



# Etude scientifique de suivi des opérations de restauration de la continuité écologique des cours d'eau des Vosges du Nord

Programme LIFE Biocorridors-  
14 NAT/FR/000290

Chloé HUMBERT  
Alban CAIRAULT



**Biosphärenreservat  
Pfälzerwald-  
Nordvogesen**





## Table des figures

Figure 1 : Localisation des sites de restauration écologique du projet Life Biocorridors .....	9
Tableau 1 : Descriptif des sites de restauration.....	10
Tableau 2 : Données météo du bassin versant de la Sauer.....	10
Figure 2 : Géologie des sites de restauration de la continuité écologique du projet Life Biocorridors .....	11
Figure 3 : Données hydrologiques issues des stations hydrométriques de la Lauter (à droite) et de la Sauer (à gauche) (Eaufrance) .....	12
Tableau 3 : Données hydrologiques des stations hydrométriques de la Sauer et de la Lauter (Eaufrance).....	12
Tableau 5 : Occupation du sol par bassin versant (GeoEst, 2011).....	13
Tableau 6 : types de forêt par bassin versant (GeoEst, 2011) .....	13
Tableau 7 : Occupation du sol à 5 et 20m autour des tronçons restaurés .....	14
Tableau 8 : Type de forêt à 5 et 20m autour des tronçons restaurés .....	14
Tableau 9 : Acteurs des projets de restauration.....	15
Tableau 10 : Description du site du Liebfrauenthal avant travaux (SinBioScop, 2020).....	16
Tableau 11 : Description du site Obersteinbach avant travaux (Artelia, 2017) .....	16
Tableau 12 : Description du site du Restaurant avant travaux (Artelia, 2018) .....	17
Tableau 13 : Description du site de la Friche avant travaux (Artelia, 2017) .....	17
Tableau 14 : Description du site de Woerth avant travaux (Artelia, 2017).....	18
Tableau 13 : Description du site 7 des étangs de la Nonnenhardt à Langensoultzbach avant travaux (Source : Artelia, 2021) .....	18
Tableau 15 : Description du site 7 des étangs de la Nonnenhardt à Langensoultzbach avant travaux (SinbioScop, 2021) .....	19
Tableau 14 : Description du site 6 de la passe à poisson de Weiler avant travaux (Artelia, 2020).....	19
Tableau 16 : Description du site 6 de la passe à poisson de Weiler (Artelia, 2020).....	20
Tableau 17 : Espaces protégés et habitats présents au droit des sites de restauration de la continuité écologique du projet Life Biocorridor (Climax et coll., 2020 ; Longuechal, 2006).....	21
Figure 3 : Espaces protégés au droit des sites de restauration de la continuité écologique du projet Life Biocorridor (Longuechal ; Muséum national d’Histoire naturelle, 2021) .....	22
Figure 4 : Objectifs liés aux travaux de restauration de la continuité écologique du projet Life Biocorridor (Artelia, 2018) .....	23
Tableau 18 : Temporalité des travaux de restauration de la continuité écologique du projet Life Biocorridor .....	23
Figure 5 : Travaux de restauration de la continuité écologique de Woerth (Artelia, 2018) .....	24
Figure 6 : Travaux de restauration de la continuité écologique du Liebfrauenthal (SinbioScop, 2020) .....	26
Figure 7 : Travaux de restauration de la continuité écologique de la Friche (Artelia, 2017) .....	27
Figure 8 : Travaux de restauration de la continuité écologique du Restaurant (L’Atelier des territoires, 2020) .....	28
Figure 9 : Travaux de restauration de la continuité écologique d’Obersteinbach (Artelia, 2018) .....	29
Figure 10 : Travaux de restauration de la continuité écologique de Weiler .....	30
Figure 11 : Travaux de restauration de la continuité écologique de la Nonnenhardt (SinbioScop, 2021).....	31
Carte 5 : Stations de suivi des travaux de restauration de la continuité écologique du bassin versant du Soultzbach...	32
Figure 12 : Stations de suivi des travaux de restauration de la continuité écologique du bassin versant du Steinbach .	32
Figure 13 : Stations de suivi des travaux de restauration de la continuité écologique du bassin versant de la Sauer ....	33
Figure 14 : Stations de suivi des travaux de restauration de la continuité écologique du bassin versant du Soultzbach	33
Figure 15 : Stations de suivi des travaux de restauration de la continuité écologique du bassin versant de la Lauter ...	34
Figure 16 : Temporalité d’un suivi scientifique de travaux de restauration écologique (ONEMA, 2012) .....	34
Tableau 19 : Compartiments et temporalité du suivi scientifique des travaux de restauration de la continuité écologique.....	35
Figure 18 : Prises de vue sur les sites du bassin versant du Soultzbach : .....	37
Woerth (à droite) et la Nonnenhardt (à gauche).....	37
Figure 17 : Prises de vue sur le site du Liebfrauenthal du bassin versant de la Sauer .....	37

Figure 19 : Prises de vue sur les du bassin versant du Steinbach : la Friche (en haut à gauche), Obersteinbach (en bas à gauche) et le Restaurant (à droite).....	37
Figure 20 : Prises de vue sur les du bassin versant de la Lauter : Weiler.....	38
Figure 21 : Photo des électrodes (à droite) et tableau des spécifications des principales mesures (à gauche) de la sonde AP-2000 (AQUAREAD, 2016) .....	39
Tableau 20 : Spécification technique des analyses physico-chimique par le laboratoire Eurofins (Eurofins, 2017 ; Eurofins, 2018) .....	40
Tableau 21 : Suivi des thermomètres de mesure .....	41
Tableau 22 : Spécification des thermomètres utilisés (HOBO water temp pro v2 à gauche et HOBO water Tidbit v2 à droite (ONSET).....	41
Tableau 23 : Spécification de la sonde de récolte de données HOBO waterproof Shuttle (ONSET).....	42
Tableau 24 : Liste de matériel à utiliser lors du protocole Carhyce (Baudoin, 2017) .....	43
Figure 22 : Nombre de mesure selon la hauteur d'eau (Baudoin, 2017).....	44
Tableau 25 : Type de berge selon la typologie du protocole carhyce (Baudoin, 2017) .....	44
Tableau 26 : Type d'habitats selon la typologie du protocole carhyce (Baudoin, 2017) .....	45
Tableau 27 : Substrat minéral selon l'échelle granulométrique de Wentworth (Baudoin, 2017) .....	45
Tableau 28 : Substrat minéral selon la typologie du protocole carhyce (Baudoin, 2017) .....	45
Tableau 29 : Longueur minimale des stations selon la norme EN 14011 (Belliard, 2012).....	46
Figure 22 : Pêche électrique (A) et biométrie (B) selon le protocole EN 14011 .....	47
Tableau 30 : Liste et mode de prélèvement des substrats selon la norme NF T90-333 (AFNOR, 2016) .....	47
Tableau 31 : Liste et définition des classes de vitesses selon la norme XP T90-333 (AFNOR, 2016) .....	48
Figure 23 : Phase de terrain du prélèvement de macroinvertébrés dans les cours d'eau .....	48
Tableau 32 : Données physico-chimiques avant et après travaux de restauration .....	50
Tableau 33 : Données hydromorphologiques avant et après travaux de restauration .....	52
Figure 24 : Polluosensibilité des macroinvertébrés (Faessel, 1985).....	52
Tableau 34 : Base de données du compartiment des macroinvertébrés avant et après travaux de restauration .....	53
Tableau 35 : Base de données du compartiment piscicole avant et après travaux de restauration .....	54
Tableau 36 : Indicateurs calculés à partir des données brutes.....	55
Figure 25 : Diversité des strates de la station d'Obersteinbach (à gauche) et du Restaurant (à droite) .....	56
Figure 26 : Diversité des habitats des berges de la station d'Obersteinbach (à gauche) et du Restaurant (à droite) avant et après travaux de restauration .....	56
Figure 27 : Diversité des faciès d'écoulement des stations de la Friche (à gauche) et du Restaurant (à droite) avant et après travaux de restauration .....	57
Figure 26 : Abondance en macroinvertébrés par station .....	58
Figure 27 : Effectifs par espèce de poisson pour les stations d'Obersteinbach (en haut à droite), de la Friche (en haut à gauche) et du Restaurant (en bas) .....	59
Figure 28 : Diversité des strates de la station de Woerth.....	60
Figure 29 : Diversité des faciès d'écoulement de la station de Woerth .....	60
Figure 30 : Abondance en macroinvertébrés pour la station de Woerth .....	61
Figure 31 : Effectifs par espèce de poisson pour la station de Woerth .....	61
Figure 32 : Résultats de l'ACP (gauche) et de la CAH (droite) des stations avant et après travaux pour le compartiment hydromorphologique .....	62
Figure 33 : Résultats de l'ACP par paramètres pour le compartiment macroinvertébrés.....	63
Figure 34 : Résultats de l'ACP (gauche) et de la CAH (droite) par paramètres ayant le plus réagit pour le compartiment macroinvertébrés .....	63
Figure 35 : Résultats de l'ACP (gauche) et de la CAH (droite) des stations avant et après travaux pour le compartiment macroinvertébrés .....	64
Figure 36 : Résultats de l'ACP par paramètres pour le compartiment piscicole.....	64
Figure 37 : Résultats de l'ACP des stations avant et après travaux pour le compartiment piscicole .....	65
Figure 38 : Résultats de l'ACP par paramètres pour l'ensemble des compartiments.....	65
Figure 39 : Résultats de l'ACP des stations avant et après travaux pour l'ensemble des compartiments.....	66
Tableau 21 : Limite des classes d'état des paramètres physico-chimiques (Légifrance, 2015) .....	70

## Table des matières

Partie 1 : Introduction .....	7
Partie 2 : Cadre du projet .....	8
1. Contexte scientifique et localisation des sites d'étude.....	8
1.1. Contexte géographique .....	8
1.2. Géologie .....	10
1.3. Hydrologie .....	11
1.4. Occupation du sol.....	12
2. Acteurs et enjeux.....	15
2.1. Acteurs des projets de restauration de la continuité écologique.....	15
2.2. Etat de l'art avant travaux de restauration.....	15
2.3. Enjeux écologiques.....	20
3. Typologie de travaux .....	23
Partie 3 : Méthodologie de suivi de travaux.....	32
1. Variation spatiale et temporelle du suivi des travaux de restauration de la continuité écologique.....	32
1.1. Localisation des suivis de travaux.....	32
1.2. Suivi temporel .....	34
A. Logiciel xlstat .....	35
2. Suivi photographique .....	36
2.1. Localisation des prises de vues.....	36
2.2. Méthode de suivi.....	38
3. Suivi physico-chimique .....	38
4. Suivi thermique .....	40
5. Suivi hydromorphologique .....	42
6. Suivi biologique .....	46
Partie 4 : Effet des travaux de restauration écologique .....	50
1. Analyse des bases de données .....	50
1.1. Compartiment Physico-chimique .....	50
1.2. Compartiment hydromorphologique .....	51
1.3. Compartiment biologique .....	52
2. Bassin versant de la Sauer .....	55
2.1. Effets des travaux sur le compartiment de la thermie .....	55
2.2. Effets des travaux sur le compartiment de l'hydromorphologie .....	55
2.3. Effets des travaux sur le compartiment macroinvertébrés .....	55
2.4. Effets des travaux sur le compartiment piscicole .....	55
2.5. Effets des travaux sur l'ensemble des compartiments.....	55
3. Bassin versant du Steinbach .....	55

3.1.	Effets des travaux sur le compartiment de l'hydromorphologie .....	55
3.2.	Effet des travaux sur le compartiment des macroinvertébrés .....	57
3.3.	Effet des travaux sur le compartiment piscicole.....	58
4.	Bassin versant du Soultzbach .....	59
4.1.	Effets des travaux sur le compartiment de l'hydromorphologie .....	59
4.2.	Effets des travaux sur le compartiment macroinvertébrés .....	60
4.3.	Effets des travaux sur le compartiment piscicole .....	61
5.	Bassin versant de la Lauter .....	61
5.1.	Effets des travaux sur le compartiment de l'hydromorphologie .....	61
5.2.	Effets des travaux sur le compartiment macroinvertébrés .....	61
5.3.	Effets des travaux sur le compartiment piscicole .....	61
5.4.	Effets des travaux sur l'ensemble des compartiments.....	61
6.	Résultats de l'analyse statistique.....	62
6.1.	Compartiment hydromorphologique .....	62
6.2.	Compartiment macroinvertébrés.....	62
6.3.	Compartiment piscicole.....	64
6.4.	Comparaison entre les différents compartiments.....	65
Partie 5 : Conclusion .....		67
1.	Synthèse des résultats de l'analyse effectuée juste après travaux (2021) .....	67
2.	Limites de l'étude .....	67
3.	Améliorations et perspectives .....	68
Bibliographie .....		69

Le projet Life a été lancé dans les années 1990 par la commission européenne afin de mettre en place un programme de financement destiné au maintien d'une sauvegarde pérenne de l'environnement. En parallèle, la directive cadre sur l'eau (2000) fixe un objectif de bon état écologique des masses d'eau européennes. L'Europe se dote d'objectifs ambitieux sur l'avenir de nos rivières, lieu de stockage de la ressource vitale pour tout être vivant, en bonne santé. Il s'agit également d'un des milieux abritant le plus de diversité d'habitat. C'est dans ce cadre que le Parc naturel régional des Vosges du Nord avec son voisin allemand le Biosphärenreservat Pfälzerwald (formant ensemble la Réserve de Biosphère Transfrontalière) en partenariat avec l'Europe, l'état, la région Grand-Est ainsi que l'agence de l'eau Rhin-Meuse ont lancé en 2016 le projet Life Biocorridors.

En effet, l'étude des corridors écologiques de la réserve faite en 2012 a permis une cartographie des espaces en bon état et d'autres dont la restauration des continuités écologiques est nécessaire. Celle-ci est assurément la clé pour le bon développement des espèces et de leurs habitats.

Concernant les milieux aquatiques, sept sites sont concernés par ce projet de restauration. L'ensemble des sites concernent deux rivières transfrontalières, la Sauer et la Lauter. Deux sites sont sur la rivière du Soultzbach, affluent rive gauche de la Sauer, il s'agit de l'Etang du Soultzbach à Woerth et des étangs de la Nonnenhardt. Trois sites sont sur le Steinbach, affluent rive droite de la Sauer, la friche du Steinbach, Le restaurant de Niedersteinbach, l'étang de pêche d'Obersteinbach. Un site se situe le long de la Sauer : la pisciculture du Liebfrauenthal. Et un site se situe sur la Lauter, la passe à poisson de Weiler. Ces sites sont concernés par des travaux de restauration diverses au sein des cours d'eau dans l'objectif de redonner un cadre plus naturel mais également de conserver les continuités piscicole et sédimentaires.

Afin de vérifier le bon déroulement et l'atteinte des objectifs de restauration, il est nécessaire de procéder à un état des lieux. Celui-ci est effectué, d'une part avant travaux afin de déterminer l'état initial de l'écosystème avant les travaux de restauration, d'autre part après les travaux de restauration afin d'effectuer un état final. Ces deux états peuvent ensuite être comparés afin de déterminer la bonne réussite des opérations de restauration écologique. Une comparaison avec une station de référence peut également être effectuée afin de comparer les stations restaurées avec une station n'ayant subi aucun impact similaire. Cet état des lieux avant et après travaux est présenté dans ce document.

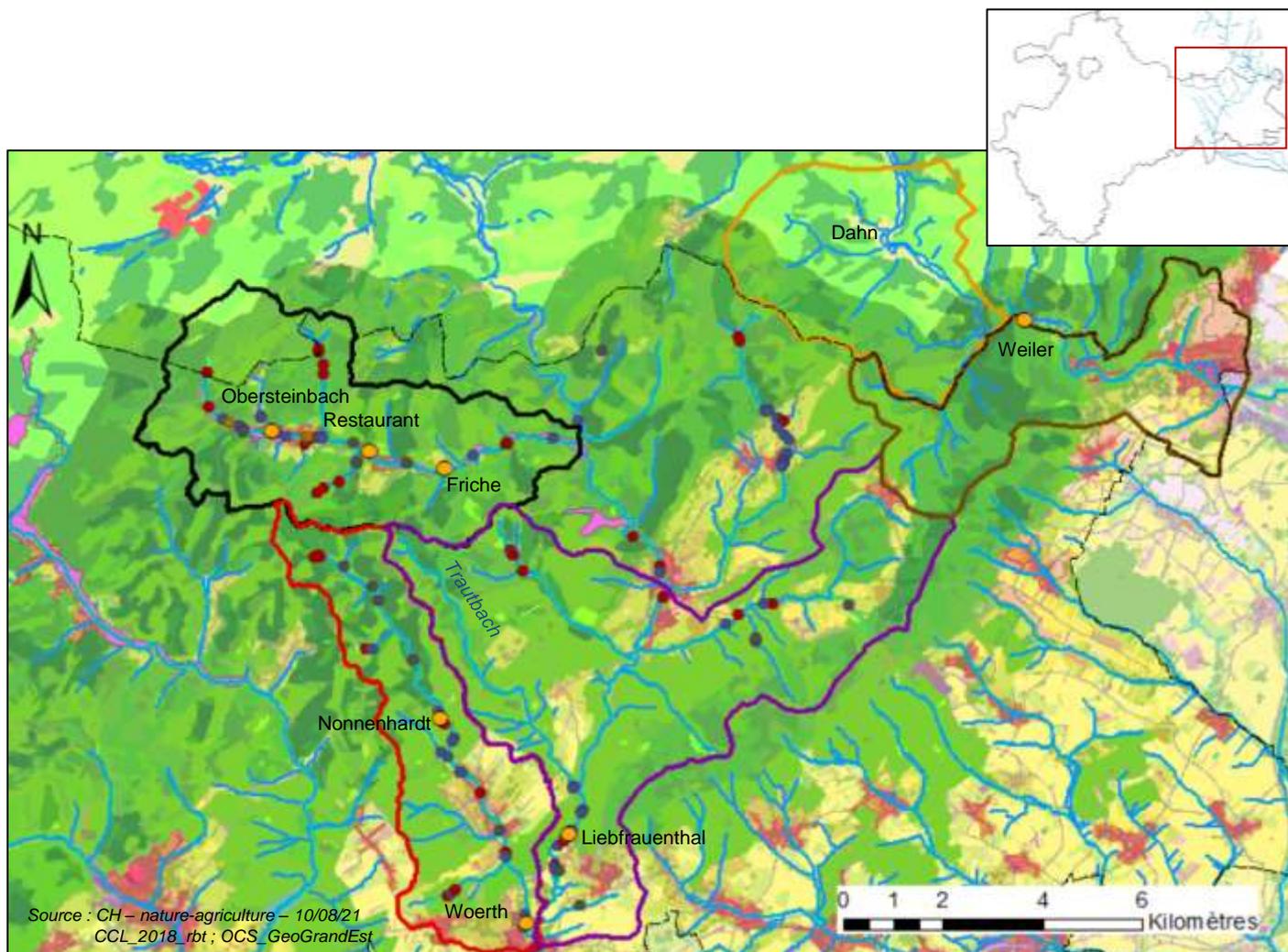
### 1. Contexte scientifique et localisation des sites d'étude

#### 1.1. Contexte géographique

Les 7 sites de restauration se situent au nord-ouest du Parc naturel régional des Vosges du Nord. Quatre bassins versant sont concernés par les travaux de restauration écologique dans le cadre du projet Life Biocorridor (SYCOPARC, 2018) (*Figure 1*) :

- La Sauer, affluent rive gauche du Rhin et d'une longueur d'environ 70 km. Un seul site est situé dans ce bassin versant (*Tableau 1*). Il s'agit de la pisciculture du Liebfrauenthal (67) (qui sera nommée Liebfrauenthal dans ce document).
- Le Steinbach, affluent de la Sauer et d'une longueur d'environ 10km. Il est concerné par trois sites de restauration (*Tableau 1*): L'étang d'Obersteinbach (Obersteinbach), le restaurant de Niedersteinbach (Restaurant) et la friche de Niedersteinbach (67) (Friche)
- Le Soultzbach, également affluent rive droite de la Sauer. La distance entre sa source et la confluence est d'environ 10 km. Il est concerné par 2 sites de restauration (*Tableau 1*): l'étang de la Nonnenhardt à Langensoultzbach (Nonnenhardt) et l'étang du Soultzbach à Woerth (67) (Woerth)
- La Lauter, faisant la frontière avec l'Allemagne. Il court sur environ 40 km jusqu'à son intersection avec le Rhin. Un seul site de restauration se trouve sur ce bassin versant (*Tableau 1*). Il s'agit de la passe à poisson de Weiler à Wissembourg (67) (Weiler)

L'ensemble de ces rivières ont été aménagés à différentes périodes de l'histoire. Une première phase de colonisation agraire XVIII<sup>e</sup> siècle par l'abbaye de Sturzelbronn (carpe et écrevisses) a vu l'apparition des premiers étangs. La révolution et le décret d'assèchement a vu disparaître quelques étangs au profit de la culture sur sol (boue d'étangs). S'en est suivie une 2<sup>e</sup> génération de création d'étang : (1) usage pour les martinets des forges (2) prairies flottantes (à dos) (3) flottage du bois (4) ligne maginot. Enfin une 3<sup>e</sup> génération pour le développement des loisirs et du tourisme. Il en résulte une présence importante de retenues d'eau, 30 recensées en amont de Weiler et plus de 66 en amont du Liebfrauenthal, regroupant des retenues en dérivation, en barrage ou encore par pompage dans la rivière amont (*Tableau 1*). Les typologies de retenues reprennent le logigramme de Bellot et al. (2017) (*Annexe 1*). Il est à noter qu'un 8<sup>e</sup> site a été choisi, le Trautbach, rivière considérée comme « référence », c'est-à-dire une rivière sans pâturage (sylvicole) ni ouvrage sur sa partie amont. Il permet ainsi de comparer les données issues des sites de restauration avec les données d'un cours d'eau n'ayant subi aucun impact. Le Trautbach est un affluent rive droite de la Sauer, suivi par l'observatoire de la qualité des rivières des Vosges du Nord (*Tableau 1*).



### Légende



Figure 1 : Localisation des sites de restauration écologique du projet Life Biocorridors

Tableau 1 : Descriptif des sites de restauration

Site	Nonnenhardt	Woerth	Liebfrauenthal	Obersteinbach	Restaurant	Friche	Weiler	Référence
Commune	Langen-soultzbach	Woerth	Goersdorf	Oberstein-bach	Niederstein-bach	Niederstein-bach	Wissem-bourg	Lembach
Code INSEE	67259	67550	67160	67353	67334	67334	67544	67263
Population par commune (en 2017)	936	1745	1097	227	122	122	7537	1540
Hydro-écorégion (Code HER)	Collines d'Alsace (HER 18/61)	Collines d'Alsace (HER 18/61)	Collines d'Alsace (HER 18/61)	Vosges gréseuses (HER 4/74)				
Nom de la masse d'eau	Soultzbach	Soultzbach	Sauer 2	Steinbach (affl.sauer)	Steinbach (affl.sauer)	Steinbach (affl.sauer)	Lauter	Sauer 1
Nom de la rivière	Soultzbach	Soultzbach	Sauer	Steinbach	Steinbach	Steinbach	Lauter	Trautbach
X (L93)	1045643	1047378	1048217	1042555	1044253	1045266	1057278	1046227
Y (L93)	6886175	6882030	6883800	6891858	6891553	6891229	6894255	6887363
Rang de Strahler	1	2	3	1	2	2	3	1
Distance à la source (kml)	1,97	9,5	31,4	2,93	4,95	6,07	8,08	2,80
Pente moyenne (‰)	1,4	4,81	0,85	4,81	1,7	3,1	1,1	27,7
Retenues alimentée par pompage dans la rivière amont (T2)	0	0	3	1	3	3	0	0
Retenues collinaires (T3)	4	5	13	2	7	9	0	0
Retenues en dérivation (T4)	2	10	34	4	10	11	0	2
Retenues en barrage (T5)	5	10	19	2	7	7	0	1
Etat écologique de la masse d'eau	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Bon

Le climat des Vosges du nord est de type semi-continentale caractérisé par des précipitations assez abondantes et régulières engendrées par l'obstacle des masses d'air par le massif (*Tableau 2*) (*Longuechal, 2007*). Concernant les températures, la température moyenne annuelle du bassin versant de la Sauer est en moyenne de l'ordre de 11 °C avec un minimum d'environ -3 °C et une température moyenne maximale d'environ 25 °C sur ces deux dernières années. L'amplitude thermique moyenne annuelle est en moyenne de 11°C (*Tableau 2*).

Tableau 2 : Données météo du bassin versant de la Sauer

	Température moyenne (°C)	Température min (°C)	Température max (°C)	Nombre de jours <0	Nombre de jours > 25	ATMA (°C)	Mois le plus froid	Mois le plus chaud	Précipitations moyenne (mm)
<b>2019</b>	12,06	-3,57	25,78	7	2	10,39	décembre	juillet	0,095
<b>2020</b>	10,31	-3,09	24,39	15	1	12,29	janvier	août	0,09
<b>Moyenne</b>	11,19	-3,33	25,09	11	1,5	11,34	-	-	0,09

## 1.2. Géologie

Les formations gréseuses caractéristiques perméable des Vosges du nord (datant du Trias entre - 245 et -205 millions d'années) (*Figure 2*). Cette formation appartient à la série gréseuse du Buntsandstein donnant sa couleur rose caractéristique des affleurements de cette région (*Longuechal, 2007*). Le caractère perméable du grès permet de capturer l'eau de pluies 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. 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. L'ensemble des sites de restauration sont situés sur des formations gréseuses du Trias à l'exception du site 1 du Soultzbach à Woerth et du site 2 de la pisciculture du Liebfrauenthal présent dans le champ de fracture de Saverne sur des formations marneuses de l'oligocène (*Carte 2*).

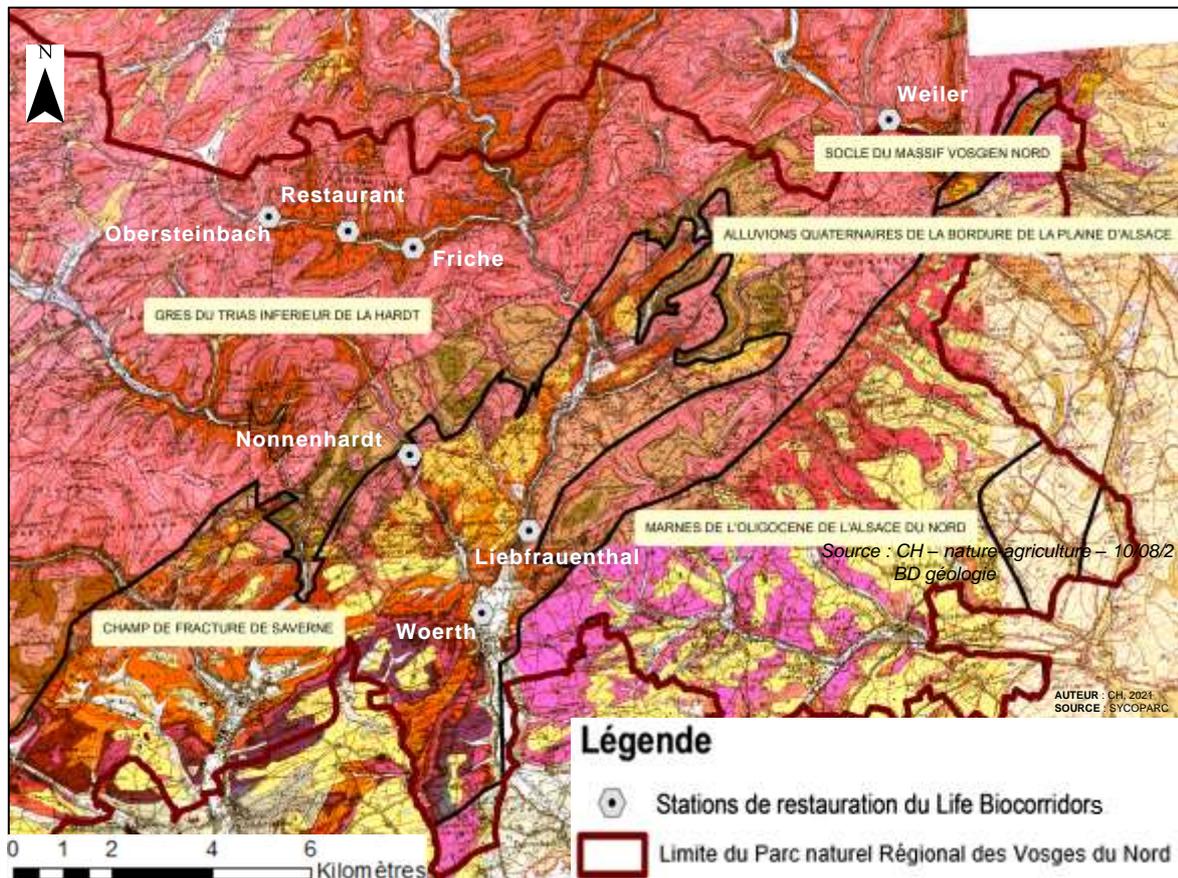


Figure 2 : Géologie des sites de restauration de la continuité écologique du projet Life Biocorridors

Nous avons donc quatre sites (Friche, Restaurant, Obersteinbach et Weiler) ainsi que la station de référence présent dans l'hydro-écorégion (HER) des Vosges gréseuses. Les trois derniers sites sont présents dans l'HER des collines d'Alsace (*Tableau 1*). Ces HER permettent de classer les cours d'eau nationaux selon leur zone géographique (climat, géologie et relief du site) (*Blanc, 2004*).

### 1.3. Hydrologie

Des données issues de la banque hydro du site Eaufrance ont permis d'obtenir un contexte hydrologique des cours d'eau. Plusieurs stations de mesures sont en effet présentes sur les bassins versant dont les données peuvent être utilisées (*Figure 3*) :

- Bassin versant de la Sauer : une station historique de la Sauer à Goersdorf (A3712010) fermée depuis 2001
- Bassin versant de la Lauter : une station encore en activité de la Lauter à Wissembourg (A3902010)

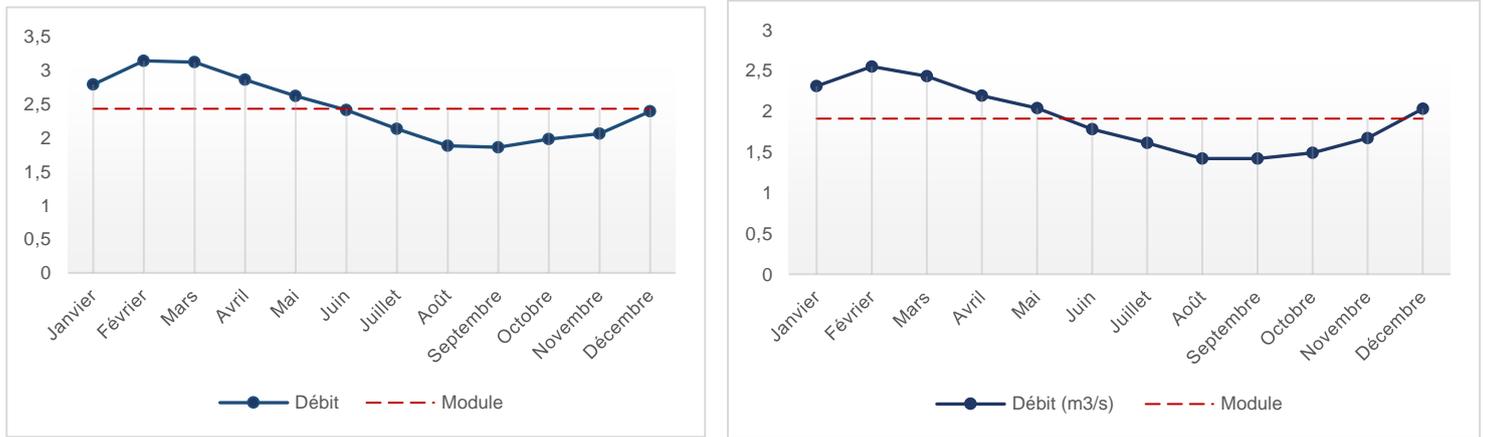


Figure 3 : Données hydrologiques issues des stations hydrométriques de la Lauter (à droite) et de la Sauer (à gauche) (Eaufrance)

Nous sommes ici en présence de cours d'eau dont le débit est relativement homogène sur l'année (1,28 m<sup>3</sup>/s entre les plus hautes et les plus basses eaux pour la Lauter et 1,13 m<sup>3</sup>/s pour la Sauer) (Figure 2).

Tableau 3 : Données hydrologiques des stations hydrométriques de la Sauer et de la Lauter (Eaufrance)

Station hydrométrique	QMNA2 (m <sup>3</sup> /s)	QMNA5 (m <sup>3</sup> /s)	Module (m <sup>3</sup> /s)	Q5 (m <sup>3</sup> /s)	Q10 (m <sup>3</sup> /s)	Q50 (m <sup>3</sup> /s)
Sauer à Goersdorf	1,2	0,99	1,91	12	15	21
Lauter à Wissembourg	1,7	1,5	2,43	9,5	11	14

Ces stations ne sont cependant pas représentatives de l'ensemble des cours d'eau du fait de la différence de rang strahler de certaines stations (plus proche de la source), de la présence ou non de végétation, calibrage ou obstacles impactant sur la dynamique fluviale ou encore de la pente.

#### 1.4. Occupation du sol

Une cartographie de l'occupation du sol a été faite par bassin versant en utilisant la base de données de l'occupation du sol GéoGrandEst (Figure 1) permettant ainsi de contextualiser les sites des travaux de restauration et s'appuyer sur ces données d'occupation du sol pour l'analyse des impacts des travaux de restauration de la continuité écologique (Tableau 5). Le territoire du Parc naturel Régional des Vosges du Nord est essentiellement recouvert de forêt, plus de 80% pour le bassin versant du Steinbach et de la Sauer (Tableau 5), avec une dominance de feuillus, pin sylvestre et hêtres dû notamment à l'histoire du parc naturel dont la sylviculture a été autrefois le moteur pour les industries (verrière, mines et métallurgie) (Tableau 6) (Génot, 2001). La partie gréseuse du parc (Figure 2) rendant les sols peu fertiles engendre un dénombrement faible des terres agricoles, moins de 1% de l'occupation du sol dans le bassin versant gréseux du Soultzbach et plus de 6% pour le bassin versant plus calcaire du Soultzbach (Tableau 5)

Tableau 5 : Occupation du sol par bassin versant (GeoEst, 2011)

Sites	Soultzbach (%)	Sauer (%)	Steinbach (%)	Lauter (%)
Bassins artificiels	<0,5	0	0	0
Bâti collectif	<0,5	0	0	<0,5
Bâti continu	<0,5	<0,5	<0,5	1,1
Bâti individuel	4,0	1,5	1,4	5,4
Bâti isolé en zone agricole ou naturelle	<0,5	<0,5	<0,5	0
Bosquets et haies	0,6	<0,5	<0,5	<0,5
Cimetières	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Coupes à blanc et jeunes plantations	0,9	0,8	0,6	<0,5
Cours d'eau et canaux	<0,5	<0,5	0	<0,5
Cultures annuelles et pluri-annuelles	<b>6,5</b>	2,1	0	<b>6,3</b>
Cultures spécifiques	<0,5	<0,5	0	<0,5
Activité à dominante mixte ou tertiaire	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Réseau ferré	0	0	0	<0,5
Réseau routier	1,0	0,7	0,6	2,0
Espaces associés aux réseaux routiers et ferrés	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Activités à dominante commerciale	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Activités à dominante industrielle	0	<0,5	0	<0,5
Emprises hospitalières	0	<0,5	0	<0,5
Emprises militaires	<0,5	0,6	0	0
Emprises scolaires et universitaires	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Equipements eau, énergies, T.I.C. et déchets	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Equipements sportifs et de loisirs, campings	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Espaces en transition	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Espaces libres en milieu urbain	<0,5	<0,5	0	<0,5
Espaces verts urbains	<0,5	<0,5	<0,5	0,8
Exploitations agricoles	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Forêts	<b>67,3</b>	<b>81,2</b>	<b>87,2</b>	<b>63,5</b>
Formations pré-forestières	0,5	0,6	<0,5	<0,5
Pépinières	0	0	0	<0,5
Peupleraies et sapinières	<0,5	0	0	0
Plans d'eau	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Prairies, friches et délaissés agricoles	<b>14,5</b>	<b>9,8</b>	<b>8,2</b>	<b>7,3</b>
Ripisylves et rivulaires	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Surfaces enherbées semi-naturelles	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Vergers intensifs	0	0	0	2,1
Vergers traditionnels	2,5	0,8	<0,5	0,5
Vignes	0	0	0	<b>6,3</b>
Zones de sinistre (incendie, tempête)	0	<0,5	0	0
Zones d'extraction	0	<0,5	0	0
Autre équipements	<0,5	<0,5	<0,5	0,8
Autres milieux humides	0	<0,5	0,5	0
Anciennes emprises d'activité	0	0	0	<0,5

Tableau 6 : types de forêt par bassin versant (GeoEst, 2011)

Sites	Soultzbach (%)	Sauer (%)	Steinbach (%)	Lauter (%)	Trautbach (%)
Forêt fermée sans couvert arboré	<0,5	0,6	0	<0,5	
Formation herbacée	0	<0,5	<0,5	0	
Lande	0	<0,5	<0,5	0	
Sapin ou épicéa	1,6	2,2	1,0	2,3	
Conifères en îlots	0	<0,5	0	<0,5	
Hêtre	<b>20,3</b>	<b>20,4</b>	<b>17,8</b>	<b>10,9</b>	
Mélèze	0	<0,5	<0,5	0	
Douglas	2,2	1,1	1,4	2,0	
Feuillus en îlots	0,8	<0,5	<0,5	0,6	
Feuillus	<b>42,6</b>	<b>27,1</b>	<b>18,0</b>	<b>12,5</b>	
Pin sylvestre	<b>9,9</b>	<b>13,8</b>	<b>22,9</b>	<b>16,2</b>	
Chênes décidus	5,0	4,9	0,7	0,7	
Mélange de conifères	4,7	4,0	8,0	<b>9,3</b>	
Autre conifère (autre que pin)	0	1,6	1,6	0	
Feuillus prépondérants et conifères	5,1	<b>11,3</b>	<b>23,2</b>	<b>28,1</b>	
Conifères prépondérants et feuillus	7,7	<b>12,4</b>	4,8	<b>17,0</b>	

Une cartographie de l'occupation du sol à proximité des tronçons restaurés (zone tampon de 5 à 20m) a également été établie en utilisant les mêmes couches de données. Nous avons ainsi une Etude scientifique de suivi des opérations de restauration de la continuité écologique des cours d'eau des Vosges du Nord

représentation des zones ripariennes des sites de restauration. Une majorité de tronçons sont recouvert de forêts (entre 0% pour Obersteinbach et près de 90% pour Weiler à 20m et la Nonnenhardt) (Tableau 7) dont une majorité de feuillus (de 0% au Steinbach à Obersteinbach à 100% autour du Soultzbach à Woerth et de la Sauer au Liebfrauenthal) (Tableau 8).

Tableau 7 : Occupation du sol à 5 et 20m autour des tronçons restaurés

Sites	Woerth		Liebfrauenthal		Friche		Restaurant		Obersteinbach		Weiler		Nonnenhardt	
	5m	20m	5m	20m	5m	20m	5m	20m	5m	20m	5m	20m	5m	20m
Bassins artificiels	0	1,6	0	<0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	<0,5	<0,5
Bâti individuel	<0,5	2,1	0,5	1,4	0	<0,5	1,3	3,1	8,7	12,3	0	0	0	0
Bosquets et haies	0	0	0	0	0	1,2	0	0	0	0	0	0	0	0
Canaux	0	0	<b>88,9</b>	<b>24,0</b>	0	0	0	0	0	0	<b>45,4</b>	<b>11,4</b>	0	0
Cultures annuelles et pluri-annuelles	3,7	<b>13,0</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Emprises d'activité à dominante mixte ou tertiaire	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,5	1,5
Emprise réseau routier	0	0	1,3	4,9	<0,5	6,3	3,3	3,3	0	0	<0,5	0	0	0
Espaces associés aux réseaux routiers et ferrés	0	0	<0,5	2,4	0	0	0,9	5,7	0	0	0	0	0	0
Emprises d'activités à dominante commerciale	0	0	0	0	0	0	<b>10,0</b>	<b>10,7</b>	0	0	0	0	0	0
Emprises hospitalières	0	0	0	<0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Equipements sportifs et de loisirs, campings	2,3	6,9	0	0	0	<0,5	0	0	0	0	0	0	0	0
Espaces en transition	0	0	0	0	<0,5	0,5	<b>13,6</b>	<b>19,3</b>	0	0	0	0	0	0
Espaces verts urbains	3,7	3,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Exploitations agricoles	0	0	2,8	<b>10,4</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Forêts	<b>30,6</b>	<b>23,5</b>	1,7	<b>45,3</b>	<b>32,9</b>	<b>29,2</b>	<b>40,0</b>	<b>36,2</b>	0	0	<b>54,6</b>	<b>88,6</b>	<b>85,6</b>	<b>87,6</b>
Formations pré-forestières	<b>15,6</b>	<b>13,0</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Plans d'eau	0	0	0	2,1	0	0	0	0	0	<0,5	0	0	<b>12,6</b>	<b>10,1</b>
Prairies, friches et délaissés agricoles	<b>10,5</b>	<b>18,2</b>	0	1,7	0	2,2	<b>25,8</b>	<b>15,6</b>	<b>91,3</b>	<b>87,6</b>	0	0	<0,5	<0,5
Ripisylves et rivulaires	<b>33,4</b>	<b>18,5</b>	4,6	7,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Autres milieux humides	0	0	0	0	<b>67,0</b>	<b>60,2</b>	5,1	6,1	0	0	0	0	0	0

Tableau 8 : Type de forêt à 5 et 20m autour des tronçons restaurés

Sites	Woerth		Liebfrauenthal		Friche		Restaurant		Obersteinbach		Weiler		Nonnenhardt	
	5m	20m	5m	20m	5m	20m	5m	20m	5m	20m	5m	20m	5m	20m
Hêtre pur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,0
Douglas pur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>13,2</b>	<b>12,3</b>
Pin sylvestre pur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>21,8</b>	<b>15,9</b>	<b>36,9</b>	<b>34,4</b>
Chênes décidus purs	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<0,5	3,3
Mélange de conifères	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,2	6,0
Mélange de feuillus	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	0	4,0	0	0	0	0	<b>61,1</b>	<b>84,1</b>	<b>25,8</b>	<b>26,5</b>
Feuillus prépondérants et conifères	0	0	0	0	<b>54,1</b>	<b>55,0</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	0	0	0	0	<b>17,6</b>	<b>16,6</b>
Conifères prépondérants et feuillus	0	0	0	0	<b>45,9</b>	<b>41,0</b>	0	0	0	0	<b>17,2</b>	0	0	0

## 2. Acteurs et enjeux

### 2.1. Acteurs des projets de restauration de la continuité écologique

L'ensemble des travaux de restauration écologique ont mis en relation de nombreux acteurs, propriétaires et gestionnaires (*Tableau 9*).

