ETUDE DES ANNEXES HYDRAULIQUES DE LA PLAINE D'ALSACE 2020-2022

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

AGENCE DE L'EAU RHIN•MEUSE

FÉDÉRATION NATIONALE PÊCHE

Fédération du Haut-Rhin pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique
47 rue de la Commanderie – 68500 GUEBWILLER
03.89.60.64.74 - www.peche68.fr - contact@peche68.fr

Rédaction : Ywen NAMOKEL, Responsable technique

Relecture : Emilien BORDIER, Directeur

Version finale du 05/05/2023

Dossier suivi par : Ywen NAMOKEL, Responsable technique

Contact : responsable.technique@peche68.fr

Partenaires financiers :

Partenaires techniques :

Référence à citer :

NAMOKEL Y., 2023. Etude des annexes hydrauliques de la plaine d'Alsace : état des lieux et diagnostic. Fédération du Haut-Rhin pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique. 208p.

Résumé

Chiffres clés

- 200km de linéaires étudiés - moyenne 1 annexe / 2,3 kml
- 87 annexes investiguées = 17 ha
- Seulement 11% des annexes ont une bonne fonctionnalité
- 139 pêches électriques réalisées sur 2 ans
- 31 espèces de poissons observées dont 8 espèces patrimoniales et 4 espèces exotiques envahissantes
- Moins de 4% des annexes de l'Ill sont efficaces pour la reproduction du Brochet

Depuis le XXe, **plus de la moitié des zones humides ont disparue en France** dans le cadre du développement du territoire et des avancées de l'urbanisation. Aujourd'hui, les services écosystémiques que peuvent rendre les zones humides ne sont plus à prouver (capacité d'autoépuration, zone de rétention des crues, réservoir d'eau, réservoir de biodiversité, etc.).

Il apparait ainsi particulièrement pertinent d'œuvrer dans le sens d'une reconquête de ces milieux et de la biodiversité inféodée. **Les annexes hydrauliques sont des zones humides remarquables connectée à des eaux libres (cours d'eau ou canaux).** Ces zones offrent aussi des lieux de croissance et de reproduction nécessaires au cycles biologique de nombreuses espèces animales.

En réponse à un constat local de disparition des annexes hydrauliques, de banalisation des habitats ou de perte de fonctionnalité tangible, **la Fédération du Haut-Rhin de pêche et de protection des milieux aquatiques (FDAAPPMA68) a lancée une étude centrée autour des annexes hydrauliques de la plaine haut-rhinoise.** Le choix d'articuler le diagnostic autour de l'espèce Brochet est une clef d'entrée pertinente vis à vis des préférences écologiques complexe de l'espèce. Le Brochet est considéré comme une espèce repère et l'émergence de projets d'études ou d'actions de restaurations profitables à ce poisson sera également bénéfique à un large cortège d'espèces animales et végétales.

Le diagnostic s'articule autour de 2 grandes approches (physique et biologique) et de plusieurs sous-volets centrées autour d'approches pertinentes (analyse multicritères, pêches électriques, etc.) et parfois novatrices (cartographie aérienne par drone, suivi en temps réel des niveaux d'eau, etc.).

L'étude menée sur 3 ans (2020-2022) a permis de diagnostiquer précisément **87 annexes hydrauliques et de déployer 139 sondages piscicoles**. Un suivi spécifique a également été réalisé sur 6 sites pilotes.

Les résultats font état d'un manque de fonctionnalité global des annexes pour l'espèce Brochet. Seul 11% des annexes sont en effet considérées en « bonne fonctionnalité » et 20% des inventaires ont mis en évidences des juvéniles de brochets sur 13 sites.

Il ressort des investigations que la situation est plus défavorable pour l'espèce sur l'Ill que sur les secteurs canalisés.

Les résultats ont permis d'identifier les principaux facteurs limitant (pendage des berges, manque d'habitats, ombrage et végétation).

La prise en compte de ces observations permet d'orienter les **actions à entreprendre,** sous la forme de 3 axes :

Protéger --- **Optimiser / Corriger** --- **Restaurer**

Ces préconisations d'actions liées aux résultats de l'étude ont pu être listées au sein d'un tableau de synthèse et d'une base de données géoréférencée. L'objectif est de pouvoir favorisez l'émergence d'actions, notamment de restaurations écologiques d'annexe hydrauliques.

SOMMAIRE

I. INTRODUCTION.....10
II. **OBJECTIFS**.....12
III. **CONTEXTE**.....12
3.1. Les annexes hydrauliques.....12
a) Eléments de définitions.....12
b) La formation des annexes hydrauliques.....13
c) Typologie.....14
d) Enjeux et pressions.....17
3.2. Notion d'indicateur biologique.....18
3.3. Le Brochet.....19
a) Biologie & écologie.....20
b) Cycle vital.....21
c) Enjeux et pressions.....25
d) Halieutisme.....26
e) Le Brochet en Alsace.....27
3.4. La plaine d'Alsace.....27
a) Choix du secteur d'étude.....27
b) Secteur d'étude.....28
c) Géographie.....30
d) Démographie.....31
e) Géologie & eaux souterraines.....32
f) Réseau hydrographique.....32
g) Cadre règlementaire.....40
h) Patrimoine naturel et remarquable.....46
i) Hydrologie.....49
j) Thermie.....55
k) Biodiversité piscicole.....56
l) Halieutisme.....56
m) Classement piscicole & Halieutisme.....58
n) Autres données existantes et cas spécifiques.....59
IV. **METHODOLOGIE**.....62
4.1. Approche physique.....64
a) Volet cartographie & Repérage.....64
b) Volet diagnostic multicritères.....65
c) Volet suivi hydrologique.....69

d) Volet drone 75
4.2. Approche biologique 77
a) Volet Indice Abondance Brocheton 77
b) Protocole d'échantillonnage 78
c) Volet physico-chimique 80
d) Volet analytique 81
4.3. Volets complémentaires 81
a) Volet bathymétrie 82
b) Volet concentration de nutriments 84
c) Volet ADNe 85
V. **Résultats** 88
5.1. Approche physique 88
a) Focus global 88
b) Focus local 103
5.2. Approche Biologique 112
a) Focus global 112
b) Focus Local 135
VI. **Discussion, Perspectives et Orientations de gestion** 144
6.1. Identification des problématiques des annexes de la plaine d'Alsace 144
6.2. Proposition d'actions 144
a) Préservation 144
b) Correction 145
c) Restauration 146
d) Typologie d'actions 146
e) Priorisation des secteurs d'actions 179
f) Choix d'une annexe à restaurer 180
a) Mesures de gestion complémentaires 183
VII. **CONCLUSION** 188
VIII. **BIBLIOGRAPHIE** 190
Annexes 196

Liste des figures

Figure 1 : Exemple de recoupement de méandre sur l'Ill à Wittenheim (source : IGN remonter le temps avec à gauche orthophotographie actuelle et à droite orthophotographie de 1950-1965). 13
Figure 2 : Exemple de typologie utilisée sur les annexes hydrauliques de la Meuse (source : Pérez et Millet FD55, 2009). 15
Figure 3 : Schéma des 7 typologies d'annexes catégorisées (source : Humbert 2017). **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 4 : Les fonctions et les services rendus par les zones humides. 18
Figure 5 : Brochet à l'affut dans la végétation aquatique dense d'une gravière alsacienne. 19
Figure 6 : Synthèse bibliographique des seuils thermiques du brochet. 20
Figure 7 : juvénile de brochet capturé lors des inventaires (58mm) et individu plus âgé en déplacement dans une gravière alsacienne (env. 150mm). 23
Figure 8 : Schéma simplifié des principales étapes du cycle biologique du brochet (©UFBAG2014). 24
Figure 9 : Schéma simplifié des ensembles de pressions reliées à l'espèce. 25
Figure 10 : Représentation du linéaire suivis lors de l'étude des annexes de la plaine d'Alsace (203km). 28
Figure 11 : Présentation du découpage en 7 zones d'actions de l'étude. 29
Figure 12 : Schéma des mosaïques de paysage typiques de la plaine d'Alsace dans le secteur Ried Nord (source : DREAL Grand Est – Atlas des paysages d'Alsace 2015). 30
Figure 13 : Schéma des mosaïques de paysage typiques du centre d'Alsace dans le secteur plaine et Ried (source : DREAL Grand Est – Atlas des paysages d'Alsace 2015). 31
Figure 14 : Entre histoire, tradition et découverte des milieux aquatiques, l'Ill attire des milliers de touristes par an (source : les bateliers du Ried). 32
Figure 15 : L'ill, une mosaïque diversifiée d'habitats aquatiques (des secteurs peu profond ou profond, des zones sauvages ou très artificielles, etc.). 32
Figure 16 : Mosaïque de paysage du canal du Rhône au Rhin (navigable ou déclassé, petit ou grand gabarit et canal de Niffer), des secteurs diversifiés en hiver et en été. 33
Figure 17 : Plan descriptif du plan d'eau plan d'eau Montreux-Ouest dit le Réservoir. 34
Figure 18 : Zones naturelles d'intérêt écologique et Natura 2000 sur les sites de Montreux. 35
Figure 19 : Comparatif actuel (gauche), de 1950-65 (en haut à droite), de 2006-2010 (en bas à gauche) et de 2000-2005 (en bas à droite). Il est possible d'observer la création des étangs au Sud en 2000-2005 et la colonisation de l'actuelle zone humide à l'Ouest (flèche). Les sites étaient moins végétalisés par le passé. Source : IGN remonter le temps, 2022. 36
Figure 20 : Illustration du taux de recouvrement en aout 2021 de Trapa natans. 37
Figure 21 : Plan descriptif du plan d'eau plan d'eau Montreux-Est dit l'étang du Pendu. 38
Figure 22 : Canal de Colmar et port de plaisance de Colmar (sur la Lauch canalisée). 39
Figure 23 : Réseau hydrographique de la plaine Haut-rhinoise et linéaire étudié. 39
Figure 24 : Présentation du principe d'agrégation pour la qualification de l'état écologique. 41
Figure 25 : Emprise du SAGE ILL-NAPPE-RHIN (source : SAGE INP 2015) et du SAGE LAUCH (source : SAGE LAUCHE 2019) 46
Figure 26 : Localisation des zones NATURA 2000 dans le Haut-Rhin. 47
Figure 27 : Localisation des ZIEFF de type 1 & 2 dans le Haut-Rhin. 48
Figure 28 : Localisation de la RNR de l'Eiblen et l'Illfeld et illustration de la RNR à plusieurs saisons. 49
Figure 29 a : Régime hydrologique interannuel de L'Ill à Brunstatt et à Didenheim et à Mulhouse (A116 0030). 50
Figure 29 b : Régime hydrologique interannuel Sausheim (A130000101). 51
Figure 29 c : Régime hydrologique interannuel Ensisheim (A133003001). 51
Figure 29 d : Régime hydrologique interannuel Sundhoffen (A147004001). 52
Figure 29 e : Régime hydrologique interannuel sur L'Ill à Meyenheim (A147 0041 01). 52
Figure 29 f : Régime hydrologique interannuel sur L'Ill à Colmar [Ladhof] - A161 0030 01. 53
Figure 30 a : Débits moyens journaliers et mensuels sur les trois années étudiées (2020-2021-2022). La localisation de la station est notifiée. 53
Figure 30 b : Débits moyens journaliers et mensuels sur les trois années étudiées (2020-2021-2022). 54
Figure 30 c : Débits moyens journaliers et mensuels sur les trois années étudiées (2020-2021-2022). 55
Figure 31 a : Proportions des températures 56
Comprises dans les préférences thermiques 56
du brochet 56
Figure 31 b : Température moyennes des 56
30 jours les plus chaud sur l'Ill (données 56

de 2019-2020). 56
Figure 31c : profils thermiques de 3 stations de mesure situées sur l'Ill (en amont de la zone d'étude à d'Altkirch, en position médiane à Mulhouse et plus en aval à Meyenheim) entre 2019 et 2022. 57
Figure 32 : Présentation des linéaires de pêche présent sur la zone d'étude (avec les linéaires des AAPPMA, des groupements et de la Fédération). 58
Figure 33 : Localisation du secteur d'étude de Dubost & Vauclin (2002) et résultats généraux des déplacements des brochets sur les divers biefs et franchissement (ou non) des ouvrages du secteur. 60
Figure 34 : Schéma des objectifs généraux et du phasage de l'étude (Phase 1 Diagnostic & Phase 2 Emergence active d'actions). 62
Figure 35 : Schéma général des deux approches et des divers volets méthodologiques développés lors de l'étude des annexes de la plaine d'Alsace. 63
Figure 36 : Comparaison entre Scan25 et orthophotographie de 2021, 2018 et 2000 (exemple d'une recouvrement végétal important ne permettant pas de distinguer une annexe sur les images plus récentes – source IGN). 64
Figure 37 : Prospections de terrain de recensement et de diagnostic des annexes à pied et en canoë. 65
Figure 38 : Illustration de plusieurs SFR (Surface Favorable à la Reproduction) recherchées comme : les graminées, les hélophytes bas et haut, les hydrophytes et les bois mort. Le substrat doit rester aussi bien présent en période de reproduction (février-mars à gauche) qu'à la période de grossissement (avril-juin) à droite. 67
Figure 39 : Plusieurs espèces végétales exotiques envahissantes sont très implantées en Alsace comme la Renoué du Japon en bordure de cours d'eau ou dans une annexe hydraulique. 67
Figure 40 : Socles et sonde bathymétrique. 70
Figure 41 : Localisation des 5 sites pilotes avec le site de : a) I22 Ruelisheim b) I29 Réguisheim c) I34 ColmarB1 d) I39 Colmar B2 e) I47 Colmar Nord 70
Figure 41bis : Localisation des 5 sites pilotes. 71
Figure 42 : Illustration des dispositifs des types « sondes connectées FLOW3 » avec : a) schéma du dispositif utilisé dans les annexes hydrauliques. b) interface de consultation en ligne (niveau d'eau et température à Colmar). c) détail des modules et captures (avec : Module capteurs (A), niveau (B) & température et module transmetteur (C)). 73
Figure 43 : Localisation des 2 sites suivis à l'aide des sondes connectées. 74
Figure 44 : Illustrations du drone Phantom 4 Pro V2.0. 75
Figure 45 : Illustrations de résultats de travaux sur une annexe hydrauliques pour des calculs d'érosion et de cubature (a), profil en 3D d'une zone rivulaire du site de Courtavon (b) et profil topographique (c) pouvant être analysés (par le module ProfilTool de QGIS) 76
Figure 46 : Résumé des grands chiffres des campagnes d'échantillonnage biologique de 2021 et 2022. 77
Figure 47 : Maillage des stations IAB (Indice d'Abondance Brocheton) en 2021 et 2022. 78
Figure 48 : Illustration de l'application du protocole IAB (avec 3 opérateurs en bateau), d'un exemple de zones de SFR échantillonnées et d'un individu capturé dit « 0+ » de 59mm. 79
Figure 49 : Boitier multiparamétrique (a), sonde oxygène (b), sonde pH (c), sonde conductivité (d) 80
Figure 50 : Vu aérienne de l'annexe CC1 & illustrations de l'annexe 82
CC1 (a) et LA2 (b). 82
Figure 51 : Illustrations de l'échosondeur (a) et du traitement des données produites avec les vues sonar, sidescan et downscan (b) ainsi que l'appréciation de la profondeur des sédiments (c). 82
Figure 52 : Plan d'échantillonnage (bathymétrie) du plan d'eau de Courtavon. 83
Figure 53 : Bouteille de VanDorn. 84
Figure 53 : Schéma des méthodes de métabarcoding (a) et de barcoding (b). Source : Spygen. 86
Figure 54 : Illustration du matériel avec la perche de prélèvement (b), la pompe péristaltique « Vampir Sampler » (c), la solution de fixation (d) et mise en situation (a) de la méthode de prélèvement d'ADNe sur le lac de Courtavon. 87
Figure 55 : Synthèse des résultats « nombres d'annexes » avec : a) carte globale des localisations des annexes par secteur & sans - b) proportion du nombre d'annexe par secteur - c) nombre d'annexe par secteur. 89
Figure 56 : Synthèse des résultats « surface d'annexe » avec : a) proportion des surfaces par secteur & b) somme des surfaces d'annexes (en m²) par secteurs. 90
Figure 57 : Typologie des annexes de la plaine d'Alsace avec : en a) proportions générales de chaque typologie & en b) proportion de chaque typologie par secteur. 90
Figure 58 : Occupation du sol (CORINE Land Cover) de la surface des annexes et leur environnement immédiat. 92
Figure 59 : Synthèse des résultats « fonctionnalité des annexes » avec : en a) diagramme générale des proportions des classes de fonctionnalités des annexes – en b) carte de répartitions des diverses classes de fonctionnalités des annexes – en c) histogramme des proportions des 4 classes de fonctionnalités des annexes, par secteurs. 93

Figure 60 : fonctionnalité des annexes en fonction de la typologie. 94
Figure 61 : carte de répartitions des 4 classes de fonctionnalités des annexes 95
Figure 62 : exemples concrets de classe de fonctionnalité pour 6 annexes hydrauliques différentes. 96
Figure 63 : Synthèse du paramètre « surface en eau » des annexes (globale & par secteur). 97
Figure 64 : Synthèse des résultats du champ « Surface Favorable à la Reproduction » avec en a) les proportions générales – en b) la carte des SFR & en c) la proportion des 3 classes de SFR par secteurs. 98
Figure 65 : Synthèse du paramètre « communication avec le cours d'eau » des annexes (globale & par secteur). 99
Figure 66 : Synthèse du paramètres « profondeur moyenne » des annexes (globale & par secteur). 99
Figure 67 : Synthèse du paramètre « ensoleillement » des annexes (globale & par secteur). 100
Figure 68 : Synthèse du paramètre « pente des berges » des annexes (globale & par secteur). 101
Figure 69 : Synthèse du paramètre « écoulement dans l'annexe » des annexes (globale & par secteur). 101
Figure 70 : Synthèse des proportions de « notes du potentiel de restauration » des annexes (globale & par secteur). 102
Figure 71 : « Fonctionnalité physique » et localisation des 6 annexes « pilotes » de la plaine d'Alsace. 103
Figure 72 : Carte bathymétrique des plans d'eau de Montreux-Vieux et caractéristiques associées (avec « Montreux Ouest » dit le « réservoir » en a. et « Montreux Est » dit « l'étang du pendu en b.). 110
Figure 73 : Synthèse des résultats généraux des campagnes de pêches électriques de 2021 et 2022 (cartes de localisations des brochetons par maille de 5kmx5km et chiffres généraux). 112
Figure 74 : histogramme des classes de tailles des brochets capturés 113
Figure 75 : localisation des stations où la bouvière (BOU) et l'anguille (ANG) ont été échantillonnées. 115
Figure 76 : Illustration de la bouvière (source : observatoire des poissons de seine-Normandie). 116
Figure77 : localisation des stations où le barbeau (BAF) et l'aspe (ASP) ont été échantillonnées. 116
Figure 77 : Illustration du Neogobius melanostomus ou gobie à taches noires (source : observatoire des poissons de seine-Normandie). 117
Figure78 : localisation des stations où le gobie à taches noires a été échantillonné. 118
Figure79 : localisation des stations où le goujon asiatique a été échantillonné. 118
Figure 80 : Illustration du Pseudorasbora parva ou goujon asiatique (source : observatoire des poissons de seine-Normandie). 118
Figure81 : Nombre d'espèce différentes retrouvées par secteurs. 120
Figure82 : Illustrations de plusieurs captures lors des inventaires avec : en a) juvénile de tanche – b) juvénile de black bass – c) brocheton – d) jeune brochet d'un an.. **Erreur ! Signet non défini.**
Figure83 : Résultats des Indices d'Abondances Brochetons 2021 (en a), 2022 (en b) & toutes années confondues. 121
Figure83 : Résultats des IAB toutes années confondues avec la présence ou l'absence de brocheton sur l'ensemble des sites (à gauche) & par secteurs (à droite). 122
Figure84 : Résultats des IAB par année et par secteurs avec 2021 à gauche et 2022 à droite. 123
Figure85 : Proportion de présence ou absence de brocheton sur les 87 annexes hydrauliques (en a) par secteurs (en b) & nombres d'annexes avec brochetons par secteurs (en c). 124
Figure 86 : Habitats dans lesquelles les brochetons ont été capturés. 125
Figure87 : Typologie d'annexes hydrauliques échantillonnées (en a) & absence ou présence de brocheton par typologie d'annexe hydrauliques. 126
Figure88 : Nombre de brocheton capturé par 5 min sur l'ensemble des campagnes (2021-2022). 127
Figure89 : illustration des 3 annexes où les plus de juvéniles de brochet ont été observés au cours des deux campagnes (2021-2022) avec CH1 en a) – CRR2 en b) – CRRD2 en c). 128
Figure 90 : ACP sur les 5 mesures physico-chimiques réalisées sur les stations IAB et cercle des corrélations associé. 129
Figure 91 : ACM réalisée sur les 7 variables environnementales descriptives (fonction .scatter) et barycentre des stations avec Brocheton (Oui en bleu) et sans (Non en rouge). Pour la typologie associée se référer à la p.64. [Total inertia 1,875 ; Projected inertia Ax1 15,165% Ax2 11,201% Ax3 10,797%]. 130
Figure92 : ACM réalisée sur les 7 variables physiques avec l'illustration des barycentres des secteurs (à gauche) et de la typologie des annexes (à droite) - (fonction s.class). 131
Figure 93 : ACM réalisée sur les variables d'occurrence des espèces de poissons. 24 espèces sont renseignées (avec exception des espèces rares - fonction. scatter). BRO représente la présence de Brochet adulte et BROCHETON de juvéniles (oui – non). 132
Figure94 : ACM réalisée sur les variables d'occurrence des espèces de poissons. avec l'illustration des barycentres des secteurs (à gauche) et de la typologie des annexes (à droite) - (fonction s.class). 133

Figure 95 : Résultats de la classification ascendante hiérarchique (CAH) réalisés sur le jeu de donnée obtenue après l'ACM (dendrogramme à gauche – méthode de Ward et barycentre des clusters crées à droite). 134
Figure 96 : « Efficacité » de la reproduction du brochet dans les annexes de la plaine d'Alsace. 135
Figure 97 : Schéma du réseau hydrauliques en relation avec l'annexe CRR2 et le canal du Rhône-Rhin..... 142
Figure98 : Schéma résumant la démarche de priorisation pour choisir un site à restaurer. 181
Figure 99 : Arbre mort sous lequel des brochets ont été observés de nombreuses fois 184
Figure 100 : exemple d'ouvrage de gestion pour des casiers hydrauliques (UFBAG 2014)..... 185
Figure 101 : Schéma d'une frayère aménagée avec un système de régulation de la hauteur d'eau (Skov et al. 2018). 185
Figure 102 : schéma illustratif des pressions apposé sur une population en comparant sélection naturel et sélection par TMC.....**Erreur ! Signet non défini.**
Carte de la profondeur de vase en m (a), de la nature des fonds en termes de dureté (b) et de la nature des fonds en termes d'habitats (c avec « Montreux Ouest » en haut et » Montreux Est » en bas)..... 206
: Orthophotographie de précision (a) et Modèle Numérique de Terrain (b) des sites de Montreux-Vieux. 207

Liste des tableaux

Tableau 1 : typologie des stades d'évolution des bras morts (source : Malavoi, 2004 ; Malavoi&Bravard2010 ; Humbert 2017) 15
Tableau 2 : Synthèse des différentes gammes de tolérance thermique (°C) établies pour le brochet en fonction des principales phases du cycle de vie. Les températures indiquées aux extrémités des crochets sont les températures létales inférieures et supérieures, les températures indiquées à l'intérieur des crochets sont les valeurs de survie optimales (sources additionnelles : Réalis-Doyelle, 2016 ; Téletchea et al, 2017). 21
Tableau 3 : Récapitulatif des principales prérogatives d'une frayère à brochet fonctionnelle. 24
Tableau 4 : Linéaire compris dans la zone d'étude des annexes de la plaine d'Alsace (2019-2022). 28
Tableau 5 : Synthèses des débits descriptif de l'Ill médiane dans le Haut-Rhin. 50
Tableau 6 : Fonctionnalité de l'annexe hydraulique pour la reproduction du brochet. 68
Tableau 7: Classe de fonctionnalité de l'annexe hydraulique en fonction de la note attribuée. 68
Tableau 8 : Résumé des différents paramètres physico-chimiques analysés lors de l'étude sur la période d'avril à octobre 2021. 84
Tableau 9 : Nombre et surface des annexes de la plaine d'Alsace sur les 7 secteurs. 88
Tableau 10 : Listes des 32 taxons retrouvés dans les annexes hydrauliques et occurrence associée (par ordre décroissant de présence). 114
Tableau 11 : liste des espèces patrimoniales détectées sur les annexes de la plaine d'Alsace..... 115
Tableau 12 : Proportion des occurrences des différentes espèces par secteur. 120
Tableau 13 : Typologie d'actions de restauration sur les habitats. 147
Tableau 13 : Typologie d'actions de restauration sur la ripisilve et les berges. 148
Tableau 13 : Typologie d'actions sur la connectivité, les niveaux d'eau et sur l'environnement externe lié à l'annexe 149
Tableau 14: Classements des secteurs selon leur densité en annexe hydraulique..... 179

Abréviations

AAPPMA : Association Agréée pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique

AERM : Agende de l'Eau Rhin-Meuse

CENA : Conservatoire des Espaces Naturels d'Alsace

CSA : Conservatoire des Sites Alsaciens

DPF : Domaine Publique Fluvial

EEE : Espèce exotique envahissante

FDAAPPMA68 : Fédération du Haut-Rhin pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique

OFB : Office français de la biodiversité

PNR : Parc Naturel Régional

RCO : Réseau de Contrôle Opérationnel

RCS : Réseau de Contrôle de Surveillance

RD : Rive droite

RG : Rive gauche

RGE : Région Grand Est

RHPn : Réseau Hydrobiologique et Piscicole nouveau

RRP : Réseau de Référence Pérenne

SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion de l'Eau

SDAGE : Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux

SIG : Système d'Information Géoréférencée

SIGES : Système d'information pour la gestion de l'Aquifère rhénan

STEP : Station d'épuration

TBV : Tête de bassin versant

TVB : Trames vertes et bleues

UBRM : Union des Fédérations départementales pour la pêche et la protection du milieu aquatique du Bassin Rhin-Meuse

VNF : Voies Navigables de France

ZIB : Zone d'Intérêt Biologique

I. INTRODUCTION

Les rivières sont par essence des écosystèmes riches, vivants et mobiles qui évoluent selon une logique amont-aval. Les habitats qu'elles peuvent proposer sont aussi diversifiés que les formes de vie qu'elles abritent. L'étude de la dynamique fluviale, si elle est une notion plus récente, se base sur des préceptes anciens, la connaissance des cours d'eau étant depuis longtemps au cœur des préoccupations. L'équilibre des rivières reste fragile et est en constante oscillation, comme peut l'illustrer la notion de profil d'équilibre à travers la balance de Lane (Lane, 1955). « Toute rivière cherche son équilibre entre la charge alluviale imposée et le débit liquide, qui, couplé à la pente, fournit l'Energie capable de l'évacuer […]. Il s'ensuit un ajustement permanent de la morphologie du cours d'eau, autour de conditions moyennes, par le biais des processus d'érosion-dépôt » (Malavoi & Bravard, 2010).

Ces équilibres naturels fragiles ont été remis en question depuis de Moyen-âge avec les premiers grands aménagements de cours d'eau. A la suite de l'évolution des sociétés, de l'industrie, des besoins en eaux potables, de l'urbanisation, des besoins croissant de l'agriculture, le remembrement, la gestion du risque inondation, etc., les rivières ont été remodelées. **Les aménagements ont ainsi imposé ainsi un certain nombre de contraintes aux cours d'eau, qui peuvent les placer en situation de déséquilibre.** L'hydrologie et la naturalité des rivières peuvent être altérés par divers facteurs comme : les barrages, les seuils, les prélèvements d'eau, le drainage, l'endiguement, le recalibrage, etc. Ces facteurs peuvent entraîner des conséquences multiples (érosion régressive, incision, réchauffement de l'eau, déconnexion des bras morts, disparition de zones humides, modifications du transports solides ou altérations de la biodiversité).

Parmi les milieux remarquables particulièrement touchés par ces changements sont dénombrés les zones humides et à fortiori les annexes alluviales (annexes hydrauliques des cours d'eau). En effet, depuis le XXe, **67% des zones humides ont disparue en France dont la moitié entre 1960 et 1990** (MNHN). Ces zones pouvaient historiquement être considérées comme des milieux insalubres ou peu propices aux activités humaines (Kubiak & Mulot, 2017). Les services rendus par les zones humides ne sont aujourd'hui plus à prouver. Un recul scientifique de plusieurs décennies fait état de ces nombreux services écosystémiques remarquables (capacité d'autoépuration, zone de rétention des crues, réservoirs d'eau, réservoir de biodiversité, etc.).

Certaines zones humides de la région Grand Est sont particulièrement remarquables du fait de leur singularité comme en Alsace avec les Rieds (terme issu de l'alémanique « Rieth » signifiant « roseau »). En Alsace, le Ried désigne une région humide, généralement soumise à des inondations (hivernales ou printanières). Ces zones peuvent regrouper des terres marécageuses, des prairies ou des forêts alluviales. Il en existe divers types qui sont influencés directement par les rivières les traversant et par les remontées de nappe phréatique. Ces milieux particuliers et iconiques de ce territoire sont d'une richesse naturelle remarquable (flore, faune, paysage).

En Alsace ces changements de paysages ont également été notables à travers les siècles. Les Rieds, les zones humides et les annexes alluviales (bras morts, fossés, etc.) ont fortement été modifiés et réduits à travers les nombreux aménagements historiques du Rhin et de l'Ill. Si certaines zones particulièrement remarquables persistent (zones de l'Ill domaniale, RNR de l'Eblen et d'Illfeld, RNR de l'Illwald, etc.), une grande partie des annexes de l'Ill ont été déconnectées ou supprimées (déconnexion par abaissement du lit, endiguement, comblement, etc.).

Ainsi, malgré une prise de conscience collective louable, le constat reste alarmant avec une amélioration pour 10 % des zones humides, une relative stabilité pour 42 % et la dégradation continue pour 48 % de ces milieux. Ceux qui semblent connaitre l'évolution la plus défavorable

étant en 1er lieu les prairies humides et les tourbières, mais aussi les annexes alluviales et les forêts inondables (étude CGDD-SOeS 2000-2021 ; DREAL Grand Est, 2017). Il apparait ainsi particulièrement pertinent d'œuvrer dans le sens d'une reconquête de ces milieux et de leur biodiversité inféodée. Comme en témoigne le 4e Plan national milieux humides 2022-2026 récemment déployé par le Ministère de la Transition écologique.

En effet, les caractéristiques des **annexes alluviales** (et des zones humides associées) permettent fréquemment d'y retrouver des taxons d'intérêts communautaires. Ces zones **offrent aussi des lieux de croissance ou de reproduction nécessaires aux cycles biologiques de nombreuses espèces** (amphibiens, poissons, avifaune, etc.). Si les écosystèmes d'eau douce abritent environ 6% de la biodiversité terrestre, ils ne représentent que 0,01% de la surface du globe (Dudgeon et al. 2006). Or, en France près d'une espèce de poisson d'eau douce sur trois est menacée d'extinction d'après la Liste Rouge des espèces menacées (UICN - UBSN, 2021).

Les annexes hydrauliques sont des milieux avec une frontière fine entre milieu aquatique et terrestre. Elles sont indissociables des espèces qui y vivent. Le brochet (*Esox lucius*) comme espèce repère du contexte eso-cyprinicole est une clef d'entrée d'analyse particulièrement pertinente.
En effet, **le Brochet est considéré comme une espèce dite « parapluie »** (espèce dont l'étendue du territoire ou de la niche écologique permet la protection d'un grand nombre d'autres espèces si celle-ci est protégée). Celle-ci est choisie comme la cible privilégiée des projets de la Fédération. Une reproduction efficace du Brochet nécessite de nombreux facteurs environnementaux et hydrauliques que les aménagements anthropiques ont fortement réduit.

L'espèce est ainsi classée comme « vulnérable » par l'UICN en 2010 à l'échelle de la France métropolitaine (statut VU sur liste rouge alsacienne – Liste des espèces de poissons protégées sur l'ensemble du territoire français national : Article 1 - Liste des espèces animales et végétales à la protection desquelles il ne peut être dérogé qu'après avis du Conseil national de la protection de la nature : Annexe 1). Son état de conservation est donc directement corrélé à la présence d'annexes hydrauliques fonctionnelles et connectées.

C'est dans ce cadre que se place la Fédération du Haut-Rhin de pêche et de protection des milieux aquatiques (FDAAPPMA68) en tant qu'association de protection de la nature et reconnue d'utilité publique. Forte de ses connaissances en matière de gestion et d'analyse piscicole, **la structure a choisie de déployer une étude centrée sur les annexes hydrauliques de la plaine d'Alsace, sur 3 années (2020-2022).**

Annexe hydrauliques biogène et riche en végétation

II. OBJECTIFS

L'étude des annexes hydrauliques de la plaine d'Alsace de la FDAAPPMA68 est un **programme de diagnostic global déployé sur 3 ans de 2020 à 2022** (avec une base préliminaire en 2019 centrée sur un secteur plus réduit).

L'étude répond à un constat, des besoins identifiés et des objectifs précis tels que :

- Acquisition ou amélioration des connaissances sur des zones sensibles prioritaires mais méconnues ;
- Permettre un recensement exhaustif des annexes hydrauliques de l'Ill et des secteurs canalisés attenants (production d'un atlas utile aux partenaires) ;
- Permettre une connaissance fine de l'hydromorphologie et de la fonctionnalité biologique des annexes recensées ;
- Connaitre le potentiel de production en juvéniles de Brochet (espèce repère) ;
- Orienter les préconisations de gestion en matière d'halieutisme (AAPPMA, GOGILL, VNF, etc.) ;
- Répondre aux sollicitations des acteurs locaux (AAPPMA, communes, syndicats, gestionnaires, etc.) sur un territoire remarquable ;
- **Favoriser l'émergence de projets de restauration ou de protection, selon les enjeux**.

III. CONTEXTE

3.1. Les annexes hydrauliques

a) Eléments de définitions

Des définitions multiples peuvent exister pour encadrer la notion de « zone humide », mais dans les milieux humides, l'eau reste toujours le principal facteur de définition (et de fonctionnement).

❖ Zone humide

Selon le **Code de l'environnement**, les zones humides sont des « *terrains, exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire, ou dont la végétation, quand elle existe, y est dominée par des plantes hygrophiles pendant au moins une partie de l'année* ». (Art. L.211-1 du Code de l'environnement).

Au niveau international c'est la définition de la **convention de Ramsar** qui peut être citée (traité international adopté en 1971 et entré en vigueur en 1975). La définition est plus large que la réglementation française avec : « *les zones humides sont des étendues de marais, de fagnes, de tourbières ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, où l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau marine dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres* ».

❖ Annexe hydraulique

Une annexe hydraulique est une zone humide mais toutes les zones humides ne sont pas des annexes hydrauliques (ou alluviales).

La notion d'annexe hydraulique regroupe plusieurs typologies de zones humides comme les bras morts ainsi que les marais jouxtant les rivières, elle englobe également les zones humides connectées aux rivières.

Le **Glossaire sur l'Eau**, les milieux marins et la biodiversité (Oieau – OFB) permets d'encadrer la terminologie par la définition suivante : « Ensemble de zones humides alluviales en relation permanente ou temporaire avec le milieu courant par des connections soit superficielles soit souterraines : îles, bancs alluviaux, bras morts, prairies inondables, forêts alluviales, ripisylves, sources et rivières phréatiques. Ces espaces constituent d'importantes zones de transition entre le milieu terrestre et le milieu aquatique. Ils offrent une grande variété d'habitats, dans lesquels les communautés animales et végétales (insectes, poissons, amphibiens, oiseaux, mammifères) se répartissent en fonction du niveau de submersion des terrains. Les annexes hydrauliques ont un rôle déterminant dans le cycle de vie des espèces et notamment dans la reproduction des poissons. Selon leur nature et les espèces concernées, ce sont des zones de reproduction, de repos migratoire ou encore des aires de nourrissage. Les batraciens et les reptiles y sont aussi bien représentés que les oiseaux. La grenouille rieuse, la rainette verte ou méridionale, la couleuvre à collier, côtoient la poule d'eau, le grèbe castagneux, le martin pêcheur et quelques fois le héron cendré ».

On peut ainsi simplifier la démarche de définition comme suit :
« ***Les annexes hydrauliques correspondent aux zones humides connectées en période de hautes-eaux*** ».

- ❖ Cours d'eau

En France, la définition d'un cours d'eau comme notifié au sein de l'Art. L.215-7-1 code de l'environnement est la suivante :
« *Constitue un cours d'eau un écoulement d'eaux courantes dans un lit naturel à l'origine, alimenté par une source et présentant un débit suffisant la majeure partie de l'année* ».

b) La formation des annexes hydrauliques

La dynamique des cours d'eau et les processus d'équilibre d'érosion/dépôt peuvent entrainer la formation d'annexes. Classiquement, ces processus entrainent le recoupement régulier de méandres qui deviennent ainsi des bras morts (Malavoi & Bravard 2010).

Figure 1 : Exemple de recoupement de méandre sur l'Ill à Wittenheim (source : IGN remonter le temps avec à gauche orthophotographie actuelle et à droite orthophotographie de 1950-1965).

L'écoulement de l'eau selon la pente donne une énergie nécessitant d'être dissipée à travers des processus d'érosions. **Le flux d'un cours d'eau se compose donc de son débit solide et de son débit liquide.** Ce sont les ajustements continus entre ces processus qui vont tendre

à établir un équilibre dynamique. Dans la plaine, le cours d'eau rallonge son tracé avec la formation de méandre (matériaux arrachés d'une berge pour être déposés sur l'autre). Ces mêmes méandres peuvent être recoupés par la rivière lorsqu'ils deviennent trop prononcés (le cours d'eau le coupe au droit ou le raccourci). C'est ainsi que le chenal principal devient un bras mort. Ces processus peuvent évoluer de manière naturelle ou être liés à des aménagements et événements artificiels (Petit, 2006 ; Malavoi 2006 ; Malavoi et Bravard 2010 ; Fort et al, 2015). Plusieurs événements peuvent induire la formation de bras morts comme le recoupement par déversement, par tangente ou l'avulsion (Amoros et Petts, 1993 ; le Cox, 2007).
Les processus de création de bras morts étant complexes, ces zones sont également soumises à différentes temporalités. Certains anciens bras ou bras secondaires peuvent être observés à des stades variés de comblement. En fonction de leur stade d'évolution, les annexes hydrauliques présentent des peuplements faunistiques et végétaux variés. De fait, les annexes hydrauliques peuvent présenter des typologies particulièrement variées (bras morts, bras secondaires, mares, marais, prairies et zones inondables, etc.).

c) Typologie

En se référant au sens technique employé, il existe plusieurs types d'annexes. Malavoi propose un classement simplifié des bras morts en fonction de leur degré dévolution et leur état de connexion avec le chenal principal (Malavoi 2004 ; Malavoi et Bravard 2010). Une typologie de 4 grands types d'annexes hydrauliques est ainsi proposée avec :

- Eupotamon ;
- Parapotamon ;
- Plésiopotamon ;
  Paléopotamon.

D'autres auteurs et structures proposent des systèmes de classement en référence aux habitats observés tels que (*un tableau récapitulatif est présenté en annexe*) :

- Typologie FD57 et Lorraines (Humbert 2017) ;
- Typologie FD02&FD71 Loire et Saône & Loire (Marcon et Chassignol 2020) ;
- Typologie FD55 (Dupieux 2004 ; Mangeot et al 2009 ; Cormond 2020). ;
- Typologie FD03 (Allion et Lelièvre, 2016 ; Debayle et al, 2020).

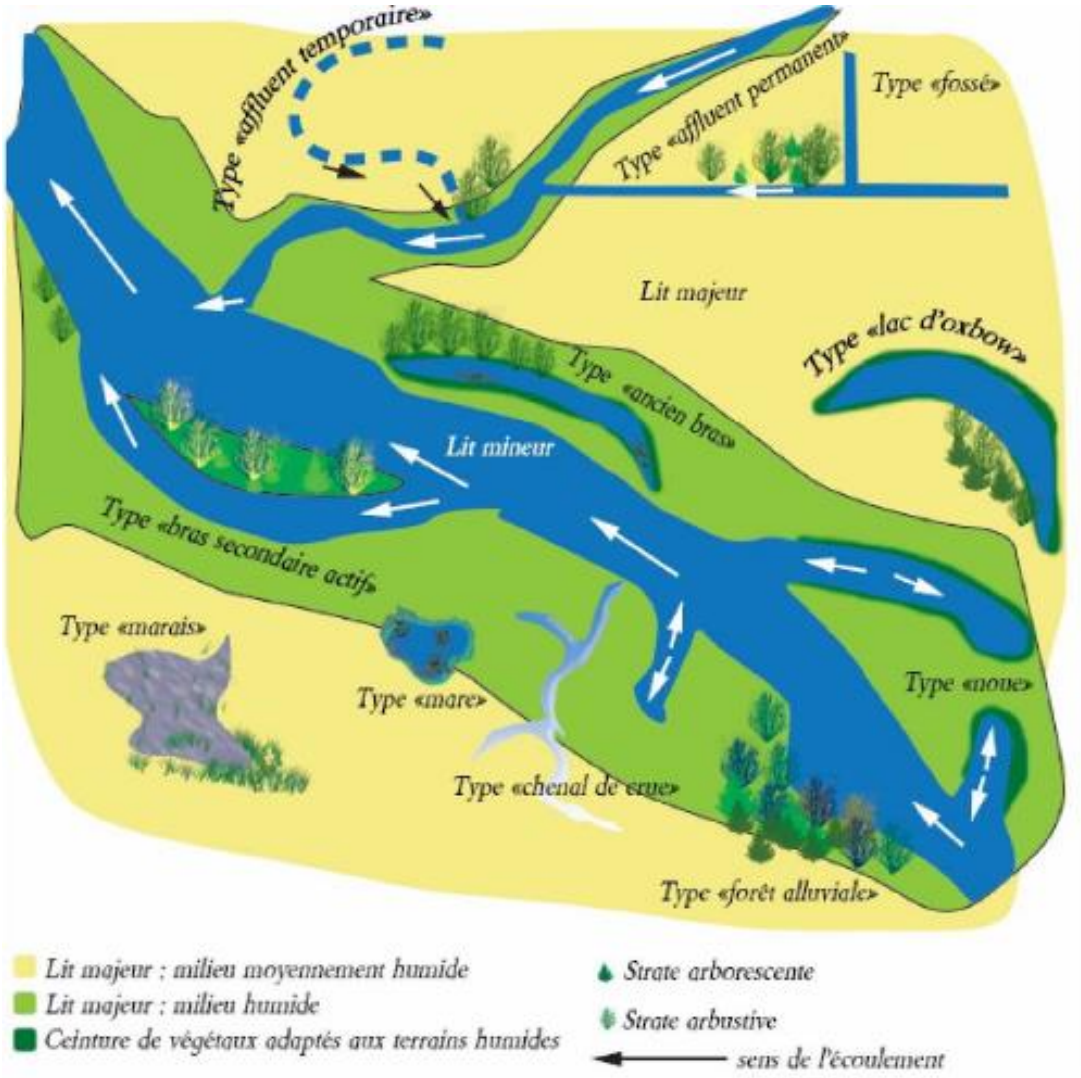


Figure 2 : Exemple de typologie utilisée sur les annexes hydrauliques de la Meuse (source : Pérez et Millet FD55, 2009).

Le choix de la typologie utilisée dans le cadre de l'étude (après concertation et validation du comité de pilotage) est expliqué par :

- Un besoin d'harmoniser les données produites avec les départements voisins (dans le cadre des études déjà réalisées au sein de l'UBRM notamment sur l'axe Moselle) ;
- De s'adapter au contexte local et de simplifier la démarche de caractérisation.

Elle est ainsi la suivante :

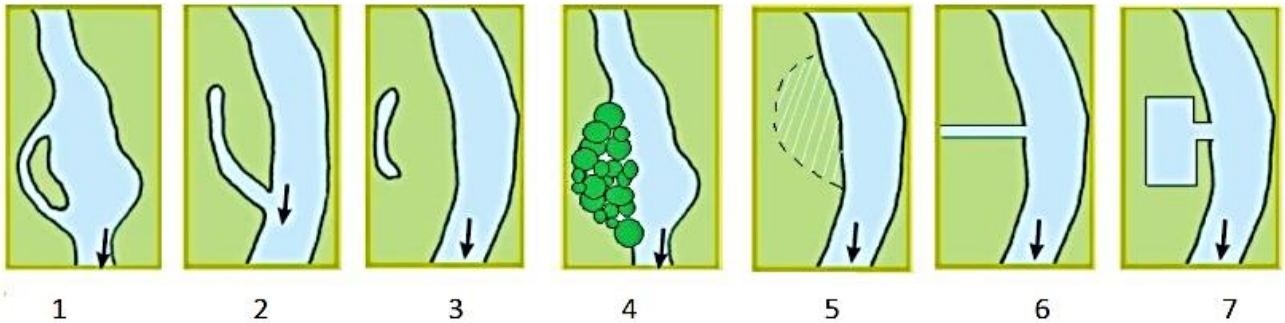


Figure 3 : Schéma des 7 typologies d'annexes catégorisées (source : Humbert 2017).

Tableau 1 : typologie des stades d'évolution des bras morts (source : Malavoi, 2004 ; Malavoi&Bravard2010 ; Humbert 2017)

	Typologie Malavoi (2004) & Malavoi&Bravard(2010)		Typologie FD57 et Lorraines (Humbert 2017)	
1	**Eupotamon (Eupo)**	Le chenal récemment recoupé communique avec le cours d'eau principal par l'aval et par l'amont, quel que soit le débit. Le fonctionnement hydraulique s'apparente un certain temps à celui d'un chenal secondaire	**Chenal secondaire**	Connecté au cours d'eau par l'amont et l'aval, il détourne une partie de la rivière mais son débit est moins fort
2	**Parapotamon (Para)**	Le bras mort est connecté par l'une de ses extrémités, généralement par l'aval mais ne l'est plus par l'autre ; trois stades évolutifs sont distingués	-	-
2-1	**Para1**	Connexion par l'aval quel que soit le débit et par l'amont en eaux moyennes	**Bras mort**	Connecté au cours d'eau uniquement par l'aval en période d'étiage et la connexion amont se fait en période de hautes eaux
2-2	**Para2**	Connexion par l'aval en eaux moyennes et par l'amont en hautes eaux	**-**	**-**
2-3	**Para3**	Connexion par l'aval en hautes eaux et par l'amont en crue annuelle	**-**	**-**
3	**Plésiopotamon (Plésio)**	Pas de connexion nette par l'aval ni par l'amont. Mise en eau lors de la crue annuelle	**Bras isolé ou morte**	Complètement déconnecté du cours d'eau excepté lors des crues
4	**Paléopotamon (Paléo)**	Le bras mort est complètement séparé du chenal. La mise en eau se produit lors des crues dépassant le débit de « pleins bords » (Q2ans à supérieure). Deux stades évolutifs	**Marais**	Ancien chenal partiellement comblé par les sédiments où se développe une végétation hygrophile
4-1	**Paléo1**	Les restes d'un chenal, même très colmaté, sont visibles. Il y a continuité sur une certaine longueur		
4-2	**Paléo2**	On n'observe plus que petites dépressions discontinues		
5			**Prairie**	Zone de pâture ou prairie de fauche dont la végétation est inondée lors des crues
6			**Fossé**	Milieu artificiel créé pour le drainage des parcelles agricoles
7			**Zone anthropisée**	Milieu artificiel qui sert surtout de zone refuge pour la faune piscicole (anciens ports, gravières connectées,…)

d) Enjeux et pressions

Les zones humides et à fortiori les annexes hydrauliques sont des milieux remarquables. Ces zones alluviales humides de typologies variées (chenaux secondaires, bras mort, marais, etc.) dénombrent de nombreux services rendus et fonctions essentielles (Maltby & Barker 2009). Les annexes hydrauliques sont des milieux d'importance considérable.

Ces zones sont une interface privilégiée entre le milieu terrestre et le milieu aqueux, évoluant sans cesse sous l'effet de la dynamique fluviale, elles impactent directement ou indirectement les flux d'eau (Kenneth et al. 1995 ; Acreman & Holden 2013). Leur rôle peut détenir une fonction clef dans le cycle de l'eau (Bullock & Acreman 2003).

