Restoration – Manager

Sommaire

Sommaire	1
Liste des sigles	2
Présentation de la structure.....	3
I) Introduction	4
II) Matériels et Méthodes.....	7
1) Présentation du site d'étude.....	7
2) Présentation de la clé méthodologique du « guide »	8
3) Présentation du matériel et des méthodes utilisés par indicateur.....	10
a) Phase terrain	10
b) Phase bureau.....	12
III) Résultats.....	12
1) Application de la clé méthodologique du « guide ».....	12
2) Résultats de la mise en place de suivis sur le cas d'étude	14
a) Tronçon 1.....	14
b) Tronçon 3	15
IV) Discussion.....	18
1) Discussion des résultats et des indicateurs.....	18
2) Discussion de la clé méthodologique du « guide »	21
3) La standardisation	22
V) Conclusion.....	24
Bibliographie	25
Liste des figures.....	28
Liste des tableaux.....	28
Annexes	29
Table des matières	39

Liste des sigles

CARHYCE : CARactérisation HYdromorphologique des Cours d'Eau

CRESEB : Centre de Ressources et d'Expertise Scientifique sur l'Eau de Bretagne

CTMA : Contrat Territorial Milieux Aquatiques

DCE : Directive Cadre sur l'Eau

GPS : Global Positioning System (= Système de localisation mondial)

IAV : Institut d'Aménagement de la Vilaine

IBG – DCE : Indice Biologique Global adapté à la Directive Cadre sur l'Eau

IGN : Institut Géographique National

IPR : Indice Poisson Rivière

MES : Matière En Suspension

SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux

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

SIBS : Syndicat Intercommunal du Bassin du Semnon

SIG : Système d'Information Géographique

SYLOA : SYndicat LOire Aval

WFD : Water Framework Directive

Présentation de la structure

Le Syndicat Intercommunal du Bassin du Semnon a été créé en 1979 à la suite de deux arrêtés inter-préfectoraux d'Ille-et-Vilaine et de Loire Atlantique. A sa création, son territoire englobait 15 communes. A présent, 32 des 37 communes du bassin versant du Semnon réparties sur les départements d'Ille-et-Vilaine, de Loire Atlantique et de Mayenne sont adhérentes au syndicat (*Figure 1*).

Le Syndicat est constitué d'un **bureau syndical** (5 membres élus parmi les délégués syndicaux), d'un **comité syndical** (délégués syndicaux élus représentant les communes adhérentes au Syndicat), de **commissions thématiques** (différents usagers du bassin versant) et d'un **personnel syndical**. Ces différentes parties interagissent entre elles pour décider et mettre

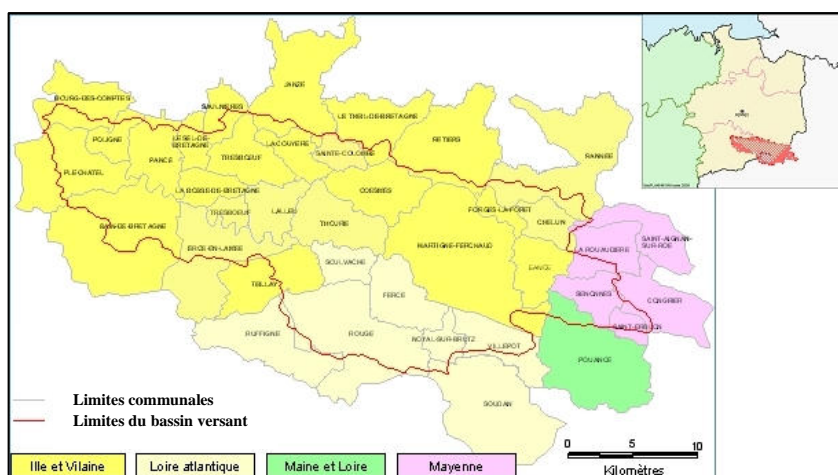


Figure 1 : Bassin versant du Semnon

Source : <http://www.ville-martigneferchaud.fr/Le-semnon.htm>

en œuvre la politique de gestion de l'eau sur le territoire du SIBS. Le personnel syndical se compose de trois salariées mettant en place les actions des différentes commissions thématiques selon les trois grands axes : « **Agriculture** », « **Collectivités** » et « **Milieus aquatiques** ». Ces actions doivent répondre à la Directive Cadre sur l'Eau, fixant un « bon état » des masses d'eaux pour 2015 (reporté à 2021 et 2027), et être en accord avec les directives du SDAGE Loire-Bretagne et du SAGE Vilaine.

Les actions avec le monde agricole ont pour but de faire évoluer les pratiques agricoles vers des pratiques plus soucieuses de l'environnement. Les missions auprès des collectivités ont pour objectif l'amélioration de la gestion des eaux pluviales, la diminution de l'utilisation des produits phytosanitaires, l'éducation à l'environnement des scolaires et la sensibilisation du grand public. Enfin, les actions sur les milieux aquatiques sont centrées sur les volets restauration de l'hydromorphologie et de la continuité écologique des cours d'eau ainsi que diverses mesures de préservation et d'entretien des milieux aquatiques.

I) Introduction

L'impact des activités anthropiques (barrages, extraction de granulats, chenalisation) sur les processus physiques et écologiques des cours d'eau a longtemps été observé dans de nombreux pays. Face à ces dégradations environnementales, l'amélioration des milieux est devenue une priorité des sociétés occidentales (Morandi *et al.*, 2014 ; Gregory, 2006). Au cours des dernières décennies, de nombreux pays développés dans le monde ont alors commencé à réaliser des **projets de restauration de milieux aquatiques** (Kail, 2015 ; Roni *et al.*, 2008) afin de retrouver un bon fonctionnement des écosystèmes. D'après la Society for Ecological Restoration International, la restauration d'un écosystème est définie comme un processus d'assistance à l'autorégénération d'un écosystème qui a été dégradé, endommagé ou détruit. Ces actions sont primordiales pour l'Homme étant donné que ces milieux fournissent une gamme de services, appelés services écosystémiques¹, dont une grande part est nécessaire à la survie de l'homme (De Groot *et al.*, 2012).

Certaines nations ont alors mis en place des directives liées à la qualité des masses d'eaux. Les États-Unis ont d'abord rédigé le Clean Water Act en 1972, le Canada a ensuite mis en place le Canadian Water Act en 1985, et plus récemment l'Europe a adopté en 2000 la Directive Cadre sur l'Eau (Morandi *et al.*, 2014). Cette dernière établit un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. Elle définit un moyen de gestion et de protection des eaux par grand bassin hydrographique au plan européen avec une perspective de développement durable. Son objectif général est l'atteinte du « **bon état** » ou le « **bon potentiel** » des masses d'eau (Figure 2) d'ici 2015 sur tout le territoire européen (reporté à 2021 et 2027 ; Données issues du site internet : eaufrance.fr).

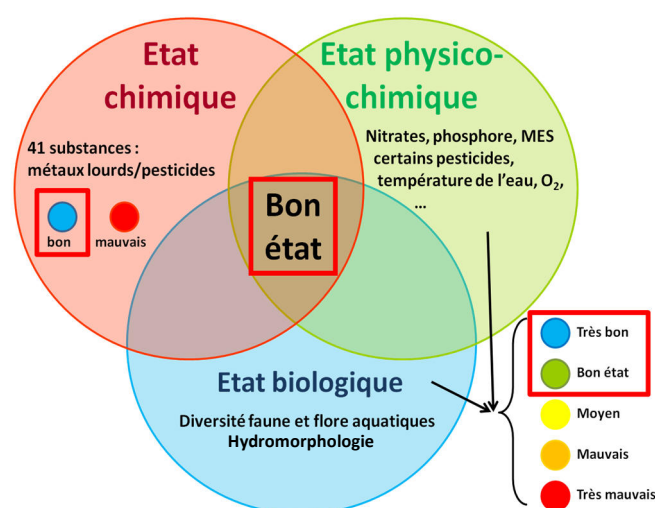


Figure 2 : Le bon état écologique des masses d'eau demandé par la DCE

Source : Syndicat Intercommunal du Bassin du Semnon

Pour atteindre cet objectif de « bon état », la majorité des cours d'eau européens nécessite des projets de restauration (Lorenz *et al.*, 2012). Malgré les efforts engagés, 60% des cours d'eau européens n'atteignent pas les objectifs de la DCE (Haase *et al.*, 2013). Bien que la DCE ait entraîné une augmentation des travaux de restauration hydromorphologique, des données sur les réponses écologiques suite aux actions sont encore rares (Haase *et al.*, 2013). Une analyse est pourtant essentielle afin de connaître les facteurs conduisant à leurs succès ou à leurs échecs (Bazin et Barnaud, 2002).

Les partis scientifiques, économiques et politiques sont d'ailleurs en accord sur ce sujet et considèrent unanimement les suivis comme des éléments-clés à l'évaluation des coûts et des bénéfices de la

¹ Les services écosystémiques sont des contributions directes ou indirectes de l'écosystème au bien être des hommes (Données issues du site internet : biodiversity.europa.eu).

restauration (Downs et Kondolf, 2002). Récolter des résultats est primordial pour faire évoluer les futurs projets et maximiser les chances de réussite (Down et Kondolf, 2002 ; Palmer *et al.*, 2005 ; Roni 2005), cela même si les restaurations sont des échecs (Kondolf, 1998). Une augmentation des retours d'expériences de mise en place de suivis induirait la possibilité de s'appuyer sur des exemples concrets et démonstratifs de restauration de cours d'eau ayant fonctionné (Onema, 2012). Au vu de l'argent public dépensé dans les projets de restauration, il est nécessaire de pouvoir prouver le succès des actions sans quoi le soutien du public risque de diminuer, particulièrement quand d'importantes sommes d'argent sont utilisées (Woolsey *et al.*, 2007). La mise en place de suivis bien construite permettrait d'avoir une meilleure compréhension des trajectoires d'évolution écologique et hydromorphologique des cours d'eau aux actions de restauration (Kondolf, 1998). Un renforcement des connaissances entraînerait une meilleure compréhension du fonctionnement des cours d'eau, une amélioration des travaux de restauration et ainsi une meilleure valorisation et communication des résultats pouvant mener à une augmentation du soutien socio-politique.

Au vu de l'intérêt que constituent ces suivis, il est nécessaire de développer des **indicateurs** et des **méthodes** de suivis de la restauration des cours d'eau. Les indicateurs sont des grandeurs mesurables, pouvant aussi bien être biotiques qu'abiotiques, informant sur l'état d'un écosystème et sur les processus qui le régissent (Lorenz *et al.*, 1997 *dans* Woolsey *et al.*, 2005). Ils peuvent être utilisés pour une caractérisation quantitative, semi-quantitative ou qualitative des objectifs d'un projet de restauration (Woolsey *et al.*, 2005). Les indicateurs sont habituellement reliés à un objectif. La mesure se fait alors à une fréquence régulière en comparant les résultats obtenus avant et après les travaux de restauration (Gonzalez, 2015). Cette comparaison permet d'analyser l'évolution d'un paramètre (granulométrie, taux de colmatage) suite à une action de restauration.

La qualité de l'indicateur repose sur cinq critères : sa pertinence, sa validité, sa faisabilité, sa convivialité et sa fiabilité (Gonzalez, 2015). Un indicateur est pertinent s'il renseigne les effets des activités et s'il est utile pour apprécier les résultats obtenus. Pour qu'il soit valide, il doit pouvoir mesurer réellement et précisément ce qu'il doit mesurer en fonction de ce qui est visé. La faisabilité d'un indicateur est mesurée par sa facilité à obtenir et à produire. Les données doivent être accessibles au moment opportun et les opérations nécessaires pour les collecter et les traiter doivent présenter un rapport coût-avantage raisonnable. Pour qu'un indicateur soit convivial, il doit être simple, clair, facile à comprendre et à présenter. Et pour finir, un indicateur est fiable si ses résultats sont constants chaque fois qu'une mesure est prise dans des conditions identiques. La notion de fiabilité comprend aussi les notions de sensibilité et de robustesse de l'indicateur (Gonzalez, 2015).

