

Master ingénierie et géosciences pour l'environnement (ISIE)

Stage de fin d'étude de mars à août 2021

Etude scientifique des travaux de restauration de la continuité écologique des rivières dans le cadre du projet LIFE Biocorridor : Cas du bassin versant du Steinbach



© Bartosch Salamanski

Structure d'accueil : Parc naturel régional des Vosges du Nord
21 rue du château 67 290 La-Petite-Pierre

Tutrice universitaire : Marie – Claire PIERRET

Maitre de stage : Alban CAIRAULT



REMERCIEMENTS

Je souhaite tout d'abord remercier M. Alban CAIRAULT, mon maître de stage au PNR des Vosges du nord, pour m'avoir accompagné et formé durant ces 6 mois de stage. Il m'a permis de gagner énormément en compétence et ses connaissances dans divers domaines, sa motivation et son soutien m'ont beaucoup apportés en confiance et en maturité et me suivront sans doute tout le long de mon parcours professionnel. Je remercie également Mme. Marie-Claire PIERRET d'avoir su m'épauler, me soutenir et répondre à mes questions malgré son emploi du temps chargé. Elle m'a également rassuré lors de mes quelques périodes de doute et m'a soutenu dans mes recherches d'emplois pour l'après-stage. Enfin je les remercie tous les deux ainsi que mon entourage pour leurs relectures et conseils pour mon rapport et ma soutenance de stage.

Je souhaite également à remercier l'équipe professionnelle du parc ainsi que les stagiaires et services civiques présent durant mon stage et tout particulièrement le pôle Nature-Agriculture pour l'apport de connaissance dans de nombreux domaines, leur aide mais également pour m'avoir accueilli au sein de l'organisme. Je garderais un bon souvenir de mes journées en tant que stagiaire du parc naturel régional des Vosges du Nord.

Enfin je tiens à dire merci à l'équipe universitaire pour m'avoir accueilli dans leur structure, m'avoir formé et m'avoir apporté les réponses à mes questions et ce, malgré la période difficile rencontrée par toutes et tous durant ces deux dernières années.

RESUME

○ *Français*

Dans le cadre du programme européen de financement LIFE, lancé en 1992, dédié uniquement à des projets pour l'environnement ou le climat mais également afin de répondre aux objectifs de bon état écologique lancé par la DCE, le SYCOPARC a décidé de se lancer dans un programme de restauration de la continuité écologique au sein de son territoire. Ainsi, le projet LIFE Biocorridor est né suite à une étude, faite en 2012, des corridors écologiques présents sur le territoire de la RBT. L'objectif est la restauration de la continuité écologique dans les trois espaces principaux du parc, à savoir les forêts, les milieux ouverts et les zones humides et aquatique. Le projet de restauration de la continuité écologique des rivières a pour ambition de rendre son dynamisme et ses espèces aux cours d'eau par la suppression des impacts et des obstacles qui pèsent sur eux. Une étude scientifique a donc été lancée afin d'effectuer un état de lieux par compartiments écologique concerné (macroinvertébrés, piscicole, hydromorphologique et physico-chimique). Un premier état initial a été effectué en 2016 et 2017. L'état final est en cours de récolte avec une première phase de terrain débuté en 2021. L'analyse de ces résultats et la comparaison entre cet état initial et final permet notamment d'étudier les impacts positifs des travaux de restauration de la continuité écologique mais également d'établir les limites et les améliorations à engager pour la suite des opérations.

○ *English*

Within the framework of the European funding program LIFE, launched in 1992, dedicated solely to environmental or climate projects but also to meet the objectives of good ecological status launched by the WFD, SYCOPARC has decided to launch a program to restore ecological continuity within its territory. Thus, the LIFE Biocorridor project was born following a study, made in 2012, of the ecological corridors present on the territory of the TBR. The objective is the restoration of ecological continuity in the three main areas of the park, namely the forests, the open environments and the wetlands and aquatic areas. The project of restoration of the ecological continuity of the rivers has for ambition to return its dynamism and its species to the rivers by the elimination of the impacts and the obstacles which weigh on them. A scientific study was thus launched in order to carry out an inventory of fixtures by ecological compartments concerned (macroinvertebrates, fish, hydromorphological and physicochemical). An initial assessment was carried out in 2016 and 2017. The final state is being harvested with a first phase of fieldwork beginning in 2021. The analysis of these results and the comparison between this initial and final state makes it possible to study the positive impacts of the works of restoration of the ecological continuity but also to establish the limits and the improvements to engage for the continuation of the operations.

SOMMAIRE

LE PARC NATUREL REGIONAL DES VOSGES DU NORD	7
INTRODUCTION	8
1. Cadre et définition du stage.....	8
2. Situation de la zone d'étude	8
PARTIE 1 – Contexte géographique, écologique et technique des sites.....	10
1. Contexte géographique.....	10
2. Enjeux des aménagements et stratégie de restauration	11
a. Aménagements avant travaux de restauration	11
b. Enjeux écologiques.....	12
c. Typologie de travaux de restauration.....	13
PARTIE 2 – Méthodologie de suivi de travaux (6 pages).....	14
1. Variable temporelle et localisation des suivis de travaux de restauration (0,5 page).....	14
2. Recherches bibliographiques sur les indicateurs à suivre (1 page)	14
3. Récolte des données sur le terrain (2,5 pages).....	15
a. Suivi physico-chimique.....	15
b. Suivi hydromorphologique.....	16
c. Suivi biologique	16
4. Analyse et bancarisation des données (2,5 pages).....	18
a. Bancarisation des données	18
b. Préparation des bases de données	18
c. Analyse des données avec le logiciel xstat.....	19
PARTIE 3 – Présentation des résultats (9 pages)	20
1. Analyse du compartiment de la physico-chimie (1 page).....	20
2. Analyse du compartiment de l'hydromorphologie (2 pages)	21
3. Analyse du compartiment des macroinvertébrés (2 pages).....	23
4. Analyse du compartiment piscicole (2 pages)	25
5. Comparaison entre les différents compartiments (2 pages)	27
PARTIE 4 – Discussion (4 pages)	29
CONCLUSION (1 page)	33
BILAN PERSONNEL (1 page)	34
TABLE DES ABREVIATIONS.....	35
GLOSSAIRE.....	37
BIBLIOGRAPHIE.....	38
ANNEXES	40

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : situation du parc naturel régional des Vosges du Nord (Source : mairie de Climbach)	7
Figure 2 : Charte du parc naturel régional des Vosges du Nord (SYCOPARC, 2014).....	7
Figure 3 : situation des sites de restauration de la continuité écologique du bassin versant du Steinbach	9
Figure 4 : Descriptif des sites de restauration de la continuité écologique du bassin-versant du Steinbach	10
Figure 5 : Occupation du sol sur le bassin versant du Steinbach et sur une zone tampon de 20 m autour des tronçons restaurés (GeoEST, 2011).....	10
Figure 6 : Aménagements avant travaux de restauration du site de l'étang de pêche d'Obersteinbach (Artelia, 2017)	11
Figure 7 : Aménagements avant travaux de restauration du site de l'étang de pêche d'Obersteinbach (Artelia, 2017)	12
Figure 8 : Travaux de restauration de la continuité écologique du site 5 de l'étang de pêche d'Obersteinbach (Artelia, 2018)	13
Figure 9 : Travaux de restauration de la continuité écologique du site 3 de la friche de Niedersteinbach (Artelia, 2017)	13
Figure 10 : Stations de suivi des travaux par compartiment du bassin versant du Steinbach (à mettre à jour).....	14
Figure 11 : Compartiments et temporalité du suivi scientifique des travaux de restauration de la continuité écologique.....	14
Figure 12 : Recherche bibliographique des indicateurs du suivi scientifique des travaux de restauration de la continuité écologique	15
Figure 13 : Photo du matériel de mesure et de prélèvement physico-chimique	15
Figure 13 : Photo de la biométrie (A) et de la pêche électrique à la friche humide de Niedersteinbach (B).....	17
Figure 14 : Photo de la campagne de prélèvement des macroinvertébrés.....	17
Figure 15 : Schéma des étapes de bancarisation des données (OFB, 2017).....	18
Figure 16 : Base de données hydromorphologie	18
Figure 18 : Base de données piscicole	19
Figure 17 : Base de données macroinvertébrés	19
Figure 19 : Indicateurs ajoutés aux bases de données	19
Figure X1 : Résultats de l'ACP par station de mesure des macroinvertébrés avant et après travaux.....	23
Figure X2 : Résultats de l'ACP (A) et de la CAH (B) pour les indicateurs des macroinvertébrés avant et après travaux	24
Figure X3 : Résultats de l'ACP (A) et de la CAH (B) des les stations avant et après travaux pour le compartiment des macroinvertébrés.....	24
Figure X4 : Résultats de l'ACP par station de mesure du compartiment piscicole avant et après travaux.....	25
Figure X5 : Résultats de la CAH pour les indicateurs des poissons avant et après travaux.....	26
Figure X6 : Résultats de l'ACP (A) et de la CAH (B) des les stations avant et après travaux pour le compartiment des macroinvertébrés.....	26

LE PARC NATUREL REGIONAL DES VOSGES DU NORD

La France compte 56 parcs naturels régionaux regroupant plusieurs communes et ayant chacun les mêmes objectifs : préserver les patrimoines naturels et culturels, agir pour le développement économique et l'aménagement du territoire, améliorer le cadre de vie des citoyens, sensibiliser la population sur les différents enjeux et être moteur de projets et d'actions. Ces différentes missions sont regroupées dans la charte propre à chaque parc (Figure 2). Afin de la respecter, le parc naturel régional a un rôle d'animateur et de soutien auprès des différents acteurs des projets (collectivités, propriétaires, élus, associations, délégués, agriculteurs, agence de l'eau, DDT, professeurs, bénévoles, chercheurs, étudiants, architectes, commerçants).

Le PNR des Vosges du nord se situe sur un territoire de 127 666 ha (dont 15 955 ha d'espaces protégés) à cheval sur les départements de la Moselle et du Bas-Rhin (Figure 1). Sur ce territoire est regroupé 111 communes comprenant près de 85 000 habitants et de nombreux sites culturels et naturels ainsi qu'une réserve naturelle nationale et une réserve naturelle régionale. De plus, le parc et le Naturepark Pfälzerwald en Allemagne forment ensemble la réserve de biosphère transfrontalière Vosges du Nord – Pfälzerwald (Figure 1). La maison du parc est située à la Petite-Pierre où sont regroupés les bureaux de la quarantaine d'employés et stagiaires/services civiques du parc répartis en différents pôles (direction – administration – communication, maison de l'eau et de la rivière, nature – agriculture, culture – médiation, aménagement – tourisme et observatoire du territoire).

Le PNR des Vosges du Nord s'engage pour accomplir les différentes vocations de sa charte qui est actualisée tous les 12 ans (actuellement il s'agit de la charte de 2014 à 2029). Elle est divisée en 3 vocations sous-divisée par plusieurs orientations (Figure 2).

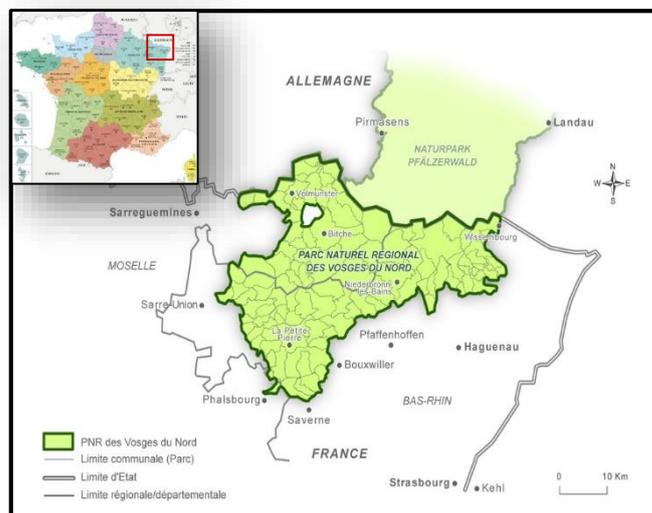


Figure 1 : situation du parc naturel régional des Vosges du Nord (Source : mairie de Climbach)

Tableau 1 : Charte du parc naturel régional des Vosges du Nord (SYCOPARC, 2014)

Vocation 1 : Territoire où l'homme est attaché à son environnement naturel et culturel	Vocation 2 : Territoire qui récolte les fruits de son investissement patrimonial	Vocation 3 : Territoire qui ménage son espace et ses paysages
Orientation 1.1 : Mobiliser les acteurs autour de l'excellence de la gestion de l'eau	Orientation 2.1 : Passer par l'économie pour évoluer vers une forêt plus naturelle	Orientation 3.1 : S'obliger à penser l'espace comme un bien collectif
Orientation 1.2 : Exercer notre responsabilité vis-à-vis des générations futures en garantissant des sanctuaires	Orientation 2.2 : Valoriser les savoir-faire	Orientation 3.2 : Innover dans l'art d'habiter le territoire
Orientation 1.3 : Voir la nature partout	Orientation 2.3 : Tirer parti des ressources et des proximités	
Orientation 1.4 : Faire vivre notre relation avec les Vosges du nord	Orientation 2.4 : Investir le tourisme durable comme un champ d'innovation	

Pour répondre à ces objectifs de nombreuses missions (culturelles, scientifiques, éducatives, médiationnelles) sont engagées : création de pistes cyclables, intervention et animation dans les écoles, sensibilisation auprès du grand public de l'importance de la biodiversité, organiser et gérer les collections des musées, création d'espaces de bivouac, mesure et observation de la qualité des rivières, ...

Le projet présenté dans ce rapport répond aux objectifs de l'orientation 1.1 : Mobiliser les acteurs de l'excellence de la gestion de l'eau.

INTRODUCTION

1. Cadre et définition du stage

Le projet présenté dans ce rapport s'inscrit dans le programme européen de financement LIFE, lancé en 1992. Il s'agit d'un budget alloué par la commission européenne et dédié uniquement à des projets pour l'environnement ou le climat. En 2006, le programme est reconduit pour une période de 7 ans (jusqu'en 2013) puis entre 2014 et 2020.

Le projet LIFE Biocorridor engagé par le SYCOPARC fait partie du programme LIFE 2014 – 2020 avec une prolongation en 2021 dû à la crise sanitaire débutée en 2020 empêchant le bon déroulement de certaines phases de travaux. Il est né suite à une étude, faite en 2012, des corridors écologiques présents sur le territoire de la RBT. Le projet LIFE Biocorridor est lancé après concertation des différents acteurs du territoire (commission européenne, agence de l'eau Rhin – Meuse, Direction départementale des territoires, Chargés de missions du PNR des Vosges du Nord, Elus locaux, Associations de pêches, Agriculteurs, ONF).

L'objectif est la restauration de la continuité écologique dans les trois espaces principaux du parc, à savoir les forêts, les milieux ouverts et les zones humides et aquatique. Les espaces qui nous intéressent dans ce rapport sont les zones humides et aquatiques. Le projet de restauration de la continuité écologique des rivières permet d'une part de rendre son dynamisme et ses espèces aux cours d'eau par la suppression des impacts et des obstacles qui pèse sur eux, mais également de répondre aux objectifs de la DCE. Celle-ci fixe l'objectif d'atteindre une bonne qualité de l'ensemble des espaces aquatiques d'ici 2027 et vise à préserver et restaurer les milieux aquatiques.

Le projet concerne donc les espaces aquatiques ayant subi des impacts et des pressions anthropiques afin de les effacer et de rendre une continuité biologique et sédimentaire à la rivière. Pour cela, 7 sites ont été choisis situés dans le bassin versant de la Sauer ou de la Lauter (*Annexe 1*) : les étangs du Soultzbach à Woerth (site 1), la pisciculture du Liebfrauenthal (site 2), La friche du Steinbach (site 3), le restaurant de Niedersteinbach (site 4), l'étang de pêche d'Obersteinbach (site 5), la passe à poisson de Weiler (site 6) et les étangs de la Nonnenhardt (site 7).

Au cours de mon stage, j'ai été en charge du suivi scientifique de ces travaux de restauration de la continuité écologique dans le cadre du projet Life biocorridor. Ce suivi a pour objectif une comparaison de l'état des cours d'eau (habitats, dynamique hydraulique, hydromorphologie, faune aquatique) avant et après travaux afin d'établir un diagnostic de l'atteinte ou non des objectifs et discuter des améliorations à prévoir pour la suite des opérations.

Pour mon rapport de stage j'ai donc décidé de présenter ce suivi et de m'interroger sur l'objectif et l'utilisation des indicateurs écologiques dans le cadre d'un suivi scientifique de travaux de restauration. Pour cela, je présenterais tout d'abord le contexte général des sites choisis. Puis dans un second temps je présenterais les phases de récolte, de bancarisation de donnée et de recherche d'indicateurs qui me permettront de présenter ensuite la partie analyse de données utile dans l'évaluation des impacts des travaux de restauration de la continuité écologique.