Tableau 9 : Acteurs des projets de restauration

	Woerth	Liebfrauenthal	Friche	Restaurant	Obersteinbach	Weiler	Nonnenhardt
<b>Fonctionnement des sites</b>							
<b>Usages</b>	Pêche de loisir	Pisciculture	Prairie à dos / pâturage	Elevage de truite refroidissement des réfrigérateurs du restaurant	Pêche de loisir	Fonctionnement d'une centrale hydroélectrique	Pêche de loisir
<b>Propriétaire des étangs et/ou ouvrages</b>	M.Noé M.Kaiser AAPPMA de Woerth	Propriétaire privé	Propriétaires privés	M.Zinck	Amicale de pêche / Propriétaire privé	- M.Höhl Président de la SCI St Germanoff, propriétaire de la centrale hydroélectrique - Propriétaire du barrage inconnu	Association de pêche de Langensultzbach
<b>Gestionnaire de la pêche</b>	M.Noé M. Kaiser AAPPMA	Propriétaire privé	/	M.Zinck	Amicale de pêche	AAPPMA Wissembourg	/
<b>Gestionnaire des ouvrages</b>	M.Noé M. Kaiser AAPPMA	Propriétaire privé	Propriétaires privés	M.Zinck	Amicale de pêche	SCI St Germanoff,	/
<b>En charge de l'entretien des ouvrages</b>	M.Noé M. Kaiser AAPPMA	Propriétaire privé	Propriétaires privés	M.Zinck	Amicale de pêche	Mr Zimfer / Mr Höhl / le SDEA acteur GEMAPI par délégation de la communauté de commune du Pays de Wissembourg	Association de pêche de Langensultzbach
<b>En charge des vidanges des étangs</b>	M.Noé M. Kaiser /AAPPMA	Propriétaire privé	/	/	Amicale de pêche	/	/
<b>Travaux</b>							
<b>Maitre d'ouvrage</b>	SYCO-PARC	SYCOPARC	SYCO-PARC	SYCOPARC	SYCOPARC	SYCOPARC	SYCOPARC
<b>Maitre d'œuvre</b>	Artelia	SINBIO SCOP	Artelia	l'Atelier des territoires	Artelia	Artelia	SINBIO SCOP
<b>Entreprise de travaux</b>	SETHY	<i>A compléter</i>	Parc d'Erstein	Benoit JOURNEL Environnement	SETHY	Meyer SARL (piste d'accès) et GREBIL	<i>A compléter</i>
<b>Financement</b>	Agence de l'eau Rhin Meuse et programme européen de financement Life						

### 2.2. Etat de l'art avant travaux de restauration

Un état de l'art avant travaux de restauration est décrit ci-dessous pour chaque bassin versant concerné afin d'identifier les différents impacts engendrés par les aménagements présents sur les rivières.

#### ○ **Bassin versant de la Sauer**

Le bassin versant de la Sauer est concerné par un seul site de restauration écologique, la pisciculture du Liebfrauenthal (*Tableau 10*) créée dans les années 1970 et mise en service par M.Albecker. Elle est située en série sur la rivière et engendre un effet bief sur environ 850m (*Annexe 2*). Il a été décidé en 2020 d'abandonner l'activité au profit de la restauration de la continuité écologique.

Tableau 10 : Description du site du Liebfrauenthal avant travaux (SinBioScop, 2020)

Ouvrages	Situation	Dimension	Système d'alimentation	Débit d'alimentation (m <sup>3</sup> /s)
<b>Barrage en blocs de grès</b>	En travers du cours d'eau, au niveau de la pisciculture	Environ 4,8m de hauteur et créant une hauteur de chute du barrage d'environ 2,80m	2 vannes manœuvrables d'une hauteur d'environ 3m et 2 déversoirs latéraux	En vannes fermées (période d'étiage) : QMNA5 = 1 QMOD = 1,9 3 QMOD = 5,7  En vanne ouvertes (période de crue) : Q10 = 18,4 Q30 = 23,5 Q100 = 28,9
<b>Pisciculture</b>	En rive droite de la Sauer, au niveau du barrage	Composé de 21 bassins	Bassins alimentés par 14 prises d'eau le long de la Sauer. Le trop-plein des 15 bassins au nord se jette dans un fossé avec un exutoire 45m en aval du barrage. Les 3 bassin suivant se jette dans un ruisseau contournant le site et les 3 dernier se jette dans un fossé dont l'exutoire est situé 85m en aval du barrage.	Le débit total des prises d'eau est de 540 l/s

Les débits d'alimentation ont été estimé par Artelia à l'aide de la loi hauteur-débit.

○ **Bassin versant du Steinbach**

Le bassin versant du Steinbach est concerné par 3 sites de restauration : Obersteinbach (Tableau 11), Restaurant (Tableau 12) et Friche (Tableau 13).

Le site d'Obersteinbach concerne l'étang de l'amicale de pêche de l'AAPPMA créée dans les années 1950 provoquant une déviation du Steinbach qui ne se trouvait alors pas dans son talweg dans ce secteur. Les travaux de restauration prennent également en compte un ouvrage de franchissement de la rue Witteberg ainsi que la prise d'eau d'un étang privé situé en amont de l'étang de l'amicale de pêche (Annexe 3.a).

Tableau 11 : Description du site Obersteinbach avant travaux (Artelia, 2017)

Ouvrages	Situation	Dimensions	Systèmes d'alimentation	Débits d'alimentation
<b>Ouvrage de prise d'eau</b>	Situé en travers du cours d'eau à environ 115m en amont de l'étang de pêche	La prise d'eau créer une chute de 45 cm	Constitué en palplanche battue pour faire barrage et diriger l'eau dans une buse d'alimentation de 200 mm de diamètre reliant la chambre de répartition qui relie ensuite un étang privé et l'étang de pêche grâce à 2 buses de 150 mm de diamètre	/
<b>Etang de pêche</b>	Situé en fond de vallée déviant le Steinbach à environ 325m de la chambre de répartition	La superficie de l'étang est de 1370 m <sup>2</sup>	Alimenté par une buse de 150mm de diamètre reliée à la chambre d'alimentation	Le débit d'alimentation de l'étang est de 2,8 l/s
<b>Ouvrage de franchissement de rue</b>	Situé au niveau de la rue Wittberg, environ 270m en aval de l'étang de pêche	Buse de 600mm de diamètre et d'une longueur d'environ 5m entraînant un exhaussement du fond du lit de 50cm	/	/

Le site du Restaurant concerne le Steinbach dans sa section souterraine, au droit du restaurant du Cheval blanc de Niedersteinbach, barré par une vanne permettant la déviation de l'eau vers un chenal de dérivation autrefois utilisé pour alimenter une turbine (Annexe 3.b). Historiquement, le village de Niedersteinbach a été le premier village du secteur à avoir de l'électricité. Le chenal sert aujourd'hui de vivier à truite et d'alimentation du système de refroidissement des réfrigérateurs du restaurant, également concerné par les travaux de restauration.

Tableau 12 : Description du site du Restaurant avant travaux (Artelia, 2018)

Ouvrages	Situation	Dimensions	Systèmes d'alimentation	Débits d'alimentation (m <sup>3</sup> /s)
<b>Seuil</b>	Située sur le canal au niveau du parking au nord du domaine du Cheval blanc	Environ 2,1m de largeur provoquant une chute d'eau maximale de 0,7 m	Le seuil est muni d'une vanne qui permet de maintenir un niveau d'eau en amont au niveau du haut de la vanne (le système passe alors en surverse)	/
<b>Canal de dérivation et vivier à truite</b>	Prise d'eau munie d'une grille en amont de la vanne	Le canal est divisé en 3 section : <ul style="list-style-type: none"> <li>Un vivier à truite bétonnée d'une largeur de 1,3m, longueur de 23m et pente de 3 ‰ comprise entre 2 grille de 30cm de hauteur</li> <li>Section souterraine de 50cm de long</li> <li>Section trapézoïdale de 65 cm de long et pente de 1 ‰ qui rejoint ensuite le Steinbach</li> </ul>	Le canal est alimenté par l'effet bief du seuil. Une grille permet de bloquer l'entrée du sable dans le canal	QMNA5 = 0,078 Module = 0,078 3 QMod = 0,078
<b>Section souterraine du Steinbach</b>	La section souterraine en aval du seuil passe sous le parking puis sous le local technique à l'arrière du restaurant. Il finit sous le parking et les jardins de propriétaires privé pour rejoindre le lit naturel 90m en aval du seuil	Compos d'une rampe en enrochement de 13m de long puis d'une fosse d'érosion de 3m de long, d'un tronçon en dalle de grès d'environ 50m de long et enfin d'une succession de buses en béton de DN1000	En débit courant, l'alimentation du Steinbach se fait par surverse au niveau de la vanne. En période de crue, l'alimentation se fait en surverse par la remontée progressive de la vanne	QMNA5 = 0,003 Module = 0,076 3 QMod = 0,384

Le débit réservé au Steinbach doit être au moins égal à 1/10<sup>ème</sup> du module soit 0,015 m<sup>3</sup>/s. Les conditions n'étaient pas respectées avant les travaux de restauration.

Le site de la Friche concerne les anciennes prairies à dos utilisées jusqu'au milieu du XX<sup>ème</sup> siècle pour alimenter le bétail. On y trouve des anciens ouvrages utilisés pour irriguer ces prairies et ainsi augmenter le rendement. Sur le site, nous retrouvons une succession de quatre anciens seuils (Annexe 3.c). Les prairies sont aujourd'hui pâturées par un troupeau de vaches de race Highland Cattle géré par l'Association pour la gestion des espaces agricoles en déprise dans les Vosges du Nord, en partenariat avec la commune de Niedersteinbach et le PNR des Vosges du Nord. Le troupeau avait donc libre accès au cours d'eau et ses berges impactant ainsi les sections de plein bord et colmatant les habitats des fonds de la rivière. Une station d'épuration (STEP) est également présente sur site dont le rejet se fait directement dans le Steinbach ainsi qu'un ancien étang.

Tableau 13 : Description du site de la Friche avant travaux (Artelia, 2017)

Ouvrages	Situation	Description
<b>Seuil 1</b>	En travers du cours d'eau à environ 140m de la sortie du village de Niedersteinbach	Il s'agit d'un seuil constitué d'une arche en blocs de grès (les dimensions sont inconnues) d'une hauteur d'environ 2m
<b>Seuil 2</b>	En travers du Steinbach à environ 270 m du premier seuil	Le seuil est constitué de blocs de grès placés dans le fond du lit de la rivière
<b>Seuil 3</b>	En travers du Steinbach à environ 500 m du premier seuil	Le seuil est constitué de blocs de grès placés dans le fond du lit de la rivière
<b>Seuil 4</b>	En travers du Steinbach à environ 720 m du premier seuil	Il s'agit d'un seuil constitué de blocs de grès (les dimensions sont inconnues)
<b>Sortie de STEP</b>	En rive gauche du Steinbach à environ 100 m du premier seuil	Le rejet de la station de STEP se fait via un tuyau (dont les dimensions sont inconnues) qui se trouve à une côte de 219,29 mNGF et se fait directement dans le Steinbach dont la côte du fond du lit est de 218,51 mNGF

#### ○ Bassin versant du Soultzbach

Le bassin versant du Soultzbach concerne les sites de Woerth (Tableau 14) et de la Nonnenhardt (Tableau 15).

Le site de Woerth concerne les étangs de pêche de l'AAPPMA de Woerth et 2 étangs privés alimentés par un canal d'aménagé via dérivation par un seuil en travers du Soultzbach (Annexe 4.a). Un autre étang privé alimenté grâce à l'effet retenue de ce même seuil est également pris en compte dans les opérations de restaurations (Annexe 4.a).

Tableau 14 : Description du site de Woerth avant travaux (Artelia, 2017)

Ouvrages	Situation	Dimensions	Systèmes d'alimentation / restitution	Débits d'alimentation
<b>Ouvrage de prise d'eau</b>	Sur le lit mineur du Soultzbach, environ 400m en amont de la confluence avec la Sauer	Seuil fixe d'une largeur de 7m avec une emprise de 9m sur les berges. Il crée une chute de 0,80m	Constitué d'une vanne manuelle qui permet l'alimentation d'un canal d'aménagé via une dérivation et crée un effet retenue en amont pour l'alimentation de 2 étangs	Pour des condition hydrologique égale à $1,2 \times Q_{MNA2}$ , la prise d'eau laisse transiter (après alimentation de tous les étangs) 10 l/s dans le Soultzbach et 36 l/s dans le canal d'aménagé
<b>Etangs de l'AAPPMA</b>	A environ 20m en aval de la prise d'eau, en dérivation en rive droite d'une distance de 13m du Soultzbach	29m de large, 77m de long et 944 m <sup>2</sup>	Trois buses d'alimentation de 200mm de diamètres Deux tuyaux de rejet vers le Soultzbach de 100 et 250 mm de diamètre Un tuyau de rejet vers le deuxième étang de 200mm de diamètre	Pour des condition hydrologique égale à $1,2 \times Q_{MNA2}$ , le débit d'alimentation du premier étang est de 36 l/s
	A environ 50m en aval de la prise d'eau, en dérivation en rive droite d'une distance de 40m du Soultzbach	42m de large, 64m de long et 2150m <sup>2</sup>	Deux buses d'un diamètre de 200 mm reliées au premier étang de l'AAPPMA	Le deuxième étang n'est alimenté que par le débit de fuite du premier
<b>Etangs de M. Kaiser</b>	A environ 30m en amont de la prise d'eau, en dérivation en rive droite d'une distance de 15m du Soultzbach	10m de large, 55m de long et 894m <sup>2</sup>	Une buse de 200mm de diamètre disposé en pente de 0,9%	Pour des condition hydrologique égale à $1,2 \times Q_{MNA2}$ , le débit d'alimentation de l'étang est de 26 l/s
	A environ 60m en amont de la prise d'eau, en dérivation en rive droite d'une distance de 17m du Soultzbach	27m de large, 48m de long et 1400m <sup>2</sup>	Une buse de 300mm de diamètre disposé en pente de 0,9%	Pour des condition hydrologique égale à $1,2 \times Q_{MNA2}$ , le débit d'alimentation de l'étang est de 63 l/s
<b>Etangs de M. Noé</b>	A environ 160m en amont de la prise d'eau, en dérivation en rive droite d'une distance de 51m du Soultzbach	35m de large, 60m de long et 2030m <sup>2</sup> .	Une buse de 200mm de diamètre disposé en pente de 0,4% comme prise d'eau alimentant 2 tuyau de 200 et 150mm	Pour des condition hydrologique égale à $1,2 \times Q_{MNA2}$ , le débit d'alimentation de l'étang est de 15 l/s

Les débits d'alimentation ont été estimés par Artelia grâce au bilan hydrologique de répartition dans les différents étangs (*Annexe 4.b*). Le débit réservé au cours d'eau devrait être au moins égal à 1/10ème du module soit 20 l/s. Il est remarqué qu'après la répartition du débit dans l'ensemble des étangs, il reste un débit de 10 l/s dans le Steinbach donc bien moins que le débit réservé calculé.

Le site de la Nonnenhardt concerne un ouvrage de franchissement de rue en amont du site ainsi que deux anciens étangs vidangés en 2016 et 2020 alimentés par un effet retenu via des digues en amont (*Annexe 4.c et 4.d*).

Afin de déterminer les caractéristiques lithologiques des digues et de l'ouvrage de franchissement de rue (*Tableau 15*), une étude géotechnique a été réalisé par FONDASOL en 2020. 8 sondages de reconnaissance et 29 essais pressiométriques ont été réalisés.

Tableau 15 : Description du site 7 des étangs de la Nonnehardt à Langensoultzbach avant travaux (SinbioScop, 2021)

Ouvrages	Situation	Dimension	Caractéristique lithologiques	Système d'alimentation / restitution
<b>Ouvrage de franchissement de route</b>	1km en amont des étangs avec présence de place de stockage des grumes	Buse de 7,5m de long et 500 mm de diamètre	Aucune étude géotechnique n'a été réalisée	/
<b>Chemin forestier</b>	environ 600m en amont des étangs en rive gauche	Largeur suffisante pour laisser passer des engins forestiers et longueur d'environ 650m	Aucune étude géotechnique n'a été réalisée	/
<b>Digue amont (OH3)</b>	Au niveau de l'étang amont, permet la mise en eau de l'étang qui a été mis à sec en novembre 2020	Hauteur de 5,5m, largeur de base de 12m et longueur de 50m. Pente du talus 2H/1V	<b>0m – 2m</b> : Remblais sablo-graveleux limoneux (lâches à moyennement denses) <b>2m – 6,2m</b> : limons à argiles +/- sableuses (très molles à fermes) <b>6,2m – 10m</b> : sables légèrement argileux à sables gréseux +/- altérés (très molles à fermes)	Présence d'un déversoir et d'un moine de vidange
<b>Digue intermédiaire(OH2)</b>	AU niveau de l'étang aval, permet sa mise en eau. Etang mis à sec.	Hauteur de 8,5m, largeur de base de 40m, longueur de 55m et volume de matériaux 5600m <sup>3</sup>	<b>0m – 0,25m</b> : Remblais sablo-graveleux +/- limoneux <b>0,25m – 3m</b> : Remblais sableux +/- limoneux (moyennement denses) <b>3m – 4m</b> : Remblais argilo-sableux (très molle à molle) <b>4m – 8m</b> : argiles +/- sableuses (très molle) <b>8m – 10m</b> : sables gréseux (très dense) <b>10m – 11m</b> : grès +/- altérés (très denses)	Présence d'un déversoir et d'un moine de vidange
<b>Ouvrage de franchissement aval (OH1)</b>	Environ 150m en aval des étangs. Construit uniquement pour la traversée du ravin.	Hauteur de 7,8m, largeur de base de 26m, longueur de 70m et volume de matériaux 10 700m <sup>3</sup> . Pente du talus 2H/1V	<b>0m – 0,7 - 2m</b> : Remblais sablo-graveleux limoneux <b>2m – 6 ; 6,8m</b> : Remblais limono-argileux sablo graveleux (très molle au bas de la digue) <b>6,8m – 7,5m</b> : argiles +/- sableuses (compacité très molle) <b>7,5m – 9m</b> : sables gréseux (très lâches) <b>9m – 12m</b> : grès +/- altérés (très denses)	Présence d'une buse d'évacuation
<b>Ancienne carrière de grès</b>	A proximité immédiate des étangs. Epicéa scolytés et Robinier faux-acacia abattus en mars 2021	Volume de stockage de 31000 m <sup>3</sup>	Aucune étude géotechnique n'a été réalisée	/
<b>Etang de pêche de l'association + petit bassin dessableur</b>	Environ 300m en aval des étangs et positionné en dérivation à environ 30m du Sultzbach	Largeur de 27m, longueur de 110m et environ 2650m <sup>2</sup>	Aucune étude géotechnique n'a été réalisée	Ouvrage de répartition des eaux et un déversoir latéral située en contre-bas de la digue aval. L'eau transite dans une conduite souterraine pour arriver dans un bassin dessableur avant d'atteindre l'étang.

### ○ Bassin versant de la Lauter

Le bassin versant est concerné par un seul site de restauration de Weiler, dont le barrage a été construit en 1941 (Tableau 16). Le barrage était utilisé par une scierie. Aujourd'hui il permet d'alimenter une turbine pour la production électrique via un canal d'aménagé (Annexe 5).

Tableau 16 : Description du site 6 de la passe à poisson de Weiler (Artelia, 2020)

Ouvrages	Situation	Description	Débits d'alimentation (m <sup>3</sup> /s)
<b>Barrage</b>	Situé en travers de la Lauter à la frontière entre l'Allemagne et la France à environ 8km de la source	Constitué de 3 éléments : <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 vannes en bois d'une hauteur et largeur respectivement d'environ 1,5 et 2m maintenant un niveau d'eau en amont à la cote maximale de 171 mNGF et entraînant une chute maximale de 1,4m en condition d'étiage</li> <li>• 2 déversoirs latéraux en béton en rive droite et en rive gauche dont un, sur le canal d'aménagé, composé d'un radier en béton et d'une vanne</li> <li>• 1 passe à poissons</li> </ul>	Le canal laisse transiter : $0,9 \times Q_{MA5} = 0,069 \times Q_{MNA2} = 0,335 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q_2 = 5,36$ $Q_{10} = 10,93$ $Q_{50} = 11,59$
<b>Passe à poisson</b>	Situé en rive droite de la Lauter au droit du barrage	Constitué de 10 bassins de longueur moyenne de 1,7m, largeur moyenne de 1,4m et profondeur moyenne de 50cm. Le débit s'écoule à travers des échancrures rectangulaires de 10,5 cm de largeur et 15cm de profondeur. La hauteur de chute est d'environ 1,5m.	Le débit max pouvant s'écouler par les échancrures est de 0,011 m <sup>3</sup> /s
<b>Canal d'aménagé</b>	Situé en rive gauche au droit du barrage	D'une longueur d'environ 700m. Il permet d'amener l'eau vers une turbine hydroélectrique qui la rejette ensuite 80m en aval dans la Lauter via un canal de fuite.	$Q_{MNA2} = 1,16$ $Q_2 = 2,18$ $Q_{10} = 1,40$ $Q_{50} = 3,03$

Un diagnostic de la passe à poisson a été réalisé en 2014 par l'ONEMA (Office national de l'eau et des milieux naturels). Selon l'organisme, les bassins d'une passe à poisson doivent avoir une longueur minimale de 2,5 m et une profondeur de 60cm pour les truites. Les échancrures doivent avoir une dimension minimale de 30cm de large. Les dimensions de l'ancienne passe à poisson (Tableau 16) n'étaient donc pas suffisante pour le passage de la faune piscicole. De plus, les bassins fonctionnaient à « jet plongeant » signifiant que la lame d'eau plonge au fond du bassin. Le poisson doit donc se jeter dans cette lame d'eau pour pouvoir obtenir la puissance nécessaire et franchir le bassin suivant. Les systèmes à jet plongeant sont réservés aux espèces salmonidés (Larinier, 1992). Ce fonctionnement n'est donc pas adapté aux espèces cibles à savoir l'anguille, le saumon, la truite ainsi que la lamproie de planer (Agence de l'eau Rhin-Meuse, 2016)

### 2.3. Enjeux écologiques

Ces différents aménagements engendrent des impacts importants sur les écosystèmes et entravent la continuité écologique des sites. La présence de seuil et de barrage dans un cours d'eau engendre en effet de nombreux impacts sur l'évolution biologique, sédimentaire et hydraulique d'un cours d'eau. D'une part ils provoquent une retenue d'eau en amont engendrant ainsi un ralentissement de l'écoulement et ainsi une augmentation de la température de l'eau en amont (Carluer, 2016 ; Souchon, 2011). On note également une accumulation des sédiments en amont et un creusement en aval par la réduction du transport sédimentaires au sein du cours d'eau (Degoutte, 2006 ; Carluer, 2016 ; Souchon 2011). Ceci entraîne alors un exhaussement du lit et il est observé un comblement des zones de frayères impactant ainsi sur la reproduction des poissons (Souchon, 2011). D'autre part, il bloque la libre circulation des espèces piscicole qui sont alors incapables de franchir le seuil (Souchon, 2011 ; Baxter, 1977).

La présence de pâturage en libre accès en bordure de cours d'eau impacte directement les berges et le fond du lit modifiant ainsi la structure du lit, remobilisant les sédiments et impactant également sur l'écosystème faunistique et floristique de la zone en comblant les potentielles frayères et caches de certaines espèces de poissons ou macro-invertébrés (Doris, 2008).

Enfin, la présence d'étangs impacte sur la température d'une 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 ; Arora, 2018). Ceci engendre donc des perturbations pour le développement de certaines espèces piscicole qui préfèrent les eaux froides pour leur reproduction.

De plus, un enjeu écologique important concerne les 7 sites de restauration (Figure 3). En effet, 6 sites sont inclus dans la zone Natura 2000 « La Sauer et ses affluents » et sont donc concernés par

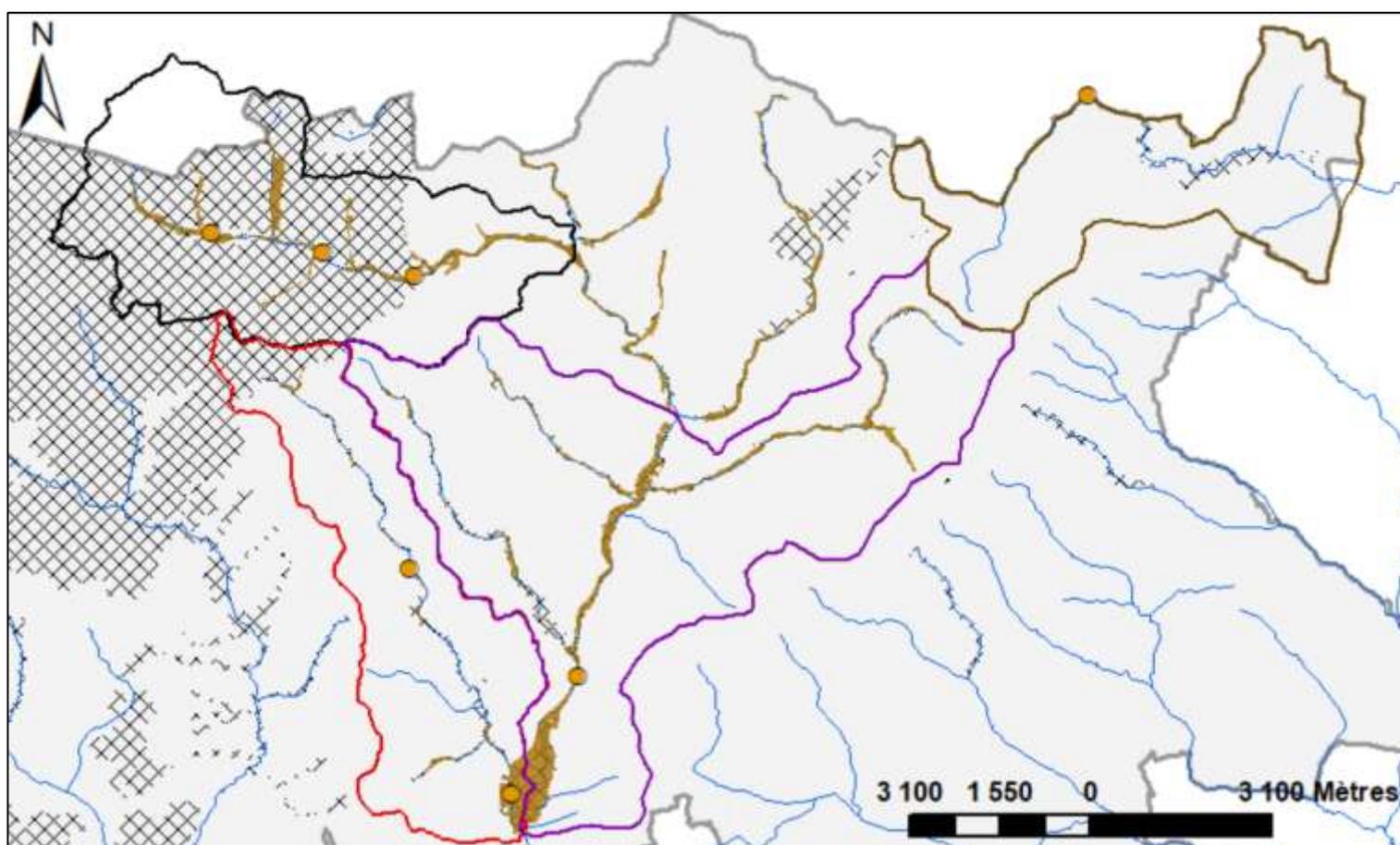
la directive habitat (*Tableau 17*). Natura 2000 est un réseau européen destiné à limiter la perte de la biodiversité et des habitats naturels, il s'inscrit dans la Directive « Oiseaux » de 1979 et la directive « habitats » de 1992 (*Commission européenne, 2009*). Le réseau possède plusieurs objectifs disponible dans le docob N2000 et permet d'orienter les actions du territoires (*Longuechal, 2006*)(*Annexe 6*). L'ensemble des sites sont également présent dans la zone ZNIEFF 1 ( Zone naturelle d'intérêt faunistique et floristique) (*Figure 3*). Le ZNIEFF, lancé en 1982, est un inventaire 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*).

La présences des sites dans ces zones protégées engendre une présence d'habitats et d'espèces importantes dont il faut tenir compte. La directive « Habitats » permet d'avoir une liste d'habitats présents sur les sites de travaux (*Tableau 17*). De plus, une expertise faunistique et floristique a été réalisée par le bureau d'étude en écologie Climax pour les sites du Liebfrauenthal, de la Nonnenhardt de Weiler. Nous avons donc un inventaire précis des habitats et espèces présentes sur ces sites (*Tableau 17*). Les espèces potentiellement présentes sur les sites Natura 2000 et sur le site de Weiler sont recensées respectivement en annexe 7 et 8.

*Tableau 17 : Espaces protégés et habitats présents au droit des sites de restauration de la continuité écologique du projet Life Biocorridor (Climax et coll., 2020 ; Longuechal, 2006)*

Sites	Espace protégé	Habitats
Woerth	<ul style="list-style-type: none"> <li>N2000 « La Sauer et ses affluents »</li> <li>ZNIEFF1 « La Sauer et ses affluents »</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Callitriche à angles obtus</li> <li>Aulnaies à hautes herbes</li> <li>Mégaphorbiaies à reine des près</li> <li>Plantations feuikkys</li> <li>Aulnaies-frênaies à Stellaire des bois</li> <li>Cultures, labours</li> <li>Prairies humides du Calthion</li> <li>Bois de bouleaux et trembles</li> <li>Prairies mésophiles de l'Arrhenatherion</li> <li>Roselières</li> <li>Lisières humides et groupements à orties</li> <li>Verger, jardin, haie</li> <li>Aulnaies plantées</li> </ul>
Liebfrauenthal	<ul style="list-style-type: none"> <li>N2000 « La Sauer et ses affluents »</li> <li>ZNIEFF1 « La Sauer et ses affluents »</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Callitriches renoncules peltées</li> <li>Boisement mixte</li> <li>Aulnaies à hautes herbes</li> <li>Roselières</li> <li>Aulnaies-frênaies à Stellaire des bois</li> <li>Cultures, labours</li> <li>Prairies mésophiles de l'Arrhenatherion</li> </ul>
Friche	<ul style="list-style-type: none"> <li>N2000 « La Sauer et ses affluents »</li> <li>ZNIEFF1 « La Sauer et ses affluents »</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Callitriche, renoncule peltée</li> <li>Lisières humides et groupement à orties</li> <li>Prairies humides du Calthion</li> <li>Cariçaie</li> <li>Roselières</li> <li>Saulaies marécageuses</li> <li>Groupement à Saule blanc et/ou saule fragile</li> <li>Bois de bouleaux et tremble</li> <li>Pessières plantées</li> <li>Recolonisation forestière</li> <li>Aulnaie à hautes herbes</li> <li>Prairies mésophiles de l'Arrhenatherion</li> <li>Boisement mixte</li> </ul>
Restaurant	<ul style="list-style-type: none"> <li>N2000 « La Sauer et ses affluents »</li> <li>ZNIEFF1 « La Sauer et ses affluents »</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Roselière</li> <li>Prairies à Scirpe et formations associées</li> <li>Prairies mésophiles de l'Arrhenatherion</li> <li>Hêtraies-chênaies</li> <li>Plantations résineux</li> <li>Aulnaies-frênaies à Stellaires des bois</li> <li>Cariçaie</li> <li>Lisières humides et groupements à orties</li> </ul>
Obersteinbach	<ul style="list-style-type: none"> <li>N2000 « La Sauer et ses affluents »</li> <li>ZNIEFF1 « Vallée de la Sauer et ses affluents »</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Callitriche, renoncule peltée</li> <li>Callitriche, renoncule peltée</li> <li>Prairies mésophiles de l'Arrhenatherion</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Roselière</li> <li>• Prairies humides du Calthéion</li> <li>• Cariçaie</li> <li>• Megaphorbiaies à Reine des prés</li> </ul>
Weiler	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ZNIEFF 1 « La Lauter et ses affluents »</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aulnaie à Cirse des maraîchers</li> <li>• Aulnaie sur ronces</li> <li>• Aulnaie à Carex acutiformis</li> <li>• Aulnaie à Carex elongata</li> </ul>
Nonnenhardt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• N2000 « La Sauer et ses affluents »</li> <li>• ZNIEFF1 « Vallée de la Sauer et ses affluents »</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zone rudéralisée</li> <li>• Aulnaies à laîche espacée des petits ruis</li> <li>• Aulnaies marécageuses</li> <li>• Aulnaies-frênaies à stellaire des bois</li> </ul>



### Légende

● Sites de restauration de la continuité écologique dans le cadre du projet Life Biocorridors	■ Habitats Zone Natura 2000
■ Bassin versant de la Lauter	— Cours d'eau
■ Bassin versant de la Sauer	▨ Zone ZNIEFF 1
■ Bassin versant du Soultzbach	▤ Limite du Parc naturel Régional des Vosges du Nord
■ Bassin versant du Steinbach	

Figure 3 : Espaces protégés au droit des sites de restauration de la continuité écologique du projet Life Biocorridor (Longuechal ; Muséum national d'Histoire naturelle, 2021)

Selon l'analyse des différents aménagements et enjeux du territoires, l'objectif des diverses 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 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 6). 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 » (Friche), O.3. « Limiter le phénomène d'ensablement par l'arasement ou le dérèglement de seuil » (Woerth, Liebfrauenthal, Friche, Restaurant, Obersteinbach) et O.5. « Gérer la rivière en respectant sa dynamique naturelle par l'aménagement d'ouvrages de diversification d'écoulement » (Liebfrauenthal) (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 ayant dans le cadre de « l'orientation T3 – 03.2.2.2 : Pour la gestion des ouvrages existants, adopter les mesures nécessaires s'agissant de la continuité longitudinales des cours d'eau » (Agence de l'eau Rhin-Meuse, 2016) (Figure 4).



Figure 4 : Objectifs liés aux travaux de restauration de la continuité écologique du projet Life Biocorridor (Artelia, 2018)

### 3. Typologie de travaux

Afin de répondre aux problématiques engendrées par les aménagements des cours d'eau des différents sites, des travaux de restauration de la continuité écologique des cours d'eau ont été lancés. Les objectifs principaux pour l'ensemble des sites sont :

- Améliorer la qualité hydraulique du cours d'eau en retirant les obstacles
- Améliorer le franchissement des ouvrages par les espèces piscicoles
- Assurer une continuité sédimentaire des cours d'eau.

Tableau 18 : Temporalité des travaux de restauration de la continuité écologique du projet Life Biocorridor

Sites	Woerth	Liebfrauenthal	Friche	Restaurant	Obersteinbach	Weiler	Nonnenhardt
<b>Début des travaux</b>	Août 2020	Août 2021 ?	Juin 2019	Septembre 2020	Avril 2020	Septembre 2021	Août 2021 ?
<b>Durée des travaux</b>	2 mois	-	2 mois	Novembre 2020	5 mois	1 mois	-

#### o Site 1 : Etangs du Soultzbach à Woerth

Typologie des opérations (Figure 5) :

- **Dérèglement** de l'ancien seuil
- **Création de seuils de fonds (points durs)**
  - o Création d'un nouveau seuil à échancrure de fond d'une largeur de 2m et une épaisseur d'1m. La base de l'échancrure est calée au niveau de la cote du fond du lit et 0,40m de large sur 0,2m de hauteur (Annexe 9).
  - o Création de 7 seuils de fonds répartis sur 130m, d'une largeur de 2m, longueur de 2m et pente de 3%. Les échancrures seront d'une hauteur de 0,2m et largeur de 0,4 m. Les seuils sont constitués de blocs de grès de diamètre de 180mm avec des pieux en acier de

40mm de diamètre sur un géotextile anti-poinçonnement  $m^3/s$  au centre. Des blocs de grès 60/80mm seront disposés en amont et en aval (*Annexe 9*)

- Création d'un seuil de fond en aval de l'étang de M. Noé permettant de créer un effet bief pour l'alimentation de l'étang.
- **Création d'un canal d'alimentation** d'une longueur de 70m, largeur de base de 0,3m, hauteur de 0,3m et d'une pente de 0,03% : Le canal est alimenté à l'aide de l'effet bief du nouveau seuil à échancrure de fond et d'une prise d'eau de 0,5m de large et 0,3m de haut disposée à l'entrée du canal.
- **Aménagement de nouvelles alimentation et moines de vidange des étangs :**
  - Etang de M. Kaiser : prise d'eau de 150mm de diamètre et d'une longueur de 15m pour un débit d'alimentation de  $0,015 m^3/s$
  - 1<sup>er</sup> étang de l'AAPPMA : prise d'eau de 125mm de diamètre sur une longueur de 5m pour un débit moyen de  $0,0078 m^3/s$
  - 2<sup>ème</sup> étang de l'AAPPMA : prise d'eau de diamètre 125 mm et longueur de 12m pour un débit moyen de  $0,0070 m^3/s$
- **Reprofilage de berges** en pente douce (3H/2V) avec le resserrement du lit mineur. Des banquettes ont été installées et ensemencées avec un mélange de graminées (*Annexe 9*) De plus, une plantation d'arbre s'est faite entre la mi-octobre et la mi-mars afin de compenser les pertes dû aux travaux. Un arbre a été planté tous les 10m et un arbuste a été planté tous les 3m afin de compléter les intervalles. Des hélophytes ont également été plantés entre mars et juillet, à savoir une densité de 5 pièces par  $m^2$ .

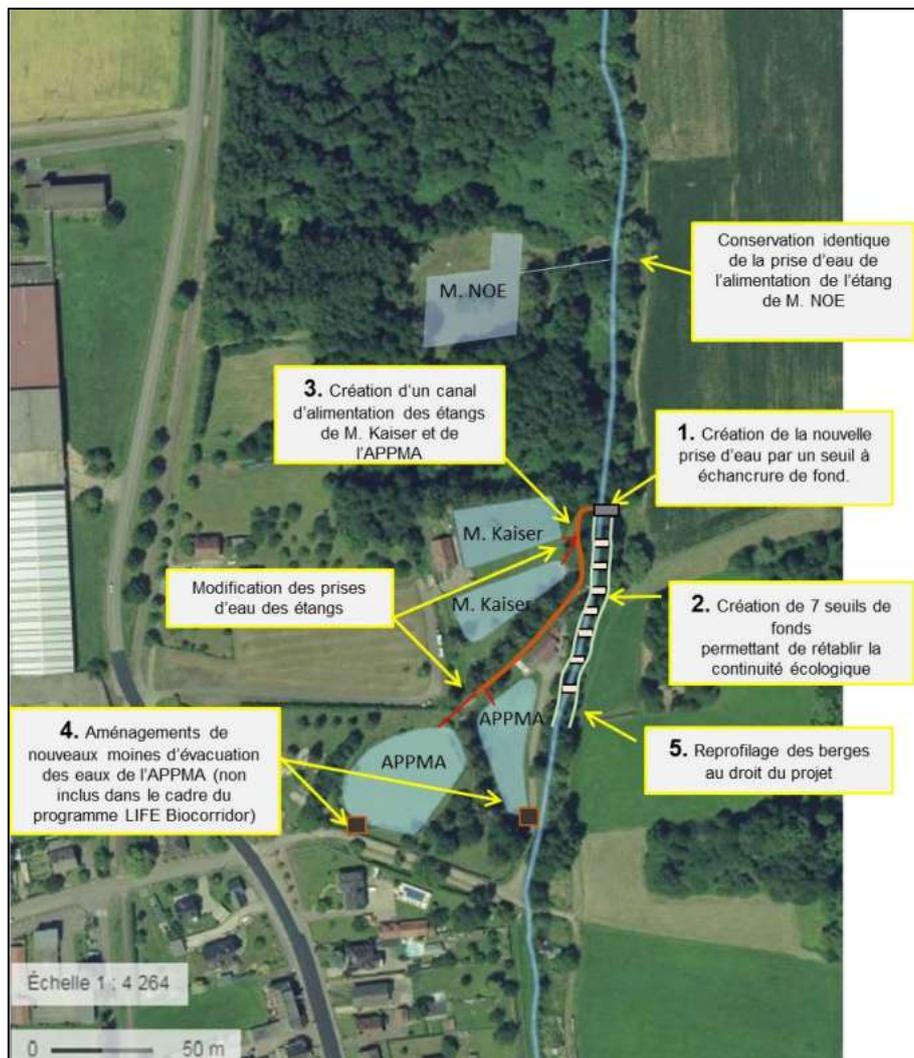


Figure 5 : Travaux de restauration de la continuité écologique de Woerth (Artelia, 2018)

○ **Site 2 : Pisciculture du Liebfrauenthal (A mettre à jour après travaux !)**

Typologie des opérations (Figure 6) :

- **Arasement du barrage** : le radier sera abaissé à la côte de 172,20 mNGF. Les déversoirs latéraux et la structure aérienne seront conservés.
- **Reprise du profil en long**
  - A l'amont du barrage : le cours d'eau s'équilibrera tout seul après l'arasement du barrage par érosion régressive jusqu'à atteindre une pente d'environ 2,5 à 3‰.
  - A l'aval du barrage : le pavage du fond du lit sera retiré sur environ 30m. Le fond du lit sera terrassé pour atteindre une pente d'environ 2,5‰. Un enrochement avec des blocs non gélifs de densité minimale de 1800 kg/m<sup>3</sup> et de diamètre moyen de 200mm sera fait au niveau du barrage en pente naturelle afin de maintenir une stabilité des murets en rive gauche et droite.
- **Aménagement de banquettes et d'épis** : Dans un objectif de diminution de la taille du lit mineur et de diversification des écoulements et des habitats, 2 zones seront concernées par la pose de banquette soit en matériaux fins soit en matériaux grossiers :
  - A l'aval de la buse ARMCO en rive gauche : 3m de large et une pente en 3H/2V
  - A l'amont du barrage en rive gauche : 4m de large et une pente en 3H/2VLes épis peigne seront destinés à stabiliser les matériaux fins et à créer une zone de dépôt afin de favoriser la diminution de la taille du lit mineur
- **Suppression d'étang** : La rive droite au droit de l'étang supprimé sera également retalutée afin de favoriser le débordement et ainsi créer une zone humide d'environ 2000m<sup>2</sup> à la place de l'étang.
- **Restauration de zone humide** : Au droit de l'ancienne pisciculture, les anciens bassins, les bâtiments, les résineux et les thuyas seront retirés. La rive droite de la Sauer sera remodelée en pente douce avoir d'avoir un débordement vers la prairie humide. La surface totale de la zone humide sera d'environ 7500m<sup>2</sup> et présentera une diversité de topographie pour augmenter la diversité de conditions hydriques. Un ensemencement sera effectué par un mélange de graines d'espèces prairiales typique des Vosges du nord. Enfin, un talus sera aménagé jusqu'à la côte 176 mNGF le long du chemin d'accès à la propriété de M.Albecker afin de limiter le risque d'inondation de sa propriété.
- **Création d'une mare** : En rive gauche face à la prairie humide. Le fond de la mare sera calé environ 50cm en-dessous du fond du lit de la Sauer pour créer une connexion entre la mare et la rivière. Les berges seront comprises entre 3V/2H et 3V/1H
- **Consolidation des murs de soutènement en aval du barrage** : Ceci afin d'assurer la stabilité de la structure restante de l'ancien barrage.
- **Reprise de l'ouvrage de franchissement de rue d'ici 2023** : mise en place d'un pont cadre de section de 8m environ. Des banquettes de 1,5m de large seront également installées en amont et en aval de l'ouvrage.