Les indicateurs biologiques sont souvent préférés aux indicateurs physico-chimiques et hydromorphologiques, afin d'évaluer les effets des changements de conditions environnementales des eaux de surface (Bellinger et Sigee, 2010 *dans* Pander et Geist, 2013). Une des raisons est que l'amélioration de la biodiversité est souvent l'un des objectifs principaux des projets de restauration. De plus, les indicateurs biologiques sont plus compréhensibles pour le grand public (Woolsey *et al.*, 2005). Cependant, les suivis biologiques, ainsi que les suivis physico-chimiques qualifiant la qualité de l'eau, doivent être complétés par des indicateurs supplémentaires représentant un grand nombre de processus afin de favoriser une représentation plus profonde de la dynamique du cours d'eau (Woolsey *et al.*, 2005). Les indicateurs liés à l'hydromorphologie du cours d'eau doivent être choisis de façon à ce qu'ils répondent au plus grand nombre de propriétés possibles parmi celles proposées dans

la liste suivante : facilité de mesure et d'interprétation ; mesurable en continu et applicable dans une vaste zone géographique ; importance biologique et sociale ; intégratif ; peu coûteux ; non destructif ; existence de valeurs indicatives ou de référence ; en adéquation spatiale et temporelle avec la réalité du projet (Cairns *et al.*, 1993 ; Angermeier et Karr, 1994 ; Lorenz *et al.*, 1997 dans Woolsey *et al.*, 2005).

Certains ouvrages ont tenté de mettre en place des éléments de réponses pour réaliser l'évaluation de travaux de restauration, on peut notamment citer les ouvrages « Guide de suivi des projets de revitalisation fluviale » rédigé par Woolsey *et al.* en 2007 et « Éléments pour une harmonisation des concepts et des méthodes de suivi scientifique minimal » rédigé par Malavoi et Souchon en 2010. C'est dans ce contexte qu'en 2016, l'Agence Française pour la Biodiversité et cinq autres organismes publics² ont commencé la rédaction d'un ouvrage nommé « **Aide à l'élaboration d'un programme pour le suivi des travaux de restauration de cours d'eau (continuité et hydromorphologie) : Guide à l'usage des gestionnaires de milieux aquatiques pour la mise en place de suivi des travaux de restauration de cours d'eau** »³ (Figure 3).

Le Syndicat Intercommunal du Bassin du Semnon a participé à la rédaction de ce « guide » en proposant un stage avec pour thématique « Élaboration d'une méthode pour la mise en place et la réalisation des suivis de travaux de restauration des cours d'eau – Étude de cas sur le bassin du Semnon ». Pascaline SEGUY, la stagiaire de l'année scolaire 2015/2016 a alors travaillé sur une méthode pour la mise en place de suivis. Suite à ce stage, le « guide » se compose d'une clé méthodologique pour la mise en place de suivis de restauration ainsi que d'une vingtaine de fiches protocolaires des différents indicateurs de suivis.

Le stage de cette année avait pour mission d'appliquer la clé méthodologique et les fiches protocolaires des indicateurs sur le territoire du bassin versant du Semnon. Ses objectifs étaient de critiquer et d'améliorer cette méthode, d'évaluer des indicateurs tout en répondant à la problématique du stage qui était « **Comment la mise en place de suivis doit être réalisée afin d'évaluer les travaux de restauration des milieux aquatiques ?** ». A la suite de cette étude de cas sur le bassin du Semnon, l'AFB aimerait avoir un retour de ce « test » afin de perfectionner le « guide » avant qu'il ne puisse être publié et applicable sur le territoire du bassin hydrogéographique Loire-Bretagne.



Figure 3 : Première de couverture de la version provisoire du 09/05/2017 du « guide »

Source : Agence Française pour la Biodiversité

² Agence de l'eau Loire-Bretagne, CRESEB, SIBS, IAV et SYLOA

³ Cet ouvrage sera appelé « guide » dans ce rapport

Débutant par de la lecture bibliographique, le stage a ensuite permis la création d'outils nécessaires à la réalisation de suivis (fiches terrain, fiches bureau, programmes Excel). Suite à cela, les suivis avant-travaux de l'année 2017 ont été réalisés ainsi que la critique des résultats et la rédaction du rapport.

Une fois le contexte présenté, la clé méthodologique et les indicateurs de suivis seront exposés. Les résultats des suivis avant-travaux du cas d'étude seront présentés puis traités. La discussion se poursuivra sur une réflexion de la clé méthodologique et des indicateurs de suivis exposant leurs points forts et leurs limites.

II) Matériels et Méthodes

1) Présentation du site d'étude

Le Semnon est un affluent rive gauche de la Vilaine situé dans le sud du département de l'Ille-et-Vilaine. Au cours de ce stage, la mise en place et la réalisation des suivis avant-travaux ont été réalisés sur deux cours d'eau et six ouvrages de son bassin versant.

Le cours d'eau étudié dans ce rapport est le **ruisseau de la Faroulais** (Figure 4). C'est un cours d'eau de tête de bassin versant, c'est-à-dire qu'il a un rang de 1 ou 2 selon la classification de Strahler et qu'il est situé en amont d'un réseau hydrographique, en zone de source (Strahler, 1957). Il se situe sur la commune de Pléchâtel dans la partie aval du bassin versant. Son cours principal a une longueur de 5000 m et un réseau hydrographique d'environ 8750 m. Le ruisseau de la Faroulais fait partie du CTMA 2016-2020 du bassin du Semnon. Il va être restauré en septembre 2017 avec pour objectif principal **l'amélioration de la biodiversité**. En effet, ce ruisseau abrite des populations de *Salmo trutta fario* (Annexe 1) et représente alors un fort intérêt écologique.

Le ruisseau de la Faroulais a été divisé en neuf tronçons homogènes avec pour chacun d'entre eux des techniques de restauration propres à leur état. Le **cas d'étude** présenté dans ce rapport se limite à deux des neuf tronçons (tronçons 1 et 3), représentant environ 500 m de linéaire de cours d'eau. Ces deux tronçons ont été choisis car la combinaison de leurs suivis regroupe l'ensemble des indicateurs réalisés au cours de ce stage.

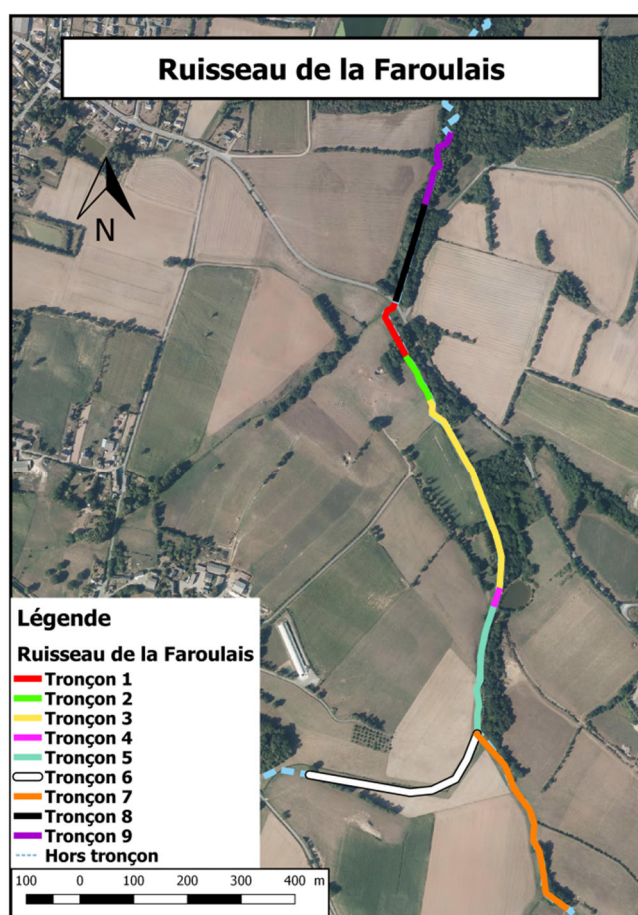


Figure 4 : Localisation des tronçons du ruisseau de la Faroulais

2) Présentation de la clé méthodologique du « guide »

Au cours du précédent stage réalisé au SIBS, une **clé méthodologique** a été réalisée (*Figure 5*). Elle est composée de 7 étapes devant toutes être réalisées pour la programmation et la réalisation de suivis de travaux de restauration hydromorphologique (seules les six premières étapes ont été expérimentées au cours de ce stage).

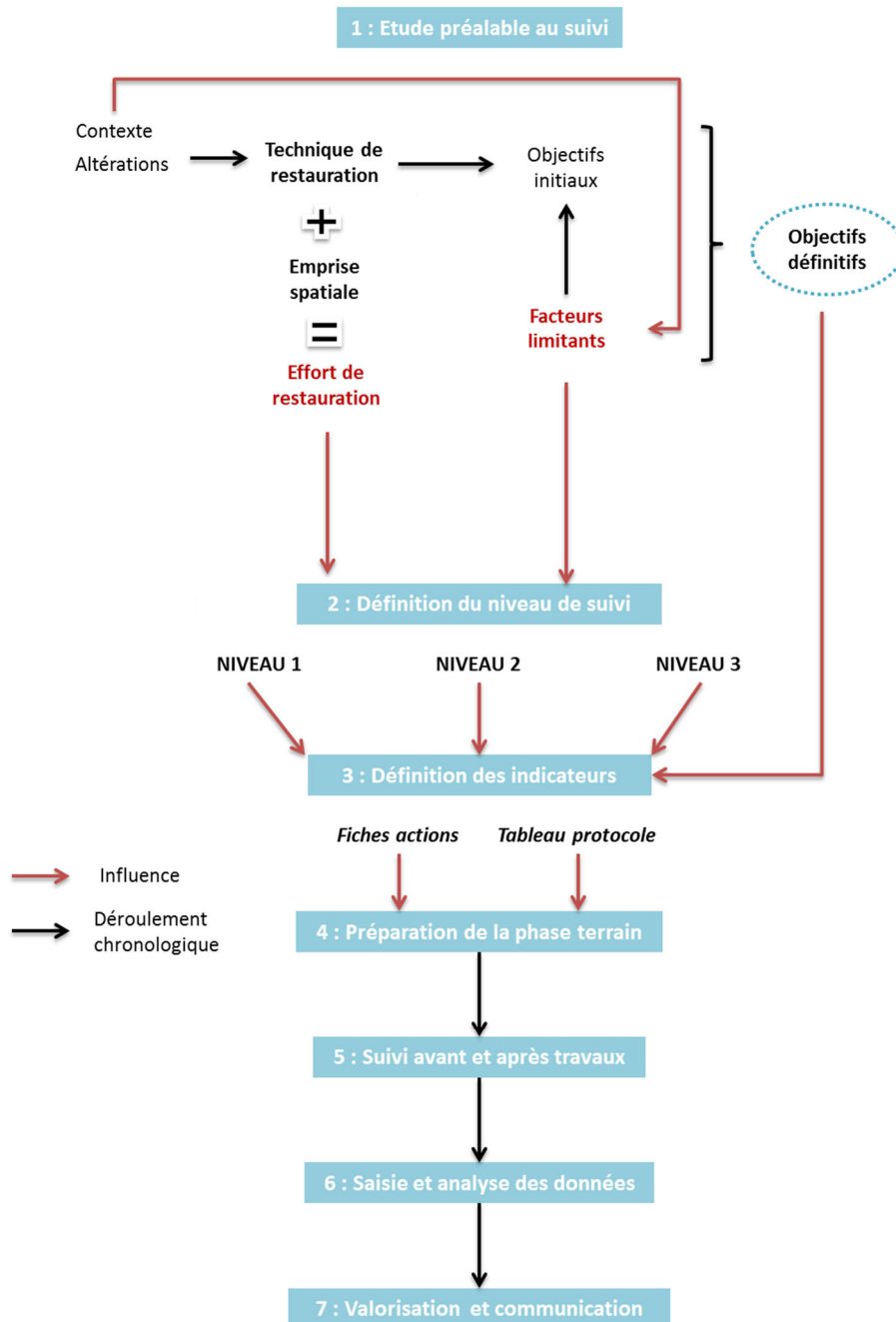


Figure 5 : Clé méthodologique pour la mise en place et réalisation des suivis des travaux de restauration de cours d'eau
Source : SEGUY, 2016.

→ Étape 1 : Étude préalable au suivi

Suite au diagnostic, le contexte, les altérations, les techniques de restauration et les objectifs initiaux ont pu être identifiés. Cette première étape définit les différents **facteurs limitants** (*Annexe 2*) pouvant impacter l'atteinte des objectifs initiaux et évalue l'**effort de restauration** (*Annexe 3*) en fonction de la technique de restauration mise en œuvre et du linéaire impacté par les travaux. Le but de cette étape est de pouvoir définir les **objectifs définitifs** (*Annexe 4*) de restauration permettant le choix des indicateurs de suivi.

→ Étape 2 : Choix du niveau de suivi

En fonction de l'effort de restauration évalué et des facteurs limitants identifiés, le gestionnaire définit un **niveau** de suivi (*Tableau 1*).