2. Situation de la zone d'étude

Afin d'exposer mon projet plus en détail, j'ai décidé de présenter 2 sites situés sur le sous bassin-versant du Steinbach (*Figure 2*) : la friche du Steinbach (que nous appellerons site 3) et l'étang de pêche d'Obersteinbach (que nous appellerons site 5). Les travaux du troisième site (site 4 du restaurant de Niedersteinbach) ont été terminés que très récemment (début 2021), j'ai donc fait le choix de ne pas l'introduire dans ce document.



Légende

- Sites de restauration de la continuité écologique dans le cadre du projet Life biocorridor
 - ▭ Limite du parc naturel régional des Vosges du Nord
 - ▭ Bassin versant du Steinbach
- Retenues d'eau**
- T2
 - T3
 - T4
 - T5
- Cours d'eau

Figure 2 : situation des sites de restauration de la continuité écologique du bassin versant du Steinbach

1. Contexte géographique

Le bassin versant du Steinbach est situé au nord-est du parc naturel régional des Vosges du nord (*Annexe 1*). Le climat y est de type semi-continental caractérisé par des précipitations assez abondantes et régulières (entre 850 et 1050 mm/an) plus faible en plaine d'Alsace que sur la partie des basses Vosges (*Longechal, 2006*). Les températures sont relativement chaudes en été et froide en hiver. La superficie du bassin est de 26 km² avec un linéaire de cours d'eau de 20,4 km. Nous sommes dans des cours d'eau de très petite taille en tête de bassin avec des rangs strahler* de 1 ou 2 (*Tableau 2*).

Une présence modérée de retenues d'eau en amont a donc été recensé grâce à une étude cartographique (*Figure 4*). Elles peuvent impacter la dynamique des écoulements mais aussi créer un effet retenu des sédiments et provoquer une augmentation des températures en aval pouvant être défavorable pour la faune aquatique (*Carluer, 2016*).

Tableau 2 : Descriptif des sites de restauration de la continuité écologique du bassin-versant du Steinbach

	Site 5	Site 3
Commune	Obersteinbach	Niedersteinbach
Côte NGF (m)	238	215
HER	Vosges gréseuses	Vosges gréseuses
Rang strahler	1	2
Distance à la source (km)	2,93	6,07
Retenues d'eau en amont (<i>Typologie en annexe 2</i>)	9	30

De plus, le Steinbach est un cours d'eau caractéristique de l'HER* Vosges gréseuses (*Tableau 2*). Il se trouve en effet sur les formations gréseuses perméables appartenant à la série gréseuse du Buntsandstein responsable de la couleur rose des affleurements de cette région (*Longechal, 2006*) (*Annexe 3*).

Hydrologie

Le caractère perméable du grès permet de capturer l'eau de pluie et ainsi de la restituer au fil de l'année ce qui permet de multiplier les sources et explique le fait que les Vosges du nord regorgent de nombreux cours d'eau de tête de bassin (*Muller, 2012*). D'après les données hydrologiques issues de la banque hydro (hydro.eaufrance.fr) de la station du Falkensteinbach à Gunderschoffen, nous sommes en présence d'un cours d'eau à faible débit qui évolue peu sur l'année (2,3 m³/s en janvier à 1 m³/s en août) (*Annexe 4*).

Occupation du sol

La formation gréseuse caractéristique des Vosges du nord rend les sols sableux et plutôt pauvres en nutriments et les eaux plus acides et peu minéralisées (*Longechal, 2006*). On recense donc peu d'exploitation agricole sur le bassin versant (inférieur à 0,5%) (*Tableau 3*). Au contraire, on dénombre une surface majoritaire de forêts (près de 90% et autour de 30% au niveau du tronçon restauré du site 3) dont des hêtres, feuillus et pin issus des sylvicultures autrefois utilisées pour les verreries, mines et métallurgies.

Tableau 3 : Occupation du sol sur le bassin versant du Steinbach et sur une zone tampon de 20 m autour des tronçons restaurés (GeoEST, 2011)

	Zone artificialisée	Espace agricole	Espace ouvert (prairie / friches)	Zone arborée	Zone humide et ripisylve
BV Steinbach (%)	2,1	<0,5	8,2	88,7	<0,5
Tronçon du site 5 à 20m (%)	12	0	87,6	0	<0,5
Tronçon du site 3 à 20m (%)	7,2	0	2,2	30,4	60,2

2. Enjeux des aménagements et stratégie de restauration

L'ensemble des projets regroupe un certain nombre d'acteurs importants (propriétaires privés, association de pêche, SYCOPARC qui s'occupe du suivi des projets et de la maîtrise d'ouvrage, les bureaux d'étude en charge de l'assistance à maîtrise d'ouvrage à savoir Artelia dans notre cas, les entreprises en charge des travaux, les financeurs qui sont la commission européenne à environ 60% et l'agence de l'eau Rhin Meuse à 40%).

Les différents sites de travaux de restauration de la continuité écologique ont été choisis car une présence d'aménagement pouvant impacter la continuité écologique et sédimentaire des rivières a été attestée. Il a donc été décidé de les intégrer (avec l'accord des propriétaires) dans le plan de financement européen du Life.

a. Aménagements avant travaux de restauration

Site 5 : Etang de pêche d'Obersteinbach

Une étude d'avant-projet faite par le bureau d'étude Artelia en 2017 a permis de recenser la présence d'un étang de pêche d'environ 1400 m², créé dans les années 1950, qui engendrait une déviation du lit du Steinbach pouvant alors créer une déconnexion entre le cours d'eau et la nappe (Figure 3). Un seuil en amont situé en travers du cours d'eau et créant une chute d'eau d'environ 45cm servait d'alimentation de la chambre de répartition puis des deux étangs en aval (Figure 3). Un ouvrage de franchissement de rue en aval de l'étang (rue de Witteberg) a également été intégré dans les travaux car il engendrait ainsi un rehaussement du fond d'environ 50cm (Figure 3).

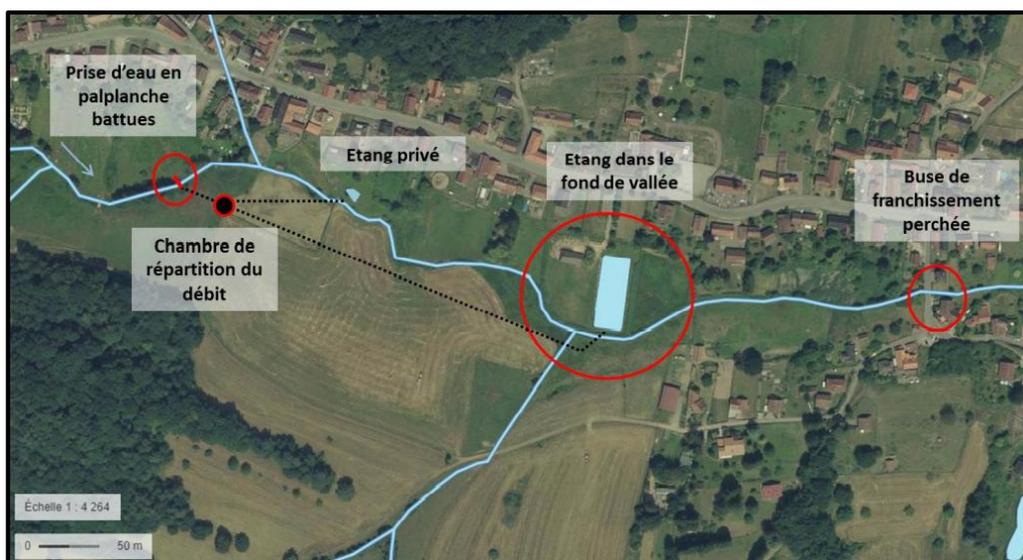


Figure 3 : Aménagements avant travaux de restauration du site de l'étang de pêche d'Obersteinbach (Artelia, 2017)

La présence de l'étang peut avoir un impact sur la température de la rivière et donc sur la quantité d'oxygène de l'eau. En effet, plus la température est importante moins l'eau est riche en oxygène (Carluer, 2016). Ceci engendre donc des perturbations pour le développement de certaines espèces piscicoles qui préfèrent les eaux froides pour leur reproduction.

Quant aux effets barrages, ils provoquent un effet retenu en amont engendrant ainsi un ralentissement de l'écoulement, une barrière pour la libre circulation des espèces piscicoles et une augmentation de la température de l'eau accompagnée d'une accumulation des sédiments et un creusement en aval par la réduction du transport sédimentaires au sein du cours d'eau (Degoutte, 2006 ; Baudoin, 2014). Ceci entraîne un comblement des zones de frayères impactant ainsi la reproduction des poissons (AFB, 2010 ; Conseil supérieur de la pêche, 2000).

Site 3 : Friche humide de Niedersteinbach

D'après l'étude d'avant-projet de 2017 d'Artelia, il a été à noter la présence d'anciennes prairies à dos utilisées jusqu'au milieu du XX^{ème} siècle pour la fauche pour l'alimentation du bétail. Les anciens ouvrages (S1, S2, S3 et S4) présents sur le site (Figure 4) étaient alors utilisés pour irriguer ces prairies et augmenter leur rendement. Aujourd'hui, les prairies sont pâturées par un troupeau de vache de race Highland Cattle possédé par l'AGEVON et géré en partenariat avec le PNR des Vosges du Nord et la commune de Niedersteinbach. Le troupeau avait accès aux berges et pouvait circuler librement dans le lit de la rivière. Enfin, une STEP est présente sur le site (Figure 4) avec un rejet directement dans le Steinbach.



Figure 4 : Aménagements avant travaux de restauration du site de l'étang de pêche d'Obersteinbach (Artelia, 2017)

La présence de ces seuils crée les mêmes impacts que pour le site 5 décrit précédemment. La présence des troupeaux en libre accès au cours d'eau engendre en plus un impact sur les sections de plein bord en modifiant la structure du lit par érosion et colmatant les habitats des fonds de la rivière et perturbant l'écosystème faunistique et floristique par la remobilisation des sédiments (Doris, 2008).

b. Enjeux écologiques

Les deux sites sont inclus dans la zone Natura 2000 « La Sauer et ses affluents » et sont donc concernés par une présence potentielle d'habitats et d'espèces protégés ainsi que dans la zone ZNIEFF 1 (Annexe 5).

Le réseau N2000 possède plusieurs objectifs disponibles dans le docob N2000 et permet d'orienter les actions du territoire (Annexe 6). Selon l'analyse des différents aménagements et enjeux du territoire, l'objectif des divers travaux de restauration était de préserver et réhabiliter les espaces afin de rétablir la continuité biologique et sédimentologique ainsi que de rétablir la dynamique hydrologique. Ils permettent donc de s'intégrer dans les objectifs du document d'objectifs du réseau N2000 OD.1. Restaurer et préserver la dynamique naturelle des ruisseaux et rivières sur grès et O.1. Rétablir la continuité hydraulique, biologique et sédimentaire du réseau Natura 2000 (Annexe 4). De plus certains travaux de restauration permettent de répondre à d'autres objectifs du réseau tel que O.2. Diminuer les plantations de résineux et de peupliers par la suppression de parcelles de résineux (Site 3) et O.3. Limiter le phénomène d'ensablement par l'arasement ou le dérasement de seuil (Site 3 et Site 5) (Longechal, 2006)

Ces actions permettent également d'agir dans le cadre de la DCE dont l'objectif est d'atteindre le bon état des masses d'eau et, plus localement, pour le SDAGE Rhin Meuse dans le cadre de « l'orientation T3 – O3.2.2.2 : Pour la

gestion des ouvrages existants, adopter les mesures nécessaires s'agissant de la continuité longitudinale des cours d'eau » (SDAGE, 2016-2021).

c. Typologie de travaux de restauration

La typologie des aménagements des deux sites (inspiré du manuel de restauration hydromorphologique des cours d'eau de l'agence de l'eau Seine-Normandie) concerne essentiellement : le dérasement (un seuil sur le site 5 avec modification de l'ancienne prise d'eau), l'arasement (pour les seuils 2 et 3 du site 3 qui ont été complètement retiré) ou le contournement de seuils (pour les seuils 1 et 4 du site 3). De plus, d'autres aménagements ont été prévu pour améliorer la dynamique hydraulique ou la qualité des écosystèmes présents (Figure 5 et 6)

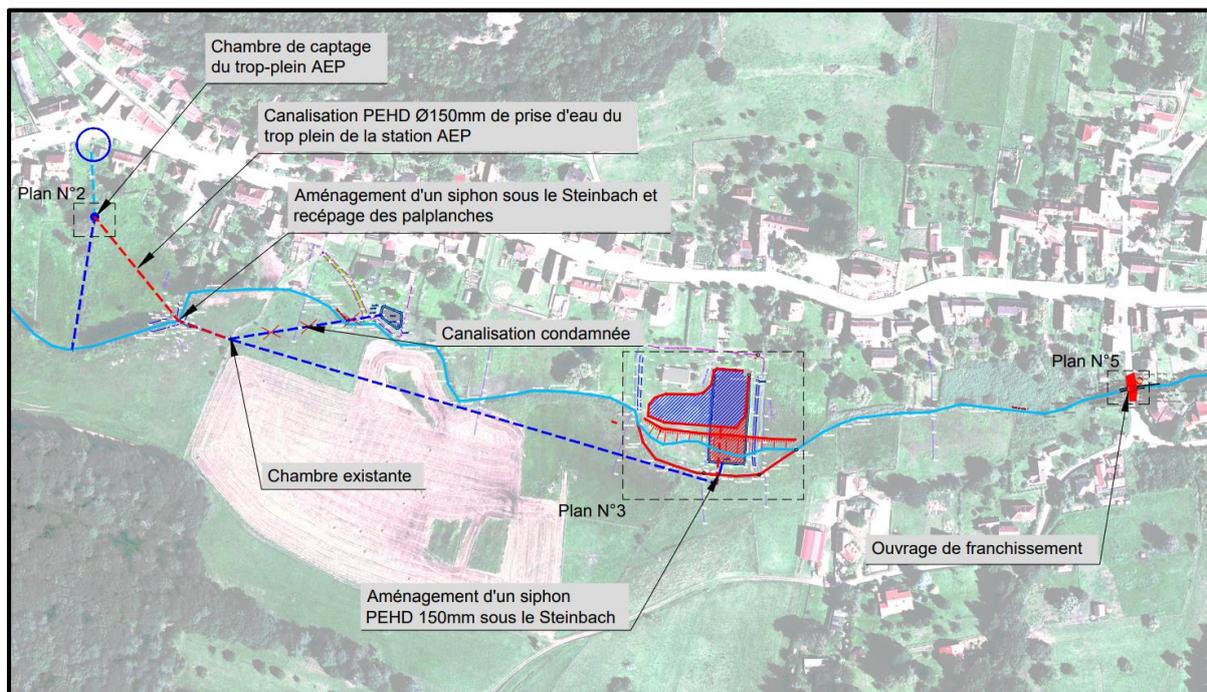


Figure 5 : Travaux de restauration de la continuité écologique du site 5 de l'étang de pêche d'Obersteinbach (Artelia, 2018)

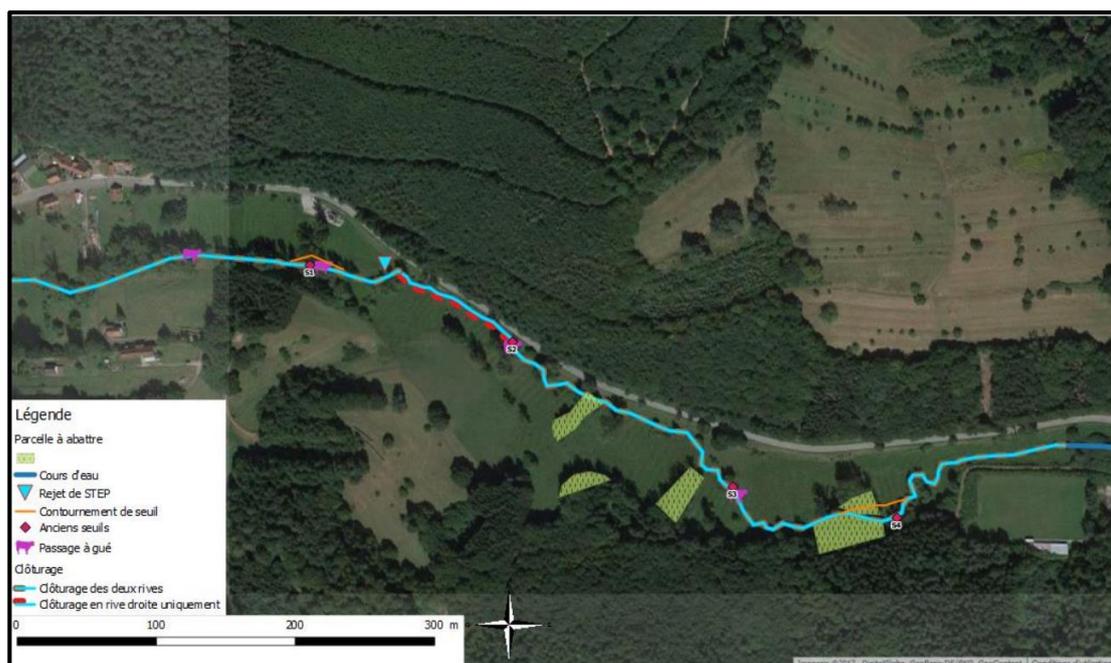


Figure 6 : Travaux de restauration de la continuité écologique du site 3 de la friche de Niedersteinbach (Artelia, 2017)

1. Variable temporelle et localisation des suivis de travaux de restauration (0,5 page)

Les stations de suivi ne sont pas à proximité immédiate des travaux (mais en amont) afin de tenir compte de la géométrie du site, de l'érosion régressive* engendrée en amont des travaux et d'évaluer les interactions entre les compartiments adjacents à la zone restaurée (Figure 7) (Baudry, 2002). L'objectif principal des travaux est le rétablissement de la continuité biologique, sédimentaire et hydrologique des sites. Les différents compartiments suivis (Tableau 4) ont été déterminés selon le contexte des sites et l'objectif des travaux. La physico-chimie permet d'obtenir l'évolution sur un pas de temps court de la qualité de l'eau (Meybeck, 2010) et de contextualiser le suivi.