Figure 6 : Travaux de restauration de la continuité écologique du Liebfrauenthal (SinbioScop, 2020)

### ○ Site 3 : Friche de Niedersteinbach

Typologie des opérations (Figure 7) :

- **Dérasement de seuils** : Seuil n°2 et 3
- **Contournement de seuils** :
  - Seuil n°1 : le chenal de contournement créé sera en rive gauche, de pente d'environ 1,7% de largeur 0,5m, de longueur d'environ 20m et de pente de berge de 3H/2V (Annexe 10)
  - Seuil n°4 : le chenal de contournement sera en rive gauche, de pente d'environ 1,6%, de longueur d'environ 50m et de pente de berge de 3H/2V (Annexe 10)
- **Reprise de sortie de STEP** : Le tuyau de sortie de STEP a été reculé d'environ 4m de la rivière. Une cuvette avec une surverse à sa sortie a été aménagée à la côte de 219m NGF entre la sortie de STEP et la rivière avec des galets d'environ 10cm
- **Suppression d'étang**
- **Lutte contre le piétinement du bétail** :
  - Pose de clôtures : la clôture est constituée de poteaux en châtaigner de 2m de haut (dont 1,3 hors-sol) positionnés tous les 3m avec un fils barbelé en 3 lignes. La clôture a été positionnée sur es 2 rive du Steinbach sauf lorsque le cours d'eau se trouve en bordure de route où la clôture se trouve uniquement en rive droite.
  - Aménagement de passages à gué : les passages font une largeur de 4m. Les berges ont été aménagées en pente douce de 4H/1V pour faciliter le passage du bétail. Le passage

est constitué de blocs en enrochement provenant des seuils et de blocs de 400/800mm posés sur un géotextile anti-poinçonnement. Une couche de concassé de grès 10/14 permet de stabiliser. Enfin un pavage empierré a été aménagé sur le dessus à l'aide de gravier grossiers de grès de 60/180 (*Annexe 10*)

- **Abattage de parcelles d'épicéas et de peupliers**

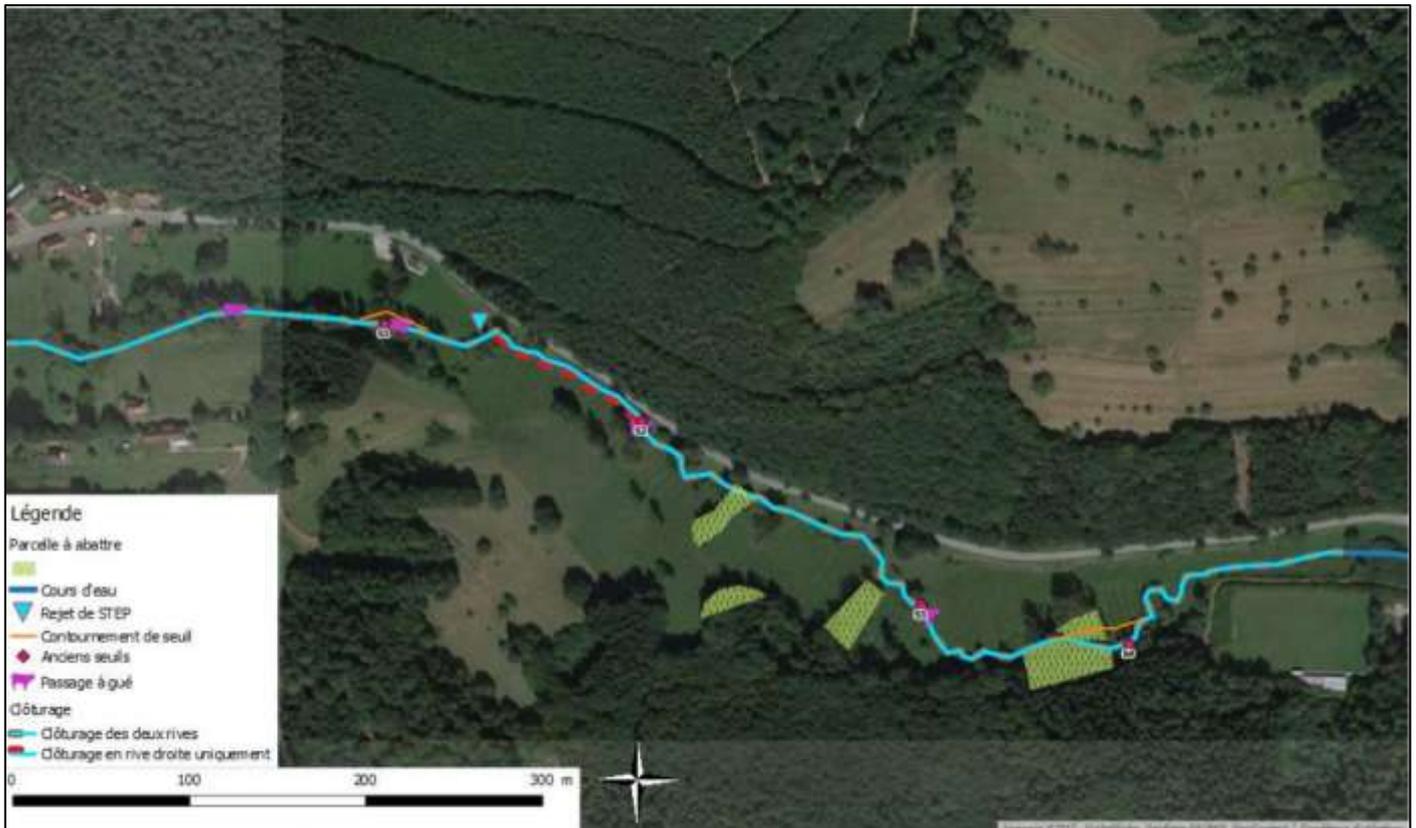


Figure 7 : Travaux de restauration de la continuité écologique de la Friche (Artelia, 2017)

o **Site 4 : Restaurant de Niedersteinbach**

Typologie des opérations (*Figure 8*) :

- **Suppression de vanne**
- **Suppression de canal** : Le canal de dérivation a été remblayé et remplacé par une canalisation en PVC de 300 mm et d'une longueur de 110m permettant un débit maximum de 119 l/s. Un nouveau vivier à truite de profondeur de 50cm et de longueur de 9m a été aménagé à la place du précédent. Le vivier ainsi que le canal sont alimentés à l'aide d'une prise d'eau gravitaire de 43m de long et de 150mm. Le point de captage est implanté en amont dans le cours d'eau et permet un débit d'environ 12l/s.
- **Recréation de cours d'eau** : Le nouveau lit fait 157m de long et environ 3,9m de large pour une pente de 1,7%. Sur la partie aval du lit, sur environ ?? m, les berges ont été aménagées en pente douce et maintenues par tunages en bois (*Annexe 11*). Sur la partie amont d'environ 47m de long et aval d'environ ??m de long, les berges ont été aménagées de murs en gabion d'environ 2,5m de haut et environ 1,5m d'épaisseur (*Annexe 11*)
- **Reprise du profil en long en amont de l'ancienne vanne**



Figure 8 : Travaux de restauration de la continuité écologique du Restaurant (L'Atelier des territoires, 2020)

### ○ Site 5 Etang de pêche d'Obersteinbach

Typologie des opérations (Figure 9) :

- **Aménagement d'une nouvelle prise d'eau de l'étang privé** : La nouvelle alimentation de l'étang privé se fait via le captage d'une source en amont. Un tuyau en PVC de 100mm de diamètre permet le captage de l'eau vers la canalisation d'alimentation de l'étang
- **Réaménagement de l'étang de pêche de l'amicale de pêche** : L'étang a été réaménagé en forme de haricot avec des berges en pente douce de 4H/1V (Annexe 12). Une partie des berges est constitué de tunage en bois. Cette modification de forme de l'étang permet de repositionner le Steinbach dans son talweg. L'alimentation de l'étang se fait par captage sur la partie busée du Schangenbach en amont. Un tube PEHD de 125 mm traversant par siphon la prairie et le Steinbach en amont permet de connecter la prise d'eau de l'étang à la chambre de répartition récoltant l'eau de captage.
- **Aménagement de franchissement de rue (Annexe 12)**:
  - Ouvrage cadre : L'ouvrage est un dalot en préfabriqué disposé 40cm sous la côte du fond du lit en pente de 0,4%. L'ouvrage aura une ouverture de 1,5m x 2m et sera d'une longueur de 6m. En aval, des enrochements ont été disposé pour dissiper l'énergie en sortie de l'ouvrage

- Murs en amont et aval de l'ouvrage : des murs en bétons ont été réalisés sur les 2 berges sur une longueur de 2m et hauteur de m en amont et en aval. Une reprise du mur de soutènement en aval a été également faite. Le mur précédent a été remplacé par un mur en pierre de taille de grès maçonnés d'une hauteur de 2,5m en rive gauche et en rive droite

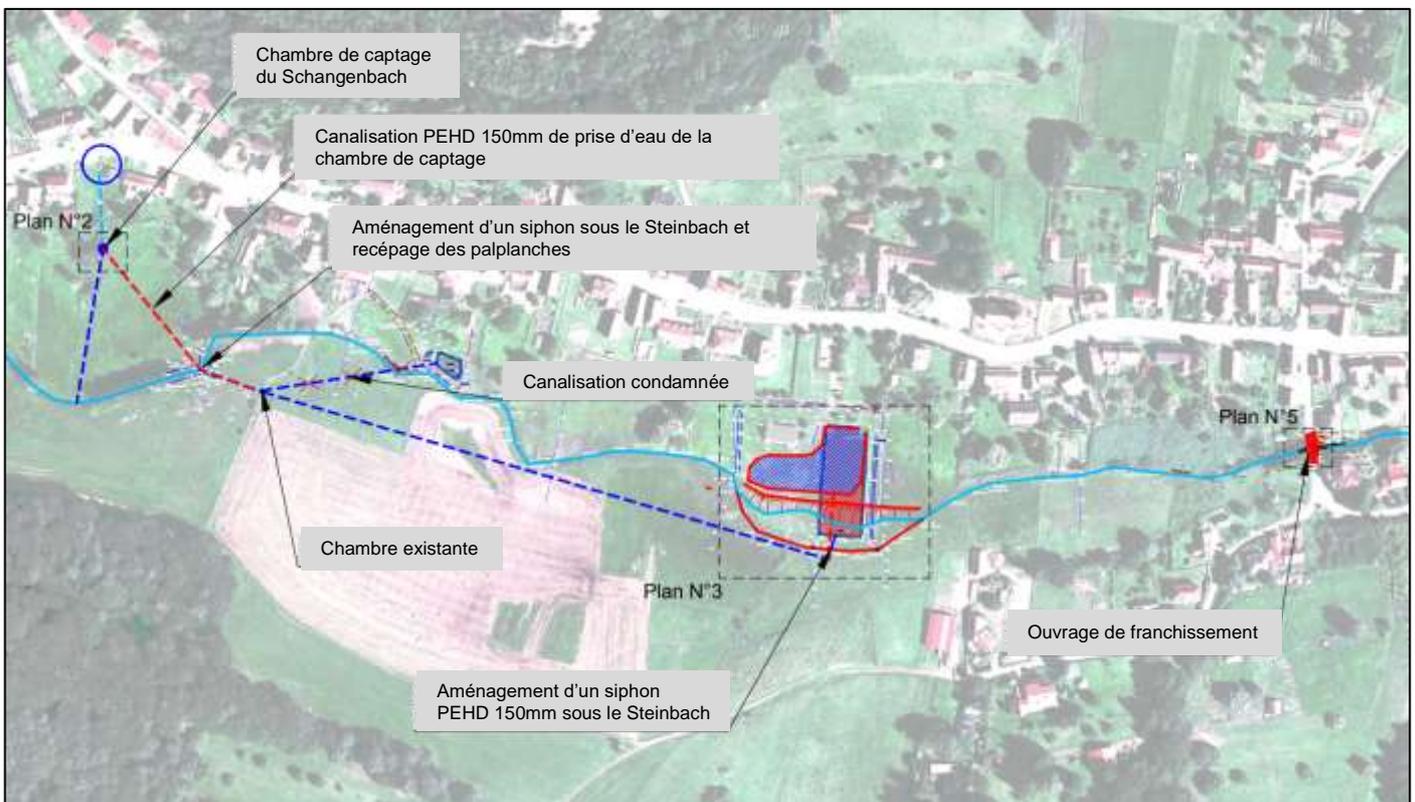


Figure 9 : Travaux de restauration de la continuité écologique d'Obersteinbach (Artelia, 2018)

#### ○ Site 6 Passe à poisson de Weiler

Typologie des opérations (Figure 10) :

- **Création d'un chemin d'accès** : Un chemin d'accès à la rivière a été créé depuis le chemin rural et sur un linéaire d'environ 35m vers la rivière. Il est constitué d'une couche granulométrique 0/60mm de 40cm et une couche de roulement de 10cm d'épaisseur constituée de matériaux de 0/20mm
- **Création d'une rivière de contournement (Annexe 13)** : La rivière sera aménagée sur un linéaire de 60m pour une emprise d'environ 400m<sup>2</sup>. La pente des berges sera de 66% en rive gauche et rive droite. L'entrée se fera 13m en aval du barrage et la sortie se situera. Elle sera constituée de 18 cloisons successives, d'une hauteur entre 0,84 et 1,16m et de 0,5 à 1m de large, à échancrure de 0,6m de large et de 0,57m de haut. Les cloisons seront séparées par des pseudobassins de 3m de long sur 1,4m de large. Des enrochements seront aménagés autour des cloisons pour favoriser l'ancrage. L'entrée de l'ancienne passe à poisson sera également bloquée.
- **Création d'une passerelle de franchissement de la rivière de contournement** : A compléter lors de la validation de la solution
- **Mise en place de vanne en entrée de canal d'aménagé** : La vanne sera d'une hauteur de 1,6m et de largeur de 3,5m
- **Aménagement d'un dalot entre le canal de fuite et le tronçon court-circuité de la Lauter** : Le dalot aura une longueur de 43m, une largeur de 2m et une hauteur de 1m
- **Mise en place de pare-embâcle en bois** : Ils seront situés environ 2m en amont de l'entrée de la rivière de contournement. Il sera orienté à 15° par rapport à la berge et sera constitué de 5 pieux de 20cm de diamètre espacés de 50cm pour atteindre une longueur totale de 3,3m. Les pieux seront

enfoncés de 2,5m dans le fond du lit. Une planche de bois d'une hauteur de 10cm et d'une longueur de 2,9m sera fixée sur les pieux.

L'objectif principal des travaux sera la restauration de la continuité piscicole de la zone. Le barrage n'étant pas retiré, la continuité sédimentaire ne sera pas impactée.

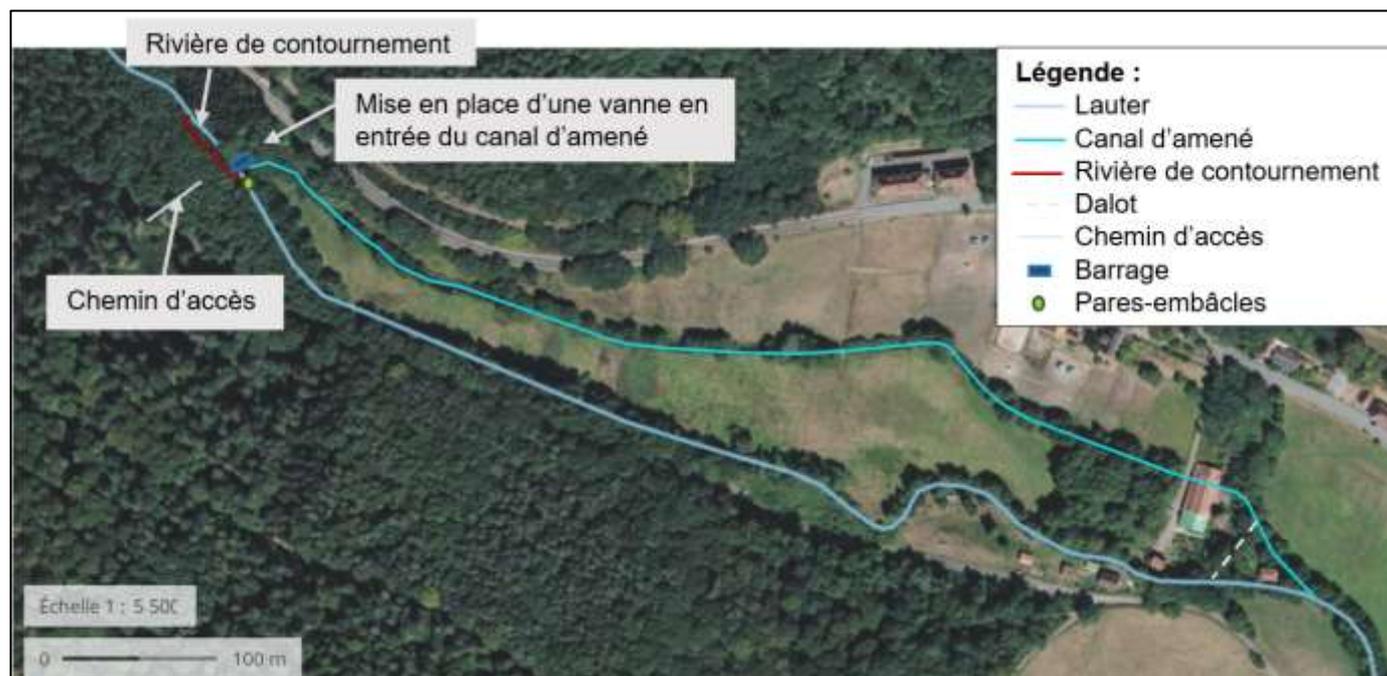


Figure 10 : Travaux de restauration de la continuité écologique de Weiler

#### ○ Site 7 : Etangs de la Nonnenhardt

Typologie des opérations (Figure 11) **A compléter avec rapport PRO :**

- **Arasement de digue**
  - Digue OH1 : L'ouvrage sera arasé sur toute sa largeur et sur 12,5m de long au pied. 28m en rive gauche sera conservé pour aménager une aire de retournement ainsi qu'une partie en rive droite. La buse en place sera également conservée. Cette opération concernera des déblais d'environ 2500m<sup>3</sup>.
  - Digue OH2 : La digue sera arasée sur toute sa largeur et sur 10m de long au pied. 15m en rive droite sera conservé pour aménager un parking. Le moine sera détruit mais le déversoir sera également conservé. Cette opération concerne des déblais d'environ 5100m<sup>3</sup> dont environ la moitié pourra être réutiliser sur site pour les aménagements prévus.
  - Digue OH3 : L'ouvrage sera détruit sur toute sa largeur et au centre sur 3m de long au pied. Le moine et le déversoir seront détruits. Cette opération concerne des déblais d'environ 1350m<sup>3</sup> qui seront évacués dans l'ancienne carrière. Au pied et sur le fond de l'ancien ouvrage des blocs d'enrochement en grès de 400mm de diamètres seront installés afin de stabiliser et limiter l'érosion.
- **Reprise du profil en long** : Sur un linéaire de 478m pour une pente retenue de 1,9%. La reprise se fera via le décaissement des matériaux du fond des étangs qui seront transférer vers l'ancienne carrière.
- **Reprise du profil en travers** : le lit du cours d'eau sera repris sur une largeur au fond du lit de 1,5m, une profondeur de 1,5m, une hauteur de 0,25m et une pente de berge en 3H/1V.
- **Création de mares** : Les mares seront situées dans les anciens étangs d'une profondeur supérieur au fond du lit afin d'avoir une connexion entre le cours d'eau et les mares. Les mares de l'étang amont représenteront un volume de déblais d'environ 230m<sup>3</sup> et les mares de l'étang intermédiaire représenteront un volume de déblais d'environ 2750m<sup>3</sup>.
- **Aménagement d'un ouvrage de franchissement de chemin** : Une nouvelle aire de retournement sera aménagée au niveau de l'ancien ouvrage de franchissement. L'embranchement existant sera repris, le chemin au droit du cours d'eau sera élargi de 2m. Le rayon de braquage sera de 18m. Le

nouvel ouvrage aura une hauteur de 1m, une largeur de 1,5m, une longueur de 10m, une pente de 2,5% et un débit plein bord de 5,5m<sup>3</sup>/s. Il sera enfoncé de 25cm dans le fond du lit afin de ne pas créer de chute. Des enrochements seront disposés en entrée et sortie de l'ouvrage pour éviter les phénomènes d'érosion

- **Reprise d'une piste forestière** : Il s'agit de la route forestière de la Nonnenhardt jusqu'à la route du Soultzthal, concernant un linéaire de 650m. La pente sera légèrement adoucie et le virage à proximité de la maison forestière sera également repris. Une buse sera installée afin de faciliter l'écoulement des eaux de ruissellement.
- **Création d'une nouvelle prise d'eau de l'étang de l'association de pêche** : Une nouvelle conduite de diamètre de 200mm et de pente de 0,56% sera installée sur un linéaire de 50m entre le cours d'eau et l'étang. Une vanne à flotteur sera aménagée en entrée de la canalisation afin d'éviter l'entrée du sable lorsque le débit du Soultzbach augmente. La prise d'eau sera entourée de protection de berge afin d'être stabilisée et protégée des phénomènes d'érosion. La nouvelle prise d'eau permettra un débit d'alimentation maximum de 0,24m<sup>3</sup>/s et sera effective qu'à partir d'un débit minimum de 0,014m<sup>3</sup>/s.

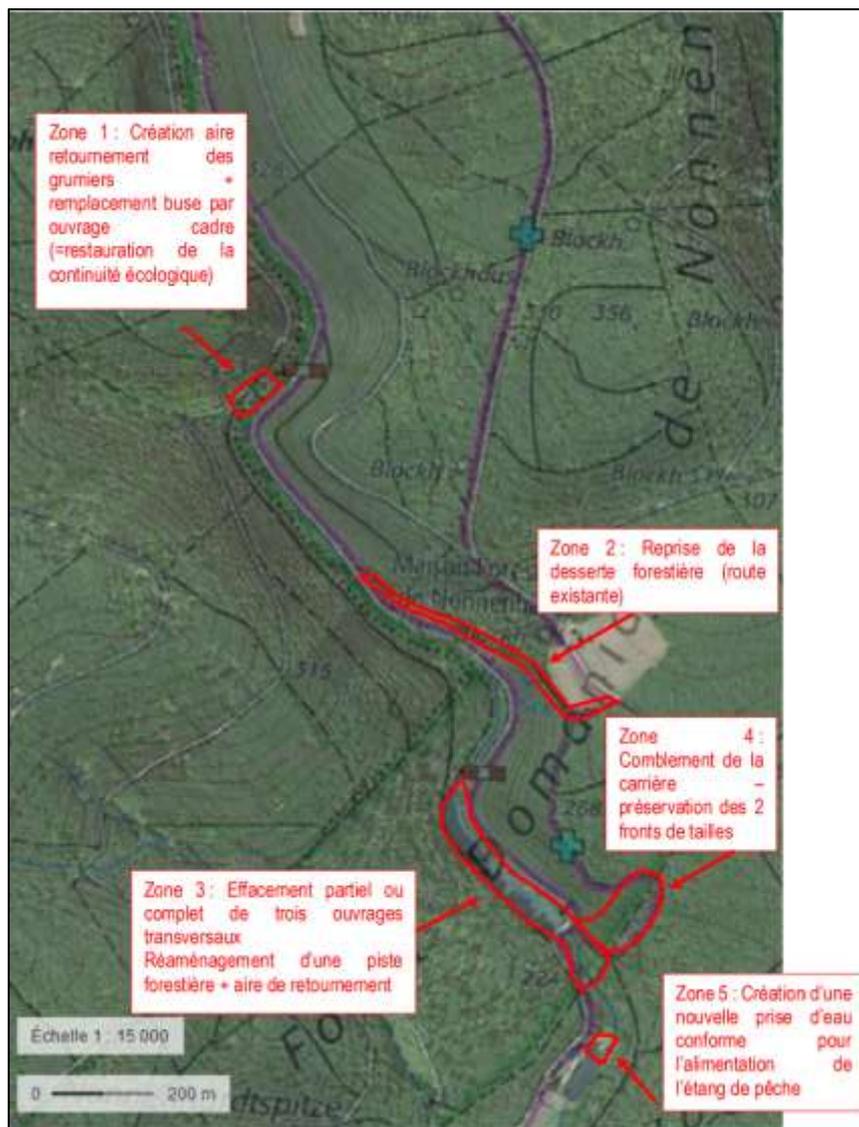


Figure 11 : Travaux de restauration de la continuité écologique de la Nonnenhardt (SinbioScop, 2021)

## 1. Variation spatiale et temporelle du suivi des travaux de restauration de la continuité écologique

### 1.1. Localisation des suivis de travaux

Les stations de suivi n'ont pas été choisies à proximité immédiate des travaux afin de pouvoir établir un état des lieux plus global de l'écosystème entourant le site (*Figure 12, 13, 14 et 15*). En effet, intégrer le suivi de travaux dans une échelle plus large permet notamment de prendre en compte la géométrie du site et donc d'évaluer les interactions entre les compartiments adjacents à la zone restaurée (*Baudry, 2002*). De plus les travaux de restauration ont engendrés une érosion régressive se manifestant en amont. Les stations de suivis ont donc été placées en amont des travaux de restauration afin de suivre l'évolution engendrée par cette érosion et d'éviter l'emprise immédiate des travaux.

Les compartiments à suivre ont été déterminés selon les différents impacts des travaux. L'objectif principal était le rétablissement de la continuité biologique, sédimentaire et hydrologique des sites (cf. 2.C). Les compartiments impactés sont donc :

- L'hydromorphologie
- La faune piscicole
- La faune macroinvertébrés
- La température dans le cas de la présence de retenues d'eau (Woerth et Liebfrauenthal)
- La physico-chimie

Le compartiment physico-chimique permet d'obtenir les évolutions sur un pas de temps très court de la qualité de l'eau et d'établir un contexte général du suivi.

Les différents compartiments à évaluer ont donc été déterminés par site selon le contexte général des sites et des travaux de restauration (site présentant des retenues d'eau, objectif de continuité piscicole, sédimentaire, ...). Les études physico-chimiques se sont faites au niveau de points de prélèvement et les suivis hydromorphologiques, piscicole et macroinvertébrés se sont effectués sur des tronçons.

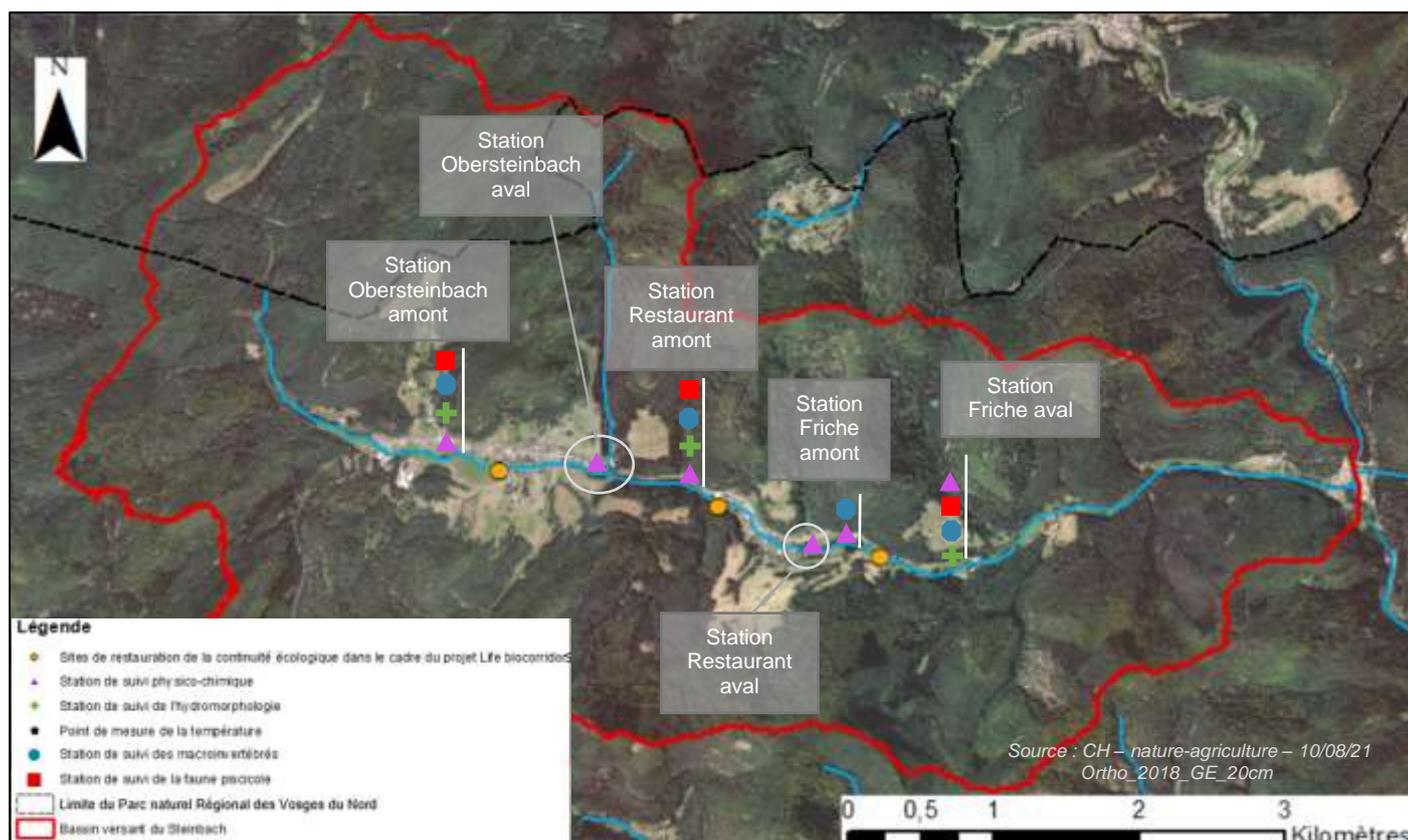


Figure 12 : Stations de suivi des travaux de restauration de la continuité écologique du bassin versant du Steinbach

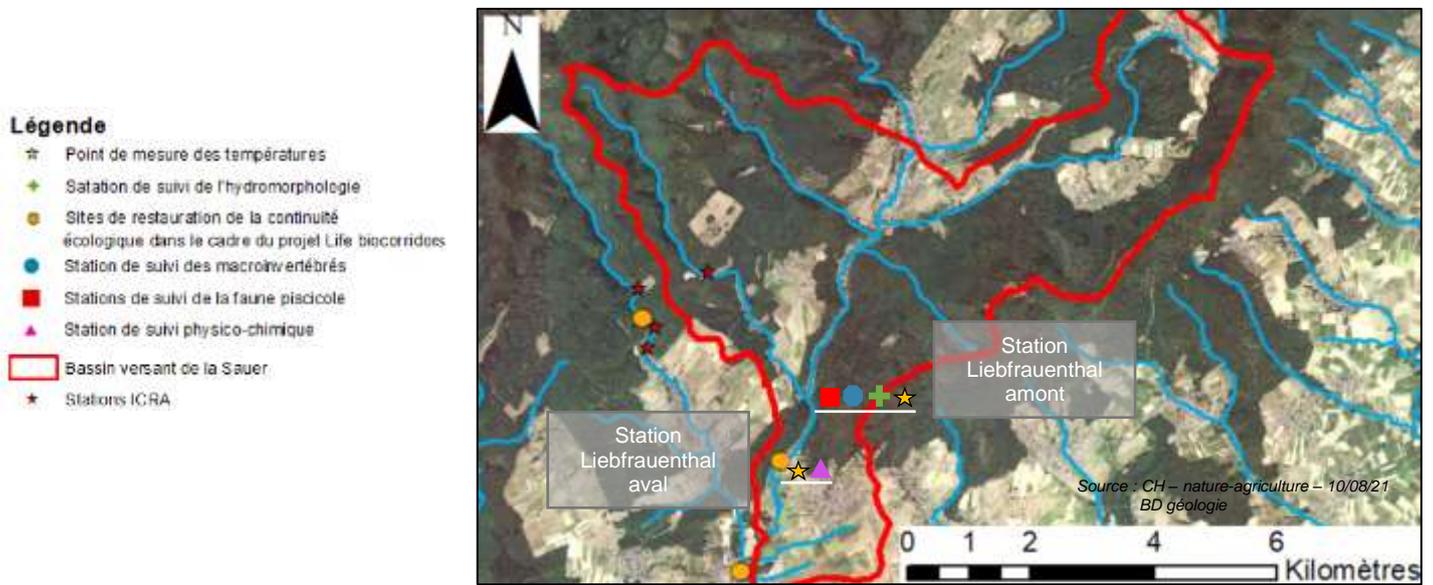


Figure 13 : Stations de suivi des travaux de restauration de la continuité écologique du bassin versant de la Sauer

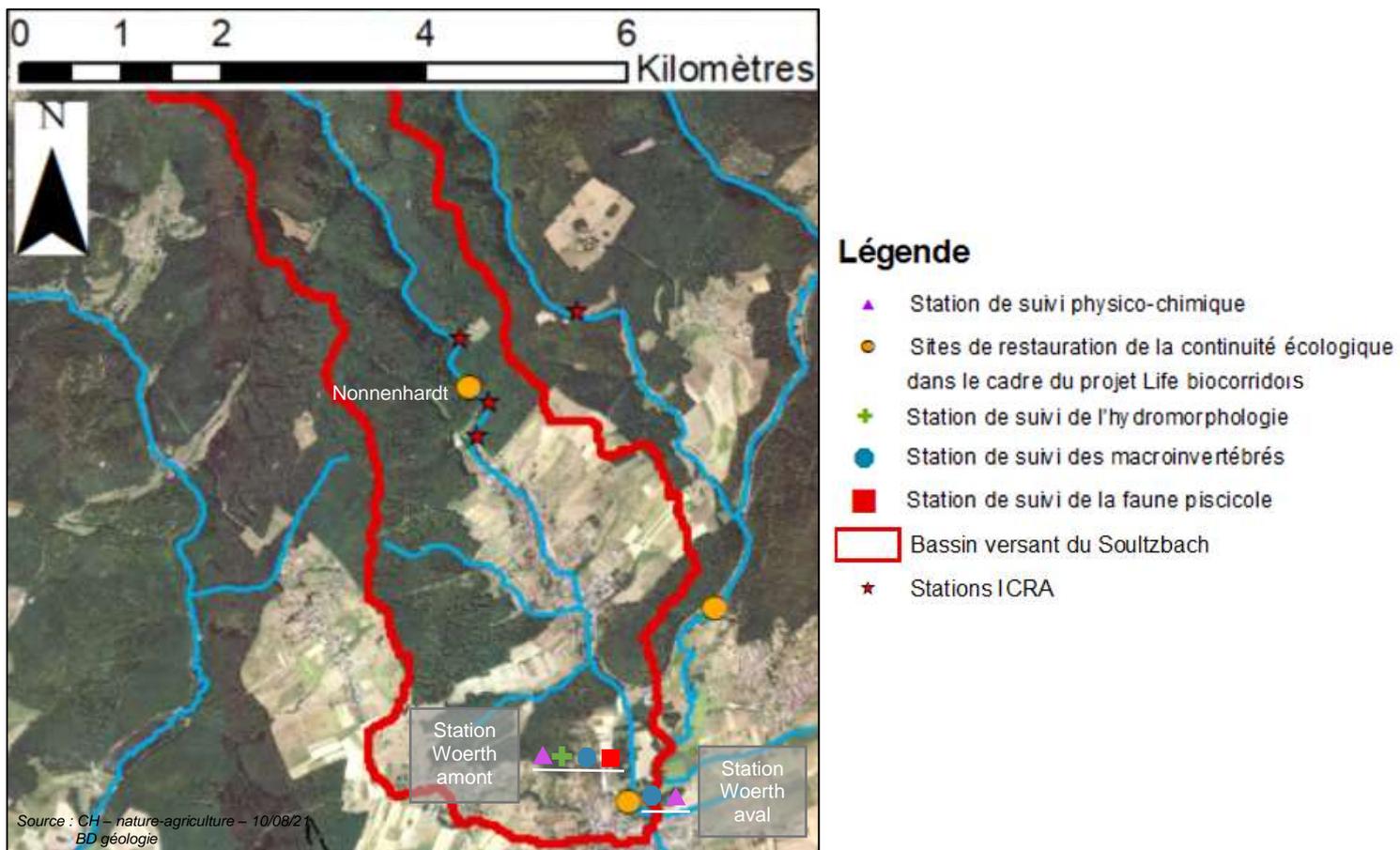


Figure 14 : Stations de suivi des travaux de restauration de la continuité écologique du bassin versant du Soultzbach

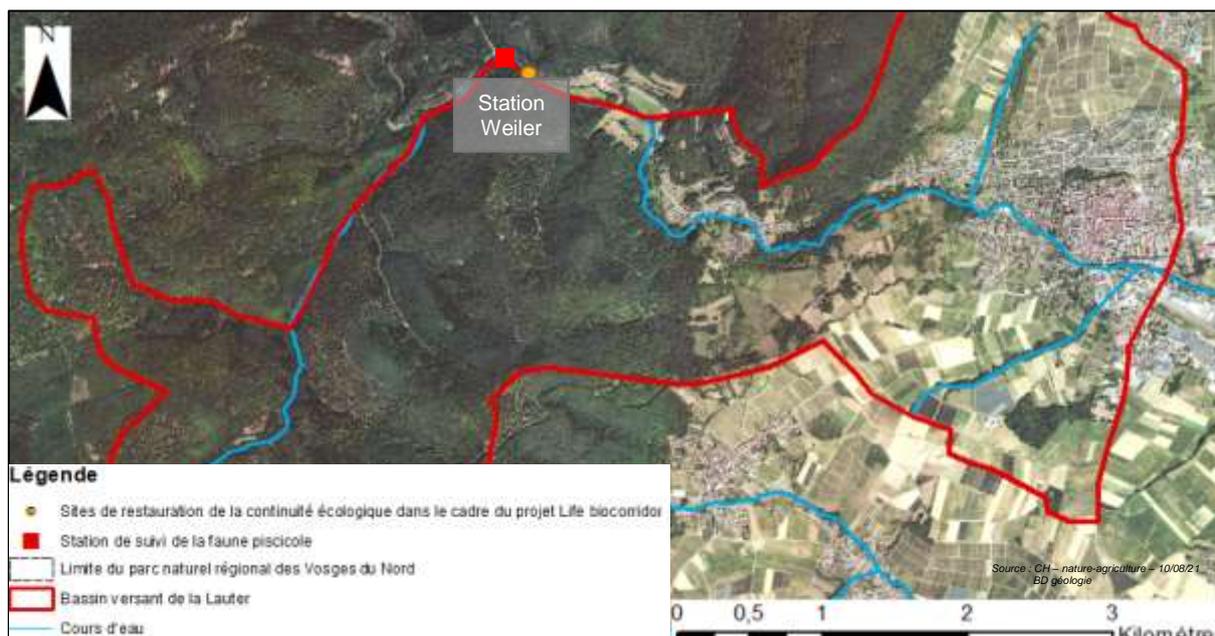


Figure 15 : Stations de suivi des travaux de restauration de la continuité écologique du bassin versant de la Lauter

Afin de faciliter par la suite la compréhension des analyses et des résultats, la dénomination des stations sera unique avec le nom de la station et sa position par rapport aux travaux (amont ou aval) pour l'ensemble des compartiments. De plus, pour les comparaisons avant et après travaux, il sera ajouté au nom de la station les termes avant (av) ou après (ap).

## 1.2. Suivi temporel

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 1 an après les travaux de restauration (Figure 16). Certains suivis après travaux (Site 4) ont été effectués moins d'un an après travaux afin de respecter la date de fin du Life et ne permettront donc pas d'évaluer l'ensemble des impacts de la restauration écologique (Tableau 19). 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, ... De plus, un suivi photographique a été fait avant la phase de travaux et après les interventions afin d'avoir une représentation des modifications « visuelles » des travaux de restauration sur les écosystèmes.