Trois niveaux de suivi ont été établis :

Tableau 1 : Choix du niveau de suivi en fonction des facteurs limitants et de l'effort de restauration

Source : SEGUY, 2016.

		Effort de restauration		
		Faible	Moyen	Fort
Facteurs limitants	Absence	1	2	3
	Présence	1	1 2	2

- Le niveau 1 : Niveau de suivi minimal constitué d'informations simples à collecter et à appliquer sur tous les projets de restauration mis en place pour restaurer l'hydromorphologie des cours d'eau.
- Le niveau 2 : Niveau de suivi intermédiaire à appliquer à des projets plutôt ambitieux après identification des facteurs limitants.
- Le niveau 3 : Niveau de suivi maximal visant la mise en place d'un Suivi Scientifique Minimal applicable pour les projets ambitieux dont les bénéfices écologiques ne se limitent pas à l'échelle d'une portion de cours d'eau mais peut s'étendre jusqu'à l'échelle d'un bassin versant (Données issues du site internet : onema.fr).

→ Étape 3 : Définition des indicateurs

A partir des techniques de restauration choisies, du niveau de suivi défini dans l'étape 2 et des objectifs définitifs (étape 1), le gestionnaire définit les **indicateurs** de suivi qu'il souhaite mettre en place. Pour ce faire, chaque technique de restauration est dotée d'une fiche avec la liste des indicateurs de suivi proposés pour chaque niveau de suivi en fonction des objectifs de restauration (*Annexe 5*). Les indicateurs choisis dans le « guide » sont pour la plupart issus de **bibliographie existante** (protocole CARHYCE, protocole Archambaud, ...).

→ Étape 4 : Préparation de la phase terrain

Pour cette étape, le gestionnaire doit préparer toute sa phase terrain en créant ses fiches terrains, ses cartes, son planning ainsi qu'en préparant son matériel de terrain. Pour ce stage, les fiches terrains types ont été créées à partir de tableurs Excel et les cartes ont été réalisées sur Qgis avec les couches IGN et Orthophotoplan.

→ Étape 5 : Réalisation des suivis avant et après travaux

Suite à l'identification des indicateurs, le gestionnaire réalise les **suivis** en relevant plusieurs données sur le terrain telles que les conditions hydrologiques et climatiques, la date, la situation géographique, le sens de réalisation (de l'aval vers l'amont ou de l'amont vers l'aval) afin de réaliser les suivis après-travaux dans les mêmes conditions. L'heure de début et l'heure de fin sont aussi relevées afin de pouvoir avoir une idée du temps nécessaire à chaque indicateur. Le guide à l'usage des gestionnaires de milieux aquatiques propose une fiche protocolaire pour la réalisation de chaque indicateur de suivi (*Annexe 6*).

→ Étape 6 : Saisie et analyse des données

Cette étape est la **bancarisation** et l'**exploitation** des données à travers la réalisation de différents moyens (indices, graphiques, ...) reflétant l'évolution des indicateurs de suivi. Les logiciels utilisés lors de cette étape sont les tableurs Excel et Qgis.

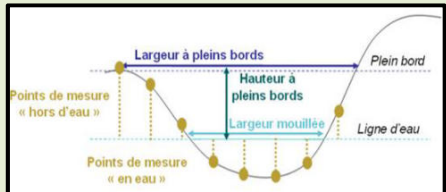
3) Présentation du matériel et des méthodes utilisés par indicateur

a) Phase terrain

Le tableau ci-dessous (*Tableau 2*) présente les **matériels** et **méthodes** utilisés pour chaque indicateur à partir des protocoles issus du « guide ». Il présente aussi les tronçons sur lesquels ces indicateurs ont été expérimentés.

Tableau 2 : Matériels et méthodes utilisés pour le cas d'étude

Indicateur	Matériel	Méthode	Tronçon
Photographie	Appareil photographique + Drapeau + Carte	- Prendre une photographie d'un plan représentatif du tronçon	Tronçon 1
		- Localiser le point sur le terrain avec un repère fixe (drapeau) puis le localiser sur cartographie SIG	Tronçon 3
Proportion de faciès d'écoulement	Roue d'arpenteur + Fiche terrain + Version simplifiée de la clé de détermination des faciès d'écoulement (Malavoï et Souchon, 2002) (<i>Annexe 7</i>)	- Mesurer le linéaire de chaque faciès d'écoulement	Tronçon 1
		- Définir le type d'écoulement pour chaque faciès d'après la clé	Tronçon 3

Classes granulométriques dominantes et accessoires par faciès	Roue d'arpenteur + Fiche terrain + Liste simplifiée des différentes classes granulométriques proposée pour le protocole CARHYCE (<i>Annexe 8</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - Mesurer le linéaire de chaque faciès d'écoulement - Définir les classes granulométriques dominantes et accessoires pour chaque faciès 	Tronçon 1 Tronçon 3
Indice de sinuosité	Décamètre + Piquets + Fiche terrain	<ul style="list-style-type: none"> - Mesurer la distance écologique (tracé du lit mineur) d'un point A à un point B - Mesurer la distance euclidienne (ligne droite) d'un point A à un point B - Réaliser le calcul : Indice de sinuosité = distance écologique/distance euclidienne 	Tronçon 1
Profil en travers	Perche télescopique + Perche + Mètre ruban + Niveau à bulle + Fiche terrain + Drapeau + Carte	 <p>Source : « Guide à l'usage des gestionnaires de milieux aquatiques »</p>	Tronçon 1 Tronçon 3
Rupture d'écoulement	Fiche terrain	<ul style="list-style-type: none"> - Remonter le tronçon en période sèche afin de voir si le cours d'eau est asséché 	Tronçon 3
Habitats complémentaires	Fiche terrain + Liste des différents types d'habitats complémentaires (<i>Annexe 9</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - Noter le nombre de chaque type d'habitats de la liste (avec chacun une taille minimale) observé en parcourant le tronçon 	Tronçon 3
Colmatage	Roue d'arpenteur + Fiche terrain	<ul style="list-style-type: none"> - Relever le taux de recouvrement par les limons du lit mineur pour chaque faciès d'écoulement <p>Le « guide » proposait comme protocole référent le protocole Archambaud</p>	Tronçon 3

En plus de ces indicateurs hydromorphologiques, des **suivis biologiques** (IPR et IBG-DCE) avant-travaux vont être sous-traités à des bureaux d'études. La Fédération de Pêche 35 réalisera aussi un suivi Vigitruite.

b) Phase bureau

Les résultats de chaque indicateur sont ensuite entrés dans des programmes Excel, créés au cours de ce stage, pour faciliter l'entrée des données et optimiser le temps de mise en forme. Ces programmes permettent la création automatique de graphiques suite à l'entrée des données dans les tableaux Excel. Les résultats sont ensuite directement insérés dans des fiches bureau facilitant la lecture des résultats et la comparaison avant et après travaux (*Annexe 10*). Le gestionnaire doit relever l'heure de début et l'heure de fin lors de la réalisation des indicateurs sur le terrain. Ces données permettent une estimation d'un **temps moyen** de réalisation pour chaque indicateur. Par la suite, la qualification de la **faisabilité technique**, de la **convivialité** et de la **validité** (définies à la page 5) de chaque indicateur peut être faite.

III) Résultats

Les six premières étapes de la clé méthodologique du « guide » ont été expérimentées au cours de ce stage. Dans cette partie, l'application de la clé méthodologique et les résultats des suivis avant-travaux vont être présentés pour les deux tronçons étudiés du ruisseau de la Faroulais.

1) Application de la clé méthodologique du « guide »

→ Étape 1 : Étude préalable au suivi

Les actions de restauration sélectionnées pour les deux tronçons sont du reméandrage pour le tronçon 1 et de la recharge du matelas alluvial, de la diversification des faciès d'écoulement et du déblai-remblai des berges pour le tronçon 3. Les trois objectifs initiaux définis suite à l'état des lieux sont de maintenir et diversifier les organismes et les habitats aquatiques, de réduire le colmatage et de restaurer les relations nappes/rivières/lit majeur. Le bassin versant du ruisseau de la Faroulais est exposé à trois facteurs limitants majeurs : une **occupation du sol fortement agricole** (avec la présence de drains), un **fort apport en Matières En Suspension** et une **mauvaise qualité physique du cours d'eau** (colmatage des fonds mettant en péril la reproduction de la *Salmo trutta fario*).

L'effort de restauration est différent pour ces deux tronçons :

- Tronçon 1 : L'effort de restauration est **faible** car une seule technique de restauration est utilisée et le linéaire d'intervention est inférieur à 100 fois la largeur plein bord.
- Tronçon 3 : L'effort de restauration est **moyen** car trois techniques de restauration sont couplées et le linéaire d'intervention est supérieur à 100 fois la largeur plein bord.

Au vu des efforts de restauration et des facteurs limitants, les objectifs définitifs sont de **maintenir et de diversifier les organismes et les habitats aquatiques**. La réduction du colmatage et la restauration des relations nappes/rivières/lit majeur deviennent des objectifs secondaires car l'occupation du sol fortement agricole risque de rendre l'atteinte de ces objectifs difficile.

→ Étape 2 : Choix du niveau de suivi

Conformément au Tableau 1, la présence de facteurs limitants et les niveaux d'effort de restauration font que le niveau de suivi du tronçon 1 est de **1** et que le niveau de suivi du tronçon 3 est de **2**. Lorsqu'il y a la présence de facteurs limitants et un effort de restauration de niveau moyen, le niveau de suivi peut être de 1 ou de 2. Pour le tronçon 3, le niveau de suivi choisi est de **2** car c'est sur ce tronçon que se feront les suivis biologiques du ruisseau de la Faroulais (IPR, IBG-DCE et suivi Vigitruite).

→ Étape 3 : Définition des indicateurs

Le choix des indicateurs de suivi pour les deux tronçons étudiés est légèrement différent de ce qui est proposé par les fiches facilitant le choix des indicateurs (Annexe 5). Les indicateurs sont :

- Tronçon 1 : Suivi photographique, proportion des faciès d'écoulement, classes granulométriques dominantes et accessoires par faciès, indice de sinuosité et profil en travers.
- Tronçon 3 : Suivi photographique, rupture d'écoulement, habitats complémentaires, proportion des faciès d'écoulement, classes granulométriques dominantes et accessoires par faciès, taux de colmatage et profil en travers.

→ Étape 4 : Préparation de la phase terrain

Les fiches utilisées sont celles qui ont été créées au cours du stage (Annexe 11). Les programmes pourront ensuite être partagés aux gestionnaires grâce à l'AFB permettant une standardisation de la préparation de la phase terrain.

→ Étape 5 : Réalisation des suivis avant-travaux sur le terrain

→ Étape 6 : Saisie et analyse des données

Une fois les données entrées dans les programmes informatiques, les résultats sont automatiquement mis en forme. Des fiches bureaux ont été créées afin de pouvoir rassembler et comparer les résultats des indicateurs avant et après travaux de restauration (Annexe 10). La prochaine partie présente les résultats des indicateurs de suivi des tronçons 1 et 3.

2) Résultats de la mise en place des suivis sur le cas d'étude

a) Tronçon 1

Pour le tronçon 1 du ruisseau de la Faroulais, une action de **reméandrage** sur une longueur de 130 m a été planifiée.

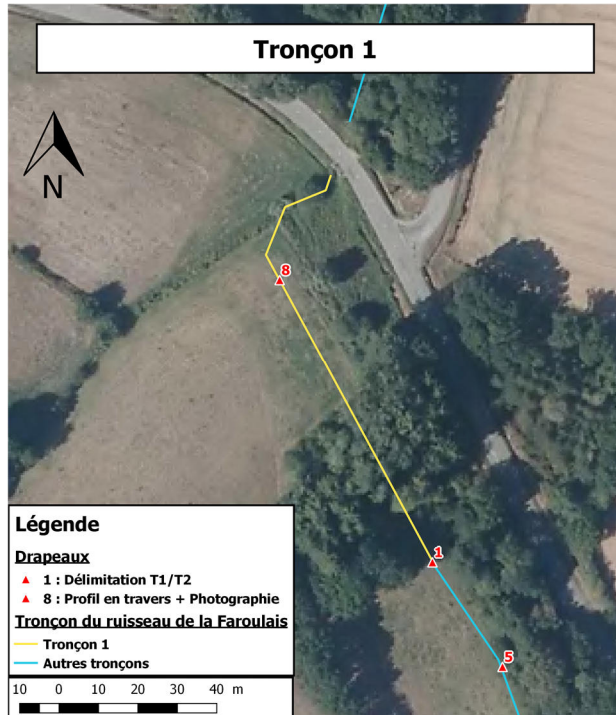


Figure 6 : Localisation géographique du tronçon 1



Figure 7 : Photographie du tronçon 1 prise vers l'aval

Le suivi photographique ayant été réalisé à un endroit représentatif du tronçon, il permet de montrer un tronçon rectiligne, colmaté et composé de plats lenticles.