Figure 7 : Stations de suivi des travaux par compartiment du bassin versant du Steinbach (à mettre à jour)

L'état des lieux a été fait sur une échelle temporelle. Un suivi de l'état initial avant travaux a été effectué en 2016. Le suivi de l'état final a été organisé durant mon stage, 1 an après les travaux de restauration (Tableau 4).

Tableau 4 : Compartiments et temporalité du suivi scientifique des travaux de restauration de la continuité écologique

Sites	Compartiments suivis	Etat initial	Travaux de restauration	Etat post-travaux
Site 3	Hydromorphologie	Juillet 2016	Juin 2019	Avril 2021
	Piscicole	Octobre 2016		Juin 2021
	Macroinvertébrés	Avril 2017		Mai 2021
	Physico-chimie	2016		Mai – août 2021
Site 5	Hydromorphologie	Juillet 2016	Août 2020	Avril 2021
	Piscicole	Octobre 2016		Juin 2021
	Macroinvertébrés	Avril 2017		Mai 2021
	Physico-chimie	2016		Mai – août 2021

2. Recherches bibliographiques sur les indicateurs à suivre (1 page)

Après avoir déterminé les compartiments à suivre et en amont de l'analyse des données, il est important d'effectuer une recherche bibliographique. L'objectif est d'obtenir une base de connaissance des indicateurs permettant d'effectuer le suivi scientifique et la comparaison des résultats avant et après les travaux de restauration de la continuité écologique. Dans notre cas, nous sommes dans une échelle temporelle relativement courte après travaux (entre 1 et 2 ans) (Tableau 4), les différents cycles biologiques* n'ont donc pas encore eu lieu (Malavoï, 2012). Il est alors possible de ne pas obtenir de résultats très importants sur un grand nombre d'indicateurs. En effet, le cycle biologique des poissons. J'ai donc effectué une première étape de recherche bibliographique par compartiment afin de sélectionner des indicateurs intéressants à suivre.

Les indicateurs physico-chimiques permettent, comme expliqué précédemment, d'obtenir un bruit de fond général du cours d'eau restauré (Tableau 5). Les petits cours d'eau de tête de bassin réagissent en effet rapidement aux conditions météorologiques et aux pressions environnementales permettant de repérer les modifications récentes de la qualité de l'eau (Forum des marais atlantiques, 2020 ; Meybeck, 2009). De plus, les cours d'eau faiblement

anthropisés et avec une présence modérée d'espaces agricoles, subissent des variations essentiellement liées à la présence ou non de végétaux et l'érosion engendrés par les conditions météorologiques (Meybeck, 2009).

L'étude du compartiments hydromorphologique permet de déterminer l'évolution du cours d'eau, la présence potentielle et la qualité des écosystèmes et des habitats des cours d'eau (Malavoi, 2007). En effet, la géométrie du lit, la présence de granulométrie et de type de berge diversifié permet de savoir s'il y a une potentiel diversité de faciès et donc d'habitat pour la faune. D'après le document d'« Aide à la définition d'une étude de suivi – recommandation pour des opérations de restauration de l'hydromorphologie des cours d'eau » (Malavoi, 2012), les indicateurs sont à choisir selon le type d'altération identifié dans le cours d'eau (Tableau 5) (Annexe 7). Les projets présentés dans ce rapport concernent en particulier une présence de seuil engendrant un obstacle à la continuité écologique et sédimentaire (cf. partie 1 – 2.a).

Une étude du compartiment biologique a également été faite. Elle comprend un suivi de la faune piscicole et macroinvertébrés (Tableau 5). Grâce à cette étude, il est possible d'évaluer l'évolution de la population aquatique et donc de savoir si les travaux ont permis d'atteindre leur objectifs d'amélioration de la continuité écologique en permettant une diversification des habitats (Rolan-Meynard, 2019).

Tableau 5 : Recherche bibliographique des indicateurs du suivi scientifique des travaux de restauration de la continuité écologique

Compartiments	Indicateurs	Sources bibliographique
Physico-chimie	Température, pH, conductivité hydraulique, éléments nutritifs (nitrates, nitrites, phosphates, orthophosphates), MES	Légaré, 2000
	Oxygénation de l'eau (oxygène dissous, DBO5, DCO)	Carlier, 2016 Légaré, 2000
Hydromorphologie	Homogénéité des faciès, homogénéité des habitats, géométrie du lit (profondeur, largeur du lit, pente), granulométrie	Malavoi, 2012 ONEMA, 2010
	Evolution de la ripisylve	ONEMA, 2010
Piscicole	Score IPR, nombre d'espèce, nombre d'espèces rhéophiles, nombre d'espèces lithophiles, nombre d'espèces tolérantes, nombre d'individus invertivores, nombre d'individus omnivores	Belliard, 2006 Aguilar Ibarra, 2004
	Abondance par espèces, tailles des individus	MEP, 2017 Philippart, 2006
	Poids	Philippart, 2006
Macroinvertébrés	Score I2M2, nombre de taxons, indice de Jaccard,	Armellin, 2010 Mazuer, 2019 MDDEFP, 2012
	Richesse taxonomique, nombre éphéméroptères, nombre trichoptères, nombre plécoptères, EPTC, Diversité de Shannon	Armellin, 2010 MDDEFP, 2012
	GOLD, ASPT	Archaimbault, 2011 Vanden Bossche, 2005

3. Récolte des données sur le terrain (2,5 pages)

a. Suivi physico-chimique

Afin d'obtenir une base de donnée représentative, nous avons fait 8 campagnes de prélèvement par site : 4 avant travaux, une fois par saison (Tableau 4) ; 4 après travaux, entre mai et août 2021 pour que je puisse les organiser.

Nous avons effectué les prélèvements soit depuis un pont à l'aide d'un seau soit depuis la berge directement dans les flacons étiquetés en respectant le protocole décrit dans le guide technique « Le prélèvement d'échantillons en rivières » de l'Agence de l'eau Loire Bretagne (2006). 6 flacons ont été utilisés : un flacon en plastique de 500ml, un flacon en plastique de 250ml, un flacon en verre de 250ml, deux flacons en plastique de 120ml et un flacon en plastique de 60ml. Une mesure de la température de l'eau, de l'oxygène, du pH ainsi que de la conductivité est effectué directement dans la rivière sur site à l'aide d'une sonde de mesure avec une sonde AQUAPROB AP 2000 (Figure 8).

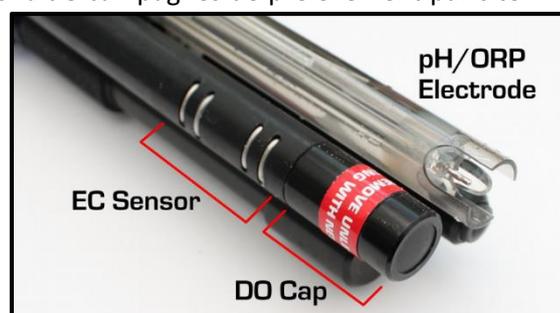


Figure 8 : Photo du matériel de mesure et de prélèvement physico-chimique

Durant la campagne de prélèvements, les échantillons ont été conservés dans une glacière afin de les maintenir au froid (idéalement à 4°C, maximum 20°C) afin d'éviter les réactions physique ou chimique des échantillons (Herbert, 2000). Ils sont ensuite transportés au laboratoire Eurofins de Saverne pour l'envoi au laboratoire de Maxeville pour analyses. Plusieurs techniques ont été utilisées par le laboratoire pour l'analyse des échantillons (Annexe 8).

b. Suivi hydromorphologique

Le protocole de terrain utilisé dans le cadre de ce suivi scientifique correspond au protocole CarhyCE. Il a été créé par un partenariat entre l'AFB, l'IRSTEA et le CNRS dont l'objectif était de créer une méthode de mesure afin de récolter les données des caractéristiques hydromorphologique des cours d'eau à l'échelle nationale afin d'avoir un suivi clair des cours d'eau et pouvoir répondre aux objectif de bonne qualité des cours d'eau de la DCE (Tamisier, 2017). Le protocole a donc été réalisé avec une équipe de 2 personnes minimum en 2016 pour la période avant travaux, puis en avril 2021 (Tableau 4). Une liste de matériel importante est à prévoir avant le lancement de la campagne en plus du matériel d'hygiène et de sécurité (Annexe 9).

Sur le terrain un certain nombre de mesures sont à effectuer afin de récolter toutes les données demandées dans le protocole et nécessaires à l'analyse :

- 1. Définition de la station :** la station est repérée sur le terrain à l'aide d'un topofil placé le long du cours d'eau entre l'amont et l'aval de la station. Il est alors mesuré la largeur plein bord (l_{pb}) et la largeurs mouillées (l_m). On calcul ensuite la longueur de la station (L) : $L=14 \times l_{pb}$
- 2. Division de la station en transect :** il faut calculer la distance inter-transect (la station est idéalement constituée de quinze transects espacés d'une x l_{pb})
- 3. Division des transects :** Chaque transect est divisé en plusieurs points de mesure espacés de 1/7^{ème} de l_m
- 4. Mesures à l'échelle de la station :** il faut mesurer la pente de la ligne d'eau à l'aide d'un télémètre et d'une mire (la pente est alors calculée : $P = \frac{\Delta H}{L} \times 1000$) et le débit avec un courantomètre électromagnétique idéalement sur un radier. Un relevé de la granulométrie à l'aide de la méthode de Wolman est également effectué afin de connaître le type de granulométrie présente dans le cours d'eau mais informe également sur sa capacité et fréquence de mobilisation (Baudoin, 2017). La mesure du colmatage est faite à l'aide baguettes en bois clair (balsa) de 8x8 cm et 30cm de longueur implantées dans les sédiments du fond du lit pendant 1 mois. Il s'agit de mesurer les dépôts potentiellement présents dans les interstices du fond du lit. Enfin, il faut informer sur la présence d'habitats marginaux et la continuité de la ripisylve.
- 5. Mesures à l'échelle du transects :** largeur plein bord, largeur mouillée et détermination du faciès d'écoulement, de la ripisylve, du type de berge et du type d'habitat sur les berges
- 6. Mesures à l'échelle du point :** la profondeur à l'aide d'une mire et détermination du substrat minéral et additionnel

c. Suivi biologique

Le suivi biologique des travaux de restauration a concerné la faune piscicole et macroinvertébrés. Il a été effectué dans l'objectif de déterminer un potentiel rétablissement de la continuité écologique engendré par les travaux.

- *Prélèvements piscicoles*

Une pêche électrique a été réalisé par site par la fédération de pêche du Bas-Rhin en octobre 2016 avant travaux et en juin 2021 après travaux. Le protocole est réalisé selon la norme EN 14011. Le principe de la pêche électrique consiste à parcourir le cours d'eau à l'aide d'une anode et de 2 électrodes (Figure 9.B). Les poissons présents reçoivent alors une décharge électrique qui les assomme. Ils sont récupérés dans une bassine par un opérateur puis identifier et mesurer sur une table de mesure (biométrie) (Figure 9). Les poissons ne sont pas blessés durant la pêche et sont remis à l'eau après avoir été mesurés. Les cours d'eau étant entièrement prospectables à pied, une pêche complète a été réalisé, à savoir, l'ensemble de la station a été échantillonnée (Belliard, 2012). Après la campagne de mesure, une synthèse des résultats et le score IPR (calculé selon la norme NF 90-344) sont alors transmis au SYCOPARC.

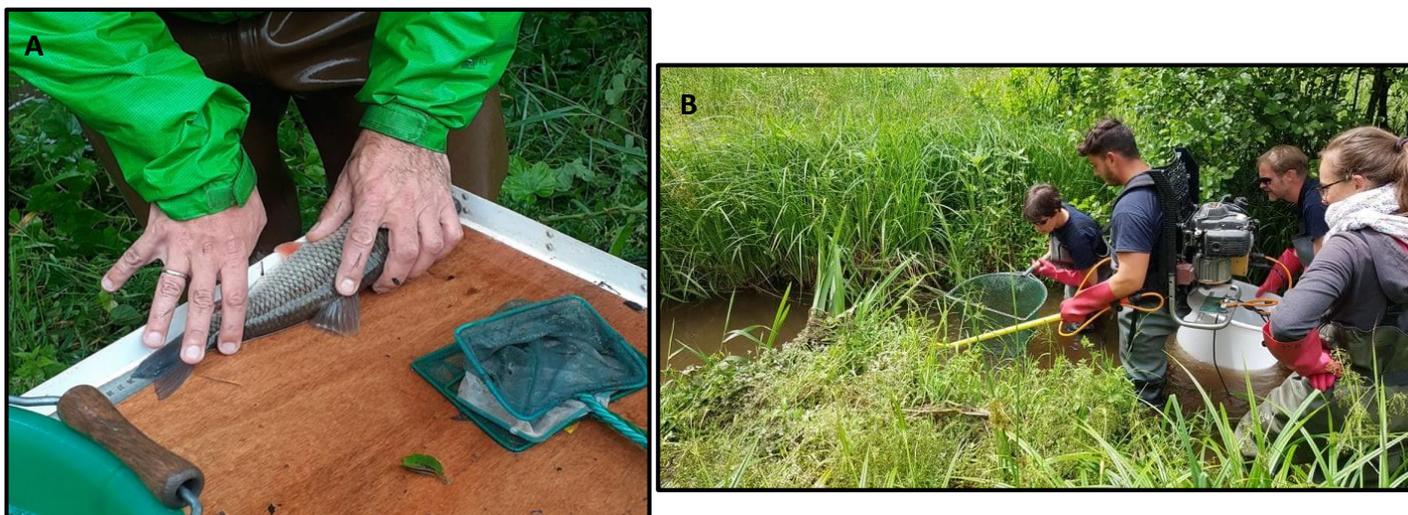


Figure 9 : Photo de la biométrie (A) et de la pêche électrique à la friche humide de Niedersteinbach (B)

- *Prélèvements de macroinvertébrés*

Les campagnes de prélèvements ont été faites selon la norme XP T90-333 en avril 2017 avant travaux et en mai 2021 après travaux de restauration. Elles ont été réalisés par le bureau d'étude Aspect service environnement de Ennery (57). 2 stations de mesures concernaient le site de la friche humide (en amont et en aval des travaux) et une seule station concernait le site de l'étang de pêche d'Obersteinbach.

Sur le terrain, différentes étapes à effectuer en amont de la phase de prélèvement : la définition de la station, l'identification des substrats « dominants » (5 à 100% de la surface de la station), « marginaux représentatifs » (0 à 5% de la surface de la station, « marginaux non représentatifs » et « présents » (*Annexe 8*), l'estimation des surfaces et enfin établir un plan d'échantillonnage. Il est alors possible d'opérer au prélèvements à l'aide d'un surber* (*Figure 10.A*). D'après la norme, il faut réaliser un minimum de 12 prélèvements dans les classes de vitesse les plus représentées (nulle, lente, moyenne et/ou rapide) réparties en 3 phases : 4 prélèvements, suivant l'ordre d'habitabilité, sur les substrats marginaux (phase A), sur substrats dominant (phase B) et 4 prélèvements complémentaires sur les substrats dominants en privilégiant la représentativité des substrats (phase C). S'en suit alors une phase de traitement et de mise en flacon. Le volume des échantillons est réduit par un lavage avec de l'alcool afin de tuer les macroinvertébrés. Le nettoyage se fait à la main puis un passage au tamis est nécessaire pour retirer les particules fines (sables, limons, ...) (*Figure 10.B*). Les macroinvertébrés sont alors mis en 3 flacons représentant chacun une phase et recouvert d'alcool afin de conserver les échantillons jusqu'à l'identification en laboratoire (*Figure 10.C*).

L'analyse en laboratoire consiste à effectuer un trie au microscope des échantillons, à déterminer les taxons sur un (famille) ou 2 (genre) niveau et établir une liste faunistique en indiquant les taxons et les effectifs récoltés par phase.