Leur capacité stockage, à plus ou moins long terme, prévient des risques d'inondation en diminuant l'intensité des crues et soutient le débit à l'étiage. La plupart d'entre elles participent à la recharge de la nappe phréatique et à l'épuration des eaux (Verhoeven et al 2006). Les zones humides ont une forte valeur paysagère. Par ces nombreuses fonctions, elles participent à la gestion quantitative et qualitative de la ressource en eau.

Les zones humides alluviales sont ainsi largement définies comme des zones interconnectées au cours d'eau principal (directement ou indirectement), en général de faible profondeur, lentiques et favorisant le développement de communautés animales et végétales spécifiques.

En effet, leurs caractéristiques permettent fréquemment d'y retrouver des taxons d'intérêt communautaire et d'offrir des zones de croissances et/ou de reproduction nécessaires aux cycles biologiques de nombreuses espèces comme : les amphibiens, les poissons, l'avifaune, etc. (Dumousset 1999 ; Gopal & Junk 2000 ; Malby & Barker 2009). Ces milieux peuvent être naturellement très productifs du fait de leur diversité d'habitats (réchauffement de l'eau lié à une faible profondeur, diversité botanique, nutriments apportés lors des crues, etc.). Enfin les annexes alluviales peuvent aussi faire office de zone de refuge pour certaines espèces (refuge lors des crues, refuge thermique, etc.).

Leurs services écosystémiques sont couramment présentés en 3 grandes catégories principales (figure 4) : hydrologique – biogéochimique – écologique.

D'autres fonctions diverses (socio-économique, tourisme, loisir et usage) peuvent également être listées.

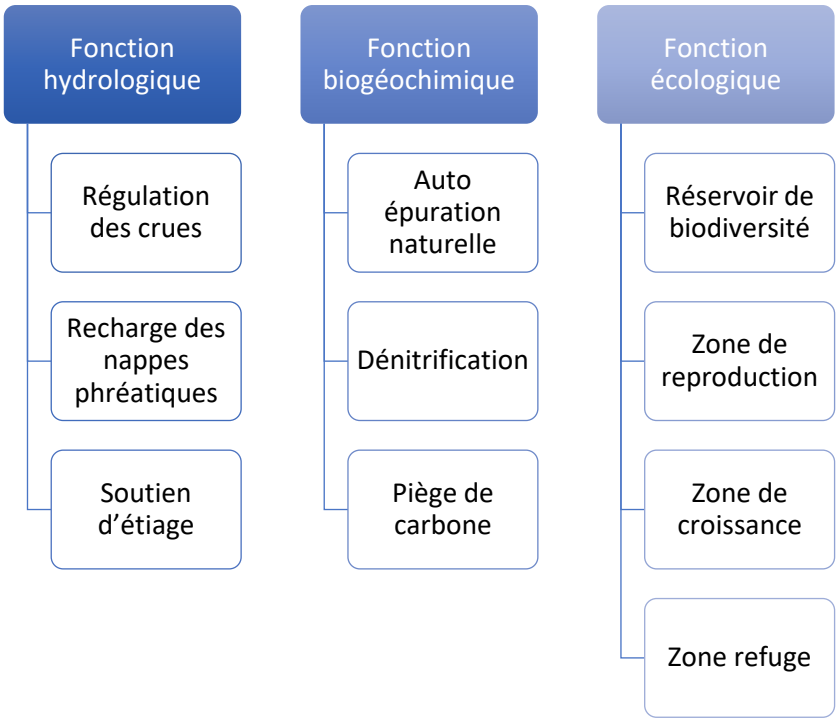


Figure 4 : Les fonctions et les services rendus par les zones humides.

Mais ces zones humides remarquables sont particulièrement impactées par les intensifications des pratiques agricoles, l'urbanisation des territoires, l'imperméabilisation des sols, le drainage et le comblement de zones humides, les pollutions chroniques et aigues, pompage, déconnexion et rectification, etc. de ces dernières décennies (Faulkner 2004 ; Verhoeven et al 2006).

Les zones humides alluviales semblent particulièrement touchées par les régulations et changement de régime hydrologique des cours d'eau (Kuiper et al 2014) ou encore par la construction de barrage souvent associés (Haipeng et al 2019).

Si ces zones ont particulièrement été touchées par un ensemble de pressions identifiées, un nombre croissant de structures entreprends des moyens afin de protéger ou restaurer ces annexes hydrauliques, dans le cadre d'une prise de conscience globale.

3.2. Notion d'indicateur biologique

Dans le contexte général de la mise en œuvre de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE) depuis 2000 et de la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques de décembre 2006 (LEMA), l'ensemble des gestionnaires et usagers ont pour mission d'atteindre le **bon état écologique** et chimique des masses d'eau.

Pour suivre les évolutions de ces milieux et permettre une connaissance de leur qualité, de nombreux moyens, outils et techniques d'analyses sont mis en œuvre. Le « bon état écologique » quant à lui, correspond au respect des valeurs de référence pour les paramètres biologiques, hydromorphologiques et physico-chimiques, qui ont un impact sur la biologie.

L'usage du compartiment ichtyologique comme **bio-indicateur** est particulièrement pertinent pour permettre d'analyser l'état des milieux aquatiques (Blandin 1986 ; Keith & Allardi, 1997 ; PetitJean et al. 2017 ; Keith et al. 2020). Ce concept se base sur le fait que chaque organisme est adapté à certaines conditions environnementales spécifiques.

Les poissons sont des indicateurs biologiques classiques, particulièrement pertinent d'utilisation de par leurs spécificités telles que :

- Durée de vie ;
- Intégrateur des pollutions ;
- Position élevée dans la chaine trophique ;
- Présence dans une large typologie de milieu ;
- Biologie très largement documentée ;
- Sensibilité à la dégradation de la qualité de leurs habitats ;
- Intérêt auprès du grand public.

Cette notion d'indicateur biologique peut être mis en parallèle avec le concept d'espèce repère (une espèce qui par sa présence et son abondance, communique des informations sur l'équilibre du milieu associé). Ce principe est utilisé pour évaluer la fonctionnalité biologique des milieux aquatiques (notamment dans le cadre des plans de gestion piscicole déployés par les fédérations de pêche au national). Dans le cas des grands cours d'eau et des cours d'eau de plaine, **l'espèce repère du contexte est le brochet (*Esox lucius*).**

3.3. Le Brochet

Le Brochet (Esox lucius), représentant de la famille des Esocidés, est un poisson prédateur piscivore emblématique de nos cours d'eau métropolitains. Le Brochet est qualifié d'espèce repère ou **bio-indicatrice** c'est-à-dire que sa présence et la bonne réalisation de son cycle biologique particulier communique des informations précieuses sur la qualité mésologique du milieu. En effet étant donné sa position dite de « top-prédateur » (position élevée sur la chaine trophique), cette espèce va permettre d'évaluer la fonctionnalité du contexte dans lequel elle évolue. Ceci en plus du rôle écologique important que le Brochet joue en tant que prédateur parmi les communautés piscicoles. C'est notamment l'espèce repère des typologies de milieu typique de zone cyprinicole (zones à barbeaux et à brèmes ; B7, B8 et B9).

Figure 5 : Brochet à l'affut dans la végétation aquatique dense d'une gravière alsacienne.

a) Biologie & écologie

Esox lucius (Linnaeus, 1758) appartient à l'ordre Esociformes qui comprend 2 Familles : les Esocidés (dont fait partie le genre *Esox*) et les Umbridés. La famille des Esocidés comprends 7 représentants dont plusieurs espèces découvertes récemment comme le brochet aquitain (Denys et al. 2014).

L'espèce est facilement reconnaissable par son corps élancé et fusiforme ainsi que par son museau allongé et plat en forme de bec de canard. Sa robe est de couleur vert-brun bariolée de lignes transverses.

L'aire de répartition du Brochet est large puisqu'il occupe presque toutes les surfaces de l'hémisphère Nord. Elle est circumpolaire dans l'hémisphère nord où il fréquente les eaux douces et parfois saumâtres (mer Baltique). Il est présent sur l'ensemble de la France métropolitaine (Keith et al. 2011).

Ces différentes qualités morphologiques telles que sa mâchoire puissante et son aptitude à attendre de grande vitesse (notamment lors de propulsion sur de courtes distances), en font un prédateur remarquable. L'animal chasse à l'affut et à vue. Son museau est pourvu de pores céphaliques qui l'aident à se repérer dans son environnement et à mieux localiser ses proies (en plus de son acuité visuelle). La végétation aquatique joue notamment un rôle central dans le cycle de vie du brochet (fonction de reproduction, de croissance, de refuge, etc.). Les populations de brochets sont bien souvent liées à l'abondance et la répartition de la végétation (Chancerel 2003).

Si l'espèce est très sélective vis-à-vis de ses habitats de prédilection, elle est relativement peu exigeante pour les paramètres physico-chimiques (tolérance oxygène dissous jusqu'à 0,3mg/L pendant l'hiver).

Les résultats d'études sur le préférendum thermique de l'espèce diffèrent parfois selon la latitude. Mais il est généralement admis que la température optimale pour le stade adulte est comprise entre 10 et 24 °C (McCauley & Casselman 1981 ; Keith & Allardi 2001). La température létale maximum est de de 31 °C (Tissot et Souchon, 2011).
La température optimale pour l'embryon de brochet est comprise entre 8 °C et 14 °C (Willemsen, 1959) et moyennée entre 10 et 12 °C (Réalis-Doyelle, 2016 ; Téletchea et al, 2017).

Température de l'eau (°C)	0 1 2	3 4 5	6 7 8 9	10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24	25 26 27 28 29 30	31
Court terme (température instantanée)	Seuil létal	Métabolisme réduit	Reproduction 6-12°C	Préférendum thermique	Stress physiologique	Seuil létal
Long terme (moyenne journalière)	Seuil létal adulte	Seuil létal juvéniles	Danger pour juvéniles	Préférendum thermique / Danger pour les embryons	Danger pour les larves	Seuil létal

Figure 6 : Synthèse bibliographique des seuils thermiques du brochet.

Cycle de vie	Tolérance thermique du Brochet *(Esox lucius)*
Embryons	**5 < 10-12 > 19** Dorier (1938) ; Siefert et al. (1973) ; Hassler, (1982)
Larves	**6 < 12-21 > 25,6** Lillelund (1966) ; Teletchea et al (2008) ; Hokanson et al. (1973)
Juvéniles/ Adultes	**3 < 10-24 > 31** McCauley & Casselman (1981) ; Keith & Allardi (2001) ; Chancerel (2003) ; Tissot et Souchon (2011) ; Skov et Nilsson (2018)
Reproduction	**6-12** (Scov et Nilsson, 2018)

Tableau 2 : Synthèse des différentes gammes de tolérance thermique (°C) établies pour le brochet en fonction des principales phases du cycle de vie. Les températures indiquées aux extrémités des crochets sont les températures létales inférieures et supérieures, les températures indiquées à l'intérieur des crochets sont les valeurs de survie optimales (sources additionnelles : Réalis-Doyelle, 2016 ; Téletchea et al, 2017).

Le Brochet est une espèce largement ichtyophage, excepté lors de la phase juvénile où les larves commencent à se nourrir avec du plancton puis des invertébrés après résorption du sac vitellin (Keith et al. 2011). Le cannibalisme est courant chez les jeunes stades, notamment au moment du changement d'alimentation. Mais il arrive également au Brochet d'être opportuniste et de consommer des proies diverses (rongeurs, jeunes oiseaux, écrevisses, amphibiens…).

On retrouve cette espèce dans des cours d'eau de tous gabarits mais de préférence limpide. En effet, le Brochet chasse à vue, souvent dissimulé dans les herbiers et privilégie donc un milieu peu turbide, lentique et riche en végétation aquatique (Craig and Babaluk 1989, Casselman and Lewis 1996).

b) Cycle vital

Le Brochet possède un cycle de vie particulier et alterne entre plusieurs zones de vie (figure 8).

❖ Reproduction & migration

La phase de reproduction a lieu en général entre février et avril (selon la latitude) avec une température de l'eau comprise entre 6 et 12°C (Skov et Nilsson 2018). Les géniteurs entament une migration vers les zones de frayères dès que la température est comprise entre ces bornes thermique afin de se reproduire, parfois sur de grandes distances (Dubost & Vauclin 2004, Ovidio & Philippart 2005). On parle de **migration holobiotique transversale** (Chancerel, 2003 ; Skov et Nilsson 2018).

Cette période de migration s'opère généralement en 3 phases :

1- Migration de pré-reproduction,
2- Montaison,
3- Dévalaison.

De multiples études d'écologie spatiale (généralement par radiopistage, ou plus rarement par acoustique), en France ou à l'étranger (Amérique du Nord, Scandinavie, Belgique, etc.), ont

permit de mieux connaitre les comportements migratoires de l'espèce (Ovidio et al. 2003 ; Dubost et Vauclin 2004 ; Ovidio & Philippart, 2005 ; Namokel et al. 2020 ; Cormont et al. 2020 ; etc.).

Généralement, le domaine vital est plus grand pour les individus de taille plus importante. Les distances de migrations sont très hétérogènes entres les individus mais peuvent parfois dépasser 10km. Néanmoins les sujets ayant à disposition des habitats potentiellement propices à la fraie non loin, n'éprouvent pas la nécessité de migrer sur de grande distance pour en trouver (Namokel et al. 2020).

Hors période de reproduction, le sédentarisme des sujets reste relativement bien marqué (Burr 2002, Masters et al. 2003). Même si dans certains cas des différences de comportements existent avec des individus « sédentaire assumé » ou à l'inverse « nomade » (Masters et al. 2003).

La phase de pré-migration est souvent observée mais pas pour tous les individus.

Enfin, les brochets ne migrent pas uniquement dans les annexes hydrauliques dans le cadre des migrations de reproduction mais aussi lors des crues, ces milieux faisant office de zone refuge (Cormont et al. 2020 ; Chevallier et al. 2022).

Le Brochet est une espèce dite **phytophile**, sa reproduction nécessite des zones de végétations herbacées recouvertes par l'eau en période de hautes eaux (à la faveur des crues) ou des zones de végétations aquatiques denses (Keith et al. 2011).

La végétation ennoyée par la crue (herbacés, Carex, joncs, glycéries, Phalaris…) constituera un support de ponte idéale pour les femelles et de fixation pour les larves. Ensuite les faibles hauteurs d'eau permettent au milieu de se réchauffer et de favoriser l'incubation des œufs. La profondeur idéale semble comprise entre 20 et 60cm.

La taille de la frayère se doit d'être également relativement importante du fait de la fécondation des œufs d'une femelle par plusieurs mâles. On estime la surface minimale de fraie à 1000 m2 (Souchon, 1983) pour un couple de géniteurs. Mais 3 mâles et une femelle peuvent par exemple saturer une frayère de 1500m2. La ponte est en général fractionnée sur 2 à 5 jours par paquets. En termes de fécondité, les femelles peuvent produire en moyenne entre 16 000 et 45 000 ovules/kg. Les œufs pouvant être relâchés aussi bien en pleine eau que dans les zones propices des berges (Farrell et al 2001, Farrell et al 2010, Pierce et al 2012).

Les frayères les plus efficaces sont : les prairies humides ou les annexes hydrauliques telles que les noues, les dépressions humides et les bras morts (Farrell 2011). Ces milieux particuliers (végétation dense, hauteur d'eau entre 30 à 100cm, ensoleillé et lentique) sont essentiels à la reproduction de l'espèce et à la survie de ses larves (Chancerel 2003).

- ❖ Incubation & Stade larvaire

L'incubation dure 120 degrés-jours et la vésicule vitelline se résorbe en 180 degrés-jours (dont 100°C/jour en phase fixé). A leur éclosion les jeunes larves de Brochet vont se ventouser sur les végétaux disponibles (Raat 1988, Cooper et al 2008). Il est enfin nécessaire que les annexes restent suffisamment longtemps en eau afin de laisser assez de temps aux brochetons de croître dans une zone calme, sans prédateurs et riche en nutriments et en zooplanctons. Il est admis qu'une durée de submersion minimale de 40jours est nécessaire.

Les stades de développement qui sont les plus fragiles sont : l'incubation des œufs et la phase de développement des larves. Ce stade est même plus important que la qualité de la fraie elle-même (Casselman and Lewis 1996, Skov & Nilsson 2018).

Par exemple les œufs peuvent rapidement se dégrader sur un fond couvert de matière organique (Skov & Nilsson 2018). Ces matières peuvent engendrer un faible taux d'oxygène ou d'autres facteurs limitants comme une concentration élevée en sulfure d'hydrogène

compromettante ainsi la survie des œufs et des larves de Brochet (Siefert et al 1973, Fago 1977, Casselman & lewis 1996).

Dans le cadre d'hydrosystème non soumis à un marnage saisonnier (pas de crue, milieu artificiel, canaux, zones de polders, etc.), les frayères sont souvent sélectionnées par « défaut ». Elles sont *de facto*, moins fonctionnelles.

❖ Juvéniles

Le régime alimentaire du Brochet est strictement carnassier, mais évolue au cours de sa croissance. L'alimentation active commence entre le remplissage de la vessie natatoire et la résorption totale de la vésicule vitelline. Le zooplancton (entomostracés et crustacés principalement) constitue la nourriture exclusive des jeunes Brochets dès leur première prise de nourriture jusqu'à une taille qui avoisine 20 mm.

Figure 7 : juvénile de brochet capturé lors des inventaires (58mm) et individu plus âgé en déplacement dans une gravière alsacienne (env. 150mm).

Vient ensuite un stade entomophage qui débute chez les alevins à partir d'une taille variable comprise, selon les auteurs, entre 20 et 30 mm et persiste jusqu'à une taille proche de 60 mm. Ce régime peut cependant perdurer dans l'alimentation des Brochetons jusqu'à une taille de 100 mm et plus, que le stade ichtyophage soit atteint ou non (Kohn et Leviten 1976, Eklöv 1997 Jeppesen et al 1997). Le cannibalisme des jeunes sujets de moins de 50 mm est aussi couramment observé au sein d'une même cohorte (Bry et al 1992, Chancerel 2003).

De mai à juin les Brochetons de 6 à 8 cm appelé également « fingerlings » vont être plus mobiles et entamer une migration afin de rejoindre le cours d'eau principal, aidés normalement par un ressuyage naturel de la zone de fraie.

Il est à noter qu'en milieu naturel les taux de survie des alevins sont très faibles. Seulement 0,3% à 10% des Brochetons arriveront en âge de migrer vers les bras principaux et entre 0,0005% et 1,5% d'atteindre l'âge adulte. **Les taux de survie aux âges les plus jeunes sont fortement tributaires de la qualité de la frayère** (Chancerel, 2003 ; Skov et Nilsson 2018). D'après les écrits on est donc en droit d'attendre une production de 0,2 (en marais aménagés) à 0,5 fingerlings migrant par m² (en frayère naturelle fonctionnelle), d'où l'intérêt majeur de caractériser les surfaces favorables à la reproduction.

L'importance de la végétation (habitat de reproduction et de nurserie) revêt une importance capitale dans la réussite du cycle.

❖ Croissance & phase adulte

La croissance juvénile est rapide, les jeunes brochets pouvant atteindre 20 à 30 cm en un an (Keith et al. 2011). Les femelles grandissent plus rapidement que les mâles et atteignent, à âge égal, une taille supérieure de 6 à 8%. L'espèce peut attendre une taille importante (entre 100 et 120cm en moyenne – maximale 130cm). La taille finale des individus semble liée à la taille des proies disponibles (Chancerel 2003). La maturité sexuelle est atteinte au bout de 2 ans chez les mâles et 3 ans chez les femelles et la longévité est comprise entre 10-15 ans pour les mâles et 20-30 ans pour les femelles.

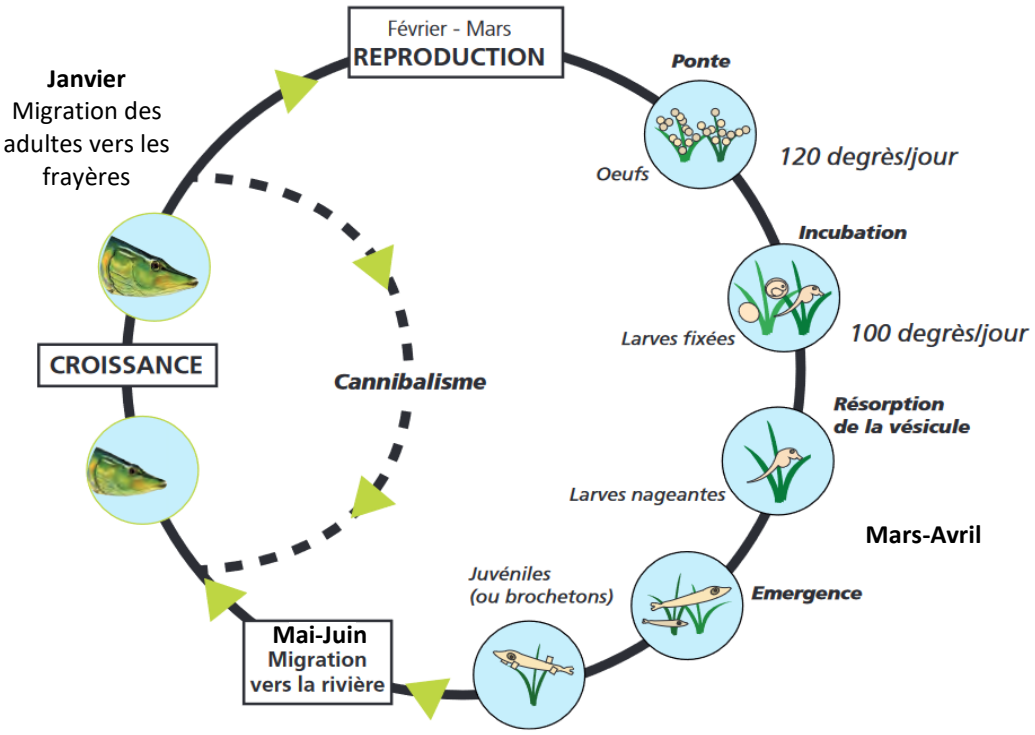


Figure 8 : Schéma simplifié des principales étapes du cycle biologique du brochet (©UFBAG2014).

Tableau 3 : Récapitulatif des principales prérogatives d'une frayère à brochet fonctionnelle.

Le recrutement des juvéniles dépend donc principalement des paramètres suivants :	
Accessibilité aux zones de reproduction par les adultes	Accessibilité au cours principal par les juvéniles (ressuyage optimal)
Nature et qualité des habitats et du substrat (recouvrement entre 60 à 80 % dont *carex, phalaris, agrostis ou glyceria*)	Abondance des proies (plancton, invertébré et poisson fourrage)
Stabilité des niveaux d'eau dans la frayère (au moins 40 jours de submersion)	Taux de matière organique en suspension
Condition de débit faible et stable	Eléments toxiques
Ouverture au rayonnement solaire et protection au vent Nord	Biomasse en adulte suffisante
Température et réchauffement printanier optimal	Turbidité
Profondeur (20-80cm)	Protection contre la prédation
Hors d'eau pendant 6 mois (développement de la végétation)	En eau 2 ou 3 ans sur 5 pour limiter les phénomènes de cannibalisme

c) Enjeux et pressions

Étant donné la nature même de ses caractéristiques et préférences écologiques particulières, le brochet est particulièrement impacté par les activités humaines. C'est principalement le cas pour ses zones de reproduction spécifiques et de nurserie. En effet, les populations de brochet régressent dans de nombreux cours d'eau en raison de la destruction ou la dégradation de ses lieux de reproduction (annexes hydrauliques, prairies inondables et végétation aquatique).

Le maintien de l'espèce est mis en balance par un ensemble de pressions telles que : l'intensification des pratiques agricoles, les barrages, les endiguements, le recalibrage, le reprofilage des cours d'eau, la déconnexion des annexes alluviales et le drainage des zones humides.

Figure 9 : Schéma simplifié des ensembles de pressions reliées à l'espèce.

1- **Les aménagements** peuvent empêcher la libre **circulation horizontale** des individus géniteurs entre le lit mineur et majeur ainsi que l'inondation des sites de reproductions. Mais ils peuvent également fractionner leur **répartition longitudinale**. En effet, le Brochet n'est pas une espèce sauteuse et sa capacité de franchissement est donc limitée, des ouvrages de quelques décimètres suffises à ne plus être franchissable (Chancerel, 2003). La présence d'aménagement peut suffire à empêcher sa migration de reproduction et contribue à fragiliser l'espèce (Keith et al. 2002).

2- **L'eutrophisation des milieux** peut également être problématique notamment via la hausse de la turbidité engendrée qui peut nuire à l'alimentation des poissons (chasse à vue) mais aussi à la végétation et donc au développement et à la survie des larves (Ask et al. 2009, Karlsson et al. 2009, Hongve et al. 2014).

3- **La pollution des eaux** est pénalisante pour l'espèce (à l'instar des autres espèces aquatiques : perte de densité des proies, fragilisation de la chaine alimentaire, colmatage des œufs, etc.). Cela peut prendre différentes formes comme au travers de pollutions diffuses, chroniques ou aigues.

4- **Le changement climatique**, même si son rôle est moins documenté sur l'espèce, il peut également avoir un impact notamment sur les paramètres liés au développement (photopériode, température, etc.).

5- **La prédation et la pression de pêche** peut avoir un impact localisé sur des zones soumises à une forte pression (zone très fréquentée, prédation des oiseaux piscivores sur les jeunes stades, etc.).

6- **L'homogénéisation des habitats** avec notamment la perte des herbiers ou des habitats riches en végétations aquatiques qui est pénalisante. Par exemple, les curages ou les dragages intensifs (ou une circulation fluviale dense) peuvent avoir un effet sur la diversité et la densité végétale. Celle-ci étant étroitement liée à la survie de l'espèce (Sandström et al 2005). **La modification de l'hydrologie ou de la morphologie fluviale** peut avoir un impact sur la structuration de la végétation aquatique rivulaire ou immergée. Ces modifications influent directement sur la réussite de la reproduction (Farrell et al. 2010). Les zones inondables sont en effet de plus en plus rares de part ces profondes modifications paysagères.

Lié à ces problématiques l'état de conservation du brochet est mis à mal. Les **statuts de protection** sont définis en conséquence, aussi bien au national qu'à des échelles plus locales. Sur notre territoire, le Brochet est classé en Liste Rouge UICN des poissons d'eau douce de France métropolitaine (2009) avec le statut **vulnérable** (VU). De plus, il est également inscrit :

- Sur la liste rouge alsacienne (Statut VU) ;
- Sur la liste des espèces de poissons protégées sur l'ensemble du territoire français national : Article 1 ;
- Sur la liste des espèces animales et végétales à la protection desquelles il ne peut être dérogé qu'après avis du Conseil national de la protection de la nature : Annexe 1 ;
- Sur le décret n° 2008-283 du 25/03/08 relatif aux frayères et aux zones de croissance ou d'alimentation de la faune piscicole et modifiant le code de l'environnement (amende en cas de destruction).

d) Halieutisme

La pêche de loisir en France représente un impact socio-économique non négligeable avec une estimation de plus de 2 milliards d'euros d'impact économique (FNPF, 2012). En effet, le nombre de cotisations pêche milieux aquatiques représente annuellement 1,4 à 1,5 millions (ex : 1 477 891 en 2021 dont 745 110 cartes « personne majeure » - source : FNPF). Au niveau du Haut-Rhin, on dénombre 14 828 pêcheurs en 2021.

Enfin, le brochet est également une des espèces de poissons la plus recherchées par les pêcheurs de loisirs (Arlinghaus et al. 2008, Derek et al. 2015). Les enjeux dans l'hémisphère Nord, en Europe et plus particulièrement en France sont connus avec un poids économique et social de l'espèce Brochet très important. Bon nombre d'évènements tournent autour de la recherche de cette espèce. Un nombre important d'actions ou de subventions sont également directement allouées à la protection ou à l'étude de cette espèce.

Généralement, la règlementation halieutique en France fixe la taille minimale de capture du brochet à 60cm et le quota journalier de carnassiers par pêcheur est de 3 dont 2 brochets par pêcheur. Dans certains départements la réglementation est différente en fonction des arrêtés préfectoraux associés (double maille, fenêtre de capture, zone en no-kill, taille supérieure, quotas différents, etc.). Dans le département du Haut-Rhin, la réglementation fixe actuellement la taille minimale de capture à 60cm et le quota à 1 brochet maximum par jour/par pêcheur en 2021.

e) Le Brochet en Alsace

La situation du Brochet en Alsace est contrastée avec plusieurs secteurs favorables (lac de Plobsheim, certains secteurs du Rhin, certaines gravières et canaux, etc.) et d'autres moins favorables (plaine d'Alsace, zones urbaines, etc.). En l'état des connaissance actuelles, peu de données et d'études existent sur l'espèce dans le secteur hormis :

- Etudes de la FDAAPPMA67 centrées sur le plan d'eau de Plobsheim (2017-2022) ;
- Etude de Dubost et Vauclin (2004) sur les déplacements et les migrations du Brochet (*Esox lucius*) par radiopistage dans l'Ill (1997-2000) ;
- Données issues des réseaux de pêches d'inventaires scientifiques de la FDAAPPMA67, 68, d'ASR et de l'OFB ;
- Enquêtes pêcheurs ponctuelles.

Les observations générales font état de populations déclinantes dans la plaine et d'une nécessité tangible de fournir un diagnostic complet notamment dans le département du Haut-Rhin. L'espèce présente actuellement le statut vulnérable inscrit sur la liste rouge alsacienne. Historiquement l'espèce est présente sur une large diversité de milieux, comme : le secteur rhénan, l'Ill médian et aval, le lac de Kruth-Wildenstein, le lac de Plobsheim, les gravières, les secteurs canalisés attenant à l'Ill et au Rhin.

3.4. La plaine d'Alsace

La **plaine d'Alsace** est le nom donné à la vaste plaine couvrant une grande partie de l'Alsace (30km x 170km, globalement de Mulhouse à Strasbourg).

En Alsace les changements de paysages ont été notables à travers les siècles, aussi bien autour du secteur rhénan que sur la plaine. Le secteur d'étude est très anthropisé et une grande partie du linéaire de l'Ill dans le département du Haut-Rhin est aménagé.

Les annexes associées ont pour un grand nombre été déconnectées ou supprimées (déconnexion par abaissement du lit, endiguement, comblement, etc.). Néanmoins un certain nombre de zone sanctuarisées existent également.

a) Choix du secteur d'étude

Le choix de la zone d'étude s'explique par plusieurs critères :

- Caractère remarquable du bassin de l'Ill (plus grande portion de seconde catégorie piscicole du département, gabarit et densités d'annexes potentielles plus élevées que sur d'autres secteurs) ;
- Enjeux et opportunités locales au niveau du canal du Rhône au Rhin et de Colmar lié au souhait partagé de l'acteur local VNF d'améliorer la fonctionnalité latérale de certaines annexes hydrauliques ;
- Une forte demande d'actions des AAPPMA locales et de l'impulsion du COGILL depuis quelques années afin de trouver des solutions pérennes pour reconquérir une fonctionnalité plus optimale de leurs linéaires ;
- L'inclusion du secteur d'étude dans une dynamique territoriale et administrative pertinente (SAGE Ill-nappe-rhin).

b) Secteur d'étude

Ce sont donc **trois grandes entités d'études** qui ont été choisies, de typologies très dissemblables :

- **Le secteur de l'Ill** (de l'amont d'Altkirch à partir de sa classification en cours d'eau de 2nd catégorie piscicole au niveau de la confluence avec le ruisseau du Feldbach et à l'aval de Colmar jusqu'à sa limite avec le département du Bas-Rhin).
- **Le secteur du canal de Colmar** (Canal de Colmar en délimitation du département du Haut-Rhin, canal de la Hart, canal de Neuf-Brisach et Lauch canalisée) ;
- **Le secteur du Canal du Rhône au Rhin** (canal du Rhône au Rhin, délimitation département du Haut-Rhin, secteur particulier de Montreux-Vieux, canal déclassé, Quatelbach, canal de Hunningue, grand canal d'Alsace et canal de Niffer) ;

➔ La zone étudiée représente 80km sur l'Ill, 12km sur le canal de Colmar, 30km sur le canal de Neuf-Brisach et 50km sur le canal du Rhône au Rhin soit plus de **200km de linéaire étudié.**

Tableau 4 : Linéaire compris dans la zone d'étude des annexes de la plaine d'Alsace (2019-2022).

Secteur d'étude (2019-2022)	Linéaire (km)
L'Ill (en 2eme catégorie)	78,8
Le canal de Colmar	11,3
La Lauch aval et la Lauch canalisée	17,7
Le canal du Rhône au Rhin	30,7
Le canal de Niffer	13,0
Le canal de Huningue	15,1
Le canal de la Hart, le Quatelbach et le canal de Neuf-Brisach	36,8

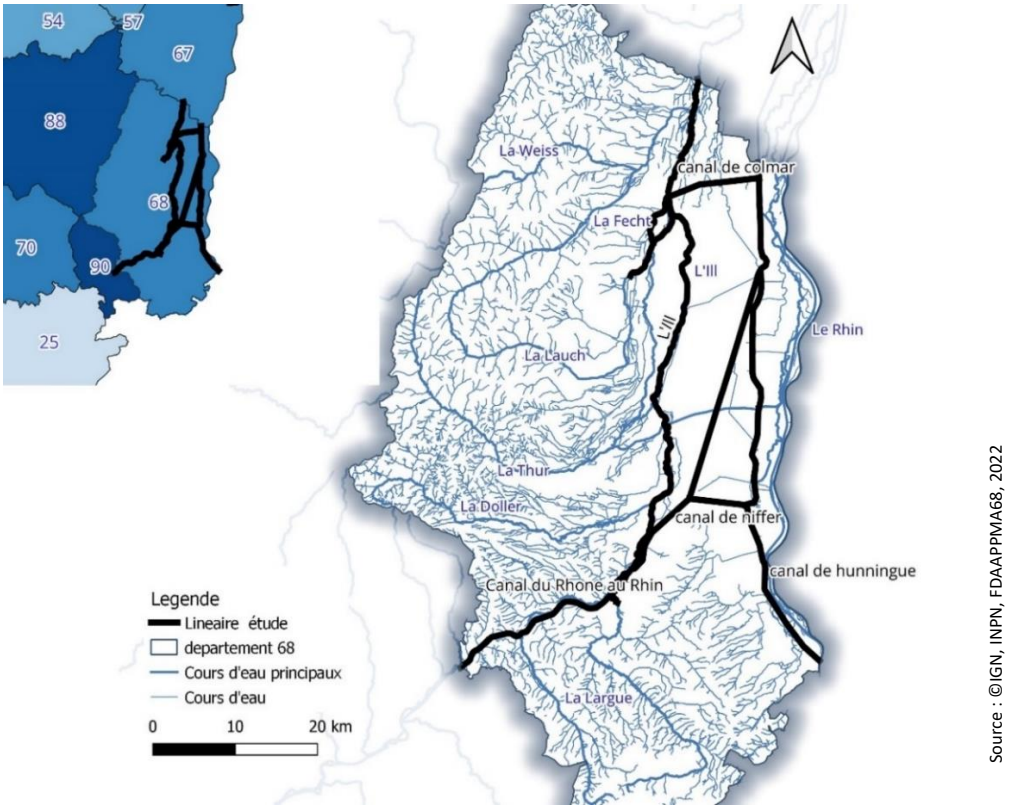


Figure 10 : Représentation du linéaire suivis lors de l'étude des annexes de la plaine d'Alsace (203km).

Ces trois grandes entités sont découpées en unités opérationnelle plus fines afin de mieux prendre en compte des disparités locales. **Un découpage en 7 zones d'actions a été réalisé** (figure 10 bis) en fonction de :

- Leur relative homogénéité en termes d'occupation du sol (Corine Land Cover, etc.) ;
- Un découpage hydraulique pertinent (même cours d'eau ou entité hydrologique) ;
- Le découpage géographique vis-à-vis des axes de transport et la facilité des points d'accès lors des phases terrains ;
- Les centroïdes des plus fortes densités d'annexes par zones d'actions ;

➔ La pertinence du découpage en 7 zones d'action a ensuite été validée et testée lors des analyses statistiques.

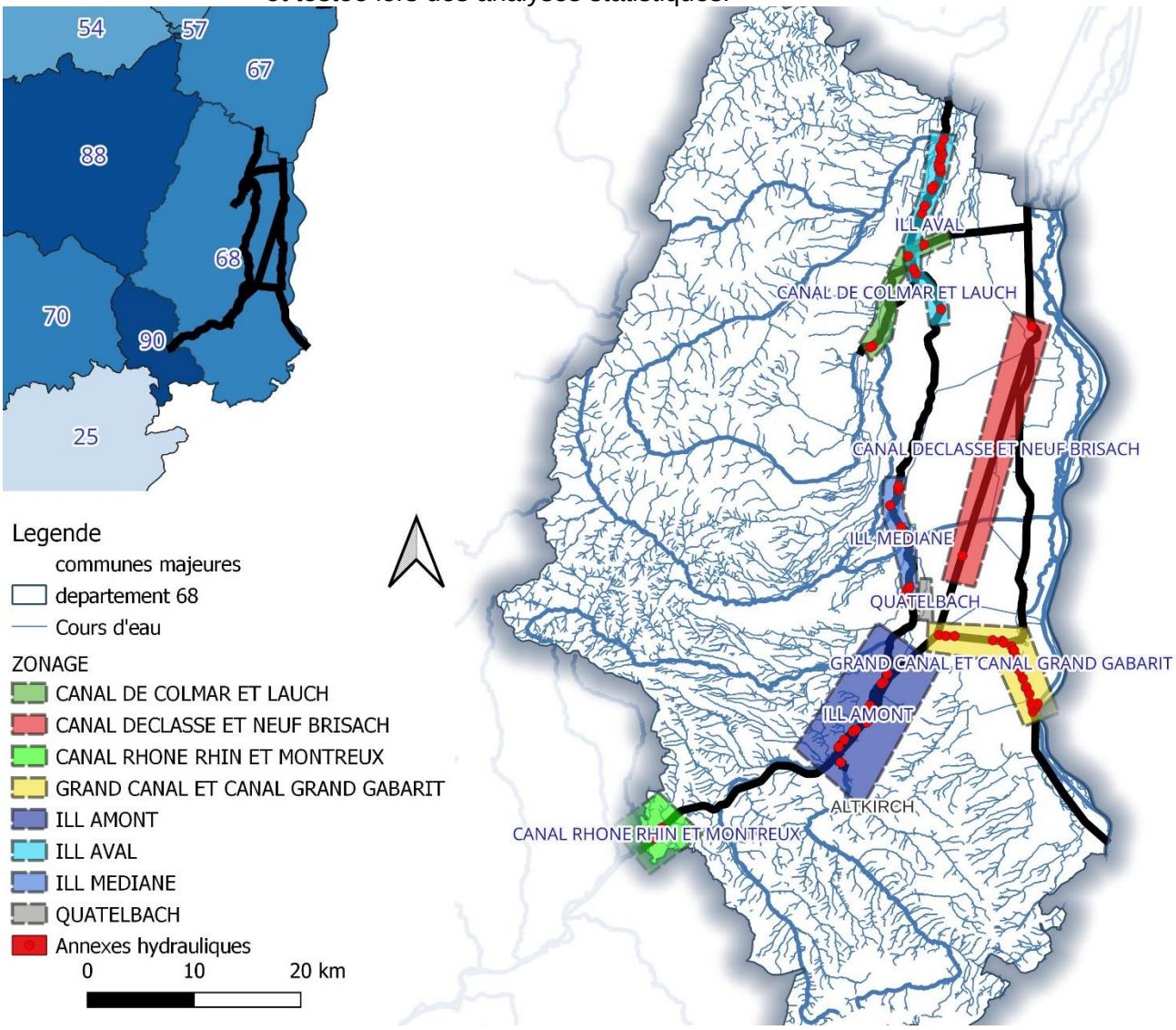


Figure 11 : Présentation du découpage en 7 zones d'actions de l'étude.

Les zones d'actions (secteurs) de l'étude sont :

Canal de Colmar et Lauch	Canal du Rhône au Rhin et secteur de Montreux	Ill amont – Ill médiane – Ill aval
Canal déclassé et de Neuf-Brisach	Grand canal d'Alsace et canal grand gabarit et Niffer	Quatelbach

Remarque : Le zonage et les codes couleurs associés seront repris dans la suite du rapport.

c) Géographie

Avec plus de 10% de son territoire urbanisé, **l'Alsace se situe au troisième rang des régions françaises les plus urbanisées** derrière l'Ile de France et le Nord-Pas de Calais (source : DREAL Grand Est – Atlas des paysages d'Alsace 2015). Très peu de zone sont ainsi non-aménagées et les villes alsaciennes cohabitent de manière hétérogène avec les milieux naturels.
Sur le secteur étudié deux grand type de paysage différents peuvent être schématisés (figure 11 et 12) avec :

- Figure 11 : **Des mosaïques plus variées d'habitats** avec des zones pseudo-naturelles, la présence des rivières vosgiennes et des chapelets de villages sur le Piemont et la plaine. L'eau est omniprésente dans les zones de « Rieds » et avec la présence de l'Ill et du Rhin faisant office de frontière avec l'Allemagne ;
- Figure 12 : **Des zones plus homogènes**, avec la dominance paysagère des grandes cultures intensives (maïs notamment), de canaux et de cours d'eau phréatiques (aménagés ou non).

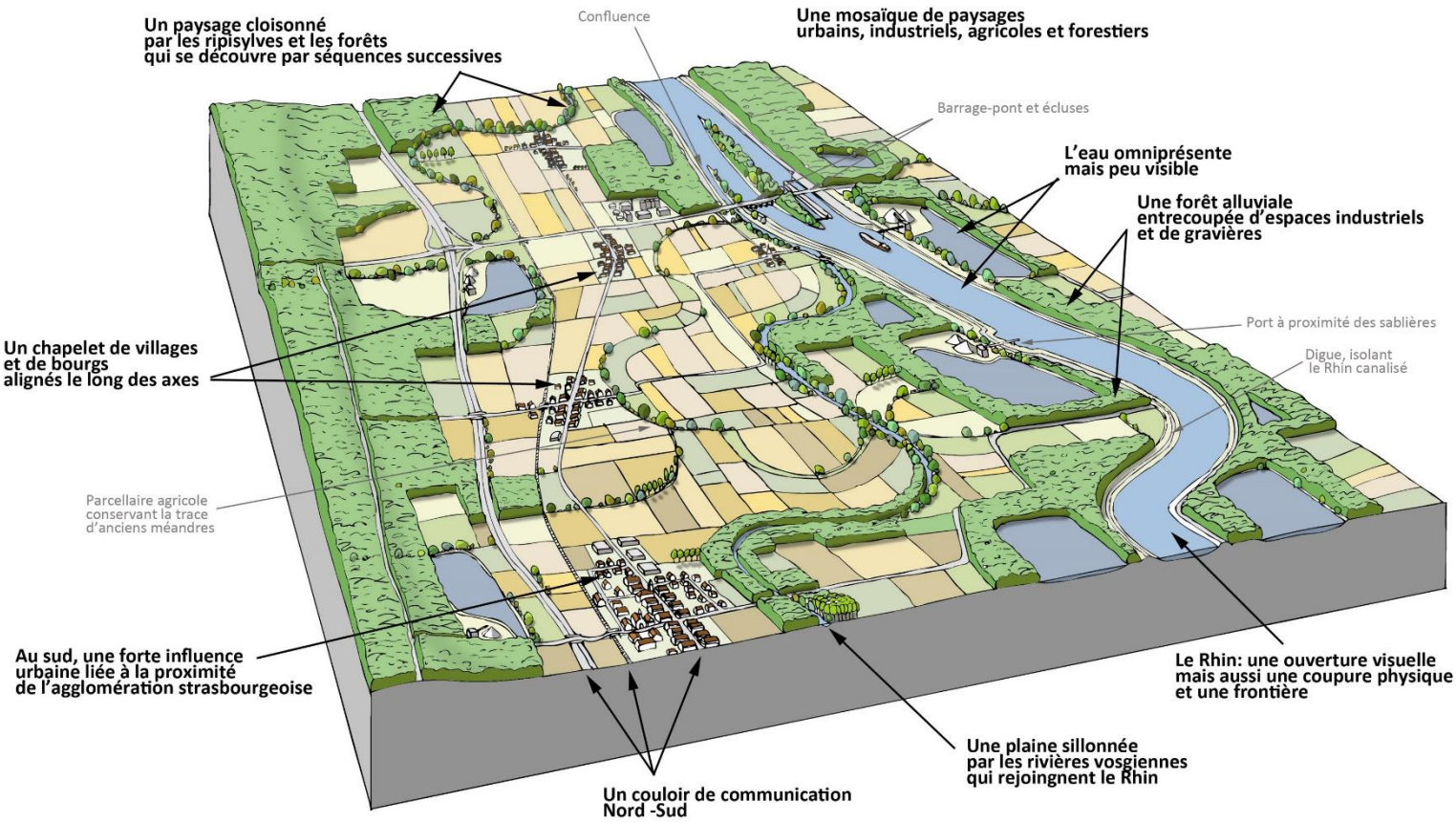


Figure 12 : Schéma des mosaïques de paysage typiques de la plaine d'Alsace dans le secteur Ried Nord (source : DREAL Grand Est – Atlas des paysages d'Alsace 2015).

Figure 13 : Schéma des mosaïques de paysage typiques du centre d'Alsace dans le secteur plaine et Ried (source : DREAL Grand Est – Atlas des paysages d'Alsace 2015).

Les principales évolutions observées ces 50 dernières années sont :

- Les paysages de grandes cultures se sont simplifiés et étendus ;
- Les paysages de prés et de vergers se rarifient ;
- Les paysages des Vosges se sont refermés ;
- Les bourgs et les villes se sont étalés ;
- Les hauts chaumes sont devenus de haut lieu touristiques et naturels ;
- Le Rhin s'est industrialisé et la population s'en ai détournée ;
- Les paysages de vignobles ont progressé.

d) Démographie

L'alsace est densément peuplée avec en moyenne en 2019, 230,3 habitants/km² par rapport à une densité de 119,7 hab/km² pour la France métropolitaine (ADIRA, 2022). En 2019, l'Alsace affiche une population municipale de plus 1,9millions de personnes. La population est en hausse constante (de +0,1% à +4,7% respectivement pour Mulhouse et Strasbourg). Lié à un accroissement démographique constant, l'Alsace est ainsi une zone de très forte croissance où les paysages évoluent rapidement.
Le problème de l'étalement urbain et de l'artificialisation du sol est un enjeu important pour le territoire d'autant plus que l'Alsace est déjà très densément peuplée.

e) Géologie & eaux souterraines

La plaine d'Alsace correspond à un assemblage de diverses roches sédimentaires (calcaires, marnes, sables, évaporites ...), qui sont recouverte en surface par des alluvions quaternaires des différentes terrasses alluviales du Rhin (source : BRGM). Il y a 65 millions d'années, les Vosges et la Forêt-Noire ne formaient qu'un seul massif. Puis à la suite de la formation du massif Alpin, des lignes de cassures se forment et sont envahies par la mer.

La nappe d'Alsace (partie française de la nappe phréatique rhénane) est contenue dans l'un des plus importants aquifères européens. Cette nappe représente un important volume d'eau stockée facilement accessible mais par définition, vulnérable aux pollutions de surface.

f) Réseau hydrographique

❖ L'ill

Une des origines du nom même de l'Alsace peut être issu de l'alémanique « Elsass » pouvant signifier « Pays de l'Ill ». Cette rivière est le principal cours d'eau traversant le département selon un axe Sud-Nord. Elle présente une importance considérable aussi en termes de milieux naturels que d'enjeux touristiques et socio-économiques.

Figure 14 : Entre histoire, tradition et découverte des milieux aquatiques, l'Ill attire des milliers de touristes par an (source : les bateliers du Ried).

L'Ill est un affluent en rive gauche du Rhin dans sa partie française. Long de 208 km, il draine toute la plaine d'Alsace et est fortement influencé par la nappe du Rhin.

Figure 15 : L'ill, une mosaïque diversifiée d'habitats aquatiques (des secteurs peu profond ou profond, des zones sauvages ou très artificielles, etc.).

L'Ill prend sa source dans le Jura alsacien près de la commune de Winkel à 600m d'altitude. La rivière s'écoule vers le nord du département pour rejoindre la plaine alsacienne où elle confluera avec dix affluents et traversera plusieurs grandes agglomérations telles que Mulhouse et Strasbourg. La longueur totale du cours d'eau représente 217km pour un bassin versant de 4 760km². Le parcours de l'Ill peut être découpé en deux entités au sein du département : l'Ill amont (1ere catégorie piscicole) et l'Ill aval (seconde catégorie piscicole). La rupture administrative entre les eaux de première catégorie et de seconde catégorie piscicole s'effectue au niveau de la commune d'Hirsingue. L'occupation du sol est très diversifiée mais globalement elle est plus rurale en amont et urbanisée dans la plaine en aval.