La proportion de faciès d'écoulement informe que 78.1% du tronçon 1 est en plat lentique et 21.9% est en plat courant. Sur le linéaire de plat lentique, on retrouve une granulométrie dominante composée de limon. Alors que les granulométries dominantes des plats courants sont de l'argile et des graviers.

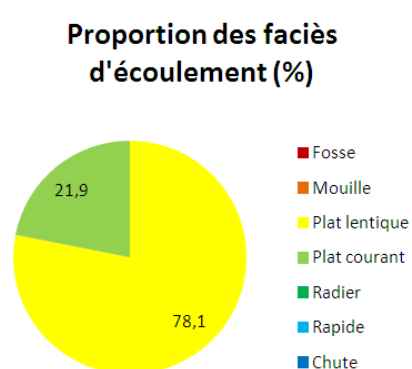


Figure 8 : Proportion de faciès d'écoulement du tronçon 1

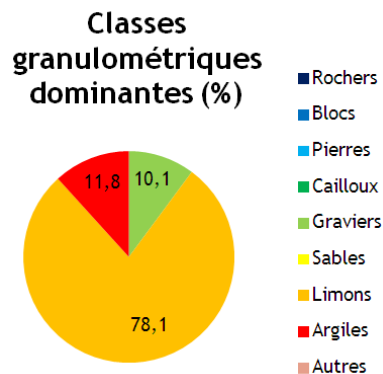


Figure 9 : Classes granulométriques dominantes du tronçon 1

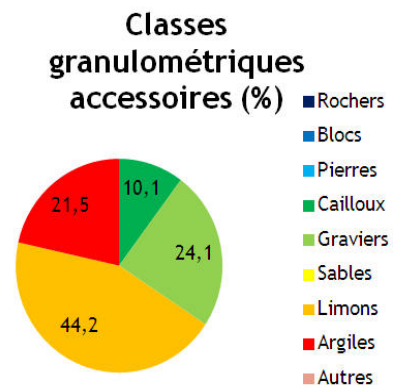


Figure 10 : Classes granulométriques accessoires du tronçon 1

Les travaux de restauration ne se faisant que sur la partie amont rectiligne du tronçon 1, le calcul de l'indice de sinuosité $SI = \frac{\text{Distance écologique}}{\text{Distance euclidienne}} = 1$.

Le profil en travers montre que ce cours d'eau est incisé avec des berges abruptes et du colmatage aux droits des berges. On remarque un atterrissement sur la rive droite du cours d'eau causé par un embâcle.

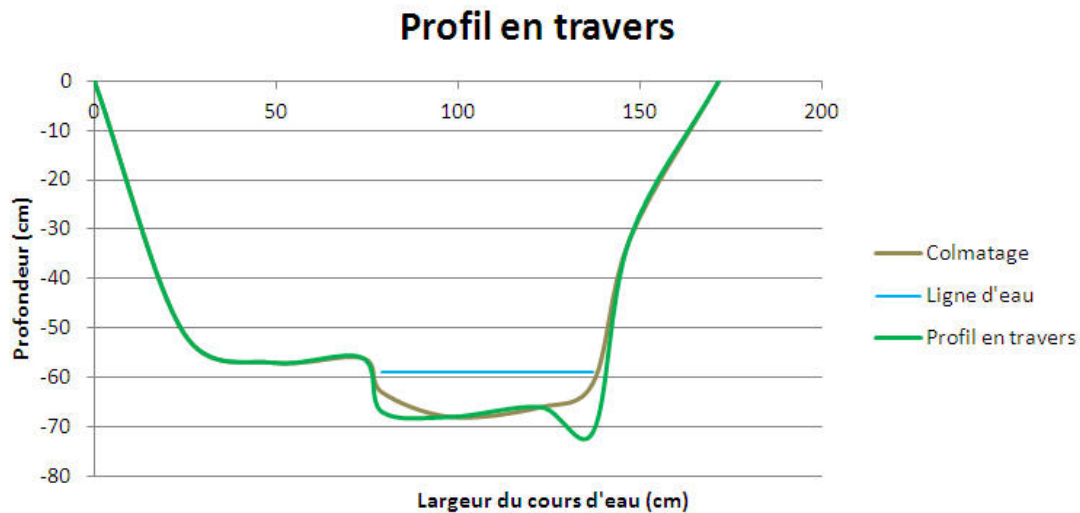


Figure 11 : Profil en travers du tronçon 1 en partant de la rive droite

Les indicateurs mesurés sur le tronçon 1 ont permis de montrer un tronçon **fortement dégradé**. Il est rectiligne, incisé, avec des faciès d'écoulement majoritairement lenticulaires causant le dépôt des limons au fond du lit du cours d'eau. Ce colmatage est un problème majeur car il détériore la qualité des habitats nécessaires à la survie des populations de *Salmo trutta fario*.

b) Tronçon 3

Pour le tronçon 3 du ruisseau de la Faroulais, des actions de **recharge du matelas alluvial**, de **diversification des faciès d'écoulement** et de **déblai-remblai des berges** sur une longueur de 375 m ont été planifiées. La prospection du tronçon 3 fût difficile au vu des difficultés d'accès causées par la végétation. Cela peut se traduire par une imprécision des résultats.

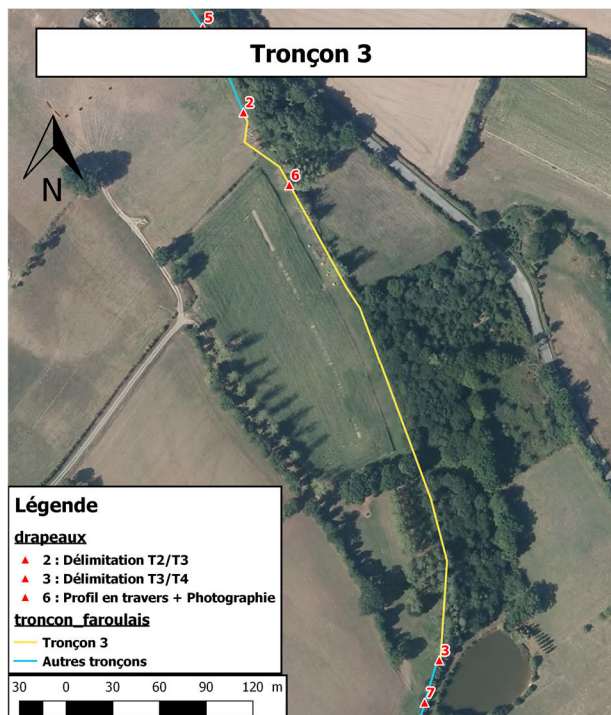


Figure 12 : Localisation géographique du tronçon 3



Figure 13 : Photographie du tronçon 3 prise vers l'aval

Le tronçon 3 est plus hétérogène que le tronçon 1. Son suivi photographique est donc moins représentatif que celui du tronçon 1. D'autant plus que l'accès au tronçon est difficile et que la totalité du tronçon n'a pas pu être prospectée.

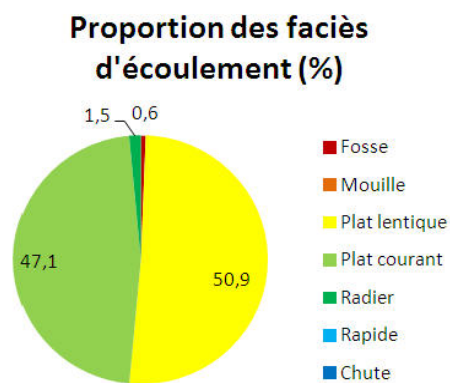


Figure 14 : Proportion des faciès d'écoulement du tronçon 3

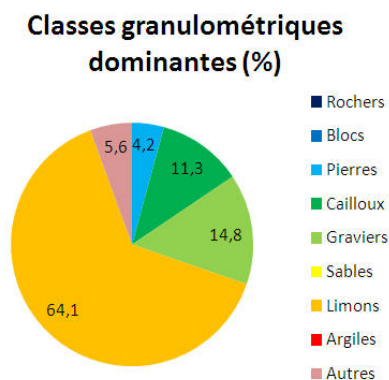


Figure 15 : Classes granulométriques dominantes du tronçon 3

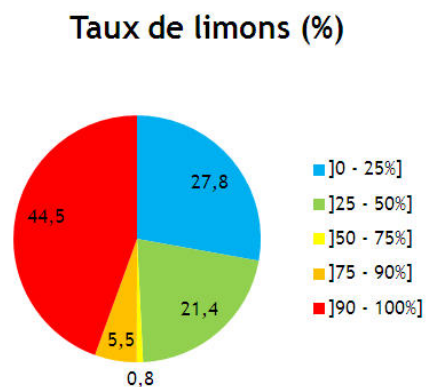


Figure 16 : Taux de limons recouvrant le lit mineur du tronçon 3

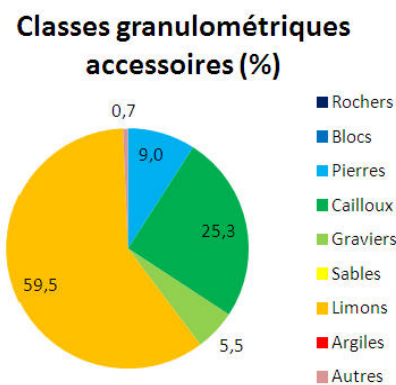


Figure 17 : Classes granulométriques accessoires du tronçon 3

Sur le tronçon 3, on remarque une quasi-égalité du taux de plats courants et de plats lenticles. Il y a aussi deux radiers et une fosse sur ce linéaire. La granulométrie est plus hétérogène que le tronçon 1 avec comme granulométrie des limons, des graviers, des cailloux, des pierres et une granulométrie autre regroupant les racines végétales et la roche mère. Malgré la diversité granulométrique, on remarque une grande part de limon sur ce tronçon, dont 44.5% de linéaire avec un taux de recouvrement de limons compris entre 90 et 100%.

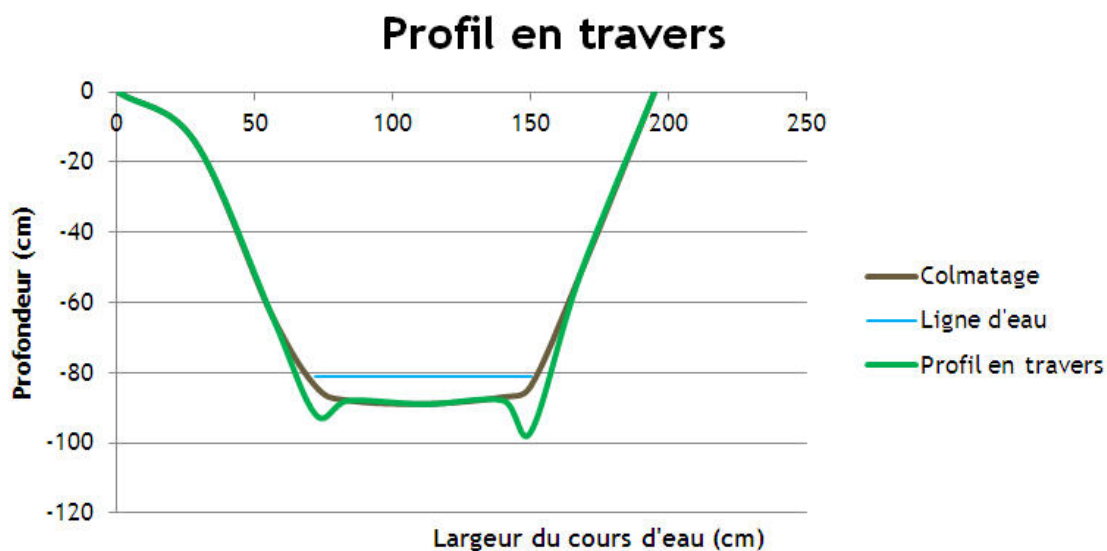


Figure 18 : Profil en travers du tronçon 3 en partant de la rive droite

Comme pour le tronçon 1, le suivi « Profil en travers » montre un cours d'eau incisé, avec des berges abruptes et du colmatage aux droits des berges.