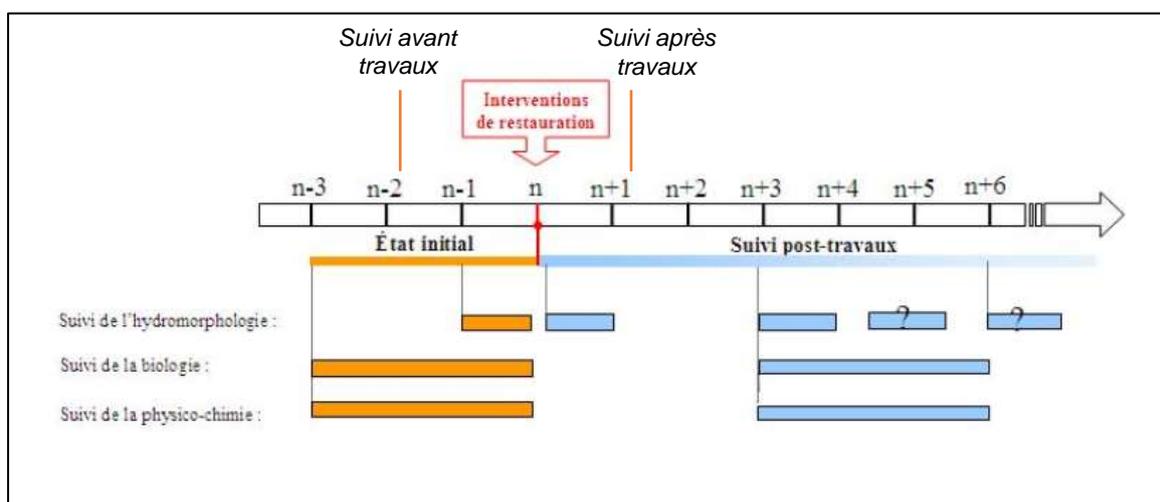


Figure 16 : Temporalité d'un suivi scientifique de travaux de restauration écologique (ONEMA, 2012)

Tableau 19 : Compartiments et temporalité du suivi scientifique des travaux de restauration de la continuité écologique

Sites	Compartiments suivis	Date de suivi de l'état initial	Date des travaux de restauration	Date de suivi de l'état post-travaux
<b>Woerth</b>	Hydromorphologie	Août 2016	Août 2020	Avril 2021
	Piscicole	2016		Juillet 2021
	Macroinvertébrés	Juin 2017		Mai 2021
	Physico-chimie	Octobre 2016		Mai – août 2021 2021
	Thermie	2017 - 2018		
<b>Liebfrauenthal</b>	Hydromorphologie	Août 2016	Août 2021	
	Piscicole	Octobre 2016		
	Macroinvertébrés	Avril 2017		
	Physico-chimie	2016		
	Thermie	2017		2021
<b>Friche</b>	Hydromorphologie	Juillet 2016	Juin 2019	Avril 2021
	Piscicole	Octobre 2016		Juin 2021
	Macroinvertébrés	Avril 2017		Mai 2021
	Physico-chimie	2016		Mai – août 2021
<b>Restaurant</b>	Hydromorphologie	Août 2016	Septembre 2020	Avril 2021
	Piscicole	Octobre 2016		Juillet 2021
	Macroinvertébrés	Avril 2017		Mai 2021
	Physico-chimie	2016		Mai – août 2021
<b>Obersteinbach</b>	Hydromorphologie	Juillet 2016	Août 2020	Avril 2021
	Piscicole	Octobre 2016		Juin 2021
	Macroinvertébrés	Avril 2017		Mai 2021
	Physico-chimie	2016		Mai – août 2021
<b>Weiler</b>	Piscicole	Octobre 2016	Août 2021	
<b>Nonnenhardt</b>	Macroinvertébrés	2016	Août 2021	
	Physico-chimie	2016		

## A. 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 deux fonctionnalités :

- Analyse en composante principale (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.
- Classification ascendante hiérarchique (CAH) qui permet de regrouper les données en classe selon leur similarité et de ce fait faire ressortir les données ayant des dissimilarités.

## 2. Suivi photographique

L'importance d'un suivi photographique des travaux de restauration concerne la visualisation de l'évolution de la rivière engendrée par les différentes interventions. Il permet de se rendre compte de l'impact des aménagements et de l'amélioration de l'écosystème après les travaux de restauration et ainsi de contextualiser les opérations effectuées sur les différents sites.

Une première campagne avant travaux de restauration permet d'établir le contexte initial. La comparaison avec les photos après travaux permet ensuite d'élaborer une comparaison et d'appuyer les différents résultats obtenus dans le suivi scientifique.

### 2.1. Localisation des prises de vues

Les prises de vues du suivi photo ont été établis avant travaux selon les objectifs et les projets des opérations de restauration. Elles ont été choisi afin de permettre la représentation de l'évolution de la zone restaurée. Selon l'importance et l'étendue spatiale des travaux, entre 5 et 10 prises de vue ont été prise par site (*Figure 17, 18, 19 et 20*).



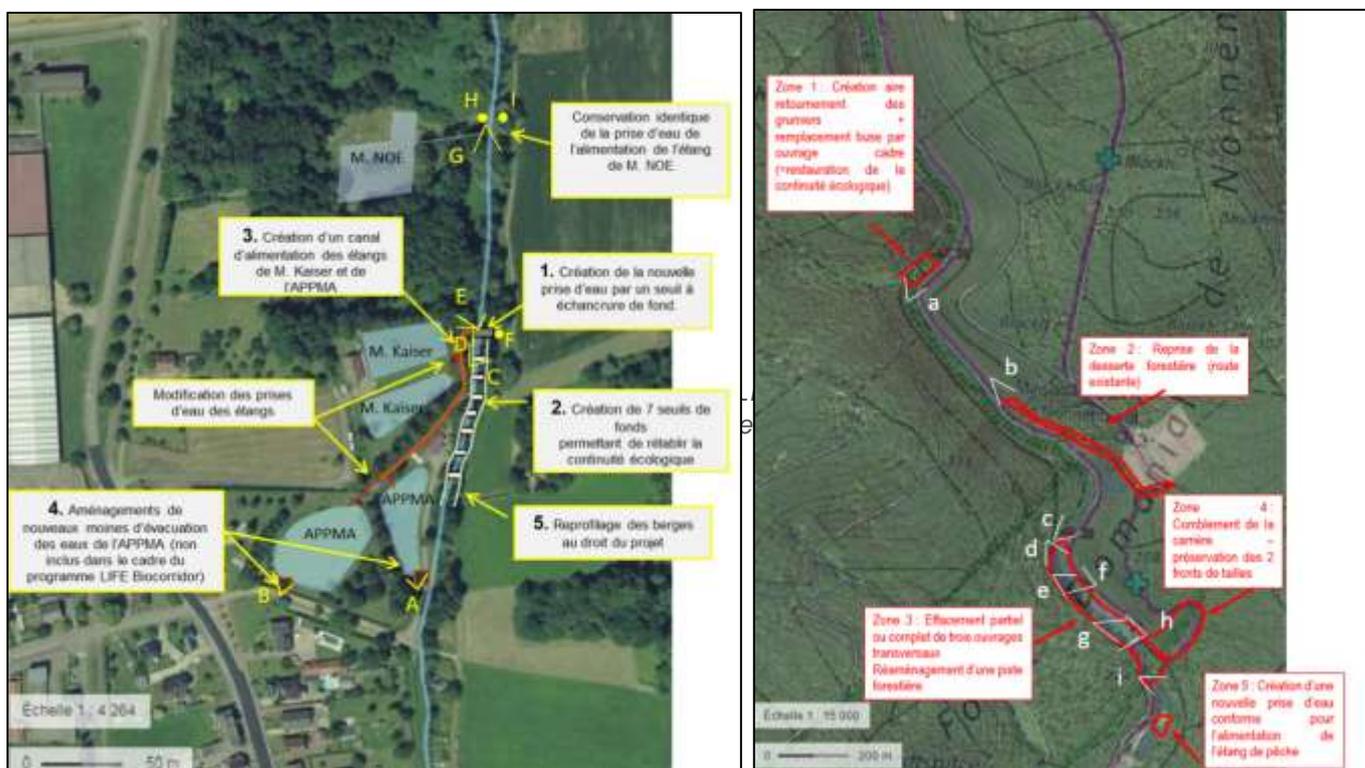


Figure 18 : Prises de vue sur les sites du bassin versant du Sultzbach : Woerth (à droite) et la Nonnenhardt (à gauche)

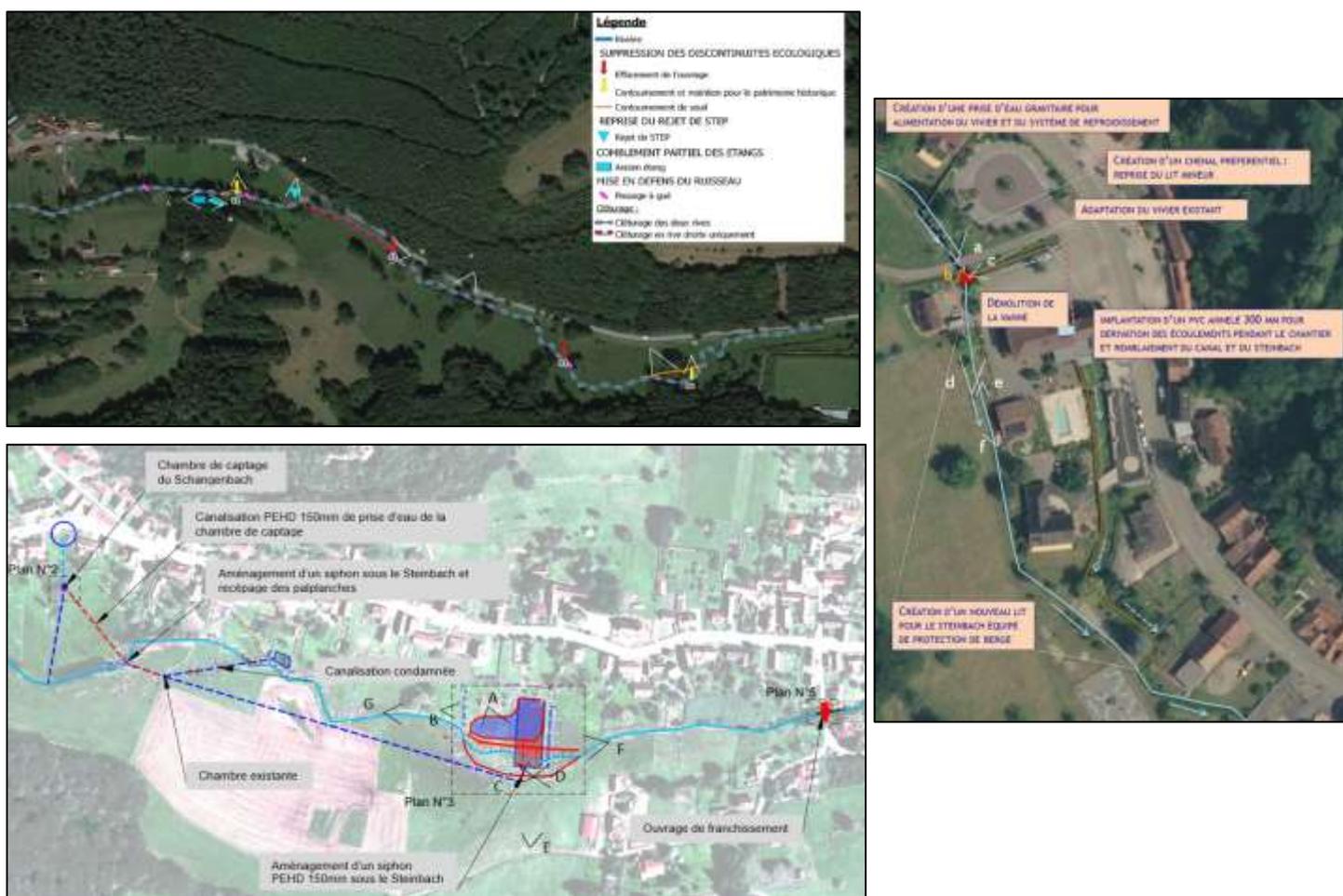


Figure 19 : Prises de vue sur les du bassin versant du Steinbach : la Friche (en haut à gauche), Obersteinbach (en bas à gauche) et le Restaurant (à droite)



Figure 20 : Prises de vue sur les du bassin versant de la Lauter : Weiler

## 2.2. Méthode de suivi

Le suivi photographique a été effectué avec un appareil photo Canon reflex sans trépied. Chaque prise de vue a été prise idéalement avec le même point de vue avant et après travaux afin de pouvoir les comparer et d'évaluer correctement les évolutions.

Les photos avant travaux ont été prises en 2016. Les photos après travaux ont été prise en avril et mai 2021. Les ombres portées ont été évitées au maximum afin de ne pas interférer sur la qualité de la photographie et permettre une bonne comparaison avant – après travaux. Il s'agit des ombres provoquer par l'orientation du soleil sur les objets se trouvant sur les lieux. Les détails des photos peuvent donc être altéré (végétation des berges, limites du lit majeur, ...)

Les photos ayant été prises par différentes personnes et sur des périodes plus ou moins éloignées, un suivi exact des différents paramètres de prise de vue ainsi que du matériel utilisé n'a pu être établi.

## 3. Suivi physico-chimique

Le suivi de l'état physico-chimique des rivières permet d'avoir une idée de la qualité de l'eau sur le cours terme. En effet, les conditions physico-chimiques des cours d'eau évoluent constamment selon les saisons, les conditions météorologiques, selon la végétation présente ou non... (Moatar, 2009).

8 campagnes de prélèvement par site ont été faites par le SYCOPARC. Les analyses en laboratoires ont été faites par la suite par le laboratoire d'analyses Eurofins. Avant travaux, une campagne physico-chimique a été faites, pour chaque site concerné, une fois par saison (mars, juin, septembre et décembre 2017). Après travaux, les campagnes ont été faites chaque mois entre mai et août 2021.

- Campagnes de prélèvements

Les prélèvements ont été effectués, soit depuis un pont à l'aide d'un seau soit depuis la berge directement dans les flacons étiquetés et envoyés par le laboratoire d'analyse (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

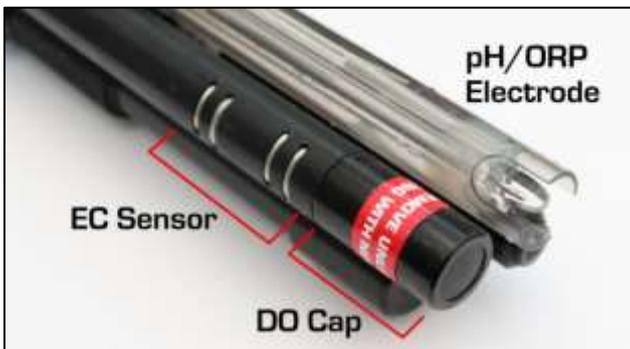
- Un flacon en plastique de 60ml

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 (*Figure 21*). Une sonde AQUAPROB AP 2000 en aluminium d'un diamètre de 42mm et d'une longueur de 290mm a été utilisée pour la mesure. La sonde fonctionne à l'aide de 5 piles AA et est relié à un boîtier de mesure via un câble. Elle est constituée de 2 capteurs (document 15) :

- pH / ORP (Potentiel d'oxydoréduction)
- DO (oxygène dissous) / EC (conductivité)

Un étalonnage de la sonde doit être effectué fréquemment pour assurer une bonne mesure des paramètres. Elle doit être fait idéalement à 25°C. L'étalonnage se fait à l'aide d'une solution d'étalonnage, « RapidCal », dans lequel il faut placer les sondes.

L'étalonnage de la sonde pH doit être réalisé au moins 1 fois par semaine, d'abord à pH 7 puis à pH 4.01 et 10. Pour l'électrode ORP, un étalonnage est nécessaire au moins une fois par mois à 250mV. La sonde DO doit être étalonnée au moins une fois par mois au point 0 de saturation à l'aide d'une solution d'étalonnage DO Zéro. Enfin l'étalonnage de l'électrode EC doit être fait à un seul point parmi 4 point de mesures : 1413, 2570, 12,880µS/cm ou SC-35 (solution de chlorure de sodium pour les utilisations en eau de mer).



Optical Dissolved Oxygen	Range	0 – 500.0% / 0 – 50.00 mg/L
	Resolution	0.1% / 0.01mg/L
	Accuracy	0 - 200%: ± 1% of reading, 200% - 500%: ± 10%
Conductivity (EC)	Range	0 – 200 mS/cm (0 – 200,000 µS/cm)
	Resolution	3 Auto-range scales: 0 – 9999 µS/cm, 10.00 – 99.99 mS/cm, 100.0 – 200.0mS/cm
	Accuracy	± 1% of reading or ± 1µS/cm if greater (see note 2)
TDS*	Range	0 – 100,000 mg/L (ppm)
	Resolution	2 Auto-range scales: 0 – 9999mg/L, 10.00 – 100.00g/L
	Accuracy	± 1% of reading or ± 1mg/L if greater (see note 2)
Resistivity*	Range	5 Ω-cm – 1 MΩ-cm
	Resolution	2 Auto-range scales: 5 – 9999 Ω-cm, 10.0 – 1000.0 KΩ-cm
	Accuracy	± 1% of reading or ± 1.0-cm if greater (see note 2)
Salinity*	Range	0 – 70 PSU / 0 – 70.00 ppt (g/Kg)
	Resolution	0.01 PSU / 0.01 ppt
	Accuracy	± 1% of reading or ± 0.1 unit if greater (see note 2)
Seawater Specific Gravity*	Range	0 – 50 ‰
	Resolution	0.1 ‰
	Accuracy	± 1.0 ‰
pH	Range	0 – 14 pH / ± 625mV (see note 3)
	Resolution	0.01 pH / ± 0.1mV
	Accuracy	± 0.1 pH / ± 5mV
ORP	Range	± 2000mV (see note 3)
	Resolution	0.1mV
	Accuracy	± 5mV
Depth (-D models only)	Range	± 0 – 60.00 m
	Resolution	1cm
	Accuracy	± 0.5% FS
Temperature	Range	-5°C – +50°C (23°F – 122°F)
	Resolution	0.01°C / 0.1°F
	Accuracy	± 0.5°C

\* Readings calculated from EC and temperature electrode values.  
Aquaread® Ltd reserves the right to change specifications without notice

Figure 21 : Photo des électrodes (à droite) et tableau des spécifications des principales mesures (à gauche) de la sonde AP-2000 (AQUAREAD, 2016)

En plus de ces mesures, un relevé de la température de l'air est effectué.

- Analyse en laboratoire

Après les prélèvements, les échantillons ont été conservés dans une glacière afin de les maintenir au froid (4°C plus ou moins 3°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 (*Tableau 20*). La limite de quantification instrumentale a également été fourni par le laboratoire afin d'avoir des informations sur la performance des instruments de mesure et donc la qualité des résultats (*Tableau 20*).

Tableau 20 : Spécification technique des analyses physico-chimique par le laboratoire Eurofins (Eurofins, 2017 ; Eurofins, 2018)

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 <sub>3</sub> /l
IX02W	Nitrites	Chromatographie ionique – UV – NF EN ISO 10304 – 1	0,013	0,01	40	mg NO <sub>2</sub> /l
IX03C	Orthophosphates (PO <sub>4</sub> )	Spectrométrie (Colorimétrie automatisée) – Méthode interne	0,01	0,015	55	mg PO <sub>4</sub> /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 <sub>2</sub> /l
IXA41	Demande biochimique en oxygène (DBO <sub>5</sub> )	Electrochimie sans dilution – NF EN 1899 – 2	1	0,5	40	mg O <sub>2</sub> /l
IXIDN	Ammonium faible teneur	Flux continu – NF EN ISO 11732	0,017	0,004	20	mg NH <sub>4</sub> /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 <sub>2</sub> /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

#### 4. Suivi thermique

Les températures ont été suivie sur 2 sites : Woerth et Liebfrauenthal. En effet, la présence d'étangs engendre des impacts sur la température de l'eau des rivières en aval par effet retenue (Carluer, 2016 ; Arora, 2018). L'augmentation de la température engendre une diminution de l'oxygène qui pourrait alors causer des problèmes sur la population piscicole des cours d'eau. Il est donc intéressant de suivre l'impact des travaux sur la température de ces deux sites.

Une première campagne de mesure a été effectuée avant travaux en 2016. Sept thermomètres ont été utilisé : trois sur le site de Woerth (qui n'ont pas pu être récupéré) et quatre sur le site du Liebfrauenthal (Tableau 21). Une deuxième campagne de mesure a été réalisé en 2021 avec trois thermomètres posé sur le site de Woerth dont les travaux été finis et 3 thermomètres sur le site du Liebfrauenthal après l'abandon de la pisciculture et ouverture des vannes du barrage.

Tableau 21 : Suivi des thermomètres de mesure

Sites	Date de pose	Type de thermomètre	Numéro de l'enregistreur	Localisation (L93)	Etat
Site 1 - Etangs du Soultzbach - Amont	2016	HOBO water temp pro v2 – U22	20155640	En RG : X = 1047378 ; Y = 6882030	Perdu
	2021	HOBO water Tidbit v2 - UTBI	20956963	En RG : X = / ; Y = /	
Site 1 - Etangs du Soultzbach - Inte	2016	HOBO water temp pro v2 – U22	20155645	En RG : X = 104739 Y = 6882092	Perdu
	2021	HOBO water Tidbit v2 - UTBI	20956964	En RG : X = / ; Y = /	
Site 1 - Etangs du Soultzbach - Aval	2016	HOBO water temp pro v2 – U22	20155647	En RG : X = 1047367 ; Y = 6881927	Perdu
	2021	HOBO water Tidbit v2 - UTBI	20956965	En RD : X = 1047375 ; Y = 6881987	
Site 2 - Pisciculture du Lieb - Amont	2016	HOBO water temp pro v2 – U22	20155649	En RG : X = 1048518 ; Y = 6884553	Récupéré
	2021	HOBO water Tidbit v2 - UTBI	20956959	En RG : X = 1048533 ; Y = 6884504	
Site 2 - Pesci du Lieb - Int amont	2016	HOBO water temp pro v2 – U22	20155659	En RD : X = 1048502 ; Y = 6884286	Récupéré
	2021	HOBO water Tidbit v2 - UTBI	20956958	En RG : X = 1048519 ; Y = 6884326	
Site 2 - Pesci du Lieb - Int aval	2016	HOBO water temp pro v2 – U22	20155667	En RG : X = 1048296 ; Y = 6883868	Récupéré
	2021		/	/	/
Site 2 - Pisciculture du Lieb - Aval	2016	HOBO water temp pro v2 – U22	20956961	En RG : X = 1048163 ; Y = 6883723	Récupéré
	2021	HOBO water Tidbit v2 - UTBI	20956966	En RG : X = 1048163 ; Y = 6883723	

En 2016, il a été utilisé des thermomètres HOBO water temp pro v2 – U22 (Tableau 21). Il permet d'effectuer des températures sur une échelle de -40 à 50°C dans l'eau avec une capacité de 42000 mesures (Tableau 22). En 2021, les thermomètres utilisés été des HOBO water Tidbit v2 – UTBI ayant une capacité de mesure équivalente de 42000 mesures et une échelle de -20 à 30°C dans l'eau (Tableau 22).

Tableau 22 : Spécification des thermomètres utilisés (HOBO water temp pro v2 à gauche et HOBO water Tidbit v2 à droite (ONSET))

Temperature Sensor	
Operation Range	-40° to 70°C (-40° to 158°F) in air; maximum sustained temperature of 50°C (122°F) in water
Accuracy	±0.21°C from 0° to 50°C (±0.38°F from 32° to 122°F), see Plot A
Resolution	0.02°C at 25°C (0.04°F at 77°F), see Plot A
Response Time (90%)	5 minutes in water; 12 minutes in air moving 2 m/sec (typical)
Stability (Drift)	0.1°C (0.18°F) per year
Logger	
Real-time Clock	± 1 minute per month 0° to 50°C (32° to 122°F)
Battery	2/3 AA, 3.6 Volt Lithium, factory-replaceable ONLY
Battery Life (Typical Use)	6 years with 1 minute or greater logging interval
Memory (Non-volatile)	64K bytes memory (approx. 42,000 12-bit temperature measurements)
Weight	42 g (1.5 oz)
Dimensions	3.0 cm (1.19 in.) maximum diameter, 11.4 cm (4.5 in.) length; mounting hole 6.3 mm (0.25 inches) diameter
Wetted Materials	Polypropylene case, EPDM o-rings, stainless steel retaining ring
Buoyancy (Fresh Water)	+13 g (0.5 oz.) in fresh water at 25°C (77°F); +17 g (0.6 oz.) with optional boot
Waterproof	To 120 m (400 ft.)
Shock/Drop	1.5 m (5 ft.) drop at 0°C to 70°C (32°F to 150°F)
Logging Interval	Fixed-rate or multiple logging intervals, with up to 8 user-defined logging intervals and durations; logging intervals from 1 second to 18 hours. Refer to the HOBOware software manual.
Launch Modes	Immediate start and delayed start
Offload Modes	Offload while logging; stop and offload
Battery Indication	Battery voltage can be viewed in status screen and optionally logged in datafile. Low battery indication in datafile.
NIST Certificate	Available for additional charge
	The CE Marking identifies this product as complying with all relevant directives in the European Union (EU).

Temperature Sensor	
Operation Range*	-20° to 70°C (-4° to 158°F) in air; maximum sustained temperature of 30°C (86°F) in water*
Accuracy	±0.21°C from 0° to 50°C (±0.38°F from 32° to 122°F), see Plot A
Resolution	0.02°C at 25°C (0.04°F at 77°F), see Plot A
Response Time	5 minutes in water; 12 minutes in air moving 2 m/sec; 20 minutes in air moving 1 m/sec (typical to 90%)
Stability (Drift)	0.1°C (0.18°F) per year
Logger	
Real-time Clock	±1 minute per month 0° to 50°C (32° to 122°F)
Battery	3 Volt lithium, non-replaceable
Battery Life (Typical Use)	5 years with 1 minute or greater logging interval
Memory (Non-volatile)	64K bytes memory (approx. 42,000 12-bit temperature measurements)
Weight	19.6 g (0.69 oz)
Dimensions	3.0 × 4.1 × 1.7 cm (1.2 × 1.6 × 0.68 in.); mounting bail 4.6 mm (3/16 in.) diameter hole
Wetted Materials	Epoxy case
Waterproof	To 305 m (1000 ft.)
Logging Interval	Fixed-rate or multiple logging intervals, with up to 8 user-defined logging intervals and durations; logging intervals from 1 second to 18 hours. Refer to HOBOware software manual.
Launch Modes	Immediate start, delayed start, triggered start
Offload Modes	Offload while logging; stop and offload
Battery Indication	Battery level can be viewed in status screen and optionally logged in datafile. Low battery indication in datafile.
Environmental Rating	IP68
NIST Certificate	Available for additional charge
	The CE Marking identifies this product as complying with all relevant directives in the European Union (EU).
* To guarantee accuracy, the Tidbit v2 Temp must not be used in condensing environments and water temperatures higher than 30C (86F) for more than eight cumulative weeks over the life of the logger. Frequent or prolonged exposure will lead to measurement drift and eventual failure.	

Les thermomètres sont tout d'abord configurés avec l'application HOBOWare. Un numéro d'enregistreur est intégré dans chaque thermomètre et les modes de mesures (temporalité, température moyenne, maximale et minimale, la date de lancement : immédiate ou différée) sont enregistrés afin de pouvoir récupérer les données de chaque thermomètre directement sur site et les exploiter. Les thermomètres peuvent alors être déposés sur site. Ils ont été fixés sur les matériaux présents dans les cours d'eau (troncs, chevelus racinaires, blocs ou branches) à l'aide d'un fil métallique puis maintenu à la berge (par sécurité en cas de crue) grâce à un fil de pêche et des sardines.

Les données des thermomètres ont été récupérées tous les un à 2 mois environ à l'aide d'une navette de récolte de données HOBOWaterproof Shuttle U-DTW-1 pouvant être connectée avec les thermomètres par interface USB et compatible avec les deux thermomètres utilisés grâce aux coupleurs compris dans le kit. Son étanchéité à 20m permet d'enregistrer les données récoltées par les thermomètres directement sur site sans avoir à les récupérer (Tableau 23). Sa capacité de données de plus de 60 lectures de 64K permet de récolter des données de température sur une temporalité importante et d'effectuer des suivis sur plusieurs mois (voir années). Nous obtenons alors une base de données présentant un relevé de température toutes les heures jusqu'à la relève des données.

Tableau 23 : Spécification de la sonde de récolte de données HOBOWaterproof Shuttle (ONSET)

<b>Compatibility</b>	All HOBOW U-Series loggers with optic USB. Not compatible with the HOBOW U-Shuttle (U-DT-1).
<b>Data Capacity</b>	63 logger readouts of up to 64K each
<b>Operating Temperature</b>	0° to 50°C (32° to 122°F)
<b>Storage Temperature</b>	-20° to 50°C (-4° to 122°F)
<b>Wetted Materials</b>	Polycarbonate case, EPDM o-rings and retaining loop
<b>Waterproof</b>	To 20 m (66 feet)
<b>Time Accuracy</b>	±1 minute per month at 25°C (77°F); see Plot A
<b>Logger-to-Shuttle Transfer Speed</b>	Reads out one full 64K logger in about 30 seconds
<b>Shuttle-to-Host Transfer Speed</b>	Full shuttle offload (4 MB) to host computer in 10 to 20 minutes, depending on computer
<b>Batteries</b>	2 AA alkaline batteries required for remote operation
<b>Battery Life</b>	One year or at least 50 complete memory fills, typical use
<b>Weight</b>	150 g (4 oz)
<b>Dimensions</b>	15.2 x 4.8 cm (6.0 x 1.9 inches)
	The CE Marking identifies this product as complying with all relevant directives in the European Union (EU). To maintain CE compliance, this product must be used with the supplied USB cable or equivalent (less than 3 m long).

## 5. Suivi hydromorphologique

Le suivi hydromorphologique a été effectué sur 5 des 7 sites de travaux de restauration (excepté Weiler et Nonnenhardt). Effectuer un suivi hydromorphologique permet notamment d'évaluer les altérations pouvant impacter les habitats et les espèces présentes dans la rivière et d'étudier l'évolution de la géométrie et des caractéristiques du lit et des berges d'un cours d'eau (Baudoin, 2017). Un protocole doit alors être mis en place afin de récupérer les données permettant d'analyser ces différents compartiments du cours d'eau.

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 doit être élaboré sur des cours d'eau prospectables à pied, facilement accessible et dans des conditions hydrologiques comprise entre le QMNA et le module (*Baudoin, 2017*). Les cours d'eau des Vosges du nord sont de très petit à petit cours d'eau dont les conditions permettent l'utilisation de ce protocole. Le protocole a donc été réalisé avec une équipe de 2 personnes minimum en 2016 pour la période avant travaux, puis en 2021 (*Tableau 19*). Une liste de matériel importante est à prévoir avant le lancement de la campagne (*Tableau 24*) en plus du matériel d'hygiène et de sécurité (trousse de secours, gel antibactérien, eau, téléphone portable).

Tableau 24 : Liste de matériel à utiliser lors du protocole Carhyce (*Baudoin, 2017*)

	Nombre		Les différents ateliers du protocole Carhyce					
	Minim.	Optim.	Définition station	Transect	Pente	Débit	Colmatage	Wolman
<b>Matériel obligatoire</b>								
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	✓	✓		✓		
Télémetre	1	2	✓	✓			✓	
Topofil et bobine	2	4	✓		✓			
<b>Matériel optionnel</b>								
Calculatrice	1	2	✓	✓	✓			
Machette	1	2	✓	✓	✓			
Règle de maçon à bulle	1	1		✓				
Talkies-walkies (paire)	1	3			✓			

Le matériel permet alors d'effectuer les nombreuses mesures et a été acheté chez SDMO Quiniou. Le point amont de la station de mesure est alors positionné (idéalement au niveau d'un radier). Plusieurs étapes de mesures sont alors effectuées (*Baudoin, 2017*) :

1. **Définition de la station** : la station est repérée sur le terrain à l'aide d'un topofil Wlaktax d'une longueur de 3000m placé le long du cours d'eau entre l'amont et l'aval de la station.
  - Mesure de la largeur plein bord (l<sub>pb</sub>) : trois mesures en moyenne sont effectués sur trois points de la station en repérant les ruptures de pente de la berge la plus basse. Les mesures sont réalisées à l'aide d'un ruban de mesure Meywlad meytip de 30m.
  - Mesure des largeurs mouillées (l<sub>m</sub>) : trois mesures sont également effectuées sur la station à l'aide d'un ruban de mesure Meywlad meytip de 30m.
  - Calcul de la longueur de la station (L) : elle est calculée à l'aide de l<sub>pb</sub> → L=14 x l<sub>pb</sub>
2. **Division de la station en transect** :
  - Calcul de la distance inter-transect : la station est idéalement constituée de quinze transects. Chaque transect est espacé d'une fois l<sub>pb</sub>.
3. **Division des transects** : Chaque transect est divisé en plusieurs points de mesure
  - Calcul de la distance inter-point des transects : elle est égale à 1/7<sup>ème</sup> de l<sub>m</sub>
4. **Mesures à l'échelle de la station** :

- Mesure de la pente de la ligne d'eau : elle est réalisée à l'aide d'un télémètre et d'une mire. Le télémètre est positionné de telle sorte à pouvoir visualiser à la fois l'amont et l'aval de la station sans avoir à le déplacer. Une mesure de la hauteur à partir de la surface de l'eau de la rivière est alors réalisée en amont et en aval afin de calculer la différence de hauteur entre l'amont et l'aval ( $\Delta H$ ). La pente est alors calculée :  $P = \frac{\Delta H}{L} \times 1000$
- Mesure du débit : la mesure a été effectuée à l'aide d'un courantomètre électromagnétique, sur une section comprenant toute la largeur du cours d'eau et idéalement sur un radier. Une mesure a été effectuée environ tous les 20 cm. Le nombre de mesures par point par rapport au fond a été déterminé selon le protocole carhyce (*Figure 22*)

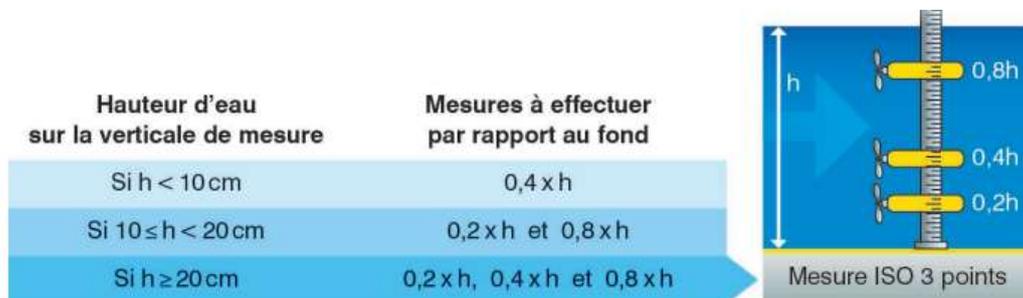


Figure 22 : Nombre de mesure selon la hauteur d'eau (Baudoin, 2017)

- Mesure de la granulométrie : elle permet 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 méthode de mesure utilisée est la méthode Wolman. Il s'agit d'effectuer une mesure, idéalement sur un radier, de cent éléments en effectuant 10 aller-retour. La mesure s'effectue sur la plus grande largeur perpendiculaire à l'aide d'un pied à coulisse.
- Mesure du colmatage : il s'agit de la mesure des dépôts potentiellement présents dans les interstices du fond du lit. Un milieu colmaté présente une qualité plus faible avec moins d'habitat et des échanges d'oxygène et de matières entre la rivière et le milieu hyporhéique plus faibles (Descloux, 2011). La mesure se fait par l'évaluation de la profondeur de l'oxygénation à l'aide de baguettes en bois clair (balsa) de 8x8 cm et 30cm de longueur implantées dans les sédiments du fond du lit pendant 1 mois. Dans un milieu colmaté les bâtonnets deviennent noir dû à l'activité microbienne des zones anoxiques.
- Information des habitats marginaux : s'il y a présence
- Détermination de la continuité de la ripisylve : il faut indiquer si la ripisylve est continue, semi-continue ou absente afin de donner des informations sur la quantité et la qualité des habitats mais également sur la connexion entre ces différents habitats.

#### 5. Mesures à l'échelle du transect : Avant chaque mesure, une ligne plein bord est définie au niveau du transect

- Mesure de la largeur plein bord : de la même manière que pour la définition de la station
- Mesure de la largeur mouillée : de la même manière que pour la définition de la station
- Détermination du faciès d'écoulement : il est à renseigner en suivant la typologie Malavoi et Souchon de 2002 (*Annexe 14*)
- Détermination du type de berge : la rive gauche et la rive droite de chaque transect est décrite selon la typologie établie dans le protocole carhyce (*Tableau 25*)

Tableau 25 : Type de berge selon la typologie du protocole carhyce (Baudoin, 2017)

Types de berges	Code
Matériaux naturels	MN
Aménagement végétalisé	AV
Enrochement	ER
Matériaux artificiels	MA

- Détermination du type d'habitat sur les berges : selon la typologie établie dans le protocole carhyce (*Tableau 26*)

Tableau 26 : Type d'habitats selon la typologie du protocole carhyce (Baudoin, 2017)

Types d'habitats	Code
Sous-berge	SB
Chevelu racinaire	CR
Végétation surplombante	VS
Blocs rocheux	BR
Débris ligneux grossiers, embâcle	DL

- Détermination de la ripisylve : il est important d'informer sur la ripisylve présente sur les berges car elle a un impact significatif sur la qualité de l'eau (régulation thermique, physico-chimie, dynamique fluviale) et sur les écosystèmes (corridor rivulaire, maintien des berges) (Baudoin, 2017). Il faut ainsi indiquer s'il s'agit d'une végétation naturelle, exogène ou plantée en strate herbacée (inférieure à 2m), arbustive (de 2 à 7m), arborée (supérieure à 7m) ou absente. Et renseigner sur son épaisseur : de 0 à 5m, 5 à 10m, 10 à 25m ou supérieur à 25m (Baudoin, 2017).

## 6. Mesures à l'échelle du point :

- Mesure de la profondeur : pour les points en eau, une mesure de la différence entre la ligne d'eau et le substrat du fond du lit est effectuée à l'aide d'une mire. Pour les points hors eau, la différence entre la ligne à plein bord du transect et la ligne d'eau est effectué également à l'aide d'une mire.
- Détermination du substrat minéral : le substrat est évalué uniquement au niveau du point de mesure et classé selon l'échelle granulométrique de Wentworth (Tableau 27).

Tableau 27 : Substrat minéral selon l'échelle granulométrique de Wentworth (Baudoin, 2017)

Nom de la classe granulométrique	Classes de taille (diamètre perpendiculaire au plus grand axe)	Code utilisé
Dalles (dont dalles d'argile)	Plus de 1 024 mm	D
Rochers	Plus de 1 024 mm	R
Blocs	256 à 1 024 mm	B
Pierres grossières	128 à 256 mm	PG
Pierres fines	64 à 128 mm	PF
Cailloux grossiers	32 à 64 mm	CG
Cailloux fins	16 à 32 mm	CF
Graviers grossiers	8 à 16 mm	GG
Graviers fins	2 à 8 mm	GF
Sables	0,0625 à 2 mm	S
Limons	0,0039 à 0,0625 mm	L
Argiles	Moins de 0,0039 mm	A
Vase	Sédiments fins (< 0,1 mm) avec débris organiques	V
Terre végétale	Points hors d'eau très végétalisés	TV

- Détermination du substrat additionnel : De la même façon que pour le substrat minéral, le substrat additionnel est évalué au droit du point de mesure selon la typologie établie pour le protocole (Tableau 28)

Tableau 28 : Substrat minéral selon la typologie du protocole carhyce (Baudoin, 2017)

Classe de substrat additionnel	Code
Chevelu racinaire	CR
Végétation surplombante	VS
Débris ligneux grossiers, embâcle	DL
Végétation aquatique	VA
Pool détritique : accumulation de matière organique particulière grossière (feuilles mortes, écorce, autres débris végétaux)	PD
Concrétion calcaire	CC

## 6. Suivi biologique

- *Prélèvements piscicoles*

Le protocole de terrain a été réalisé selon la norme EN 14011 par la fédération, de pêche du Bas-Rhin. Une pêche électrique a été réalisé par site par la fédération de pêche du Bas-Rhin en octobre 2016 avant travaux et en juin et juillet 2021 après travaux (*Tableau 19*). La longueur des stations devait être égale à 10 fois la largeur du cours d'eau d'après la norme (soit une longueur comprise entre 70 et 180m) (*Tableau 29*) (*Belliard, 2012*).

Tableau 29 : Longueur minimale des stations selon la norme EN 14011 (*Belliard, 2012*)

Largeur en eau	Longueur minimale du point de prélèvement
< 3m	60m
De 3m à 30m	20 fois la largeur
De 30m à 60m	600m
> 60m	10 fois la largeur

La mesure sur le terrain se passe en deux étapes : la pêche et la biométrie. Le principe de la pêche électrique consiste à parcourir le cours d'eau à l'aide d'une anode et de 2 épuisettes (*Figure 22.A*). Le matériel de pêche utilisé est de marque EFKO 1700 avec une puissance de sortie de 1700 watt. L'avantage principal de cette technique est la diminution de la dangerosité de la pêche sur la faune et la possibilité de remettre en liberté des individus sans blessures (*Destouches, 2019*). La méthode d'échantillonnage utilisée sur l'ensemble des stations a été la pêche complète puisqu'il s'agissait de cours d'eau peu profond, facilement accessible et prospectables à pieds et d'une largeur inférieure à 9m (*Belliard, 2012*). Ces paramètres ont permis une prospection sur toute la surface de la station. Un seul passage de l'aval vers l'amont est alors réalisé en prenant soin de passer l'anode sur l'ensemble de la largeur du cours d'eau afin d'éviter de passer à côté de certains individus. L'anode permet de créer un champ électrique dans le cours d'eau. Ce dernier permet de stimuler le système nerveux des poissons et provoquer une réaction musculaire au poisson l'attirant vers l'anode (la galvanotaxie) en se retournant sur le dos et l'empêchant alors de bouger (galvanonarcose) (*Destouches, 2019*). Ils sont alors récupérés par une épuisette dans une bassine par un opérateur. Selon certaines études, l'efficacité de cette technique dépendrait de la conductivité de l'eau qui permettrait d'augmenter la puissance de transfert du champ électrique dans le poisson et alors facilité le prélèvement (*Destouches, 2019 ; Kolz, 1989*). Pour la récupération des poissons, il a été utilisé deux épuisettes : une épuisette carrée de 25cm de côté avec des mailles de 2mm et une épuisette en demi-cercle de 50/35cm (avec un côté plat) avec des mailles de 4mm. De plus, un filet de 10m de large, 1,5 m de hauteur et de mailles de 1,5cm est placé en amont de la station afin d'empêcher aux poissons de s'échapper.