- Le secteur du Canal du Rhône au Rhin

Les secteurs canalisés du canal de Colmar et du canal du Rhône au Rhin sont quant à eux, un espace transitoire de grand volume pour la rivière de l'Ill et les autres secteurs attenants. Ils revêtent une importance économique mais aussi un fort attrait halieutique malgré leur caractère anthropique originel.

Le canal du Rhône au Rhin relie la Saône, affluent navigable du Rhône, au Rhin, par la vallée du Doubs et se prolonge dans le Haut-Rhin jusqu'à Niffer sur le Rhin. Il représente plus de 375km de Niffer à Dole. Sa période de construction est élargie majoritairement de 1784 à 1833 avec des travaux plus récent (fin 19eme siècle aux années 2000) notamment sur les secteurs à grands gabarit (gabarit Freycinet).

Si certains linéaires revêtent encore d'un intérêt de navigation une partie du canal du Rhône au Rhin est déclassée et possède uniquement un intérêt touristique. De plus, ces secteurs sont très fréquentés par les promeneurs, les sportifs ou les pêcheurs.

Figure 16 : Mosaïque de paysage du canal du Rhône au Rhin (navigable ou déclassé, petit ou grand gabarit et canal de Niffer), des secteurs diversifiés en hiver et en été.

❖ Secteurs particuliers de Montreux-Vieux (Etang du pendu et Etang Réservoir)

Deux sites spécifiques ont été adjoint aux périmètres étudiés. Il s'agit de deux plans d'eau connectés au canal du Rhône au Rhin. Ces sites, de par leur nature, ont été suivis dans le cadre de deux études parallèles de la FDAAPPMA68 : l'étude des annexes de la plaine d'alsace mais aussi l'étude des plans d'eau du Sundgau (NAMOKEL et al. 2022).

Il s'agit :
1- du site de Montreux vieux Ouest (dit « le Réservoir »)
2- du site de Montreux-Vieux Est (dit « l'étang du Pendu »).

Site de Montreux-Vieux Ouest (dit « le Réservoir »)

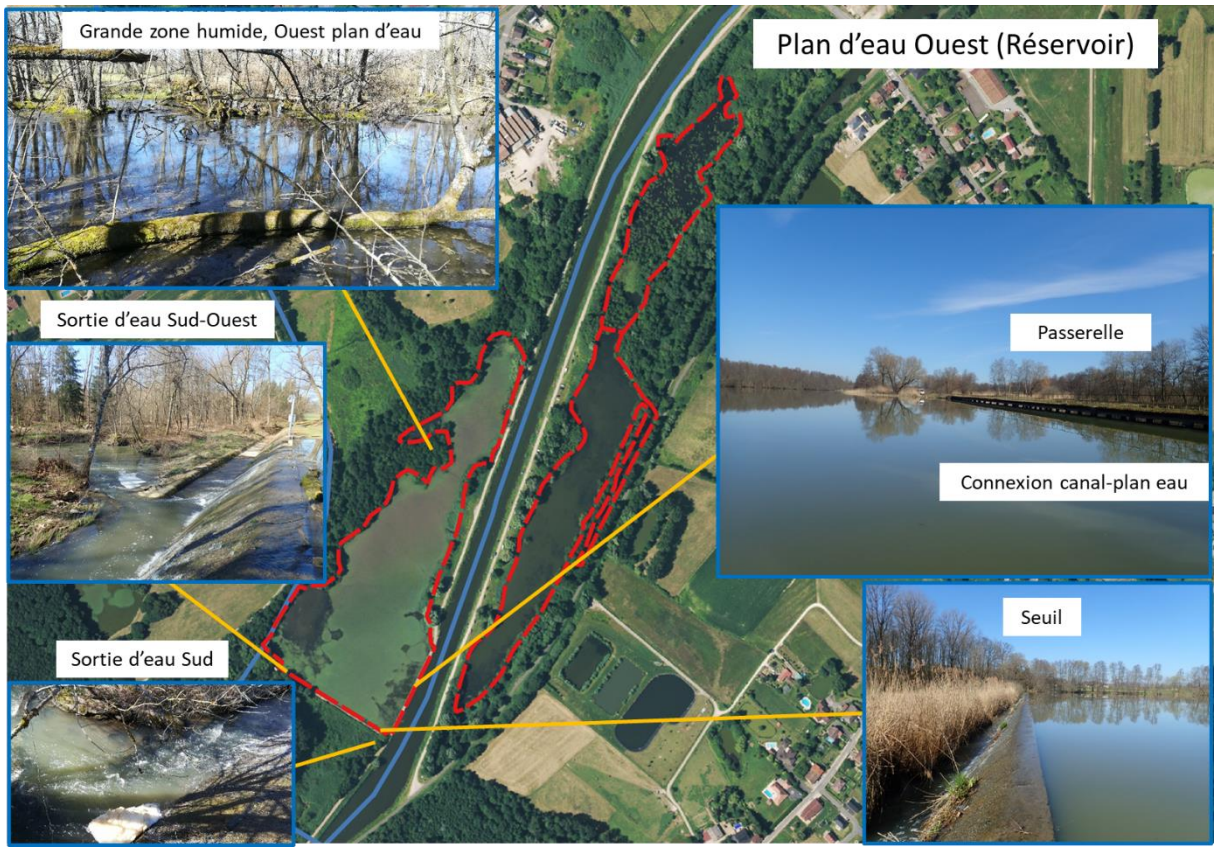


Figure 17 : Plan descriptif du plan d'eau plan d'eau Montreux-Ouest dit le Réservoir.

Le plan d'eau Réservoir (appelé « Montreux-Ouest » dans la suite de l'étude), mesure 470 m de longueur et 180 m au plus large, soit une superficie en eau de 4,8 ha. Le plan d'eau de Montreux-Ouest est situé sur la commune de Montreux-Vieux (68) à une altitude de 340m.

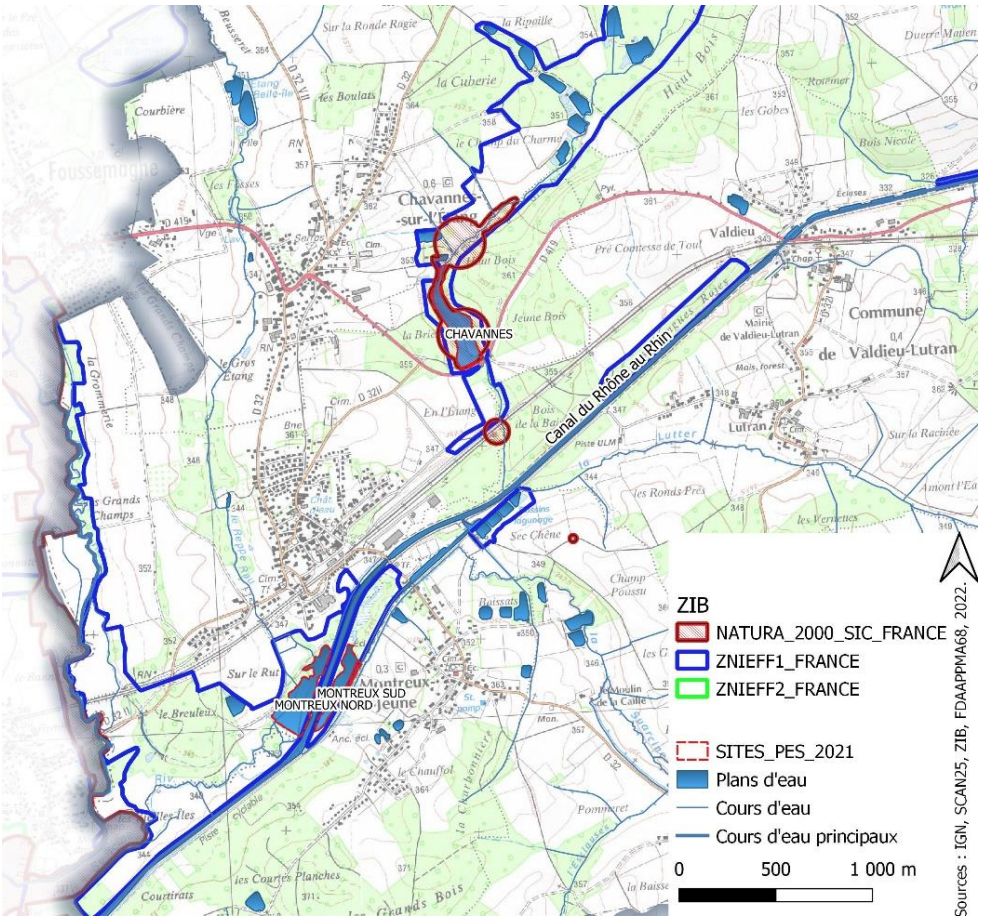


Figure 18 : Zones naturelles d'intérêt écologique et Natura 2000 sur les sites de Montreux.

Le plan d'eau est connecté au Sud-Est au canal du Rhône-au Rhin sous une passerelles, les échanges d'eau et espèces sont ainsi direct. L'environnement du site est constitué de : canaux et de prairies et autres surfaces toujours en herbe à usage agricole. Le site est soumis à une pression de pêche de loisir moyenne à forte selon la saison. Randonneurs et naturalistes (associations botaniques, Ligue de Protection des Oiseaux (LPO) notamment) se donnent également rendez-vous sur le site afin de réaliser des observations ou des sorties. Le site est classé en ZNIEFF de type 1.

Historiques et enjeux

Les plans d'eau ont été créés en même temps que le contournement du canal dans les années 1930. Ils sont ainsi la propriété de Voie Navigable de France (VNF).

Gestion et usages

Le site n'est pas entretenu à ce jour et depuis plusieurs années. La perte d'effectif, l'absence de besoin (usage du site) et le manque de moyen accordé à ce secteur ne permettent pas un entretien régulier de ces étangs. Il n'y a pas de plan de gestion actif sur le site ni de gestion particulière. Il n'y a pas de variations du niveau d'eau induite par la gestion. A l'Ouest du site, une station de mesure a été installée récemment. Malgré tout, cette station a fait l'objet de diverses problématiques et les données produites n'ont ainsi pas été incorporé à l'étude (problèmes techniques et des vols de matériel). Actuellement, VNF œuvre pour améliorer le suivi et avoir les réelles valeurs techniques de ce point de contrôle.

Le fauchage des berges du canal est généralement réalisé 2 fois par an mais aucune fauche particulière n'est réalisée sur le plan d'eau.

Figure 19 : Comparatif actuel (gauche), de 1950-65 (en haut à droite), de 2006-2010 (en bas à gauche) et de 2000-2005 (en bas à droite). Il est possible d'observer la création des étangs au Sud en 2000-2005 et la colonisation de l'actuelle zone humide à l'Ouest (flèche). Les sites étaient moins végétalisés par le passé. Source : IGN remonter le temps, 2022.

Problématiques

Lié à l'absence d'aménagement ou de protocole de gestion récent, le site a naturellement évolué dans le temps (figure 18). On observe ainsi une végétalisation importante, un comblement, une grande densité d'arbres morts dans l'eau, le développement d'habitats variés et la croissance d'une zone humide à l'Ouest (figure 31). Le site est ainsi reconnu pour sa qualité d'accueil de l'avifaune, la qualité de sa pêche et son intérêt botanique.
En effet, une espèce particulière de châtaigne d'eau est particulièrement implanté sur le site. Il s'agit de *Trapa natans*, une plante aquatique en régression, présente sur la Liste rouge de la Flore vasculaire menacée en Alsace et protégée selon l'arrêté du 28 juin 1993 (listé *Trapa natans* L., 1753) avec le statut d'espèce vulnérable (VU ; source www.mnhn.fr).

Figure 20 : Illustration du taux de recouvrement en aout 2021 de Trapa natans.

Ce sont les associations locales qui ont informé les propriétaires de sa présence dans un premier temps (entre 5 et 8 ans). Des études sur la châtaigne d'eau présente sur cet étang sont menées par le CENA (Conservatoire d'Espaces Naturels Alsace) pour le suivi de l'espèce dans la région. Cette plante semble se développer d'année en année. Elle est particulièrement bien implantée sur le site (taux de recouvrement proche des 80% en été 2021) et atteint même le canal du Rhône au Rhin. Son fort taux de recouvrement induit une contrainte vis-à-vis de l'activité pêche devenant impraticable une partie de l'année. Plus spécifiquement :

- Elle disparaît en hiver car ses fruits tombent au fond à l'automne et germent au printemps suivant ;
- C'est une plante faiblement enracinée ;
- Elle colonise des milieux stagnants, peu profonds aux sédiments très organiques.

Site de Montreux-Vieux (plan d'eau Est dit l'étang du Pendu)

Le plan d'eau du Pendu (appelé « Montreux-Est » dans la suite de l'étude), mesure 800 m de longueur et 70 m au plus large, soit une superficie en eau de 4,1ha. Le plan d'eau de Montreux-Est est situé sur la commune de Montreux-Vieux (68) à une altitude de 340m.

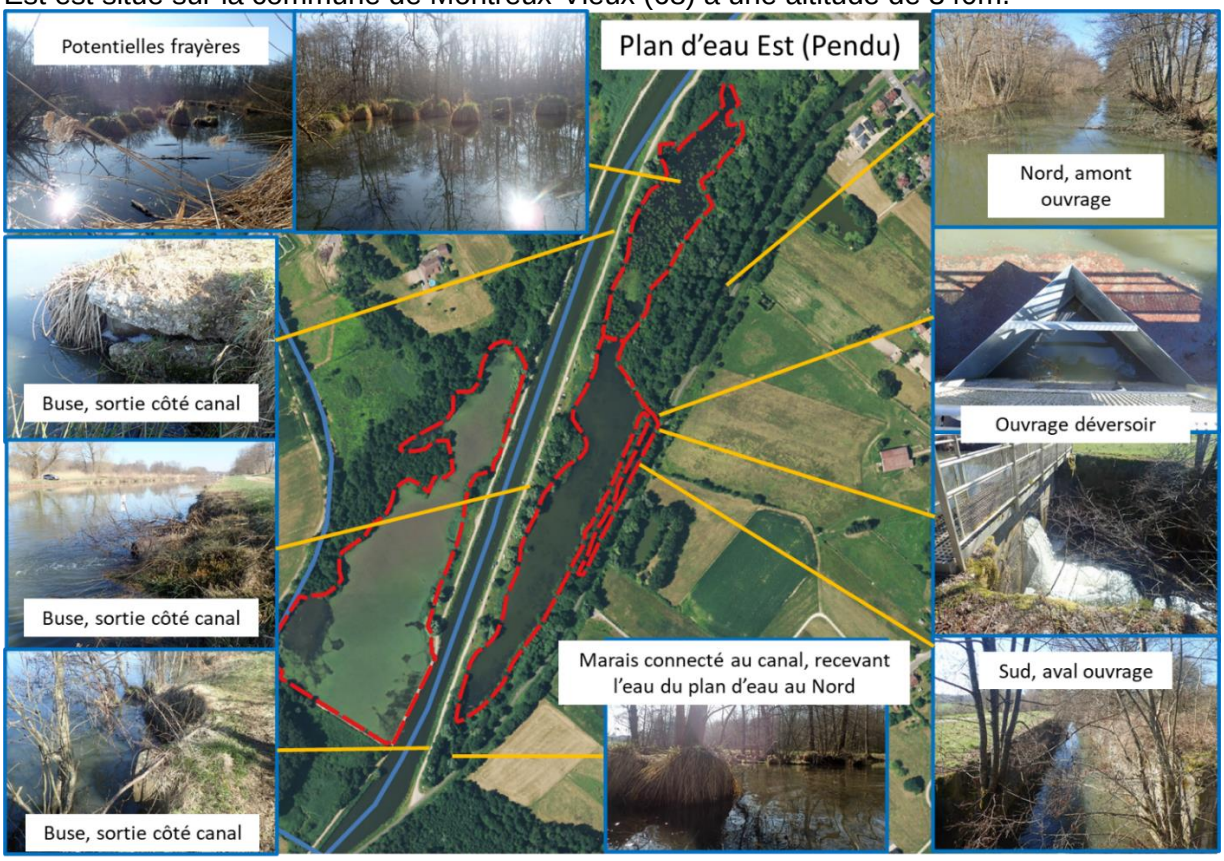


Figure 21 : Plan descriptif du plan d'eau plan d'eau Montreux-Est dit l'étang du Pendu.

Le plan d'eau est connecté au canal du Rhône au Rhin à travers plusieurs buses enterrées à l'Ouest et communique avec la Suarcine à travers un ancien canal déclassé situé à l'Est (figure 20). L'hydrologie du site est complexe et des échanges de flux peuvent se réaliser dans chaque sens. Malgré tout, le plan d'eau est majoritairement tributaire des écoulements du contre canal déclassé et des eaux de la Suarcine. Les connexions avec le canal Rhône-Rhin sont très peu/pas franchissables pour les espèces inféodées au plan d'eau.
L'environnement du site est constitué de canaux et de prairies et autres surfaces toujours en herbe à usage agricole.

Le site est soumis à une pression de pêche de loisir moyenne à forte selon la saison. Le site de Montreux-Est attire les usagers, notamment vis-à-vis de la gestion halieutique locale. En effet, des déversements réguliers de Black-Bass (*Micropterus salmoides*) sont réalisés au sein du plan d'eau (ou Achigan à grande bouche).

Le site est classé en ZNIEFF de type 1 et présente des caractéristiques intéressantes notamment vis-à-vis de sa forte végétalisation (arbres morts, habitats divers, très forte densité de touradon de *Carex sp*. Notamment au Nord, etc.). Le site peut être découpé en deux entités distinctes avec :

- Une zone plus ouverte au Sud ;
- Une zone très densément végétalisée, plus étroite et peu profonde au Nord. Cette zone est actuellement en réserve de pêche.
-

Historiques et enjeux

Les plans d'eau ont été créés en même temps que le contournement du canal dans les années 1930 (figure 18). La gestion du site pour la pêche de loisir est également ancienne.

Gestion et usages

Le site est la propriété de VNF à l'instar du site attenant. La gestion du plan d'eau et délégué à la FDAAPPMA68. Si certains aménagements ont été réalisés par le passé (zone de protection, panneaux pédagogiques, etc.), aucune gestion particulière n'est réalisée sur le site (hormis une gestion halieutique simple à base de déversement de poisson occasionnel). La Suracine ne faisant pas parti du domaine public fluvial, elle ne fait pas l'objet d'entretien de la part de VNF.

Problématiques

Lié à l'absence d'aménagement ou de protocole de gestion récent, le site a naturellement évolué dans le temps. Les problématiques sont plutôt centrées autour de la conciliation de gestion de loisir et les enjeux de biodiversité, de protection et de valorisation du site.

❖ <u>Le secteur du canal de Colmar</u>

Le canal de Colmar quant à lui, est un ancien embranchement du canal du Rhône au Rhin.
Sa période de construction s'échelonne majoritairement de 1862 à 1864.

Cette voie d'eau de 13km a été aménagée dans le cadre du développement industrielle de la ville de Colmar (le canal Rhône au Rhin terminé en 1834 passait trop loin de la commune). Le port de Colmar fut construit à la même période (240m de long et 20m de large, là l'est de la ville).

L'embranchement initialement destiné aux activités de fret sera reconverti pour la navigation de plaisance à partir de 1994 (avec la création d'une d'un port de plaisance sur Colmar – figure 16).

Figure 22 : Canal de Colmar et port de plaisance de Colmar (sur la Lauch canalisée).

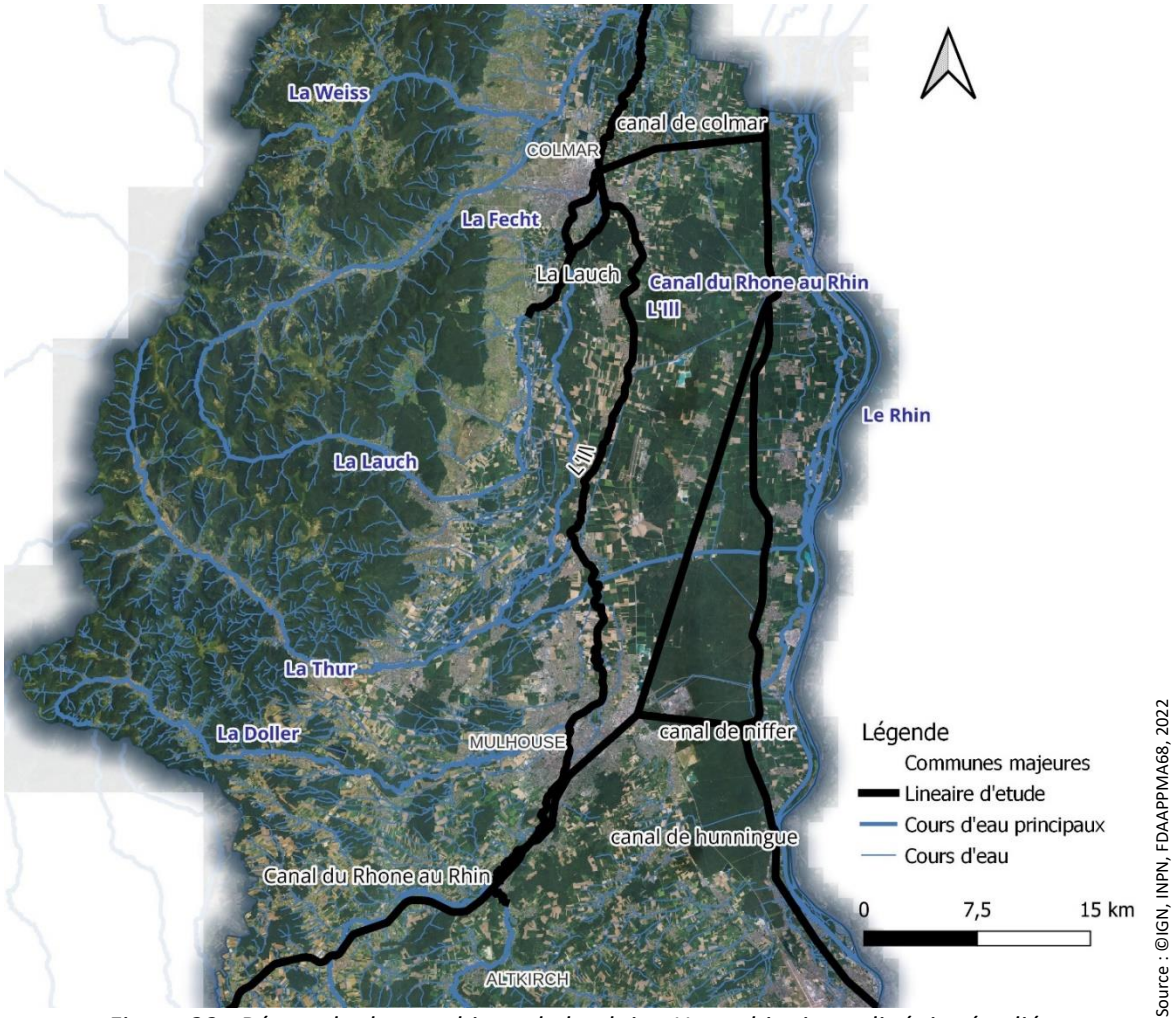


Figure 23 : Réseau hydrographique de la plaine Haut-rhinoise et linéaire étudié.

g) Cadre règlementaire

❖ Directive Cadre sur l'Eau (DCE)

Créée en 2000, la DCE a pour but d'harmoniser la réglementation européenne en matière de gestion de l'eau (www.eaufrance.fr). Cette directive s'est ensuite articulée autour de la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques en France depuis 2006 (LEMA). Présentée de manière abrégée, cette loi repose sur deux grands principes qui sont : « L'eau paye l'eau » (les coûts sont supportés par les utilisateurs) et « le pollueur-payeur » (des taxes sont en place afin que les usagers ou les responsables de dégradation du milieu aquatique payent pour des restaurations ou des aménagements).

Pour les eaux de surface, cet état est apprécié sur des critères chimiques et hydro-biologiques qui intègrent l'hydromorphologie des cours d'eau.

L'instauration de la DCE s'accompagne de la mise en place d'une logique d'atteinte de résultats sur les points suivants :

- Atteinte du bon état écologique des eaux et des milieux aquatiques et arrêt des dégradations ;
- Réduction des pollutions dues aux substances prioritaires et suppression des émissions, rejets et pertes de substances dangereuses ;
- Amélioration de la communication auprès du Grand Public et de la participation citoyenne autour de différents projets d'intérêts général.

Ces objectifs sont définis sur les masses d'eaux souterraines comme de surfaces ; une masse d'eau de surface constituant « une partie distincte et significative tels qu'un lac, un réservoir, une rivière, un fleuve ou un canal, une partie de rivière, de fleuve ou de canal, une eau de transition ou une portion d'eaux côtière » (définition DCE 2000/60/CE du 23/10/2000).

❖ Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (LEMA)

La Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques de décembre 2006 correspond à l'application de la DCE à l'échelle nationale (avec la loi de transposition n°2004-338 du 21 avril 2004). Elle a rénové le système de classement des cours d'eau relatif à la continuité écologique pour répondre aux objectifs de la DCE et a permis entre autres de mettre en place de nouveaux outils pour le respect de la DCE (simplifier et renforcer la police de l'eau, permettre aux collectivités locales de mieux gérer leurs ressources en eau) et de restructurer les institutions liées à la gestion de l'eau (ONEMA créé en 2006 puis transformation en AFB depuis 2017 et enfin en OFB depuis 2020).

❖ Le « bon état » écologique

Le bon état d'une masse d'eau de surface est défini par la Directive Cadre sur l'Eau (DCE, 2008). Cet état relève de plusieurs paramètres dont (1) la qualité écologique – déterminée à l'aide d'indice biologique, physico-chimique et hydromorphologique. L'état écologique se caractérise par un écart à des conditions de références. On retrouve 5 classes d'état (très bon, bon, moyen, médiocre et mauvais). Plus l'écart aux conditions de référence est fort plus l'état est mauvais (Petit and Michon, 2015). Le second paramètre qui caractérise un bon état (2) est la qualité chimique de l'eau qui se base sur la concentration de certaines substances. Le bon état chimique est atteint lorsque les concentrations sont inférieures aux normes de qualité environnementales avec les états « bon » et « pas bon » définies par la DCE (Dubreuil, 2018).

Le suivi de ces paramètres est essentiel pour comprendre le fonctionnement des hydrosystèmes lacustres. Par exemple, la biomasse d'un lac peut avoir un impact sur le milieu aquatique notamment l'oxygène (Mazumder et al., 1990) ou les nutriments tandis que la structure des réseaux trophiques peut influencer l'oxygénation par une réduction du passage de la lumière dans le milieu (Pinel-Alloul et al., 2005).

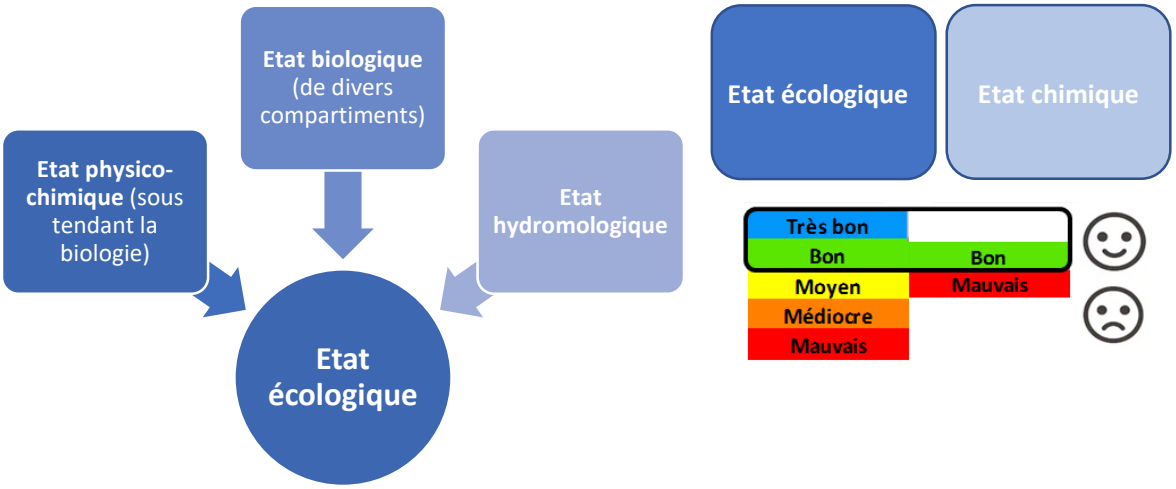


Figure 24 : Présentation du principe d'agrégation pour la qualification de l'état écologique.

Pour attribuer une classe de qualité associée, l'EQR (Ecological Quality Ratio ou Norme de Qualité Environnementale) est calculé et chaque classe de qualité est bornée avec une valeur limite. De cette valeur découle directement la classe de qualité associée. Celle-ci peut être attribuée à l'aide de plusieurs protocoles normalisés, centrés sur des compartiments biologiques. L'évaluation de la qualité biologique est fondée sur le principe général selon lequel chaque type de milieu naturel possède une communauté d'organisme (biocénose) caractéristique. Tout appauvrissement de la biocénose naturelle traduit donc une perturbation. Des mesures de ces populations au moyen de protocoles normés permettent donc d'apprécier leurs représentativités et d'en déduire la qualité du milieu.

Les protocoles les plus classiquement utilisés sont les suivants :

- IBMR : Indice Biologique Macrophytique en Rivière (norme NF T90-395) ;
- I2M2 : Indice Invertébré Multimétrique (norme NF T90-333 et NF T90-388) ;
- IPR : Indice Poisson Rivière (norme NF T 90-344, NF T 90-383 et NF EN 14011) ;
- IPR+ : Indice Poisson Rivière plus ;
- IBD : Indice Biologique Diatomées (norme NF T90-354) ;
- Etc.

Ces indicateurs sont adaptés aux règles figurant dans les révisions successives de « l'arrêté relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface » du 27 juillet 2018 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du Code de l'Environnement (www.legifrance.gouv.fr).

❖ L432-3 & protection des frayères

L'article L432-3 a pour but de protéger les zones de frayères à poissons identifiées. Le fait de détruire les frayères ou les zones de croissance ou d'alimentation de la faune piscicole est puni de 20 000 euros d'amende, à moins qu'il ne résulte d'une autorisation ou d'une déclaration dont les prescriptions ont été respectées.

Un décret en Conseil d'Etat fixe les critères de définition des frayères et des zones mentionnées au premier alinéa, les modalités de leur identification et de l'actualisation de celle-ci par l'autorité administrative, ainsi que les conditions dans lesquelles sont consultées les fédérations départementales des associations agréées de pêche et de protection du milieu aquatique (source : Légifrance).

Le L432-3 sanctionne donc le fait de détruire les frayères ou les zones de croissances et d'alimentation de la faune piscicole fixées dans un inventaire arrêté par le préfet de département. En 2022, il n'existe aucune liste de frayère arrêtée par le préfet dans le Haut-Rhin mais une démarche conjointe est lancée afin d'en produire une en 2023.

❖ Qualité biologique et écologique de l'Ill

Actuellement, de nombreuses études centrées sur l'analyses de l'eau de l'Ill, de la nappe phréatique ou du milieu physique de l'Ill ont pu être réalisées par diverses structures (SAGE ILL NAPPE RHIN, Région, APRONA, AERM, OFB et structures Gemapiennes notamment).
Il existe notamment plusieurs stations de surveillance de la qualité écologique de l'Ill (masse d'eau ILL-4 ou FRCR19) dont :

- Ill à Meyenheim (code : 02012600)
- **Ill à Oberhergheim** (code : 02013000)
- Ill à Colmar Ladhof (code : 02018400)
- Ill à Colmar maison rouge (code : 02018500)
- **Ill à Illhaeusern** (code : 02022000)

Les deux stations les plus suivies et notamment vis-à-vis des inventaires poissons sont en gras.
La qualité écologique de l'Ill dans le Haut-Rhin est globalement en état « Moyen ».

❖ L432-6 et L214-17 du Code de l'environnement

L'article L432-6 du Code de l'environnement classe les cours d'eau sur lesquels la continuité piscicole doit être respectée au droit des ouvrages, pour les espèces migratrices. Depuis 2006, la LEMA a rénové les critères et la procédure de classement des cours d'eau au titre de la continuité écologique en les adaptant aux exigences de la DCE. Les nouveaux classements des cours d'eau remplacent les classements anciens, établis au titre de l'article 2 de la loi du 16 octobre 1919 et de l'article L.432-6 du Code de l'Environnement.

Deux listes de cours d'eau ont ainsi été classées au titre du L.214-17.

- **La liste 1** vise un objectif de préservation de cours d'eau en bon état actuellement ou de cours d'eau nécessitant une protection complète des poissons migrateurs amphihalins : pas d'ouvrage nouveau constituant un obstacle à la continuité écologique (R.214-109CE) et mise en conformité des ouvrages existants au moment du renouvellement de concession ou d'autorisation.
- **La liste 2** a un objectif de reconquête des cours d'eau, parties de cours d'eau ou canaux dans lesquels il est nécessaire d'assurer le transport suffisant des sédiments et la circulation des poissons migrateurs. Tout ouvrage doit y être géré, entretenu et équipé selon des règles définies par l'autorité administrative, en concertation avec le propriétaire ou, à défaut, l'exploitant. La mise en conformité des ouvrages existants doit être réalisée dans un délai de 5 ans à compter de la publication de la liste.

Selon l'arrêté du 28 décembre 2012, publié le 1er janvier 2013 au Journal Officiel (liste précise consultable en annexe) :

➔ L'Ill, sur 5 masses d'eau (Ill 3 à Ill7) est classée en liste1 au titre de l'article L214-17 du Code de l'environnement.
➔ L'Ill, sur 5 masses d'eau (Ill 3 à Ill7) est classée en liste 2 au titre de l'article L214-17 du Code de l'environnement.

❖ R. 214-1 du Code de l'Environnement et Arrêté du 9 juin 2021

La réalisation de tout ouvrage, tout travaux, toute activité, susceptible de porter atteinte à l'eau et aux milieux aquatiques est soumis à autorisation ou déclaration au titre de la loi sur l'eau, en application des articles R214-1 et suivants du code de l'Environnement. La liste des

ouvrages soumis à déclaration ou à autorisation est précisée dans les articles R 214-1 à R 214-5 du même code.

Dans le cadre des plans d'eau, ils sont encadrés notamment par l'arrêté du 9 juin 2021 fixant les prescriptions techniques générales applicables aux plans d'eau, y compris en ce qui concerne les modalités de vidange, relevant de la rubrique 3.2.3.0 de la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 du code de l'environnement (www.legifrance.gouv.fr).

Dans le cadre des canaux (compris en grande partie dans le linéaire étudié), leur nature les distingue des cours d'eau. Un canal est un ouvrage artificiel permettant la dérivation d'un cours d'eau afin de répondre à divers usages. Seuls les travaux d'entretien des canaux sont soumis à la loi sur l'eau (Article R.214-1 du code de l'environnement-rubriques 3.2.1.0)

❖ Axe migrateur prioritaire et PLAGEPOMI

Une liste de cours d'eau définis comme prioritaires pour la protection des poissons migrateurs amphihalins est présenté dans le SDAGE du bassin Rhin-Meuse ainsi que dans le **PLAGEPOMI pour la période 2022-2027** (le premier PLAGEPOMI du bassin Rhin-Meuse a été approuvé en 1996 Il a été révisé une première fois pour la période 2016-2021). 5 espèces de poissons migrateur (Anguille, Saumon, Truite de mer, Grande alose, Lamproie marine) sont présent sur l'Ill, principal affluent du Rhin en Alsace. L'Ill est un point d'entré obligatoire pour plusieurs espèces vers les affluents Vosgiens comme le Saumon atlantique.

Actuellement les phénomènes migratoires sont étudié à l'aide de 11 stations de videocomptage sur le bassin Rhin-Meuse dont 6 sur le Rhin alsacien et 3 sur l'Ill ;

L'Ill et ses affluents sont classés en zone d'action prioritaire pour l'anguille, ce qui suppose l'équipement de 7 ouvrages sur le périmètre du SAGE (3 pour le Landgraben, 4 pour l'Ill).

C'est l'Association Saumon Rhin qui est référente en matière de suivi et d'expertise en lien avec les poissons migrateurs du secteur Rhin-Meuse.

❖ Le SDAGE Rhin Meuse

Au sein du premier tome du SDAGE « Rhin » et « Meuse » (2022-2027), il est précisé que pour atteindre les objectifs environnementaux qu'elle impose, la DCE demande que chaque district hydrographique soit doté :

- d'un plan de gestion, qui fixe notamment le niveau des objectifs environnementaux à atteindre (voir article 13 de la DCE ; voir articles L.212-1 à L.212.3 et R.212-9 à R.212-18 du Code de l'environnement) ;
- d'un Programme de mesures (PDM), qui définit les actions à mettre en œuvre pour atteindre ces objectifs et doit donc rendre opérationnel le plan de gestion (voir article 11 de la DCE ; voir articles L.212-2-1 et R.212-19 à R.212-21-1 du Code de l'environnement) ;
- d'un Programme de surveillance (PDS) qui, entre autres, doit permettre de contrôler si ces objectifs sont atteints (voir article 8 de la DCE ; voir articles L.212-2-2 et R.212-22 à R.212-24-1 du Code de l'environnement).

Pour le plan de gestion de ses districts hydrographiques, la France a choisi de conserver son outil de planification à l'échelle des bassins déjà existant, le SDAGE, et de l'adapter pour le rendre compatible avec le plan de gestion qui doit être réalisé au titre de la DCE.

❖ Schéma de gestion de l'Ill domaniale

Depuis 2010 et suite à un transfert du domaine public de l'Ill des services de l'état à la Région, la collectivité s'est engagée dans la construction d'un **schéma de gestion globale de l'Ill** (une feuille de route des investissements des 10ans à venir). Le schéma a été validé le 16mai 2014 et se base sur des connaissances hydraulique, environnementale et économique mises à jour. Ses objectifs sont les suivants :

- Assurer la protection des zones habitées contre les inondations ;
- Optimiser le développement économique des usages en limitant leurs impacts sur l'environnement ;
- Restaurer les fonctionnalités hydrauliques, sédimentaires et écologiques des cours d'eau ;
- Redéfinir l'entretien des cours d'eau, et assurer la gestion du patrimoine lié à l'Ill.

Ce sont donc nombres d'actions concrètes (restauration écologique, arasement de seuils, recréation de passe à poisson, reconnexion d'annexe hydraulique, etc.) qui ont pu être engagées sur ce secteur de 220km de cours d'eau (78 barrages et seuils) de Colmar à Strasbourg.

❖ Le SAGE Ill Nappe Rhin

Le schéma d'aménagement et de gestion de l'eau (SAGE) est un outil de planification, institué par la loi sur l'eau de 1992, visant la gestion équilibrée et durable de la ressource en eau (eaufrance.fr). Le SAGE est une déclinaison locale du SDAGE (Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux). Il définit les orientations fondamentales d'une gestion équilibrée de la ressource en eau. Ce document est opposable à toutes décisions administratives, précisées par la circulaire du 15 octobre 1992, décisions administratives parmi lesquelles figurent les plans locaux d'urbanisme.

Le chantier de construction du SAGE Ill Nappe Rhin a débuté en 1997 (création de la CLE en 1999) pour s'achever sur la première version du SAGE en 2005. Le SAGE Ill Nappe Rhin est actuellement approuvé pour sa deuxième version, en cours de mise en œuvre (révisé et entré en vigueur le 1er juin 2015). Les enjeux du SAGE sont les suivant :

- Préservation et reconquête de la qualité de la nappe phréatique, notamment vis à vis des pollutions diffuses
- Gestion des débits : crues et étiages, relations entre le Rhin et la plaine
- Restauration des écosystèmes : cours d'eau et zones humides
- Reconquête de la qualité des eaux superficielles

Le SAGE Ill Nappe Rhin recouvre un périmètre conséquent d'environ 3580 km² sur les deux départements alsaciens et englobe 322 communes sont concernées.

Les règles du SAGE sont :

1. Règle relative à la construction des digues contre les inondations et les submersions
2. Règle relative au recalibrage et à la rectification des cours d'eau
3. Règle relative à la protection des zones humides * remarquables
4. Règle relative au curage des cours d'eau et des canaux
5. Règle relative aux opérations de fixation de berges dans le fuseau de mobilité de l'Ill
6. Règle relative aux rejets polluants dans les cours d'eau à préserver en priorité
7. Règle relative aux rejets polluants dans les canaux et les milieux stagnants
8. Règle relative à l'infiltration des effluents issus des déversoirs d'orages

La liste des enjeux et thèmes du SAGE sont :

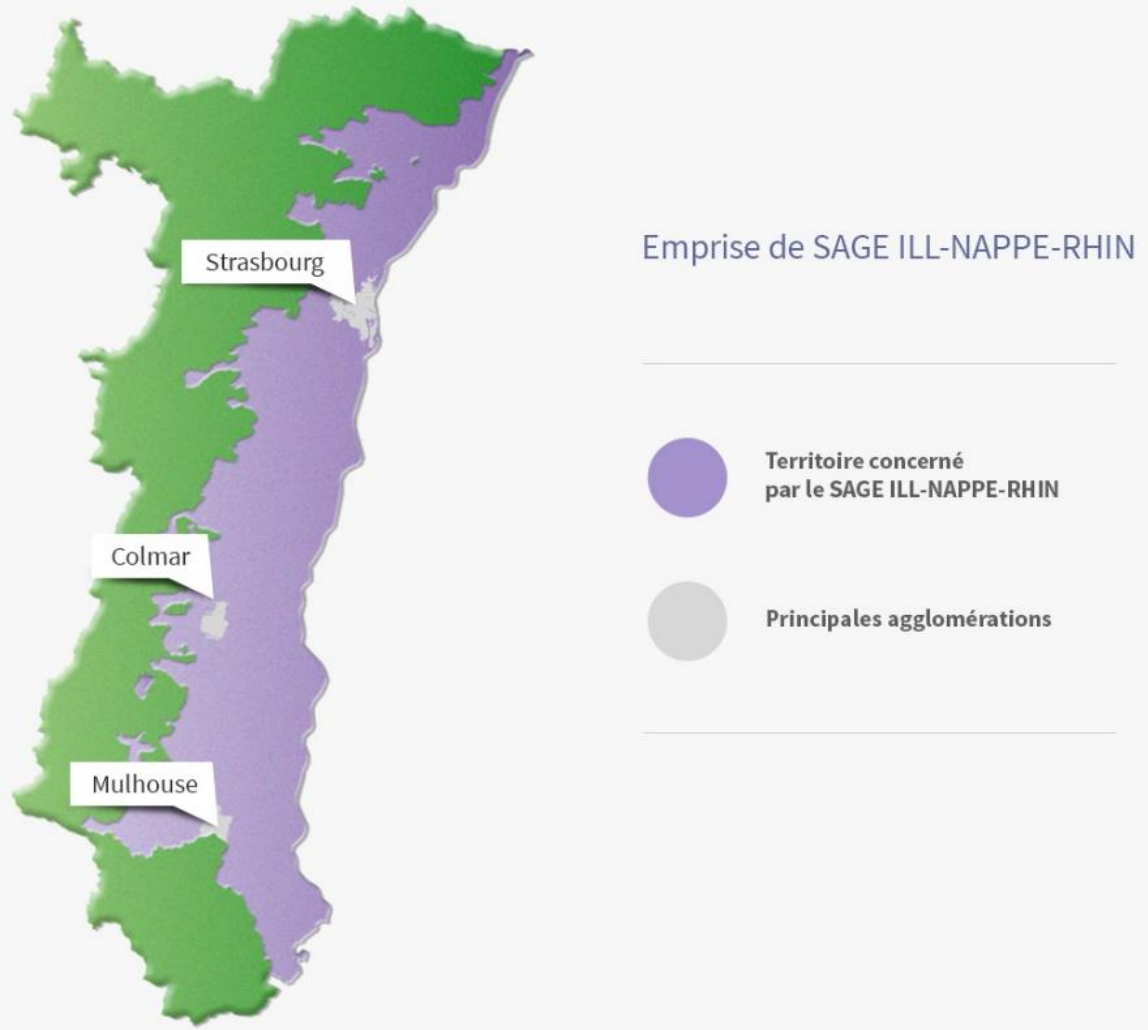
- Gestion qualitative
- Gestion quantitative
- Milieux aquatiques et biodiversité
- Eaux souterraines

❖ Zones humides Le SAGE de la Lauch

Certains secteurs de l'étude (zone d'action « canal de Colmar et de la Lauch » notamment) sont compris dans la zone d'action du SAGE de la Lauch. Les enjeux du SAGE de la Lauch sont les suivants :

- Préservation de la qualité de l'eau
- Préservation du débit de la Lauch et de la ressource en eau
- Hydromorphologie et continuité écologique

La dernière monture de ce document cadre date de 2019 (adopté par la CLE le 7 novembre 2019).



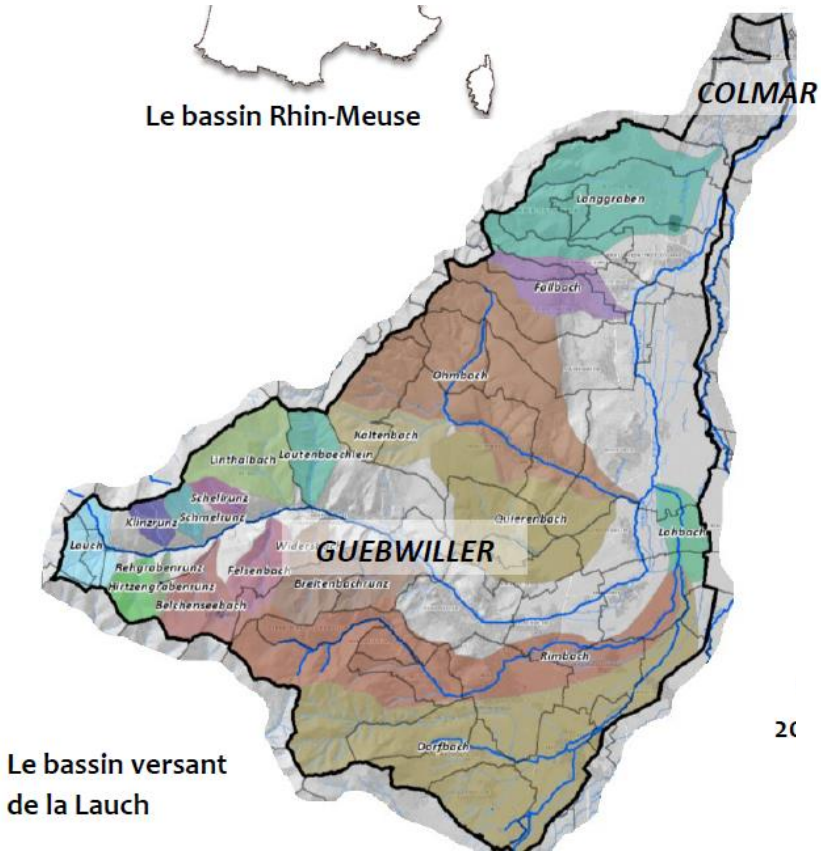


Figure 25 : Emprise du SAGE ILL-NAPPE-RHIN (source : SAGE INP 2015) et du SAGE LAUCH (source : SAGE LAUCHE 2019)

h) Patrimoine naturel et remarquable

❖ Natura 2000

Natura2000 est un réseau de sites naturels visant à préserver les espèces et les habitats menacés et/ou remarquables sur le territoire européen, et ce dans un cadre global de développement durable (www.natura2000.fr). Le réseau Natura 2000 cherche à concilier activités humaines et protection des milieux naturels afin de répondre aux enjeux environnementaux. Le réseau Natura2000 comprend :

- ➔ Les Zones de Protection Spéciale (ZPS) qui visent la conservation des oiseaux sauvages figurant en annexe I de la Directive européenne « Oiseaux sauvages » (79/409/CEE du 25/04/1979 modifiée du 30/11/2009 n°2009/147/CE).
- ➔ Les Sites d'Intérêt Communautaires (SIC) et les Zones Spéciales de Conservation (ZSC). Elles visent la conservation des types d'habitats et des espèces animales et végétales figurant aux annexes I et II de la Directive européenne "Habitats naturels-faune-flore" (92/43 CEE) du 21/05/1992.

La Directive 92/43/CEE dite « Directive Habitats », portant sur la « conservation des habitats naturels ainsi que la faune et la flore sauvage » a été adoptée en mai 1992 par l'Europe. Chaque Etat Membre a ainsi la responsabilité de son application sur son territoire. La démarche choisie par la France pour répondre à ces préoccupations consiste à élaborer, pour chacun des sites Natura2000, un document d'orientation appelé « Document d'Objectifs ».