L'indicateur « Rupture d'écoulement » a montré que le ruisseau de la Faroulais n'était pas asséché le 18 mai 2017.

Le suivi « Habitats complémentaires » a permis de repérer deux chevelus racinaires, quatre bois en rivières, un amas de végétation aquatique et deux pools détritiques sur le tronçon 3. Cependant, à cause de la végétation abondante, une part du linéaire n'a pas pu être prospectée. Le nombre d'habitats complémentaires n'est donc pas représentatif de l'ensemble du tronçon.

Les indicateurs mesurés sur le tronçon 3 ont montré un tronçon avec une diversité de faciès et de granulométrie plus importante que le tronçon 1. Cependant, la quasi-totalité des plats lenticles ont un taux de recouvrement de limon supérieur à 75%.

IV) Discussion

Les suivis avant-travaux sur les tronçons 1 et 3 du ruisseau de la Faroulais ont permis de mettre en pratique la clé méthodologique ainsi que de tester l'ensemble des indicateurs hydromorphologiques réalisés au cours de ce stage. La qualité d'un indicateur repose sur les cinq critères suivants : pertinence, validité, faisabilité, convivialité et fiabilité (Gonzalez, 2015). Une première partie va discuter des **résultats** tout en notant la **qualité** de chaque indicateur testé sur le cas d'étude à partir des paramètres faisabilité technique, validité et convivialité et en présentant le **temps** nécessaire à la réalisation de chaque indicateur. Une seconde partie traitera de la **clé méthodologique** du « guide » utilisée pour la définition des **indicateurs** de suivis en y proposant des modifications. Une dernière partie traitera de la mise en place d'une standardisation des suivis.

1) Discussion des résultats et des indicateurs

Suivi photographique : Cet indicateur est rapide de réalisation et donne une image visuelle et représentative du tronçon lorsque celui-ci est homogène d'un point de vue morphologique. De plus, les photographies sont faciles à interpréter pour le grand public. Afin de pouvoir réaliser le suivi photographique après-travaux dans des conditions similaires, il est nécessaire de localiser le point précis où la photographie a été prise lors du suivi avant-travaux en notant sa direction (vers l'aval ou vers l'amont). Cet indicateur peut être applicable pour tous types de restauration hydromorphologique. Cependant, sur un tronçon hétérogène comme le tronçon 3 du ruisseau de la Faroulais, cet indicateur ne peut être représentatif de l'ensemble. Il est alors possible de réaliser plusieurs photographies. Les conditions environnementales peuvent rendre l'accès difficile aux zones représentatives du tronçon.

Pour le suivi photographique, il faut en moyenne **5 min** de phase terrain et **5 min** de phase bureau.

Faisabilité technique	Validité	Convivialité
+++	+	+++

Légende :

0 : Mauvais

+

++ : Assez bon

+++ : Bon ou très bon

Indice de sinuosité : Cet indicateur informe de l'évolution de la morphologie du cours d'eau suite à des travaux de reméandrage et de remise dans le talweg. Il permet la mesure de la sinuosité d'un cours d'eau. Cet indicateur est compréhensible pour le grand public. La mesure de l'indice de sinuosité peut s'avérer difficile lorsque les conditions sont mauvaises (végétation abondante, colmatage). La précision de l'indicateur peut être réduite par ces facteurs et par la longueur du tronçon.

Le temps de réalisation de cet indicateur est d'environ **20** min pour 100 m de linéaire pour la phase terrain et de **5** min pour la phase bureau.

Faisabilité technique	Validité	Convivialité
+	+	++

Proportion de faciès d'écoulement & Classes granulométriques dominantes et accessoires par faciès d'écoulement

Ces deux indicateurs peuvent être couplés car ils peuvent être réalisés en même temps et semblent être corrélés. Sur le tronçon 1, on remarque que les 78.1% de plats lenticulaires ont une granulométrie dominante composée de limons alors que les 21.9% restants ont une granulométrie dominante composée d'argiles et de graviers. On peut alors penser à une corrélation entre les plats lenticulaires et les accumulations de limons causant du colmatage. On peut espérer que des travaux diversifiant les faciès d'écoulement peuvent entraîner une réduction des plats lenticulaires et par conséquent une baisse du taux de colmatage. Ces deux indicateurs couplés donnent plusieurs informations (faciès d'écoulement, granulométrie, taux de limons, diversité d'habitats, ...) et sont faciles à faire comprendre au grand public. Ces indicateurs peuvent être utilisés pour une grande part des travaux de restauration hydromorphologique. De plus, si chaque faciès d'écoulement est localisé grâce à un point GPS, il peut être facilement cartographié sur SIG. Il serait alors intéressant de proposer des formations en cartographie SIG aux gestionnaires de bassin pour l'entrée de données GPS sur SIG. L'inconvénient majeur de ces indicateurs est que de mauvaises conditions (végétation, pente et hauteur des berges) peuvent avoir un impact considérable sur l'accessibilité et la mesure pouvant augmenter le temps de travail et réduire la précision.

Pour réaliser ces deux indicateurs, le temps est estimé à **30** min pour 100 m en phase terrain et **10** min en phase bureau. Sachant que le SIBS restaure en moyenne 4000 m de cours d'eau par an, il faudrait près de 27h, soit 3,5 jours de travail, pour réaliser le suivi « Proportion de faciès d'écoulement » et « Classes granulométriques dominantes et accessoires par faciès » chaque année. Même si ce temps est élevé, il semble indispensable pour la réalisation des suivis de travaux hydromorphologiques car ces deux indicateurs sont complets. Le temps peut aussi être réduit car cette année les suivis ont été réalisés en mai-juin durant la période où la végétation est la plus importante. De plus, la phase terrain a été expérimentée par un stagiaire dont l'expérience et la vitesse d'exécution ont augmenté avec le temps.

Faisabilité technique	Validité	Convivialité
+	++	++

Colmatage : L'indicateur « colmatage » présenté dans le guide doit être réalisé à partir du protocole Archambaud. Lors de ce stage, le colmatage était mesuré à partir du taux de limons recouvrant le lit mineur pour chaque faciès d'écoulement. Cette méthode est plus rapide, cependant elle n'est pas standardisée et ne prend pas en compte le limon se trouvant sous le substrat dur. Le protocole Archambaud est un protocole standardisé demandant une bonne observation et n'est pas facile à réaliser par un débutant. La méthode réalisée au cours de ce stage peut être couplée aux deux indicateurs « Proportion de faciès d'écoulement » et « Classes granulométriques dominantes et

accessoires par faciès ». Sa faisabilité est alors similaire à celle de ces deux indicateurs et est liée aux mauvaises conditions du terrain. Sa mesurabilité et sa précision sont bonnes et ses résultats peuvent être facilement compréhensibles par le grand public. Lorsque la baisse du colmatage est un objectif secondaire, l'indicateur « Classes granulométriques dominantes et accessoires par faciès » pourrait peut-être suffire car il informe du linéaire sur lequel le limon représente la granulométrie dominante et/ou accessoire.

Il faut rajouter à peu près **5 min**, aux 30 min nécessaires à la réalisation des deux autres indicateurs, pour réaliser 100 m de linéaire pour la phase terrain et 5 min aux 10 min de la phase bureau.

Faisabilité technique	Validité	Convivialité
+	++	+++

Rupture d'écoulement : L'indicateur « Rupture d'écoulement » renseigne sur l'assèchement du cours d'eau. Cet indicateur permet de mettre en évidence l'amélioration d'un régime hydrologique naturel (crue/étiage) et des relations nappe/rivière/lit majeur. Pour ce cas d'étude, le cours d'eau n'a pas montré d'assèchement lors de la période mai-juin. Cet indicateur devrait être réalisé lors de la période sèche juillet-août afin de vérifier la pérennité des cours d'eau, cependant cela demanderait un autre passage le long du cours d'eau en été. Pour cet indicateur, il est important de noter les conditions météorologiques et hydrologiques ainsi que la date de suivi. Cet indicateur est facile et rapide à réaliser, il suffit de vérifier si le cours d'eau est assec ou non. Les résultats sont très faciles à faire comprendre. Cependant, sa validité est moyenne car un cours d'eau peut être en eau le jour de la réalisation de l'indicateur et être assec la semaine suivante.

Si cet indicateur est couplé à d'autres indicateurs, il ne demande pas de temps supplémentaire.

Faisabilité technique	Validité	Convivialité
+++	+	+++

Profil en travers : Cet indicateur permet de connaître la coupe transversale du cours d'eau. Dans la fiche protocolaire de l'indicateur « profil en travers » issue du « guide », il est demandé de réaliser au minimum 3 profils par tronçon en utilisant le protocole CARHYCE. Ce protocole est complexe, c'est pour cette raison qu'une version simplifiée a été réalisée au cours de ce stage. La longueur des tronçons étant courte, un seul profil en travers a été réalisé pour chaque tronçon. Pour les petits cours d'eau, les profils en travers peuvent être réalisés par une seule personne et sont faciles à réaliser si la végétation est peu abondante. La validité est très bonne, cependant elle dépend de la précision du matériel et du gestionnaire. Il peut s'avérer difficile de faire comprendre les profils en travers au grand public.

Un profil en travers demande en moyenne **20 min**, soit **15 min** en phase terrain et **5 min** en phase bureau.

Faisabilité technique	Validité	Convivialité
++	+++	+

Habitats complémentaires : L'indicateur « Habitats complémentaires » renseigne sur la diversité d'habitats en comptabilisant différents types d'habitats communs aux cours d'eau. La faisabilité technique dépend des conditions du milieu. Étant donné que cet indicateur comptabilise un nombre d'habitats sur un linéaire précis, si l'accès au cours d'eau est impossible à cause de la végétation, cet indicateur n'est pas représentatif du linéaire entier et les résultats ne peuvent être exploités. La compréhension de cet indicateur est bonne pour le grand public si la notion d'habitat est bien définie.

Sur un tronçon où l'accès est facile, le temps nécessaire est de 5 min pour réaliser 100 m sur le terrain et de 5 min pour la phase bureau.

Faisabilité technique	Validité	Convivialité
+	+	++

2) Discussion de la clé méthodologique du « guide »

Au cours de ce stage, la **clé méthodologique** du « Guide à l'usage des questionnaires de milieux aquatiques » a pu être testée et mise en pratique pour l'élaboration d'un programme de suivis des travaux de restauration hydromorphologique sur le ruisseau de la Faroulais.

Tout d'abord, l'**étape 1** (étude du contexte) peut demander du temps. Le questionnaire peut toutefois réduire le temps de travail de cette première étape en approfondissant son **diagnostic**. En effet, un état des lieux complet et bien renseigné, aussi bien pour le volet « biologie » que pour les volets « hydromorphologie » et « physico-chimie », permet une meilleure identification des principales altérations, de leurs causes et des actions de restauration à réaliser (Données issues du site internet : onema.fr). Au cours du diagnostic, le questionnaire pourrait alors relever les problématiques, les facteurs limitants et les efforts de restauration à réaliser. Il pourrait ensuite, dans le cadre de la programmation de suivis, repartir de son analyse faite lors du diagnostic et directement définir les travaux de restauration et les objectifs définitifs. On peut remarquer l'importance de **bien connaître le territoire d'étude** : cela permet un gain de temps et une analyse plus pertinente. C'est pour cette raison que déléguer le diagnostic à une personne extérieure (CDD, stagiaire, bureaux d'études) à un territoire connaissant peu le site d'étude peut être problématique. Cependant, il peut être difficile de réaliser le diagnostic en interne car cela demande des moyens humains.

Suite au choix du niveau de suivi (**étape 2**), l'**étape 3** a pour rôle de définir les indicateurs de suivi à réaliser sur le terrain. Ces derniers sont choisis suivant les techniques de restauration prévues, le niveau de suivi défini et les objectifs définitifs identifiés. Cependant, les indicateurs choisis vont aussi dépendre du contexte, du cours d'eau, de l'avis du questionnaire et des moyens humains et matériels de la structure. Par exemple, si le « Guide à l'usage des questionnaires de milieux aquatiques » est publié et que le questionnaire applique la clé méthodologique à la lettre, les indicateurs de suivi de niveau 1 doivent être systématiquement réalisés. Cependant, des questionnaires pourraient ne pas avoir le temps de tous les réaliser et/ou pourraient trouver d'autres indicateurs plus appropriés à leur cas.

C'est pour cette raison que même si le « guide » est publié, il ne pourra être applicable de la même façon par chaque gestionnaire. Les gestionnaires doivent avoir une **part de liberté** par rapport au choix des indicateurs, même pour ceux de niveau 1.