Figure 10 : Photo de la campagne de prélèvement des macroinvertébrés

4. Analyse et bancarisation des données (2,5 pages)

Après l'étape de récolte des données, il a fallu bancariser certaines données afin de les rendre disponible au grand public et procéder à l'analyse des données afin de pouvoir rédiger l'état des lieux des travaux de restauration de la continuité écologique demandé par le SYCORPARC.

a. Bancarisation des données

La bancarisation des données permet de répondre à plusieurs objectifs. D'une part, les banques de données (nationale ou à l'échelle d'un bassin versant) permettent un stockage des données récoltées sur le terrain afin de pouvoir les retrouver à tout moment. D'autre part, la bancarisation de données permet de rendre disponible les données à tout un chacun afin d'obtenir des informations sur un cours d'eau en particulier (Eaufrance, 2013).

Pour notre cas, la bancarisation s'est faite uniquement pour les données issues des relevés hydromorphologiques. Il y a plusieurs étapes à tenir compte avant de pouvoir procéder à la saisie des données. Tout d'abord il faut déclarer le point de mesure à l'agence de l'eau concernée qui va alors le rattacher à une station de mesure (OFB, 2017) (Figure 11). Un code SANDRE sera ensuite attribuer à cette station. On pourra alors procéder à la saisie dans les bases de données. Les données brutes recueillies sur le terrain sont bancarisées sur le site eaufrance : <https://carhyce.eaufrance.fr/login.htm>. Les données sont ensuite contrôlées, validées et traitées par les opérateurs de l'interface d'exploitation des données Carhyce puis mise à disposition au grand public.

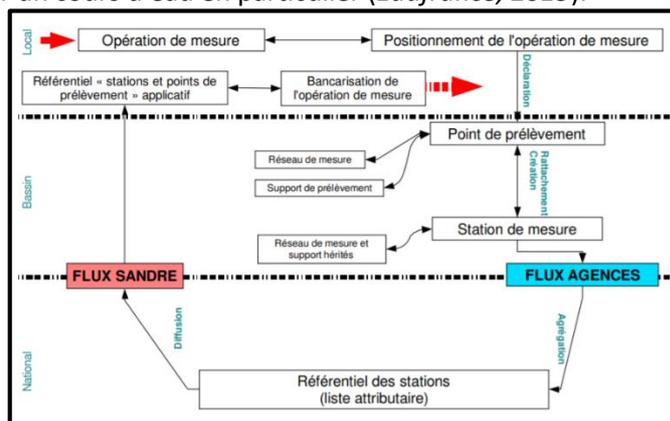


Figure 11 : Schéma des étapes de bancarisation des données (OFB, 2017)

b. Préparation des bases de données

La dernière étape avant de passer à l'analyse des données et la préparation des bases de données afin qu'elles soient lisibles par les logiciels d'analyse (Tableau 7, 8 et 9). De plus, des indicateurs ont été calculés et ajoutés aux données brutes récoltées sur le terrain (Tableau 10).

Tableau 7 : Base de données hydromorphologie

Tableau 8 : Base de données macroinvertébrés

nom	i2m2	Diversité de shannon	ASPT	Richesse taxonomique	Nombre de taxons	Indice de Jaccard	Nombre de plécoptères	Nombre de trichoptères	Nombre d'éphéméroptères	EPTC	GOLD
inv_ober_av	0,37	0,67	0,26	0,31	34,00	20,00	7,00	125,00	67,00	24,00	385,00
inv_nied_3_ament_av	0,16	0,00	0,36	0,07	26,00	11,00	1,00	169,00	308,00	25,00	51,00
inv_nied_3_aval_av	0,24	0,00	0,36	0,17	28,00	10,00	1,00	77,00	18,00	17,00	187,00
inv_ober_ap	0,44	0,53	0,27	0,35	35,00	30,00	1,00	53,00	164,00	225,00	2102,00
inv_nied_3_ament_ap	0,54	0,43	0,58	0,35	37,00	44,00	0,00	419,00	103,00	852,00	119,00
inv_nied_3_aval_ap	0,60	0,87	0,43	0,63	41,00	33,00	0,00	396,00	43,00	562,00	291,00

Tableau 9 : Base de données piscicole

Nom	IPR	Nombre d'espèces	Nombre d'épinoches	Taille moyenne des épinoches	Nombre de lamproie	Taille des lamproies	Nombre de truite	Taille des truites	Nombre de chabots	Taille des chabots	Nombre de loche	Taille des loches	Nombre de goujon	Taille des goujons	Espèces rhéophiles	Espèces lithophiles	Espèces intolérantes	Individu intolérants	Individus invertébrés	Individus omnivores	Taille moyenne	Diversité de shannon
ipr_ober_av	19,8	3,0	32,0	40,6	41,0	110,7	23,0	196,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	2,0	0,2	0,1	0,2	107,8	0,5	
ipr_nied_3_av	13,3	5,0	21,0	50,0	17,0	141,2	35,0	236,3	2,0	140,0	9,0	131,1	0,0	0,0	2,0	3,0	0,2	0,2	0,1	156,9	0,6	
ipr_ober_ap	12,3	4,0	1,0	50,0	2,0	130,0	31,0	171,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	140,0	1,0	2,0	0,004	0,1300	0,0040	169,7	0,2	
ipr_nied_3_ap	9,1	3,0	0,0	0,0	2,0	95,0	22,0	226,4	3,0	103,3	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	3,0	0,000	0,1400	0,0000	203,0	0,3	

Tableau 10 : Indicateurs ajoutés aux bases de données

Compartiments	Indicateur	Formule	Source bibliographique
Macroinvertébrés	Indice de jaccard (%)	$\frac{a}{a+b+c} \times 100$ a = nombre de taxons communs aux 2 listes b = nombre de taxons unique à la liste de référence c = nombre de taxons unique à la liste testée	Mazuer, 2019
	EPTC	Ephéméroptères + Plécoptères + Trichoptères + Coléoptères	Beauger, 2008
	GOLD	Gastéropodes + Oligochètes + Diptères	Touron Poncet, 2014
Piscicole	Taille moyenne	/	/
	Diversité de shannon	$-\sum_{i=1}^S p_i \log(p_i)$ p _i =abondance de l'espèce S=nombre total d'espèces n _i =nombre d'individus d'une espèce N=nombre total d'individu	Coïc, 2006

c. Analyse des données avec le logiciel xlstat

Le traitement des données de chaque compartiment a été fait à l'aide du logiciel xlstat. Il s'agit d'un logiciel statistique intégré à Microsoft Excel et développée par Addinsoft permettant une analyse et modélisation de données plus poussées qu'avec Excel. La version utilisée pour cette analyse a été la version 2021.2.2: XLSTAT 2021.2.2 développée en juin 2021. Elle propose plus 100 fonctionnalités d'analyse, de modélisation, de visualisation de données. Pour notre étude, nous avons utilisé essentiellement X fonctionnalités : l'ACP qui permet de réduire le nombre de variable en mettant en relation les différents compartiments afin de faire ressortir les indicateurs les plus pertinents et la NMDS qui permet de positionner les sites en fonction de leur similarité (en rang).

PARTIE 3 – Présentation des résultats (9 pages)

L'analyse des résultats c'est effectué en plusieurs étapes. Tout d'abord nous avons étudié les données physico-chimiques afin d'évaluer le contexte des prélèvements avant et après les travaux de restauration. Ensuite, nous avons fait une étude analytique par compartiments afin d'évaluer la réaction des différents indicateurs et de comparer la qualité des stations de mesure avant et après travaux. Enfin, nous avons fait une étude général prenant en compte l'ensemble des compartiments afin de représenter le compartiment ayant eu le plus d'impact. Les travaux ayant été fait relativement récemment, nous pouvons nous attendre à des résultats moins concluant pour les compartiments ayant un temps de réponse plus important (les poissons et les macroinvertébrés) (*Malavoi, 2012*).

1. Analyse du compartiment de la physico-chimie (1 page)

Paramètres <i>Am = Amont Av = Aval</i>	Température	pH	Turbidité	Conductivité	Oxygène dissous	Carbone organique dissous	Phosphore	Ammonium	Nitrates	Nitrites	Orthophosphates	Azote Kjeldahl	DBO5	DCO	
Mars 2017															
Site 5 : Etang de pêche d'Obersteinbach	Am	7,5	8,2	8	568	8,2	3,1	0,037	0,063	5,9	0,02	0,083	0,6	<0,5	17
	Av	7,9	8,2	7,4	571	9,1	3,2	0,041	0,062	6	0,03	0,096	<0,5	<0,5	15
Site 3 : Friche du Steinbach	Am	8,9	7,6	3	192	7,9	2,3	0,082	0,065	4,4	0,03	0,106	<0,5	<0,5	16
	Av	9	7,6	4,1	198	8,9	2,4	0,098	0,05	4,3	0,03	0,139	<0,5	<0,5	17
Juin 2017															
Site 5 : Etang de pêche d'Obersteinbach	Am	15,2	8,2	1,2	551	7,8	1,4	0,033	0,066	2,5	0,03	0,036	<0,5	0,7	<5
	Av	15,8	8,2	2,7	550	7,7	1,6	0,075	0,12	3,2	0,03	0,084	0,7	<0,5	<5
Site 3 : Friche du Steinbach	Am	12,8	7,8	3,8	159	9,3	1,4	0,08	0,041	3,6	0,02	0,102	<0,5	0,6	8
	Av	13,9	7,9	7,1	140	8,7	1,5	0,102	0,044	3,6	0,02	0,126	<0,5	0,6	12
Septembre 2017															
Site 5 : Etang de pêche d'Obersteinbach	Am	15,6	8,2	<0,1	499	7,6	1,4	0,025	0,041	5,8	0,01	0,017	<0,5	1,1	<5
	Av	16,3	8,2	2,1	502	7,3	1,5	0,048	0,006	2,7	0,02	0,049	0,6	1,4	<5
Site 3 : Friche du Steinbach	Am	12,7	7,7	3,5	154	9,1	1,4	0,072	0,063	2,9	0,02	0,09	0,5	1,5	<5
	Av	13,2	7,9	5,8	161	8,5	1,5	0,099	0,006	3,1	0,02	0,17	<0,5	0,9	<5
Décembre 2017															
Site 5 : Etang de pêche d'Obersteinbach	Am	7	7,2	1,5	131	8,9	2,5	0,036	0,062	3	<0,01	0,054	<0,5	0,7	<5
	Av	6,7	7,2	2,2	164	9,6	2,8	0,057	0,057	4,2	0,03	0,112	<0,5	<0,5	6
Site 3 : Friche du Steinbach	Am	7	7,6	6,5	170	9,2	2,7	0,072	0,049	4,3	0,03	0,114	<0,5	0,7	6
	Av	6,9	7,9	10,3	187	9,2	2,8	0,084	0,029	4,3	0,03	0,139	0,6	1,1	9
Mai 2021															
Site 5 : Etang de pêche d'Obersteinbach	Am	10,7	7,2	3,3	157	10,3	2,5	0,06	0,07	2,9	<0,01	0,035	<0,5	<0,5	11
	Av	11,3	2,3	3,9	24	10,1	2,7	0,07	0,07	3,3	0,01	0,097	<0,5	<0,5	13
Site 3 : Friche du Steinbach	Am	10,9	7,5	17,5	246	10,8	2,5	0,09	<0,05	3,4	0,02	0,111	<0,5	<0,5	12
	Av	11,3	7,9	9,1	274	10,8	2,8	0,13	0,09	3,4	0,02	0,135	<0,5	<0,5	7
Juin 2021															
Site 5 : Etang de pêche d'Obersteinbach	Am	12,4	7,7	2	167	10,1	1,3	0,05	0,08	3,1	0,01	0,045	<0,5	<0,5	<5
	Av	13,5	7,7	6,3	212	8,5	1,7	0,11	0,06	3,3	0,02	0,097	<0,5	<0,5	<5
Site 3 : Friche du Steinbach	Am	13,4	8,3	7,3	253	10,4	1,4	0,11	<0,05	3,8	0,01	0,12	<0,5	<0,5	<5
	Av	14,1	8,3	11,4	263	10,3	1,3	0,13	<0,05	3,7	<0,01	0,139	<0,5	0,6	6
Juillet 2021															
Site 5 : Etang de pêche d'Obersteinbach	Am	14,7	7,7	4,6	173	9,3	2,9	0,09	<0,05	3,5	0,03	0,146	<0,5	1,1	8
	Av	14,3	7,6	2,4	156	9,4	2,7	0,08	<0,05	2,6	0,02	0,113	<0,5	2,6	6
Site 3 : Friche du Steinbach	Am	14,6	7,6	8,2	273	10	2,7	0,1	<0,05	3,8	0,03	0,152	0,5	0,7	11
	Av	15	7,8	7,2	288	10	2,9	0,15	<0,05	4,2	0,03	0,331	<0,5	0,9	9

2. Analyse du compartiment de l'hydromorphologie (2 pages)

3. Analyse du compartiment des macroinvertébrés (2 pages)

J'ai tout d'abord effectué une analyse des résultats des indicateurs avant et après les travaux de restauration de la continuité écologique (Figure X1). L'ACP a permis de faire ressortir une distance entre les station 3 de la friche de Niedersteinbach avec la station d'Obersteinbach (Figure X1.A). Cette distance est engendrée essentiellement par les indicateurs GOLD, EPTC et le nombre de tricoptères après travaux de restauration (Figure X1.B). Nous obtenons donc déjà l'avantage d'obtenir un poids plus important des données après travaux ce qui signifie bien un impact de ces derniers sur la population de macroinvertébrés.

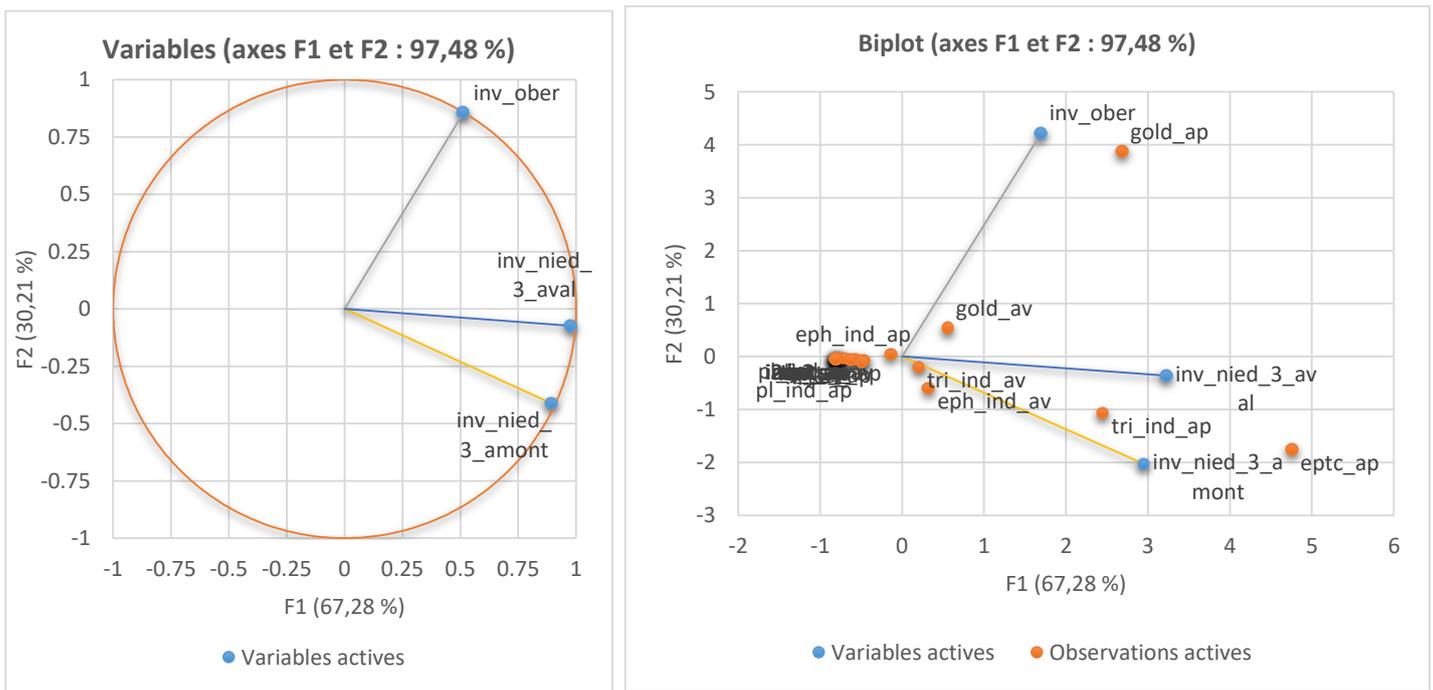


Figure X1 : Résultats de l'ACP par station de mesure des macroinvertébrés avant et après travaux

Si on regarde plus en détail les indicateurs ayant été impactés, on arrive à distinguer un regroupement de variables après travaux (Figure X2.A). On a donc bien une distinction des paramètres avant et après travaux signifiant qu'il y a eu quelques modifications. Une distinction plus faible est cependant à noter pour les GOLD avant et après travaux. En analysant le dendrogramme de la CAH on retrouve bien cette dissimilarité entre les trichoptères et les EPTC avant et après travaux (Figure X2.B).