Plusieurs sites Natura2000 sont présents en Alsace. Dans la plaine d'Alsace (et à fortiori le territoire du SAGE INP) les deux sites Natura2000 concernés sont (figure 20) :

- Le site Natura2000 « Secteur Alluvial Rhin-Ried-Bruch, Haut-Rhin » FR4202000 (FR4201797 pour le Bas-Rhin) animé par la Région Grand Est ;
- Le site Natura2000 « Hardt Nord » FR4201813 ;

Ces sites sont gérés sous couvert d'un document d'objectifs de site Natura2000 (DOCOB) datant de 2013 pour les zones agricoles de la Hardt et de 2007 pour le secteur Rhin-Ried-Bruche (commun pour le Haut-Rhin et le Bas-Rhin).

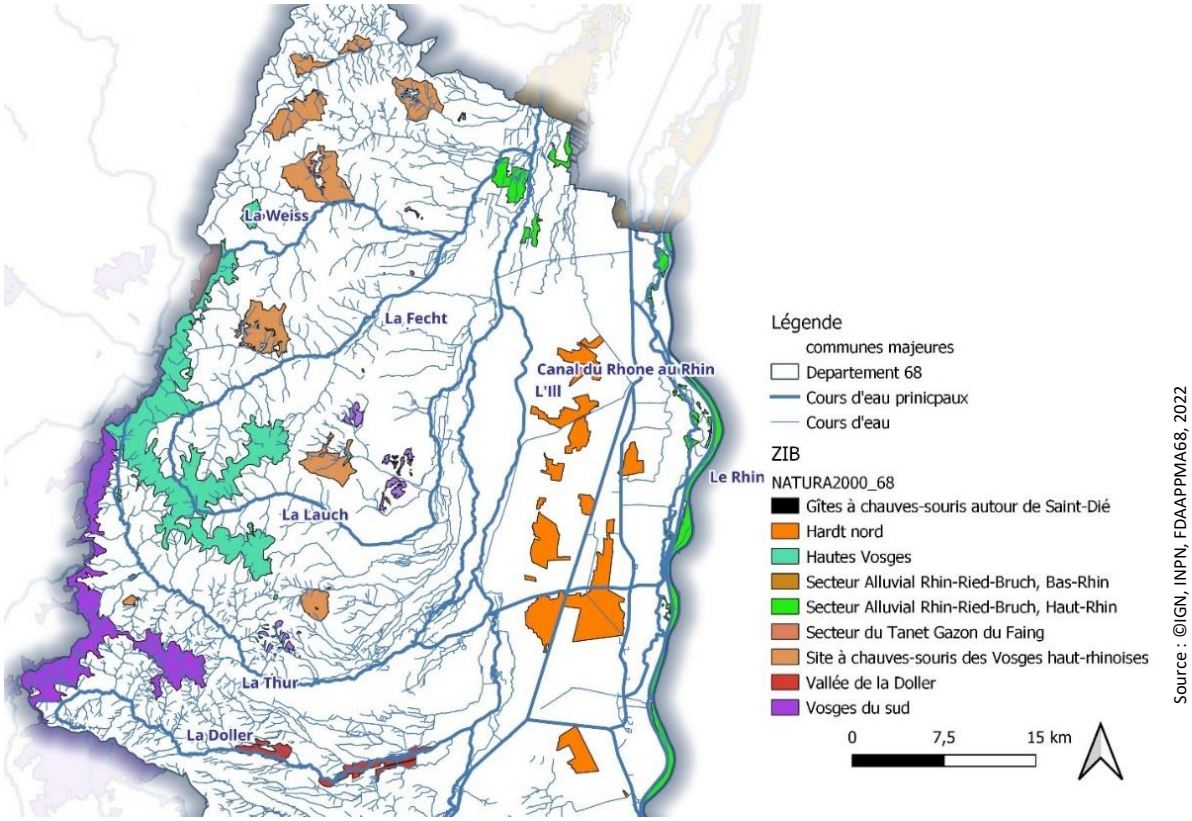


Figure 26 : Localisation des zones NATURA 2000 dans le Haut-Rhin.

❖ <u>ZNIEFF de type 1 & 2</u>

Lancé en 1982, l'inventaire des Zones Naturelles d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique (ZNIEFF) a pour objectif d'identifier et de décrire, sur l'ensemble du territoire national, des secteurs de plus grand intérêt écologique abritant la biodiversité patrimoniale dans la perspective de créer un socle de connaissance mais aussi un outil d'aide à la décision (source : MNHN). Une ZNIEFF est un secteur du territoire particulièrement intéressant sur le plan écologique, participant au maintien des grands équilibres naturels ou constituant le milieu de vie d'espèces animales et végétales rares.

On distingue deux types de ZNIEFF (figure 21) :

- Les ZNIEFF de type I : espaces homogènes écologiquement, définis par la présence d'espèces, d'associations d'espèces ou d'habitats rares, remarquables ou caractéristiques du patrimoine naturel régional. Ce sont les zones les plus remarquables du territoire ;
- Les ZNIEFF de type II : espaces qui intègrent des ensembles naturels fonctionnels et paysagers, possédant une cohésion élevée et plus riches que les milieux alentours. Les ZNIEFF de type II sont des ensembles géographiques généralement importants, incluant souvent plusieurs ZNIEFF de type I.

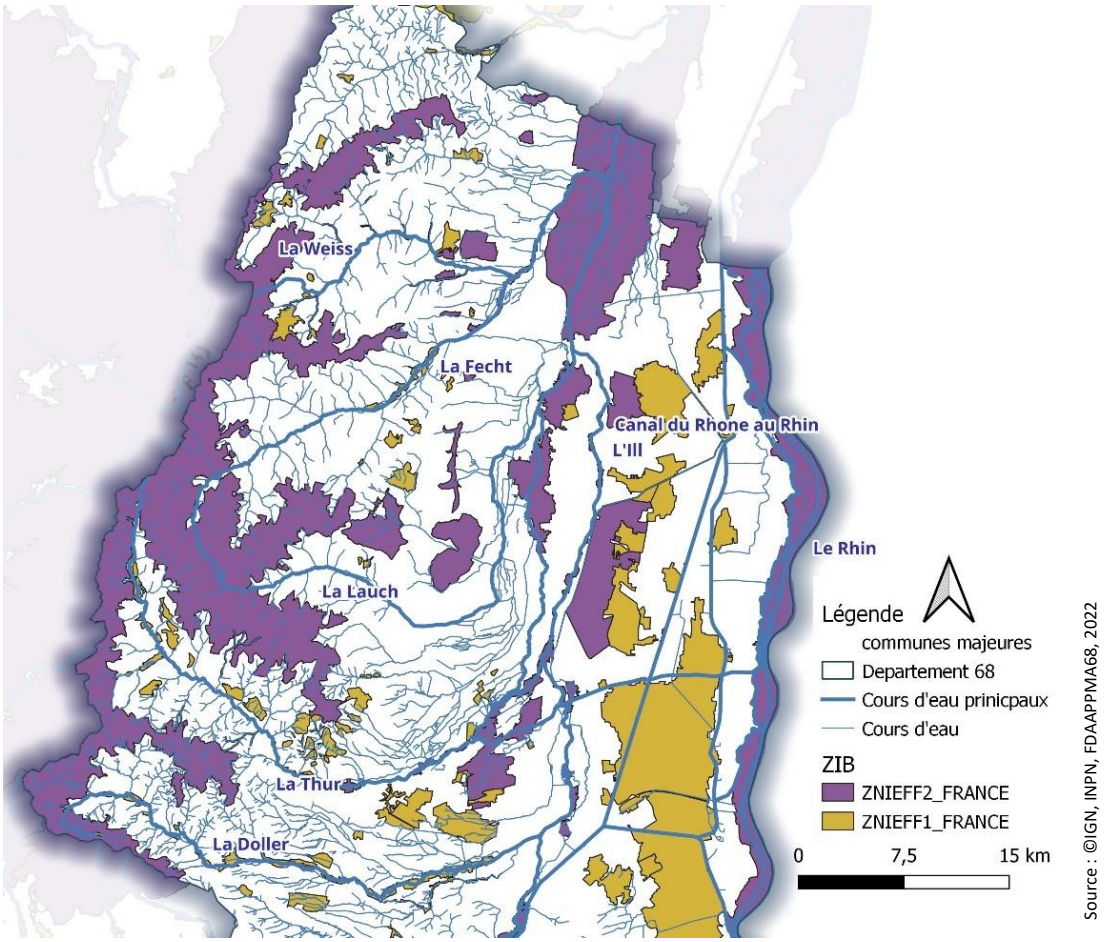


Figure 27 : Localisation des ZIEFF de type 1 & 2 dans le Haut-Rhin.

❖ Zones conservatoires d'espaces naturels

Afin d'offrir des protections durables des espaces naturel, l'approche par le foncier (acquisition, location, gestion) est parfois privilégiée en France. Au sein de la Collectivité Européenne d'Alsace, c'est le Conservatoire des Espaces Naturel d'Alsace qui mène ces missions (CEN Alsace, anciennement Conservatoire des Sites Alsaciens pour CSA). Aujourd'hui, le réseau des « sites conservatoires » est constitué de 364 sites, soit environ 3 600 hectares, représentant différents milieux naturels. De nombreux sites et études sont inclus dans le périmètre d'action.

❖ RNR de l'Eiblen et l'Illfeld à Ruelisheim

La réserve naturelle de l'Eiblen et l'Illfeld se trouve sur le secteur d'étude de la plaine d'Alsace. Cette RNR de plus de 81 hectares classés depuis le 14 novembre 2014 est gérée par le conservatoire des espaces naturel d'Alsace (CEN Alsace). Cette réserve, d'un tronçon de 3km de l'Ill est particulièrement intéressante de par ses zones de mobilités plus libres et de ses mosaïques d'habitats.
Elle est constituée de différents habitats naturels. En particulier :

- D'un espace de liberté pour le cours de l'Ill, qui conserve ici des caractéristiques relativement sauvages, propices au développement de milieux diversifiés (bancs de graviers, vasières, berges abruptes, etc.), ainsi que d'une faune et d'une flore spécifiques ;
- De milieux riverains façonnés par l'homme, conservant une grande richesse biologique.

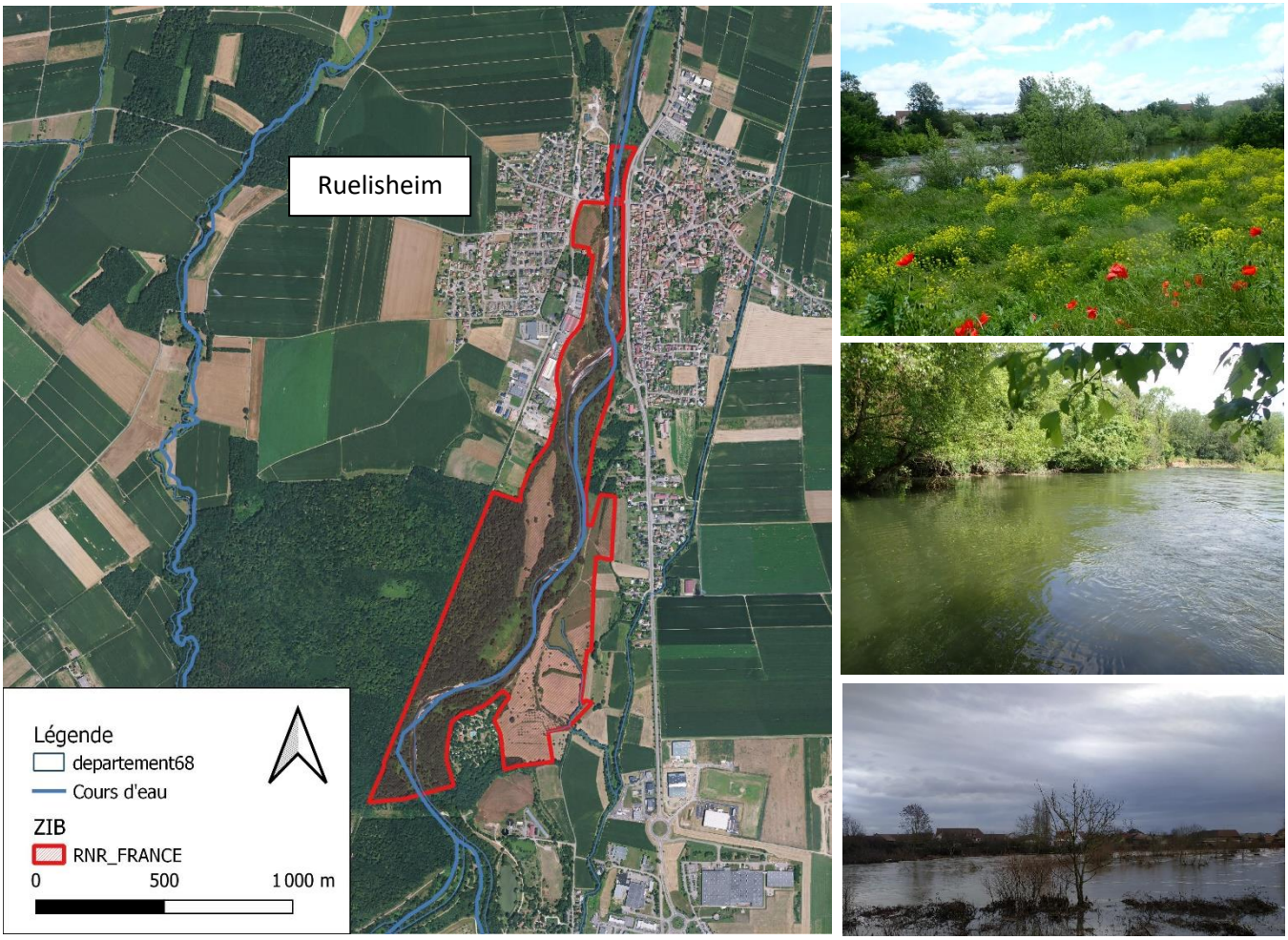


Figure 28 : Localisation de la RNR de l'Eiblen et l'Illfeld et illustration de la RNR à plusieurs saisons.

i) Hydrologie

Au vu des enjeux importants en termes d'hydrologie, ce sont 7 stations DREAL qui couvrent le réseau étudié sur l'Ill. Les stations hydrométriques sont les suivantes (de l'amont vers l'aval) :

- L'Ill à Brunstatt et à Didenheim et à Mulhouse (A116 0030)
- Didenheim (A116003002)
- Sausheim (A130000101)
- Ensisheim (A133003001)
- Meyenheim (A147004101)
- Sundhoffen (A147004001)
- Colmar (A161003001)

Les 2 stations les plus en amont (Altkirch et Oltingue ne sont pas prise en compte dans l'étude).

Le cours principal est ainsi caractérisé par des pics de crues et les écarts pouvant être, par nature, très important sur l'Ill (toutes stations confondues).

Tableau 5 : Synthèses des débits descriptif de l'Ill médiane dans le Haut-Rhin.

En m³/s	Brunstatt & Didenheim	Sausheim	Ensisheim	Meyenheim	Sundhoffen	Colmar
Module	6,3	12,4	10,7	14,3	14,4	19,3
QJ10/an	30,1	45	51,9	65,9	71,3	83,5
QJ0,5/an	3,3	7,5	5,8	7,7	7,2	11,5
QJ355j/an	0,694	4,8	0,2	2,9	0,9	3,1

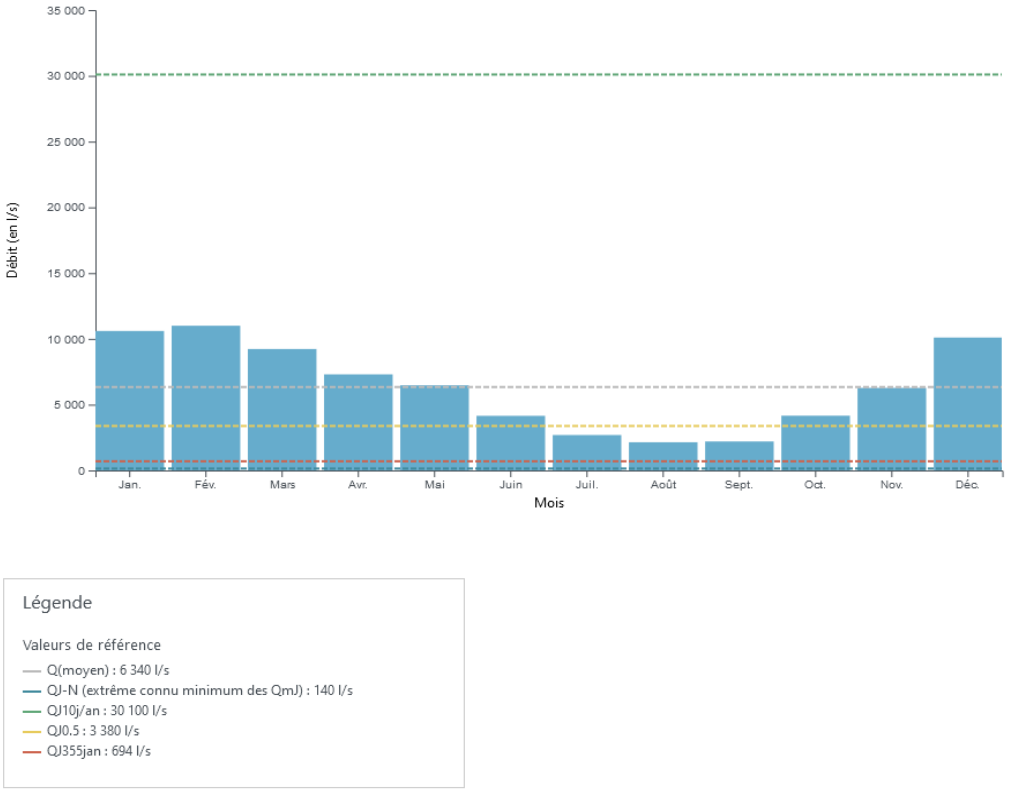


Figure 29 a : Régime hydrologique interannuel de l'Ill à Brunstatt et à Didenheim et à Mulhouse (A116 0030).

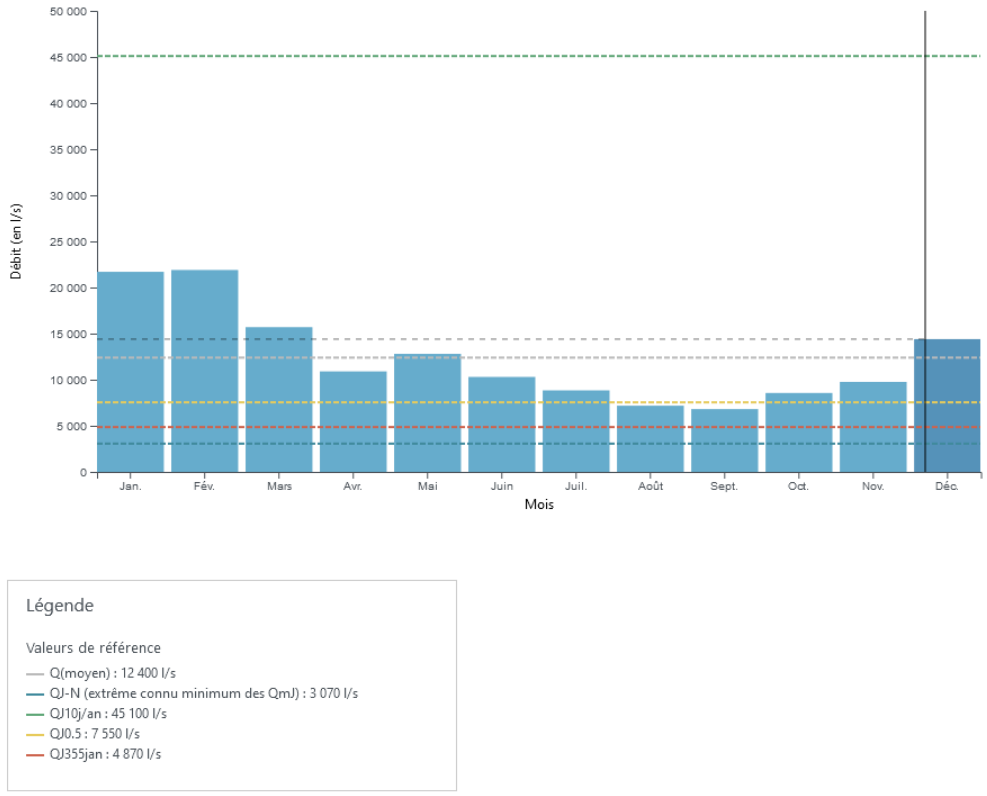


Figure 29 b : Régime hydrologique interannuel à Sausheim (A130000101).

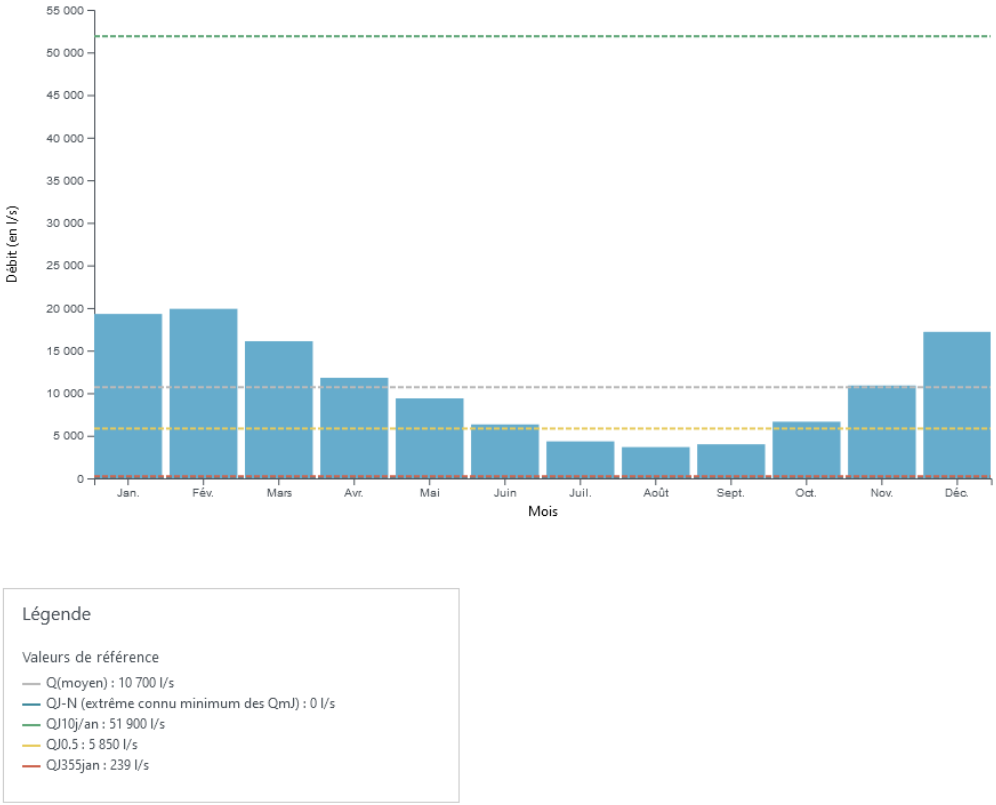


Figure 29 c : Régime hydrologique interannuel à Ensisheim (A133003001).

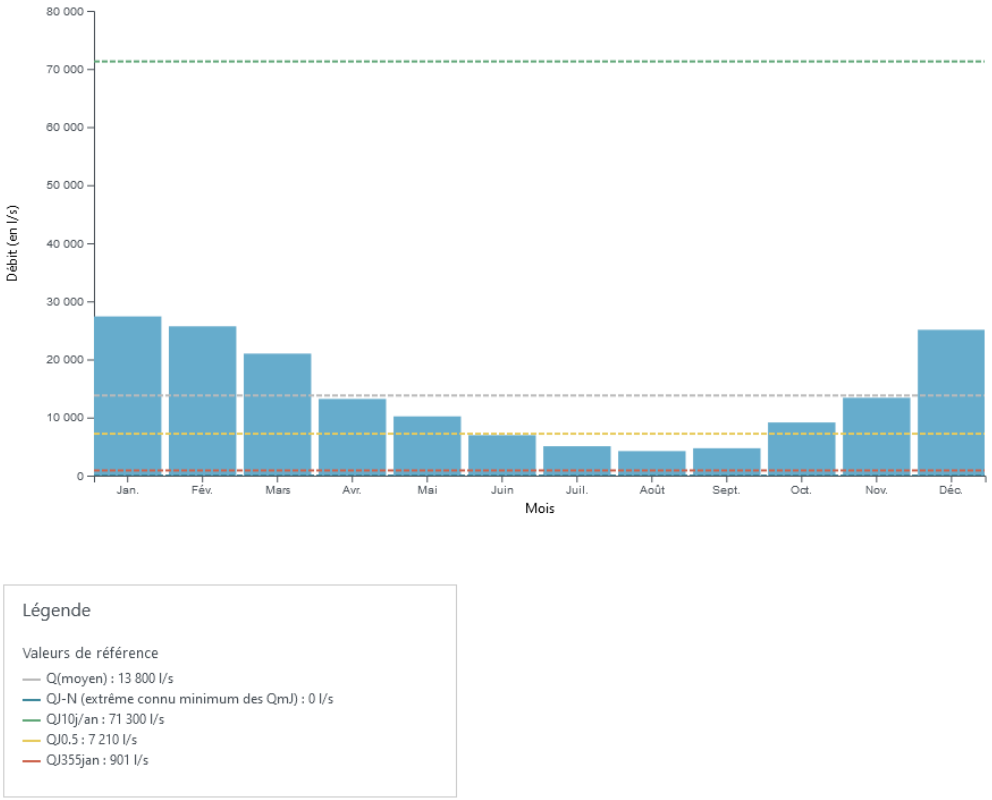


Figure 29 d : Régime hydrologique interannuel à Sundhoffen (A147004001).

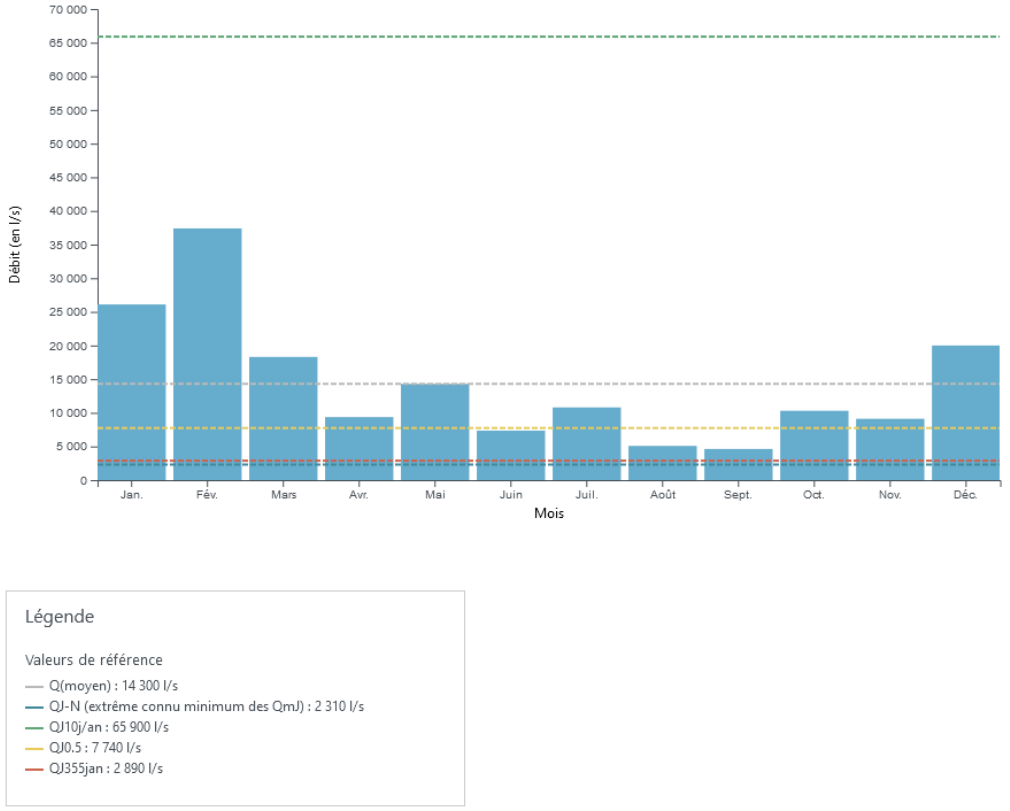


Figure 29 e : Régime hydrologique interannuel de l'Ill à Meyenheim (A147 0041 01).

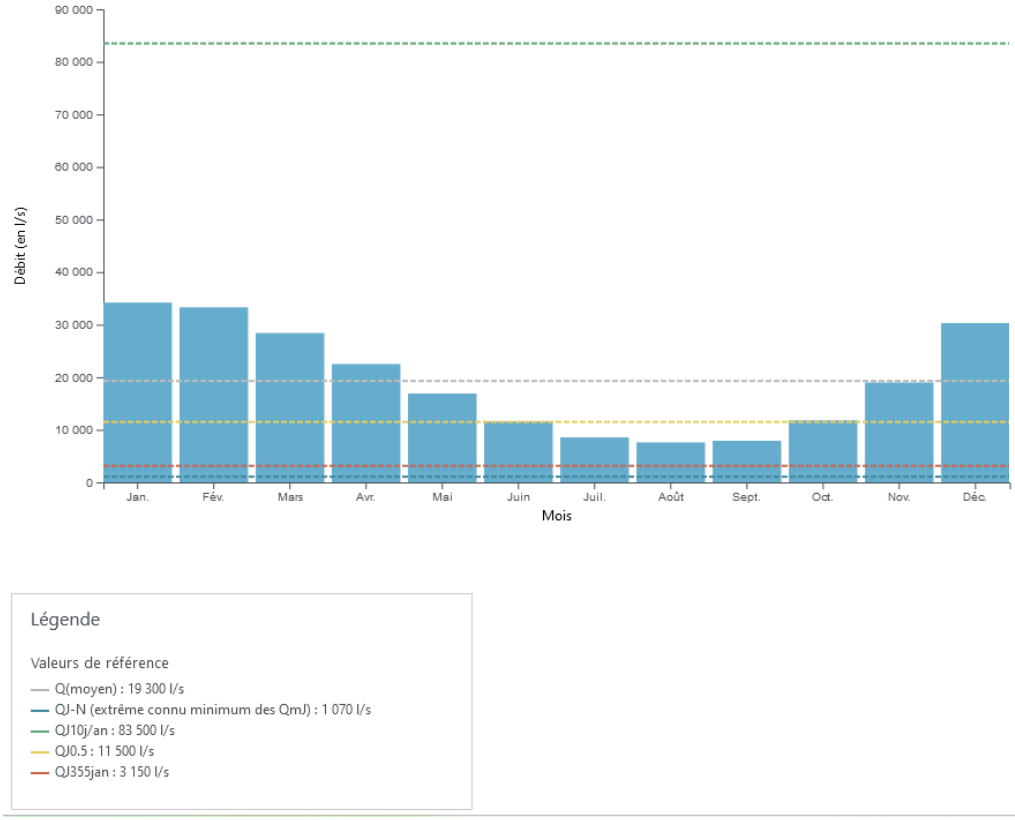


Figure 29 f : Régime hydrologique interannuel de l'Ill à Colmar [Ladhof] - A161 0030 01.

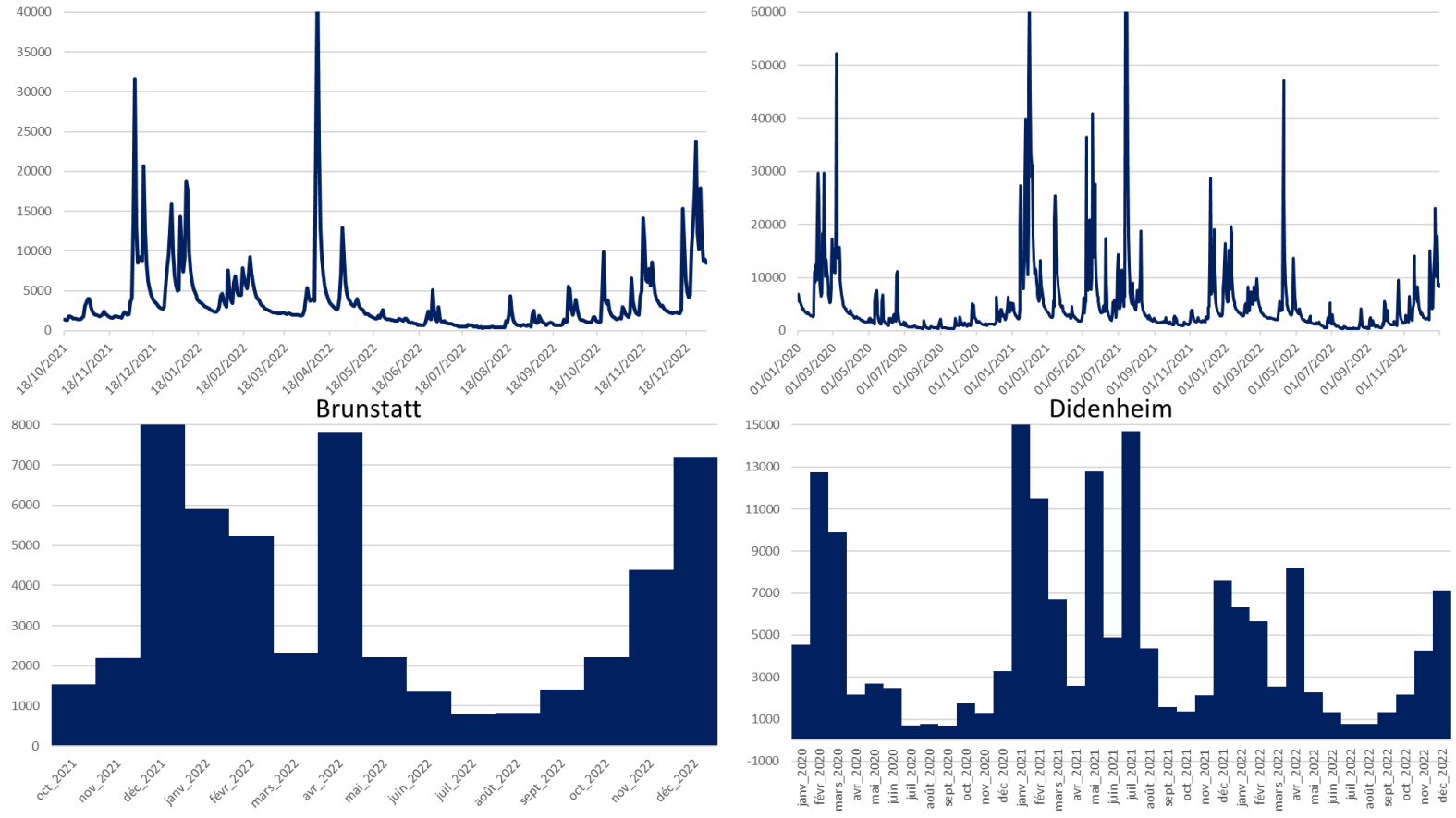


Figure 30 a : Débits moyens journaliers et mensuels sur les trois années étudiées (2020-2021-2022). La localisation de la station est notifiée.

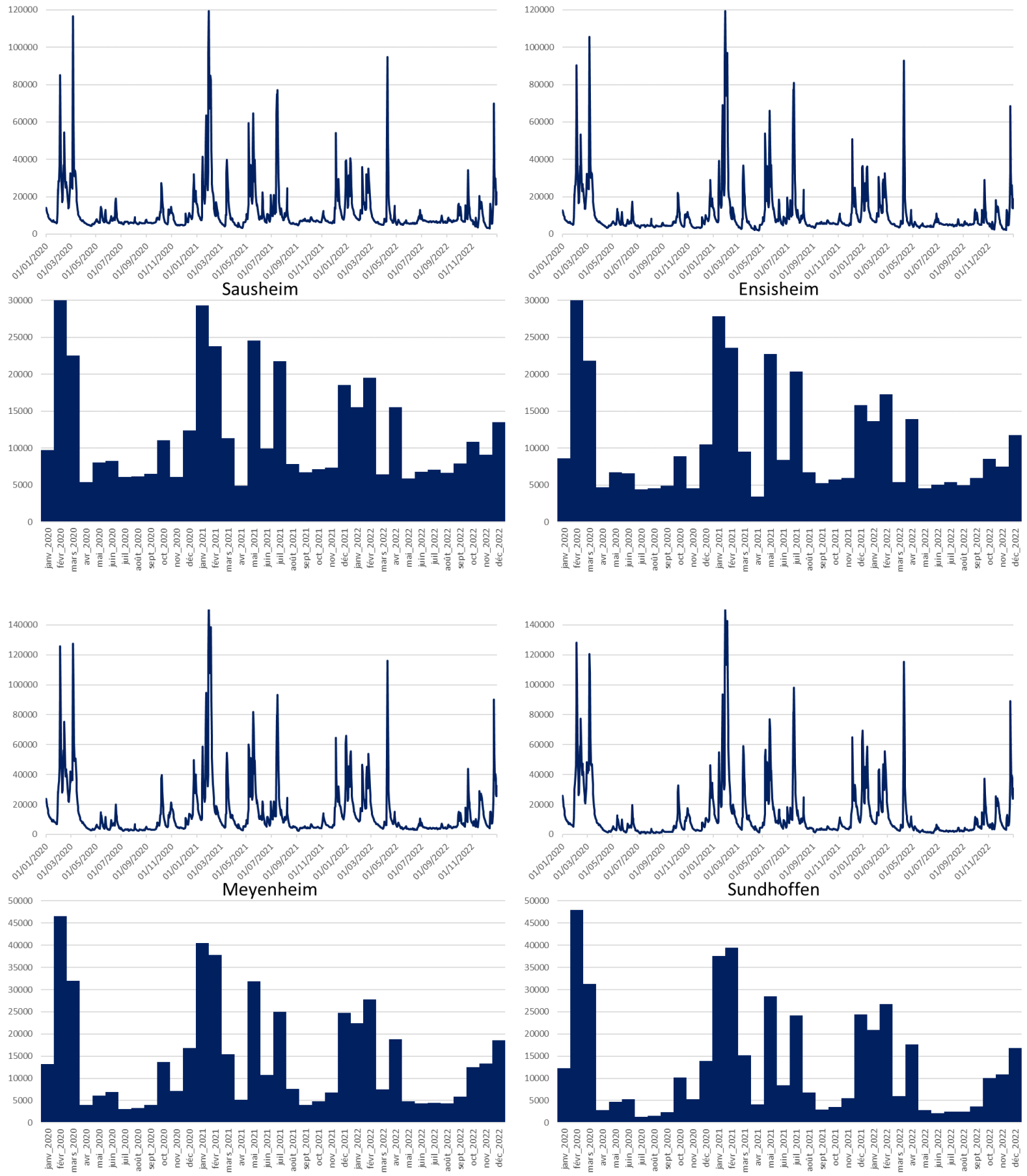


Figure 30 b : Débits moyens journaliers et mensuels sur les trois années étudiées (2020-2021-2022).

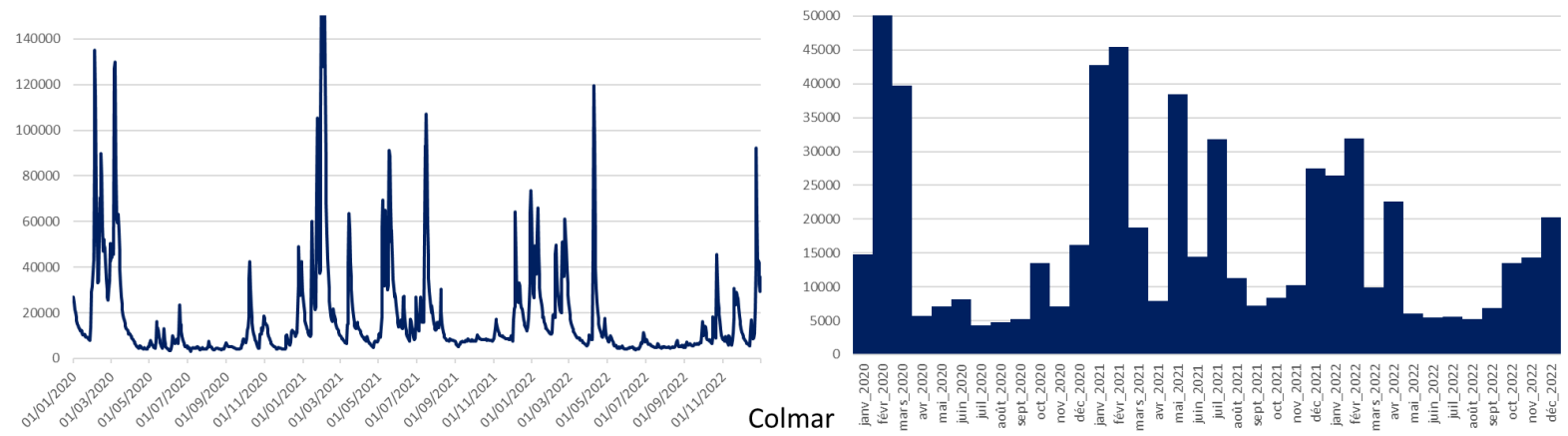


Figure 30 c : Débits moyens journaliers et mensuels sur les trois années étudiées (2020-2021-2022).

La période étudiée couvre trois années : 2020 – 2021 – 2022. **Lors de cette période des importants différentiels de régime sont observés entre les saisons mais également entre les années.** Ainsi :

- 2020 est caractérisée par des crues importantes en février-mars mais aussi par la plus longue période de basses eaux observées (d'avril à novembre) ;
- 2021 est caractérisée par une chronique très humide avec des crues exceptionnelles en mai et en juillet 2021 (en plus des crues classiques observées de janvier-février) ;
- 2022 est caractérisé par une chronique très sèche par rapport aux autres années avec un déficit hydrique observé dès mai 2022 (et des débits en dessous des moyennes de saisons sur toute l'année y compris en hiver).

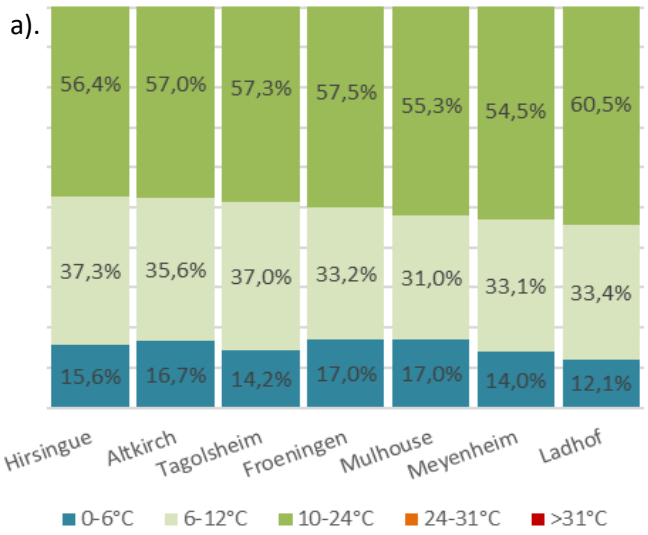
Globalement les tendances générales sont similaires entre les stations, tout du moins pour les périodicités des périodes de crues, mais avec des proportions différentes. Par exemple, des valeurs plus importantes (moyennes mensuelles) sont relevées sur l'Ill à Didenheim.

Les interrelations fortes que peut avoir ce cours d'eau avec les canaux attenants qui prélèvent l'eau de l'Ill et la recoupent à plusieurs endroits (notamment à Zillisheim ou à Colmar) sont également importantes.

j) Thermie

Grâce à la présence de résurgences en amont du bassin, l'Ill amont possède des conditions thermiques optimales au développement des Salmonidés. Cette particularité permet d'observer des températures homogènes comprises dans le préférendum de la truite sur un linéaire important. Le régime thermique reste très favorable jusqu'à Hirsingue et même plutôt favorable jusqu'à l'amont de Mulhouse. C'est ainsi la quasi-totalité du secteur de 1ère catégorie piscicole qui possède plus de 90% de ses températures comprises entre 4 et 17°C, Un réchauffement estival s'observe ensuite à l'approche de la seconde catégorie, mais près de 80% des températures restent comprises entre 4 et 17°C.
La moyenne annuelle est de 11,18°C et l'amplitude moyenne de 15,90 sur l'ensemble des stations. Les périodes les plus chaudes sont globalement comprises entre la fin juin et la fin juillet. Les stations présentant les extrêmes thermiques les plus importants sont « Mulhouse » et « Meyenheim » avec des valeurs instantanées proche de 30°C et une température moyenne des 30 jours le plus chaud supérieure à 21°C.
L'Ill est découpée en deux zonations aux tendances thermiques différenciées, avec le contexte amont et le contexte intermédiaire. L'Ill amont semble donc particulièrement propice au développement des Salmonidés.
L'Ill médiane, de Hirsingue à Illhaeusern, semble particulièrement propice au développement du brochet avec plus de 90% des valeurs comprises entre 6 et 24°C (dont plus de 50% comprises dans l'optimum de développement entre 10 et 24°C).

a).



b).

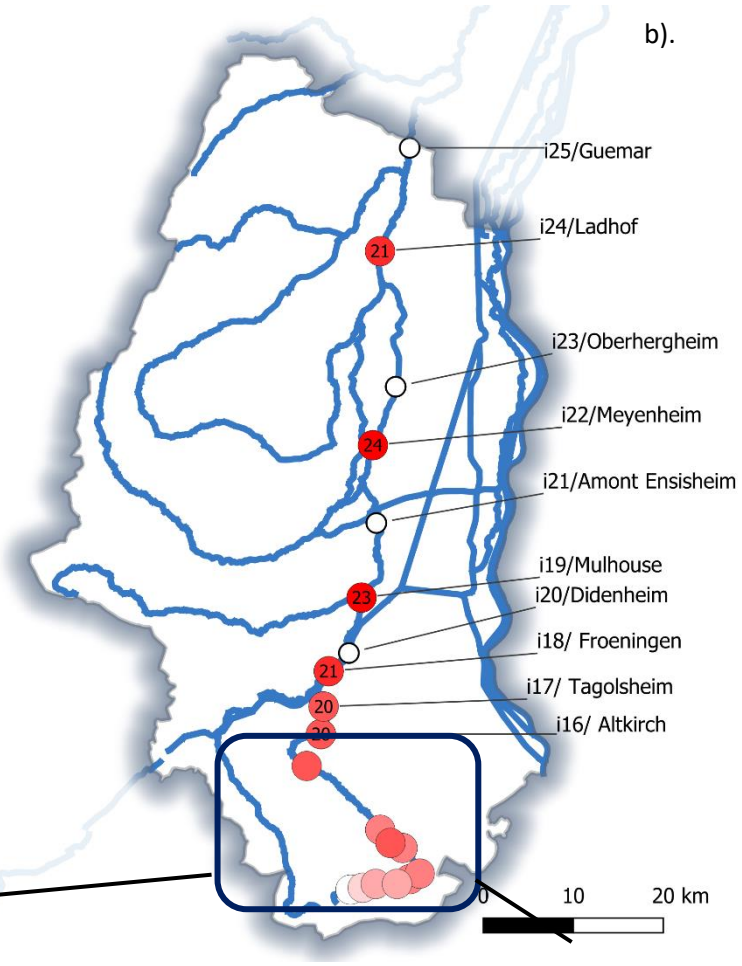


Figure 31 a : Propo

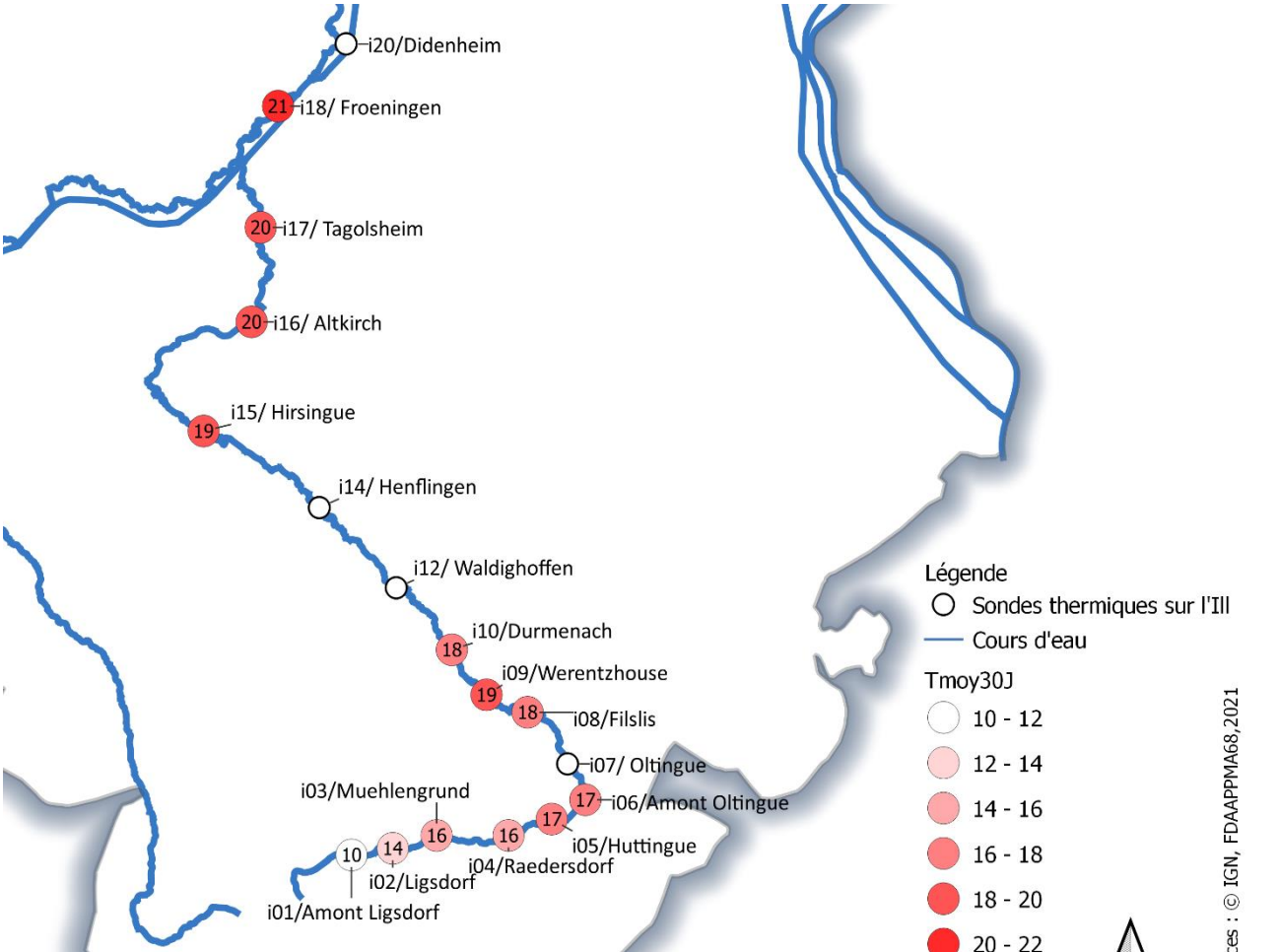
Comprises dans les

du

Figure 31 b : Temp

30 jours les plus c

de 2C



L'ensemble du secteur étudié est classé en **2eme catégorie piscicole**. La catégorie piscicole est un classement juridique des cours d'eau en fonction des groupes de poissons dominants, ici les cyprinidés (« poissons blancs »).