Suite à la préparation de la phase terrain (**étape 4**), le gestionnaire peut réaliser les suivis avant ou après travaux (**étape 5**). Les suivis ont souvent été entravés à cause du manque de temps et d'argent (Alexander et Allan, 2007). Ce stage a pu tester le temps nécessaire à certains indicateurs de suivi et montre que le temps est bien un frein à la réalisation des suivis. Pour donner un exemple, sur le tronçon 3 du ruisseau de la Faroulais, sept indicateurs ont été testés. Il aura nécessité 3h et 25min (terrain et bureau) pour réaliser le suivi d'un linéaire de 375m. A cela s'ajoute les déplacements sur le terrain demandant à chaque fois 50 min aller-retour. Afin de gagner du temps, le gestionnaire peut **réduire et/ou coupler** les suivis. Pour cela, il doit choisir les indicateurs les plus pertinents et complets en accord avec son cas d'étude. La première partie de la discussion a notamment présenté les avantages et inconvénients des indicateurs testés dans ce stage pouvant aider aux choix d'indicateurs. Il est aussi possible d'optimiser le temps de terrain en réalisant certains indicateurs des suivis avant-travaux tels que « Proportion de faciès d'écoulement », « Classes granulométriques dominantes et accessoires par faciès d'écoulement », « Profil en travers » et « Suivi photographique » **au cours du diagnostic**. Étant donné que les diagnostics sont réalisés durant la période hiver/printemps, les suivis seraient plus faciles à réaliser car il y aurait moins de végétation que cette année où les suivis ont eu lieu au cours de la période printemps/été. Les suivis après-travaux seraient réalisés à la même période de l'année suivante afin d'être dans des conditions hydrologiques et climatiques similaires. En plus de gagner du temps sur la réalisation des suivis avant-travaux, le diagnostic serait plus précis rendant le choix des types de restauration plus pertinents. Cependant, durant la période hiver/printemps, les débits sont plus forts pouvant rendre le relevé de certains indicateurs (granulométrie, proportion de faciès d'écoulement, colmatage) plus difficile. De nombreux paramètres dépendent de la saisonnalité et des conditions météorologiques. C'est pour cette raison qu'il est **difficile de travailler sur des milieux naturels** tels que les cours d'eau. Il serait pourtant intéressant de comparer la réalisation des suivis avant-travaux durant la période hiver/printemps (couplé au diagnostic) et pendant la période printemps/été afin de choisir quelle période est la plus favorable à la réalisation de ces suivis.

3) La standardisation

La publication du « guide » aurait pour intérêt d'apporter des connaissances aux gestionnaires sur la mise en place de suivis de travaux de restauration hydromorphologique. Cet ouvrage pourrait aussi entraîner une « standardisation » des suivis ainsi qu'une bancarisation des données à l'échelle du bassin Loire-Bretagne.

Les programmes de restauration visant la qualité des cours d'eau ont longtemps ignoré l'hydromorphologie comme **élément-clé** du bon fonctionnement des milieux aquatiques (Données issues du site internet : onema.fr). Pour preuve, l'atteinte du bon état des eaux demandé par la DCE n'est basée que sur des indicateurs et des normes standardisés pour la mesure des états chimiques (Normes de qualité environnementales pour 41 substances chimiques), physico-chimiques (Taux de nitrates, MES, etc) et biologiques (IPR, IBG-DCE, etc) (Données issues du site internet : eaufrance.fr). Or, l'état hydromorphologique impacte l'état écologique du cours d'eau (Données issues du site internet : eaufrance.fr). C'est pour cette raison qu'il serait intéressant de proposer un **protocole**

standardisé qualifiant de manière normalisée l'état hydromorphologique des cours d'eau avant et après travaux de restauration.

Afin d'avoir un protocole standardisé pour la mise en place de suivis, le « guide » doit pouvoir donner des directives applicables de la même façon. Pour la contextualisation, les gestionnaires devront toujours relever les mêmes paramètres (facteurs limitants, effort de restauration). Le niveau de suivi devra être établi selon les mêmes critères. Il serait préférable que les indicateurs soient choisis à partir des mêmes paramètres par tous les gestionnaires. Cependant, le choix des indicateurs dépend des différents cas. On dénombre trop de critères pouvant influencer la sélection du gestionnaire (moyens humains et matériels de la structure, avis du gestionnaire). Même les indicateurs de niveau 1 devant être systématiques auront du mal à être appliqués pour chaque projet de restauration. Si le « guide » est publié, la préparation de la phase terrain pourra être simplifiée. Il faudra que les fiches protocolaires de chaque indicateur (*Annexe 6*) ainsi que des fiches terrains (*Annexe 11*) soient rendues publiques. Étant donné que les indicateurs sont des protocoles standardisés issus de bibliographie, la réalisation des suivis avant et après travaux pourra être faite de façon normalisée.

Une fois les données récoltées (**étape 6**), elles pourront être saisies dans des programmes informatiques et des fiches bureau (*Annexe 10*) rendus publics pour faciliter l'entrée des données. Les données devront ensuite être envoyées à un organisme collectant les données afin qu'une bancarisation à l'échelle du bassin Loire-Bretagne puisse être faite. Il serait envisageable de définir des classes d'état ainsi qu'un état hydromorphologique normalisé à atteindre pour qu'une masse d'eau soit dite en « bon état » par rapport à la DCE comme pour les états écologiques et chimiques. Les résultats des suivis pourront ensuite être valorisés et communiqués sur le territoire Loire-Bretagne afin de favoriser les travaux de restauration et de pouvoir les optimiser.

Pour l'instant, le « guide » a pour objectif de s'appliquer au bassin Loire-Bretagne. Cependant, il pourrait se développer à l'échelle nationale voire européenne si la DCE décide de prendre l'état hydromorphologique en compte pour le « bon état » des masses d'eaux.

V) Conclusion

La mise en place de suivis semble nécessaire au vu de l'augmentation du nombre de projets de restauration visant l'atteinte du « bon état » des masses d'eaux demandée par la DCE pour 2021 et 2027. L'état hydromorphologique a souvent été négligé par rapport aux états chimiques, physico-chimiques et biologiques pour l'amélioration de la qualité de l'eau. Face à cette mise à l'écart de l'hydromorphologie, l'AFB et cinq autres organismes ont commencé à rédiger un « guide à l'usage des gestionnaires de milieux aquatiques pour la mise en place de suivi des travaux de restauration de cours d'eau ». Ce stage avait pour objectif de le tester et de le critiquer avant qu'il ne puisse être rendu public.

L'un des premiers retours de ce stage est que la réalisation des suivis hydromorphologiques demande du **temps** et de l'**argent**. Dans des organismes tels que le Syndicat Intercommunal du Bassin du Semnon où une seule salariée traite du volet « Milieux aquatiques » sur un linéaire de 700 km de cours d'eau, il s'avère difficile de réaliser ces suivis. Si les suivis de restauration venaient à se développer, de nombreuses structures publiques nécessiteraient un appui financier de l'État afin de recruter du personnel en charge de ce travail. En plus d'engager du personnel, il est nécessaire d'optimiser le temps de travail en sélectionnant les suivis les plus complets et en les couplant au diagnostic. De plus, si la mise en place de suivis venait à être standardisée, les gestionnaires gagneraient du temps grâce la clé méthodologique du « guide ». Il pourrait alors être proposé des fiches protocolaires pour la réalisation de chaque indicateur de suivi, des fiches terrains, des fiches bureaux et des programmes informatiques facilitant la saisie des données et la mise en forme des résultats. Les données pourraient alors être bancarisées à l'échelle du bassin Loire-Bretagne. Cette bancarisation pourrait aussi être faite à l'échelle nationale voire européenne si un jour l'état hydromorphologique devient un des éléments qualifiant le « bon état » des masses d'eaux demandé par la DCE.

Cependant, sans une augmentation des moyens humains et financiers, une réalisation systématique de suivis et une standardisation de la mesure de l'état hydromorphologique semblent être compromises (Palmer et al., 2007 in Seguy, 2016). Alors que si des moyens sont mis en place, il sera possible de multiplier les suivis hydromorphologiques et les retours d'expériences. La bancarisation d'un grand nombre de résultats de suivis de travaux de restauration à l'échelle Loire-Bretagne permettrait une **récolte des cas d'études** avec des contextes et des types de restauration différents. Des **études statistiques** pourront alors être faites sur des échantillons représentatifs afin de connaître le taux de réussite des différents types de restauration sur différents types de cours d'eau classés par contexte (altérations, facteurs limitants). Même s'il s'avère très difficile de prédire l'évolution de milieux biotiques tels que les cours d'eau, cette étude statistique serait un bon compromis pour avoir une idée de la **fonctionnalité** des projets de restauration sur différents types de cours d'eau. Si les modèles statistiques s'avèrent avoir un bon degré de confiance, il ne sera plus nécessaire de réaliser des suivis pour chaque action de restauration hydromorphologique. Étant donné qu'une grande part des projets de restauration a pour objectif principal de maintenir et diversifier la biodiversité, des suivis biologiques devront aussi être réalisés de façon systématique afin d'évaluer l'efficacité des actions. La qualification des taux de réussite des projets de restauration selon les différents contextes permettra de favoriser un meilleur choix d'actions de restauration visant à obtenir une meilleure probabilité de fonctionnalité selon chaque cas.

Bibliographie

Agence Française pour la Biodiversité. Hydromorphologie [en ligne]. Disponible sur : <http://www.onema.fr/hydromorphologie> (consulté le 17/07/2017).

Agence Française pour la Biodiversité. Restauration des cours d'eau – Diagnostic du milieu [en ligne]. Disponible sur : <http://www.onema.fr/node/1579> (consulté le 17/07/2017).

Agence Française pour la Biodiversité. Suivi scientifique minimal [en ligne]. Disponible sur : <http://www.onema.fr/suivi-scientifique-minimal> (consulté le 04/07/2017).

Alexander, G.G., Allan, J.D., 2007. Ecological Success in Stream Restoration: Case Studies from the Midwestern United States. *Environ Manage*, 40, p. 245-255.

Angermeier, P.L., Karr, J.R., 1994. Biological integrity versus biological diversity as policy directives. *Bioscience*, 44, p. 690-697.

Archambaud, G., Giordano, L., Dumont, B., 2005. Description du substrat minéral et du colmatage. Aix en Provence, Cemagref - UR Hydrobiologie: 7p.

Bazin, P., Barnaud, G., 2002. Du suivi à l'évaluation : A la recherche d'indicateurs opérationnels en écologie de la restauration. *Revue d'écologie – La Terre et la Vie*, 9, p. 201-224.

Biodiversity Information System for Europe. Ecosystem services [en ligne]. Disponible sur : <http://biodiversity.europa.eu/topics/ecosystem-services> (consulté le 26.06.2017).

Bellinger, E., Sigee, D., 2010. *Freshwater Algae: Identification and Use as Bioindicators*. Wiley-Blackwell.

Cairns, J., McCormick, P.V., Niederlehner, B.R., 1993. A proposed framework for developing indicators of ecosystem health. *Hydrobiologia*, 263, p. 1–44.

De Groot, R., Brander, L., Van Der Ploeg, S., Costanza, R., Bernard, F., Braat, L., Christie, M., Crossman, N., Ghermandi, A., Hein, L., Hussain, S., Kumar, P., Mc Vittie, A., Portela, R., Rodriguez, L., Ten Brink, P., Van Beukering, P., 2012. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services*, 1, p. 50-61.

Downs, P. W., Kondolf, G. M., 2002. Post-Project Appraisals in Adaptive Management of River Channel Restoration. *Environmental Management*, 29 (4), p. 477-496.

eaufrance. La directive cadre sur l'eau [en ligne]. Disponible sur : <http://www.eaufrance.fr/comprendre/la-politique-publique-de-l-eau/la-directive-cadre-sur-l-eau#> (consulté le 28.06.2017).

eaufrance. Règles d'évaluation de l'état des eaux [en ligne]. Disponible sur : <http://www.eaufrance.fr/observer-et-evaluer/etat-des-milieus/regles-d-evaluation-de-l-etat-des/> (consulté le 17/07/2017).

Ecological Restoration Alliance of Botanic Gardens. What is Ecological Restoration [en ligne]. Disponible sur : <http://www.erabg.org/what-is-ecological-restoration/> (consulté le 26/06/2017).

Gonzalez, S., 2015. Préconisations pour la mise en place de suivis des effets d'actions de restauration écologique en milieux aquatiques. Rapport de stage, École Supérieure d'Agriculture (ESA Angers), 360p.