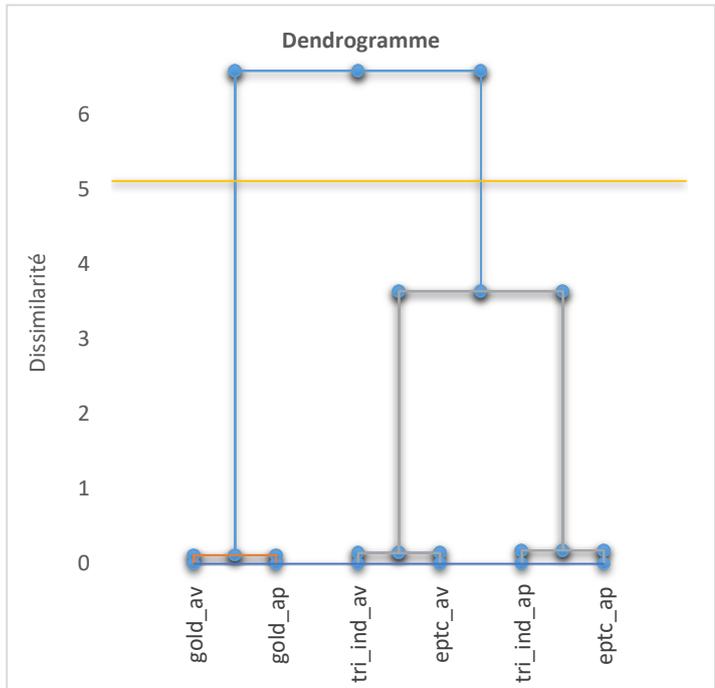
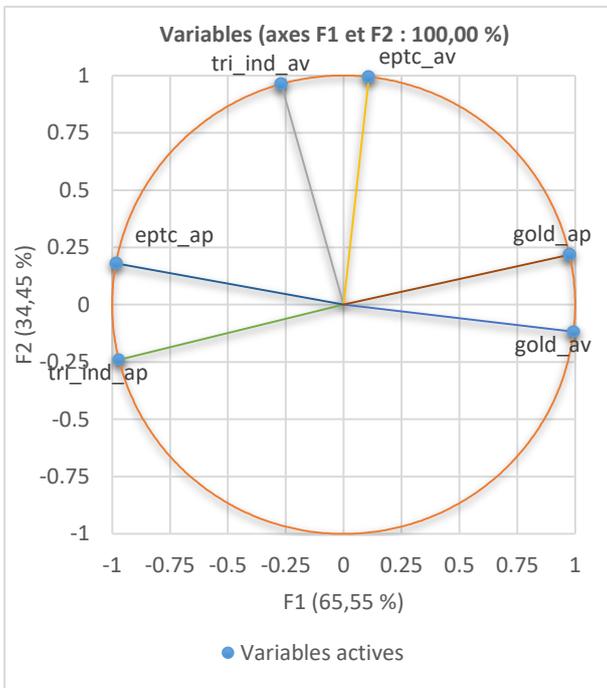


Figure X2 : Résultats de l'ACP (A) et de la CAH (B) pour les indicateurs des macroinvertébrés avant et après travaux avant et après travaux

En effectuant une comparaison des résultats des stations avant et après travaux on peut confirmer cette distinction entre les stations 3 de la friche avant et après travaux (Figure X3.A). En revanche, la station d'Obersteinbach présente bien une distinction plus faibles expliquée notamment par le fait que les travaux de restauration ont été achevés plus récemment que sur la station 3 (Figure 11). On retrouve bien cette dissimilarité en observant le dendrogramme produit après l'analyse de classification ascendante hiérarchique. On retrouve en effet une sous-classe essentiellement composée des stations avant travaux et une autre sous-classe regroupant essentiellement des stations après-travaux. On retrouve donc bien une première dissimilarité entre les stations avant et après travaux (Figure X2.B).

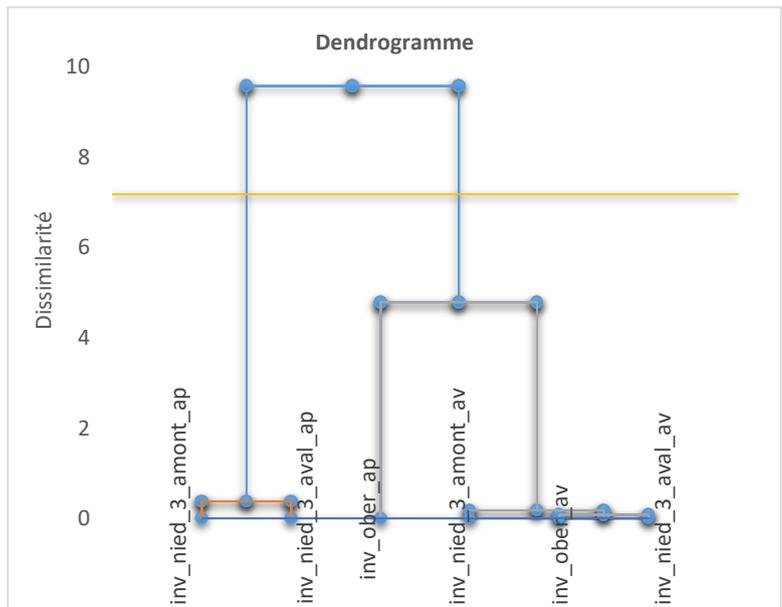
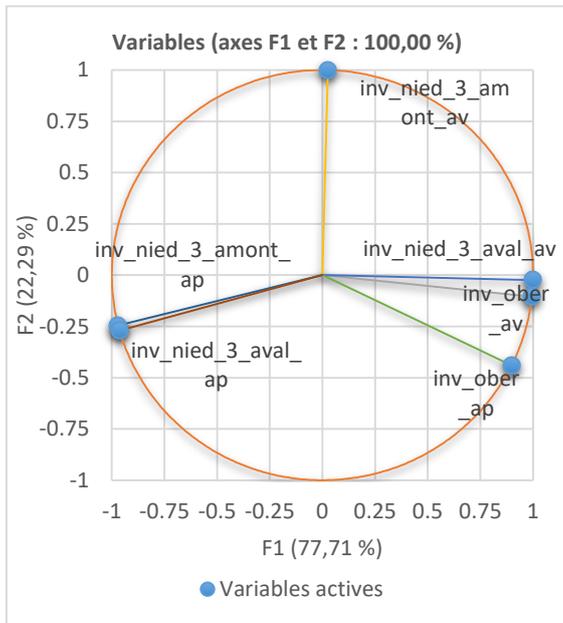


Figure X3 : Résultats de l'ACP (A) et de la CAH (B) des les stations avant et après travaux pour le compartiment des macroinvertébrés

4. Analyse du compartiment piscicole (2 pages)

On remarque naturellement une distance entre les stations de la friche humide et d'Obersteinbach mise en lumière également par l'analyse des autres compartiments présentés précédemment (Figure X4.A). Nous avons pu constater que les modifications de présence plus importante après travaux de restauration de la continuité écologique des espèces ciblées par les opérations (à savoir le chabot, la lamproie de planer et la truite fario) n'ont pas donné les résultats attendus. En effet, les indicateurs ayant le plus d'impact sur les stations concernent essentiellement un impact sur la taille des individus.

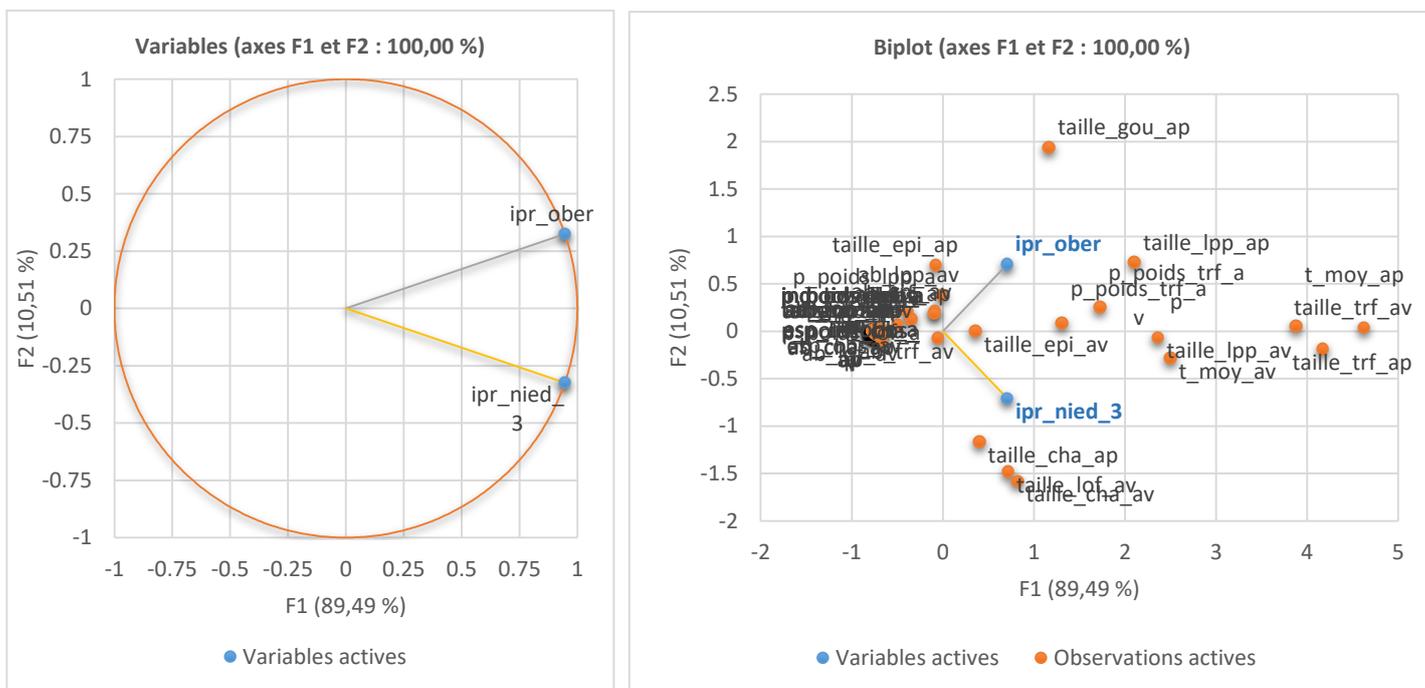


Figure X4 : Résultats de l'ACP par station de mesure du compartiment piscicole avant et après travaux

En regardant plus en détail les indicateurs impactés, on remarque qu'il y a beaucoup moins de regroupement de variables que pour les macroinvertébrés (Figure X5). Cette faible distinction est induite par le fait que le cycle de vie de la faune piscicole est plus long que les macroinvertébrés (environ 3 ans) ce qui signifie que la réponse aux travaux de restauration sera visualisée plus tard. Dans notre cas actuel, nous sommes au maximum 2 ans après travaux. Nous n'avons pas encore eu de cycle de vie complet de la faune piscicole. Il est normal de ne pas avoir de résultats transcendant.

En effectuant une ACP avant-après travaux on confirme le fait que les stations n'ont pas encore assez évoluées pour voir apparaître des modifications transcendantantes dans la population piscicole des rivières. On devine un léger début de dissimilarité entre les stations avant et après travaux (Figure X6.A). Cette petite modification est confirmée grâce à la CAH. On remarque que ces stations ont été regroupé dans différentes classes engendré par un début de dissimilarité. On peut alors observer un faible impact engendré par les travaux mais pas encore assez important pour être mis en lumière par une ACP.

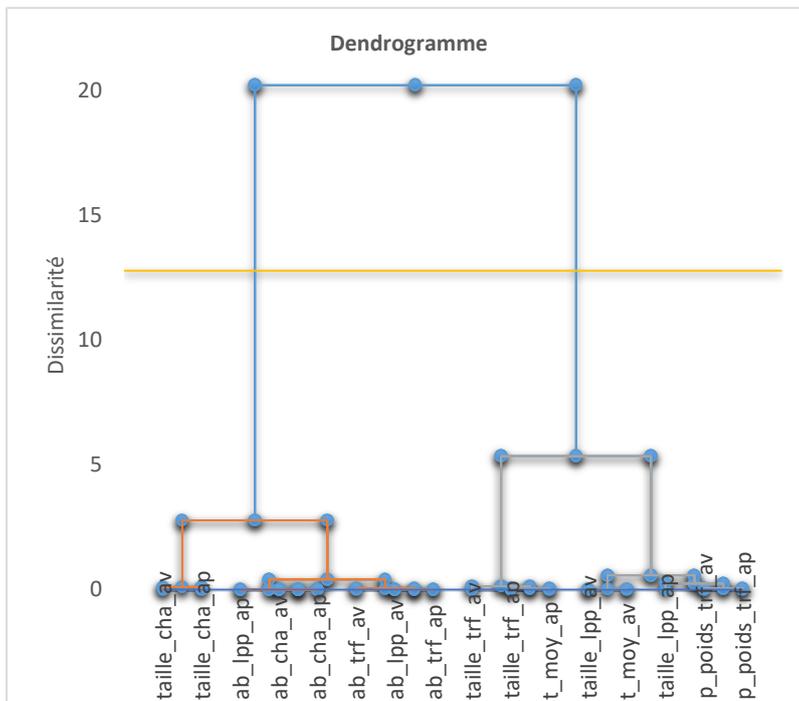


Figure X5 : Résultats de la CAH pour les indicateurs des poissons avant et après travaux

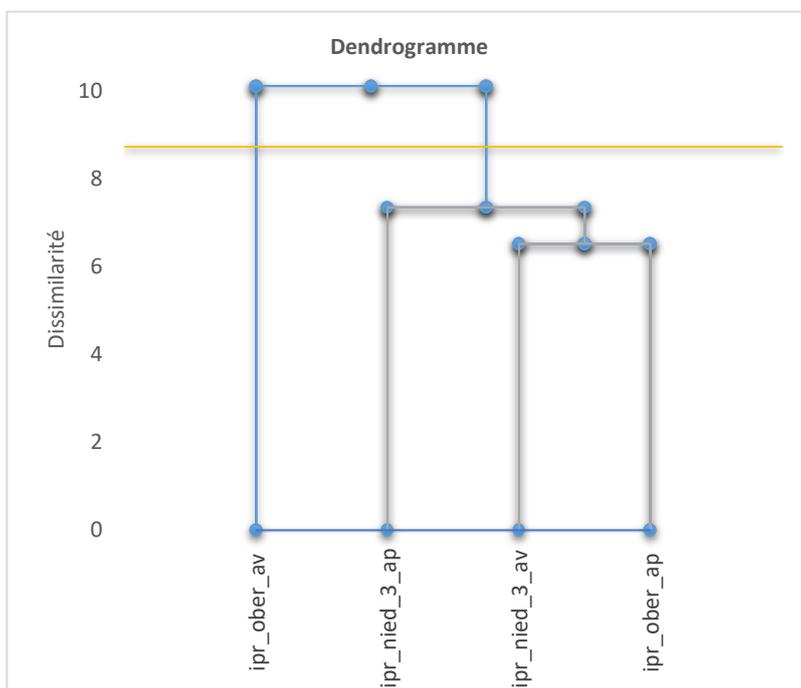
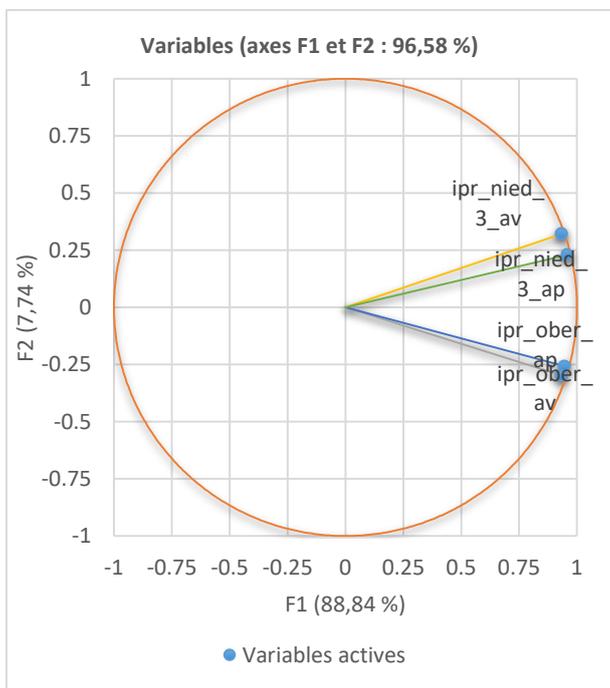


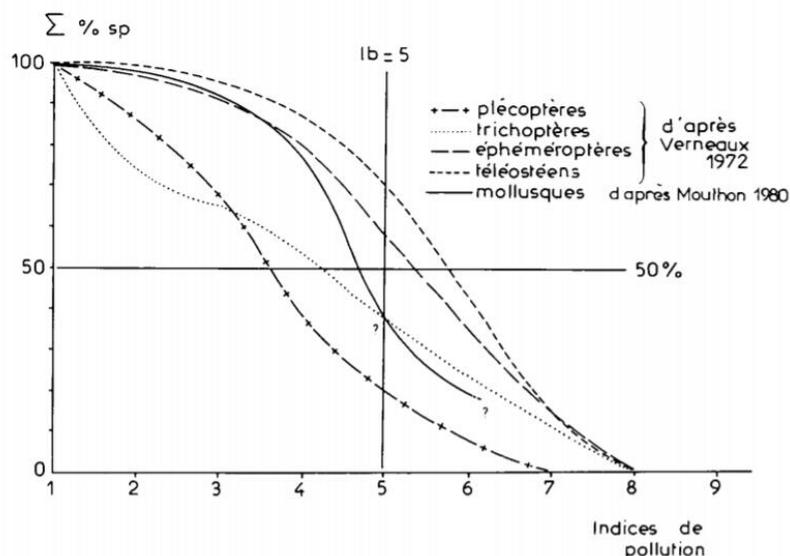
Figure X6 : Résultats de l'ACP (A) et de la CAH (B) des les stations avant et après travaux pour le compartiment des macroinvertébrés

PARTIE 4 – Discussion (4 pages)

Cependant, un premier suivi à une échelle de temps courte permet de mettre en évidence les impacts sur les compartiments évoluant plus rapidement comme par exemple certains paramètres hydromorphologiques (Baudry, 2002).