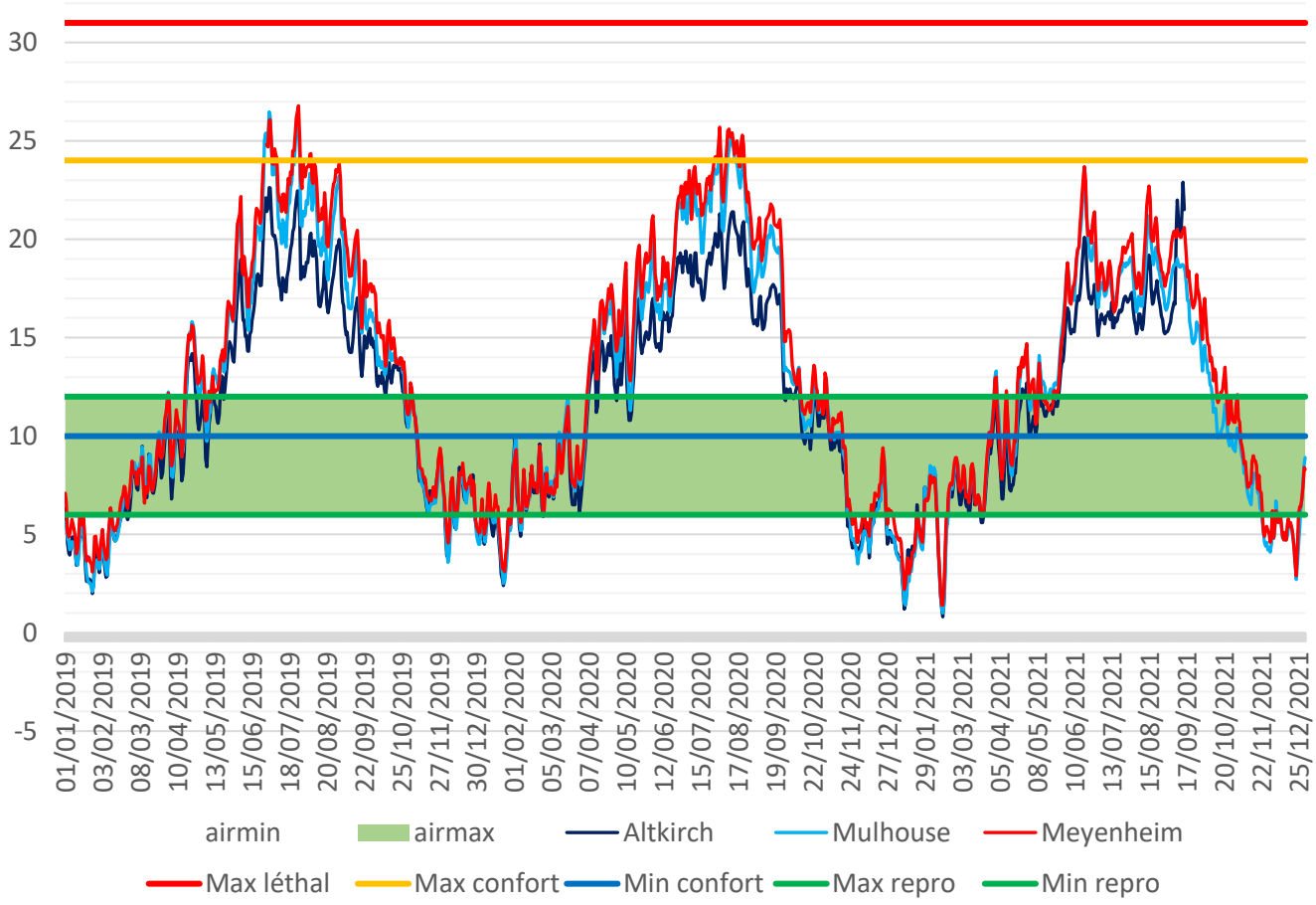


Figure 31c : profils thermiques de 3 stations de mesure situées sur l'Ill (en amont de la zone d'étude à d'Altkirch, en position médiane à Mulhouse et plus en aval à Meyenheim) entre 2019 et 2022.

En termes de profil thermique (présentés sur 3 stations : en amont, en position médiane et en aval de la zone d'étude), il est possible d'observer en fonction des années :

- Un gradient thermique amont-aval faible et hiver et plus important en été (écart estival de plus de 5°C entre l'Ill à Altkirch et l'Ill à Meyenheim) ;
- Des températures parfois très froides en hiver (parfois en dessous du seuil léthal inférieur de 3°C) majoritairement en janvier ;
- Des périodes propices à la reproduction de l'espèce entre mi-février et fin-avril (*parfois début mars selon les années* - aire verte comprise en 6 et 12°C). A titre d'exemple pour l'année 2021, les températures furent propices entre le 19/02/2021 et le 20/04/2021 ;
- Les températures sont comprises dans l'optimum de confort du brochet d'avril à novembre.

m) Classement piscicole & Halieutisme

De ce classement découle les périodes d'autorisation ou d'interdiction de pêche de loisir. La règlementation associée est précisée dans l'arrêté préfectoral « *portant réglementation permanente relative à l'exercice de la pêche en eau douce dans le département du Haut-Rhin* ».
D'une manière générale la pêche est pratiquée du dernier samedi d'avril au dernier dimanche de janvier pour le brochet (*pour les autres espèces et techniques - se référer à l'arrêté préfectoral et le règlement de la Fédération*).
Le Brochet est un poisson très recherché dans le département. Il est majoritairement pêché au vif et au leurre, à raison d'une seule prise de taille légale de capture maximum.
Ce ne sont pas moins de **12 AAPPMA** (dont 2 groupements associatifs) différentes qui se partage les baux de pêches sur le secteur étudié. Un certain linéaire est également géré par la Fédération (Ill Nord, domaine publique fluvial et secteurs canalisés VNF).
Il s'agit notamment :

➔ Groupements d'associations :
- Groupement Ill-Doller
- COGILL

➔ Fédération (secteur VNF, Ill Nord)

➔ AAPPMA :
- Berges de l'Ill
- Les Brochets de Mulhouse
- Fraternelle de Colmar
- Habsheim
- Huningue
- Illfurth
- Kembs
- Rosenau
- SPL Mulhouse
- Sud Alsace
- Truites de Colmar
- Village neuf

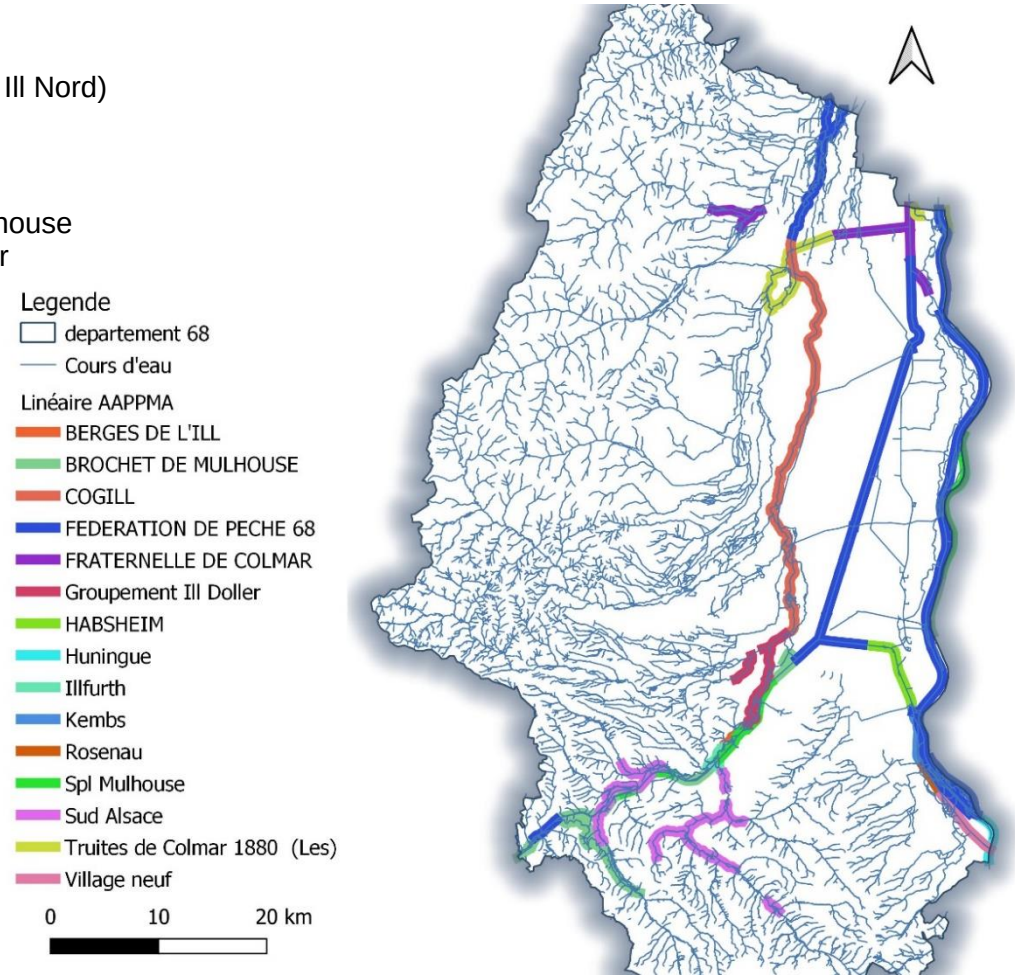


Figure 32 : Présentation des linéaires de pêche présents sur la zone d'étude (avec les linéaires des AAPPMA, des groupements et de la Fédération).

n) Autres données existantes et cas spécifiques

❖ L'étude de radiopistage de Dubost & Vauclin (1997-2000)

Très peu de données existent vis-à-vis d'études scientifiques liées au brochet et aux annexes hydrauliques de l'Ill (et *à fortiori* de la plaine d'Alsace). Néanmoins, une étude particulièrement intéressante à été réalisé entre 1997 et 2000 sur **l'écologie spatiale du brochet entre Colmar et Erstein**. Si le secteur n'est que peu représenté sur le département haut-rhinois, son approche ambitieuse pour l'époque et ses conclusions sont particulièrement informatives sur ce secteur (carte de la zone d'étude en figure 33).

L'étude de Dubost & Vauclin (1997-2000) présente les résultats d'un suivi par radiotélémétrie de 50 brochets dans un système courant compartimenté, le cours moyen et aval de l'Ill (Alsace) de 1997 à 2000.

Ce qu'il faut retenir (source : Dubost & Vauclin 2002) :

- Des déplacements modérés sont observés à partir de 36 individus. 72 % des poissons se sont déplacés dans un domaine inférieur à 5 km et 10 % sur plus de 10 km du cours d'eau.
- Les déplacements cumulés moyens sont significativement plus importants de décembre à avril (8,4 km) que de mai à novembre (2,3 km), en lien avec un comportement de recherche des zones propices au frai.
- Les déplacements individuels les plus importants sont le fait de poissons plus grands et plus âgés que la moyenne.
- Dix-sept sites de frai potentiels ont été fréquentés par 31 brochets, pour la plupart déjà présents dans le même bief.
- Treize brochets suivis durant deux périodes de frai successives présentent trois types de comportement :
  - maintien sur le site de frai occupé la première année,
  - retour sur le site initial la seconde année après éloignement,
  - exploration de sites différents lors des deux périodes de frai.
- Neuf des 14 barrages de la zone d'étude ont été franchis au moins une fois par un brochet (maison rouge plus facilement).
- Quinze brochets ont stationnés et douze poissons ont fait demi-tour au pied d'un barrage, ce qui montre que ces derniers posent fréquemment des problèmes de franchissement (notamment le barrage B2 jamais franchi lors de l'étude – NB : *barrage qui a fait l'objet d'important travaux depuis 2021*).
- **L'étude confirme la rareté des zones de frai adéquates, qui sont identifiées comme le principal facteur de rareté du brochet dans l'Ill, et met en évidence le facteur aggravant que constitue le défaut de continuité longitudinale.**
- Des lieux de frai possibles ont été identifiés dans trois grandes zones :
  - au nord de la zone d'étude, entre Erstein et Benfeld dans les biefs 1, 3, 4 et 5,
  - au sud-est de Sélestat dans le bief 9,
  - aux alentours d'Illhaeusern dans les biefs 10 et 11.

Initialement, l'un des objectifs principaux de l'étude était plus ambitieux. Il s'agissait de mettre en évidence le comportement de frai du brochet par l'identification et l'observation des sites potentiellement fréquentés.

L'étude prévoyait l'observation des géniteurs sur ces frayères et la recherche ensuite de la présence de juvéniles attestant de la réussite de la reproduction. Ce dernier volet de

l'expérimentation s'est toujours révélé infructueux, contribuant à renforcer l'hypothèse d'un déficit de reproduction lié simultanément à la rareté des géniteurs et à celle des sites adéquats.
L'étude préconisait déjà en 2000 de :

- ➔ Réaliser des aménagements compensatoires (annexes hydrauliques) conçus pour optimiser le frai des brochets et d'autres espèces de poissons, répartis à intervalles réguliers (2,5 km).
- ➔ A plus long terme, effacer les barrages et reméandrer le lit mineur de la rivière semble une option de renaturation plus complète et durable. Elle peut s'accompagner au besoin de la recréation d'annexes hydrauliques et de zones humides.

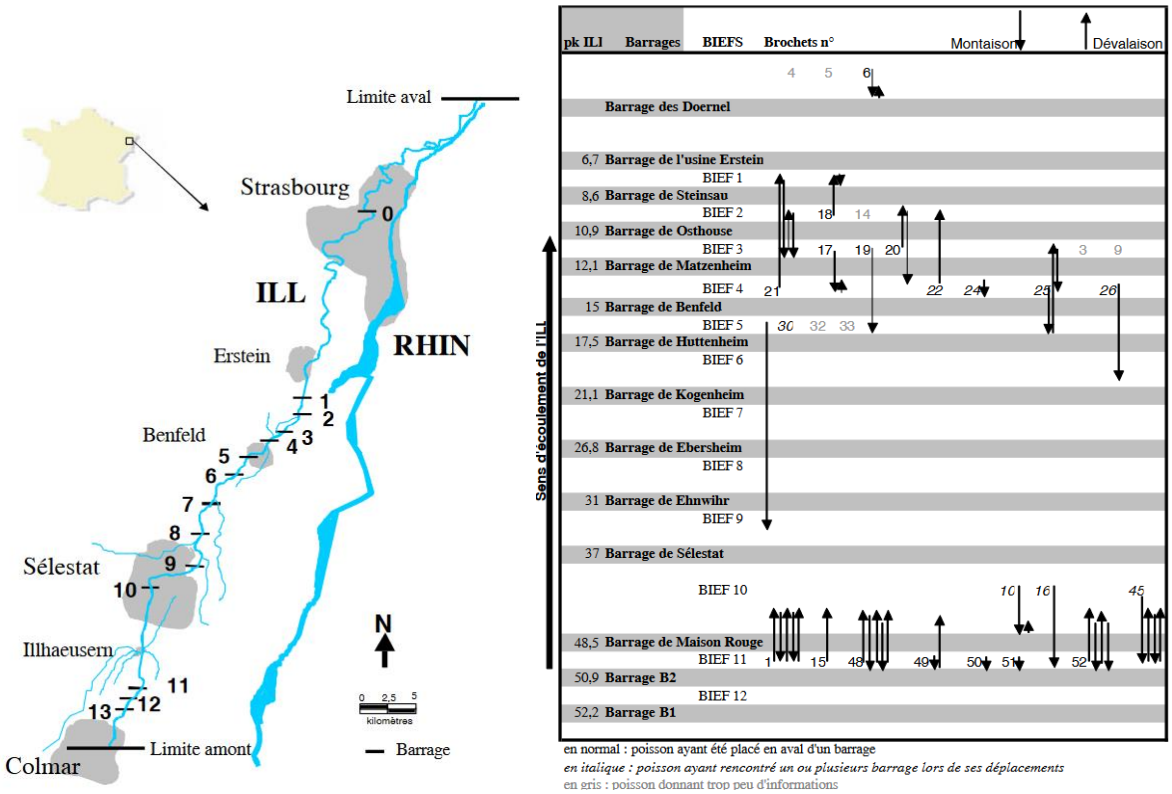


Figure 33 : Localisation du secteur d'étude de Dubost & Vauclin (2002) et résultats généraux des déplacements des brochets sur les divers biefs et franchissement (ou non) des ouvrages du secteur.

❖ Données biologiques

L'étude de la qualité de l'eau est très organisée en France avec notamment un découpage sous la forme de 7 bassins hydrographiques gérés par 6 Agences de l'Eau. Leur rôle est de mettre en œuvre les dispositions des SDAGE et leurs déclinaisons locales, les SAGE. Afin de suivre les effets des orientations que contiennent les SDAGE et vérifier que les objectifs qu'ils définissent sont bien atteints, un dispositif global de suivi rend compte des actions menées et de leurs impacts sur la qualité des milieux aquatiques (DREAL Grand Est). Pour ce faire, la qualité des eaux (cours d'eau, plans d'eau et eaux souterraines ; classés « masses d'eau ») est mesurée régulièrement dans le cadre d'un programme de surveillance à l'aide de divers protocoles.

Le programme se décline en 3 réseaux de suivi :

- Le réseau de référence pérenne (RRP) : pour la connaissance des conditions de référence ;
- Le réseau de contrôle de surveillance (RCS) : pour fournir une image globale de l'état des eaux ;

- Le réseau de contrôle opérationnel (RCO) : pour évaluer l'état des masses d'eau risquant de ne pas atteindre les objectifs environnementaux de la DCE au regard des pressions qu'elles subissent ;
- Le Réseau Hydrobiologique et Piscicole nouveau (RHPn) : pour réaliser une veille écologique sur les peuplements piscicoles des cours d'eau français. Si le RHP a été abandonné, certaines stations (disposant notamment de chroniques longues) ont pu être sauvegardées sous la terminologie de RHPn.

L'OFB et l'AERM à travers leur réseau sont donc productrice de données piscicoles sur l'Ill (mais pas sur les secteurs canalisés) à raison de deux stations échantillonnées tous les ans (généralement par le BE « Dubost Environnement »).
Il s'agit de :

- Ill à Oberhergheim (code : 02013000)
- Ill à Illhaeusern (code : 02022000)

❖ Suivis et comptage de ASR

L'Association Saumon Rhin est une association d'utilité publique de protection de l'environnement qui œuvre depuis des décennies pour la protection et la réintroduction des poissons migrateurs sur le bassin Rhin-Meuse (notamment du Saumon).
La structure réalise chaque année des projets scientifiques et produisant des données comme :

- Un large maillage de pêches électriques à travers des Indices d'Abondance Saumon (IAS) ;
- Un suivi par vidéo comptage de 6 passes à poissons sur le Rhin et 3 sur l'Ill.

➔ Les stations IAS suivies sur l'Ill sont :

- L'Ill à Houssen (code 24) ;
- L'Ill à Illhaeusern (code 23).

➔ Les stations de vidéo comptages suivis sont :

- Ill à Doernel ;
- Erstein ;
- Huttenheim.

❖ Etudes récentes

Plusieurs études récentes dont les résultats ont pu être incorporées dans la présente étude ont eu lieu en cours d'étude comme :

- Etudes de restauration d'annexes hydrauliques de l'Ill domaniale, Relevés faune/flore/habitats (Office de Génie Ecologique & TINCA 2019 – maitrise d'ouvrage Région Grand Est) ;
- AVP de plusieurs projets de restauration écologique en maitrise d'ouvrage Région Grand Est notamment sur les secteurs B1 & B2 (études de restauration d'annexes hydrauliques de l'ill domaniale SINBIO 2019) ;
- Etude « GES'EAU'R » (Appui scientifique pour la gestion quantitative des eaux souterraines dans le grand Ried réalisé par le BRGM) ;
- Le projet « Mulhouse Diagonale », un vaste projet d'aménagement sur la commune de Mulhouse avec pour objectif de renouer le milieu urbain avec le milieu naturel ;
- Les plans de gestions divers des partenaires sur les secteurs d'études lorsqu'ils existent (notamment sur les canaux VNF).

IV. METHODOLOGIE

Pour répondre au mieux aux objectifs énoncés, le projet se découpe en **deux approches principales** (physique et biologique), elles-mêmes découpées en **plusieurs volets** (figure 34 et 35).

Ces approches sont réalisées à **deux échelles spatiales différentes** : une échelle globale (présentant les méthodes et résultats à l'échelle de la plaine d'Alsace) et une échelle locale (présentant les méthodes et résultats à l'échelles de plusieurs cas locaux dont 6 sites pilotes).

Les **objectifs généraux** de la méthodologie employée peuvent être résumés de manière à :

- permettre un diagnostic des annexes hydrauliques de la plaine d'Alsace ;
- permettre de lister et hiérarchiser des propositions d'actions visant à : préserver, corriger ou restaurer.

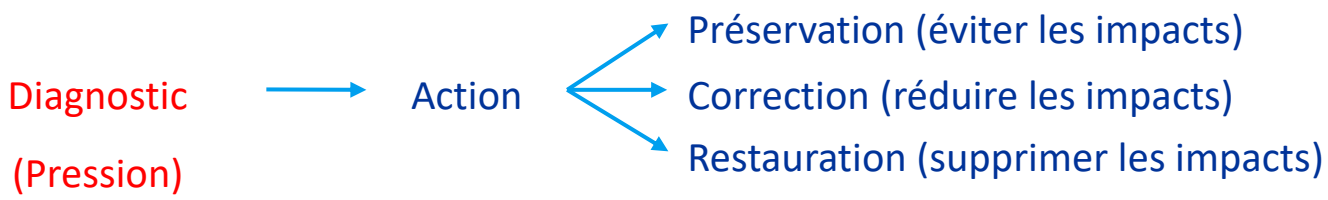


Figure 34 : Schéma des objectifs généraux et du phasage de l'étude (Phase 1 Diagnostic & Phase 2 Emergence active d'actions).

Remarques :

- ➔ La partie « matériel et méthode » est détaillée par approche (physique & biologique) et par volet (voir figure35).
- ➔ La partie « résultats » est ensuite détaillée par approche (physique & biologique) et par échelle (globale & locale).

Approche physique

Volet Cartographie & repérage :
-Analyse des images satellite & données historiques
-Repérage préalable

Volet Diagnostic multicritère :
-Diagnostic terrain de toutes les annexes recensées (87 sites) en fevrier/mars

-Analyse multicritère et identification des Surfaces Favorables à la Reproduction (SFR)

-Notation & fiche de synthèse par annexe

Volet Suivi hydrologique

-Suivi de 5 sites à l'aide de sondes bathymétrique (hauteur d'eau & température) sur deux ans

-Suivi de 2 sites à l'aide de sondes connectées (hauteur d'eau et température)

Volet Drone :

-Suivis de 5 sites par orthophotogrammétrie de précision

-Production MNT & MNS local
-Cartographie plus précise (habitats, altérations, hydromorphologie...)

Approche biologique

Volet Indice d'Abondance Brocheton :
-Caractérisation des capacités de productions des annexes selectionnées (67 sites)

-2 campagnes de pêche électrique au mois de mai 2021 & 2022 à travers 139 IAB

-Suivis des occurences des autres espèces de poissons

Volet Physico-chimique :

-Analyse physico-chimique sommaire sur chaque site inventoriés (turbidité, oxygénation, pH, conductivité et température)

Volet Analytique :

-Croisement de toutes les données disponibles produites par les divers volets avec la présence ou non de juvéniles de brochet

Remarque : En parallèle de l'étude, un diagnostic plus fin est réalisé sur certains sites ciblés pour des actions de restauration en vue de produire un état initial avant travaux détaillé (cartographie des habitats, topographie, analyses d'eau, de nutriment et inventaire piscicole notamment).
Remarque : Deux sites situées sur Montreux-vieux ont fait l'objet d'un diagnostic avec d'autres volets menés par la FDAAPPMA68 dans le cadre de l'étude des « plans d'eau du Sundgau ».
Ces deux remarques sont présentées sous la dénomination « **volets complémentaires** »

Figure 35 : Schéma général des deux approches et des divers volets méthodologiques développés lors de l'étude des annexes de la plaine d'Alsace.

4.1. Approche physique

a) Volet cartographie & Repérage

Face à un constat de connaissance non exhaustive des annexes hydrauliques de la plaine d'Alsace et de leur niveau de fonctionnalité, une phase de **repérage cartographique** fut nécessaire. Toutes les annexes pouvant être recensées à l'aide de diverses sources, sont inscrites dans la liste des zones à prospecter. L'objectif est de pouvoir produire une base de données exhaustives de l'ensembles des annexes hydrauliques de la plaine d'Alsace (et notamment de l'Ill).
Les sources utilisées lors de l'étude ont pu être :

- L'étude des cartes IGN de type : Scan25 (carte au 1/25 000e) et orthophotographie ;
- L'étude des MNT départementaux disponibles ;
- L'étude des cartes anciennes notamment à travers l'outil de l'IGN « remonter le temps » ;
- Les connaissances de terrains et les retours des AAPPMAs locales, des pêcheurs ou des anciens.

Parfois, ces différentes sources sont complémentaires car certaines annexes hydrauliques potentielles n'existent pas sur l'une ou l'autre source (exemple d'un couvert végétal trop dense sur les orthophotographies ou des différences de traitement sur les scan25 des diverses années).

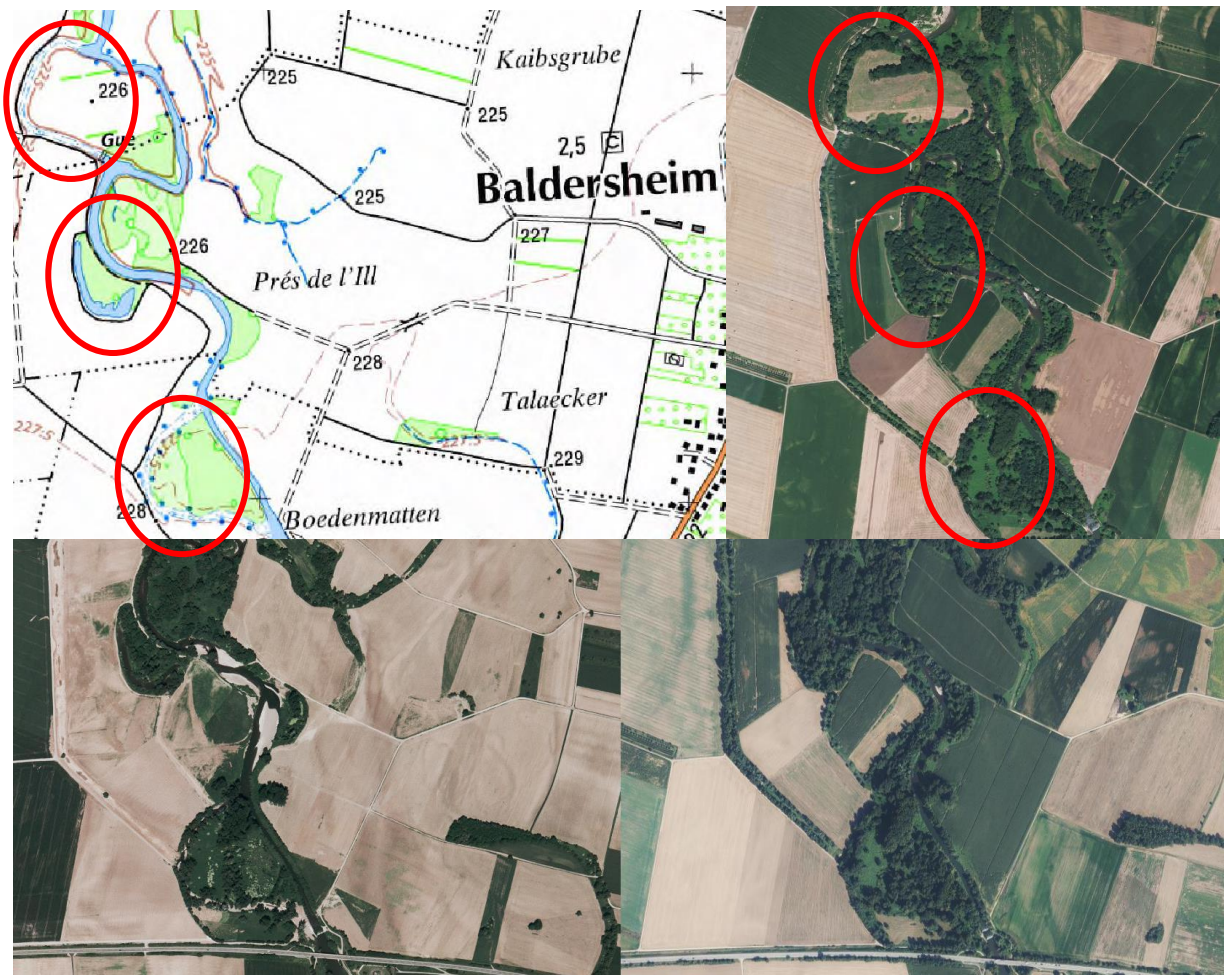


Figure 36 : Comparaison entre Scan25 et orthophotographie de 2021, 2018 et 2000 (exemple d'une recouvrement végétal important ne permettant pas de distinguer une annexe sur les images plus récentes – source IGN).

C'est plus d'une centaine de sites potentiels qui ont ainsi fait l'objet de prospections de terrain pour permettre la caractérisation de 87 annexes hydrauliques recensées comme telles sur le secteur étudié. Chaque site potentiel a fait l'objet d'au moins un passage sur le terrain.

b) Volet diagnostic multicritères

❖ Généralités & Campagnes terrain

Une **fiche terrain** est créée pour l'étude (consultable en annexe). Cette fiche est inspirée de celles réalisés par les Fédérations voisines afin de garder des champs et résultats comparables (FDAAPPMA 57, 88 et 54 notamment). Cette fiche est initialement basée sur les travaux de la FDAAPPMA28, en collaboration avec M.Chancerel.

Elle comprend des éléments d'identification du site et de sa localisation, ainsi qu'un certain nombre de paramètres liés à la reproduction du brochet. Pour renseigner l'ensemble des champs, l'opérateur est muni de divers outils (échelle graduée, GPS, thermomètre, décamètre, etc.). Selon les zones prospectées et les accès, les observations ont pu être réalisées par tout temps en voiture, à pied, en canoé ou en bateau à moteur.

Pour la complétude du formulaire d'acquisition terrain, c'est la fiche terrain ou un Trimble qui furent utilisé selon les années et les campagnes. Les champs complétés sur le Trimble sont identiques aux champs proposés dans la fiche pour garder une homogénéité de résultats entre les diverses campagnes. Enfin, **plusieurs campagnes de diagnostic physique ont été réalisées** principalement :

- Sur le secteur de l'Ill Aval d'avril à mai 2019 ;
- Sur le secteur de l'Ill Médiane et certains secteurs canalisés de mai à juillet 2020 (*période plus tardive liée à la crise sanitaire du COVID-19*) ;
- Sur l'ensemble des secteurs canalisés de mars à mai 2021.

Figure 37 : Prospections de terrain de recensement et de diagnostic des annexes à pied et en canoë.

La plupart des annexes recensées ont pu faire l'objet de deux passages sur le terrain :

- En hautes eaux, de février à avril, ce qui correspond à la période de reproduction du brochet afin d'observer : les hauteurs d'eau, les habitats présents lors de cette période (surface favorable à la reproduction) et l'ennoiement général du site ;
- En basses eaux, de mai à septembre pour apprécier les surfaces de végétation en développement, la topographie et le maintien en eau ou non des sites.

Le périmètre de chaque annexe ainsi caractérisée est ensuite bancarisé dans une **base de données SIG** avec l'ensemble des champs renseignés au sein de la table attributaire associée.

❖ Numérotation

Afin d'identifier chaque annexe hydraulique, un **code unique** lui est attribué. Le code est composé de la lettre correspondant au secteur ou au cours d'eau concerné suivis d'un chiffre d'amont en aval. Par exemple, l'annexe la plus en aval sur l'Ill est identifiée par le code I51. Si d'autres sites sont recensés après l'étude, ils poursuivront la suite de ce classement, malgré leur position géographique.

❖ Données générales du site

Plusieurs champs généraux sont remplis (pour certains automatiquement via le Trimble) tel que :

- Date
- Commune
- Rive (droite ou gauche)
- Ouvrage (sous influence ou non d'un ouvrage et si oui la nature de l'ouvrage)
- Environnement (prairial, forestier, urbain, mixte ou agricole)
- Débit (le jour du diagnostic si une station de mesure est proche)

❖ Typologie de l'annexe hydraulique

La typologie des annexes hydrauliques utilisée pendant l'étude est inspirée de celle de Malavoi & Bravard (2010) et des FDAAPPMA 88, 57, 54 adaptées au contexte local après concertation (description plus détaillé cf tableau 1).

Les annexes sont ainsi catégorisées de la manière suivante :

1. Chenal secondaire
2. Bras mort
3. Bras isolé
4. Marais
5. Fossés
6. Prairie
7. Zone anthropisé

❖ Hydrologie

Une appréciation sommaire du fonctionnement hydrologique du site est réalisée avec :

- Hauteur d'eau moyenne le jour du diagnostic
- Communication avec le cours d'eau (amont, aval, les deux ou inexistante)
- Connexion (par l'aval ou par l'amont si elle existe)

❖ Surface Favorable à la Reproduction

Une appréciation des Surfaces Favorables à la Reproduction du brochet est réalisée (ou SFR). Il s'agit d'identifier la présence ou non de substrat favorable à la reproduction et/ou à la croissance des juvéniles. Avec :

- Graminées
- Hélophytes
- Hydrophytes
- Arbres et bois mort
- Autres

Une classe de recouvrement est associée avec : nulle (<5%) – faible (5 à 25%) – moyenne (25 à 50%) - forte (>50%).

Remarque : par la suite (lors des campagnes IAB de l'approche biologique), des appréciations plus précises des substrats végétaux sont réalisées (notamment de leur nature).

Figure 38 : Illustration de plusieurs SFR (Surface Favorable à la Reproduction) recherchées comme : les graminées, les hélophytes bas et haut, les hydrophytes et les bois mort. Le substrat doit rester aussi bien présent en période de reproduction (février-mars à gauche) qu'à la période de grossissement (avril-juin) à droite.

- Espèces Exotiques Envahissantes

La présence ou non d'espèces végétales à caractère exotique envahissant est renseigné avec une classe de recouvrement (nulle – faible – moyenne – forte).

En effet, en Alsace, plusieurs espèces sont très fortement implantées en bordure de cours d'eau comme la Renouée du Japon (*Reynoutria japonica*) ou la Balsamine de l'Himalaya (*Impatiens glandulifera*).

Figure 39 : Plusieurs espèces végétales exotiques envahissantes sont très implantées en Alsace comme la Renoué du Japon en bordure de cours d'eau ou dans une annexe hydraulique.

❖ Evaluation de la fonctionnalité

Le diagnostic multicritères permet la réalisation d'une **évaluation de la fonctionnalité de l'annexe**. Pour ce faire, 7 champs sont complétés afin d'attribuer une notation de l'annexe vis-à-vis de sa fonctionnalité potentielle pour la reproduction du brochet. Le nombre de points attribué à chaque critère est pondéré en fonction de son importance dans la fraie du brochet (0, 1, 2 ou 4 points). Chaque champ est ainsi relié à une note et la somme des points produit ainsi la note de fonctionnalité sur 20points. Les champs complétés sont les suivants :

Tableau 6 : Fonctionnalité de l'annexe hydraulique pour la reproduction du brochet.

Surface potentielle de la frayère (m²)	<50 **(0)**	50 à 100 **(2)**	>1500 **(4)**
Densité de végétaux de type hélophytes et/ou hydrophytes (%)	<25 **(0)**	25 à 50 **(2)**	>50 **(4)**
Communication avec le cours d'eau	Nulle **(0)**	Moyenne **(2)**	Bonne **(4)**
Profondeur moyenne (m)	<0,1 ou >1 **(0)**	0,1 à 0,25 **(1)**	>0,25 et <1 **(2)**
Ensoleillement de la zone	Nul **(0)**	Moyen **(1)**	Bon **(2)**
Pente des berges	Forte **(0)**	Moyenne **(1)**	Faible **(2)**
Ecoulements dans l'annexe	Moyen **(0)**	Faible **(1)**	Nul **(2)**

Les annexes hydrauliques sont ensuite réparties en 4 classes selon la moyenne des notes qu'elles ont obtenues. Cette approche est utile afin de hiérarchiser l'ensemble des annexes de manière synthétique.

Tableau 7: Classes de fonctionnalité en fonction de la note attribuée.

Note	Fonctionnalité
17 à 20	Bonne
13 à 16	Moyenne
8 à 12	Faible
0 à 7	Mauvaise

Des exemples concrets de classifications de plusieurs annexes sont présentés dans la partie Résultats du présent rapport.

❖ Observation liée au potentiel de restauration

En plus de cette note sur 20, s'additionne une note sur 5 liée au potentiel de restauration qui comprend :

- l'accessibilité de la zone par des engins (noté sur 1),
- l'ampleur des travaux sur la végétation (noté sur 2) ,
- l'ampleur des travaux de terrassement (noté sur 2).

Une note totale sur 25 points peut ainsi être produite et permet d'avoir une vision sur le rapport cout/bénéfice écologique. Il est notamment nécessaire de favoriser un projet disposant des coûts potentiels de travaux moindres pour une surface d'annexe élevée, plutôt que des projets avec un coût élevé pour une surface d'annexe faible.

❖ Observations complémentaires

Un certain nombre d'observations complémentaires utiles mais non prise en compte dans l'analyse peuvent être renseignées comme :

- Observation de géniteurs ou d'autres poissons ou d'autres espèces (amphibiens, écrevisses, etc.) ;
- Perturbations ou pollutions ;
- Remarques diverses.

c) Volet suivi hydrologique

En plus des paramètres physiques liés à l'analyse multicritère (habitats en présence, morphologie des annexes et qualité des surfaces favorables à la reproduction, etc.), il est nécessaire de prendre en compte 2 autres facteurs prépondérants :

- La **température de l'eau** (en lien avec la période de migration, de reproduction et le développement des œufs & larves) ;
- La **hauteur de l'eau** dans la l'annexe (ennoiement & durée de submersion) et au droit de l'annexe (arrivé d'eau, sortie d'eau et courant).

Sur l'ensemble du linéaire d'étude 7 stations de mesure hydrométriques permettent d'enregistrer les hauteurs d'eau et les débits (tableau5). Néanmoins à une échelle plus localisée ou encore dans des zones éloignées de l'emprise des stations hydrométrique, ces données peuvent être insuffisantes.

Afin de suivre plus précisément les 2 paramètres régissant en grande partie la réussite de la frai du Brochet :

- 5 sites pilotes ont fait l'objet d'un suivi à l'aide de sondes bathymétrique (pression et température) ;
- 2 sites pilotes ont fait l'objet d'un suivi à l'aide de sondes connectées (température et à 3 intervalles de hauteurs d'eau – en temps réel à distance).

❖ Sonde bathymétrique (hauteur d'eau par pression & Température)

Les sondes bathymétriques (Rugged TROLL 100 Data Logger de INSITU) mesurent les variations de pression en fonction de la profondeur ainsi que de la température. Leur utilisation dans une rivière ou à proximité d'une annexe ou encore d'un ouvrage permet un suivi des variations de hauteur d'eau. Ces données offrent la possibilité d'estimer le débit avec une courbe de tarage (ou un lien avec d'autres méthodes de calculs) et le marnage des sites.

La pression est convertie en hauteur d'eau et est mesurée à intervalle de temps régulier en fonction du paramétrage choisi sur le logiciel (Win-Situ 5) avant la mise à l'eau. Une sonde spécifique reste à l'air libre à proximité de la zone d'étude afin d'avoir une référence de pression atmosphérique.

Les sondes doivent être placées à la verticale et la tête vers le fond (le capteur étant situé dans la tête). Afin d'assurer un placement stable sur tous les axes, les sondes sont placées dans des socles attachés à un point dur sur la berge. Ces socles en béton de 40 cm de diamètre sont armés par des tiges métalliques maintenant un tube PVC (percé et fermé sur la partie supérieure) qui contient la sonde (figure 40).

Chacun des socles et sa sonde sont placés aux endroits les plus profonds en rivière au niveau des sections levées pendant la phase de topographie pour assurer la continuité des mesures durant les périodes d'étiage. Concernant les sondes en étangs, elles sont positionnées proche du déversoir sujet à l'étude. Sont connus, l'épaisseur du béton entre le fond et la tête de sonde

ainsi que la position de la sonde en fonction des sections ou des déversoirs, ces données sont obtenues avec le niveau de chantier et la mire placée sur les socles.

➔ **5 sites pilotes ont fait l'objet d'un suivi à l'aide de sondes bathymétriques**

➔ **Les sondes bathymétriques doivent permettre de connaitre plus précisément les variations de niveaux d'eau au droit même des annexes et ainsi faciliter le choix des côtes à cibler en cas de travaux de restauration.**

Figure 40 : Socles et sonde bathymétrique.

Figure 41 : Localisation des 5 sites pilotes avec le site de : a) I22 Ruelisheim b) I29 Réguisheim c) I34 ColmarB1 d) I39 Colmar B2 e) I47 Colmar Nord

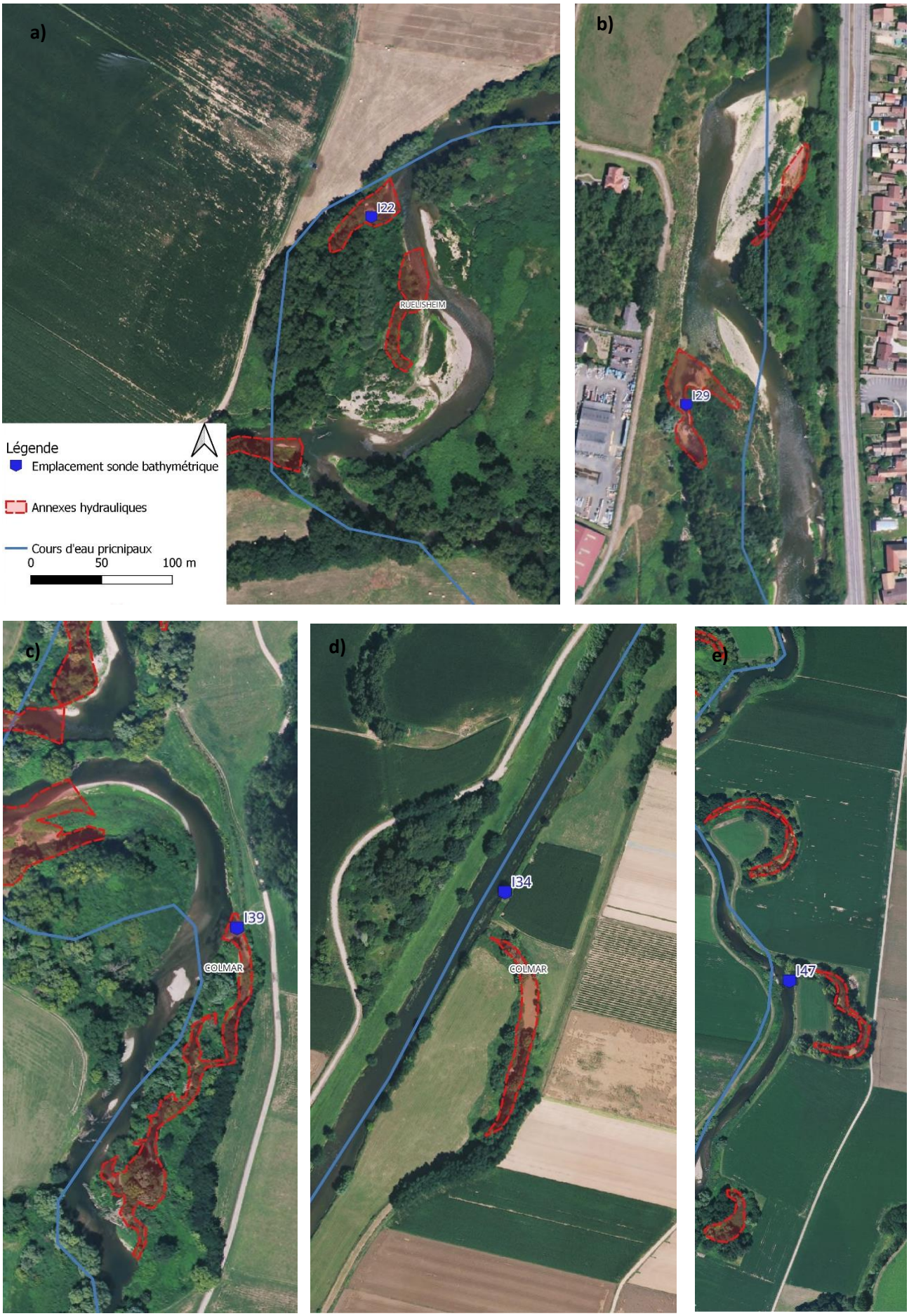


Figure 41bis : Localisation des 5 sites pilotes

❖ Sondes connectées (température & intervalle de hauteur d'eau)

La surveillance et l'analyse à distance des paramètres tel que la température et des niveaux d'eau sont aujourd'hui des enjeux forts. Ceci à la fois pour :

- Mieux réguler les usages en période critique notamment ;
- Limiter les impacts sur les milieux aquatiques ;
- Gagner en réactivité sur les phases de gestion.

C'est dans le cadre de ces objectifs que la FDAAPPMA68 a déployé un partenariat avec une start-up française afin de réaliser des tests et retours d'expériences en recherche et développement de ce type d'outil.

Les sondes (solutions «F'LOW 3» de SQUAMA), sont composées de plusieurs modules :

- 1 module transmetteur ;
- 2 modules « niveau » ;
- 1 module « niveau &température » ;
- Les câbles de liaison étanches.