Gregory, K.J., 2006. The human role in changing river channels. *Geomorphology*, 79(3–4), p. 172–191.

Haase, P., Hering, D., Jähnig, S.C., Lorenz, A.W., Sundermann, A., 2013. The impact of hydromorphological restoration on river ecological status : a comparaison of fish benthic invertebrates, and macrophytes. *Hydrobiologia*, 704, p. 475-488.

Kail, J., Brabec, K., Poppe, M., Januschke, K., 2015. The effect of river restoration on fish, macroinvertebrates and aquatic macrophytes : A meta-analysis. *Ecological Indicators*, 58, p. 311-321.

Kondolf, G. M., 1998, Lessons Learned From River Restoration Projects in California. *Aquatic Conservation : Marine and Freshwater Ecosystems*, 8, p. 39-52.

Lorenz, A.W., Korte, T., Sundermann, A., Januschke, K., Haase, P., 2012. Macrophytes respond to reach-scale river restorations. *Journal of Applied Ecology*, 49, p. 202-212.

Lorenz, C.M., Dijk, G.M.V., Hattum, A.G.M.V., Cofino, W.P., 1997. Concepts in river ecology : Implications for indicators development. *Regulated Rivers : Research & Management*, 13, p. 501-516.

Malavoi, J. R., Souchon, Y., 2010. Construire le retour d'expérience des opérations de restauration hydromorphologique Eléments pour une harmonisation des concepts et des méthodes de suivi scientifiques minimal Volet hydromorphologique et hydroécologique. ONEMA, 95p.

Malavoi, J. R., Bravard, J. P., 2010. Éléments d'hydromorphologie fluviale. ONEMA, 224p.

Morandi, B., Piegay, H., Lamouroux, N., Vaudour, L., 2014. How is success or failure in river restoration projects evaluated? Feedback from French restoration projects. *Journal of Environmental Management*, 137, p. 178-188.

ONEMA, 2012. Suivre et évaluer les effets écologiques de l'opération de restauration hydromorphologique. ONEMA, 6p.

ONEMA, 2015. CARHYCE : CARactérisation HYdromorphologique des Cours d'Eau, Protocole de recueil de données hydromorphologiques à l'échelle de la station sur des cours d'eau prospectables à pied. ONEMA, 64p.

Palmer, M.A., Bernhardt, E.S., Allan, J.D., Lake, P.S., Alexander, G., Brooks, S., Carr, J., Clayton, S., Dahm, C.N., Follstad Shad, J., Galat, D.L., Loss, S.G., Goodwin, P., Hart, D.D., Hassett, B., Jenkinson, R., Kondolf, G.M., Lave, R., Meyer, J.L., O'Donnell, T.K., Pagano, L., Sudduth, E., 2005. Standards for ecologically successful river restoration. *Journal of Applied Ecology*, 42, p. 208-217.

Palmer, M.A., Allan, J.D., Meyer, J.L., Bernhardt, E.S., 2007. River restoration in the twenty-first century: data and experiential future efforts. *Restoration Ecology*, 15, p. 472-481.

Pander, J., Geist, J., 2013. Ecological indicators for stream restoration success. *Ecological Indicators*, 30, p. 106-118.

Roni, P., Hanson, K., Beechie, T., 2008. Global review of the physical and biological effectiveness of stream habitat rehabilitation techniques. *North American Journal of Fisheries Management*, 28, p. 856-890.

Roni, P., 2005. Monitoring stream and watershed restoration. *American Fisheries Society*, 337 p.

Seguy, P, 2016. Élaboration d'une méthode pour la mise en place et la réalisation des suivis de travaux de restauration des cours d'eau – Étude de cas sur le bassin versant du Semnon. Rapport de stage, Université de Rennes 1, Master 2 Gestion des Habitats et des Bassins Versants, 41p.

Strahler, A. N., 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions, American Geophysical Union*, 38, p. 913-920.

Woolsey, S., Capelli, F., Gonser, T., Hoehn, E., Hostmann, M., Junker, B., Paetzold, A., Roulier, C., Schweizer, S., Tiegs, S.D., Tockner, K., Weber, C., Peter, A., 2007. A strategy to assess river restoration success. *Freshwater Biology*, 52, p. 752-769.

Woolsey, S., Weber, C., Gonser, T., Hoehn, E., Hostmann, M., Junker, B., Roulier, C., Schweizer, S., Tiegs, S., Tockner, K., Peter, A., 2005. Guide du suivi des projets de revitalisation fluviale. Publication du projet Rhône-Thur. Eawag, WSL, LCH-EPFL, VAW-ETHZ, 113p.

Liste des figures

Figure 1 : Bassin versant du Semnon.....	3
Figure 2 : Le bon état écologique des masses d'eau demandé par la DCE	4
Figure 3 : Première de couverture de la version provisoire du 09/05/2017 du « Guide »	6
Figure 4 : Localisation des tronçons du ruisseau de la Faroulais	7
Figure 5 : Clé méthodologique pour la mise en place et réalisation des suivis des travaux de restauration de cours d'eau	8
Figure 6 : Localisation géographique du tronçon 1.....	14
Figure 7 : Photographie du tronçon 1 prise vers l'aval.....	14
Figure 8 : Proportion des faciès d'écoulement du tronçon 1.....	14
Figure 9 : Classes granulométriques dominantes du tronçon 1.....	14
Figure 10 : Classes granulométriques accessoires du tronçon 1.....	14
Figure 11 : Profil en travers du tronçon 1 en partant de la rive droite	15
Figure 12 : Localisation géographique du tronçon 3.....	16
Figure 13 : Photographie du tronçon 3 prise vers l'aval	16
Figure 14 : Proportion des faciès d'écoulement du tronçon 3.....	16
Figure 15 : Classes granulométriques dominantes du tronçon 3.....	16
Figure 16 : Taux de limons recouvrant le lit mineur du tronçon 3.....	16
Figure 17 : Classes granulométriques accessoires du tronçon 3.....	16
Figure 18 : Profil en travers du tronçon 3 en partant de la rive droite	17

Liste des tableaux

Tableau 1 : Choix du niveau de suivi en fonction des facteurs limitants et de l'effort de restauration .	9
Tableau 2 : Matériels et méthodes utilisés pour le cas d'étude	10

Annexes

Annexe 1 : Photographie de *Salmo trutta fario* pêchées lors du suivi vigitruite de 2014 sur le ruisseau de la Faroulais
(Source : Syndicat Intercommunal du Bassin du Semnon)



Annexe 2 : Présentation des facteurs limitants pouvant influencer les objectifs fixés
(Source : le « Guide à l'usage des questionnaires de milieux aquatiques »)

	BIODIVERSITE					HYDROMORPHOLOGIE							QU al., ITE DE L'EAU			
	Objectifs	Améliorer la franchissabilité des espèces le long de la rivière	Maintenir et diversifier les organismes	Maintenir et diversifier les habitats aquatiques	Maintenir et diversifier les habitats rivulaires	Limitier la prolifération d'espèces invasives	Améliorer la continuité sédimentaire	Retrouver le profil en long naturel du cours d'eau	Diversifier les faciès d'écoulement	Retrouver un profil en travers naturel du cours d'eau	Réduire le colmatage du substrat	Rétablir un régime hydrologique naturel (crue/étiage)	Restauration de la relation nappe/ri vière/lit majeur	Améliorer les capacités autoépuratoires	Limitier l'accumulation de polluant	Rétablir un régime thermique naturel
Bassin versant fortement urbanisé (ex : fortes surfaces imperméabilisées, présence d'une route à forte fréquentation...)		●	●		●			●		●	●	●	●	●	●	
Bassin versant fortement industrialisé ou anciennes activités impactantes			●											●	●	
Bassin versant fortement agricole (agriculture intensive : disparition du bocage, modification des tracés de cours d'eau, présence de drainages...etc)			●	●	●			●		●	●	●	●		●	
Présence de captage d'eau - de réseau d'irrigation - de réservoir		●	●				●					●	●			●
Régime hydrologique perturbé (lié aux activités, au climat, au contexte hydrogéologie...etc)			●	●					●			●	●	●		
Problème d'apport solide (ex : forte érosion du bassin versant, manque d'apport de sédiments du versant...etc)			●	●	●			●	●	●	●	●	●	●		
Ripisylve peu présente ou inexistante			●	●					●	●	●			●	●	●
Nombreux obstacles à la continuité écologique et sédimentaire		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			●	●	●
Absence d'annexes hydrauliques et/ou d'habitats piscicoles (potentielles frayères, zones de refuge...etc)			●													
Méconnaissance sur la présence, la répartition et les caractéristiques des espèces ciblées par le projet.			●													
Présence d'espèces invasives			●	●	●	●										
Presence de pollution ponctuelle			●											●	●	●
Présence de pollution diffuse			●			●								●	●	
Fort apport de matières en suspension			●	●					●		●		●	●	●	
Mauvaise qualité physique du cours d'eau (T°C, oxygène dissous, conductivité...)			●											●		●

Annexe 3 : Les travaux en fonction de l'effort de restauration
(Source : le « Guide à l'usage des questionnaires de milieux aquatiques »)

HYDROMORPHOLOGIE			CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE		EFFORT DE RESTAURATION
Busage de cours d'eau	Déplacement cours d'eau	Recalibrage - Rectification	Ouvrages ≥ 50cm	Ouvrages < 50cm	
		Linéaire d'intervention inférieur à 100 fois la largeur plein bord et dont l'emprise sera comprise dans le lit existant <i>Exemple</i> : Recharge du matelas alluvial / Déblai remblai des berges / Diversification des faciès d'écoulement (Risbermes, épis, blocs, déflecteurs ...)	Aménagement visant à améliorer le franchissement piscicole : Rivière de contournement Passe à poisson	Aménagement visant à améliorer le franchissement piscicole : <i>SEUIL</i> : brèches, rampe... <i>BUSE</i> : recalage de buse, microseuil, déflecteur...	Faible
	Restauration hydromorphologique en dehors de son talweg	Linéaire d'intervention supérieur à 100 fois la largeur plein bord et dont l'emprise sera comprise dans le lit existant <i>Exemple</i> : Recharge du matelas alluvial / Déblai remblai des berges / Diversification des faciès d'écoulement (Risbermes, épis, blocs, déflecteurs ...)	Arasement partiel Brèche dans l'ouvrage	Arasement total ou partiel : Diminution de la hauteur de chute Remplacement ou suppression de l'ouvrage	Moyenne
Remise à ciel ouvert partielle	Restauration hydromorphologique dans son talweg	Linéaire d'intervention supérieur à 100 fois la largeur plein bord ou dont l'emprise pourra se situer en dehors du lit existant <i>Exemple</i> : Recharge du matelas alluvial / Déblai remblai des berges / Diversification des faciès d'écoulement (Risbermes, épis, blocs, déflecteurs ...) / Reméandrage	Arasement total de l'ouvrage (conservation d'un seuil de fond éventuellement)		Forte

Annexe 4 : Objectifs potentiellement atteignables par types de travaux de restauration effectués
(Source : le « Guide à l'usage des gestionnaires de milieux aquatiques »)

Travaux de restauration			Objectifs	BIODIVERSITE				HYDROMORPHOLOGIE				QUALITE DE L'EAU				
				Améliorer la franchissabilité des espèces le long de la rivière Maintenir et diversifier les organismes Maintenir et diversifier les habitats aquatiques Maintenir et diversifier les habitats rivulaires Limiter la prolifération d'espèces invasives				Améliorer la continuité sédimentaire Retrouver le profil en long naturel du cours d'eau Diversifier les faciès d'écoulement Retrouver un profil en travers naturel du cours d'eau Réduire le colmatage du substrat Rétablir un régime hydrologique naturel (crue/étiage) Restauration de la relation nappe/rivière/lit majeur Améliorer les capacités autoépuration Limiter l'accumulation de polluant Rétablir un régime thermique naturel								
CONTINUITE ECOLOGIQUE	Petits ouvrages (< 50 cm)	Aménagement (Fiche action 1)	●	●				○	○	○	●	○	○	○	○	○
		Arasement ou suppression de la hauteur de chute (Fiche action 2)	●	●	○		○	○	○	●	○	○	○	○	○	○
	Grands ouvrages (> 50 cm)	Aménagement (Fiche action 1)	●	●												
Arasement (Fiche action 3)		●	●	○		○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	
Suppression de la hauteur de chute (Fiche action 4)		●	●	●	●	○	●	●	●	●	●	○	●	●	●	
HYDROMORPHOLOGIE	Recalibrage - Rectification	Déblai remblai des berges (Fiche action 5)	●	●	●	○		●		○						
		Recharge matelas alluvial (Fiche action 6)	●	●		○		○	●	○	●	○	○	●		○
		Diversification des faciès d'écoulement (Fiche action 7)	●	●	○	○		●	●	●	○			○		
		Reméandrage (Fiche action 8)	●	●	●	○		●	●	●	●	●	●	●		○
	Déplacement de cours d'eau	Remise en talweg (Fiche action 9)	●	●	●	○		●	●	●	○	●	●	●		○
	Busage - Enterrement de cours d'eau	Remise à ciel ouvert (Fiche action 10)	●	●	●	●		○	●	●	●	●	●	●		○

Les ronds pleins indiquent les objectifs qu'il est possible d'atteindre à minima par technique de restauration, les points creux indiquent les objectifs plus difficiles à atteindre par technique de restauration.