Afin d'analyser l'ensemble des effets induits par les travaux de restauration, des suivis devront être organisés par la suite à N+3, 6, 9, ...

Quand on regarde le diagramme de polluosensibilité de certaines espèces de macroinvertébrés on remarque que les trichoptères sont, avec les plécoptères, l'espèce la plus polluosensible. Si on s'intéresse au coefficient multiplicateur avant et après travaux, on remarque que le nombre d'individu trichoptère a été multiplié par 2,5 entre avant les travaux et après les travaux pour la station amont de la friche et de plus de 5 en aval. Concernant les EPTC, on a un coefficient multiplicateur compris entre 8 et 34 entre avant et après travaux sur l'ensemble des stations concernées.



Polluosensibilité des macroinvertébrés (Faessel, 1985)

Dans ce cas, il est donc important d'étudier (en plus des paramètres de base de la température, du pH et de la conductivité de l'eau) la présence d'éléments nutritifs tel que l'azote ou le phosphore. Une présence importante engendrerait une augmentation de la croissance des végétaux et ainsi une eutrophisation des cours d'eau (Légaré, 2000). Cette eutrophisation peut avoir une répercussion sur la quantité d'oxygène de l'eau et ainsi sur la qualité de vie de la faune aquatique (Carluer, 2016 ; Légaré, 2000). Une surveillance du bilan en oxygène de l'eau doit donc également être effectuée ainsi qu'un suivi des MES et de la turbidité pouvant également impacter sur l'oxygénation de l'eau (Légaré, 2000). Ces différents paramètres à suivre avaient déjà été sélectionnés pour l'état initial.

En observant le tableau des types d'indicateurs (Annexe 5) on remarque qu'il est important de suivre l'évolution de l'homogénéité des faciès et donc des habitats à travers la typologie de faciès présente dans le cours d'eau (sable, gravier, ...), la géométrie du lit (largeur, profondeur et pente) et la granulométrie. De plus, nous pouvons lire dans le « Recueil d'expériences sur l'hydromorphologie » publié par l'ONEMA en 2010, qu'il est également intéressant de suivre l'évolution et la diversité de la ripisylve pouvant présenter une quantité importante d'habitats.

Un prochain suivi devra être réalisé 3 ans après travaux afin de récolter plus de résultats sur une plus grande quantité de paramètres (*Malavoi, 2012*).

Ce stage au sein du parc naturel des Vosges du Nord m'a permis d'acquérir de nombreuses connaissances et surtout compétences dans un panel plutôt large de domaines. En effet, plusieurs journées de terrain ont été organisées au cours de mon stage afin de récolter les données nécessaires pour effectuer l'étude scientifique des travaux de restauration de la continuité écologique. Mon rôle a été d'effectuer des devis pour l'achat de matériel, de contacter les associations et bureaux d'études en charges des campagnes de prélèvement pour le suivi biologique, d'organiser une équipe afin d'effectuer les mesures de terrain et de préparer les journées de terrain. J'ai participé à l'ensemble des campagnes et ai pu assister aux prélèvements non effectués par le SYCOPARC. Tout ceci m'a donc permis d'acquérir un grand nombre de connaissances et de compétences en gestion de projet et d'équipe mais également de découvrir de nombreux compartiments environnementaux et protocoles me permettant, par la suite, de pouvoir être formé plus rapidement dans ces domaines.

Travailler au sein du parc m'a permis d'en apprendre plus sur le fonctionnement d'une collectivité mais également sur la prise de contact avec les différents acteurs. J'ai également pu voir comment se déroulaient les appels d'offres et l'analyse des réponses à ces mêmes offres qui me sera utile dans l'avenir, que je sois dans le domaine du public ou en bureau d'étude. J'ai également pu traiter avec des personnes provenant de différents domaines ce qui m'a permis de travailler dans une équipe pluridisciplinaire.

De plus, j'ai eu la chance de participer à l'organisation d'un comité de pilotage regroupant un nombre assez important d'invités. Ceci m'a permis de gagner en compétence dans le domaine de l'organisation de réunion et de gestion d'équipe.

Enfin, la rédaction du document complet de l'état des lieux des travaux de restauration de la continuité écologique dont on m'a chargé de procurer pour mon stage m'a permis d'acquérir une plus grande aisance dans les domaines de la cartographie, de la statistique et de la rédaction de documents.

Ce que j'ai apprécié durant mon stage c'est la découverte des différents domaines et également le travail dans une nouvelle structure. J'ai également beaucoup apprécié la phase de gestion de projet et la prise de contact que j'ai pu avoir lors de l'organisation des différentes phases de terrain ainsi que dans les diverses missions qui m'étaient attribuées. J'ai en revanche un peu moins apprécié la phase de rédaction qui était assez longue dû à l'importance du document à fournir. La diversité de travail dans ces quelques périodes était plus faible ce qui a pu, par moment, baisser légèrement ma motivation mais m'a permis tout de même de me rendre compte de l'importance et de la difficulté de la rédaction de gros documents. Ceci m'a permis également de constater les erreurs que j'ai pu commettre et de les rectifier pour que le travail paraisse moins redondant (comme par exemple, se libérer quelques moments pour d'autres missions en parallèles afin de diversifier le travail dans une journée).

TABLE DES ABREVIATIONS

ACP : Analyse en composante principale

AFB : Agence française pour la biodiversité

AGEVON : Association pour la gestion des espaces agricoles en déprise dans les Vosges du Nord

ARRA : Association rivière Rhône Alpes Auvergne

BV : Bassin versant

CarhyCE : Caractérisation hydromorphologique des cours d'eau

CNRS : Centre national de la recherche scientifique

DCE : Directive cadre sur l'eau

DO : oxygène dissous

EC : conductivité

HER : Hydro-écorégion

IRSTEA : Institut nationale de recherche en sciences et technologies pour l'environnement

LIFE : L'instrument financier pour l'environnement

MEP : Maison de l'eau et de la pêche

MES : Matières en suspensions

N2000 : Natura 2000

NGF : Nivellement général de la France

NMDS : Echelle multidimensionnelle non-métrique.

OFB : Office français de la biodiversité

ONEMA : Office national de l'eau et des milieux aquatiques

ONF : Office national des forêts

ORP : Potentiel d'oxydoréduction

PNR : Parc naturel régional

RBT : Réserve de biosphère transfrontalière

SANDRE : Service d'administration nationale des données et référentiel sur l'eau

SDAGE : Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux

STEP : Station d'épuration

SYCOPARC : Syndicat de coopération pour le Parc naturel régional des Vosges du Nord

QMNA5 : Débit mensuel minimal de chaque année civile sur une durée de 5 ans

Q2 : Débit de crue de temps de retour 2 ans

Q5 : Débit de crue de temps de retour 5 ans

Q10 : Débit de crue de temps de retour 10 ans

ZNIEFF : Zone naturelle d'intérêt écologique, faunistique et floristique

Corridors écologiques : espaces de connexions pour la continuité écologique des espèces

Cours d'eau tête de bassin versant : partie amont des rivières la plus proche de la source dont « le rang strahler est inférieur ou égal à 2 et la pente supérieure à 1% » (*Forum des marais atlantiques, 2020*)

Cycle biologique : Période entre la naissance et la maturité sexuelle de l'individu (*König, 2021*)

Erosion régressive : ajustement progressif du fond du lit du cours d'eau par incision de l'aval vers l'amont (*Malavoi, 2010*)

Hydro-écorégion : permet de regrouper les cours d'eau ayant des caractéristiques climatiques, géologiques et topographiques homogènes (*ONEMA, 2010*)

Natura 2000 : réseau européen destiné à limiter la perte de la biodiversité et des habitats naturels, il s'inscrit dans la Directive « Oiseaux » de 1979 et la directive « habitats » de 1992 (*Commission européenne, 2009*).

Rang strahler : correspond à la position dans le bassin versant et permet de se représenter la taille du cours d'eau. Plus un cours d'eau possède un petit rang plus il se trouve proche de la tête de bassin et donc plus sa taille est petite (*ONEMA, 2010*)

Surber : matériel d'échantillonnage pour les macroinvertébrés sous forme de filet que l'on place au niveau des habitats aquatiques pour récupérer les individus.

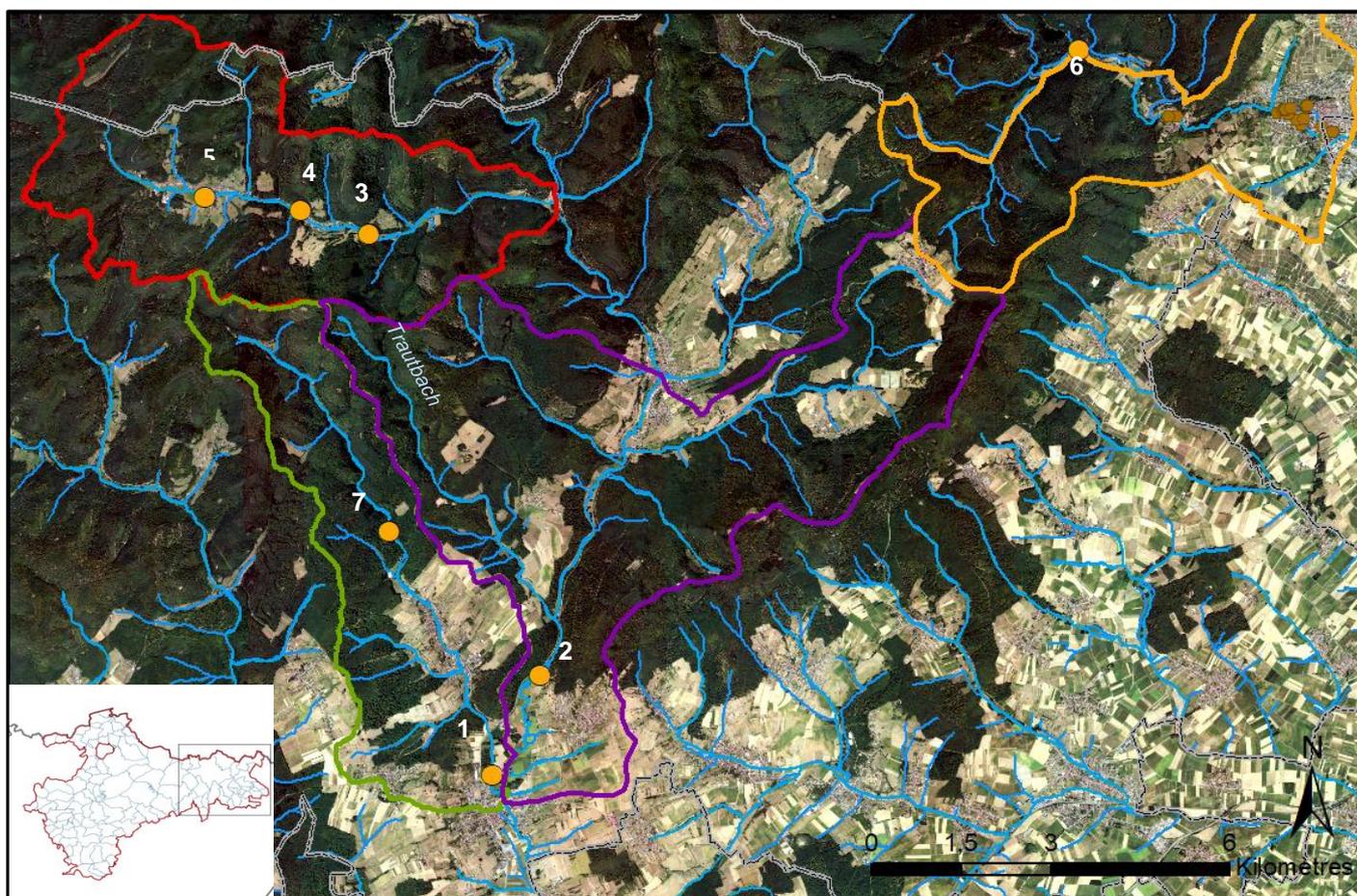
ZNIEFF : inventaire, lancé en 1982, nationale permettant d'apporter de nombreuses connaissances sur les zones d'intérêts écologiques et sur les espèces et les habitats qui les occupent (*Horellou, 2014*).

Agence de l'eau (2006). Le prélèvement d'échantillons en rivière. Techniques d'échantillonnage en vue d'analyses physico-chimiques. Loire-Bretagne; ISBN 10 : 2-916869-00-X, ISBN 13:978-2-916869-00-1, P 134.

ANNEXES

- **ANNEXE 1** : Situation des sites de travaux de restauration de la continuité écologique dans le cadre du projet Life biocorridor
- **ANNEXE 2** : Logigramme de la typologie des retenues d'eau
- **ANNEXE 3** : Carte géologique du bassin versant du Steinbach
- **ANNEXE 4** : Données hydrologiques de la station de la Sauer à Goersdorf issues de la banque hydro
- **ANNEXE 5** : Espaces protégés, habitats et espèces potentiels des sites de restauration de la continuité écologique du bassin versant du Steinbach
- **ANNEXE 6** : Orientations du réseau Natura 2000 « La Sauer et ses affluents »
- **ANNEXE 7** : Paramètres à suivre selon les altérations hydromorphologiques et morphoécologiques
- **ANNEXE 8** : Spécification technique des analyses physico-chimique par le laboratoire Eurofins
- **ANNEXE 9** : Liste de matériel à utiliser lors du protocole Carhyce
- **ANNEXE 10** : Liste des substrats et leur mode de prélèvement pour le suivi des macroinvertébrés