Cette solution est destinée à suivre des niveaux d'eau caractéristiques (débits seuils, cotes à respecter…) elle s'appuie sur des capteurs de niveau de type on/off qui informent en temps réel la présence d'eau ou non. Chaque module capteur est réglable en hauteur, de manière indépendante, pour être installé aux profondeurs souhaitées.

En complément, un capteur de température est associé à un des capteurs de niveau. Une solution F'LOW est personnalisable en nombre de modules pour répondre au mieux aux besoins et aux objectifs de suivi (source : SQUAMA.fr).

➔ **2 sites pilotes ont fait l'objet de l'implantation de ces dispositifs de suivi à distance,** de typologie différente avec : un site à dominance naturel et un site à dominance artificiel (figure 43).

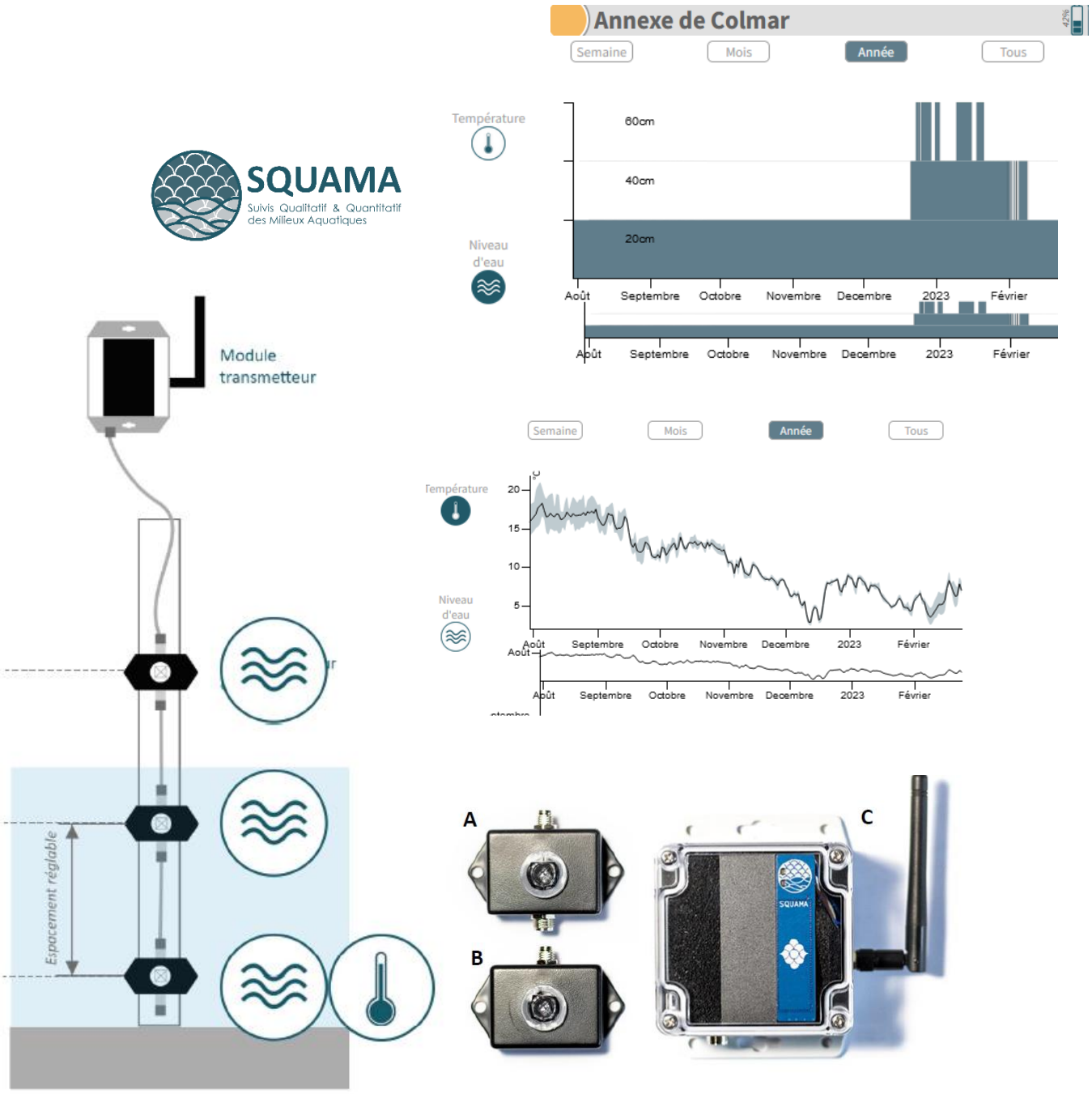


Figure 42 : Illustration des dispositifs des types « sondes connectées FLOW3 » avec : a) schéma du dispositif utilisé dans les annexes hydrauliques. b) interface de consultation en ligne (niveau d'eau et température à Colmar). c) détail des modules et captures (avec : Module capteurs (A), niveau (B) & température et module transmetteur (C)).

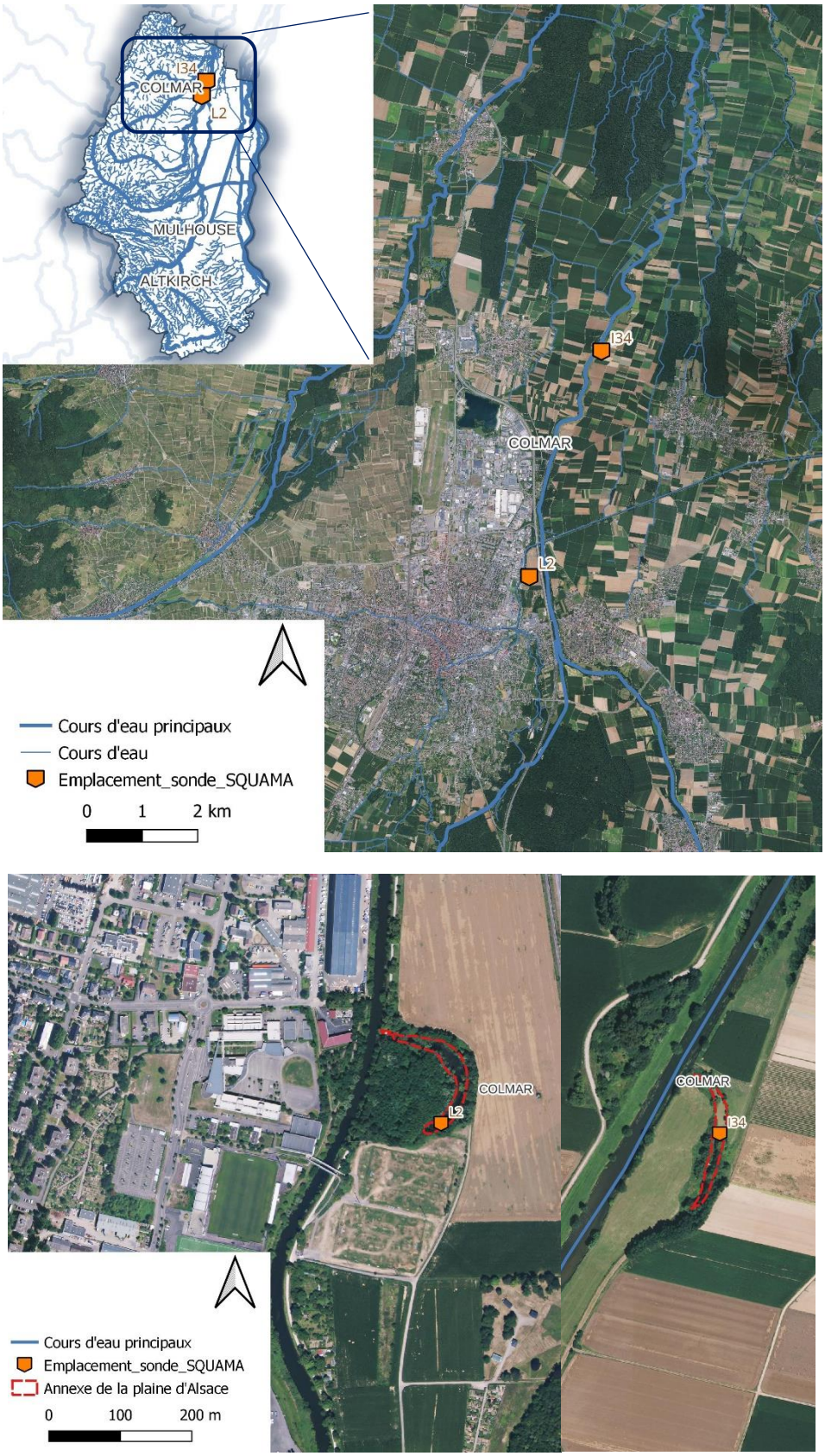


Figure 43 : Localisation des 2 sites suivis à l'aide des sondes connectées.

d) Volet drone

L'utilisation des drones dans le domaine de l'écologie est pertinente par la nature d'un outil fiable, réactif et précis qui se révèle très complémentaire des équipements et des approches traditionnelles. Ses principaux atouts sont les suivants :

- Permettre la prise de vues aériennes de haute résolution et géoréférencées ;
- Permettre le choix de la période d'inventaire ou de reproduire des survols à des pas de temps contrôlés ;
- Prospecter rapidement des grandes surfaces ;
- Permettre la production de livrables utiles et de travaux comme :
  - Des orthophotographies et orthomosaiques ;
  - Des Modèles Numériques de Terrain ;
  - Des caractérisations d'habitats naturels ;
  - Des prospections naturalistes ;
  - Des supports de communications et de valorisation.

L'outil (figure 44) permet ainsi d'effectuer des prises de vue destinées à divers livrables, allant de simples images de communication aux documents de travail tels les MNT (Modèles Numériques de Terrain), MNS (Modèles Numériques de Surface) et les orthophotographies de précision (figure 45). Les données obtenues lors de l'étude sont destinées à être partagées avec les partenaires locaux sur des projets en lien avec les sites d'études.

❖ Matériel

Le drone utilisé est le Phantom 4 Pro V2.0 (Figure 44) qui est piloté par un opérateur équipé d'un dispositif de contrôle et de prise de vue manuel et automatisé.

Figure 44 : Illustrations du drone Phantom 4 Pro V2.0.

❖ Méthode

Avant la phase de vol, l'opérateur définit la zone qu'il souhaite traiter. Le plan de vol est calculé selon la superficie, la précision souhaitée et divers paramètres annexes (altitude plus faible pour une résolution plus élevée). Pour permettre un géo-référencement optimal, l'opérateur applique 3 à 5 points de calages sur le terrain (à l'aide d'un marquage au sol visible pour le post-traitement).

Le traitement des photographies est réalisé à l'aide d'un logiciel de traitement photogrammétrique. Les images sont retravaillées (suppression des artéfacts) puis calibrés pour réaliser une carte à l'échelle. L'utilisation des prises de vues aériennes permet ainsi de réaliser des supports cartographiques 2D/3D (d'une précision moyenne entre 1,5cm/pixels et 2,5cm/pixels selon les paramètres de vols choisis). Les livrables sont par la suite utilisables sur des logiciels de SIG (QGIS, ArcGis, etc.). Les productions possibles sont diverses :

caractérisation des habitats (Alleaume, 2016), profil topographiques, variations thermiques et définition de la granulométrie (Lejot et al., 2015).

❖ Données produites

Les fichiers livraisons ont été globalement très utiles lors des différents autres volets du projet « Annexe Plaine d'Alsace ». Ceux-ci ont permis d'apporter une aide à l'analyse, d'identifier les surfaces en eau et les habitats présents. Les supports produits sont voués à être utilisés comme base de travail pour des inventaires, des cartographies d'habitats ou des travaux. La FDAAPPMA68 diffuse ainsi librement l'intégralité des données produites, sous couvert de conventions d'échanges.

Une notice d'utilisation des données et des exemples d'applications sont présentés en annexe du rapport pour la description des livrables.

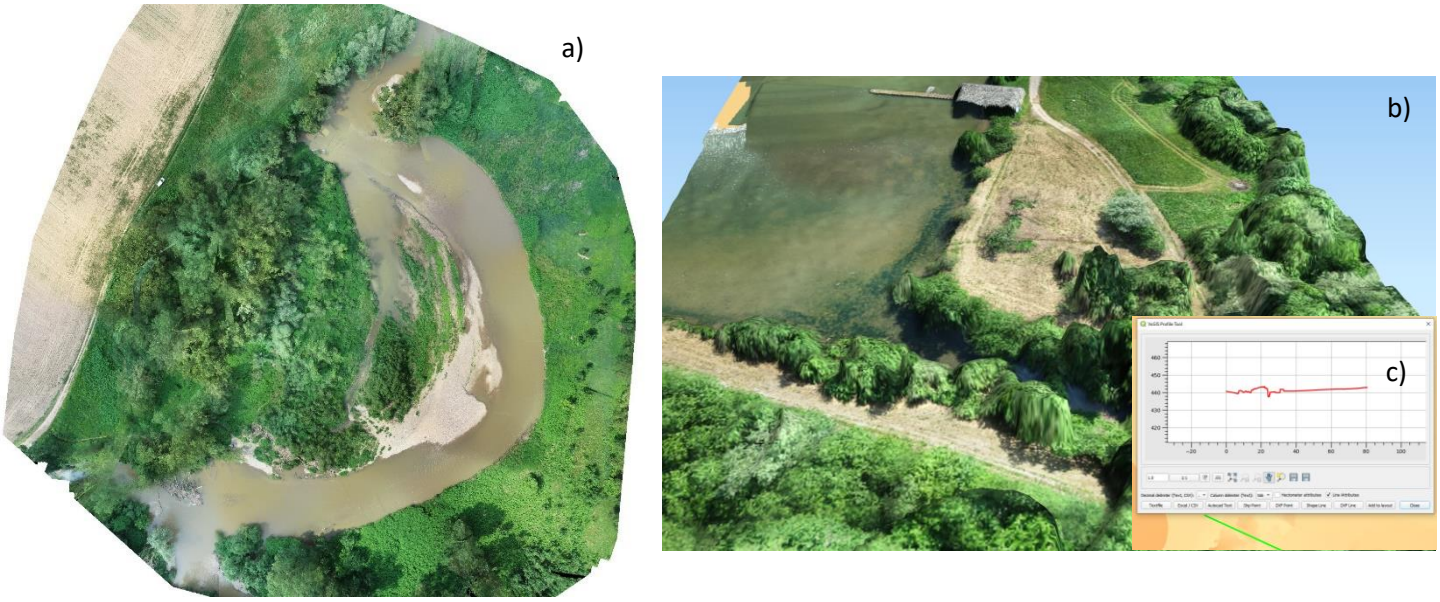


Figure 45 : Illustrations de résultats de travaux sur une annexe hydrauliques pour des calculs d'érosion et de cubature (a), profil en 3D d'une zone rivulaire du site de Courtavon (b) et profil topographique (c) pouvant être analysés (par le module ProfilTool de QGIS)

➔ **3 sites pilotes ont fait l'objet du déploiement de ce volet**.
Ces sites sont les mêmes que ceux ayant fait l'objet d'un suivi par sonde bathymétrique (présentés figure 41).

4.2. Approche biologique

En parallèle de l'approche physique et des caractérisations réalisées, il est nécessaire de réaliser un comparatif à l'aide d'une approche centrée sur l'aspect biologique. Pour ce faire, des échantillonnages ponctuels par pêche électriques sont réalisés. Ceci dans le but de juger de l'efficacité et de la réussite de la reproduction des brochets sur les sites.

a) Volet Indice Abondance Brocheton

❖ Période et sites échantillonnés

Au regard de la taille très variée des sites et de l'important nombres d'annexes recensées, il a paru nécessaire de sélectionner et de définir des sites à échantillonner en fonction des critères relevés. Un outil de **hiérarchisation** à été utilisé en fonction des notes de fonctionnalité et des surfaces favorables à la reproduction caractérisées sur les sites (priorité 1, 2 ou 3).

Dans les faits, la très grande majorité des sites a pu faire l'objet d'un passage lors des campagnes de 2021 et en 2022. Mais sur les sites sélectionnés, seuls un certain nombre d'annexes ont pu faire l'objet d'inventaires par pêche électrique. Ceci est lié à l'hydrologie spécifique de 2021 et de 2022. En effet, lors du passage des opérateurs un certain nombre de site fut intégralement hors d'eau ou non fonctionnel (lessivé par une crue, à sec, déconnecté, etc.).

C'est donc au total 139 IAB qui ont pu être réalisés sur 54 sites en deux ans (figure 46) :

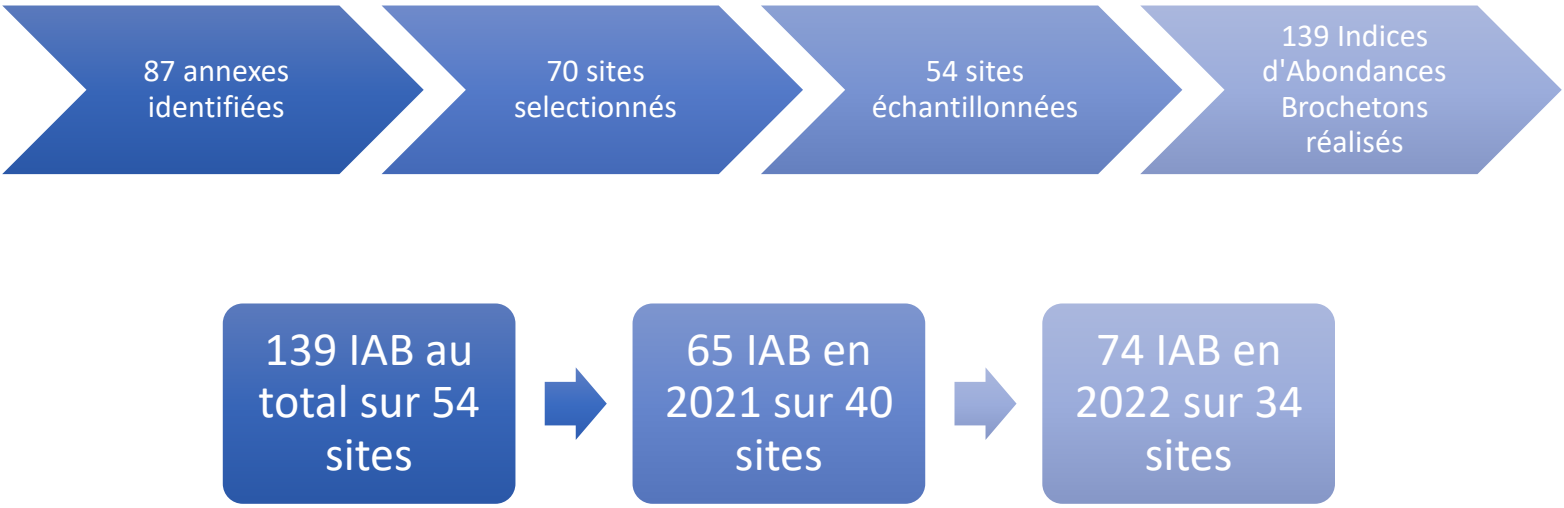


Figure 46 : Résumé des grands chiffres des campagnes d'échantillonnage biologique de 2021 et 2022.

Le mois de mai fut jugé le plus propice à la réalisation des inventaires. L'objectif est d'intervenir à la période où les **juvéniles de brochet** sont encore relativement sédentaire (juste avant le stade « brocheton migrant » - avec des individus majoritairement compris entre 40 et 60mm).

Les inventaires ont eu lieu :

- En 2021, du 10 au 28 mai ;
- En 2022, du 16 au 31 mai.

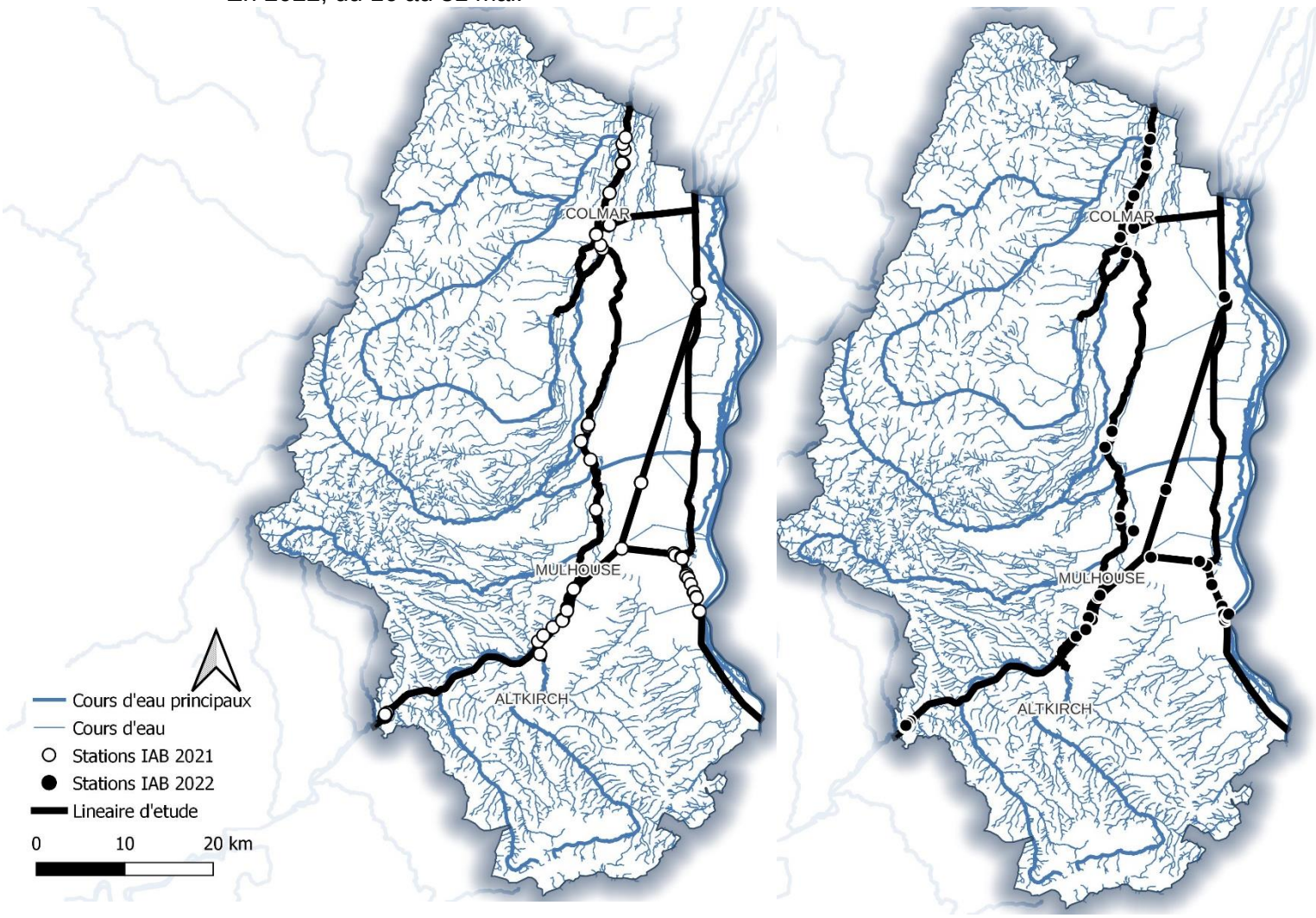


Figure 47 : Maillage des stations IAB (Indice d'Abondance Brocheton) en 2021 et 2022.

b) Protocole d'échantillonnage

Un protocole d'échantillonnage a été défini en fonction de la surface des zones à prospecter, l'objectif étant de pouvoir procéder de manière efficace et rapide sur chaque station, notamment les plus étendues. Un large maillage de stations a donc été créé afin de couvrir un maximum de zones représentatives de la plaine d'Alsace.

❖ Description de la méthode

Comme pour toutes les espèces piscicoles, **l'abondance de juvéniles de l'année** (âge 0+) est un indicateur important du fonctionnement d'une frayère (évaluation du recrutement). **L'Echantillonnage Ponctuel d'Abondance** est réalisé en 5 min de temps pêche effective quasiment en continue en longeant la berge et en ciblant des habitats de types reproduction et nurserie. Ce protocole d'échantillonnage est inspiré du protocole Vigitruite© ou de l'Indice d'Abondance Saumon (IAS). Ces méthodes ciblent les zones de production de types radiers/plats courants propres aux salmonidés afin d'échantillonner les juvéniles 0+/1+ en 5 min de temps) qui a été adapté à l'échantillonnage de brochetons.

Ce protocole, adapté aux exigences de l'espèce, permet entre autres de multiplier les stations et donc d'en prospecter un grand nombre pour avoir une vision globale de l'effort de reproduction sur un secteur donné. Cela permet également d'affiner et de préciser quels sont les habitats et les substrats de ponte privilégiés par l'espèce. Cet indice, de type « **Capture Par Unité d'Effort** » (CPUE) est exprimé en nombre de juvéniles de l'année (0+) capturés en cinq minutes de temps de pêche électrique effective (Nbr Broc / 5min).

Dans le détail, les habitats prospectés sont uniquement des faciès favorables : lentiques, de faible hauteur d'eau, à la végétation aquatique dense et à la végétation rivulaire basse si possible recouverte d'eau (*Carex*, *Phalaris*, herbacés, etc).

Seuls les brochetons de l'année (0+) sont comptabilisés pour produire l'indice d'abondance. Les brochetons 1+ (classe de taille [200-300mm] sont certes échantillonnés mais non pris en compte dans le calcul de l'indice). Le stade 0+ est associé à la classe de taille 30 à 80mm (à partir du mois de mai). D'autre part, la distinction peut se faire plus précisément après biométrie et analyse de l'histogramme des effectifs par classe de taille, notamment en raison des taux de croissances plus élevés des brochetons en milieu calcaire ou plus riche en nourriture.

D'autre part, à l'issue du temps de pêche effectif de **5min**, si les habitats ciblés sont encore présents sur le reste du linéaire prospecté, un effort supplémentaire d'échantillonnage sans comptabilisation du temps peut être réalisé et les individus capturés seront donc inventoriés mais non pris en compte dans le cadre du calcul de l'IAB (sondage supplémentaire hors protocole).

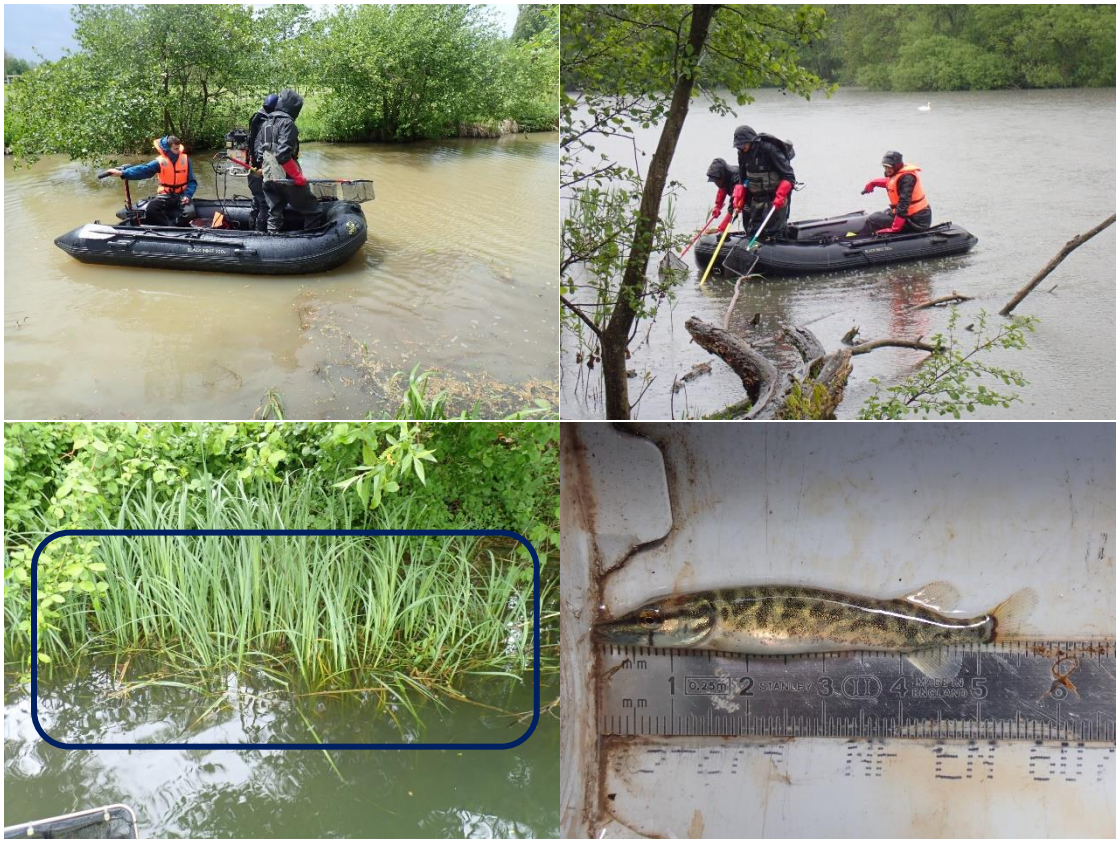


Figure 48 : Illustration de l'application du protocole IAB (avec 3 opérateurs en bateau), d'un exemple de zones de SFR échantillonnées et d'un individu capturé dit « 0+ » de 59mm.

Remarque : Les individus situés en périphérie du champ électrique qui n'ont pas subi la « mise en nage forcée » (phénomène d'électro-taxie) et qui n'ont pas pu être capturés (échappement) ne sont pas comptabilisés. Mais s'ils ont pu être formellement identifiés, leur taille est estimée et ils sont compris dans l'échantillonnage.

L'Indice d'Abondance Brocheton par station correspond donc au nombre de juvéniles de l'année (0+) capturé en 5min de temps. Afin d'apprécier un caractère qualitatif à cet indice, l'élaboration de classes de qualité associées à des classes d'abondance reste hasardeuse. Afin de synthétiser ce caractère, 3 classes « d'efficacité biologique » sont proposées (adaptées aux résultats observés sur la plaine dans le cadre de l'étude) :

Nombre de Brochetons 0+ échantillonnés en 5 min		
1	[2-6]	>6
Sites très peu efficaces pour la reproduction du brochet	Sites moyennement efficaces pour la reproduction du brochet	Sites efficaces pour la reproduction du brochet

❖ Biométrie & Captures accessoires

Les informations issues de la phase de biométrie sont notées sur des fiches terrains et l'ensemble des données est collecté et bancarisé (taille poids, état sanitaire et prise de photographie).

Si ce sont uniquement les juvéniles de brochet de l'année qui sont ciblés, toutes les captures accessoires (autres poissons et écrevisses) sont également notifiées en termes d'occurrence. Lorsque cela est pertinent (espèce rare, etc.) certains individus peuvent faire l'objet d'une capture et d'une biométrie.

c) Volet physico-chimique

❖ Mesures multiparamétriques ponctuelles

Les mesures sont réalisées avec la sonde multiparamètres MultiLine® 3620 IDS et les sondes suivantes (Figure 43) : SenTix®940 (pH), TetraCon® (conductivité) et FDO 925-3 (oxygène dissous). Cet appareil permet de mesurer précisément la température, le pH, la conductivité et l'oxygène dissous en lecture directe (mg/L et %) puis la DBO5.

Figure 49 : Boitier multiparamétrique (a), sonde oxygène (b), sonde pH (c), sonde conductivité (d)

Lors des mesures, l'opérateur plonge les sondes dans l'échantillon ou la zone aquatique. Après quelques secondes, les résultats sont affichés sur l'écran du boîtier de mesure. Les zones de mesure restent identiques pendant la durée de l'étude dans un souci de comparaison des résultats.

d) Volet analytique

Des **renseignements complémentaires** à ceux déjà observé dans le volet d'analyse multicritère sont ajoutés. Il s'agit notamment :

- Des substrats ou des habitats dans lesquelles ont été capturé des brochetons ;
- D'une description plus fine des végétaux (détermination du genre ou typologie des hélophytes et des hydrophytes) présent sur site au printemps ;
- Les captures accessoires.

Analyse des variables

Afin d'analyser les variables obtenues, le logiciel utilisé pour l'analyse des résultats est le logiciel R version 4.2.2 (associé à l'interface plus didactique de Rstudio Team). Les packages utilisés lors des analyses sont les packages vegan, ggplot2, FactoMineR et ade4.

Statistique descriptive multivariée

Les résultats du volet d'analyse multicritère sont croisés avec les résultats du volet IAB (occurrence des taxons et des Brochetons de l'année). L'analyse choisie est **l'Analyse en Correspondances Multiples** (ACM).

C'est une technique descriptive qui vise à résumer l'information contenue dans un grand nombre de variables, ceci afin de faciliter l'interprétation des corrélations existantes entre ces variables. L'objectif est de savoir quelles sont les modalités corrélées entre elles. L'ensemble des mesures sont représentées dans un espace à plusieurs dimensions où chaque axe présente les différentes variables. L'analyse permet de dégager un profil type des divergences entre site avec ou sans brochetons.

Afin de rendre compte de cette observation et pour aller plus loin, une **classification ascendante hiérarchique** (CAH) a été réalisée sur le jeu de donnée, en complément de l'ACM. Cette approche permet de regrouper les tronçons qui se ressemblent en clusters différenciés.

4.3. Volets complémentaires

Certains sites notamment les sites du secteur de Montreux-Vieux, ont fait l'objet de volets complémentaires. Ces sites font un parallèle entre « **l'étude des plans d'eau du Sundgau** » (NAMOKEL-FDAAPPMA68, 2022) et la présente étude des annexes de la plaine d'Alsace. Ces volets ont été développés au sein de l'étude des plans d'eau. Les volets complémentaires sont :

- Volet bathymétrie
- Volet drone
- Volet concentration de nutriment
- Volet ADNe

Les détails des résultats de ces volets sont présentés dans le rapport ayant trait aux plans d'eau du Sundgau.
D'autres sites ont également fait l'objet de volets complémentaires (topographie, inventaire faune-flore, analyse d'eau), notamment dans le cadre **d'avant-projet de travaux de restauration**, réalisés en parallèle de l'étude. Il s'agit notamment :

- Du site de l'annexe hydraulique de Horbourg-Wihr (code annexe : CC1) situé sur le canal de Colmar à Horbourg-whir.
- Du site de l'annexe hydraulique de la Lauch canalisé (code annexe : LA2) situé sur la Lauch canalisé à Colmar.

Ces sites ont été hiérarchisé pour le déploiement de travaux de restauration en cours d'étude (travaux à l'opportunité) avec le site CC1 dont la phase travaux fut réalisée en octobre 2022 et le site L2 dont la phase travaux sera réalisé en 2023-2024.

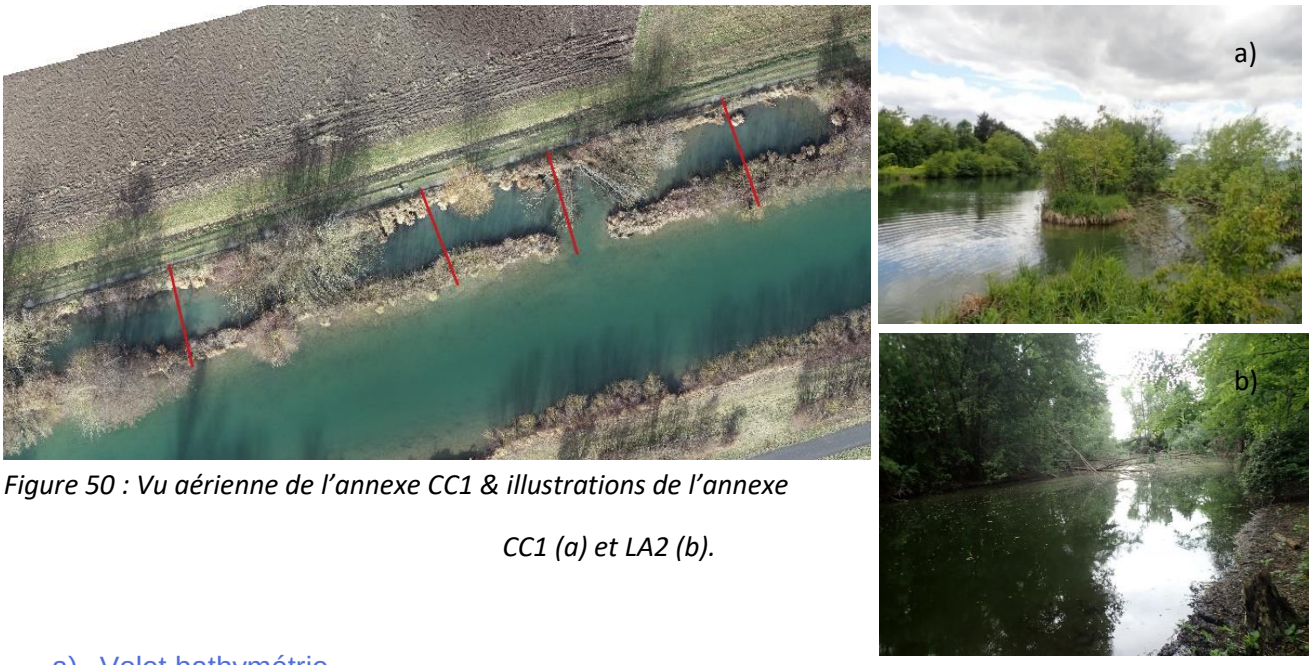


Figure 50 : Vu aérienne de l'annexe CC1 & illustrations de l'annexe CC1 (a) et LA2 (b).

a) Volet bathymétrie

❖ Matériel

Les relevés bathymétriques sont réalisés avec l'échosondeur GPS Lowrance Elite 9 FS® (figure 45a). Ces appareils fonctionnent avec la technologie du SONAR (Sond Navigation and Ranging) qui en consiste à envoyer une onde sonore et mesurer les paramètres de retour de celle-ci pour déterminer la localisation d'un objet dans le milieu aquatique.

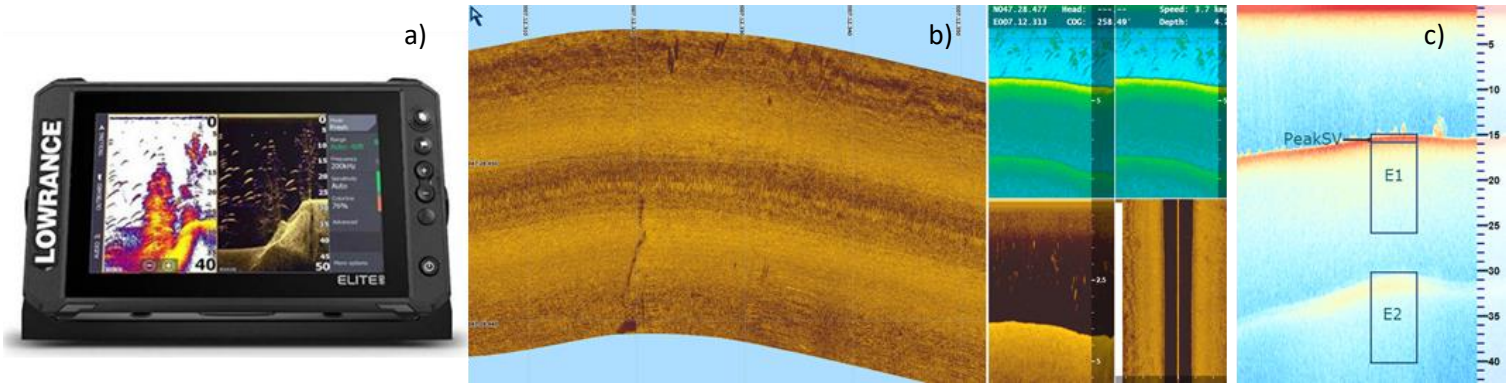


Figure 51 : Illustrations de l'échosondeur (a) et du traitement des données produites avec les vues sonar, sidescan et downscan (b) ainsi que l'appréciation de la profondeur des sédiments (c).

Le transducteur envoie et reçoit des signaux sous forme d'ondes sonores qui sont traités et traduit en image par l'unité principale. L'échosondeur permet la création d'une cartographie détaillée des fonds et de sa nature en couplant les données spatiales (GPS) et les données de profondeur (figure 51). Le dispositif est monté sur une embarcation avec deux opérateurs (un pilote et un opérateur de l'échosondeur). Celle-ci est mobile sur le plan d'eau au vouloir du plan de mesure défini selon le protocole. La différence entre les deux pics de retours principaux (appelées E1 et E2) permet la quantification du volume de sédiment (figure 50c).

❖ Méthode

Afin de faciliter l'exploitation des résultats à l'échelle nationale et une normalisation pour la DCE, un protocole a été développé par l'ONEMA en 2010 (Samuel et al., 2010). Celui-ci sera utilisé pour l'étude des plans d'eau Sundgauviens. Le document peut être résumé en trois parties :

- Tout d'abord une phase de préparation de l'opération qui consiste en un référencement altimétrique de la côte du plan d'eau (NGF) ainsi que la prise des coordonnées GPS de 8 points cardinaux à l'interface eau/terre.
- Cette étape est complétée par la réalisation d'un plan d'échantillonnage définissant le trajet de l'embarcation. Le tracé est défini par 3 types de radiales, chacune avec leur spécificité : une radiale à profondeur faible au niveau des berges (bleu), des radiales en « créneaux » (rouge) et des radiales de vérification (vert) (exemple de l'application de la méthode sur le site de Courtavon figure 46).

Le temps de séjour de l'eau peut être obtenu par la division du volume du plan d'eau (m^3) par la quantité de flux sortante (m^3/an).

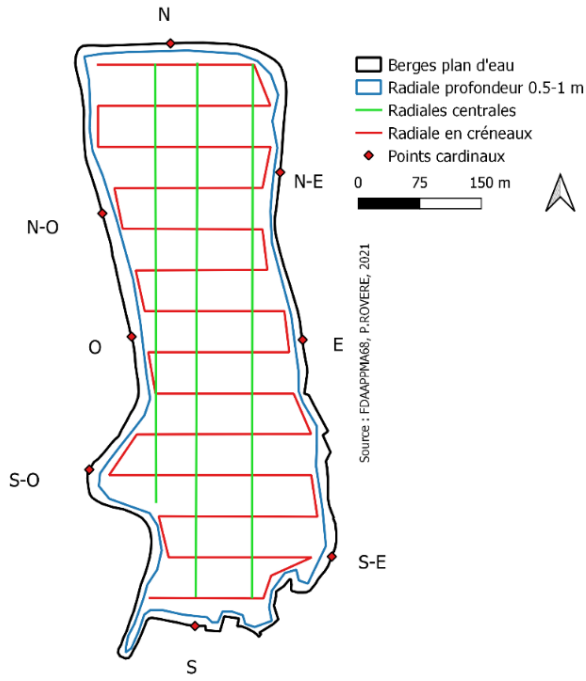


Figure 52 : Plan d'échantillonnage (bathymétrie) du plan d'eau de Courtavon.

Par la suite, durant la phase d'acquisition de données, les opérateurs réalisent les mesures définies par le plan d'échantillonnage. L'opérateur veille à adapter sa vitesse notamment lors des passages sur des zones à fortes variations de profondeurs. La réduction de vitesse permet l'augmentation du nombre de point de mesure et donc de la précision du profil produit.

❖ Traitement

Le traitement des données brutes (coordonnées X, Y et Z) est réalisé avec le logiciel ReefMaster 2.0, les points bathymétriques sont retravaillés (suppression des artéfacts) puis calibrés pour réaliser une carte à l'échelle du plan d'eau. Une analyse visuelle des images de l'échosondeur par les opérateurs permet de déterminer la présence d'objets, d'animaux ou de plantes sous l'eau (figure 51b) et ainsi produire une cartographie de la nature des fonds.

b) Volet concentration de nutriments

Certains sites ont pu faire l'objet de prélèvements d'eau ponctuels lorsque cela fut jugés nécessaire.

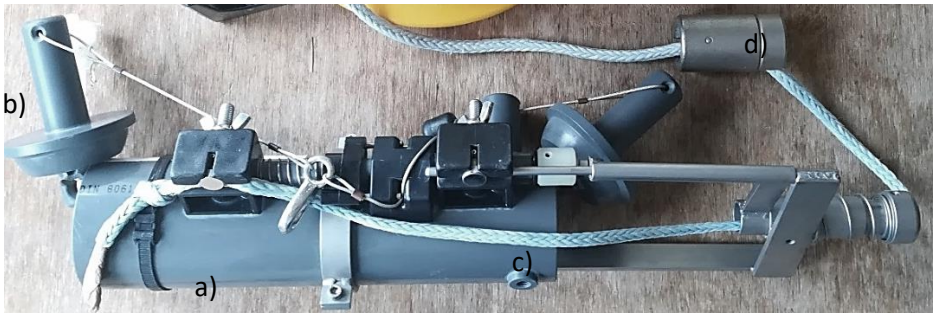


Figure 53 : Bouteille de VanDorn.

Les échantillons d'eau sont analysés avec un photomètre compact PF12 fabriqué par MACHEREY-NAGEL®. Cet appareil à filtres mono-faisceau (gamme entre 340 et 860 nm) détermine la concentration des nutriments dans les échantillons d'eau traités par des réactifs VISOCOLOR®. Ces réactifs sont spécifiques pour chaque nutriment analysé. Les solutions sont contenues dans des réceptacles en verre puis mesurées dans des cuves VISOCOLOR® ECO. Les échantillonnages sur le terrain sont réalisés dans des récipients en pyrex préalablement lavés à l'eau distillée. Chaque réceptacle et son bouchon sont rincés plusieurs fois à l'eau prélevée avant l'échantillon final. L'opérateur, positionné face au courant, veille à prélever de l'eau claire au centre du cours d'eau. Quant aux prélèvements à la bouteille de Van Dorn, ils sont réalisés en suivant le manuel des protocoles d'échantillonnage pour l'analyse de la qualité de l'eau au Canada (CCME, 2011). À noter qu'il est important de prendre en compte la taille de la zone d'échantillonnage, la bouteille de Van Dorn étant en position verticale lors du prélèvement, la profondeur varie de la taille de la bouteille, c'est-à-dire plus ou moins 30 cm. Les échantillons sont mélangés avec des réactifs liquides et/ou solides (poudre) VISOCOLOR®, afin d'obtenir une coloration représentative selon la concentration du nutriment traité. L'opérateur sélectionne le programme correspondant au test VISOCOLOR® et insère le blanc. Il s'agit de l'échantillon original sans réactif, ce qui permet d'éliminer les erreurs dues à la turbidité de l'eau. L'échantillon traité est inséré après la calibration du blanc, puis l'appareil donne une valeur de concentration. Une analyse visuelle est également possible avec des fiches comparatives, cependant celle-ci est moins précise.

Tableau 8 : Résumé des différents paramètres physico-chimiques analysés lors de l'étude sur la période d'avril à octobre 2021.

Type de station	Station multiparamétrique	Station complète
Paramètres étudiés	Oxygène dissous (en mg/L)	Oxygène dissous (en mg/L)
	Saturation en oxygène (en %)	Saturation en oxygène (en %)
	pH	pH
	Conductivité (µS/cm)	Conductivité (µS/cm)
	Température (°C)	Température (°C)
		DBO5 (mg/L)
		Nitrite NO2- (mg/L)
		Nitrate NO3- (mg/L)
		Ammonium NH4+ (mg/L)
		Phosphate PO43- (mg/L)

L'interprétation des résultats se fait sur la base des classes d'état fournies par « l'arrêté du 27 juillet 2018 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface ». Les classes d'états y sont présentées au sein de deux rubrique : une pour les cours d'eau et une pour la diagnose des plans d'eau.

c) Volet ADNe

❖ Définition, avantages et limites

L'ADN environnemental est défini tel que « l'ADN pouvant être extrait à partir d'échantillons environnementaux sans avoir besoin d'isoler au préalable des individus cibles » (Taberlet et al. 2012). Il peut être extrait à partir d'échantillons environnementaux tel que le sol, l'air, l'eau ou même le miel et les fèces. Il est composé par un mix génomique provenant de différents organismes et par dégradation. Cet ADN se compose majoritairement d'ADN mitochondrial ou nucléaire provenant de cellules encore vivantes, de gamètes ou de cellules dégradées.

Les méthodes actuelles d'inventaire faunistique à l'échelle des écosystèmes aquatiques nécessitent parfois d'importants moyens humains et techniques. Leurs mises en application est dépendante de la typologie des milieux. L'inventaire par l'ADN environnemental est une alternative moins coûteuse, moins chronophage et moins mortifère comparée à d'autres techniques d'inventaire comme la pêche au filet maillant scandinave (norme UE : PR EN 14757). L'ADNe est une méthode semi-quantitative permettant d'inventorier les espèces présentent dans un plan d'eau ou une rivière et dont le domaine d'application est vaste. Elle s'avère également être plus efficace en termes de détection, notamment dans les grands milieux comme les lacs, les marais et les zones humides difficilement échantillonnables, comparée à d'autres méthodes (Biggs et al., 2015 ; Valentini et al., 2016 ; Namokel et al. 2019). La méthode est également particulièrement pertinente pour mettre en évidence des espèces rares dans des secteurs complexes à échantillonner ou suivre des fronts de colonisation d'espèces migratrices (Back et al., 2018 ; Munch et al., 2021).
Un travail d'inventaire réalisé sur le lac d'Aiguebelette et la rivière du Tier, montre que l'ADNe a une sensibilité de détection plus élevée comparé aux méthodes d'inventaire classique avec une richesse spécifique de 22 taxons pour l'ADNe contre 13 par un inventaire classique (Poulet et Basilico, 2019).