Annexe 5 : Fiche d'aide au choix des indicateurs pour le cas de l'action « Diversification des faciès d'écoulement »

(Source : le « Guide à l'usage des gestionnaires de milieux aquatiques »)

- Les méthodes du niveau de suivi 1 sont à réaliser systématiquement dans leur globalité, à l'exception de celles indiquées en italique qui sont optionnelles.
- Au niveau de suivi 2, c'est au gestionnaire de choisir les méthodes qu'il souhaite réaliser en fonction de ses objectifs. Une indication est donnée à l'aide des points noirs (• méthode conseillée) et blancs (○ méthode pouvant être mise en place sur des secteurs à enjeux particuliers).

Méthodes de suivi proposées par niveau, suite à la mise en place de structures diversifiant les faciès d'écoulement et objectifs associés

	Avant travaux	Après travaux	Favoriser la biodiversité	Maintenir et diversifier les habitats aquatiques	Maintenir et diversifier les habitats rivulaires	Retrouver le profil en long naturel du cours d'eau	Diversifier les faciès d'écoulement	Retrouver un profil en travers naturel du cours d'eau	Réduire le colmatage du substrat	Améliorer les capacités autoépuration
Niveau de suivi 1										
Photographies	✓	✓								
Linéaire cumulé des travaux		✓								
Proportion des faciès d'écoulement (en %)	✓	✓								
Niveau de suivi 2										
Cartographie des faciès d'écoulement	✓	✓	•	•		•	•	○		•
Profil en long	✓	✓				•			•	
Profil en travers	✓	✓						•		
Classes granulométriques dominantes et accessoires par faciès	✓	✓	•	•						
Classes granulométriques dominantes et accessoires des radiers	✓	✓	•	•						
Colmatage	✓	✓	•						•	•
Habitats complémentaires	✓	✓	•	•	•					
Macro invertébrés	✓	✓	○	○					○	○
Ichtyofaune	✓	✓	○	○			○		○	○

Annexe 6 : Fiche protocolaire de l'indicateur « Profil en travers »
(Source : le « Guide à l'usage des gestionnaires de milieux aquatiques »)

Fiche N°5

PROFIL EN TRAVERS (adapté du protocole CarHyCE ¹)

🔄 **Objectif du protocole**

Caractériser avec précision l'évolution de la géométrie du lit du cours d'eau

🔄 **Temps nécessaire**

Bureau : 15 min
Terrain : 30 min à 1h



🔄 **Moyens nécessaires**



🔄 **Période conseillée**

Toute l'année

Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
-----	------	------	-------	-----	------	--------	------	-------	------	------	------

🔄 **Déroulement de l'opération**

Phase terrain :

Le nombre et la position des transects diffèrent suivant le type d'opération (*ces préconisations sont différentes de celles recommandées dans le protocole CarHyCE*)

- Restauration hydromorphologique : suivant l'appréciation du gestionnaire les transects peuvent être placés de deux manières : systématique ou empirique (endroits où le gestionnaire souhaite étudier les effets de la restauration). Il est conseillé de réaliser à minima trois transects par segment morphologiquement homogène mais ce nombre pourra être plus important selon la configuration du cours d'eau
- Restauration de la continuité écologique : les transects sont à placer, idéalement et à minima : sur le premier radier en amont de l'obstacle, au niveau de la zone de remous, dans la fosse dissipation et au premier radier en aval de l'obstacle
- Mesurer pour chaque transect : la largeur plein bord, la largeur mouillée ainsi que plusieurs hauteurs pleins bords (points hors d'eau) et hauteurs mouillées (points en eau). Ces hauteurs seront prises à intervalles réguliers (1/7^{ème} de la largeur mouillée)

Phase bureau :

- Saisir les mesures récoltées dans la base de données

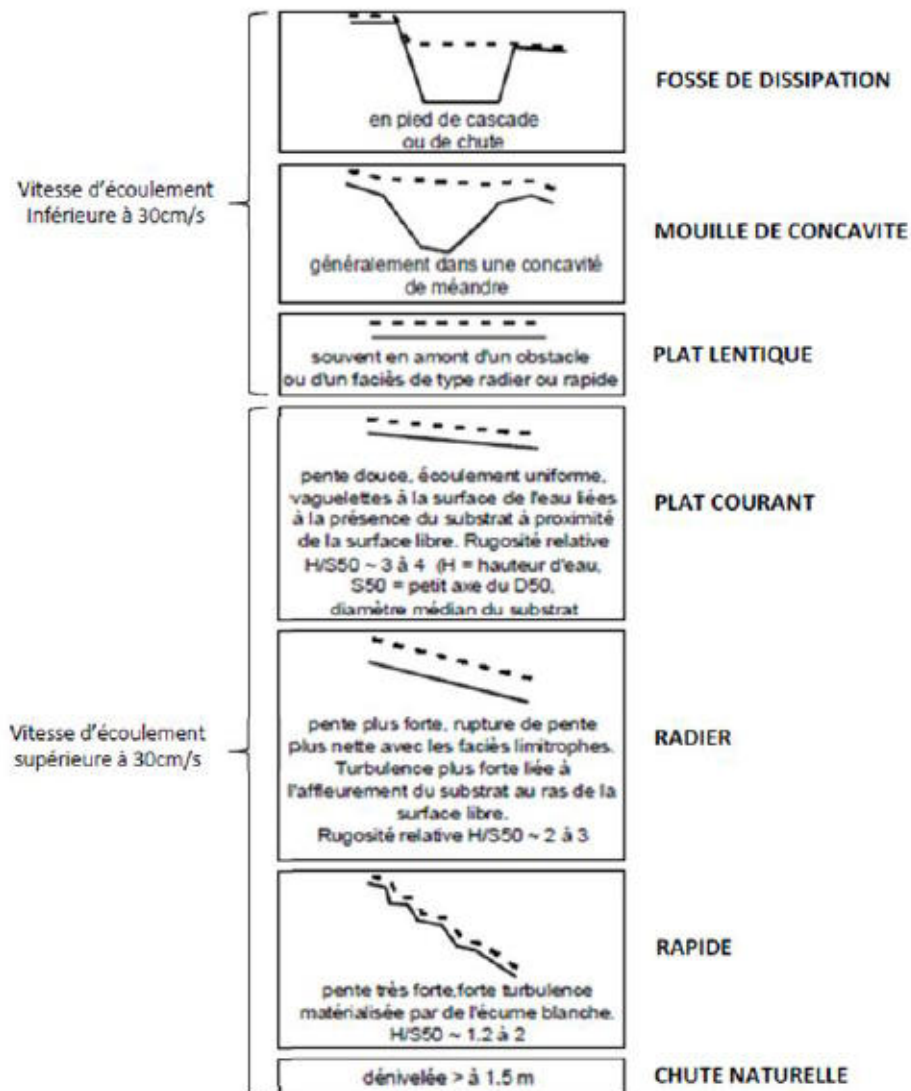
🔄 **Point de vigilance**

Sur les transects, les points « hors d'eau » seront mesurés selon la ligne d'eau et mentionnés sur la fiche terrain en nombre négatifs



¹ Lien vers le guide complet : http://www.onema.fr/sites/default/files/pdf/guide_technique_carhyce.pdf

Annexe 7 : Clé de détermination des faciès d'écoulement adaptée de Malavoi et Souchon (2002)
(Source : Malavoi et Souchon, 2002)



Annexe 8 : Tableau simplifié de détermination des classes granulométriques adapté pour le protocole CARHYCE
(Source : ONEMA, 2015)

Nom de la classe granulométrique	Classes de taille (diamètre en mm perpendiculaire au plus grand axe)	Code utilisé
Rochers	> 1024	R
Blocs	256-1024	B
Pierres	64-256	P
Cailloux	16-64	C
Graviers	2-16	G
Sables	0,0625-2	S
Limons	0,0039-0,0625	L
Argiles	< 0,0039	A

Annexe 9 : Tableau des habitats complémentaires
(Source : le « Guide à l'usage des questionnaires de milieux aquatiques »)

Habitats complémentaires	Surface minimale pour la prise en compte de l'habitat
Chevelu racinaire	200 cm ²
Bois en rivière	Diamètre > 3 cm
Végétation aquatique	200 cm ²
Pool détritique	200 cm ²
Pierres grossières/blocs	Deuxième plus grande largeur > 12,8 cm
Sous-berges	-

Annexe 10 : Fiche bureau facilitant la lecture des résultats et la comparaison avant et après travaux pour le cas de l'indicateur « Proportion des faciès d'écoulement » sur le tronçon 9 du ruisseau de la Faroulais

Proportion des faciès d'écoulement																																	
Situation géographique (nom du cours d'eau, numéro de tronçon, ...) : La Faroulais - Pléchâtel - Tronçon 9																																	
Avant travaux	Après travaux																																
Gestionnaire : Kenan Le Quellec	Gestionnaire :																																
Date : 17/05/2017	Date :																																
Heure de début / heure de fin : 11h25 / 12h11	Heure de début / heure de fin :																																
Conditions climatiques et hydrologiques : Ensoleillé - Moyennes eaux	Conditions climatiques et hydrologiques :																																
Commentaires :	Commentaires :																																
Sens : De l'amont vers l'aval / De l'aval vers l'amont																																	
<p>Proportion des faciès d'écoulement (%)</p> <table border="1"> <caption>Data for Proportion des faciès d'écoulement (%) - Avant travaux</caption> <thead> <tr> <th>Faciès</th> <th>Proportion (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fosse</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Mouille</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Plat lentique</td> <td>60,5</td> </tr> <tr> <td>Plat courant</td> <td>37,9</td> </tr> <tr> <td>Radier</td> <td>1,6</td> </tr> <tr> <td>Rapide</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Chute</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	Faciès	Proportion (%)	Fosse	0	Mouille	0	Plat lentique	60,5	Plat courant	37,9	Radier	1,6	Rapide	0	Chute	0	<p>Proportion des faciès d'écoulement (%)</p> <table border="1"> <caption>Data for Proportion des faciès d'écoulement (%) - Après travaux</caption> <thead> <tr> <th>Faciès</th> <th>Proportion (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fosse</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Mouille</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Plat lentique</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Plat courant</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Radier</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Rapide</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Chute</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	Faciès	Proportion (%)	Fosse	0	Mouille	0	Plat lentique	0	Plat courant	0	Radier	0	Rapide	0	Chute	0
Faciès	Proportion (%)																																
Fosse	0																																
Mouille	0																																
Plat lentique	60,5																																
Plat courant	37,9																																
Radier	1,6																																
Rapide	0																																
Chute	0																																
Faciès	Proportion (%)																																
Fosse	0																																
Mouille	0																																
Plat lentique	0																																
Plat courant	0																																
Radier	0																																
Rapide	0																																
Chute	0																																

Annexe 11 : Fiche terrain pour le cas du tronçon 3 du ruisseau de la Faroulais

[illegible]

Table des matières

Sommaire	1
Liste des sigles	2
Présentation de la structure.....	3
I) Introduction	4
II) Matériels et Méthodes.....	7
1) Présentation du site d'étude.....	7
2) Présentation de la clé méthodologique du « guide »	8
3) Présentation du matériel et des méthodes utilisés par indicateur.....	10
a) Phase terrain	10
b) Phase bureau.....	12
III) Résultats.....	12
1) Application de la clé méthodologique du « guide ».....	12
2) Résultats de la mise en place de suivis sur le cas d'étude	14
a) Tronçon 1.....	14
b) Tronçon 3	15
IV) Discussion.....	18
1) Discussion des résultats et des indicateurs.....	18
2) Discussion de la clé méthodologique du « guide »	21
3) La standardisation	22
V) Conclusion.....	24
Bibliographie	25
Liste des figures.....	28
Liste des tableaux.....	28
Annexes	29
Table des matières	39