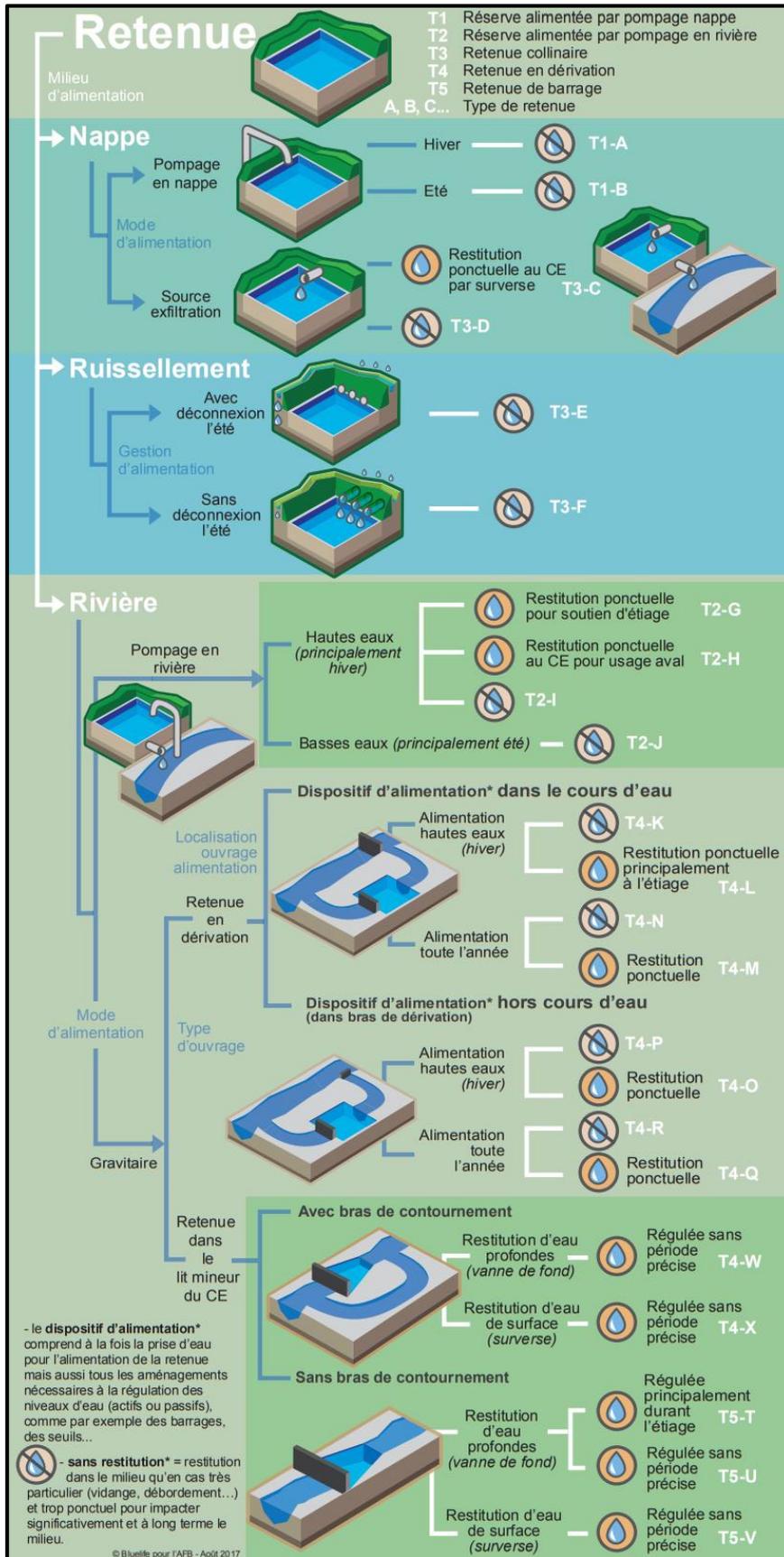
ANNEXE 1 : Situation des sites de travaux de restauration de la continuité écologique dans le cadre du projet Life biocorridor



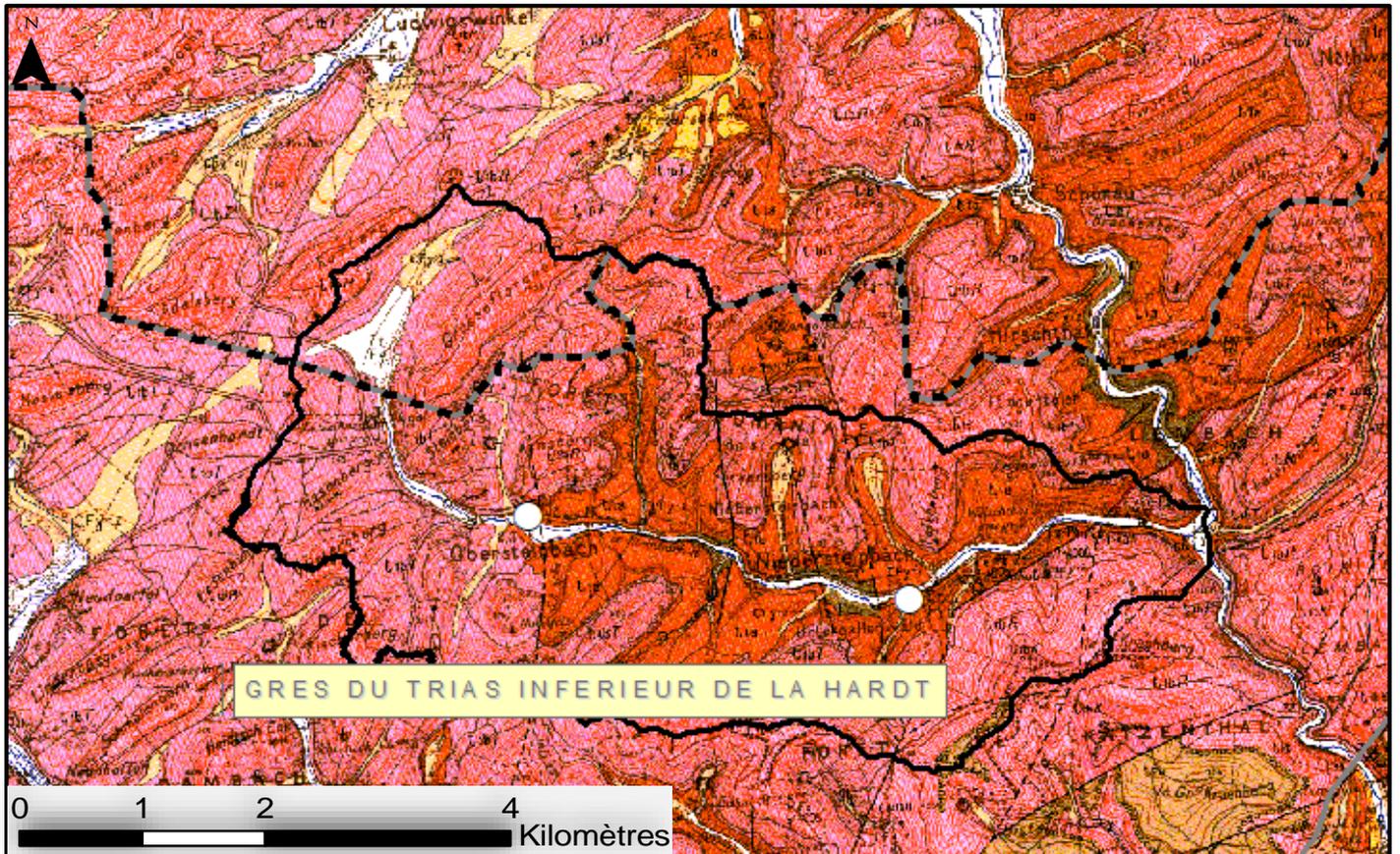
Légende

-  Sites de restauration de la continuité écologique dans le cadre du projet Life biocorridor
-  Bassin versant de la Lauter
-  Bassin versant de la Sauer
-  Bassin versant du Soultzbach
-  Bassin versant du Steinbach
-  Limite du parc naturel régional des Vosges du Nord
-  Cours d'eau

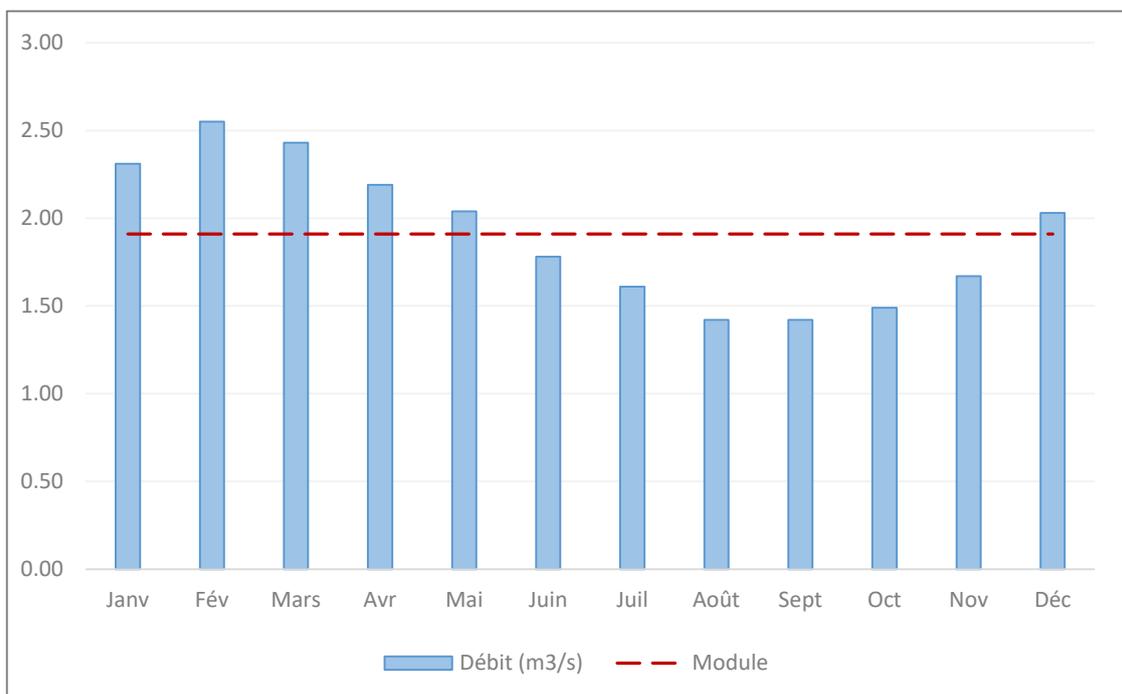
ANNEXE 2 : Logigramme de la typologie des retenues d'eau



ANNEXE 3 : Carte géologique du bassin versant du Steinbach



ANNEXE 4 : Données hydrologiques de la station de la SAUER à Goersdorf issues de la banque hydro

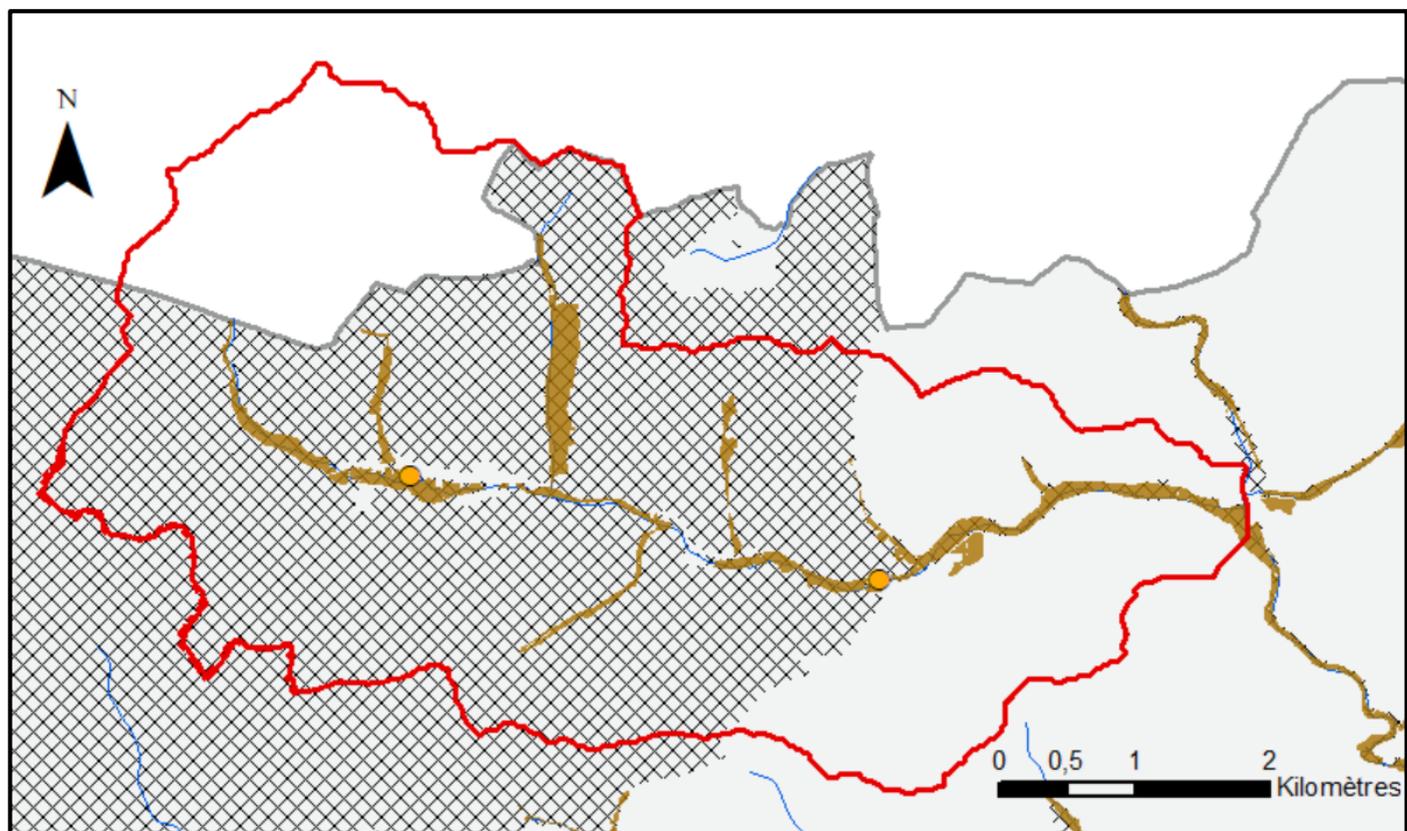


	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Débits (m³/s)	2.310	2.550	2.430	2.190	2.040	1.780	1.610	1.420	1.420	1.490	1.670	2.030	1.910
Qsp (l/s/km²)	12.0	13.3	12.6	11.4	10.6	9.3	8.4	7.4	7.4	7.8	8.7	10.6	9.9
Lame d'eau (mm)	32	33	33	29	28	24	22	19	19	20	22	28	314

Fréquence	VCN3 (m³/s)	VCN10 (m³/s)	QMNA (m³/s)
Biennale	1.000 [0.970;1.100]	1.100 [1.000;1.100]	1.200 [1.100;1.200]
Quinquennale sèche	0.860 [0.810;0.910]	0.900 [0.840;0.950]	0.990 [0.920;1.000]
Moyenne	1.040	1.090	1.200
Ecart Type	0.201	0.213	0.243

Fréquence	Biennale	Quinquennale	Décennale	Vicennale	Cinquantennale
Débit moyen journalier (m³/s)	7.700 [6.900;8.700]	12.00 [11.00;14.00]	15.00 [13.00;17.00]	17.00 [16.00;21.00]	21.00 [19.00;25.00]

ANNEXE 5 : Espaces protégés, habitats et espèces potentiels des sites de restauration de la continuité écologique du bassin versant du Steinbach



Légende

- Sites de restauration de la continuité écologique dans le cadre du projet Life biocorridor
- ▭ Bassin versant du Steinbach
- ▭ Habitats Natura 2000
- ▨ Zone ZNIEFF 1
- Cours d'eau
- ▭ Limites du parc naturel régional des Vosges du Nord

	Espace protégé	Habitats
Site 5	<ul style="list-style-type: none"> • N2000 « La Sauer et ses affluents » • ZNIEFF1 « Vallée de la Sauer et ses affluents » 	<ul style="list-style-type: none"> • Callitriche, renoncule peltée • Callitriche, renoncule peltée • Prairies mésophiles de l'Arrhenatherion • Roselière • Prairies humides du Calthion • Cariçaie • Megaphorbiaies à Reine des prés
Site 3	<ul style="list-style-type: none"> • N2000 « La Sauer et ses affluents » • ZNIEFF1 « La Sauer et ses affluents » 	<ul style="list-style-type: none"> • Callitriche, renoncule peltée • Lisières humides et groupement à orties • Prairies humides du Calthion • Cariçaie • Roselières • Saulaies marécageuses • Groupement à Saule blanc et/ou saule fragile • Bois de bouleaux et tremble • Pessières plantées • Recolonisation forestière • Aulnaie à hautes herbes • Prairies mésophiles de l'Arrhenatherion • Boisement mixte

Espèce	Critère 1 : Reproducti on	Critère 2 : Vulnérabilité	Critère 3 : Connexion	Critère 4 : Protection	Critère 5 : Rareté	Total
Gomphe serpent	3	3	3	4	3	16
Azuré de la Sanguisorbe	3	3	2	4	3	15
Cuivré des marais	3	3	2	4	3	15
Grand murin	3	3	3	4	2	15
Agrion de mercure	3	3	2	4	2	14
Azuré des paluds	3	3	2	4	2	14
Lamproie de Planer	3	2	3	4	2	14
Murin à oreilles échancrées	1	3	3	4	3	14
Sonneur à ventre jaune	3	2	3	4	2	14
Pie-grièche grise	3	3	3	2	2	13
Ecaille chinée	3	1	2	4	3	13
Lynx boréal	1	3	2	4	3	13
Murin de Bechstein	1	3	2	4	3	13
Alouette lulu	3	2	2	2	3	12
Milan royal	1	3	3	2	3	12
Azuré du Serpolet	3	3	2	2	2	12
Agrion nain	3	3	3	0	3	12
Ecrevisse à pieds rouges	3	2	2	2	3	12
Chabot	3	2	3	4	0	12
Faucon pèlerin	1	2	3	2	3	11
Gobemouche à collier	1	2	3	2	3	11
Grand duc d'Europe	1	2	3	2	3	11
Pie-grièche écorcheur	3	1	3	2	2	11
Courlis cendré	2	3	3	0	3	11
Grand Corbeau	1	2	3	2	3	11
Martin-pêcheur d'Europe	3	2	3	2	0	11
Lézard vivipare	3	3	3	2	0	11
Orthérum bleissant	3	3	3	0	2	11
Sympétrum jaune	3	3	2	0	3	11
Bondrée apivore	2	1	3	2	2	10
Murin de Natterer	1	3	2	2	2	10
Cincle plongeur	3	2	3	2	0	10
Faucon hobereau	3	2	3	2	0	10
Hermine	3	1	3	2	1	10
Mante religieuse	3	2	2	0	3	10
Sympétrum noir	3	2	3	0	2	10
Pic cendré	2	2	3	2	0	9
Coronelle lisse	2	2	1	2	2	9
Effraie des clochers	3	1	3	2	0	9
Héron cendré	3	1	3	2	0	9
Grande Aesche	3	3	3	0	0	9
Cigogne noire	1	2	3	2	0	8
Pic noir	2	1	3	2	0	8
Grenouille verte de Lessona	3	1	2	2	0	8
Chat sauvage	3	1	1	2	0	7
Murin à moustaches	1	3	1	2	0	7
Oreillard gris	2	2	1	2	0	7
Oreillard roux	2	2	1	2	0	7
Sérotine commune	1	1	1	2	2	7
Râle d'eau	3	1	3	0	0	7
Murin de Daubenton	1	2	1	2	0	6
Sérotine de Nilsson	1	2	1	2	0	6
Pipistrelle commune	1	1	1	2	0	5