Une fois la pêche terminée, il faut procéder à la phase de biométrie (*Figure 22.B*). Il faut alors faire attention au transport, à la manipulation et au matériel utilisé. En effet, la biométrie ne doit pas durer trop longtemps et différentes bassines remplies d'eau sont utilisées afin de procéder à l'identification et à la mesure dans les meilleures conditions pour les poissons. Il faut faire attention à maintenir une oxygénation suffisante de l'eau pour les poissons par l'utilisation de bassines de tailles et de quantité d'eau suffisante (*Belliard, 2012*). L'identification se fait ensuite au niveau de l'espèce. La mesure a été effectuée ensuite sur une table de biométrie de 1m de large et 1,5m de long équipée d'une règle d'une longueur d'environ 1m permettant une précision millimétrique. 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 22 : Pêche électrique (A) et biométrie (B) selon le protocole EN 14011

- **Prélèvements de macroinvertébrés**

L'objectif principal d'effectuer un prélèvement de macroinvertébrés est d'établir une liste faunistique des taxons présent dans le cours d'eau (Mazuer, 2012). La présence de certaines espèces polluosensibles peuvent alors nous renseigner sur la qualité de la rivière de son écosystème. Les campagnes de prélèvements ont été faites selon la norme NF T90-333 en avril 2017 avant travaux et en mai 2021 après travaux de restauration (Tableau 19). Elles ont été réalisés par le bureau d'étude Aspect service environnement de Ennery (57). Le prélèvement et l'étude des macroinvertébrés se passe en deux phases : une phase de terrain et une phase en laboratoire

Durant la phase terrain et en suivant la norme, plusieurs étapes sont a réalisées avant de procédé au prélèvement dans la rivière :

- La définition de la station : un point doit être fixé en aval puis il faut remonter vers l'amont sur une distance permettant de prendre en compte une alternance de vitesse d'écoulement et une bonne hétérogénéité des habitats (Mazuer, 2012)
- 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 » parmi une liste de treize substrats (Tableau 30),
- L'estimation des surfaces de chaque substrat présent
- Etablir un plan d'échantillonnage en veillant à respecter le nombre d'échantillon demandé par la norme

Tableau 30 : Liste et mode de prélèvement des substrats selon la norme NF T90-333 (AFNOR, 2016)

Habitabilité	Définition du substrat principal	Récupération du substrat	Agitation du substrat seulement
11	Bryophytes		X (frotter, peigner)
10	Hydrophytes	X	
9	Litières	X	
8	Chevelu racinaires libres dans l'eau		X (frotter, peigner)
	Débris ligneux	X (pour dépôts de petites branches)	X (frotter pour grosses branches)
7	Sédiments minéraux de grande taille (galets, ...)		X (frotter toute la superficie et agiter la couche sous les pierres sur environ 5 cm d'épaisseur)
6	Blocs facilement déplaçables		X (frotter la superficie de toutes les faces et agiter la couche sous le bloc comme précédemment)
5	Granulats grossiers	X	
4	Hélophytes		X (frotter, peigner)
3	Vases	X	
2	Sables	X	
	Limons	X	
1	Algues	X	
0	Surfaces uniformes dures naturelles ou artificielles		X (frotter toute la superficie)

En effet, 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 (Tableau 31) : 4 prélèvements, suivant l'ordre d'habitabilité, sur les substrats marginaux (phase A), 4 prélèvements sur substrats dominant (phase B) et 4 prélèvements complémentaires sur les substrats dominants en privilégiant la représentativité des substrats (phase C). Le prélèvement s'est alors effectué à l'aide d'un surber composé d'un cadre de 20x25 cm et d'une longueur de filet de 65cm avec des mailles de 0,5mm. Sa surface d'échantillonnage est équivalente à 1/20<sup>ème</sup> de m<sup>2</sup> (Figure 23.A). 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 dénaturé à 96% afin de tuer les macroinvertébrés. Le nettoyage se fait à la main puis un passage au tamis de diamètre 30cm, hauteur de 5cm et taille de maille de 0,5mm est nécessaire pour retirer les particules fines (sables, limons, ...) (Figure 23.B). Les macroinvertébrés sont alors mis en 3 flacons d'une contenance de 2 litres représentant chacun une phase et recouvert d'alcool afin de conserver les échantillons jusqu'à l'identification en laboratoire (Figure 23.C). La concentration finale dans l'échantillon est d'environ 70% d'alcool.

Classe de vitesse (cm/s)	Vitesse	Code SANDRE
$V < 5$	Nulle	N1
$25 > v \geq 5$	Lente	N3
$75 > v \geq 25$	Moyenne	N5
$v \geq 75$	Rapide	N6

Tableau 31 : Liste et définition des classes de vitesses selon la norme XP T90-333 (AFNOR, 2016)



Figure 23 : Phase de terrain du prélèvement de macroinvertébrés dans les cours d'eau

L'analyse en laboratoire est effectuée ensuite selon la norme NF T90-388. Elle consiste à effectuer un tri au microscope des échantillons, à déterminer les taxons sur un (famille) ou 2 (genre) niveau(x) et établir une liste faunistique en indiquant les taxons et les effectifs récoltés par phase (AFNOR, 2016). D'après le bureau d'étude Aspect Environnement, une première étape préalable consiste à effectuer un rinçage à l'eau des échantillons et une séparation granulométrique du substrat à la colonne de tamis (2mm/1,2mm/0,5mm). Ceci permet de faciliter la phase de tri. Celle-ci s'effectue par la suite à l'aide :

- D'un éclairage à deux cols de cygnes
- D'une loupe binoculaire de grossissement x4 à x160
- D'une loupe éclairante avec un grossissement x2 ou x4 dans des bacs de tri quadrillés en 12 parties afin de faciliter le tri et le dénombrement.
- De pinces de différentes tailles et formes
- De compteurs manuels
- De plusieurs boîtes de pétri remplies d'alcool afin de séparer les invertébrés par famille

- De piluliers « témoins » en verre de 25ml étiquetés avec le code échantillon, la date de prélèvement, le nom du cours d'eau et la phase pour la conservation d'au minimum un individu de chaque taxon répertorié dans l'échantillon (conservation d'au minimum 3 ans). Ceci permet alors de pouvoir effectuer des vérifications ultérieures.

La détermination s'effectue à l'aide du livre « invertébrés d'eau douce » (*Tachet, 2010*) et du site internet « Perla ». Une fiche de synthèse est alors fournie au SYCOPARC avec le calcul de l'I2M2.

### 1. Analyse des bases de données

#### 1.1. Compartiment Physico-chimique

Tout d'abord les données physico-chimiques ont été étudiées afin d'évaluer les paramètres environnementaux pouvant modifier les conditions de prélèvement des autres compartiments et ainsi faire « effets confondants » avant et après les travaux de restauration. Cette analyse peut être faite grâce aux classes d'état de qualité des eaux proposées par l'arrêté du 25 janvier 2010 permettant ainsi de classer les différents paramètres du site de mauvais à très bon et donc d'établir une première évaluation de la qualité de l'eau au droit des sites de travaux de restauration de la continuité écologique (le tableau de limite des classes d'état se trouve en annexe 15) (Tableau 32). De plus, une classification des autres paramètres physico-chimiques (matière en suspension, orthophosphates, turbidité, DCO) a pu être établie grâce au rapport de présentation du SEQ-Eau (MEDD, 2003) (Tableau 32).

Les données nous montrent bien que les cours d'eau concernés sont de relativement bonne qualité. Il n'y a pas de valeurs extrêmes négatives qui en ressort (état médiocre ou mauvais). Elles sont en effet, dans la majorité, dans l'intervalle des seuils de très bon état. Ceci s'explique notamment par le fait qu'il s'agit de très petit cours d'eau en tête de bassin donc proche des sources et n'ayant pas subi une grande accumulation d'éléments nutritifs. En observant les données nous pouvons mettre en contexte les prélèvements des autres compartiments. Nous remarquons que la turbidité de l'eau est en général plus importante en 2021 qu'en 2016. On peut l'expliquer par le fait que les précipitations importantes de ces derniers mois ont engendré une hausse du niveau de l'eau, une augmentation du débit et de ce fait une remobilisation plus importante des sédiments. Ces facteurs augmentent potentiellement la turbidité de l'eau. On peut alors conclure que les phases de prélèvement des mois de juin-juillet ont été faites durant des périodes de précipitations plus ou moins importantes engendrant des conditions moins favorables pouvant légèrement impacter sur les résultats (taux de dilution plus important). De plus, nous pouvons remarquer que les nutriments (phosphore, ammonium et orthophosphates) sont dans des quantités plus importantes que la limite de très bon état. En sachant que les cours d'eau des Vosges du nord sont peu impactés par les cultures ont peu s'orienter vers un impact lié à par la présence de pâturages autour des points de prélèvements notamment pour le site de la friche où il y a la présence d'élevage de vache mais également à des rejets de station d'épuration.

Tableau 32 : Données physico-chimiques avant et après travaux de restauration

Stations	Situation par rapport aux travaux	Température (°C)	pH	Turbidité	Conductivité (µS/cm)	Oxygène dissous (mg O2/L)	Carbone organique	Phosphore (mg P/L)	Ammonium (mg P/L)	Nitrates (mg NO3/L)	Nitrites (mg NO2/L)	Orthophosphates (mg PO4/L)	Azote Kjeldahl (mg N/L)	DBO5 (mg O2/L)	DCO (mg O2/L)
<b>Mars 2017</b>															
Obersteinbach	Amont	7,5	8,2	8	568	8,2	3,1	0,04	0,06	5,9	0,02	0,08	0,6	<0,5	17
	Aval	7,9	8,2	7,4	571	9,1	3,2	0,04	0,06	6,0	0,03	0,10	<0,5	<0,5	15
Restaurant	Amont	8,8	7,3	2,4	182	7,5	2,1	0,06	0,05	4,1	0,02	0,10	<0,5	<0,5	17
	Aval	8,8	7,5	4,4	185	9,5	1,8	0,17	0,06	4,2	0,02	0,10	<0,5	<0,5	25
Friche	Amont	8,9	7,6	3	192	7,9	2,3	0,08	0,07	4,4	0,03	0,11	<0,5	<0,5	16
	Aval	9	7,6	4,1	198	8,9	2,4	0,10	0,05	4,3	0,03	0,14	<0,5	<0,5	17
Woerth	Amont	8,7	7,1	1,4	124	7,8	0,5	0,01	0,004	0,5	0,01	0,02	<0,5	0,5	5
	Aval	8,8	7,1	1,9	170	8,5	2,1	0,04	0,06	3,0	0,02	0,04	<0,5	<0,5	13
Trautbach	-	8,1	7,7	1,6	76	8,7	3,4	0,01	0,04	2	0,01	0,02	<0,5	0,5	17
<b>Juin 2017</b>															
Obersteinbach	Amont	15,2	8,2	1,2	551	7,8	1,4	0,03	0,07	2,5	0,03	0,04	<0,5	0,7	<5
	Aval	15,8	8,2	2,7	550	7,7	1,6	0,08	0,12	3,2	0,03	0,08	0,7	<0,5	<5
Restaurant	Amont	13	7,6	1,8	168	8,6	1,5	0,07	0,04	3,3	0,02	0,08	<0,5	<0,5	11
	Aval	13	7,8	3,4	169	9,3	2,4	0,09	0,04	3,3	0,02	0,10	<0,5	0,5	5
Friche	Amont	12,8	7,8	3,8	159	9,3	1,4	0,08	0,04	3,6	0,02	0,10	<0,5	0,6	8
	Aval	13,9	7,9	7,1	140	8,7	1,5	0,10	0,04	3,6	0,02	0,13	<0,5	0,6	12
Woerth	Amont	12,1	7,2	3,5	115	8,2	1,7	0,09	0,05	4,3	0,05	0,15	<0,5	<0,5	5

	Aval	12,9	7,5	7,3	143	8,3	1,7	0,09	0,06	4,1	0,06	0,13	<0,5	<0,5	8
Trautbach	-	19	7,4	3,2	68	8,9	3,3	0,02	0,07	1,5	0,01	0,02	<0,5	<0,5	18
Septembre 2017															
Obersteinbach	Amont	15,6	8,2	<0,1	499	7,6	1,4	0,03	0,04	5,8	0,01	0,02	<0,5	1,1	<5
	Aval	16,3	8,2	2,1	502	7,3	1,5	0,05	0,01	2,7	0,02	0,05	0,6	1,4	<5
Restaurant	Amont	12,7	7,6	2,6	143	8,2	1,4	0,06	0,02	2,9	0,02	0,07	<0,5	1,1	<5
	Aval	12,7	7,7	2,9	151	9,5	1,4	0,07	0,06	3,0	0,02	0,09	<0,5	1,3	<5
Friche	Amont	12,7	7,7	3,5	154	9,1	1,4	0,07	0,06	2,9	0,02	0,09	0,5	1,5	<5
	Aval	13,2	7,9	5,8	161	8,5	1,5	0,10	0,01	3,1	0,02	0,17	<0,5	0,9	<5
Woerth	Amont	11,2	7,3	8,1	102	7,2	2,0	0,06	0,06	4,1	0,02	0,14	0,5	1,6	7
	Aval	12,8	7,4	23,3	126	9,0	2,0	0,09	0,05	3,3	0,02	0,10	0,6	1,4	6
Trautbach	-	12,5	7,6	16,7	64	7,9	2,4	0,03	0,02	1,2	0,01	0,02	0,7	1,1	17
Décembre 2017															
Obersteinbach	Amont	7	7,2	1,5	131	8,9	2,5	0,04	0,06	3,0	<0,01	0,05	<0,5	0,7	<5
	Aval	6,7	7,2	2,2	164	9,6	2,8	0,06	0,06	4,2	0,03	0,11	<0,5	<0,5	6
Restaurant	Amont	6,8	7,6	5,3	174	9,2	2,8	0,06	0,05	4,0	0,03	0,09	<0,5	<0,5	<5
	Aval	6,9	7,8	6,5	175	9,7	2,8	0,07	0,05	4,1	0,03	0,13	<0,5	0,6	6
Friche	Amont	7	7,6	6,5	170	9,2	2,7	0,07	0,05	4,3	0,03	0,11	<0,5	0,7	6
	Aval	6,9	7,9	10,3	187	9,2	2,8	0,08	0,03	4,3	0,03	0,14	0,6	1,1	9
Woerth	Amont	5,9	8,2	5,3	574	8,2	4,0	0,07	0,02	9,1	0,03	0,12	0,5	1	9
	Aval	5,8	8,2	6,4	576	10,6	4,0	0,08	0,02	8,9	0,03	0,11	<0,5	0,5	11
Trautbach	-	4,5	7,7	2,6	75	9,2	4,3	0,01	0,02	2,5	0,01	0,02	<0,5	0,7	<5
Mai 2021															
Obersteinbach	Amont	10,7	7,2	3,3	157	10,3	2,5	0,06	0,07	2,9	<0,01	0,04	<0,5	<0,5	11
	Aval	11,3	2,3	3,9	24	10,1	2,7	0,07	0,07	3,3	0,01	0,10	<0,5	<0,5	13
Restaurant	Amont	11,1	3,9	9,9	270	10,5	2,6	0,11	0,12	3,2	0,02	0,10	<0,5	<0,5	12
	Aval	11,1	2,6	8,4	248	10,9	2,5	0,09	0,06	3,2	0,02	0,11	<0,5	<0,5	12
Friche	Amont	10,9	7,5	17,5	246	10,8	2,5	0,09	<0,05	3,4	0,02	0,11	<0,5	<0,5	12
	Aval	11,3	7,9	9,1	274	10,8	2,8	0,13	0,09	3,4	0,02	0,14	<0,5	<0,5	7
Woerth	Amont	12,1	8,8	20,2	822	10,5	4,1	0,08	0,09	4,3	0,06	0,10	<0,5	<0,5	12
	Aval	12,9	8,4	27,3	959	9,6	4,1	0,13	0,07	4,2	0,04	0,10	<0,5	0,9	14
Juin 2021															
Obersteinbach	Amont	12,4	7,7	2	167	10,1	1,3	0,05	0,08	3,1	0,01	0,05	<0,5	<0,5	<5
	Aval	13,5	7,7	6,3	212	8,5	1,7	0,11	0,06	3,3	0,02	0,10	<0,5	<0,5	<5
Restaurant	Amont	13,3	8	7,4	243	10,2	1,4	0,10	<0,05	3,5	0,02	0,11	<0,5	1,1	6
	Aval	13,1	8,3	27,9	245	10,5	1,3	0,13	<0,05	3,5	0,03	0,12	<0,5	0,7	7
Friche	Amont	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
	Aval	14,1	8,3	11,4	263	10,3	1,3	0,13	<0,05	3,7	<0,01	0,14	<0,5	0,6	6
Woerth	Amont	15,8	8,8	25,5	849	9,3	2,0	0,11	0,06	4,0	0,04	0,13	0,7	1,3	9
	Aval	15,7	9	26,1	837	9,4	1,8	0,11	0,05	3,9	0,03	0,13	<0,5	1,5	7
Juillet 2021															
Obersteinbach	Amont	14,7	7,7	4,6	173	9,3	2,9	0,09	<0,05	3,5	0,03	0,15	<0,5	1,1	8
	Aval	14,3	7,6	2,4	156	9,4	2,7	0,08	<0,05	2,6	0,02	0,11	<0,5	2,6	6
Restaurant	Amont	14,7	7,7	5,6	258	9,2	2,8	0,07	<0,05	3,4	0,03	0,13	<0,5	0,6	7
	Aval	14,6	7,6	6,4	265	10,1	2,6	0,09	<0,05	4,2	0,03	0,15	<0,5	1,2	9
Friche	Amont	14,6	7,6	8,2	273	10,0	2,7	0,10	<0,05	3,8	0,03	0,15	0,5	0,7	11
	Aval	15	7,8	7,2	288	10,0	2,9	0,15	<0,05	4,2	0,03	0,33	<0,5	0,9	9
Woerth	Amont	15,7	8,8	17,1	890	9,2	5,0	0,11	<0,05	5,5	0,05	0,13	<0,5	1,3	15
	Aval	19,8	8,8	13	820	9,4	5,0	0,11	<0,05	5,1	0,06	0,13	0,7	1,3	16

## 1.2. Compartiment hydromorphologique

Une première analyse des données peut être effectuée sur les bases de données. Nous pouvons tout d'abord observer une augmentation des profondeurs plein bord après travaux sur l'ensemble des stations (*Tableau 33*). Nous avons en un coefficient multiplicateur compris entre 1,1 et 2,8 (*annexe 16*). La largeur plein bord n'ayant pas augmentée (hormis pour la station du Restaurant), nous pouvons observer une diminution du rapport l/p. Ceci pourrait être expliqué par l'érosion régressive de la rivière engendrée par les travaux. La rivière recherche son profil naturel après l'arasement ou le dérasement des seuils. Elle va donc creuser vers l'amont jusqu'à atteindre sa pente primitive (*Malavoie, 2010*). Nous sommes donc dans la période d'évolution de la rivière qui recherche un équilibre dynamique. On remarque une augmentation de la pente pour les stations du Restaurant et de Woerth puisqu'il s'agit des stations ayant été restaurées le plus récemment. En revanche, nous observons une diminution de la pente sur les stations d'Obersteinbach et de la Friche. Enfin, concernant la granulométrie, nous observons une augmentation de la taille des grains sur les radiers au niveau des stations de Woerth et de la Friche. Cela signifie que la dynamique des cours d'eau a été améliorée avec une remobilisation des sédiments et donc une diversification de la granulométrie. Ceci apporte

également une tendance positive pour la faune aquatique par l'augmentation d'habitat et de frayères en fond de lit et la diminution du comblement de ces dernières par les éléments fins.

Tableau 33 : Données hydromorphologiques avant et après travaux de restauration

stations	Temporalité	Débit (m <sup>3</sup> /s)	Lpb (m)	Lm (m)	Hpb (m)	l/p	Pente (‰)	D16	D50	D84	Diversité granulométrique	Diversité des habitats	Diversité des strates
Obersteinbach	av	0,06	3,8	2,4	0,09	42,7	4,81	11,4	19	29,3	1,78	1,61	30
	ap	0,04 -	3,8 =	1,6 -	0,20 +	18,7 -	3,29 -	0 -	1 -	2 -	1,81 +	1,34 -	4 -
Restaurant	av	0,07	5,7	4,7	0,18	66,2	1,7	1	1	1	1,67	2,03	31
	ap	0,06 -	12,3 +	6,4 +	0,20 +	52,4 -	3,95 +	0 -	0 -	1 =	1,60 -	1,65 -	20 -
Friche	av	0,16	6,2	6,1	0,11	54,7	3,1	7	10	12	1,89	1,7	33
	ap	0,10 -	3,6 -	2,1 -	0,20 +	18,3 -	2,76 -	4,2 -	11,5 +	25,7 +	1,52 -	1,22 -	4 -
Woerth	av	0,07	4,6	2,4	0,34	11,5	2,81	3	7,5	18	2,05	1,41	23
	ap	0,06 -	3,5 -	3,4 +	0,92 +	4,1 -	4,81 +	7 +	7,5 +	21,9 +	2,74 +	1,71 +	24 +

= pas de modification entre avant et après ; + augmentation entre avant et après ; - diminution entre avant et après

### 1.3. Compartiment biologique

Nous devons tout d'abord noter que la station de suivi de la faune piscicole du cheval blanc pour l'après travaux a été déplacée d'environ 20m en amont dû aux conditions du milieu (encombrement de la végétation) qui empêcher de procéder à la pêche. L'ensemble des données n'ayant pas pu être mesurées, il a été décidé de ne pas l'inclure dans l'analyse statistique. Les autres données risquent de ne pas être entièrement représentatives du milieu du aux conditions difficiles de la pêche. Certains individus ont pu être manqués (notamment les lamproies et les chabots se déplaçant au fond des cours d'eau).

En analysant tout d'abord la base de données, on peut observer en particulier une augmentation du nombre d'individus de certaines espèces sur l'ensemble des stations, et notamment des espèces polluosensibles. En effet, on remarque une augmentation des éphéméroptères et trichoptères qui sont, d'après le diagramme de polluosensibilité, des espèces présentant un indice de sensibilité à la pollution relativement élevé. Ceci engendre naturellement une augmentation importante de la proportion d'EPTC (avec une multiplication par 8 pour le Cheval blanc et jusqu'à 34 pour la friche humide). La richesse taxonomique de l'ensemble des stations (à l'exception des étangs du Soultzbach) a également augmenté. La présence de ces espèces polluosensibles en plus grand nombre après travaux signifie qu'une tendance positive de la qualité de l'environnement et des habitats sur ces stations est à observer. De plus, si on compare avec la station de référence on se rend compte que le nombre d'espèce polluosensible est plus élevé sur les stations avant travaux. En revanche, concernant les plécoptères, nous en retrouvons un plus grand nombre au niveau de la station de référence.

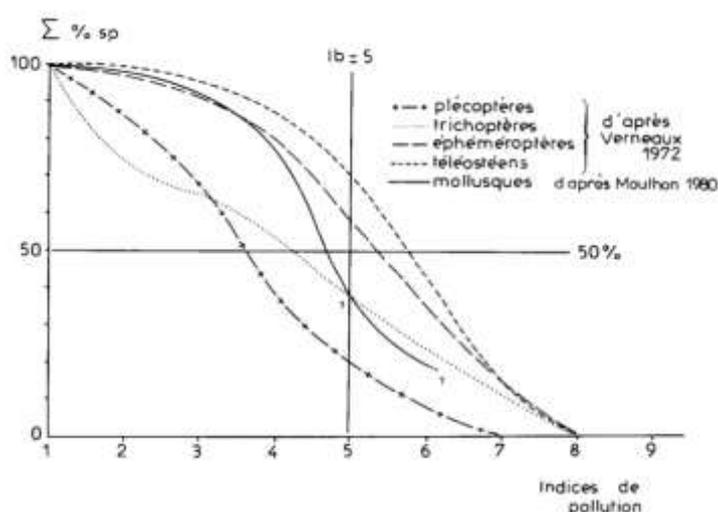


Figure 24 : Polluosensibilité des macroinvertébrés (Faessel, 1985)

Concernant le compartiment piscicole, on peut observer une diminution du nombre d'individu capturés pour l'ensemble des stations entre avant et après travaux de restauration (*Tableau 35*). Ceci peut être dû au fait que les pêches après travaux ont été réalisées dans des conditions plus difficile qu'avant travaux pouvant alors engendrer un manque des poissons au cours du prélèvement. Ceci peut également être dû au fait que la faune n'a pas eu le temps de recoloniser les espaces depuis la fin des travaux de restauration qui ont été finalisés trop récemment. En revanche, on peut observer une augmentation du nombre d'espèces sur certaines stations ainsi que de la taille des individus (*Tableau 35*). En effet, en regardant l'évolution des données avant et après travaux de restauration, on remarque que les paramètres qui semblent le plus évoluer sont les tailles des individus. En effet, nous pouvons observer une multiplication de 1,6 et 1,3 de la taille moyenne des individus respectivement sur les stations de l'étang d'Obersteinbach et de la friche humide (*Annexe 16*). De plus, nous observons une bonne augmentation de la taille minimale sur ces deux stations (coefficient multiplicateur de 3,3 pour l'étang d'Obersteinbach et de 3 pour la friche humide).

Stations	Obersteinbach		Restaurant		Friche amont		Friche aval		Woerth amont		Woerth Aval		Trautbach
	Av	Ap	Av	Ap	Av	Ap	Av	Ap	Av	Ap	Av	Ap	
Temporalité	Av	Ap	Av	Ap	Av	Ap	Av	Ap	Av	Ap	Av	Ap	-
I2M2	0,37	0,44 +	0,32	0,45+	0,16	0,54+	0,24	0,60+	0,18	0,49+	0,48	0,46-	0.3352
Diversité de shannon	0,67	0,53-	0,22	0,59+	0,00	0,43+	0,00	0,87+	0,00	0,33+	0,00	0,06-	0
ASPT	0,26	0,27+	0,45	0,36-	0,36	0,58+	0,36	0,43+	0,76	0,66-	1,00	1,00=	0.6147
Richesse taxonomique	0,31	0,35+	0,03	0,42+	0,07	0,35+	0,17	0,63+	0,05	0,00-	0,20	0,00-	0.0697
Polyvoltinisme	0,32	0,35+	0,50	0,45-	0,03	0,74+	0,24	0,63+	0,00	1,00+	0,00	1,00+	0.4394
Ovoviviparité	0,33	0,70+	0,28	0,43+	0,28	0,52+	0,22	0,48+	0,00	0,27+	1,00	0,00-	0.3974
Nombre de taxons	34	35+	25	33+	26	37+	28	41+	24	22-	27	25-	24
Matières organiques oxydables	0,43	0,53+	0,56	0,52-	0,17	0,20+	0,53	0,53=	0,50	0,35-	0,51	0,41-	0.3626
Matières azotées	0,27	0,53+	0,27	0,18-	0,23	0,08-	0,51	0,18-	0,52	0,35-	0,51	0,41-	0.1297
Nitrates	0,49	0,35-	0,44	0,58+	0,42	0,55+	0,47	0,55+	0,50	0,45-	0,44	0,49+	0.3188
Matières phosphorées	0,27	0,52+	0,47	0,32-	0,24	0,16-	0,54	0,28-	0,52	0,28-	0,47	0,35-	0.1404
Pesticides	0,48	0,81+	0,58	0,76+	0,80	0,54-	0,75	0,51-	0,69	0,77+	0,73	0,76+	0.6676
HAP	0,64	0,74+	0,66	0,76+	0,63	0,61-	0,67	0,59-	0,64	0,70+	0,60	0,63+	0.5378
Voies de communication	0,28	0,41+	0,41	0,11-	0,55	0,25-	0,36	0,27-	0,50	0,51+	0,52	0,53+	0.4294
Ripisylve	0,42	0,57+	0,48	0,48=	0,49	0,46-	0,53	0,52-	0,51	0,50-	0,51	0,48-	0.41
Intensité d'urbanisation	0,57	0,59+	0,54	0,38-	0,64	0,53-	0,56	0,44-	0,58	0,59+	0,59	0,61+	0.5516
Risque de colmatage	0,45	0,40-	0,50	0,57+	0,47	0,46-	0,52	0,54+	0,57	0,51-	0,54	0,50-	0.384
Instabilité hydrologique	0,60	0,57-	0,63	0,62-	0,56	0,48-	0,65	0,61-	0,69	0,63-	0,62	0,65+	0.6298
Niveau d'anthropisation	0,69	0,77+	0,50	0,85+	0,72	0,68-	0,68	0,69+	0,68	0,75+	0,64	0,81+	0.4117
Nombre de Plecoptères	7	1-	1	0-	1	0-	1	0-	0	0=	0	0=	18
Nombre de Trichoptères	125	53-	82	39-	169	419+	77	396+	5	7+	52	14-	17
Nombre d'Ephéméroptères	67	164+	17	38+	308	103-	18	43+	86	331+	111	230+	13
Nombre de Diptères	224	1117+	153	230+	35	105+	72	118+	262	1877+	252	1297+	131
Nombre de Coléoptères	24	7-	10	44+	6	330+	23	123+	4	7+	13	1-	13
Nombre d'Oligochètes	161	324+	6	281+	16	7-	115	141+	1	591+	4	129+	12
EPTC	24	225+	15	121+	25	852+	17	562+	15	345+	23	245+	23
GOLD	385	2102+	159	521+	51	119+	187	291+	263	2469+	256	1458+	143

= pas de modification entre avant et après ; + augmentation entre avant et après ; - diminution entre avant et après

De plus, certains indicateurs ont été ajoutés aux données brutes. Ils ont été calculés grâce aux formules obtenues par la recherche bibliographique issues de la première phase de l'étude. Elles ont ensuite été ajoutés aux données brutes récoltées sur le terrain (*Tableau 34 et 35*).

Tableau 35 : Base de données du compartiment piscicole avant et après travaux de restauration

Nom	Obersteinbach		Friche		Restaurant	Woerth	
	Av	Ap	Av	Ap	Av	Av	Ap
Temporalité des travaux							
<b>IPR</b>	19,8	12,3-	13,3	9,1-	10,6	17,5	16,3-
<b>Individus capturés</b>	96,0	35,0-	84,0	27,0-	65,0	143,0	139,0-
<b>Nombre d'espèce</b>	3,0	4,0+	5,0	3,0-	3,0	5,0	9,0+
<b>Abondance en épioche</b>	32,0	1,0-	21,0	0,0-	2,0	0,0	4,0+
<b>Taille moyenne des épioches</b>	40,6	50,0+	50,0	0,0-	45,0	0,0	32,5+
<b>Abondance en Lamproie</b>	41,0	2,0-	17,0	2,0-	11,0	0,0	0,0=
<b>Taille moyenne des Lamproies</b>	110,7	130,0+	141,2	95,0-	122,7	0,0	0,0=
<b>Abondance en truite</b>	23,0	31,0+	35,0	22,0-	52,0	2,0	9,0+
<b>Taille moyenne des truites</b>	196,1	171,6-	236,3	226,4-	186,7	320,0	155,6-
<b>Abondance en Chabot</b>	0,0	0,0=	2,0	3,0+	0,0	0,0	0,0=
<b>Taille moyenne des Chabots</b>	0,0	0,0=	140,0	103,3-	0,0	0,0	0,0=
<b>Abondance en Loche</b>	0,0	0,0=	9,0	0,0-	0,0	0,0	10,0+
<b>Taille moyenne des Loches</b>	0,0	0,0=	131,1	0,0-	0,0	0,0	91,0+
<b>Abondance en Chevesne</b>	0,0	0,0=	0,0	0,0=	0,0	15,0	36,0+
<b>Taille moyenne des Chevesnes</b>	0,0	0,0=	0,0	0,0=	0,0	194,0	160,0-
<b>Abondance en Gardon</b>	0,0	0,0=	0,0	0,0=	0,0	17,0	13,0-
<b>Taille moyenne des Gardons</b>	0,0	0,0=	0,0	0,0=	0,0	148,8	116,0-
<b>Abondance en Goujons</b>	0,0	1,0+	0,0	0,0=	0,0	99,0	61,0-
<b>Taille moyenne des Goujons</b>	0,0	140,0+	0,0	0,0=	0,0	104,9	114,0+
<b>Abondance en Spirlin</b>	0,0	0,0=	0,0	0,0=	0,0	0,0	2,0+
<b>Taille moyenne des Spirlins</b>	0,0	0,0=	0,0	0,0=	0,0	0,0	110,0+
<b>Abondance en Perche</b>	0,0	0,0=	0,0	0,0=	0,0	6,0	4,0-
<b>Taille moyenne des Perches</b>	0,0	0,0=	0,0	0,0=	0,0	186,7	115,0-
<b>Nombre d'espèces rhéophiles</b>	1,0	1,0=	2,0	2,0=	1,0	1,0	2,0+
<b>Nombre d'espèces lithophiles</b>	2,0	2,0=	3,0	3,0=	2,0	1,0	2,0+
<b>Pourcentage d'individu tolérant</b>	0,2	0,004-	0,2	0-	0,0	0,1	0,24+
<b>Pourcentage d'individu invertivore</b>	0,1	0,13+	0,2	0,14-	0,3	0,3	0,27-
<b>Pourcentage d'individu omnivore</b>	0,2	0,004-	0,1	0-	0,0	0,1	0,2+
<b>Taille moyenne</b>	107,8	169,7+	156,9	203,0+	171,5	123,0	123,2+
<b>Taille médiane</b>	100,0	170,0+	150,0	200,0+	180,0	100,0	110,0+
<b>Taille maximale</b>	300,0	260,0-	330,0	490,0+	260,0	438,0	360,0-
<b>Taille minimale</b>	15,0	50,0+	20,0	60,0+	35,0	41,0	30,0-
<b>Premier quartile (taille)</b>	38,8	140,0+	90,0	140,0+	130,0	94,5	90,0-
<b>Troisième quartile (taille)</b>	130,0	210,0+	213,8	250,0+	200,0	152,5	140,0-
<b>Diversité de shannon</b>	0,5	0,2-	0,6	0,3-	0,3	0,2	0,7+
<b>Diversité de simpson</b>	0,6	0,2-	0,7	0,3-	0,3	0,5	0,8+

Tableau 36 : Indicateurs calculés à partir des données brutes

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
	BMWP		Beauger, 2014
Piscicole	Taille moyenne, médiane, maximale et minimale	/	/
	Diversité de shannon	$-\sum_{i=1}^s p_i \log(p_i)$ p <sub>i</sub> =abondance de l'espèce S=nombre total d'espèces n <sub>i</sub> =nombre d'individus d'une espèce N=nombre total d'individu	Coïc, 2006
	Diversité de Simpson	$1 - \sum \frac{n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$ n <sub>i</sub> = nombre d'individus dans l'espèce i N = nombre total d'individus	Coïc, 2006

## 2. Bassin versant de la Sauer

A compléter à la fin des travaux

- 2.1. Effets des travaux sur le compartiment de la thermie
- 2.2. Effets des travaux sur le compartiment de l'hydromorphologie
- 2.3. Effets des travaux sur le compartiment macroinvertébrés
- 2.4. Effets des travaux sur le compartiment piscicole
- 2.5. Effets des travaux sur l'ensemble des compartiments

## 3. Bassin versant du Steinbach

### 3.1. Effets des travaux sur le compartiment de l'hydromorphologie

Nous avons tout d'abord pu observer lors de l'analyse statistique qu'une certaine dissimilarité pour le compartiment hydromorphologique avait été observé pour les stations de la Friche et d'Obersteinbach. En revanche, la station du Restaurant semble ne pas avoir assez évolué pour observer un effet des travaux de restauration. Il semblerait que les paramètres ayant le plus d'impact sont la diversité de la ripisylve et le D84.

Concernant l'évolution de la ripisylve, nous avons pu observer sur le terrain une diminution de la part herbacée avec une augmentation de la strate arborée et/ou arbustive sur les stations du Restaurant et d'Obersteinbach (Figure 25). On a donc une spécification moins importante pour un type de strate (herbacée pour l'étang avant travaux) et donc une augmentation de la diversité des habitats. Ceci peut également influencer la diversité des habitats des berges en favorisant la présence de chevelu racinaire ou végétation surplombante où certaines espèces (notamment de macroinvertébrés) peuvent venir s'y cacher, se nourrir ou se reproduire (MEEDAT, 2008). Ceci permet d'une part d'augmenter la proportion d'habitat en bordure de cours mais également de diversifier les habitats des berges grâce aux racines et branchage des arbres et arbustes qui servent alors de caches pour les macroinvertébrés (Figure 26). D'autres avantages de la

diversité des strates sont également recensés. Elles ont un effet « réservoir génétique » par l'amélioration de la dynamique des peuplements avec une meilleure connections entre les compartiments mais aussi un effet protection. En effet, les arbres protègent du vent, du soleil et de la chaleur (empêchant la rivière de se réchauffer) mais également de l'érosion avec un maintien des berges (MEEDAT, 2008).

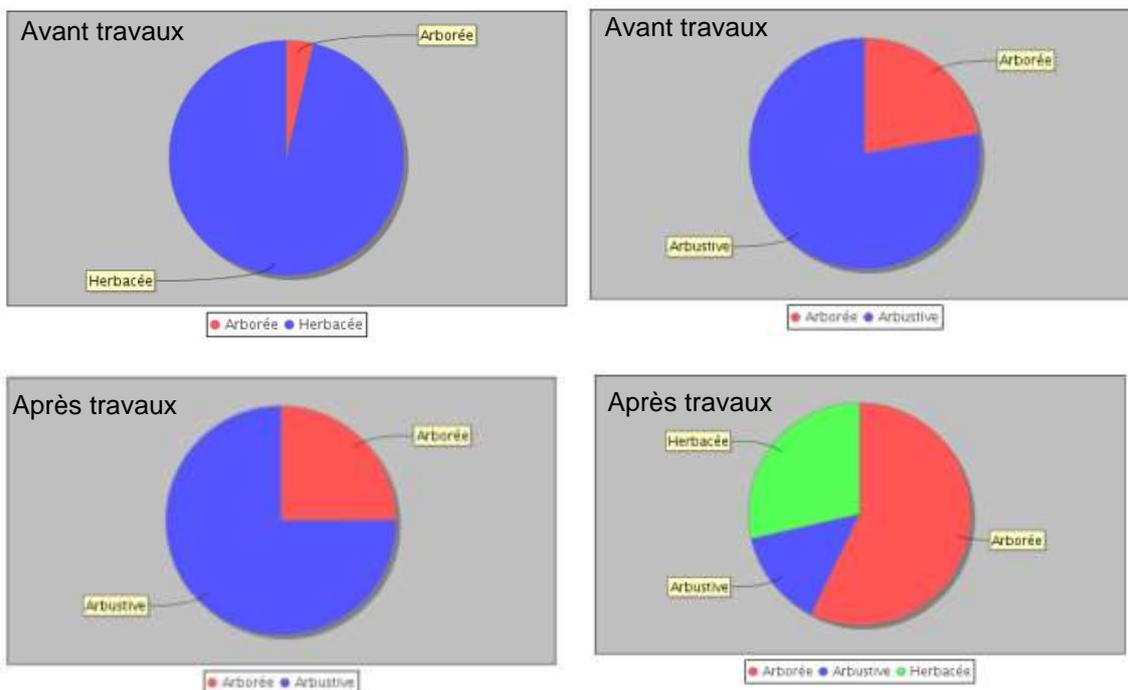


Figure 25 : Diversité des strates de la station d'Obersteinbach (à gauche) et du Restaurant (à droite)

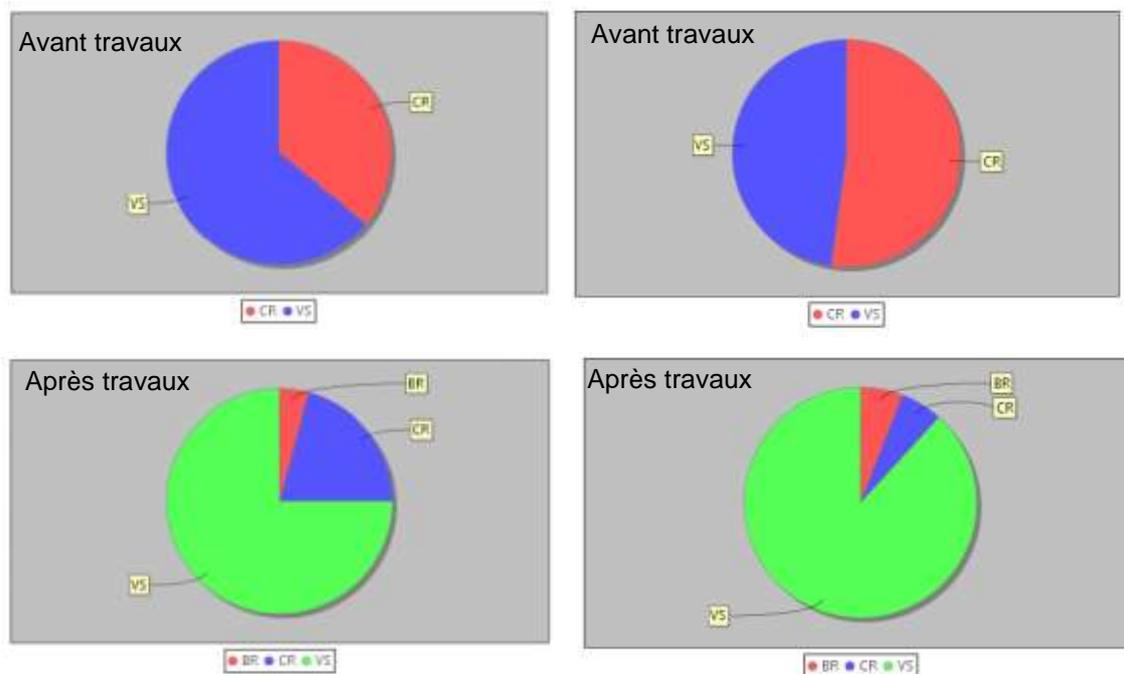


Figure 26 : Diversité des habitats des berges de la station d'Obersteinbach (à gauche) et du Restaurant (à droite) avant et après travaux de restauration

Enfin, nous observons une diversification des faciès d'écoulement sur deux des trois stations de restauration du bassin versant du Steinbach (Friche et Restaurant). Ceci permet alors d'améliorer d'une part la diversité des profondeurs et de la vitesse d'écoulement du cours d'eau attirant ainsi une diversité plus importante d'espèces aquatique. En effet certaines espèces préfèrent les zones profondes à faible courant, et d'autres plutôt les zones peu profondes (Malavoi, 2012). D'autre part ceci permet d'améliorer la dynamique du cours d'eau et la diversité granulométrique par l'amélioration du processus de transport et de dépôt de la rivière. Nous pouvons le retrouver avec l'augmentation de la taille des grains (et notamment du D84 avec un Etude scientifique de suivi des opérations de restauration de la continuité écologique des cours d'eau des Vosges du Nord

coefficient multiplicateur de 2 pour la Friche) qui apporte un effet positif à la station puisque ça signifie qu'il y a plus de transport et une hétérogénéisation du fond du lit qui permet alors d'obtenir plus d'habitat pour la faune aquatique, et évitant le comblement des frayères par les sédiments trop fins.