Néanmoins l'application de la méthode se doit d'être pertinente vis-à-vis des objectifs définis. En effet, la méthode reste totalement complémentaire d'inventaires classiques de type pêche électrique du fait des informations apportées. L'ADNe présente bons nombres d'avantages mais aussi de limites. La méthode n'apporte pas de notion de biomasse, de taille, de densité, de pathologie des espèces et de sexages. De plus il est important de tenir compte de la durabilité de l'ADNe dans le milieu qui est en moyenne de 15 jours. En effet, l'ADNe présent dans l'eau est également sensible à certains facteurs environnementaux tels que les UV, le débit et la température. Ces facteurs conditionnent directement son temps de présence dans le milieu (Dejean et al., 2011). Enfin, certains taxons ne peuvent actuellement qu'être décrits au niveau du genre (par exemple : *Lampetra* sp.) ou de la Famille à l'aide de l'étude de l'ADNe (tableau complet des espèces consultable en annexe).

❖ Principe

Après prélèvement, l'ADN est extrait et amplifié avec un couple d'amorces universelles par PCR (Polymérase Chain Reaction). L'ADN est par la suite purifié et séquencé en produit purifié pour une analyse bioinformatique, celle-ci permettant la détermination des taxons pour lesquels l'ADN est présent. Il existe deux types d'approches proposées :

Figure 53 : Schéma des méthodes de métabarcoding (a) et de barcoding (b). Source : Spygen.

➔ **Monospécifique** (Metabarcoding) : cette approche est utilisée pour détecter la présence d'un seul taxon cible. Elle est souvent utilisée dans le cadre de recherche d'espèces rares, menacées ou invasives. L'ADN échantillonné est amplifié (par qPCR) à l'aide d'un couple d'amorces spécifique, ce qui permet d'augmenter les probabilités de détection d'une espèce peu présente dans l'écosystème (SPYGEN, 2021). Dans notre cas, il s'agit de l'écrevisse à patte blanche (*Austropotamobius pallipes*) espèce sur la liste rouge des Ecrevisses menacées en Alsace (MNHN & OFB, 2021a).

➔ **Multi-spécifique** (Barcoding) : cette méthode est destinée à une approche globale du milieu avec pour but de détecter les espèces présentes. Cette recherche cible l'ensemble des individus d'un groupe taxonomique donné, tel que les amphibiens et la faune piscicole dans le cas de l'étude (SPYGEN, 2021).

Une attention toute particulière est apportée aux risques de contamination (changement de gants neufs en amont de l'étape 1 et de l'étape 5, placement de la crépine à la proue de l'embarcation, ne jamais repasser deux fois au même endroit, ne pas faire sécher la membrane de la capsule, etc.).

❖ <u>Méthode</u>

Le protocole de prélèvement est le même selon la technique d'analyse choisie (multi-spécifique ou mono-spécifique). Dans le cas de milieux lentiques comme en plan d'eau lors de l'étude, les prélèvements sont réalisés par filtration à l'aide d'une pompe péristaltique (figure 67).

Pour l'étude, les transects de prélèvements sont réalisés en bateau (équipé d'un moteur électrique pour limiter le dérangement de la faune) et sont enregistrés via un GPS de terrain Trimble®.

Figure 54 : Illustration du matériel avec la perche de prélèvement (b), la pompe péristaltique « Vampir Sampler » (c), la solution de fixation (d) et mise en situation (a) de la méthode de prélèvement d'ADNe sur le lac de Courtavon.

Le protocole de mise en œuvre est le suivant :

1. Préparation du matériel (capsule de filtration, pompe et perche) et étiquetage à l'aide de gants stériles et de sachets en plastique afin d'éviter toutes contaminations.
2. Positionnement de l'extrémité du tuyau sans crépine du sachet et insertion de la capsule de filtration en respectant le sens d'écoulement.
3. Placement du tuyau dans la pompe péristaltique « Vampire Sampler® » (Figure 67c).
4. Fixer l'extrémité du tuyau avec crépine sur la perche préalablement munie d'une protection plastique.
5. Filtration de l'eau à l'aide du « Vampire Sampler® » pendant 30 min (filtration d'1L/min soit 30 L filtrés au total) ou jusqu'à saturation de la capsule de filtration. Passage en bateau à vitesse réduite (5km/h). Sur les plans d'eau de faible superficie, un unique transect est réalisé en créneau (afin de prélever aussi bien le centre que les berges) et 3 transects sont réalisés sur le site de Courtavon (un en rive Ouest, un en rive Est et un en créneau au centre).
6. Arrêt de la filtration et conditionnement de la cartouche avec une solution tampon « buffer » de conservation permettant de fixer l'ADN. Fermeture complète de la capsule.

V. Résultats

5.1. Approche physique

a) Focus global

❖ Les annexes de la plaine d'Alsace : nombres et surfaces

Ce sont ainsi **87 annexes hydrauliques** qui ont été diagnostiquées comme telles sur la plaine d'Alsace de 2019 à 2022. L'ensemble des annexes représente une surface de plus de **17hectares** (173 291m²).

Tableau 9 : Nombre et surface des annexes de la plaine d'Alsace sur les 8 secteurs.

Secteurs	Nombre d'annexe	Surface d'annexe (m²)	Surface d'annexe moyenne (m²)
CANAL DE COLMAR	4	9400	2350
CANAL DECLASSE	2	5500	2750
CANAL RHONERHIN	5	20115	4023
GRAND CANAL	22	46077	2094
ILL AMONT	17	16925	996
ILL AVAL	21	46977	2237
ILL MEDIANE	13	27902	2146
QUATELBACH	3	395	132
Total général	87	173291	2350

En termes de répartition sur les plus de **200km de linéaires étudiés**, cela représente une moyenne générale **d'une annexe hydraulique tous les 2,3km**. Mais certains secteurs concentrent une plus grande quantité d'annexe que d'autre (figure 55a). Des zones présentent parfois de grande concentration d'annexe alors que d'autres sont exempte d'annexe sur un linéaire important. Les secteurs où le plus d'annexes ont été dénombrées sont (par ordre décroissant – cf figure 55 b & c) :

- **Le secteur du canal grand gabarit et du grand canal d'Alsace** en jaune avec 22 annexes pour une proportion de 25%. Ce secteur artificiel a en effet fait l'objet de travaux de création de nombreuses annexes dans les années 2000 sur le canal grand gabarit et le canal de Niffer notamment. Les annexes sont de taille et de typologie variées ;
- **Le secteur de l'Ill aval** en bleu ciel avec 21 annexes pour une proportion de 21%. Ce secteur de l'Ill présente une quantité d'annexe remarquable par rapport à l'amont et la zone médiane de l'Ill. La concentration d'annexe est particulièrement importante sur le secteur situé en aval de Colmar : une zone en gestion différenciée (« l'Ill domaniale ») où l'Ill est plus mobile, moins rectifiée et où la concentration d'annexe est plus importante ;
- **Le secteur de l'Ill amont** en bleu foncé avec 17 annexes pour 20% de proportion. Plusieurs zones d'intérêt sont présentes notamment aux abords des connexions avec les canaux.
- **Le secteur Ill médiane** en bleu avec 13 annexes pour 15% de proportion. Ces valeurs sont notamment influencées par la RNR de l'Eiblen, une zone remarquable qui regroupe plusieurs annexes ;
- **Les autres secteurs** comme le canal de Colmar, le Quatelbach, le canal du Rhône au Rhin et le canal déclassé comptent moins d'annexes. Entre 2 et 5 annexes sont recensées sur chacun de ces secteurs pour moins de 6% des effectifs.

En termes de **superficie générale des annexes** (figure 56 a & b), les secteurs avec les plus grandes surfaces d'annexes hydrauliques sont (dans l'ordre décroissant) :

- **l'Ill aval** (27%) avec 46 977m² d'annexes : Les annexes de ce secteurs sont nombreuses et de taille relativement importante (moyenne 2237m²) ;
- **le grand canal/canal grand gabarit** (27%) avec 46 077m² d'annexes ;
- **l'Ill médiane** (16%) avec 27 902m² d'annexes.

Les annexes les plus grandes se retrouvent en revanche sur les secteurs où moins d'annexes sont dénombrées comme : le canal Rhône-Rhin (4023m² en moyenne), le canal déclassé (2750m² en moyenne) et le canal de Colmar (2350m² en moyenne).

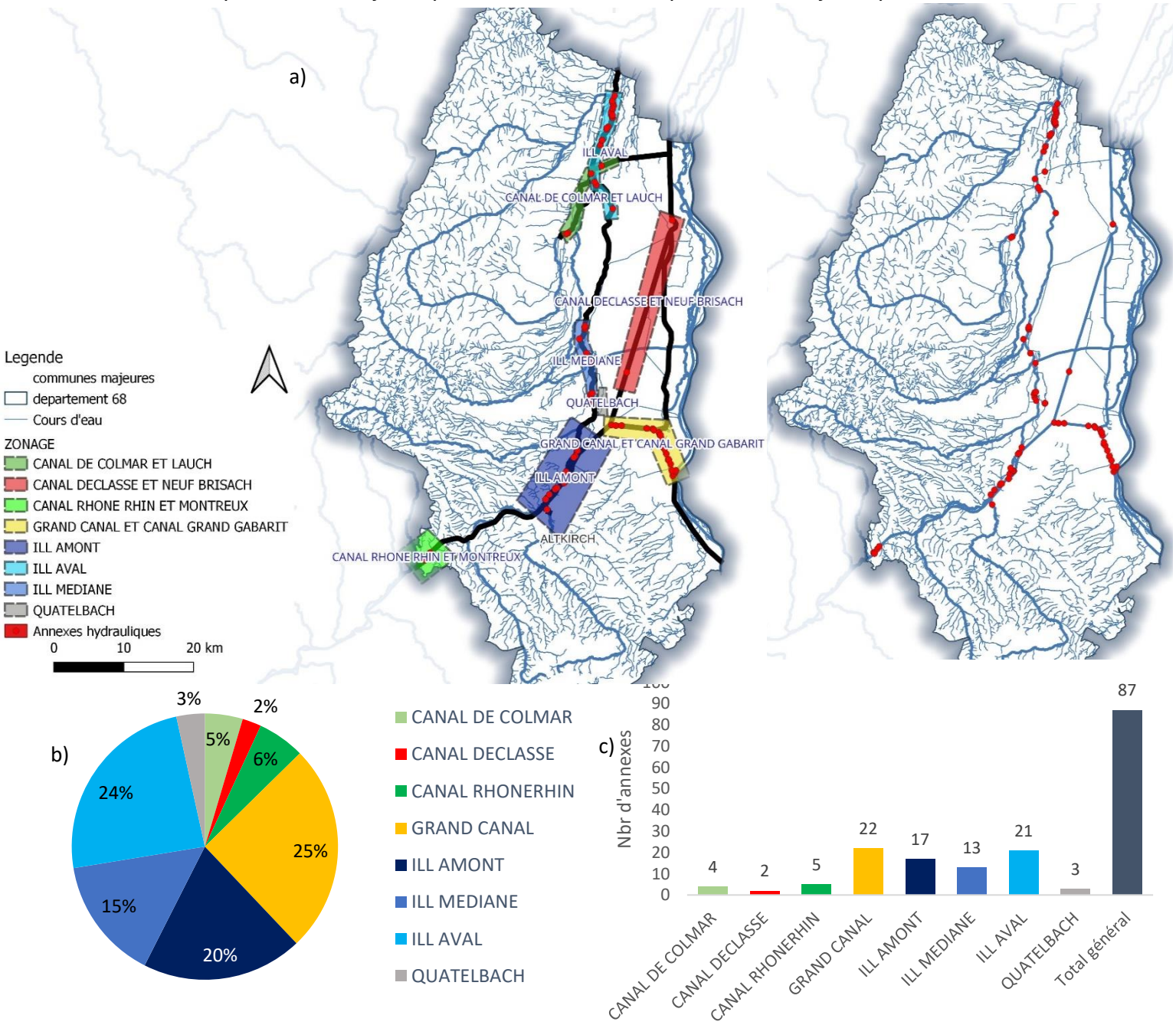


Figure 55 : Synthèse des résultats « nombres d'annexes » avec : a) carte globale des localisations des annexes par secteur & sans - b) proportion du nombre d'annexe par secteur - c) nombre d'annexe par secteur.

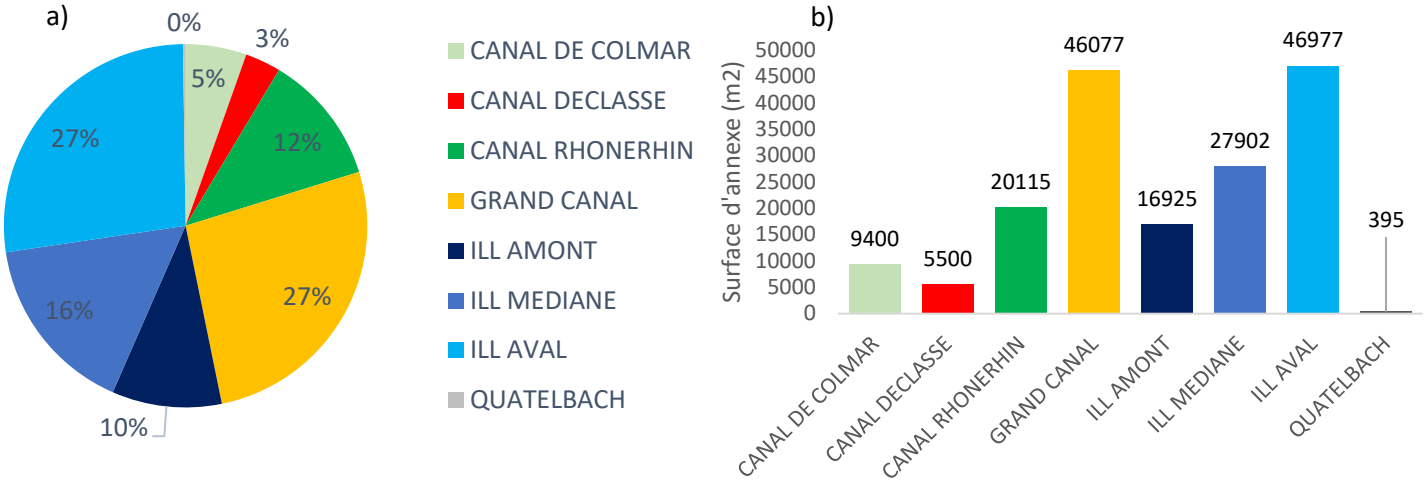


Figure 56 : Synthèse des résultats « surface d'annexe » avec : a) proportion des surfaces par secteur & b) somme des surfaces d'annexes (en m²) par secteurs.

❖ <u>Typologie des annexes et répartition secteur</u>

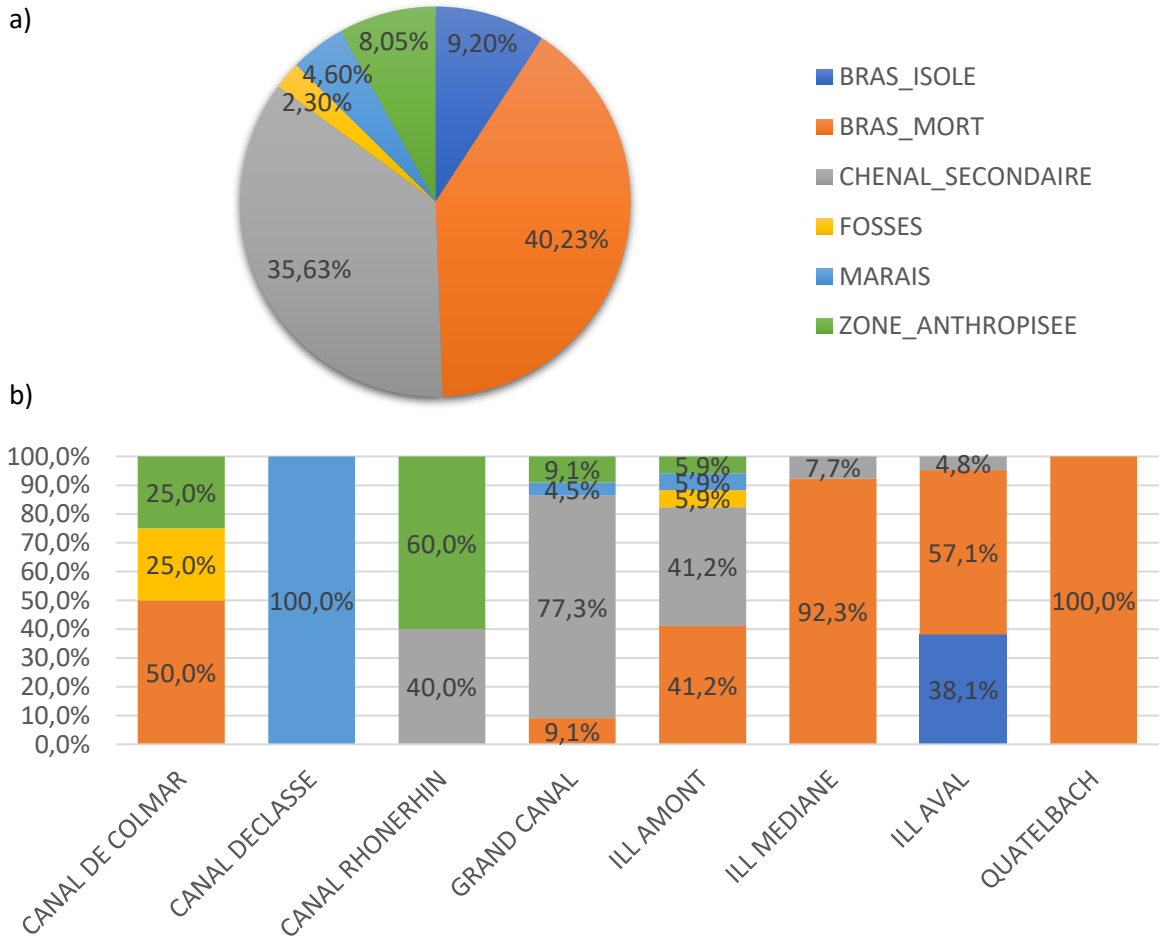


Figure 57 : Typologie des annexes de la plaine d'Alsace avec : en a) proportions générales de chaque typologie & en b) proportion de chaque typologie par secteur.

Parmi les 87 annexes hydrauliques répertoriées, **6 typologies différentes** ont été recensées (figure 55 a). **Les bras morts sont les plus représentés** avec 40,2% des sites. Les chenaux secondaires sont également très représentés avec 35,6% des sites. Les bras isolés (ou « mortes » pour 9% des sites) et les zones anthropisés (8% des sites) sont moins représentés mais présents.
Les autres typologies sont bien moins représentées voir marginales comme les marais (4,6%) et les fossés (2,3%). Aucune prairie n'a été identifiée comme annexe sur les secteurs d'études (prairie inondable).
Certaines typologies furent plus présentes sur certains secteurs (figure 51 b) :

1

Les bras secondaires (1) sont le 2eme type d'annexe le plus fréquent (35,6%) sur la plaine. Ils sont très présents sur le secteur « grand canal » (77,3% des annexes du canal grand gabarit ou du grand canal d'Alsace sont des chenaux secondaires – en effet la plupart des annexes artificielles crées sur ces secteurs ont été conçues avec une entrée amont et aval). Les bras secondaires sont également plus représentés sur le canal du Rhône au Rhin (40%) et sur l'Ill amont (41%).

2

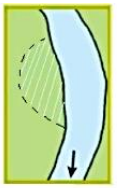
Les bras morts (2) sont le 1er type d'annexe le plus fréquent. Des bras morts sont observés sur tous les secteurs (sauf sur les secteurs « canal Rhône-Rhin & « canal déclassé »). Les bras morts sont surtout majoritaires sur : l'Ill médiane (92%), le Quatelbach (100%), l'Ill aval (57%) et le canal de Colmar (50%). **Globalement on retrouve plus souvent des bras morts sur l'Ill.**

3

Les bras isolés (3 ou « mortes ») sont moins représentés (9,2%) mais ils sont très présents sur l'Ill aval. En effet, si de nombreuses annexes sont présentes sur ce secteur, elles sont également fréquemment « déconnectées » du cours d'eau. La zone aval de l'Ill est très impactée par un fort phénomène d'érosion régressive. Certaines annexes situées en haut de berge sont parfois perchées à plusieurs mètres de hauteur par rapport au lit de l'Ill au module. Les annexes les plus éloignées du lit mineur sont donc souvent devenues des bras isolés (« mortes », des mares ou mêmes des « lacs d'Oxbow » (remplis uniquement en période de très haute eaux).

4

Les marais (4) sont marginaux (4,6%). Ce type est plus présent sur certains secteurs canalisés avec des anciennes annexes qui se sont comblées de vase et fortement végétalisées s'étant ainsi peu à peu transformées en zone de marais (plus ou moins artificielle). Les 2 annexes du canal déclassées sont des marais (100%) tout comme 4,5% des annexes du secteur « grand canal » et 5,9% du secteur « Ill amont ».



5

Aucune **prairie** (5) n'a été identifiée comme annexe. Ce qui démontre malheureusement d'un appauvrissement de la diversité des annexes retrouvées sur l'Ill et la plaine. Les zones mobiles et inondables étant très rares et volontairement réduites ou supprimées dans le cadre de la lutte contre les inondations.

6

Les fossés (6) sont le type d'annexes de plus marginal avec 2,3% des annexes. Elles ne concernent que certaines zones sur les secteurs « canal de Colmar » (25%) et sur l'Ill Amont (5,9%). Ce sont majoritairement des anciens fossés agricoles ou de drainage qui jouxtent les cours d'eau en question.

7

Enfin, les **zones anthropisées** (8%), sont peu représentées mais observées sur la plupart des secteurs étudiés. Elles sont plus représentées sur les secteurs canalisés.

❖ Occupation du sol

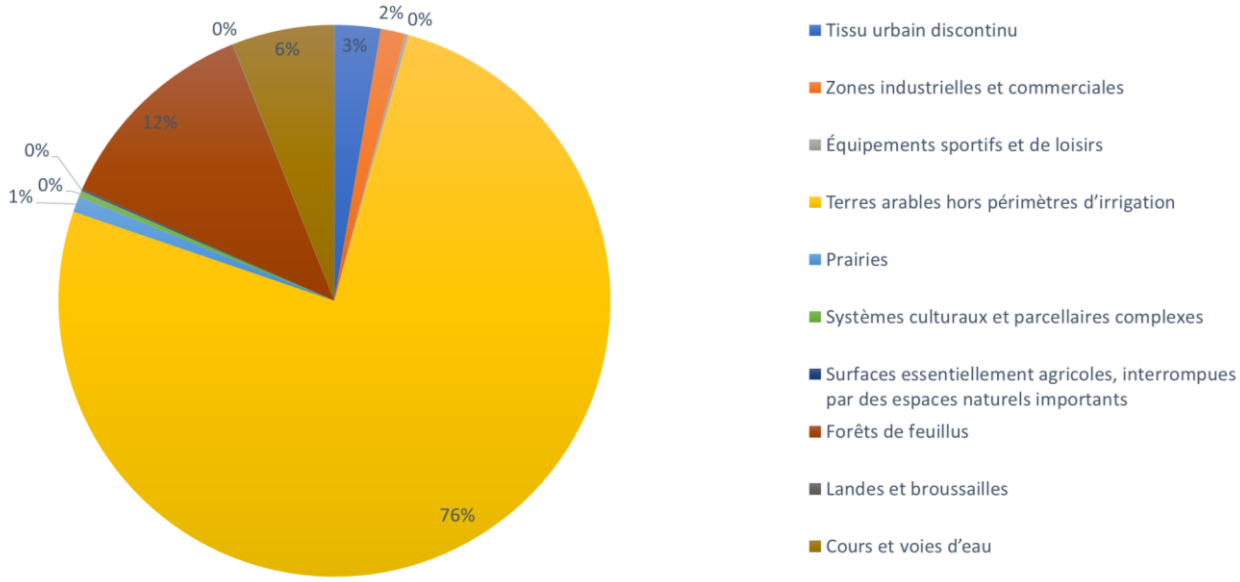


Figure 58 : Occupation du sol (CORINE Land Cover) de la surface des annexes et leur environnement immédiat.

Au regard de la typologie CORINE Land Cover (figure 52), **l'occupation du sol** au plus proches des annexes de la plaine d'Alsace est :

- Majoritairement composées de « **terres arables** hors périmètre d'irrigation » (76%). En effet, la plaine d'Alsace et les environnements des secteurs de l'Ill sont à forte dominance agricole. La monoculture intensive de maïs est par exemple très représentée dans la plaine.
- Composées dans une moindre mesure de forêt de feuillus (12%), de cours d'eau (6%) et de prairies (3%). La plupart des annexes sont également retrouvées en dehors des agglomérations. En effet, sauf sur certaines communes traversées de tailles plus modestes, les cours d'eau sont plus contraints en zone urbaine.

❖ Fonctionnalité des annexes

Dans le cadre du volet « diagnostic multicritère », chaque annexe s'est vu attribuer une note ainsi qu'une classe de fonctionnalité (entre **Bon** – **Moyen** – **Faible** – **Mauvais**). L'évaluation de leur fonctionnalité pour la fraie du brochet étant primordiale. A l'échelle globale (figure 59 a & b), la majeure partie des annexes (87%) est qualifiée de moyennement à faiblement fonctionnelle pour la réussite du cycle de vie de l'espèce. En effet :

Par rapport à leurs répartitions par secteur (figure 59 c) :

- Globalement les fonctionnalités des annexes sont assez hétérogènes au sein d'un même secteur. La zone la plus variée est l'Ill amont avec les 4 classes de fonctionnalités représentées en proportions variables ;
- Les secteurs les plus fonctionnels sont :
  - Le canal Rhône-Rhin avec 40% d'annexes de bonne fonctionnalité ;
  - L'Ill amont avec 17,6% d'annexes de bonne fonctionnalité ;
  - Le secteur « grand canal » avec 13,6% d'annexes de bonne fonctionnalité ;
  - L'Ill aval (7,7%) et médiane (4,8%) dans une moindre mesure.

- Les secteurs avec les proportions d'annexes de fonctionnalité moyenne les plus importantes sont : l'Ill aval (53,8%), le canal déclassé (100%) et le canal de Colmar (50%).
- Les secteurs avec les proportions d'annexes de fonctionnalité faible les plus importantes sont : le Quatelbach (66,7%), l' Ill médiane (57,1%) et le secteur « grand canal » (54,5%).

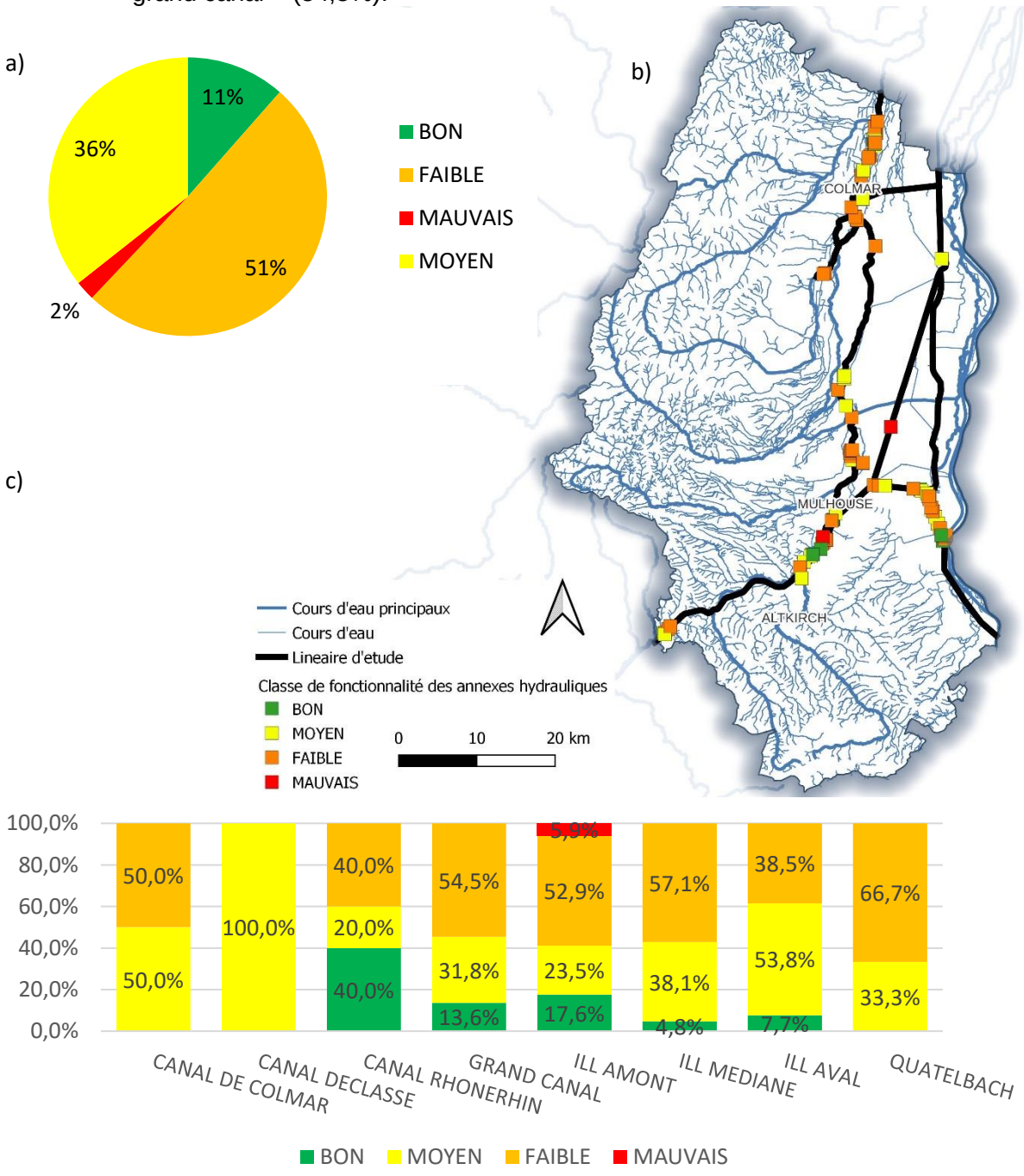


Figure 59 : Synthèse des résultats « fonctionnalité des annexes » avec : en a) diagramme générale des proportions des classes de fonctionnalité des annexes – en b) carte de répartitions des diverses classes de fonctionnalité des annexes – en c) histogramme des proportions des 4 classes de fonctionnalité des annexes, par secteurs.

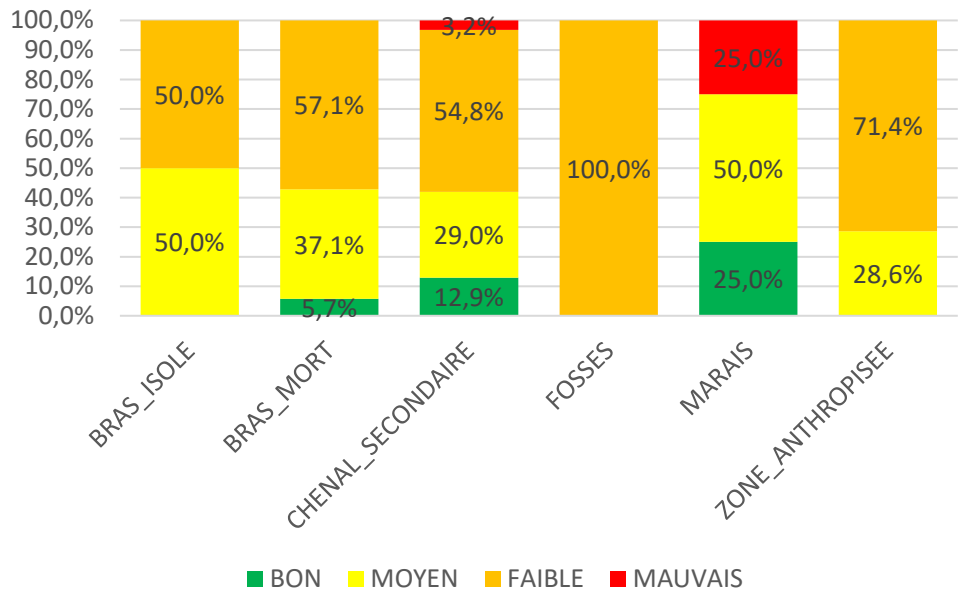


Figure 60 : fonctionnalité des annexes en fonction de la typologie.

En croisant les données de fonctionnalités et la typologie des annexes, on observe que certaines typologies sont plus fonctionnelles que d'autres (figure 60) :

- Les marais sont les plus fonctionnel avec 25% des sites classés bon et 50% des sites classés moyen (mais aussi les moins fonctionnels avec 25% de sites classés mauvais) ;
- Les chenaux secondaires (12,9% des sites classés bon et 29% moyen) ;
- Les bras morts (5,7% des sites classés bon et 37% moyen).

Les marais sont les plus favorables (75% sont classés bon ou moyen) car ils présentent souvent une végétation adéquate avec des fortes concentrations d'hélophytes (*Carex* spp, *Phalaris*, etc.).

D'une manière générale, les bras morts dominent l'ensemble les secteurs en cours d'eau et les chenaux secondaires dominent en secteur canalisé (figure 51 c). Ces typologies ont l'avantage d'être connectés au cours d'eau et donc accessibles à la faune piscicole (43% des bras mort & 42% les chenaux secondaires sont classés bon ou moyen).

Les zones anthropisées (annexes artificielles) et les zones déconnectées (bras isolé) sont par nature moins favorables à l'espèce et présentent moins d'annexes fonctionnelles.

❖ Détail des classes de fonctionnalités

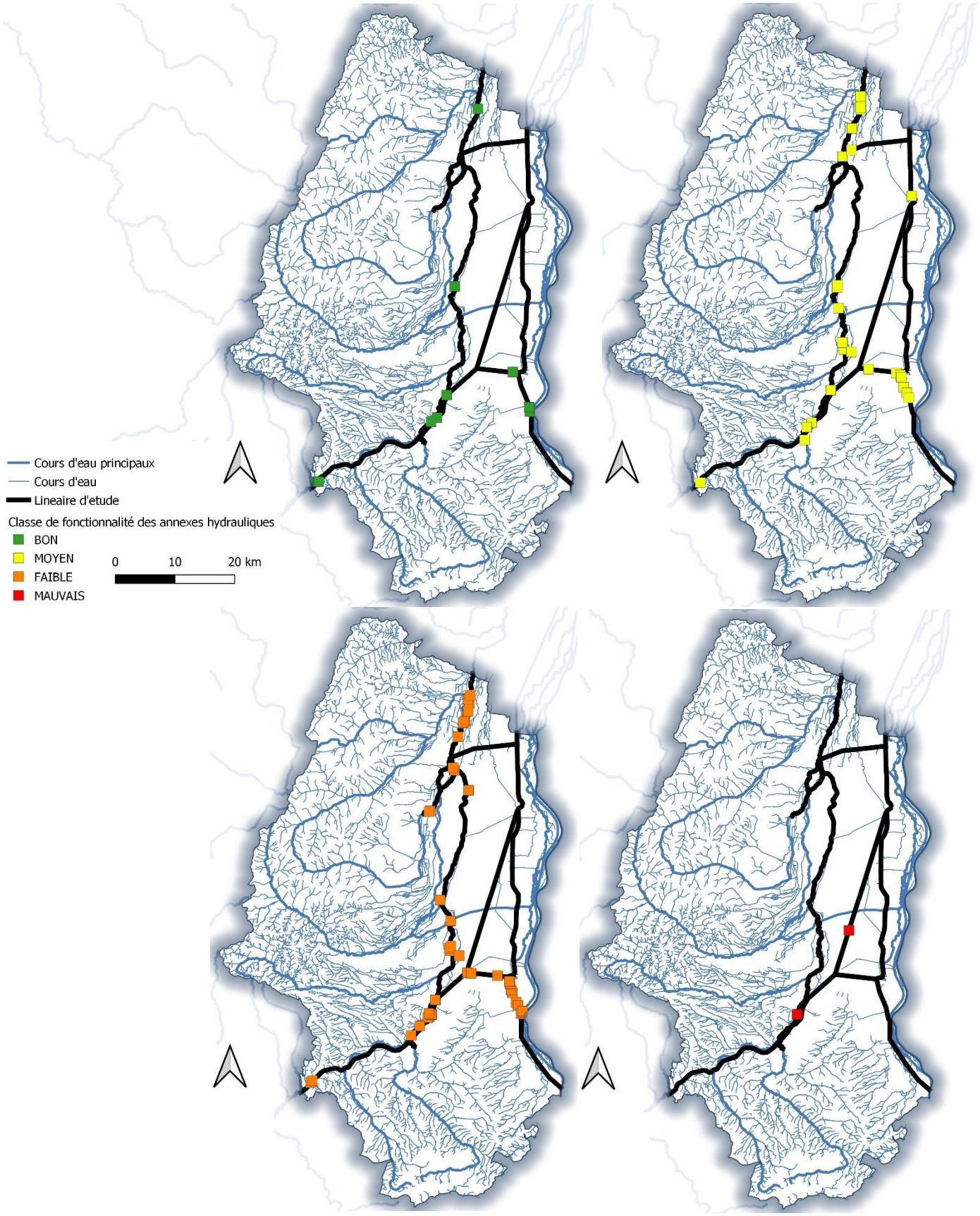


Figure 61 : carte de répartitions des 4 classes de fonctionnalité des annexes

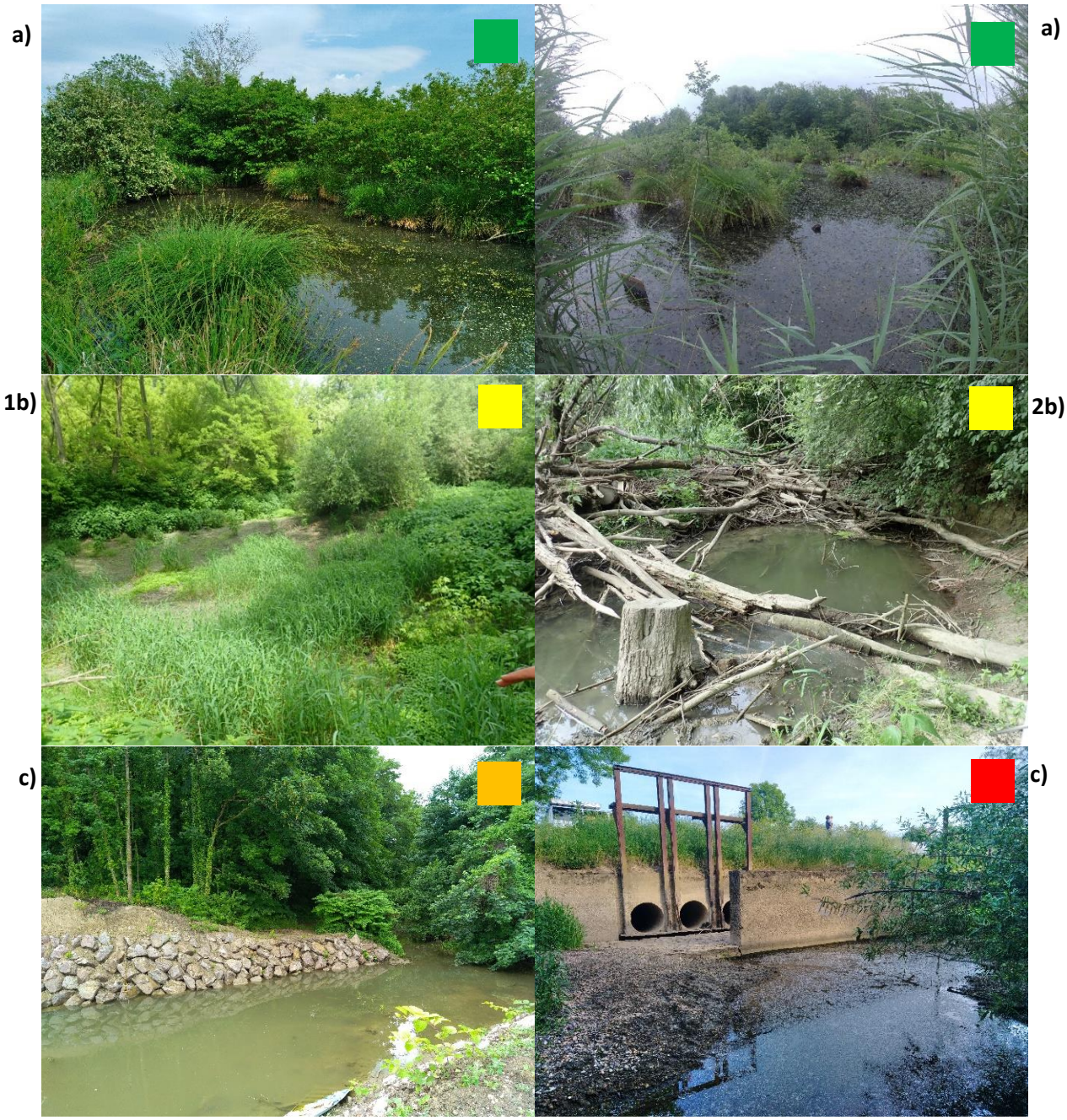


Figure 62 : exemples concrets de classe de fonctionnalité pour 6 annexes hydrauliques différentes.

Afin d'approfondir concrètement la répartition des 4 classes de fonctionnalités d'annexes hydrauliques dans le département, plusieurs illustrations sont proposées à travers les figures 61 et 62 (cartes & planche photo) :

a. Classe « Bonne » avec : une faible profondeur, un ombrage, un pendage et des habitats attractifs comme des hélophytes bas du genre *Carex* spp.
b. Classe « Moyenne à Faible » avec : des zones attractives dont un certain nombre de paramètres est favorable excepté un paramètre parfois critique comme : sur 1b) les surfaces et habitats sont favorables mais l'hydrologie est déficiente ou sur 2b) où l'hydrologie est favorable mais le substrat est moins attractif (bois mort et envasement fort).
c. Classe « Faible à Mauvaise » avec : des annexes peu attractives, aux nombreux paramètres déficients, qui sont artificialisées, pauvres en habitats favorables ou qui présentent des berges très abruptes.

Les résultats de chacun des 7 champs du diagnostic multicritère sont ensuite présentés avec les codes couleurs correspondant aux points attribués pondérés en fonction de son importance dans la fraie du brochet (rouge, orange, jaune et vert pour 0, 1, 2 ou 4 points).

❖ Surface en eau

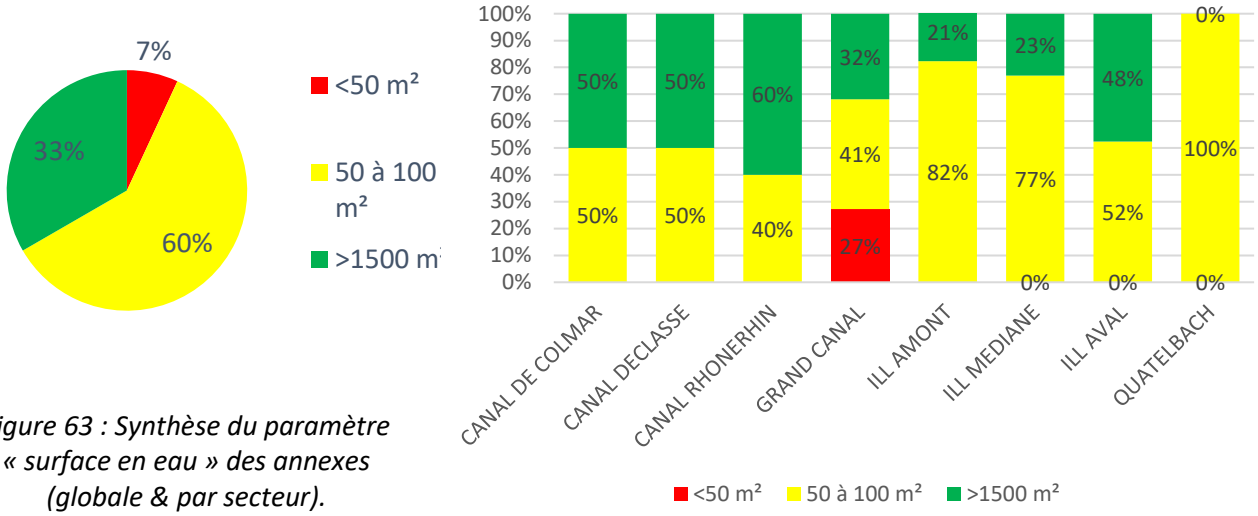


Figure 63 : Synthèse du paramètre « surface en eau » des annexes (globale & par secteur).

Si on s'intéresse dans le détail au champ « surface en eau » (du diagnostic multicritère), on note que **la majeure partie des annexes de la plaine d'Alsace sont de relative petite taille**. En effet, 60% des annexes sont comprises entre 50 et 100m². 7% ont une superficie de moins de 50m² (ces très petites annexes sont uniquement observées sur le secteur « grand canal »). Seul **33% des annexes ont une surface en eau plus favorable (>1500m²).**

➔ **Une surface d'annexe plus importante peut permettre un recrutement plus important** de par une possibilité de dépose d'œuf plus importante.

Vis-à-vis des répartitions par secteur, la plus grande proportion d'annexe de plus de 1500m² est observée sur les secteurs canalisés (« canal de Colmar », « Canal déclassé » et « Canal Rhône Rhin »).

❖ Surface Favorable à la Reproduction

Le champ « densité de végétaux de type hélophytes et/ou hydrophytes (%) » est relié à la notion de SFR (Surface Favorable à la Reproduction). **Plus le pourcentage de recouvrement de l'annexe en substrats favorables est important, plus l'annexe est fonctionnelle**. Ce champ est un des plus important pour la réussite du cycle de reproduction du brochet (figure 64). Sur les 87 annexes :

- 54,7% des annexes présentent un recouvrement en SFR inférieur à 25% ;
- 34,9% des annexes présentent un recouvrement en SFR compris entre 25 et 50% ;
- Seules **10,5% des annexes présentent un recouvrement en SFR supérieur à 50%**.

Vis-à-vis de la répartition des SFR :

- Des recouvrements en hydrophytes/hélophytes plus importants sont observés sur les secteurs :
  - « canal de Colmar » (25%) ;
  - « Ill médiane » (24%) ;
  - « Ill aval » (8%) ;
  - « Ill amont » (6%).
- Les autres secteurs présentent des recouvrements en végétation moindre (comme les autres secteurs canalisés et le Quatelbach).