Espèce (nom latin)	Critère 1 :	Critère 2 :	Critère 3 :	Critère 4 :	Critère 5 :	Total
	Représentativité	Vulnérabilité	Connexion	Protection	Rareté	
<i>Botrychium matricariifolium</i>	3	2	2	2	3	12
<i>Diphysastrum tristachyum</i>	3	2	2	2	3	12
<i>Gagea lutea</i>	0	3	2	2	3	10
<i>Ophioglossum vulgatum</i>	0	3	3	1	3	10
<i>Epipactis leptochila</i>	0	2	3	1	3	9
<i>Epipactis microphylla</i>	0	2	3	1	3	9
<i>Potamogeton polygonifolius</i>	0	2	3	1	3	9
<i>Huperzia selago</i>	0	2	3	1	2	8
<i>Dactylorhiza incarnata</i>	0	3	2	1	2	8
<i>Parnassia palustris</i>	0	3	2	1	2	8
<i>Botrychium lunaria</i>	0	2	2	1	2	7
<i>Cephalanthera rubra</i>	0	2	3	0	2	7
<i>Hottonia palustris</i>	0	3	2	0	2	7
<i>Hydrocotyle vulgaris</i>	0	2	3	0	2	7
<i>Lycopodium annotinum</i>	0	2	2	1	2	7
<i>Osmunda regalis</i>	0	2	2	1	2	7
<i>Campanula baumgartenii</i>	0	1	2	1	3	7
<i>Actea spicata</i>	0	2	2	0	2	6
<i>Aster anellus</i>	0	2	3	0	1	6
<i>Equisetum hiemale</i>	0	3	2	1	0	6
<i>Gentiana ciliata</i>	0	2	3	1	0	6
<i>Aceras anthropophora</i>	0	2	2	0	1	5
<i>Eriophorum angustifolium</i>	0	2	3	0	0	5
<i>Menyanthes trifoliata</i>	0	2	3	0	0	5
<i>Lycopodium clavatum</i>	0	1	3	0	0	4

ANNEXE 6 : Orientations du réseau Natura 2000 « La Sauer et ses affluents »

Orientations de développement durable

- OD.1. Restaurer et préserver la dynamique naturelle des ruisseaux et rivières sur grès
- OD.2. Maintenir la fonctionnalité et la richesse biologique des zones humides
- OD.3. Encourager une agriculture respectueuse des ressources naturelles et garantes de la conservation d'espaces ouverts de qualité
- OD.4. Eduquer, sensibiliser et former les acteurs, usagers et riverains des cours d'eau

Objectifs de gestion durable

- O.1. Rétablir la continuité hydraulique, biologique et sédimentaire
- O.2. Diminuer les plantations de résineux et de peupliers
- O.3. Limiter le phénomène d'ensablement
- O.4. Maîtriser les remblais en zone humide
- O.5. Gérer la rivière en respectant sa dynamique naturelle
- O.6. Mettre en place une gestion sylvicole douce des forêts humides
- O.7. Encourager la mise en place d'une agriculture durable en bordure de cours d'eau par la mise en place et l'animation de mesures agro-environnementales Natura 2000
- O.8. Mettre en place une gestion différenciée des mégaphorbiaies
- O.9. Conserver durablement les espèces patrimoniales et leurs habitats
- O.10. Eduquer, sensibiliser et former les acteurs, usagers et riverains des cours d'eau

ANNEXE 7 : Paramètres à suivre selon les altérations hydromorphologiques et morphoécologiques

Pression	Altérations hydromorphologiques	Altérations morpho-écologiques	Paramètres à suivre	Compartiment altéré
barrages hydroélectriques ou d'irrigation	modification des caractéristiques hydrodynamiques (crues et/ou étiages)	modification des paramètres d'habitats	quantité et dynamique du débit liquide	hydrologie
recalibrage, rectification, seuils, extractions	homogénéisation des faciès	homogénéisation des habitats aquatiques	Variation de la largeur et de la profondeur, faciès d'écoulement	lit mineur
recalibrage	élargissement du lit mineur	profondeurs limitantes en étiage	variation de la largeur et de la profondeur	lit mineur
recalibrage, rescindement, endiguement étroit	incision du lit mineur	vitesse limitantes en crue	variation de la largeur et de la profondeur	lit mineur
recalibrage, amont seuil	surcharge en MES et/ou ralentissement de l'écoulement favorisant le dépôt des fines	colmatage des substrats grossiers	Structure et substrat du lit, colmatage de surface, colmatage profond	substrat alluvial
protection berges, modif. régime des crues	blocage des processus d'érosion latérale	perte de capacité de recharge alluviale grossière et perte des processus de rajeunissement des milieux	Structure et substrat du lit, linéaire de berge stabilisé, taux d'érosion	substrat alluvial
seuil, barrage, extractions, modif. régime des crues	perturbation fourmiture et /ou transit de la charge de fond	perte de charge alluviale grossière et des habitats associés	Transport des sédiments, granulométrie	substrat alluvial
protection berges	modif structure berge	Appauvrissement de la qualité écologique des rives (disparition de l'écotone de rive)	Structure de la rive, linéaire de berge stabilisé	rives
suppression ripisylve + tous travaux se traduisant par une incision du lit mineur	disparition ripisylve	perte des habitats aquatiques liés à la ripisylve (racines)	Structure de la rive, linéaire et épaisseur de la ripisylve	rives
recalibrage, rescindement, endiguement, extractions	incision du lit mineur	perte de fréquence et de durée de submersion du lit majeur et des annexes hydrauliques	Fréquence et durée de connexion et submersion	lit majeur + annexes
recalibrage, rescindement, endiguement, extractions	incision du lit mineur	modification des relations nappe rivière (le cours d'eau draine la nappe en permanence)	Connexion aux masses d'eau souterraines, niveau de la nappe	nappe
déplacement	talweg perché	modification des relations nappe rivière (la nappe draine le cours d'eau en permanence ; perte de capacité d'accueil)	Connexion aux masses d'eau souterraines, débit du cours d'eau	nappe
recalibrage, suppression ripisylve	élargissement du lit mineur	réchauffement de l'eau et atteinte de conditions létales pour les biocénoses	température	physico-chimie
recalibrage, suppression ripisylve	élargissement du lit mineur	réchauffement de l'eau et aggravation des effets de l'eutrophisation	Oxygène	physico-chimie
tous les travaux se traduisant par perte de faciès et/ou de substrat alluvial	homogénéisation des faciès et/ou perte de substrat alluvial	réduction capacité auto-épuratoire		physico-chimie
tous les travaux se traduisant par une disparition de la ripisylve	disparition ripisylve	perte des fonctions auto-épuratoires liées à la ripisylve et réchauffement	température	physico-chimie

ANNEXE 8 : Spécification technique des analyses physico-chimique par le laboratoire Eurofins

Code	Analyse	Principe et référence de la méthode	LD	LQI	Incertitude à la LQ (%)	Unité
IX02L	Nitrates	Chromatographie ionique – Conductimétrie – NF EN ISO 10304 – 1	0,33	0,5	30	mg NO ₃ /l
IX02W	Nitrites	Chromatographie ionique – UV – NF EN ISO 10304 – 1	0,013	0,01	40	mg NO ₂ /l
IX03C	Orthophosphates (PO ₄)	Spectrométrie (Colorimétrie automatisée) – Méthode interne	0,01	0,015	55	mg PO ₄ /l
IX04P	Azote Kjeldahl (NTK)	Volumétrie – NF EN 25663	0,33	0,5	35	mg N/l
IX224	Température de l'air (in situ)	Thermométrie (Méthode à la sonde)	/	/	/	°C
IX2QL	Hauteur d'eau (in situ)	Calcul	/	/	/	m
IXA18	Turbidité	Spectrométrie – NF EN ISO 7027	0,03	0,1	45	NFU
IXA39	Demande chimique en oxygène (ST-DCO)	Méthode à petite échelle en tube fermé – ISO 15705	3,33	5	55	mg O ₂ /l
IXA41	Demande biochimique en oxygène (DBO ₅)	Electrochimie sans dilution – NF EN 1899 – 2	1	0,5	40	mg O ₂ /l
IXIDN	Ammonium faible teneur	Flux continu – NF EN ISO 11732	0,017	0,004	20	mg NH ₄ /l
LS002	Matières en suspension (MES) par filtration	Gravimétrie (Filtre Millipore AP40) – NF EN 872	0,67	2	15	mg/l
LS023	Résidu sec à 105°C	Gravimétrie – NF T 90-029	/	100	/	mg/l
LS025	Filtration 0,45 µm	Filtration – Méthode interne	/	/	/	/
LS044	Carbone organique dissous (COD)	Spectrophotométrie (IR) (Oxydation à chaud en milieu acide / Détection IR) – NF EN 1484	0,10	0,5	/	mg C/l
LS136	Phosphore (P)	ICP / AES – NF EN ISO 11885	0,002	0,005	30	mg P/l
LS2NV	Oxygène dissous (in situ)	Potentiométrie (Méthode à la sonde)	0,17	0,5	35	mg O ₂ /l
LS3R0	Conductivité à 25 °C (in situ) (non accrédité)	Potentiométrie	/	5	/	µS/cm
LS3R2	Mesure du pH (in situ) (non accrédité)	Thermométrie	/	2	/	Unités pH
LS3R4	Température de l'eau (in situ) (non accrédité)	Thermométrie (Méthode à la sonde)	/	/	/	°C

ANNEXE 9 : Liste de matériel à utiliser lors du protocole Carhyce

	Nombre		Les différents ateliers du protocole Carhyce					
	Minim.	Optim.	Définition station	Transect	Pente	Débit	Colmatage	Wolman
Matériel obligatoire								
Appareil photo	1	1		✓			✓	
Barre à mine	1	1					✓	
Bâtonnets	8	10					✓	
Clinomètre	1	2		✓				
Courantomètre	1	1				✓		
GPS	1	1	✓				✓	
Gabarit	0	1		✓				
Jalons-repères	2	15	✓	✓				
Mires	1	2		✓	✓	✓		
Masse ou massette	1	2				✓	✓	
Niveau à bulle, mire à bulles et trépied	1	2			✓			
Pied à coulisse ou réglet	1	2		✓				✓
Piquets métalliques	2	4		✓		✓		
Planche et crayon	1	2	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ruban de mesure (30 m)	1	2	✓	✓		✓		
Télemètre	1	2	✓	✓			✓	
Topofil et bobine	2	4	✓		✓			
Matériel optionnel								
Calculatrice	1	2	✓	✓	✓			
Machette	1	2	✓	✓	✓			
Règle de maçon à bulle	1	1		✓				
Talkies-walkies (paire)	1	3			✓			

ANNEXE 10 : Liste des substrats et leur mode de prélèvement pour le suivi des macroinvertébrés

Habitabilité et ordre d'échantillonnage	Définition du substrat principal	Agitation (3) du substrat seulement (environ 30 secondes) et récupération dans un filet Surber ou si nécessaire, une passoire	Récupération du substrat dans une passoire à contrôler sur le terrain dans une cuvette
P1	Bryophytes <i>lato sensus</i> et algues <i>Lemanea</i>	X (peigner, agiter doucement)	
P2	Spermaphytes immergés (<i>hydrophytes</i>) et algues Characées	X (peigner, agiter doucement)	
P3	Chevelus racinaires libres dans l'eau, incluant les racines libres d'hélophytes	X (peigner, agiter doucement)	
P4	Sédiments minéraux de grande taille (<i>pierres, galets</i>) (25 à 250 mm)	X (frotter toute la superficie des pierres volumineuses et s'assurer visuellement qu'il n'y a plus d'organismes accrochés. Agiter la couche sous les pierres sur environ 5 cm d'épaisseur)	
P5	Blocs facilement déplaçables (> 250 mm)	X (frotter la superficie de toutes les faces des blocs et s'assurer visuellement qu'il n'y a plus d'organismes accrochés. Agiter la couche sous les blocs comme le substrat P4)	
P6	Granulats grossiers (<i>gravier</i>) (2 à 25 mm).	X (soulever, agiter)	
P7	Spermaphytes émergents (<i>hélophytes</i>) (1)	X (frotter, peigner, agiter doucement)	
Substrats complémentaires			
C1	Débris organiques grossiers (<i>litières</i>)		X
C2	Substrats ligneux	X pour les grosses branches (frotter toute la surface)	X pour les dépôts de petites branches
Substrats par défaut			
D1	Vases : <i>sédiments fins</i> (< 0,1 mm) avec <i>débris organiques fins</i>		X
D2	Sables (< 2mm)		X
D3	Limons		X
D4	Surfaces uniformes dures naturelles ou artificielles (<i>roches, dalles, blocs non facilement déplaçables, marnes et argiles compactes</i>) (2)	X (frotter toute la superficie)	
NOTE 1 : le terme « hélophytes » inclut la partie immergée – mais en dehors du substrat sous-jacent - des hélophytes de la strate basse » type cresson, bérulle, véronique ..., ainsi que celle des hélophytes de la strate haute (roseaux, iris, massettes ...).			
NOTE 2 : cette définition s'applique aux substrats significativement cimentés par des concrétions calcaires ou enchâssés (impossibilité de retirer les pierres par exemple).			
NOTE 3 : respecter la précision apportée pour chaque substrat (par exemple, « peigner les bryophytes »)			

ANNEXE 11 : Seuils de qualité de l'eau des paramètres physico-chimique d'après la grille d'évaluation SEQ-

Eau

Paramètres	Unités	Limite des classes d'état				
		Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
pH	-	8	8,5	9	9,5	-
Turbidité	-	15	35	70	100	-
Conductivité	(μ S/cm)					-
Oxygène dissous	(mg O ₂ /L)	8	6	4	3	-
Carbone organique dissous	(mg C/L)	5	7	10	15	-
Phosphore	(mg P/L)	0,05	0,2	0,5	1	-
Ammonium	(mg NH ₄ /L)	0,1	0,5	2	5	-
Nitrates	(mg NO ₃ /L)	2	10	25	50	-
Azote nitrique	mgN/L	-	-	-	-	-
Nitrites	(mg NO ₂ /L)	0,03	0,3	0,5	1	-
Orthophosphates	(mg PO ₄ /L)	0,1	0,5	1	2	-
Azote Kjeldahl	(mg N/L)	1	2	4	10	-
Demande Biochimique en Oxygène	(mg O ₂ /L)	3	6	10	25	-
Demande chimique en oxygène	(mg O ₂ /L)	20	30	40	80	-

Stat ion	Débit (m ³ /s)	largeur plein bord (m)	largeur mouillée (m)	Pente (‰)	Continuité ripisylve rive gauche	Continuité ripisylve rive droite	Score ripisylve	D16 (mm)	D50 (mm)	D84 (mm)	Indice Folk et Ward	Indice Fredle	% fines	% graveiers-cailloux	% blocs-rochers	Indice de Shannon granulo	Coefficient rugosité	Profondeur maximum (m)	Profondeur moyenne (m)	Rapport largeur/Profondeur	Force tractrice (N/m ²)	Vitesse moyenne (m/s)	Puissance spécifique (w/m ²)	Nombre de mouille	Profondeur moyenne des	Coefficient de sinuosité	
Ob er avant	0.036	5.2	2.4	4.8	1	0	0.06	1.14	1.90	2.93	1.02	12.96	9.36	0.09	5.5	0.91	3.89	0.52	0.22	7.21	11.20	0.11	0.11	1.28	4	0.16	1.15
Nie d avant	0.116	6.2	6.1	3.1	1	1	0.09	7.0	1.00	1.20	0.49	7.31	9.10	9.0	1.0	4.12	0.61	0.27	10.81	9.52	0.27	0.11	1.07	6	0.11	1.01	
Ob er après																											
Nie d après																											

Base de données hydromorphologiques