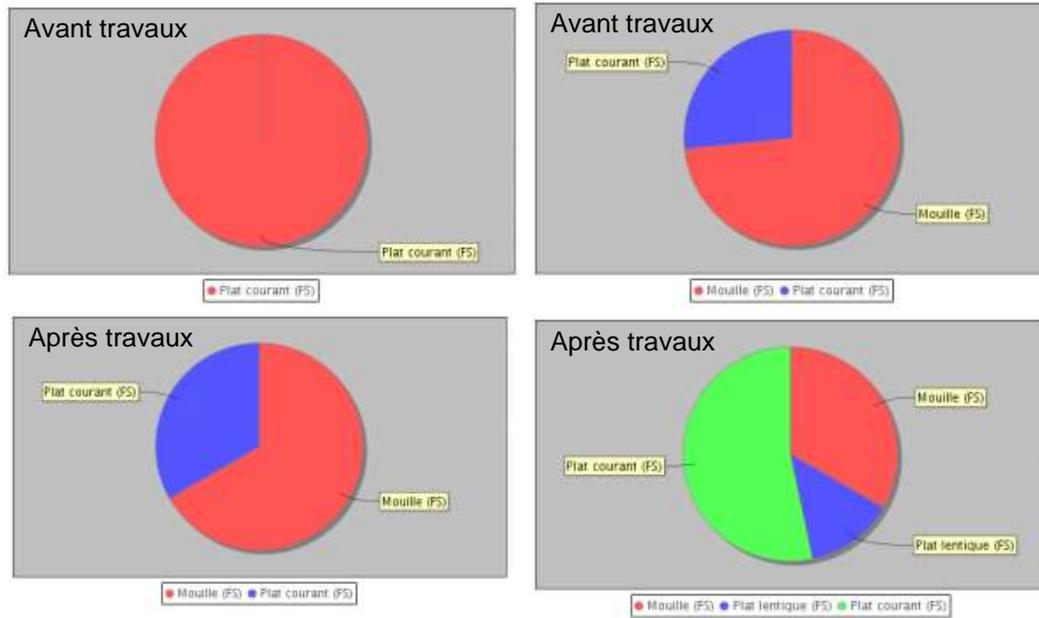


Figure 27 : Diversité des faciès d'écoulement des stations de la Friche (à gauche) et du Restaurant (à droite) avant et après travaux de restauration

En conclusion pour ce compartiment, nous nous attendions à plus de réaction. En effet, il s'agit d'un compartiment très variable dans le temps dû au remodelage constant par les processus d'érosion et de dépôt de la rivière qui est en recherche constante d'un équilibre dynamique (Schumm, 2005 ; Malavoi, 2012). Cependant, malgré une base de données incomplète, nous avons tout de même observé une tendance positive des travaux de restauration sur la diversification de la granulométrie pour la station de la friche et la diversification des strates pour les stations d'Obersteinbach et du Restaurant ce qui signifie qu'il y a une création potentiel d'habitats pour la faune aquatique avec une habitabilité plus élevée (de l'ordre de 6 à 7 d'après la norme XP T90-333). De plus ça peut augmenter le nombre de zones de fraies pour les chabots, la lamproie et la truite (espèces ciblées par les travaux de restauration) et donc avoir un effet positif sur la population piscicole. Cette réaction plus faible peut également être expliquée par le fait que les stations ne sont pas situées directement dans la zone impactée par les travaux mais en amont. Cela a pour conséquences, d'une part de prendre en compte les effets induits par les travaux sur une échelle spatiale plus large et donc d'avoir des réponses potentiellement plus faibles pour certains paramètres que dans la zone de travaux. D'autre part, la station de l'étang est en attente de l'érosion régressive induite par les travaux. Elle est donc encore en évolution.

### 3.2. Effet des travaux sur le compartiment des macroinvertébrés

Nous avons pu voir d'après les bases de données un effet positif sur l'abondance en macroinvertébrés (Figure 26). De plus, on peut observer une augmentation des espèces polluosensibles, notamment sur la station de la friche (Figure 26). On a, en effet, les EPTC (Ephéméroptères, plécoptères, trichoptères et coléoptères) qui sont des espèces avec une polluosensibilité élevée (Figure 24). Ils sont alors présents dans des environnements faiblement voire pas impactés par une pollution et pression sur leur écosystème. Le fait d'avoir une réponse de cet indicateur nous indique donc bien que les sites présentent un écosystème sain pour ces espèces. Si on s'intéresse au coefficient multiplicateur avant et après travaux, on remarque que le nombre de trichoptères a été multiplié par près de 2,5 entre avant et après les travaux pour la station amont de la friche et de plus de 5 en aval (Annexe 16). Concernant les EPTC, on a un coefficient multiplicateur compris entre 8 et 34 entre avant et après travaux sur l'ensemble des stations concernées (Annexe 16). On a donc eu un impact positif relativement important pour ces espèces polluosensibles. Cependant, en parallèle, nous avons encore une augmentation des espèces polluorésistantes (Diptères) sur l'ensemble des stations. Ceci peut être dû au retrait des seuils faisant obstacles à la continuité écologique.

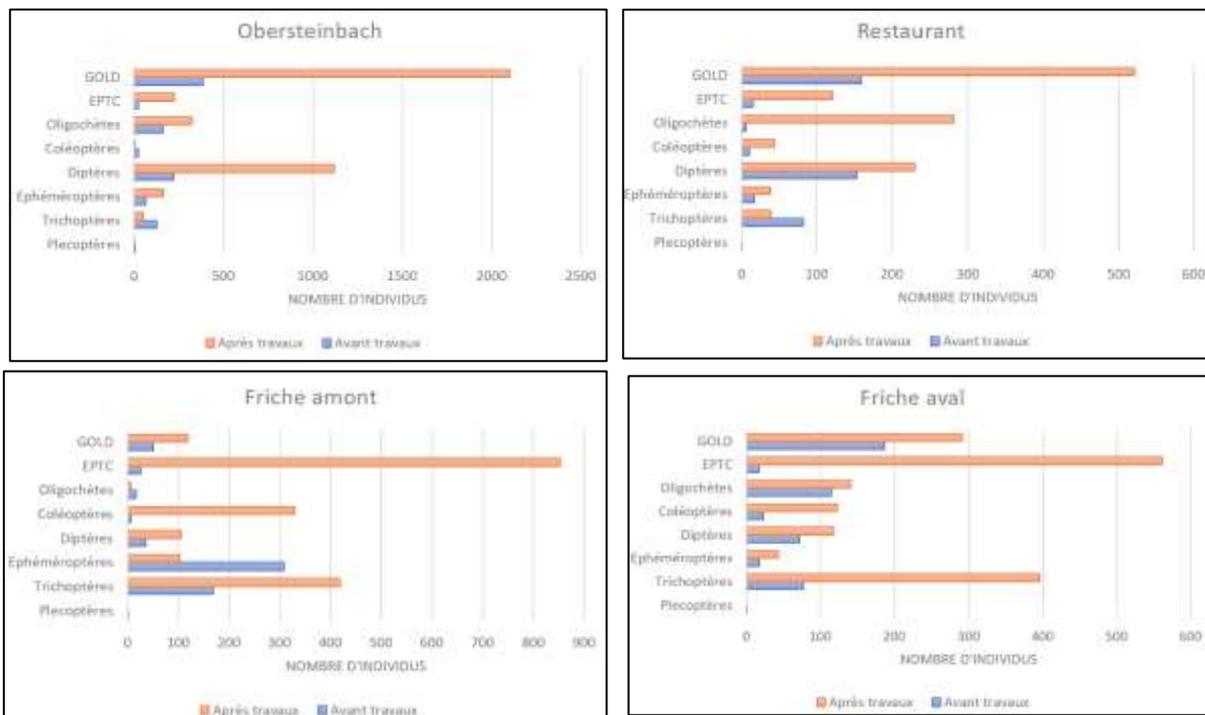


Figure 26 : Abondance en macroinvertébrés par station

### 3.3. Effet des travaux sur le compartiment piscicole

Pour ce compartiment nous pouvons constater que les objectifs recherchés par les travaux, à savoir une abondance plus importante des espèces cibles (lamproie et chabot) n'ont pas encore été atteints. En effet, si on s'intéresse au paramètre de présence/absence d'espèces, on se rend compte qu'il n'y a pas eu de grosse amélioration pour les stations restaurées. Pour le site d'Obersteinbach, on retrouve quelques espèces présentes avant travaux mais les effectifs sont plus faibles. En revanche on voit qu'il y a eu disparition de deux espèces. Pour le site de la Friche, on retrouve les espèces cibles avec un effectif plus important pour les truites mais beaucoup plus faibles dans les autres espèces (Figure 22). En revanche, nous avons une absence de deux espèces invasives présentes avant les travaux (loche et épinouche). Enfin, pour la station du Restaurant, on observe une diminution importante des espèces présentes avant travaux avec une disparition des épinouches. Cependant, les conditions de pêche n'étant pas optimales, nous pouvons considérer que ces résultats ne sont pas totalement représentatifs de la station.

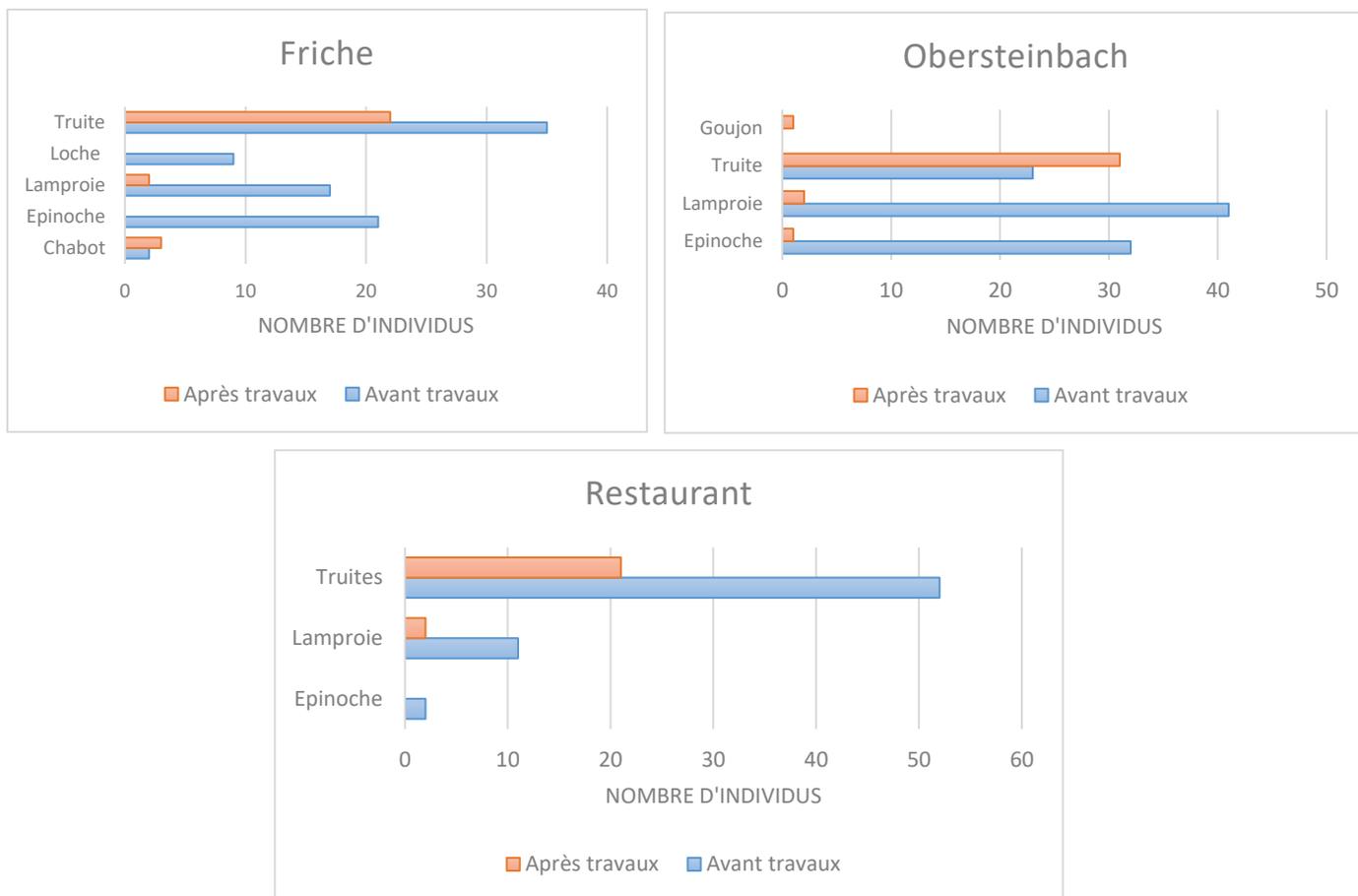


Figure 27 : Effectifs par espèce de poisson pour les stations d'Obersteinbach (en haut à droite), de la Friche (en haut à gauche) et du Restaurant (en bas)

En conclusion pour ce compartiment, nous nous attendions à un résultat assez faible dû à la temporalité de la fin des travaux qui est assez proche de l'étude de suivi. Les poissons n'ont probablement pas encore eu le temps nécessaire pour recoloniser les espaces. En revanche, la disparition de deux espèces invasives permet de réduire la concurrence avec les espèces ciblées pas les travaux. De plus, l'augmentation de la taille des individus signifie que nous pouvons prévoir une augmentation du nombre de géniteur et donc, par la suite, d'une augmentation de la population.

## 4. Bassin versant du Sultzbach

### 4.1. Effets des travaux sur le compartiment de l'hydromorphologie

Nous avons pu observer une évolution de la ripisylve (comme pour les stations du bassin versant du Steinbach) avec une diminution de la part herbacée et une augmentation de la strate arborée et arbustive (Figure 28). Nous avons donc une augmentation de strate proposant un plus grand nombre d'habitats avec une augmentation de leur diversité. Comme expliqué précédemment, ceci pourra par la suite, influencer la diversité des habitats des berges et donc attiré des espèces piscicoles et de macroinvertébrés dans la station (MEEDAT, 2008).

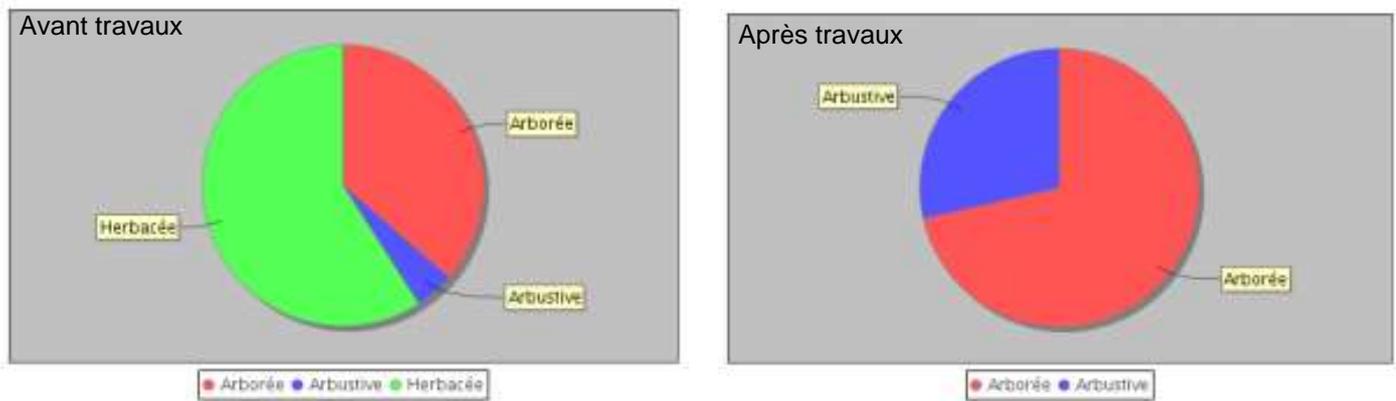


Figure 28 : Diversité des strates de la station de

Nous observons également une diversification des faciès d'écoulement permettant alors d'améliorer la diversité des profondeurs et la vitesse d'écoulement du cours d'eau attirant ainsi une diversité plus importante d'espèces aquatique (Figure 29). On peut observer dans le même temps une amélioration de la dynamique du cours d'eau et la diversité granulométrique par l'amélioration du processus de transport et de dépôt de la rivière. En effet, grâce aux coefficient multiplicateur nous pouvons observer une augmentation importante de la taille des grains avec une multiplication par 2,3 pour le D16, 1,6 pour le D50 et 1,2 pour le D85 apportant ainsi une tendance positive vers l'hétérogénéisation du lit et donc la diminution du risque de comblement des frayères et des caches de la faune aquatique (annexe 16)

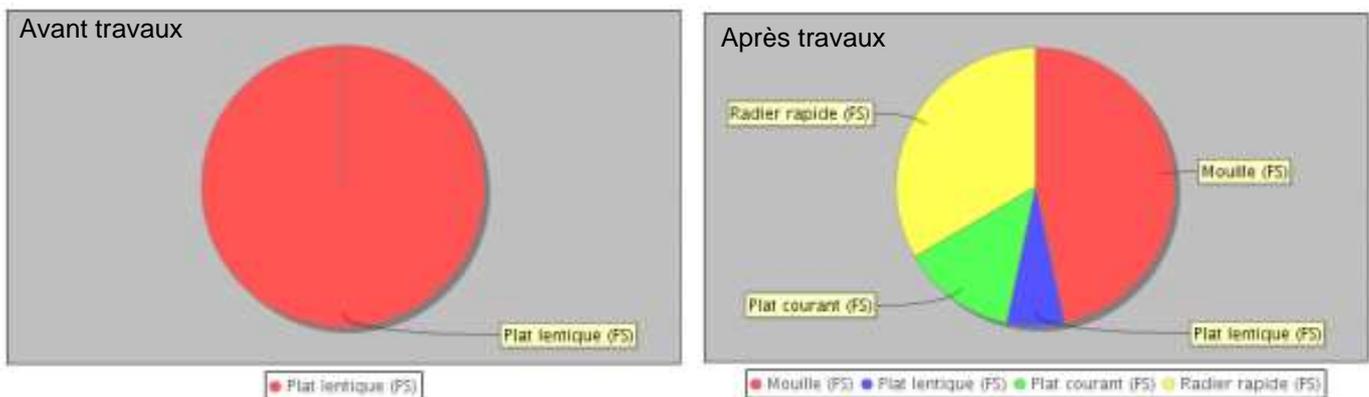


Figure 29 : Diversité des faciès d'écoulement de la station de Woerth

En conclusion, comme pour les autres stations, nous nous attendons à plus de réaction. Cependant, nous pouvons observer quelques effets positifs engendrés par les travaux de restauration sur la diversification de la granulométrie et la diversification des strates. Ceci pourra par la suite engendrer un effet positif sur les habitats pour la faune aquatique avec une augmentation des habitats. De plus ça peut augmenter le nombre de zones de fraies pour les chabots, la lamproie et la truite (espèces ciblées par les travaux de restauration) et donc avoir un effet positif sur la population piscicole.

#### 4.2. Effets des travaux sur le compartiment macroinvertébrés

Nous avons pu observer tout d'abord une augmentation du nombre d'espèces polluosensibles sur la station de Woerth (Figure 30). En effet, on peut voir que le nombre d'individus éphéméroptères a été multiplié par 4 pour la station amont et 2 pour la station aval entre avant et après les travaux de restauration. Le nombre d'EPTC, quant à lui, a été multiplié par 23 pour la station amont et 10 pour la station aval (annexe 16). On peut donc conclure que nous avons un début d'amélioration de la qualité de la station permettant une proportion d'individus polluosensibles plus importante après qu'avant les travaux de restauration. Nous avons donc un impact positif relativement important pour ces espèces polluosensibles. En revanche nous avons également une forte augmentation du nombre de Diptères et de GOLD. Il s'agit d'espèces de macroinvertébrés polluo-résistant donc supportant les pressions et pollution dans les cours d'eau. La présence de ces espèces ne détermine pas si la qualité des écosystèmes a été amélioré par les travaux de restauration. Elles ont pu augmenter, tout comme les espèces polluosensibles, à cause du retrait du seuil de prise d'eau.

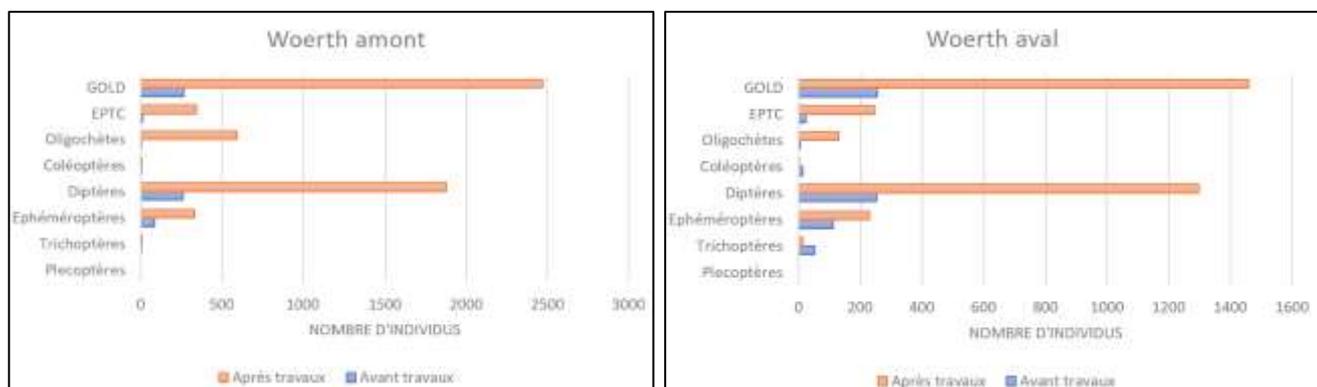


Figure 30 : Abondance en macroinvertébrés pour la station de Woerth

### 4.3. Effets des travaux sur le compartiment piscicole

Pour le compartiment piscicole nous pouvons constater les mêmes conclusions que pour les stations précédentes à savoir que les objectifs d'amélioration de l'abondance des espèces cibles (lamproie et chabot) recherchés par les travaux n'ont pas encore été atteints. Les stations n'ont pas encore assez évolué pour voir apparaître des modifications significatives dans la population piscicole des rivières (Figure 31). Nous avons pu observer tout de même une augmentation de l'abondance pour deux espèces (truite et chevesne) (Figure 31). Il y a également l'arrivée de deux autres espèces non présentes avant les travaux de restauration à savoir le spirilin et les épinoches. En ce qui concerne l'épinoche, d'après l'observatoire des poissons de Seine Normandie, il s'agit d'une espèce pouvant être considérée comme nuisible et dont l'importance de la qualité de l'habitat est faible. En revanche, d'après l'observatoire, le spirilin peut être considéré comme une espèce bioindicateur car il est sensible à la pollution. De plus il s'agit d'une espèce rhéophile donc préférant vivre dans des rivières avec une vitesse d'écoulement plutôt rapide. Son apparition après travaux signifie donc que les travaux ont pu engendrer un effet positif sur la dynamique du cours d'eau au droit du site comme nous avons pu l'observer avec le compartiment hydromorphologique.

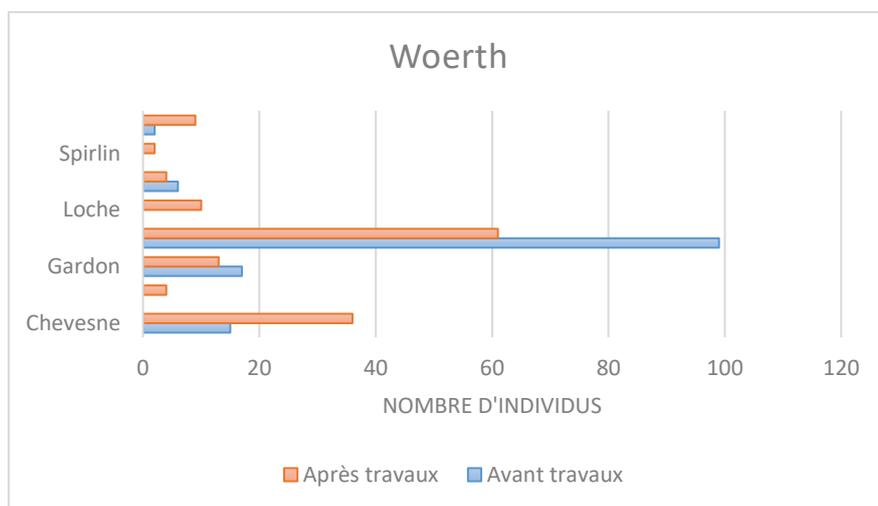


Figure 31 : Effectifs par espèce de poisson pour la station de Woerth

## 5. Bassin versant de la Lauter

Partie à compléter après les travaux de restauration

- 5.1. Effets des travaux sur le compartiment de l'hydromorphologie
- 5.2. Effets des travaux sur le compartiment macroinvertébrés
- 5.3. Effets des travaux sur le compartiment piscicole
- 5.4. Effets des travaux sur l'ensemble des compartiments

## 6. Résultats de l'analyse statistique

### 6.1. Compartiment hydromorphologique

Pour l'analyse de ce compartiment, nous avons utilisé uniquement les données brutes acquises sur le terrain. En effet, nous avons rencontré un problème lors du traitement des données hydromorphologiques par le laboratoire. Nous n'avons donc pas acquis la base de données complète pour effectuer les analyses.

Nous avons tout de même pu effectuer une analyse sur certains paramètres. L'ACP a permis de déterminer que, malgré la base de données incomplète, nous observons une dissimilarité entre certaines stations avant les travaux et après les travaux (Figure 32). En effet, on remarque que pour l'ensemble des stations (hormis celle du Restaurant) nous obtenons un écart significatif sur l'axe le plus représentatif (F1). L'écart est de l'ordre de 1 voire 2. En observant plus en détail grâce à la CAH, nous pouvons observer cette écart entre les station d'Obersteinbach et de la friche humide de Niedersteinbach (Figure 32). Cependant, il ne semble pas y avoir d'écart significatif pour la station de Woerth. En s'intéressant aux paramètres ayant le plus de poids dans cette dissimilarité, nous pouvons voir qu'il s'agit de la diversité des strates, du rapport l/p mais également du D84. Concernant le rapport l/p, nous avons vu dans la partie 2 1.2 que le rapport largeur/profondeur a diminué dû à la diminution du fond du lit du cours d'eau. La rivière est donc encore en évolution. Ce paramètre ne nous indique donc pas à première vue s'il y a eu des effets positifs engendrés par les travaux de restauration. En revanche, nous avons bien observer une augmentation de la taille des grains pour la station de Woerth et de la friche après les travaux de restauration.

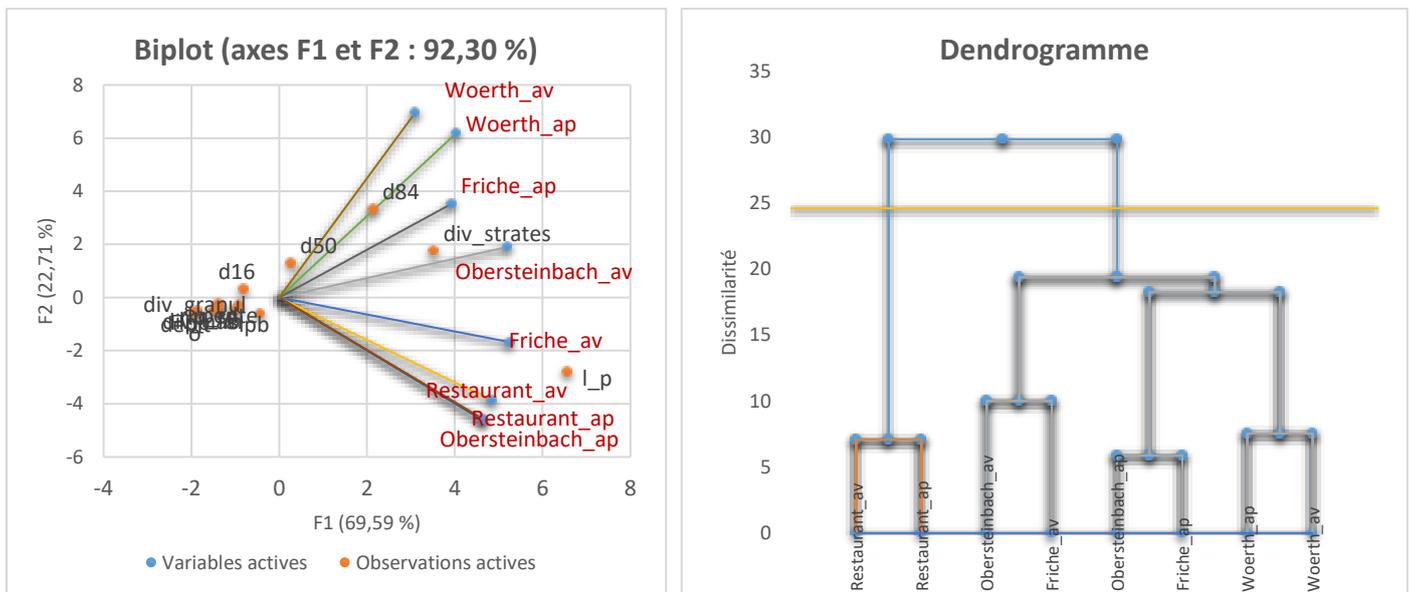


Figure 32 : Résultats de l'ACP (gauche) et de la CAH (droite) des stations avant et après travaux pour le compartiment hydromorphologique

### 6.2. Compartiment macroinvertébrés

L'analyse statistique a permis de faire remarquer une distance entre la station 3 de la friche de Niedersteinbach avec les autres stations. Cette distance est engendrée par les variables Obs56 et Obs61 pour la station 3 (correspondant aux variables du nombre d'individu trichoptère et de l'abondance en EPTC après travaux) et les variables Obs58 et Obs62 pour les autres stations (correspondant aux paramètres du nombre d'individu diptères et de l'abondance en GOLD) (Figure 33). On a donc un poids plus important des variables après travaux signifiant que les travaux ont eu un impact sur le milieu. Nous avons pu constater lors de l'analyse des bases de données.

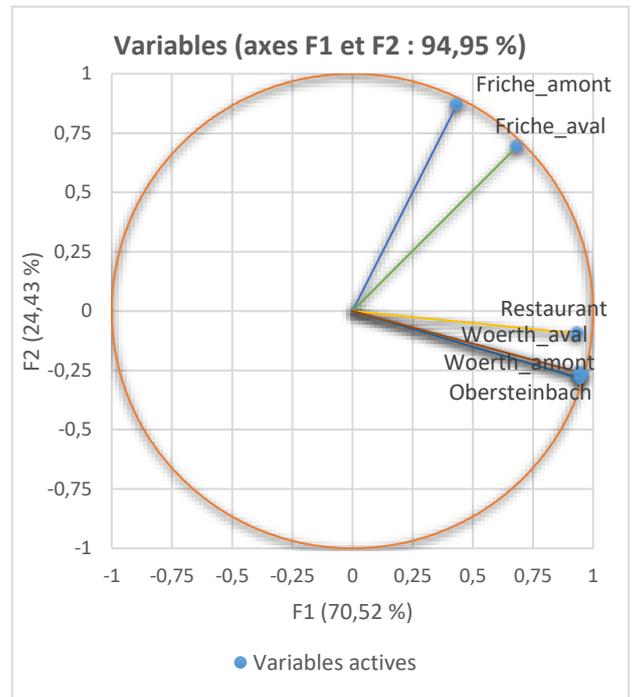
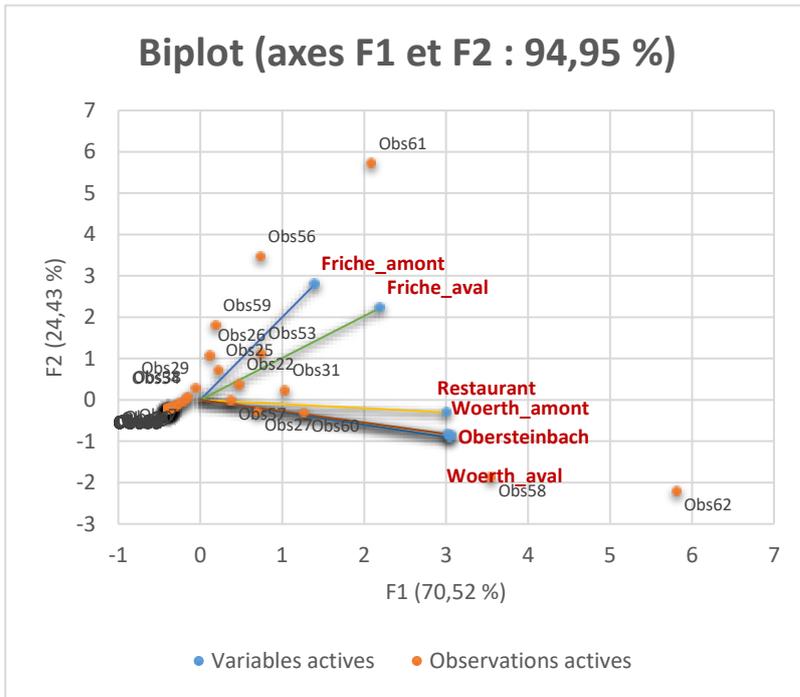


Figure 33 : Résultats de l'ACP par paramètres pour le compartiment macroinvertébrés

Si on regarde plus en détail les paramètres ayant le plus de réaction, on arrive à distinguer un écart significatif entre les EPTC avant et après travaux (Figure 34). Il y a donc bien eu un effet sur ces espèces polluosensibles. En analysant le dendrogramme de la CAH on retrouve bien cette dissimilarité entre les EPTC avant et après travaux. Il y a également une distinction qui apparaît pour les diptères et les GOLD. Dû notamment à la forte augmentation pour la station de Woerth.

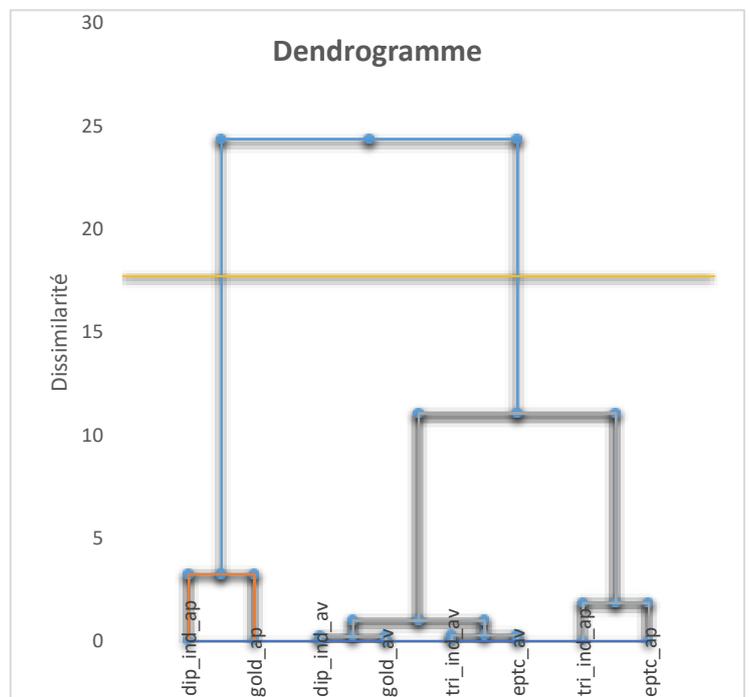
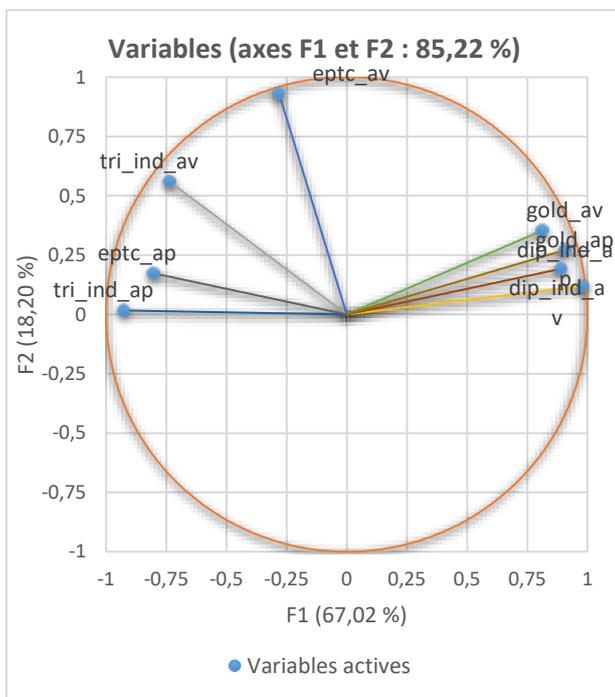


Figure 34 : Résultats de l'ACP (gauche) et de la CAH (droite) par paramètres ayant le plus réagit pour le compartiment macroinvertébrés

En effectuant une ACP avant-après travaux on confirme bien une distinction entre les stations 3 de la friche avant et après travaux. En revanche, les autres stations présentent des distinctions plus faibles expliqué par le fait que les travaux de restauration ont été achevés plus récemment que sur la station 3 (*Figure 35*). On retrouve bien cette dissimilarité en observant le dendrogramme produit après l'analyse de classification ascendante hiérarchique. On retrouve en effet une sous-classe regroupant les station amont et aval de la friche après travaux, une autre sous-classe essentiellement composée des stations avant travaux et un dernière sous-classe regroupant essentiellement des stations après-travaux. On retrouve donc bien une première dissimilarité entre les stations avant et après travaux.

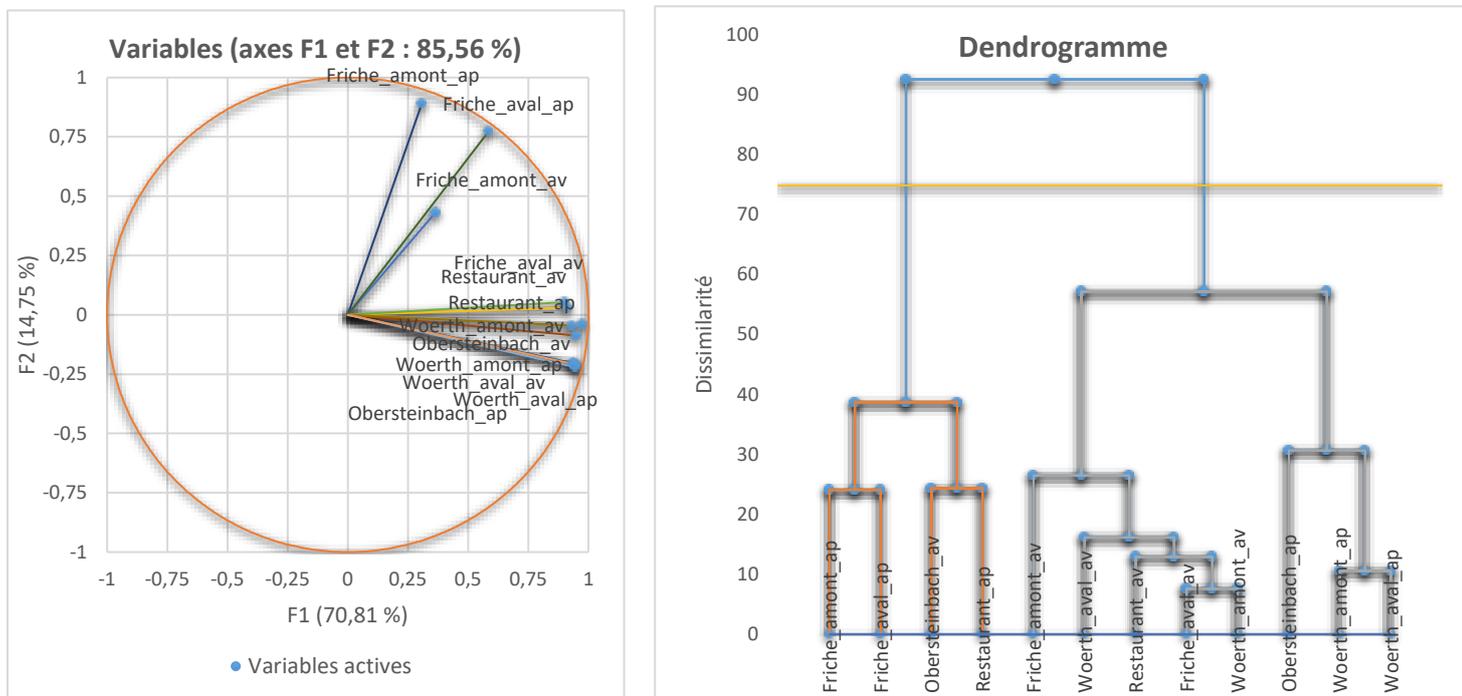


Figure 35 : Résultats de l'ACP (gauche) et de la CAH (droite) des stations avant et après travaux pour le compartiment macroinvertébrés

### 6.3. Compartiment piscicole

On remarque, d'après l'ACP par paramètres, une distance entre les stations du Steinbach et celle du Sultzbach ce qui est normal au vu de leur localisation (*Figure 36*). La station 4 du Cheval blanc à Niedersteinbach a été retiré pour l'ACP à cause d'un manque de données après travaux. On remarque un poids plus important des variables de tailles des poissons. Nous avons donc observé une modification des tailles entre l'avant et l'après travaux.

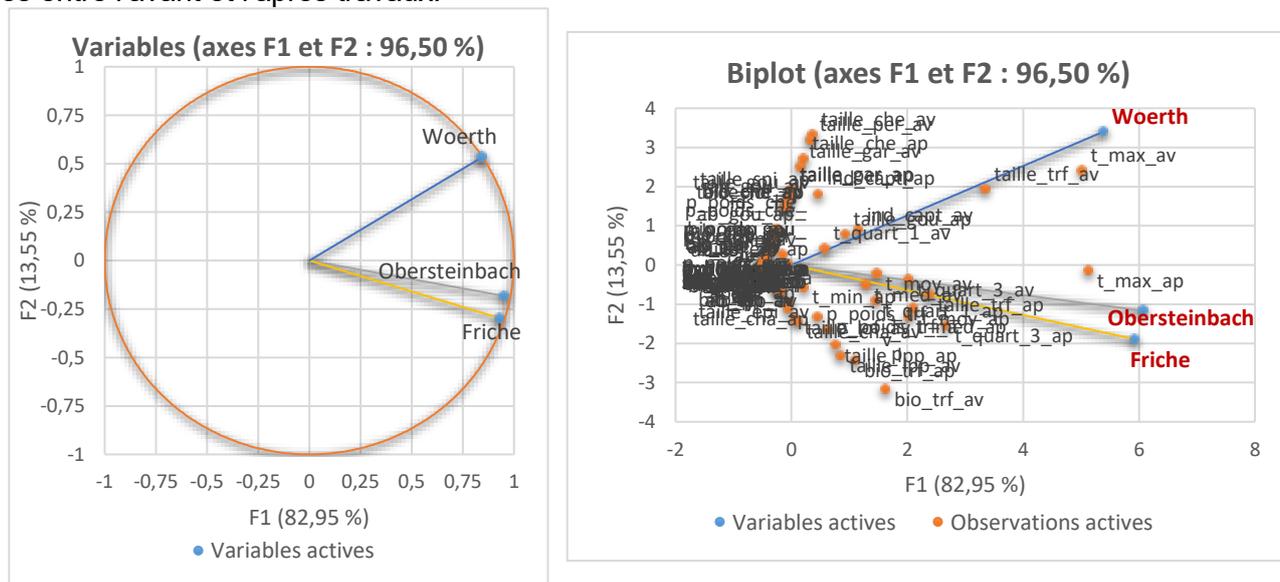


Figure 36 : Résultats de l'ACP par paramètres pour le compartiment piscicole

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 transcendantales dans la population piscicole des rivières. On devine un léger début de dissimilarité entre la station 3 avant et après travaux puisque c'est celle ayant le plus évolué (Figure 37). Cette petite modification est confirmée grâce à une analyse factorielle des correspondances. On remarque que ces stations sont relativement éloignées l'une de l'autre contrairement à la station d'Obersteinbach. En revanche, l'évolution n'est pas encore assez importante pour obtenir de bon résultats pour la classification ascendante hiérarchique contrairement au compartiment des macroinvertébrés. Le cycle de vie de la faune piscicole est plus long que les macroinvertébrés (entre 2 et 3 ans) ce qui signifie que la réponse aux travaux de restauration sera visualisée plus tard. Dans notre cas actuel, nous sommes au maximum 1 an 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. Un prochain suivi devra être réalisé 3 ans après travaux afin de récolter plus de résultats sur une plus grande quantité de paramètres (Malvoï, 2012).

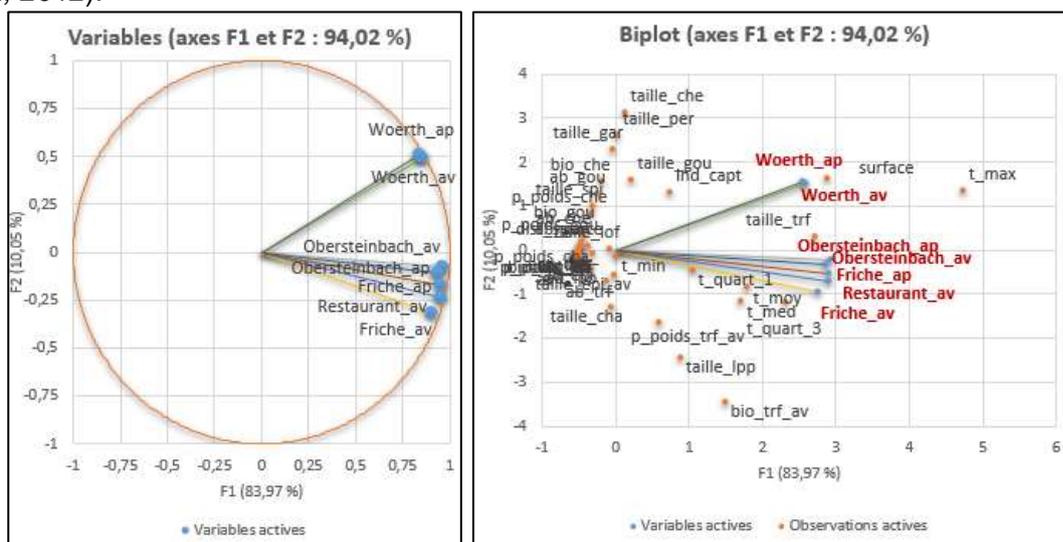


Figure 37 : Résultats de l'ACP des stations avant et après travaux pour le compartiment piscicole

#### 6.4. Comparaison entre les différents compartiments

Une étude statistique entre les différents compartiments permet notamment de mettre en avant les indicateurs ayant eu le plus de modification et donc chercher à savoir quel compartiment a le plus été modifié par les travaux de restauration. Il a été décidé d'effectuer une analyse spatiale comparative en retirant les données issues de la station aval de la friche humide afin d'éviter les cases vides dans les bases de données.

La comparaison entre les différents compartiments fait ressortir uniquement les indicateurs liés aux macroinvertébrés (Figure 38). En effet on observe que les données ayant le plus de poids dans cette ACP sont les EPTC, trichoptères, diptères et GOLD. Nous avons donc un compartiment qui a réagi plus que les autres, à savoir celui des macroinvertébrés. On remarque également qu'il s'agit uniquement des indicateurs après travaux de restauration. Ceci signifie que l'impact sur les stations a été suffisant pour faire apparaître en majorité les données récoltées après les travaux de restauration.

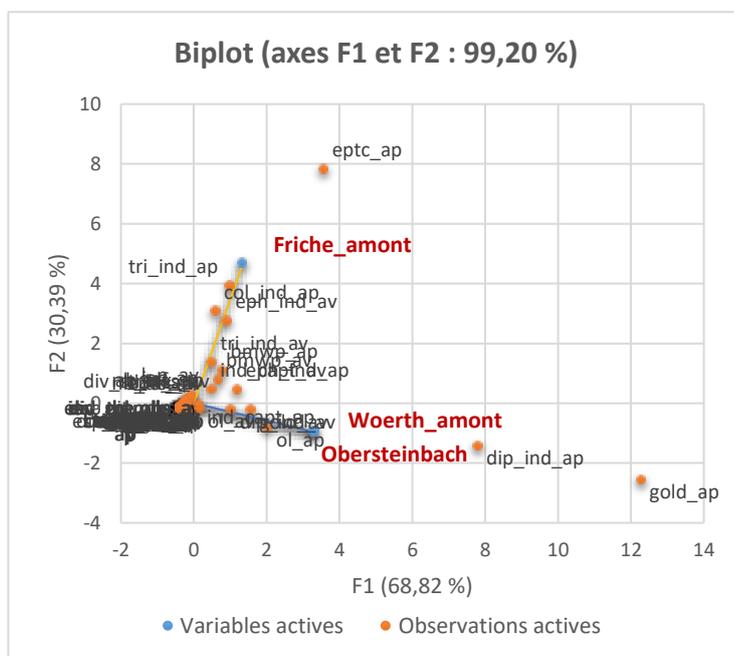


Figure 38 : Résultats de l'ACP par paramètres pour l'ensemble des compartiments



### 1. Synthèse des résultats de l'analyse effectuée juste après travaux (2021)

Depuis plusieurs années maintenant, l'homme a posé son empreinte dans beaucoup d'espaces naturels. Ceci dans l'objectif d'améliorer ses conditions de vie mais parfois au détriment des écosystèmes qui l'entourent et de la faune et de la flore qu'ils abritent. Concernant les cours d'eau, l'utilisation de barrages et de chenalizations ont rendu ces milieux aquatiques fragiles et vulnérables aux diverses pressions en bloquant la libre circulation des espèces et des sédiments et engendrant de nombreux impacts sur la qualité de la faune aquatique et leurs habitats. Les travaux menés dans le cadre de ce projet ont donc eu pour objectif d'améliorer la continuité écologique des cours d'eau en supprimant les aménagements pouvaient freiner cette libre circulation. Un suivi scientifique des travaux de restauration de la continuité écologique a été engagé dans le même temps et en parallèle de ce projet.

Pour cela, une recherche bibliographique a été engagée afin de déterminer quels étaient les compartiments visés par les travaux. S'agissant d'opération pour améliorer la continuité écologique, les compartiments impactés seraient la faune aquatique et leurs habitats, à savoir, les poissons, les macroinvertébrés et l'hydromorphologie. Les phases de terrain ont alors permis de récolter des données brutes avant et après les travaux. Ceci dans l'objectif de les analyser et les comparer afin d'obtenir des réponses sur l'amélioration de la qualité des milieux aquatiques et des conditions de vie pour la faune qui s'y cache.

Cette étude a permis alors de mettre en lumière certains effets positifs des travaux. Il a, en effet, été détecté une proportion plus importante d'espèces polluosensibles pour la faune des macroinvertébrés qui n'étaient pas présente avant les travaux sur l'ensemble des stations. Ces effets étaient recherchés par ces opérations de restauration comme dans beaucoup d'autres restauration de cours d'eau déjà recensées (*Dos Reis Oliveira, 2020*). Effet notamment engendré par l'amélioration de la diversité des habitats et de la dynamique du cours d'eau par la diversification des faciès d'écoulement. Ceci apporte un effet positif car ça permet d'obtenir un apport plus hétérogène en granulométrie et donc de diversifier les habitats qui s'y trouve. Par la suite cette amélioration pourra attirer plus d'espèces aquatiques. Enfin, sur certaines stations (friche et restaurant), nous avons vu disparaître des espèces piscicoles considérée comme invasives. Ceci permet de laisser plus de place et d'engendrer moins de concurrence pour les espèces cibles (chabots, lamproies et truites).

### 2. Limites de l'étude

Cette étude regroupe tout de même quelques limites dans la phase de terrain et pour l'acquisition des données. D'une part, les phases de terrain n'ont pas toujours été faites dans les meilleures conditions. En effet, afin d'obtenir des résultats les plus concluant possible, il est important de réaliser les prélèvements dans les meilleures conditions hydrologiques à savoir, idéalement, en période de basses eaux. Du fait du travail avec d'autres bureaux d'études et l'importance d'obtenir les données avant le mois d'août afin d'avoir le temps d'effectuer les analyses au cour du stage, la flexibilité des jours de terrain n'était pas très importante. Nous avons donc dû, par moment effectuer des prélèvements dans des conditions qui n'étaient pas les plus optimales. La visibilité du fond du lit n'était, par exemple, pas toujours très bonne ce qui pouvait engendrer des problèmes de reconnaissance d'habitat (pour le prélèvement des macroinvertébrés) ou de repérage des poissons (dans le cadre de la pêche électrique).

Une autre limite peut être signalée quant à l'utilisation de certaines techniques de terrain. En effet, lors des pêches électriques, un seul passage a été réalisé sur chaque station (à savoir une remontée du cours d'eau d'aval vers l'amont). Certains poissons alors cachés dans la végétation aquatique ont pu ne pas être repéré ce qui peut engendrer une légère perte de données.

Enfin, nous avons rencontré un problème lors de l'acquisition des données hydromorphologiques. Nous n'avons, en effet, pas acquis la base de données complète pour effectuer les analyses. Nous étions en possession des données brutes, à savoir les données récoltées sur le terrain. Les données retravaillées nous ont donc pas été fourni dans les temps. Les résultats de l'analyse statistiques ont alors pu être impactés.

Il est a noté également que les travaux ont été terminés en 2019 et 2020, soit il y a 1 ou 2 ans. Il s'agit d'un temps très court durant lequel la faune, la flore et la rivière n'ont pas encore eu un temps important pour évoluer. En effet, nous pouvons lire dans le document d'«Aide à la définition d'une étude de suivi –

recommandations pour des opérations de restauration de l'hydromorphologie des cours d'eau » de Malavoi et.al (2012) que les premiers suivis après travaux de restauration doivent être réalisés, au mieux, 3 ans après les travaux pour le compartiment biologique afin de laisser le temps de la recolonisation et de la réalisation d'un cycle biologique complet

### 3. Améliorations et perspectives

Il s'agit ici d'un premier suivi à une échelle de temps courte ce qui permet de mettre en évidence les impacts immédiats des travaux de restauration de la continuité écologique. Il est donc nécessaire, afin d'analyser l'ensemble des effets induits par ces opérations, de prolonger ce suivi sur une période plus longue (3 ans, 6 ans ou 9 ans). L'ensemble des suivis devront donc être fait sur les mêmes stations de mesure afin de pouvoir effectuer une analyse de l'évolution au cours du temps des effets induits par les travaux de restauration de la continuité écologique. Des suivis devront également être réalisés sur les stations en cours de restauration afin de compléter les bases de données.

De plus, d'après l'article « Over forty years of lowland stream restoration : Lessons learned ? » (*Dos Reis Oliveira, 2020*), peu de suivi ont été décrit, à savoir la conception, le type de suivi, a temporalité. Il est donc important de continuer à publier les résultats des prochains suivi et de mettre à jour les méthodes utilisées.

## Bibliographie

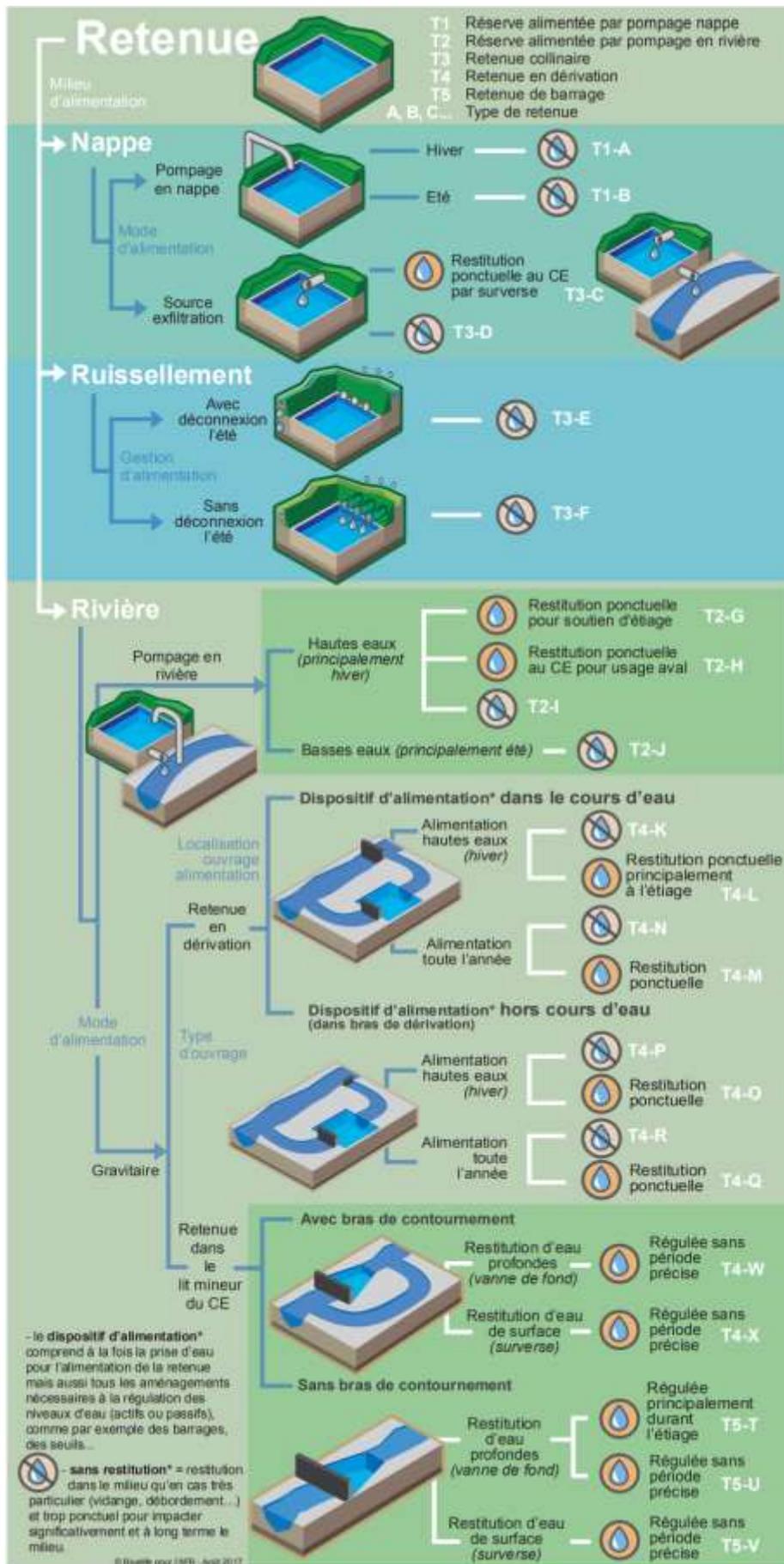
---

- AFNOR (2003). *Qualité de l'eau - Échantillonnage des poissons à l'électricité*.
- AFNOR (2011). *Qualité de l'eau - Détermination de l'indice poissons rivière (IPR)*
- AFNOR (2016). *Qualité de l'eau – Prélèvement des macroinvertébrés aquatiques en rivière peu profondes*
- AFNOR (2020). *Qualité de l'eau - Analyse d'échantillons contenant des macroinvertébrés de cours d'eau, canaux et plans d'eau*
- Agence de l'eau Loire-Bretagne. (2006). *Le prélèvement d'échantillons en rivière—Guide technique d'échantillonnage en vue d'analyses physico-chimiques*.
- Agence de l'eau Rhin-Meuse. (2016). *Plan de gestion des poissons migrateurs du bassin Rhin-Meuse pour la période 2016-2021*.
- Arora, R., Toffolon, M., Tockner, K., & Venohr, M. (2018). *Thermal discontinuities along a lowland river: The importance of urban areas and lakes*. 564.
- Artelia (2017). *SYCOPARC Projet LIFE Biocorridors – Site n°2 : Le Steinbach à Niedersteinbach. Avant-projet*. 27
- Artelia (2017). *SYCOPARC Projet LIFE Biocorridors – Site n°1 : Le Steinbach à Niedersteinbach. Projet*. 33
- Artelia (2017). *SYCOPARC Projet LIFE Biocorridors – Site n°1 : Le Steinbach à Obersteinbach. Avant-projet*. 38
- Artelia (2018). *SYCOPARC Projet LIFE Biocorridors – Site n°2 : Le Steinbach à Niedersteinbach*. 24
- Baudoin, J. M., Gob, F., Boutet-Berry, L., Cagnant, M., Lamand, F., Malavaoi, J. R., Tamisier, V., Kreutzenberger, K., Marmonier, P., Penil, C., Rivière, C., Sadot, M., Tual, M., AFB, Université de Lyon, & CNRS. (2017). *Un outil de caractérisation hydromorphologique des cours d'eau pour l'application de la DCE en Franc (CARHYCE)*.
- Baudry, J. (2002). *Les échelles d'espace et de temps en écologie de la restauration*.
- Baxter, R. M. (1977). *Environmental effects of dams and impoundments*. 8.
- Belliard, J., Ditché, J. M., Roset, N., & Dembski, S. (2012). *Guide pratique de mise en oeuvre des opérations de pêche à l'électricité—Dans le cadre des réseaux de suivi des peuplements de poissons* (Guides et protocoles, p. 31) [Guides].
- Carluer, N., Babut, M., Belliard, J., Burger-Leenhardt, D., Dorioz, J. M., Douez, O., Dufour, S., Grimaldi, C., Habets, F., Le Bissonnais, Y., Molénat, J., Rollet, A. J., Rosset, V., Sauvage, S., Usseglio-Polatera, P., & Leblanc, B. (2016). *Impact cumulé des retenues d'eau sur le milieu aquatique* (p. 325) [Expertise scientifique collective sur l'impact cumulé des retenues].
- CLIMAX et coll. (2020). *Expertise écologique de 3 sites « cours d'eau » faisant l'objet d'un projet de restauration de la continuité écologique dans le cadre du programme LIFE « Biocorridors »*.
- Commission Européenne. (2009). *Natura 2000*.
- Descloux, S. Le colmatage minéral du lit des cours d'eau : méthode d'estimation et effets sur la composition et la structure des communautés d'invertébrés benthiques et hyporhéiques. Sciences agricoles. Université Claude Bernard - Lyon I, 2011.
- Degoutte, G. (2006). *Diagnostic, aménagement et gestion des rivières* (Tec et DOC).  
Etude scientifique de suivi des opérations de restauration de la continuité écologique des cours d'eau des Vosges du Nord

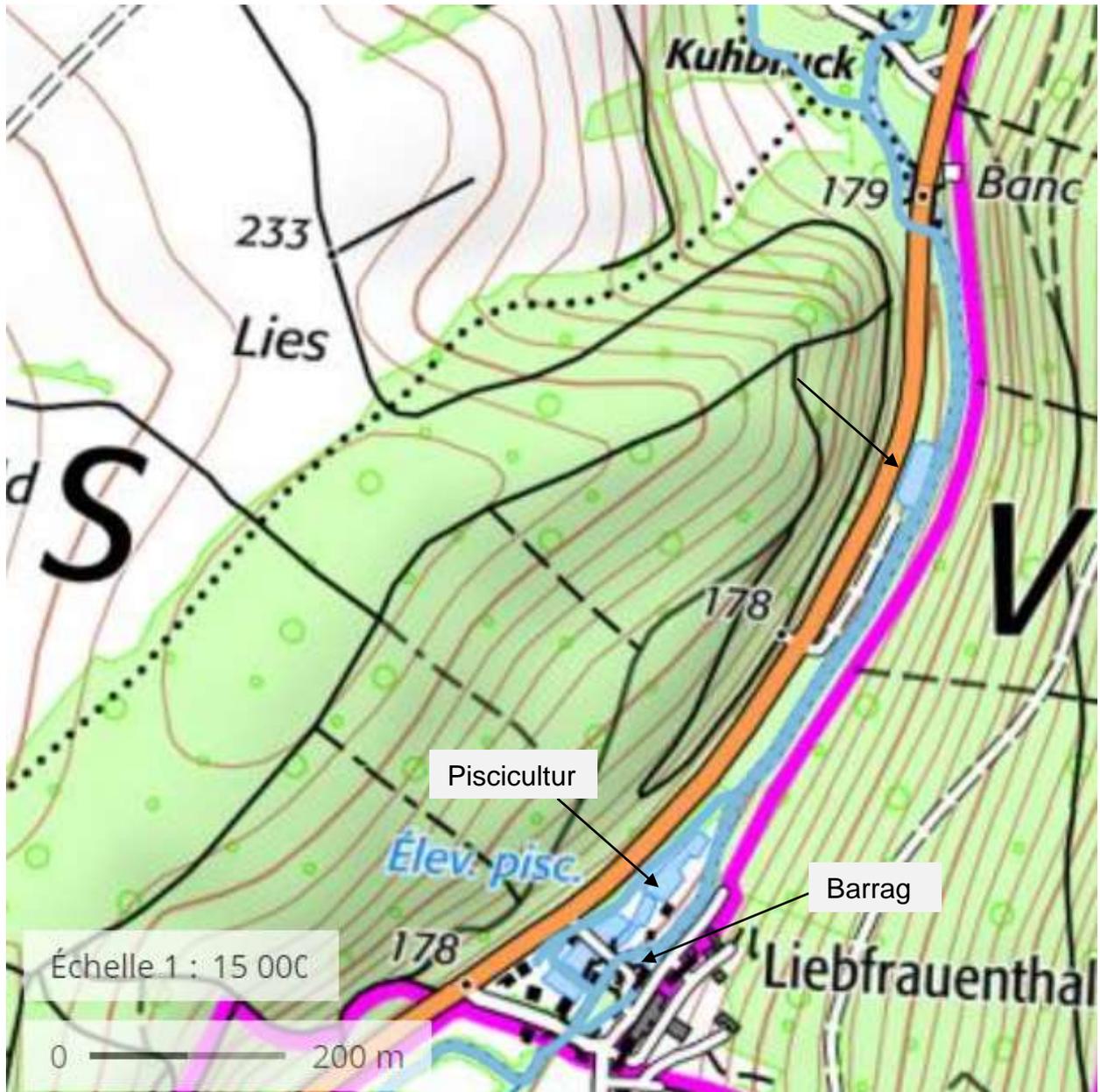
- Destouches, J. P., & Pottier, G. (2019). *Influence de la conductivité sur la propagation dans l'eau d'un champ électrique produit par un engin de pêche électrique.*
- Doris, P. (2008). *Accès du bétail aux cours d'eau.*
- Dos Reis Oliveira, P.C., Van der Geest, H.G., Kraak, M., Westveer, J., Verdonschot, R. & Verdonschot P. (2020). *Over forty years of lowland stream restoration : Lessons learned ?*
- Génot, J. C. (2001). *Gestion forestière dans le Parc naturel Régional des Vosges du Nord, réserve de biosphère.*
- Hébert, S., & Légaré, S. (2000). *Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau (QE-123; envirodoq).* Ministère de l'Environnement.
- Horellou, A., Doré, A., Herard, K., & Sibley, J. P. (2014). *Guide méthodologique pour l'inventaire continu des Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique (ZNIEFF) en milieu continental.*
- Kolz, A. L. (1989). *A power of transfer theory for electrofishing. Electrofishing, a power related phenomenon.*
- Larinier, M. (1992). *Passe à bassins successifs, prébarrages et rivières artificielles.*
- Longechal, B., Morelle, S., & Vaschalde, C. (2018). *Document d'objectif des Vosges du Nord.*
- Malavoi, J.-R., Bravard, J. P., ONEMA, & Université de Lyon 2. (2010). *Éléments d'hydromorphologie fluviale.*
- Mazuer, P., Matte, J. L., Heudre, D., & Moreau, L. (2012). *Méthode rapide de prélèvement de macroinvertébrés en cours d'eau peu profonds.*
- MEDD, & Agences de l'eau. (2003). *Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau SEQ-Eau* (p. 40).
- Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire (MEEDAT). (2008). *Le génie végétal.*
- Moatar, F., Meybeck, M., & Poirel, A. (2009). Variabilité journalière de la qualité des rivières et son incidence sur la surveillance a long terme : Exemple de la Loire moyenne. Daily variability and its implication on long term river water quality surveys : the Middle Loire example. *La Houille Blanche - Revue internationale de l'eau*, 4, 91.
- Navarro, L., Peress, J., & Malavoi, J. R. (2012). *Aide à la définition d'une étude de suivi. Recommandation pour des opérations de restauration de l'hydromorphologie des cours d'eau.*
- ONEMA. (2014). *Diagnostic du fonctionnement de la passe à poissons de Weiler sur la Lauter.*
- Schumm, S. A. (2007). *River Variability and Complexity.* Cambridge University Press.
- Souchon, Y., & Nicolas, V. (2011). *Barrages et seuils : Principaux impacts environnementaux.*
- Tachet, H., Richoux, P., Bournaud, M., & Usseglio-Polatera, P. (2010). *Invertébrés d'eau douce : Systématique, biologie, écologie* (CNRS édition).
- Tamisier, V., Baudoin, J. M., Boutet-Berry, L., Cagnant, M., Gob, F., Kreutzenberger, K., Lamand, F., Malavoi, J. R., Marmonier, P., Pénil, C., Rivière, C., Sadot, M., & Tual, M. (2017). *Protocole de recueil de données hydromorphologiques à l'échelle de la station sur les cours d'eau prospectables à pied.*
- Wasson, J.G., Chandesris, A., Pella, H., Blanc, L. Les hydro-écorégions : une approche fonctionnelle

de la typologie des rivières pour la Directive cadre européenne sur l'eau. Ingénieries eau-  
agricultureterritoires,  
Lavoisier ; IRSTEA ; CEMAGREF

## **Annexe 1 : Logigramme de la typologie des retenues d'eau**

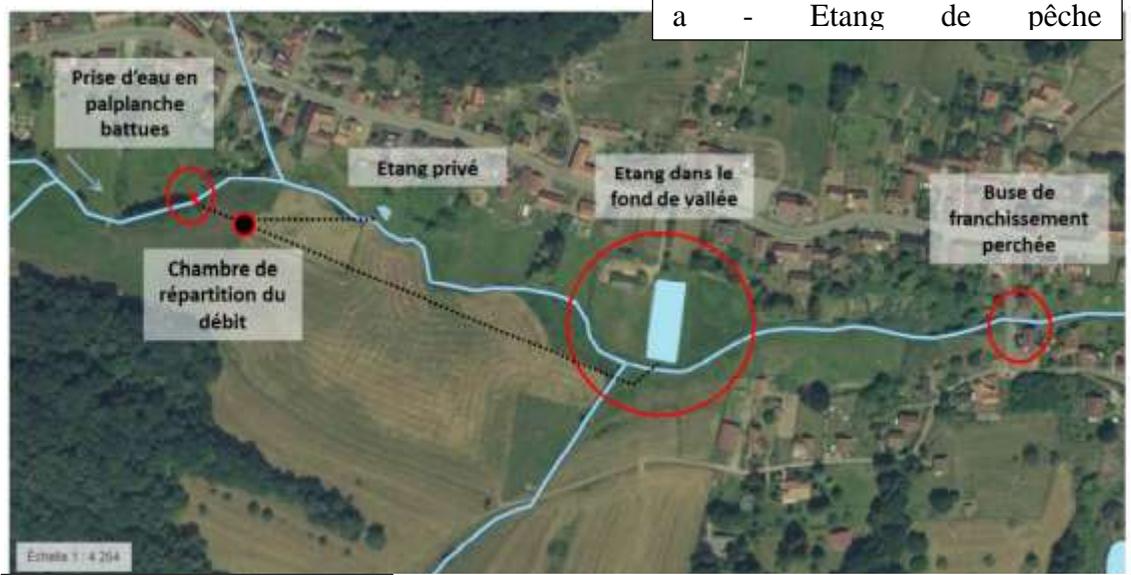


**Annexe 2 : Aménagements du site 2 – Pisciculture du Liebfrauenthal à Goersdorf**



### Annexe 3 : Aménagements du Bassin versant du Steinbach

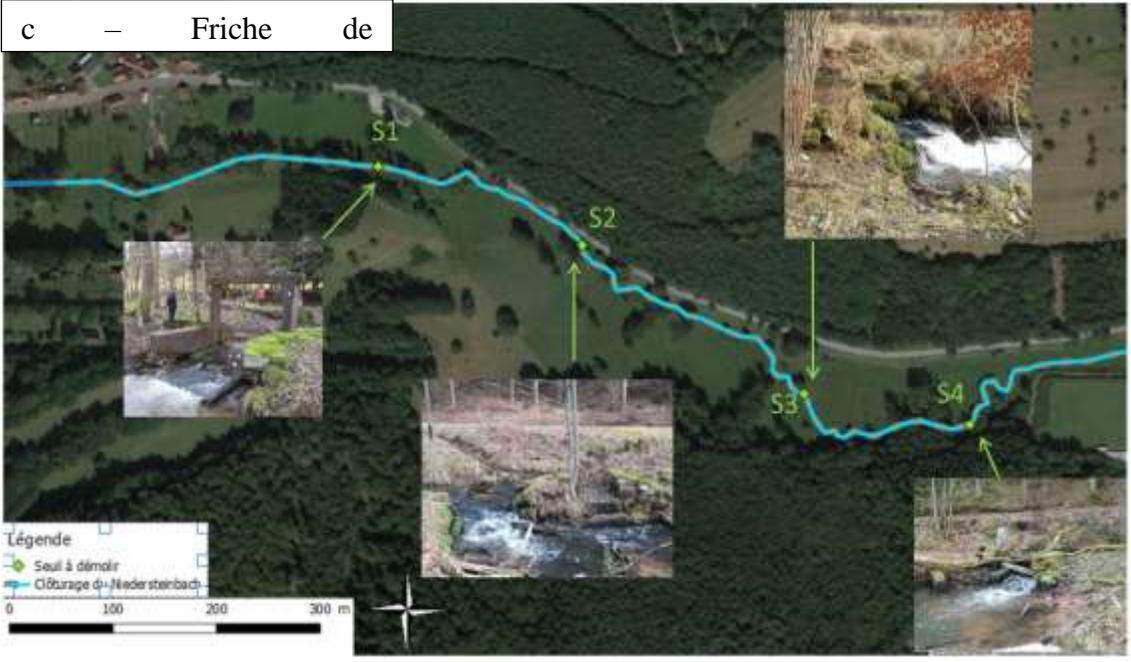
a - Etang de pêche



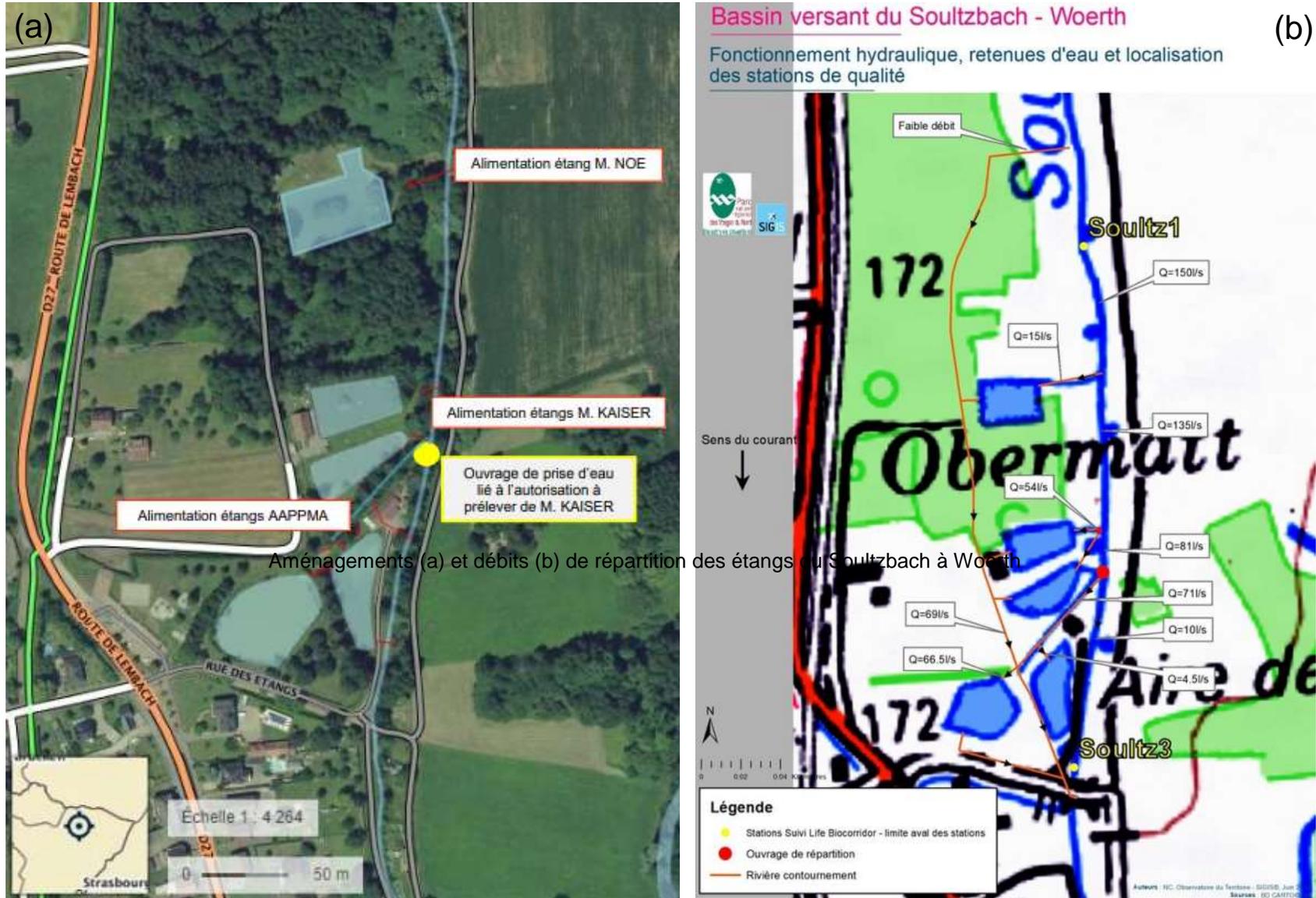
b - Restaurant de

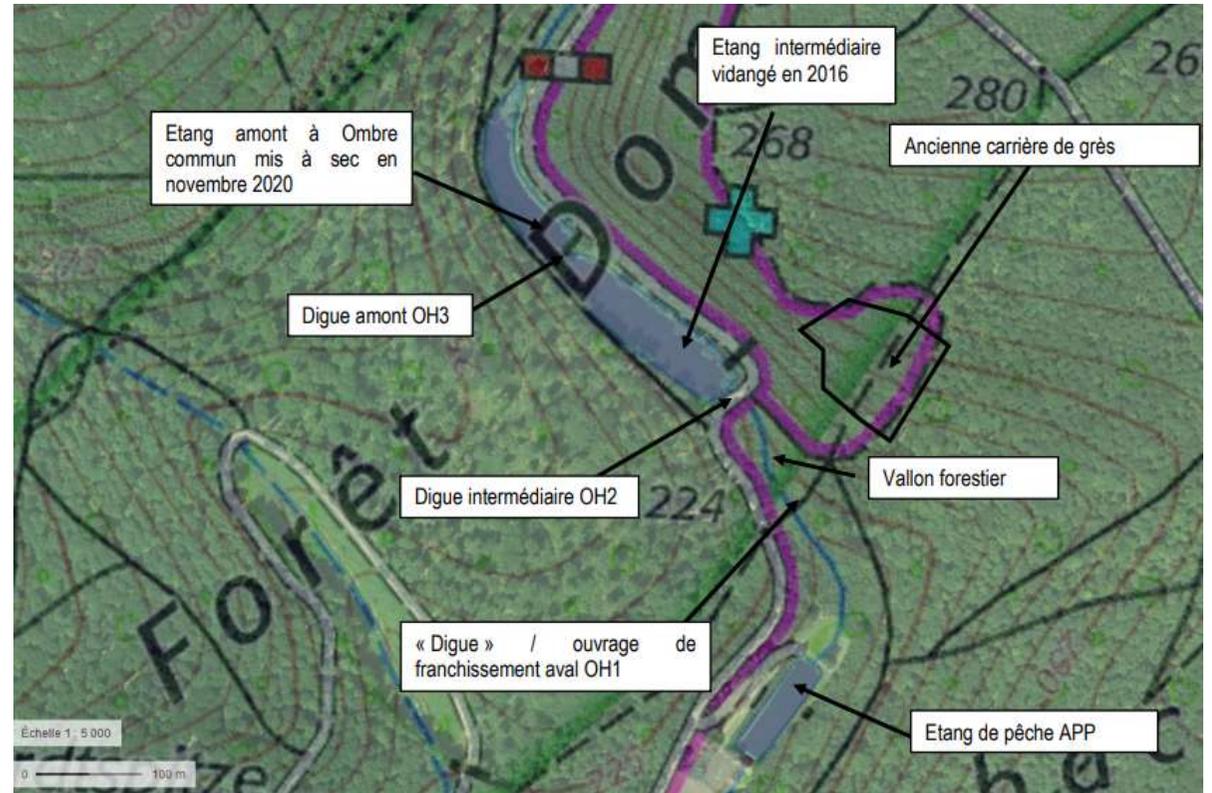
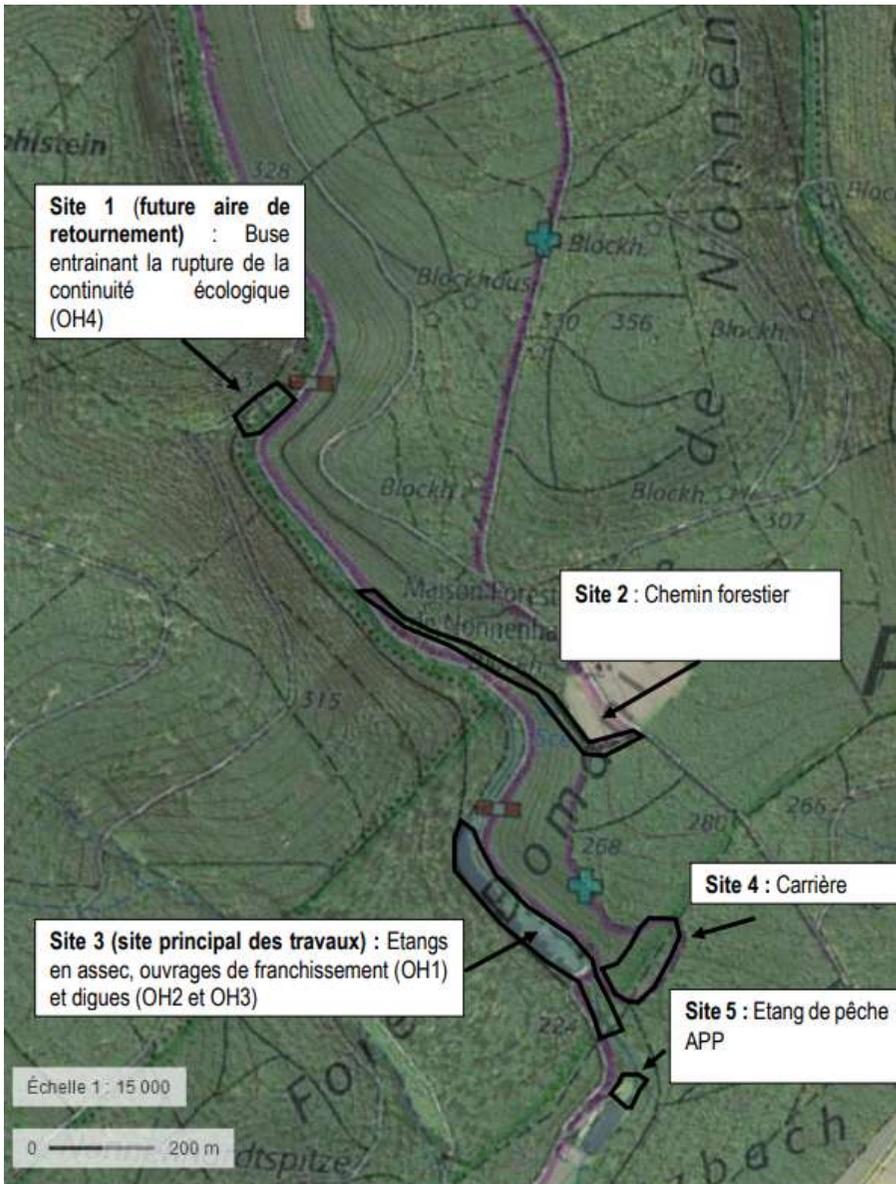


c - Friche de



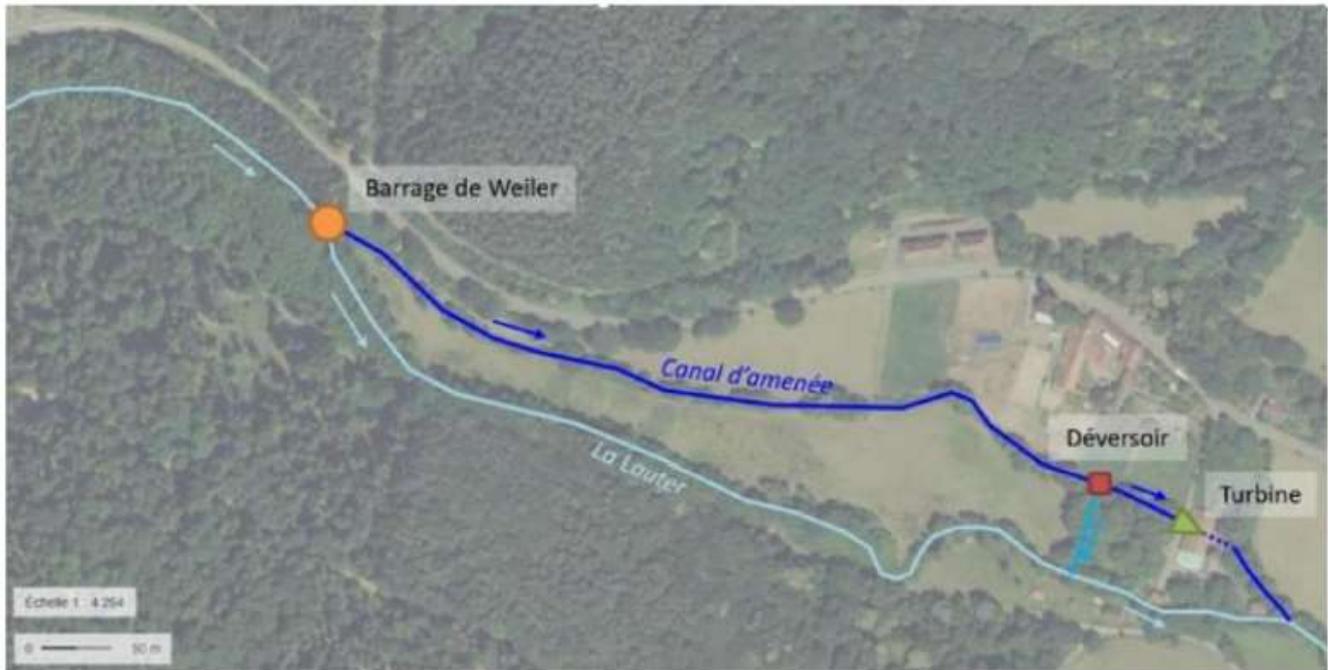
## Annexe 4 : Aménagements du bassin versant du Soultzbach





Aménagements des étangs de la Nonnenhardt à Langensoultzbach

## Annexe 5 : Aménagements du bassin versant de la Lauter



## 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 : Espèces remarquables du site Natura  
2000 « La Sauer et ses affluents »**

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 amellus</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

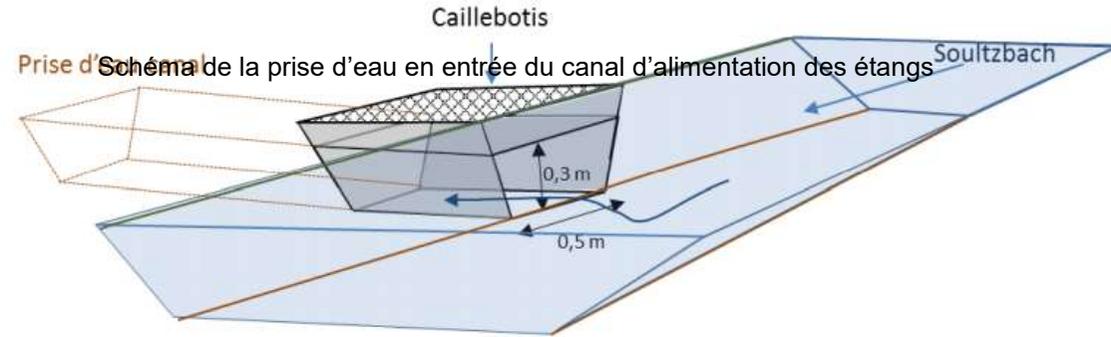
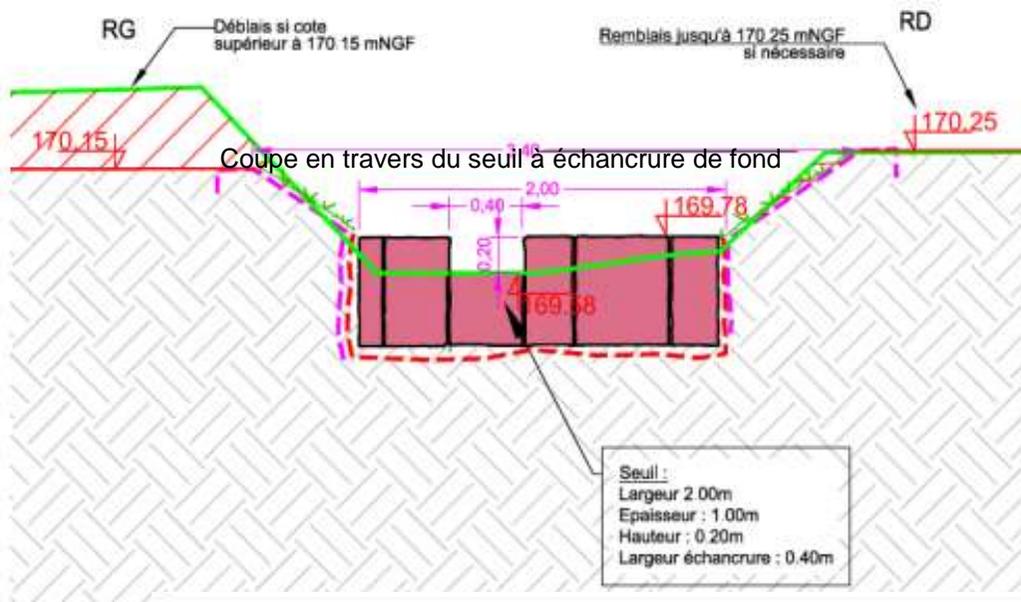
Espèce	Critère 1 : Reproducti on	Critère 2 : Vulnérabilité	Critère 3 : Connexion	Critère 4 : Protection	Critère 5 : Rareté	Total
Gomphes serpentin	3	3	3	4	3	16
Azet de la Sanghaieche	3	3	2	4	3	15
Civret des marais	3	3	2	4	3	15
Grand insecte	3	3	3	4	2	15
Agrion de marais	3	3	2	4	2	14
Azet des paluds	3	3	2	4	2	14
Lutrinie de Plaine	3	2	3	4	2	14
Murin à antennes échaancées	1	3	3	4	3	14
Sommet à ventre jaune	3	2	3	4	2	14
Pic grèche gris	3	3	3	2	2	13
Écaille d'or	3	1	2	4	3	13
Lyra boréal	1	3	2	4	3	13
Murin de Bachstein	1	3	2	4	3	13
Alouette lila	3	2	2	2	3	12
Milan royal	1	3	3	2	3	12
Azet de Serpedit	3	3	2	2	2	12
Agrion noir	3	3	3	0	3	12
Écraussin 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 coller	1	2	3	2	3	11
Gand duc d'Europe	1	2	3	2	3	11
Pic grèche écorchée	3	1	3	2	2	11
Coucou cendré	2	3	3	0	3	11
Grand Corbeau	1	2	3	2	3	11
Murin-pêcheur d'Europe	3	2	3	2	0	11
Lézard vivipare	3	3	3	2	0	11
Orthétraux bleusant	3	3	3	0	2	11
Sympétrum jaune	3	3	2	0	3	11
Bombée épivore	2	1	3	2	2	10
Murin de Natterer	1	3	2	2	2	10
Cincla 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
Corneille lisse	2	2	1	2	2	9
Éftraie des clochers	3	1	3	2	0	9
Héron cendré	3	1	3	2	0	9
Grande Aeschna	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 Lenson	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 Darbenton	1	2	1	2	0	6
Sérotine de Nilsson	1	2	1	2	0	6
Pipistrelle commune	1	1	1	2	0	5

**En rouge** : les espèces remarquables dont l'enjeu de conservation est prioritaire.  
**En orange** : les espèces remarquables dont l'enjeu de conservation est important.  
**En jaune** : les espèces remarquables dont l'enjeu de conservation est secondaire.

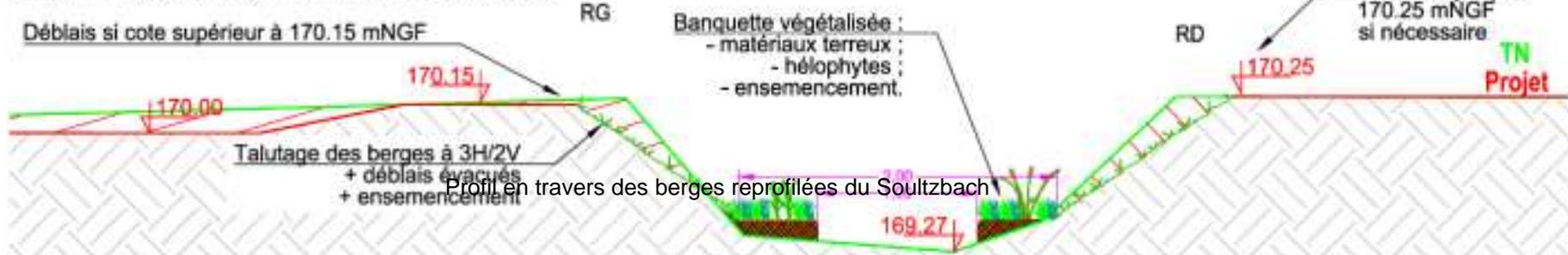
## **ANNEXE 8 : Espèces présentes ou potentiellement présentes sur le site 6 de la passe à poisson de Weiler d'après l'expertise du bureau d'étude Climax**

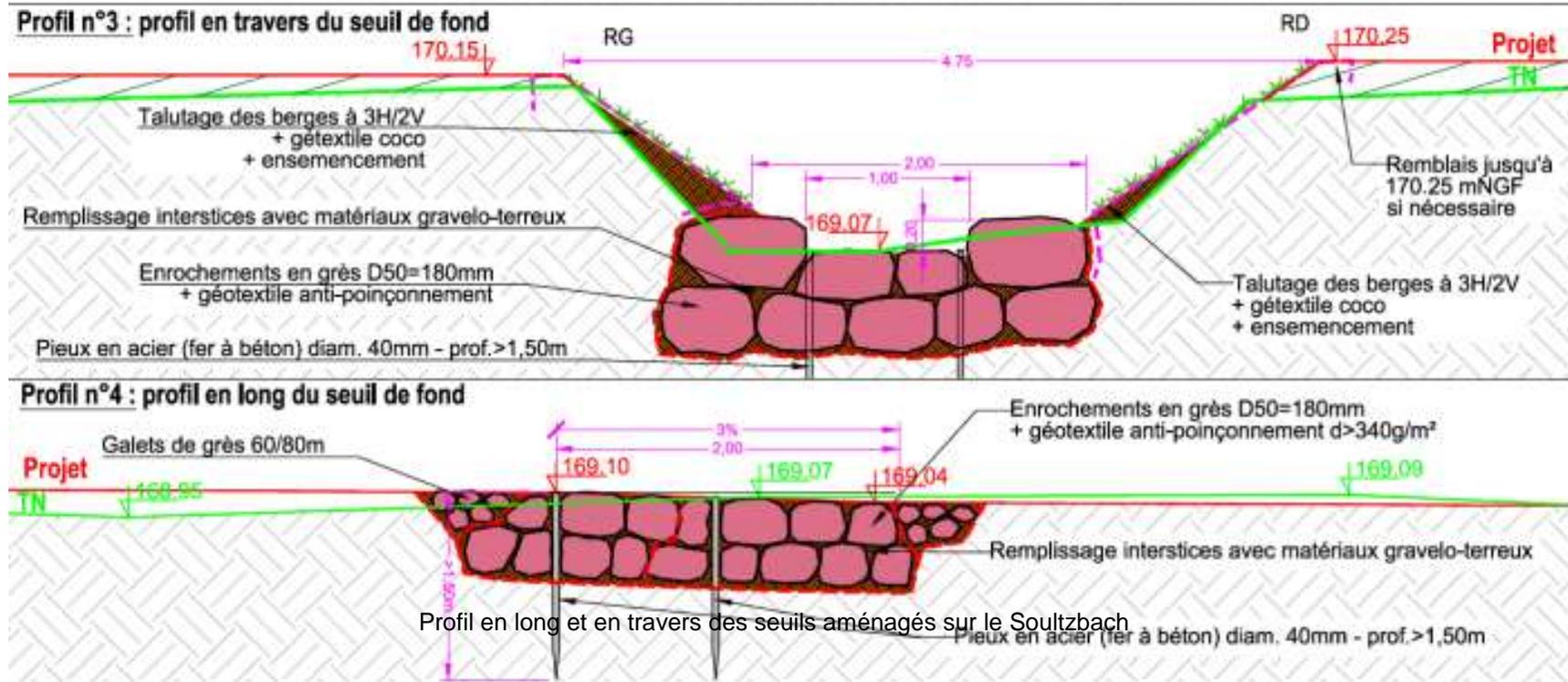
Nom français	Nom scientifique	Protection (1)	Listes rouges (2)	ZA (3)
<b>Plantes</b>				
Laîche allongée	<i>Carex elongata</i>		LRA (NT)	5
Amphibiens				
Grenouille rousse	<i>Rana temporaria</i>	France p.p.		
<b>Poissons</b>				
Anguille d'Europe	<i>Anguilla anguilla</i>	France	LRF (CR); LRA (CR)	20
Chabot	<i>Cottus gobio</i>	DH 2	LRF (DD)	10
Lamproie de Planer	<i>Lampetra planeri</i>	DH 2; France		20
Ombre commun	<i>Thymallus thymallus</i>	DH 2; France	LRF (VU); LRA (VU)	20
Truite de rivière	<i>Salmo trutta</i>	France		20
Saumon	<i>Salmo salar</i>	France	LRF (VU); LRA (CR)	100
<i>Chiroptères</i>				
<i>Oiseaux</i>				
<i>Reptiles</i>				
<i>Odonates</i>				

## ANNEXE 9 : Aménagements du site 1 des étangs du Soultzbach provenant du rapport PRO d'Artelia



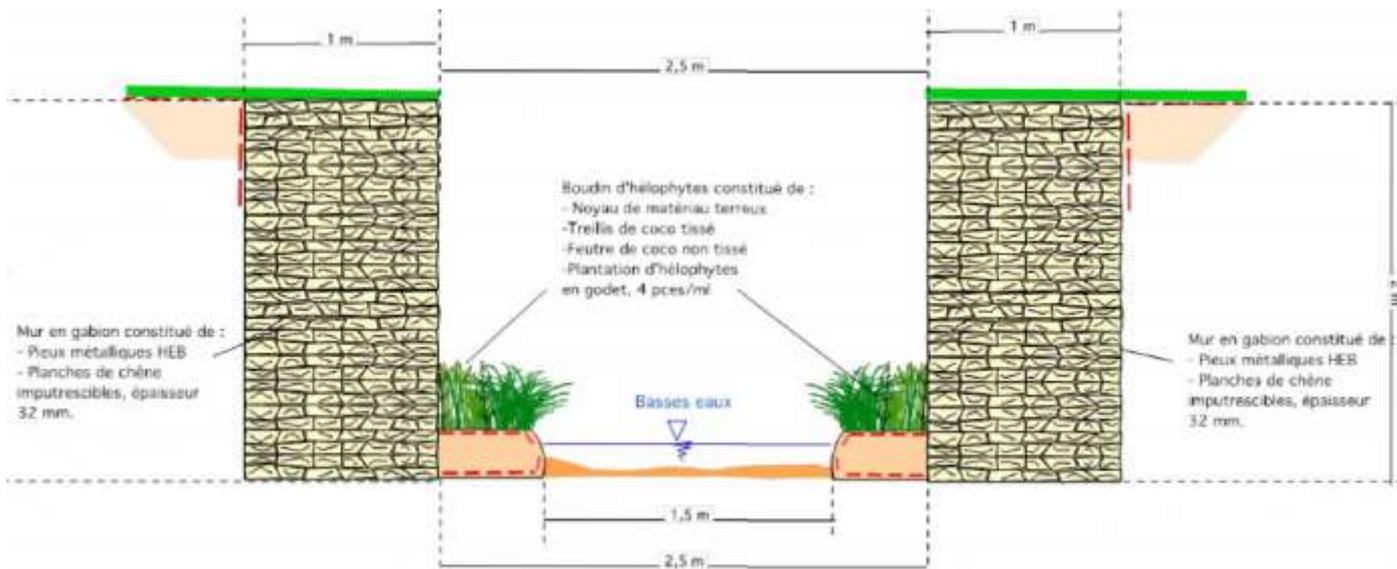
### **Profil n°2 : reprofilage du lit mineur et des berges**



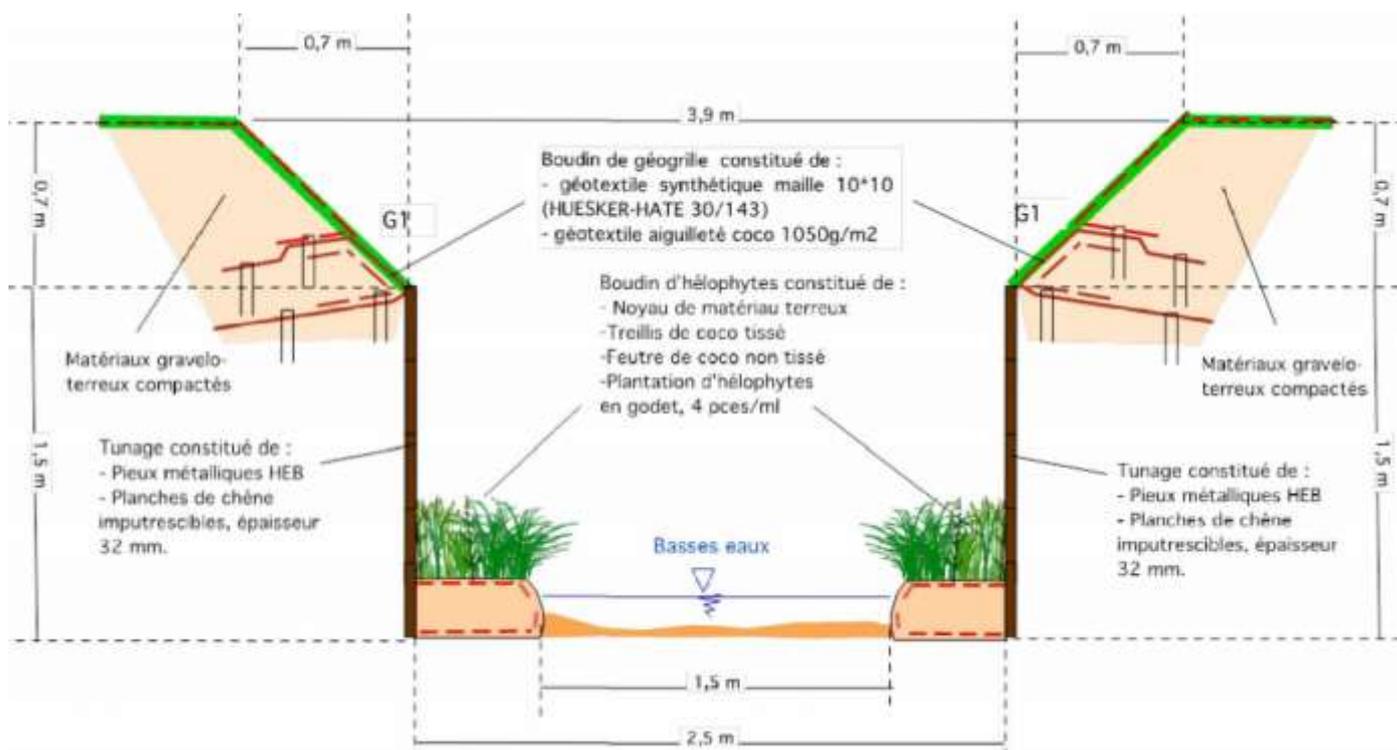




**ANNEXE 11 : Aménagements du site 4 du restaurant de Niedersteinbach provenant du rapport PRO de l'Atelier des Territoires**

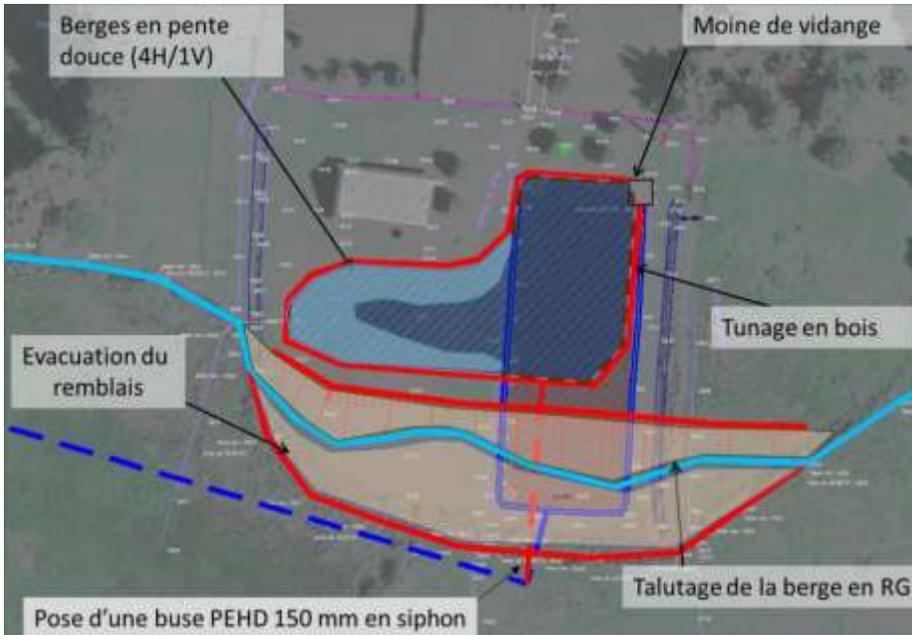


Représentation de l'aménagement des murs en gabion

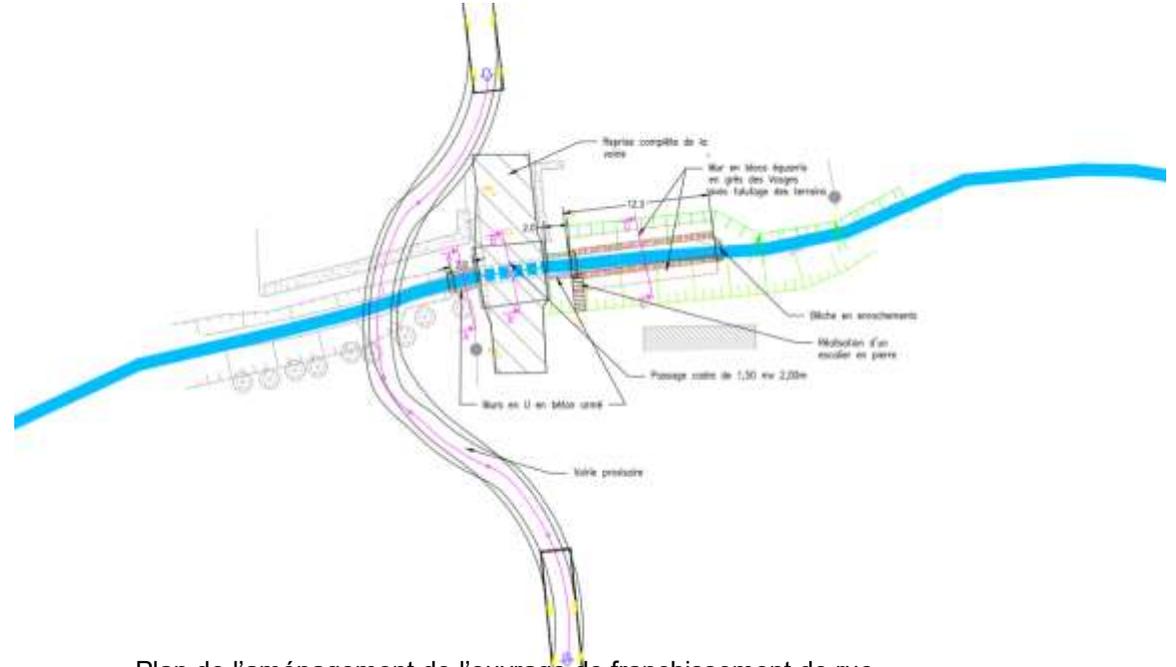


Représentation de l'aménagement des murs en tunage en bois

# ANNEXE 12 : Aménagements du site 5 de l'étang de pêche d'Obersteinbach provenant du rapport PRO d'Artelia

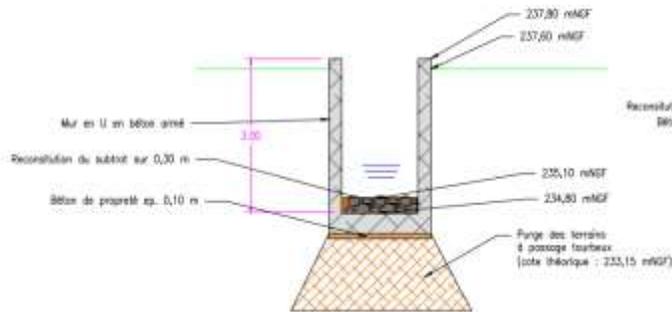


Représentation de l'aménagement de l'étang de l'amicale de pêche

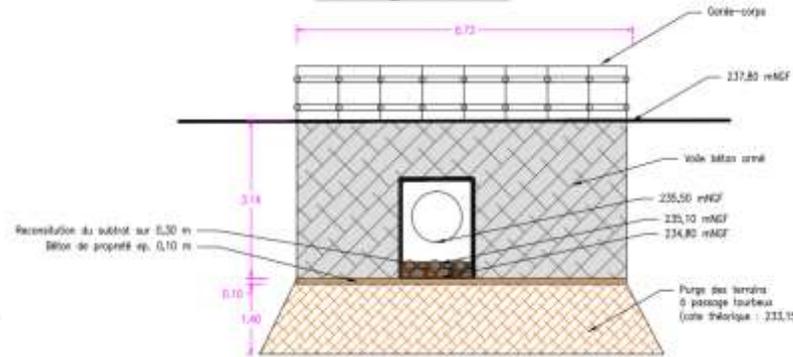


Plan de l'aménagement de l'ouvrage de franchissement de rue

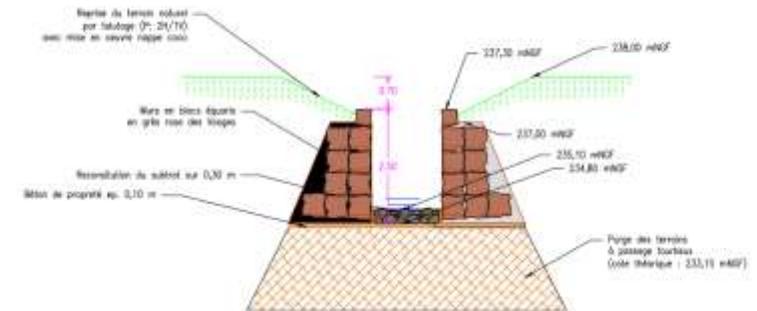
## Coupe A-A



## Coupe B-B

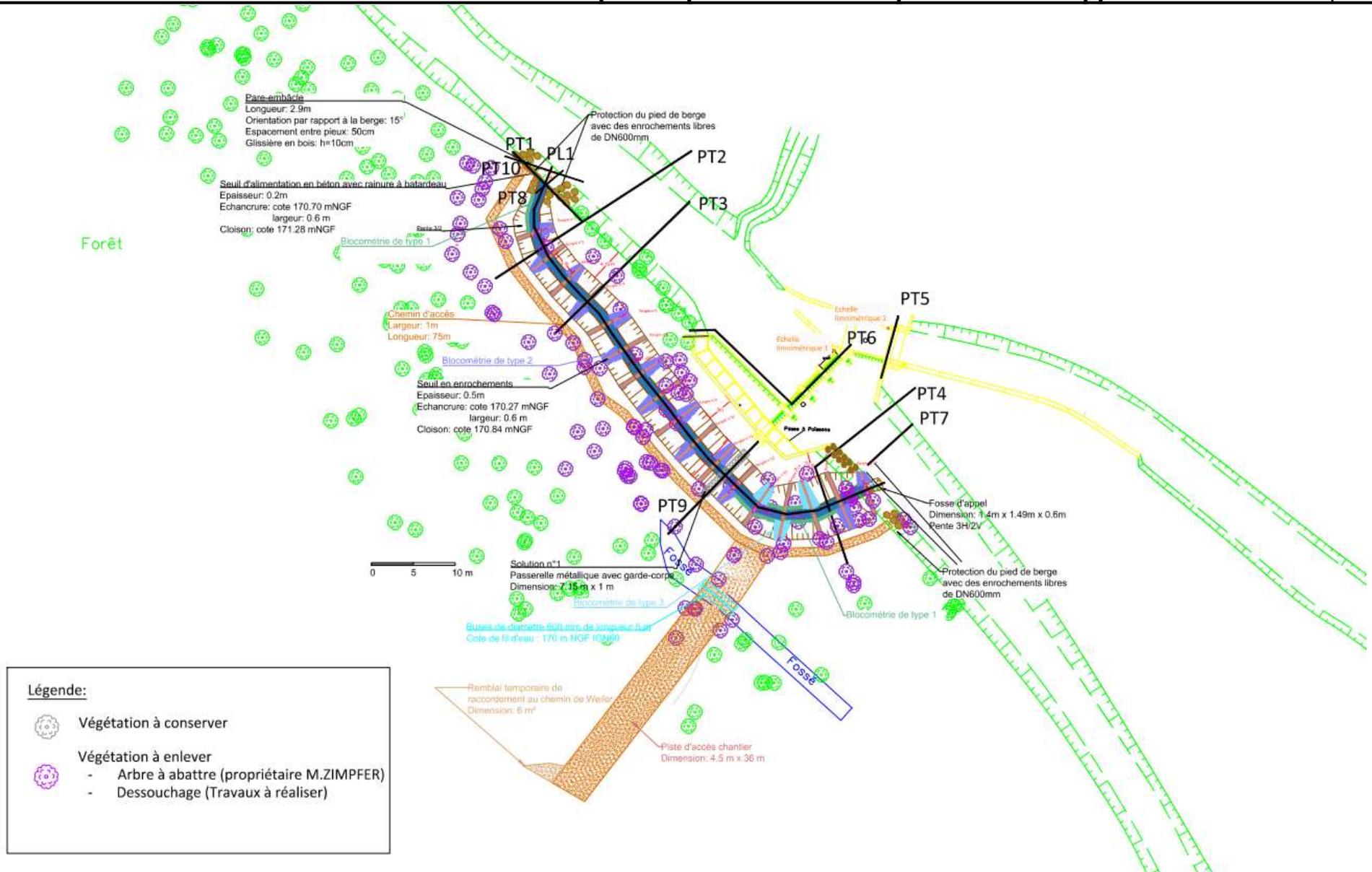


## Coupe C-C

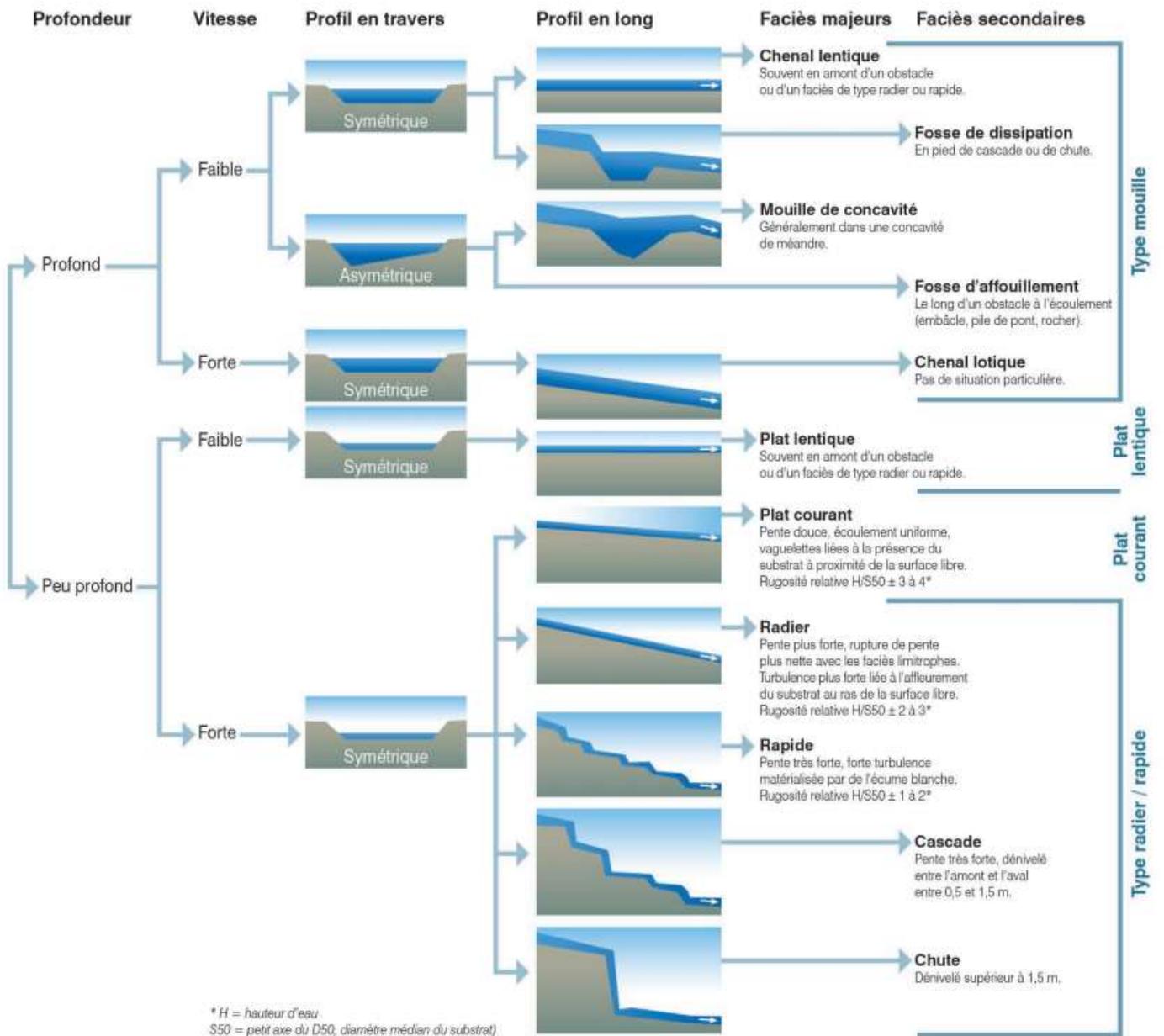


Représentation des murs en béton en amont et en aval de l'ouvrage de franchissement de rue

## ANNEXE 13 : Rivière de contournement du site 6 de la passe à poisson de Weiler provenant du rapport PRO d'Artelia (2020)



# ANNEXE 14 : Faciès d'écoulement selon la typologie de Malavoi et Souchon 2002



## ANNEXE 15 : Limite classe d'état

Paramètres (unités)	Code	Limites des classes d'état			
		Très bon / Bon	Bon / Moyen	Moyen / Médiocre	Médiocre / Mauvais
<b>Bilan de l'oxygène</b>					
Oxygène dissous (mg O <sub>2</sub> /L)	1311	8	6	4	3
DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)	1313	3	6	10	25
Carbone organique dissous (mg C/L)	1841	5	7	10	15
<b>Température</b>					
Eaux salmonicoles (°C)	1301	20	21,5	25	28
<b>Nutriments</b>					
Phosphore (mg P/L)	1350	0,05	0,2	0,5	1
Ammonium (mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /L)	1335	0,1	0,5	2	5
Nitrites (mg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /L)	1339	0,03	0,3	0,5	1
Nitrates (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L)	1340	10	50	-	-
<b>Acidification</b>					
pH minimum	1302	6,5	6	5,5	4,5
pH maximum		8,2	9	9,5	10

Tableau 21 : Limite des classes d'état des paramètres physico-chimiques (Légifrance, 2015)

Tableau 22 : Limite des classes d'état des paramètres physico-chimiques (SEQ-eau, 2003)

Paramètres	Unités	Limite des classes d'état			
		Très bon / Bon	Bon / Moyen	Moyen / Médiocre	Médiocre / Mauvais
Turbidité	-	15	35	70	100
MES	(mg/L)	25	50	100	150
Orthophosphates	(mg PO <sub>4</sub> /L)	0,1	0,5	1	2
Azote Kjeldahl	(mg N/L)	1	2	4	10
DCO	(mg O <sub>2</sub> /L)	20	30	40	80

## ANNEXE 16 : Coefficient multiplicateurs

	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Lpb (m)	Lm (m)	Hpb (m)	l/p	Pente (‰)	D16	D50	D84	Diversité granulométrique	Diversité des habitats	Diversité des strates
<b>Obersteinbach</b>	0,61	1,00	0,68	<b>2,22</b>	0,45	0,68	0,00	0,05	0,07	1,02	0,83	0,15
<b>Restaurant</b>	0,85	<b>2,15</b>	<b>1,36</b>	<b>1,11</b>	1,93	<b>2,32</b>	0,00	0,00	1,00	0,96	0,81	0,64
<b>Friche</b>	0,62	0,58	0,34	<b>1,82</b>	0,32	0,89	0,59	<b>1,15</b>	<b>2,14</b>	0,80	0,72	0,13
<b>Woerth</b>	0,97	0,77	<b>1,42</b>	<b>2,71</b>	0,28	<b>1,71</b>	<b>2,33</b>	<b>1,60</b>	<b>1,21</b>	<b>1,34</b>	<b>1,21</b>	1,05

Stations		ipr_ober	ipr_nied_3	ipr_woerth
<b>IPR</b>		0,6	0,7	0,9
<b>Nbre d'individus capturés</b>		0,4	0,3	1,0
<b>Nbre d'espèces</b>		1,3	0,6	1,8
<b>Epinoche</b>	abondance (pi)	0,0	0,0	-
	Biomasse (Kg/ha)	0,1	0,0	-
	Pourcentage du poids	0,0	0,0	-
	Taille moyenne (cm)	1,2	0,0	-
<b>Lamproie de Planer</b>	Abondance	0,0	0,1	-
	Biomasse (Kg/ha)	0,0	0,0	-
	Pourcentage du poids	0,0	0,0	-
	Taille moyenne (cm)	1,2	0,7	-
<b>Truite fario</b>	Abondance	1,3	0,6	<b>4,5</b>
	Biomasse (kg/ha)	1,0	0,7	0,6
	Pourcentage du poids	1,3	1,1	0,7
	Taille moyenne (cm)	0,9	1,0	0,5
<b>Chabot</b>	Abondance	-	<b>1,5</b>	-
	Biomasse (kg/ha)	-	0,5	-
	Pourcentage du poids	-	1,0	-
	Taille moyenne (cm)	-	0,7	-
<b>Loche franche</b>	Abondance	-	0,0	-
	Biomasse (kg/ha)	-	0,0	-
	Pourcentage du poids	-	0,0	-
	Taille moyenne (cm)	-	0,0	-
<b>Chevesne</b>	Abondance	-	-	<b>2,4</b>
	Biomasse (kg/ha)	-	-	1,0
	Pourcentage du poids	-	-	1,2
	Taille moyenne (cm)	-	-	0,8
<b>Gardon</b>	Abondance	-	-	0,8
	Biomasse (kg/ha)	-	-	0,5
	Pourcentage du poids	-	-	0,7

	Taille moyenne (mm)	-	-	0,8
<b>Goujon</b>	Abondance	-	-	0,6
	Biomasse (kg/ha)	-	-	0,8
	Pourcentage du poids	-	-	1,0
	Taille moyenne (mm)	-	-	1,1
<b>Perche</b>	Abondance	-	-	0,7
	Biomasse (kg/ha)	-	-	0,3
	Pourcentage du poids	-	-	0,3
	Taille moyenne (mm)	-	-	0,6
<b>Nombre d'espèces rhéophiles</b>		1,0	1,0	2,0
<b>Nombre d'espèces lithophiles</b>		1,0	1,0	2,0
<b>Pourcentage d'individus tolérants</b>		0,0	0,0	2,2
<b>Pourcentage d'individu invertivores</b>		1,2	0,6	0,8
<b>Pourcentage d'individus omnivores</b>		0,0	0,0	1,8
<b>Taille moyenne des individus</b>		<b>1,6</b>	<b>1,3</b>	1,0
<b>Taille médiane</b>		<b>1,7</b>	<b>1,3</b>	1,1
<b>Taille maximale</b>		0,9	<b>1,5</b>	0,8
<b>Taille minimale</b>		<b>3,3</b>	<b>3,0</b>	0,7
<b>Premier quartile (taille)</b>		<b>3,6</b>	1,6	1,0
<b>Troisième quartile (taille)</b>		1,6	1,2	0,9

Stations	Etang d'Obersteinbach	Restaurant du cheval blanc	Friche humide amont	Friche humide aval	Woerth amont	Woerth aval
I2M2	1,2	1,4	<b>3,4</b>	<b>2,5</b>	<b>2,7</b>	1,0

Diversité de shannon	0,8	2,7	-	-	-	-
ASPT	1,0	0,8	1,6	1,2	0,9	1,0
Richesse taxonomique	1,1	<b>12,1</b>	<b>5,0</b>	<b>3,6</b>	0,0	0,0
Polyvoltinisme	1,1	0,9	<b>21,8</b>	<b>2,6</b>	-	-
Ovoviviparité	<b>2,2</b>	<b>1,6</b>	<b>1,9</b>	<b>2,2</b>	-	0,0
Nombre de taxons	1,0	1,3	1,4	1,5	0,9	0,9
Matière organiques oxydables	1,2	0,9	1,2	1,0	0,7	0,8
Matières azotées	2,0	0,7	0,4	0,3	0,7	0,8
Nitrates	0,7	1,3	1,3	1,2	0,9	1,1
Matières phosphorées	1,9	0,7	0,7	0,5	0,5	0,8
Pesticides	1,7	1,3	0,7	0,7	1,1	1,0
HAP	1,2	1,2	1,0	0,9	1,1	1,0
Voies de communication	1,5	0,3	0,5	0,7	1,0	1,0
Ripisylve	1,4	1,0	0,9	1,0	1,0	0,9
Intensité d'urbanisation	1,0	0,7	0,8	0,8	1,0	1,0
Risque de colmatage	0,9	1,1	1,0	1,0	0,9	0,9
Instabilité hydrologique	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	1,1
Niveau d'anthropisation	1,1	1,7	0,9	1,0	1,1	1,3
Nombre de substrats prélevés	1,2	1,8	1,3	0,8	1,0	1,4
Nombre de classes de vitesses de courant prélevées	1,0	0,7	1,0	1,5	0,7	1,5
BMWP	1,0	1,1	1,3	2,6	1,1	0,9
Indice de Jaccard	1,5	1,9	4,0	3,3	2,8	2,9
Nombre de plécoptères	0,1	0,0	0,0	0,0	-	-
Nombre de trichoptères	0,4	0,5	<b>2,5</b>	<b>5,1</b>	1,4	0,3
Nombre d'éphéméroptères	2,4	2,2	0,3	<b>2,4</b>	3,8	2,1
Nombre de diptères	<b>5,0</b>	1,5	<b>3,0</b>	<b>1,6</b>	<b>7,2</b>	<b>5,1</b>
Nombre de coléoptères	0,3	<b>4,4</b>	<b>55,0</b>	<b>5,3</b>	<b>1,8</b>	0,1
Nombre d'oligochètes	2,0	<b>46,8</b>	0,4	1,2	<b>591,0</b>	<b>32,3</b>
EPTC	<b>9,4</b>	<b>8,1</b>	<b>34,1</b>	<b>33,1</b>	<b>23,0</b>	<b>10,7</b>
GOLD	<b>5,5</b>	<b>3,3</b>	<b>2,3</b>	<b>1,6</b>	<b>9,4</b>	<b>5,7</b>