➔ **Le pourcentage de recouvrement en substrat favorable pour la reproduction est un des facteurs les plus déclassant sur les annexes de la plaine d'Alsace.**

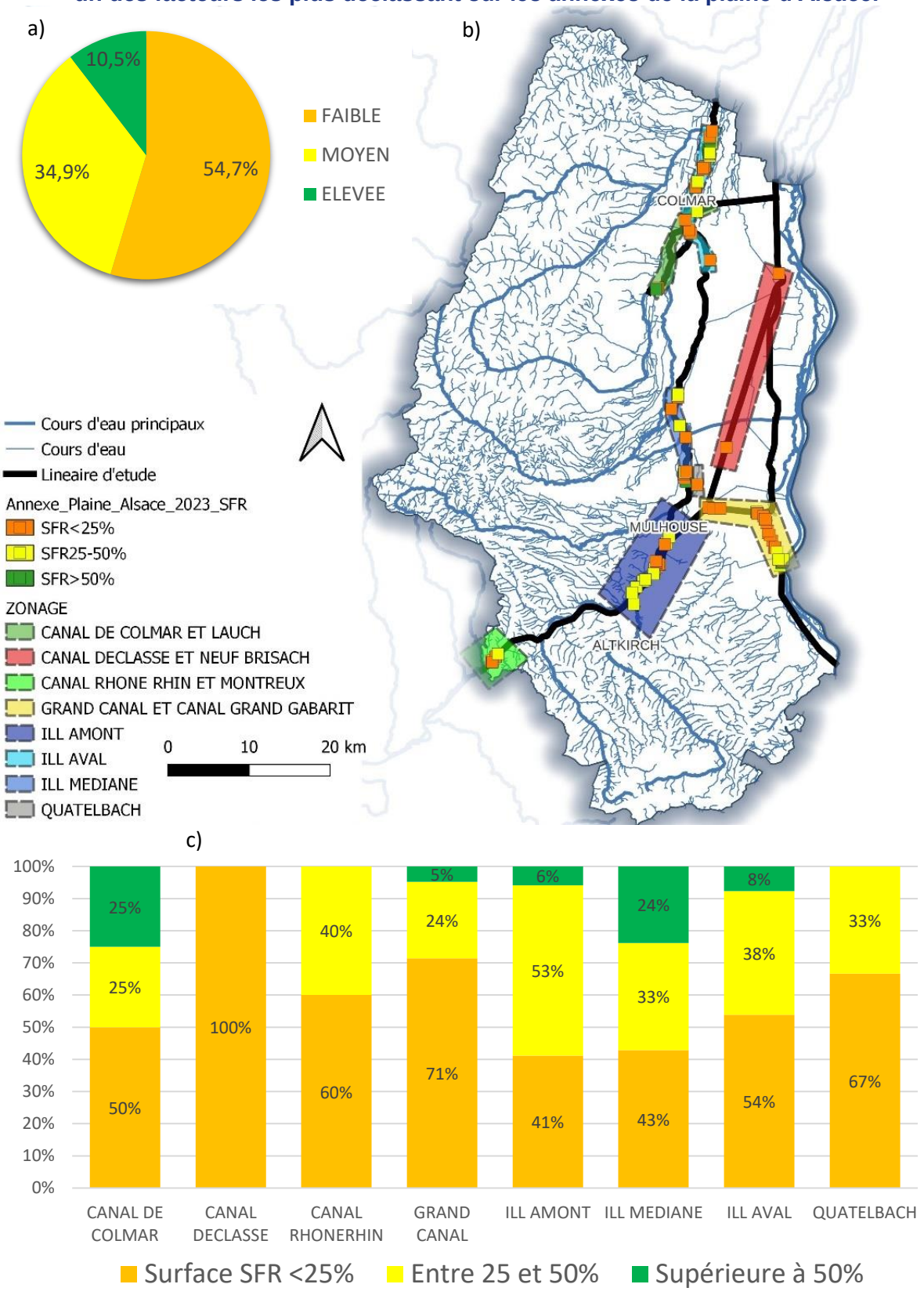


Figure 64 : Synthèse des résultats du champ « Surface Favorable à la Reproduction » avec en a) les proportions générales – en b) la carte des SFR & en c) la proportion des 3 classes de SFR par secteurs.

❖ Communication avec le cours d'eau

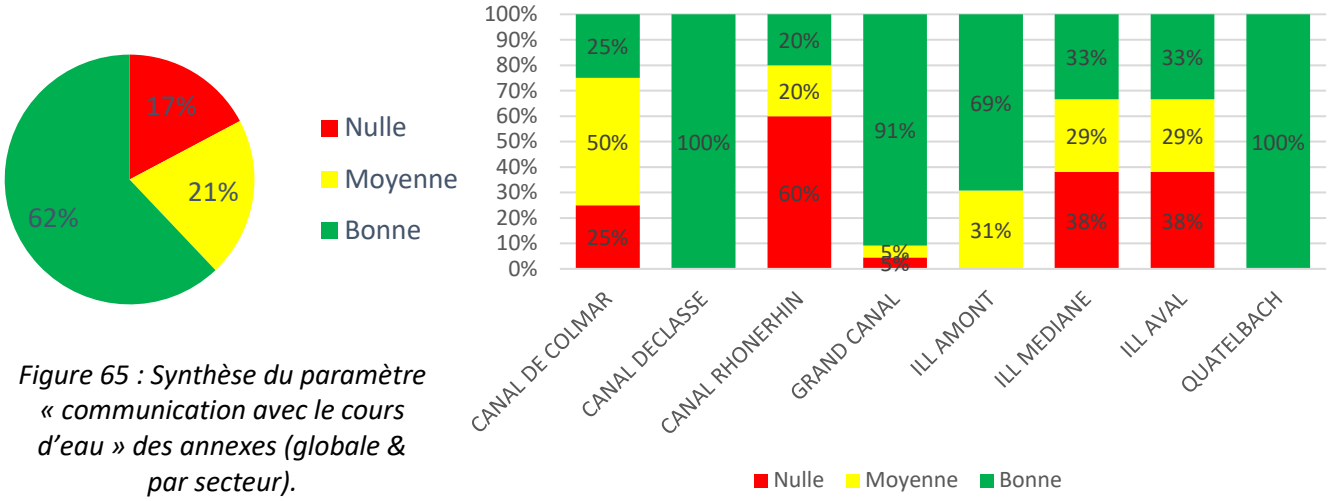


Figure 65 : Synthèse du paramètre « communication avec le cours d'eau » des annexes (globale & par secteur).

Globalement la connexion entre les annexes et le cours d'eau est Bonne (62%) à Moyenne (21%).

➔ **Une bonne communication avec le cours d'eau est nécessaire** aussi bien vis-à-vis de l'accessibilité des géniteurs lors de la migration (janvier-mars) que lors de la phase de migration des juvéniles vers le cours principal (mai-juin).

Mais des disparités sur certains secteurs existent comme :

- Des connexions très favorables sur les secteurs : « Quatelbach », « canal déclassé », « grand canal » ;
- Des connexions bonnes à moyennes en proportions variables sur les secteurs : « Ill amont » ;
- Des connexions moyennes à nulle plus défavorables sur les secteurs : « canal du Rhône au Rhin », « canal de Colmar », sur l'Ill médiane et aval.

➔ **Sur l'Ill, la connectivité des annexes peut être un facteur problématique.**

❖ Profondeur moyenne

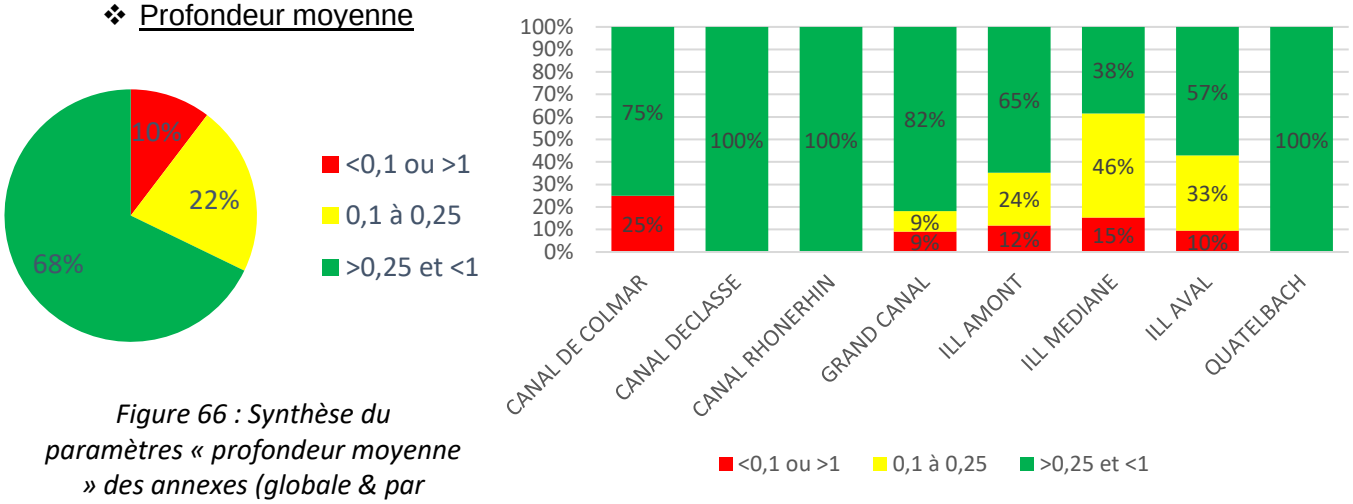


Figure 66 : Synthèse du paramètres « profondeur moyenne » des annexes (globale & par secteur).

Globalement la profondeur moyenne dans les annexes est favorable avec 68% des annexes comprises entre 0,25m et 1m de profondeur. 22% des annexes ont une profondeur moyenne comprises entre 0,1m et 0,25m pouvant être peu profonde mais rester

fonctionnelle. En revanche 10% des annexes sont trop profondes ou trop peu profondes (<0,1m ou >1).

➔ **Une profondeur optimale ainsi qu'une bonne durée de submersion sont des paramètres prépondérants** pour le réchauffement de l'eau, le développement des œufs, des alevins et de leurs ressources nécessaires.

Les disparités les plus importantes apparaissent sur l'Ill (médiane, aval et amont) avec des profondeurs moins favorables que sur les secteurs canalisés. Cette composante est en partie liée au régime hydrologique de l'Ill.

❖ Ensoleillement

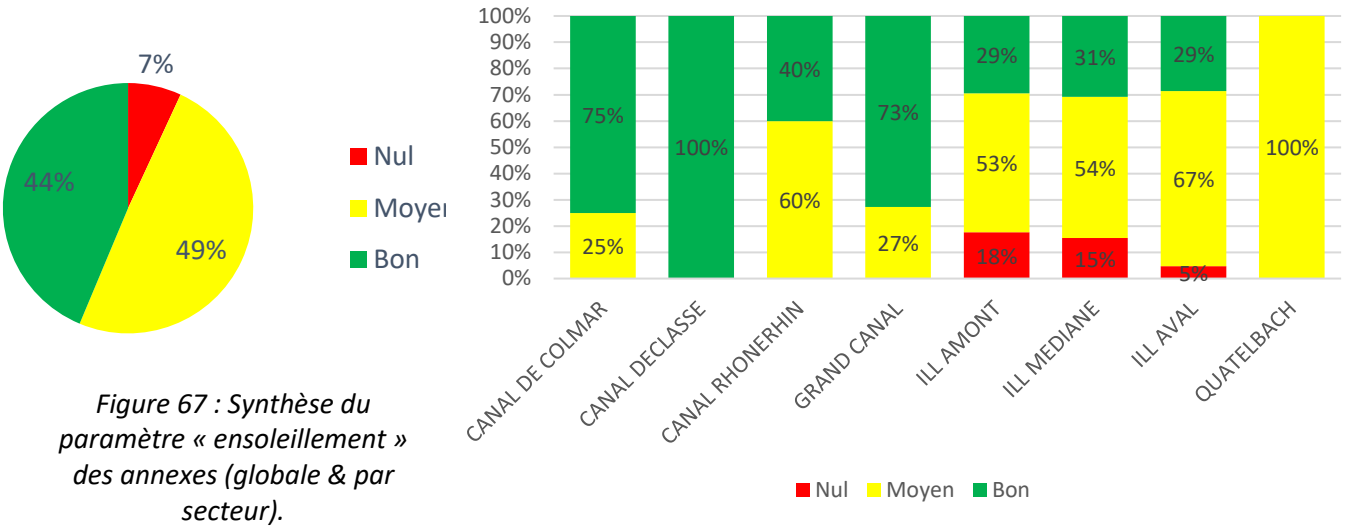


Figure 67 : Synthèse du paramètre « ensoleillement » des annexes (globale & par secteur).

L'ensoleillement des annexes est très variable et globalement peu favorable. Près de la moitié des annexes présentent un bon ensoleillement (44%) alors que l'autre moitié présente un ensoleillement moyen (49%) à faible (7%).

➔ **Un bon ensoleillement est prépondérant** pour un réchauffement de l'eau optimal favorisant ainsi le développement des œufs, des alevins et de leurs ressources nécessaires.

Certains secteurs présentent plus d'annexe à bon ensoleillement comme : « canal déclassé », « grand canal » ou « canal de Colmar ».

D'autres secteurs présentent des annexes à ensoleillement moyen/faible comme sur l'Ill et le Quatelbach.

➔ **Le paramètre de l'ensoleillement semble problématique** avec de nombreuses annexes qui présentent un ombrage fort et des milieux qui tendent à se refermer sous un couvert arbustif ou arboré dense. L'ouverture du milieu ou l'entretien de la strate arboré peut faire partie des paramètres à travailler sur ces annexes.

❖ Pente des berges

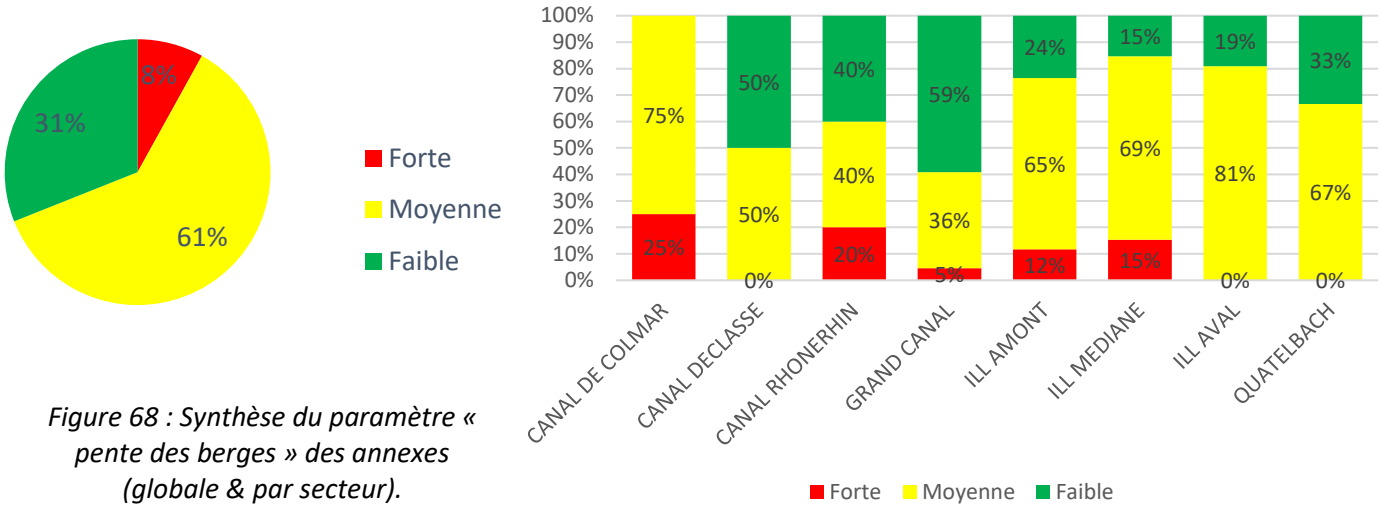


Figure 68 : Synthèse du paramètre « pente des berges » des annexes (globale & par secteur).

Les pentes des berges des annexes hydrauliques sont majoritairement moyenne (61%) à forte (8%). Seul 31% des annexes présentent des berges en pente douce plus favorables.

➔ **Des berges en pente douce sont prépondérantes** pour favoriser le développement des végétaux comme les hydrophytes et hélophytes qui font office de supports de pontes principal (et de zone de croissance).

➔ **Les pentes des berges sont particulièrement défavorables sur le canal de Colmar et sur les 3 secteurs de l'Ill.**

❖ Ecoulement

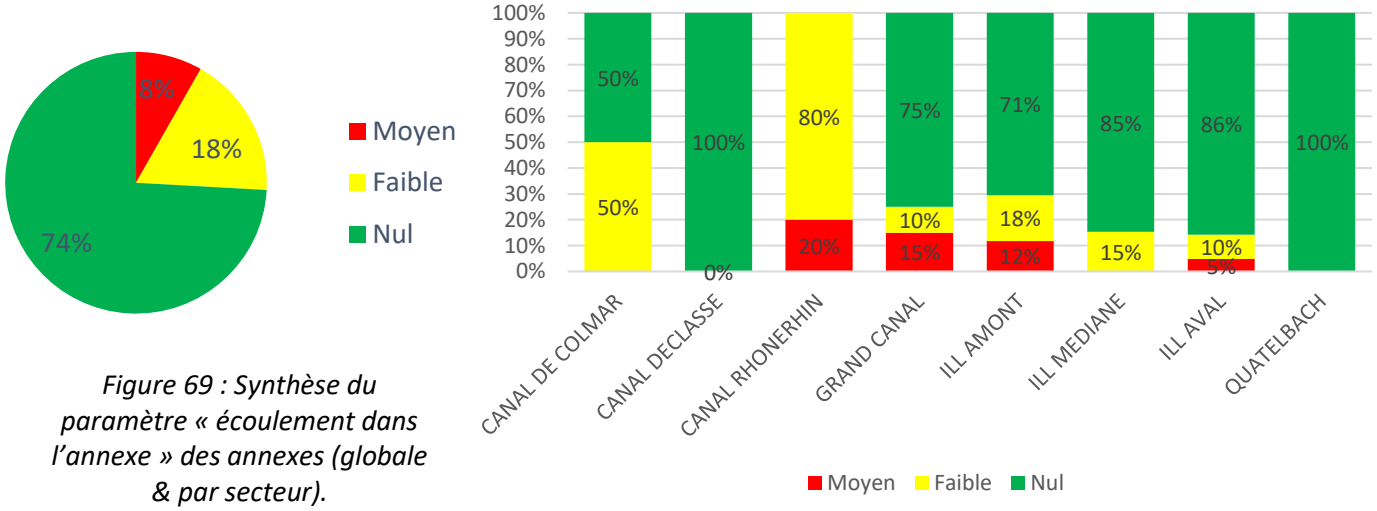


Figure 69 : Synthèse du paramètre « écoulement dans l'annexe » des annexes (globale & par secteur).

Globalement les écoulements dans les annexes hydrauliques sont nuls (74%) à faibles (18%). Seules 8% des annexes présentent des écoulements moyens.

➔ **Des écoulements faibles à nuls sont importants dans les annexes.** Ceci afin de garder des eaux calmes favorables à la croissance des végétaux et des larves de poisson. A l'inverse, un fort courant peut mettre en péril une ponte, ressuyer l'annexe ou emporter les juvéniles (ayant une faible capacité de nage).

Les secteurs canal Rhône-Rhin et canal de Colmar peuvent présenter des annexes avec plus de courant mais globalement les courants sont nuls à faibles sur l'ensemble des secteurs.

❖ Notation travaux de restauration

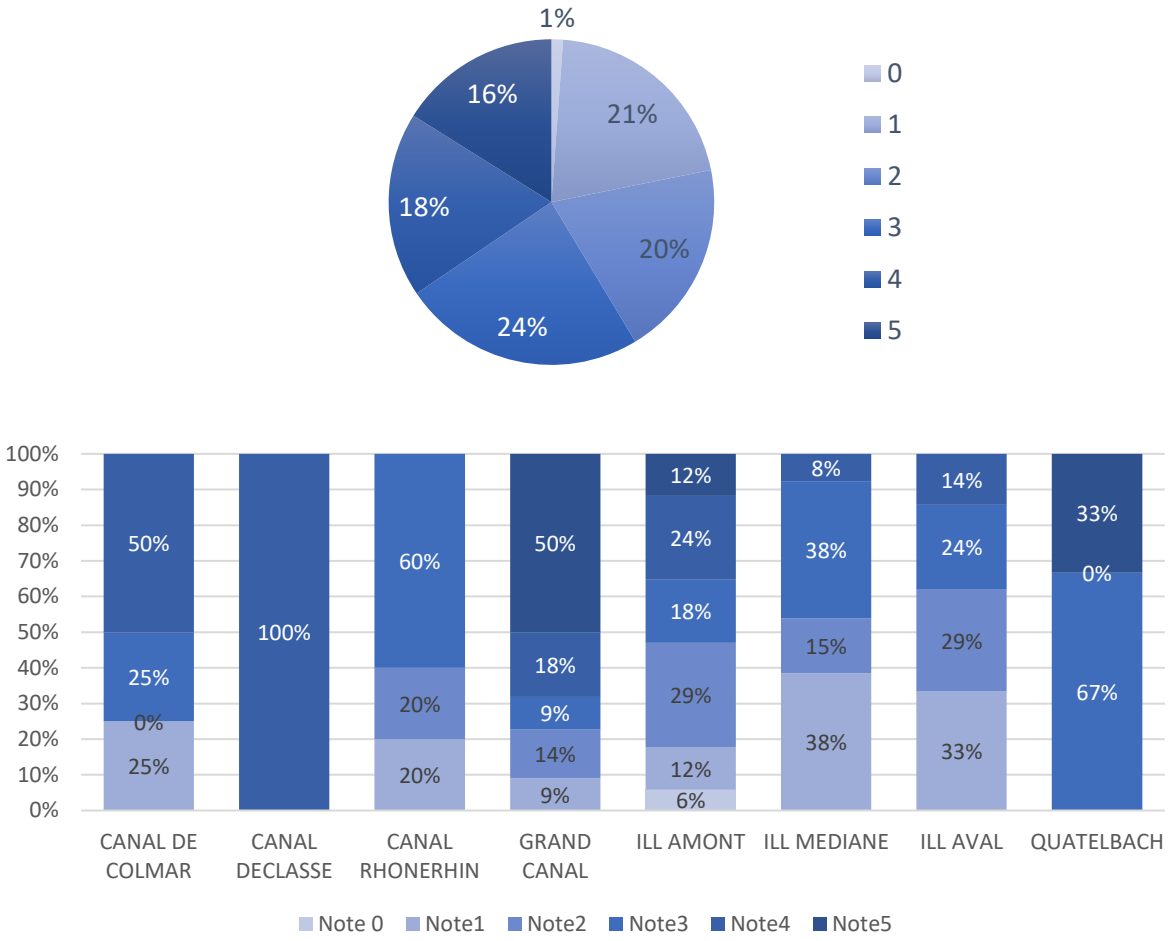


Figure 70 : Synthèse des proportions de « notes du potentiel de restauration » des annexes (globale & par secteur).

Un travail de notation des annexes (/5) a été réalisé afin de mettre en lumière les annexes sur lesquelles il serait plus aisé d'agir. Les paramètres pris en comptes sont :

- L'accessibilités de la zone par les engins ;
- L'ampleur des travaux à entreprendre sur la végétation ;
- L'ampleur des travaux à entreprendre sur le terrassement.

Si la zone est facilement accessible et que l'ampleur des actions est jugée faible, alors la note est plus élevée. Globalement, les notes sont très variables sur la plaine d'Alsace, avec des sites très variés. Plus localement, la tendance est la même avec véritablement du « cas-par-cas » à étudier : les sites présentant des notes très hétérogènes.

Néanmoins quelques secteurs présentent des notes plus élevées comme : « canal déclassé », « canal de Colmar » ou « Quatelbach », sur lequel les actions pourraient être plus simples à mener. Quelques secteurs présentent des notes plus faibles ou variables comme sur l'Ill où selon les secteurs les actions peuvent être plus complexes ou couteuses à mener.

➔ Ce paramètre peut être facilitateur pour la mise en place d'actions mais il ne doit pas être le seul pris en compte. A l'issu de la présentations des résultats, un chapitre traitant du mode de priorisation des actions à envisager est présenté.

b) Focus local

Les 6 sites présentés ci-après sont tous les sites où des volets d'analyses supplémentaires ont été déployés. Ces sites ont été sélectionnés comme :

- les plus importants à **préserver et/ou optimiser** (**sites à bonne fonctionnalité** - notés P ou O) ;
- les plus important à **optimiser ou restaurer** (**sites à fonctionnalité moyenne** - (notés O ou R) ;
- les plus importants à **restaurer** (**sites à fonctionnalité faible à mauvaise** - (notés R).

➔ **Des recommandations d'actions plus détaillées sont listées dans le chapitre « perspectives ».**

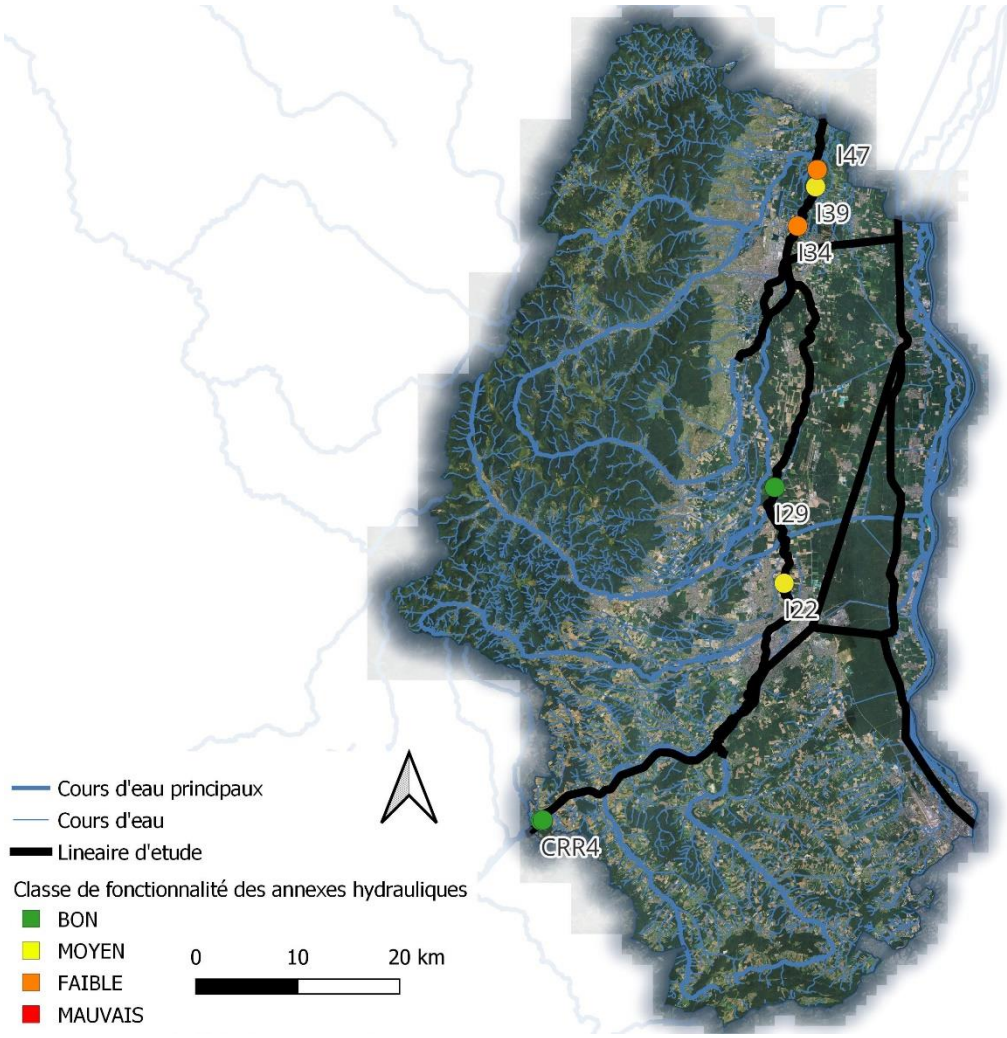
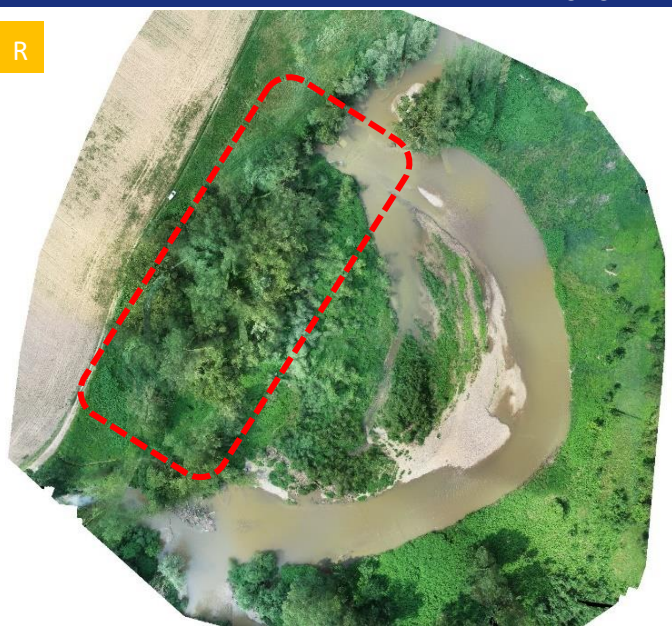
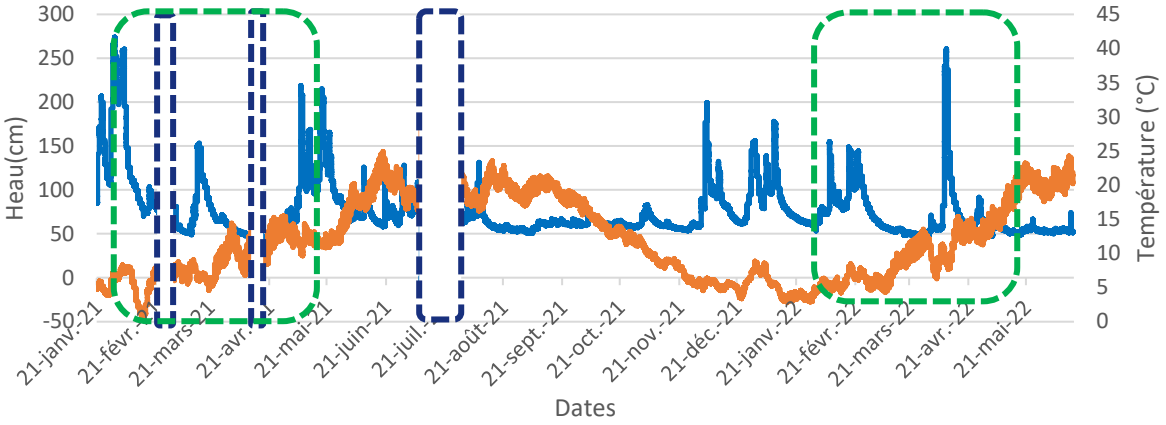


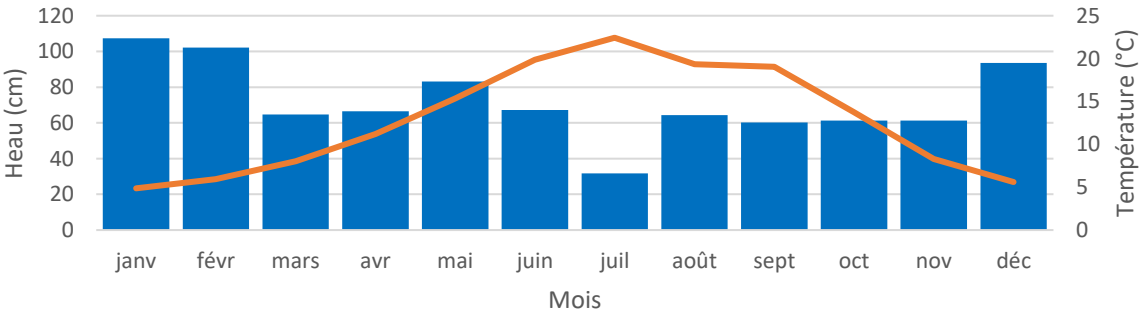
Figure 71 : « Fonctionnalité physique » et localisation des 6 annexes « pilotes » de la plaine d'Alsace.

Annexe I22

R

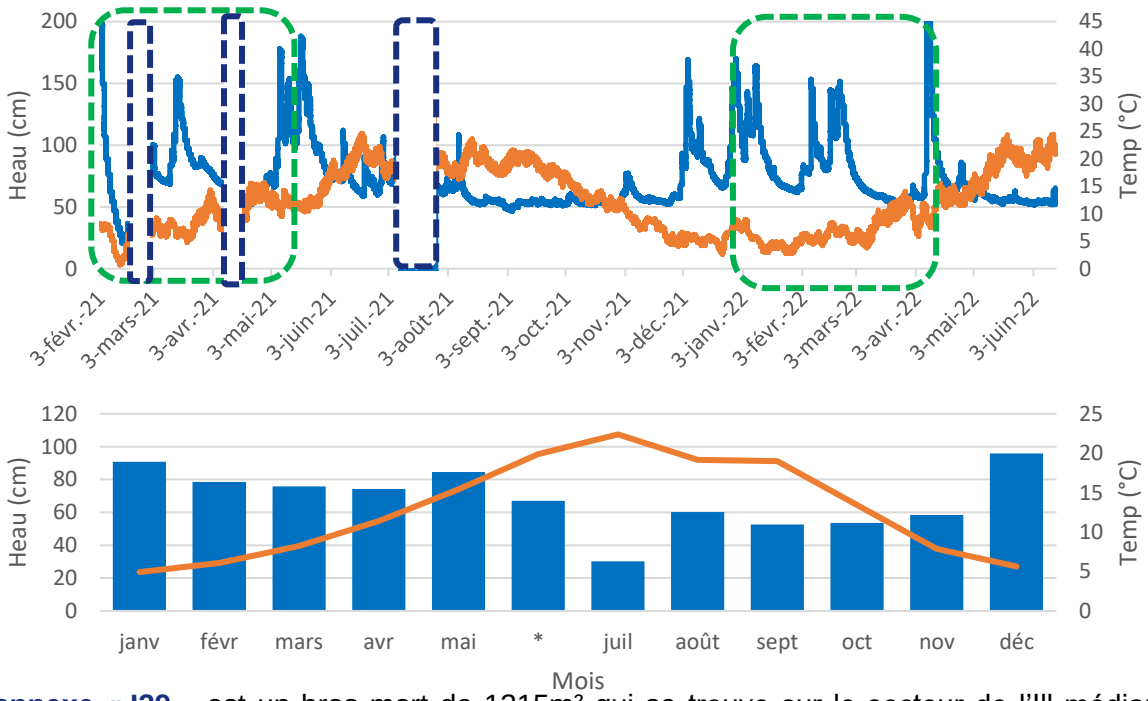






L'annexe « I22 » est un bras mort de 880m² qui se trouve sur le secteur de l'Ill médiane (commune de Ruelisheim). La zone est située en rive gauche d'un méandre. L'annexe est très ombragée, présente un couvert arbustif et arboré très dense avec de nombreux embâcles. Un reliquat de chenal de crue est observé mais il ne semble actif qu'en très hautes eaux. Les habitats sont peu attractifs (substrat limoneux, vase, litière de feuille et branchage). La profondeur au droit de la connexion ne semble jamais être inférieure à 50cm malgré des variations importantes sur des temps court (périodes importantes en vert). En revanche l'annexe peut être à sec tôt dans la saison (lorsque le niveau au droit de la sonde est à 50cm). L'environnement proche ne semble pas présenter d'enjeu et la zone est idéalement localisée au sein d'un tronçon attractif de l'Ill assez sinueux. Le foncier est communal. Orienter des actions de restauration sur ce site semble ainsi très pertinent (végétation et profils).

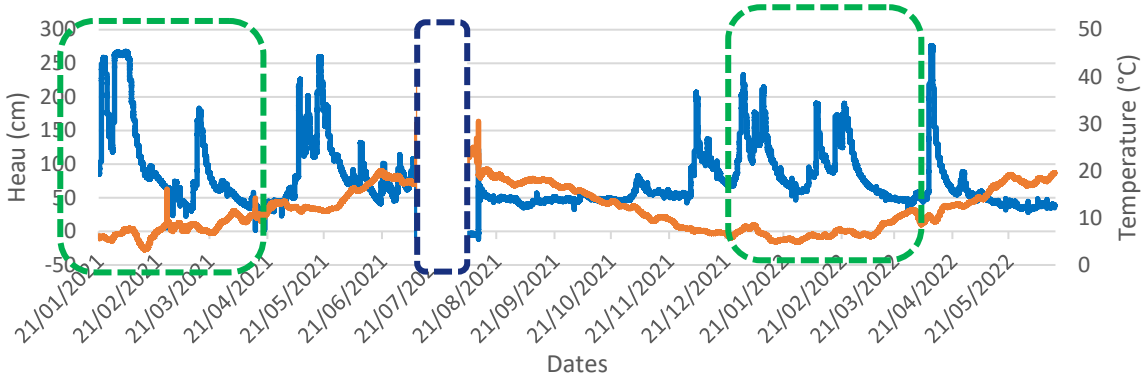
Annexe I29

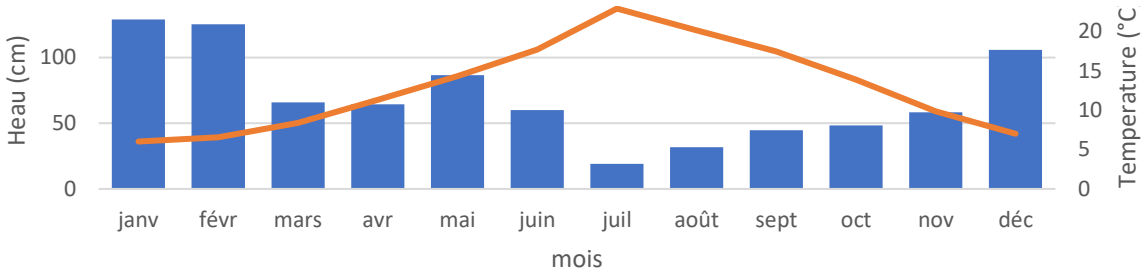


L'annexe « I29 » est un bras mort de 1315m² qui se trouve sur le secteur de l'Ill médiane (commune de Reguisheim). Le foncier est communal mais la zone est en gestion par le Conservatoire des Espaces Naturel d'Alsace. En effet, l'annexe est incluse dans la RNR de l'Eiblen et l'Illfeld. L'annexe est globalement très attractive (berges côtés Est douces, végétation hélophytiques denses, ouverture, ensoleillée, etc.). Mais elle présente des berges abruptes (à l'Ouest) et de nombreuses zones vaseuses peu attractives (les végétaux en place semblent se développer trop tardivement). Une visite du site en janvier/février 2021 a permis de mettre en avant des crues très importantes sur le site, qui à cette période recouvre totalement l'annexe et une partie de la digue enherbée (Heau=2m au droit de la sonde-cf photo). Les conditions thermiques et hydrologiques semblent favorables mais aucun brocheton n'a été échantillonné sur site. L'attrait du site pour l'espèce semble de fait assez aléatoire, vraisemblablement à cause des fortes variations de débits observées au droit de l'annexe. En effet, la zone est trop fortement lessivée en période de hautes eaux. Une réflexion d'optimisation des flux pourrait être amenée.

Annexe I39

R

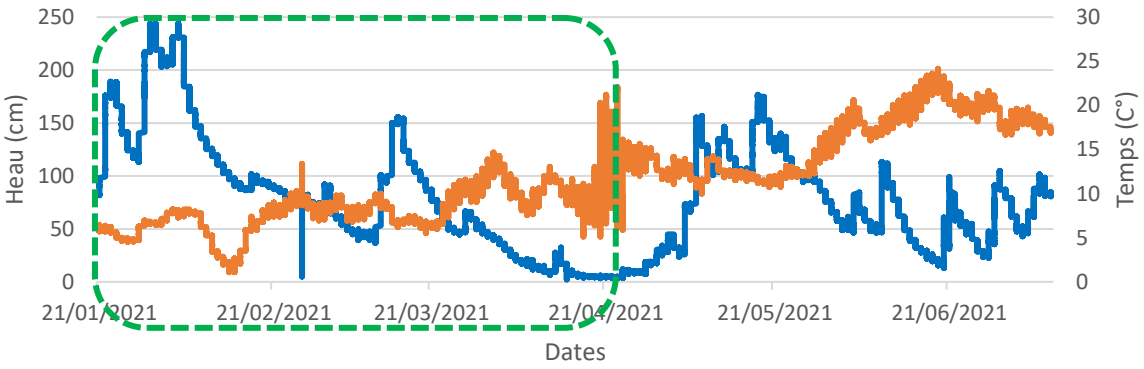


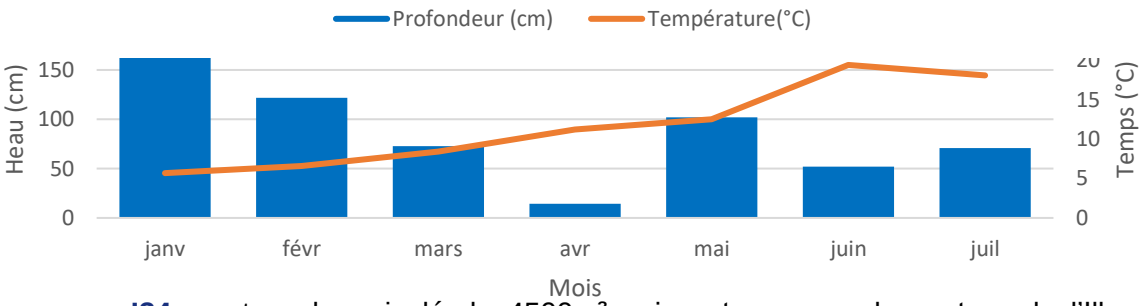


L'annexe « I39 » est un bras mort de 4120m² qui se trouve sur le secteur de l'Ill aval (commune de Colmar, parcelle en lit mineure, en partie privé et en partie Région Grand Est). La zone est située en rive droite de l'Ill domaniale. L'environnement du secteur est particulièrement intéressant avec un cours d'eau mobile, des habitats variés et une zone de quiétude allouée au gravelot. Des aménagements ont été réalisés par la RGE non loin. L'annexe en elle-même présente des profils favorables et une importante surface mais est classé en moyenne fonctionnalité à cause d'un manque important d'habitats et d'un ombrage très fort. En effet, la zone est particulièrement fermée, dense en boisements et en embâcles. De plus, le reliquat de chenal central observé dans l'annexe est très rapidement à sec, dès le mois de mars/avril (quand Heau=50cm). L'annexe semble ainsi pertinente à restaurer à travers des actions d'ouverture massif du milieu et un léger reprofilage en déblais/remblais. Enfin, la zone semble également rapidement ressuyée en haute eau par l'amont, à l'instar de I29.

Annexe I34

R

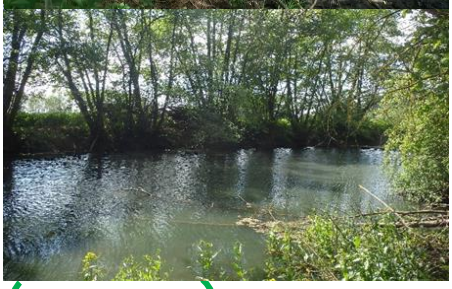


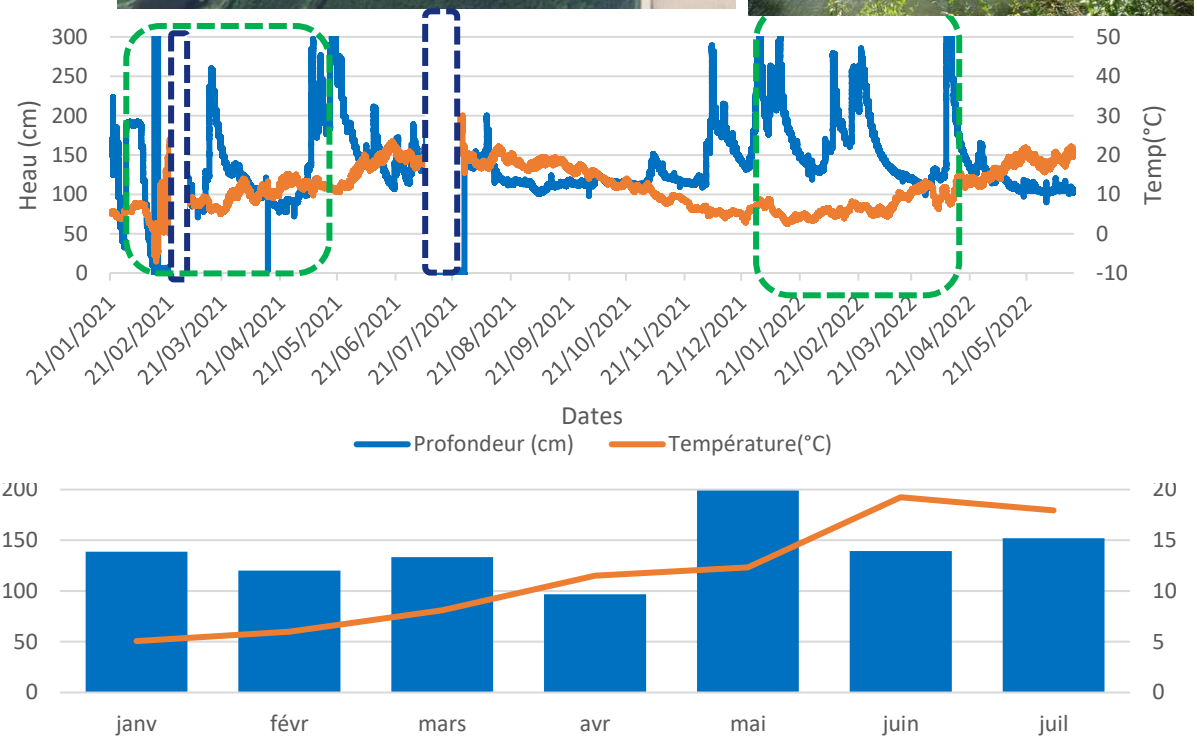


L'annexe « I34 » est un bras isolé de 4500m² qui se trouve sur le secteur de l'Ill aval (commune de Colmar, en propriété RGE). La zone est située dans un environnement à dominance agricole (culture de maïs). L'annexe présente une forme en demi-lune avec un unique chenal. Mais, si sa surface est importante, elle semble déconnectée de l'Ill lors d'une grande partie de l'année (dès que Heau=100cm). Néanmoins des relations d'échanges nappe-Ill semble possible car l'annexe reste en eau (5 à 20cm) une plus grande partie de l'année. Un reliquat de chenal (comblé) existe en aval de l'annexe. Aucune connexion n'existe par l'amont. Si l'hydrologie semble défavorable, les habitats sont également pauvres (végétation arbustives, vases, bois morts). L'annexe est ainsi classée en fonctionnalité faible. Un comparatif entre les dispositifs de mesures au droit de l'annexe et au cœur de l'annexe a permis de mettre en avant une relation entre les niveaux d'eau. L'annexe est ainsi entièrement recouverte et connectée en très hautes eau (Heau>2m) mais elle est également trop vite déconnectée du lit mineur. De plus, des mesures topographiques sommaires ont permis d'observer une côte identique au cœur de l'annexe et au droit du reliquat du chenal de ressuage aval. Le site semble ainsi présenter des enjeux de restauration important (reconnexion, ouverture de la végétation et terrassement par déblais-remblais).

Annexe I47

R





L'annexe « I47 » est un bras isolé de 2300m² qui se trouve sur le secteur de l'Ill aval (commune de Colmar). La zone est située en rive droite sur l'Ill domaniale dans un environnement agricole. L'annexe est déconnectée de l'Ill la majeure partie du temps (et est en grande partie à sec). L'annexe est fortement végétalisée sous un couvert arbustif et arboré très dense. Si la majeure partie de la surface est très vaseuse, certaines zones présentent des habitats favorables (cf photo). Le site est catégorisé en fonctionnalité faible, principalement à cause de son absence d'habitats, son ombrage fort et surtout son manque de connectivité. Un reliquat de chenal de connexion est observable en aval de l'annexe. Lors des inventaires, des goujons asiatiques (uniquement) ont été retrouvés dans l'annexe (vraisemblablement piégé en haute eau). Le site semble ainsi présenter des enjeux de restauration (reconnexion, ouverture de la végétation et terrassement par déblais-remblais), néanmoins les investissements à engager sont probablement plus lourd que certains autres sites au regard de la topographie.

Annexe « CRR4 » ou « étang Réservoir » et CRR3 ou « étang du Pendu » à Montreux-Vieux

L'annexe CRR4 ou « étang Réservoir » ainsi que le site **« CRR3 » ou « étang du Pendu »** ont fait l'objet d'une étude dédiée en 2021 (étude des plans d'eau Sundgauviens – FDAAPPMA68 ; 2022). Ces deux zones représentent respectivement 52 000m² et 25 000m² et sont deux annexes artificielles du canal Rhône-Rhin. L'étang réservoir présente une connexion franche avec le canal alors que l'étang du Pendu présente des points d'entrées busées et des connexions multiples difficilement franchissables entre le canal et les secteurs attenants.

L'étang Réservoir est caractérisé par des profondeurs faibles et un envasement moyen et uniforme. La profondeur maximale est de 0,85m pour une profondeur moyenne de 0,37m. On note deux zones distinctes avec :

- La grande majorité du plan d'eau qui est très peu profond, qui présente des hauts fonds (notamment au Nord) et des profils doux et homogènes ;
- La partie la plus proche du canal (jonction sous la passerelle) qui est bien plus profonde que le reste. Le profil plonge en effet très rapidement sur une faible superficie.

➔ En termes d'habitats, ce plan d'eau est caractérisé par un très important développement d'hélophytes ou de macrophytes de surface (nénuphars et châtaigne d'eau notamment). Les habitats sont diversifiés en berge (tronc, arbres morts, hélophyte) mais moins au centre du site (substrat de type vase et limons très uniforme et grande quantité de matière organique).

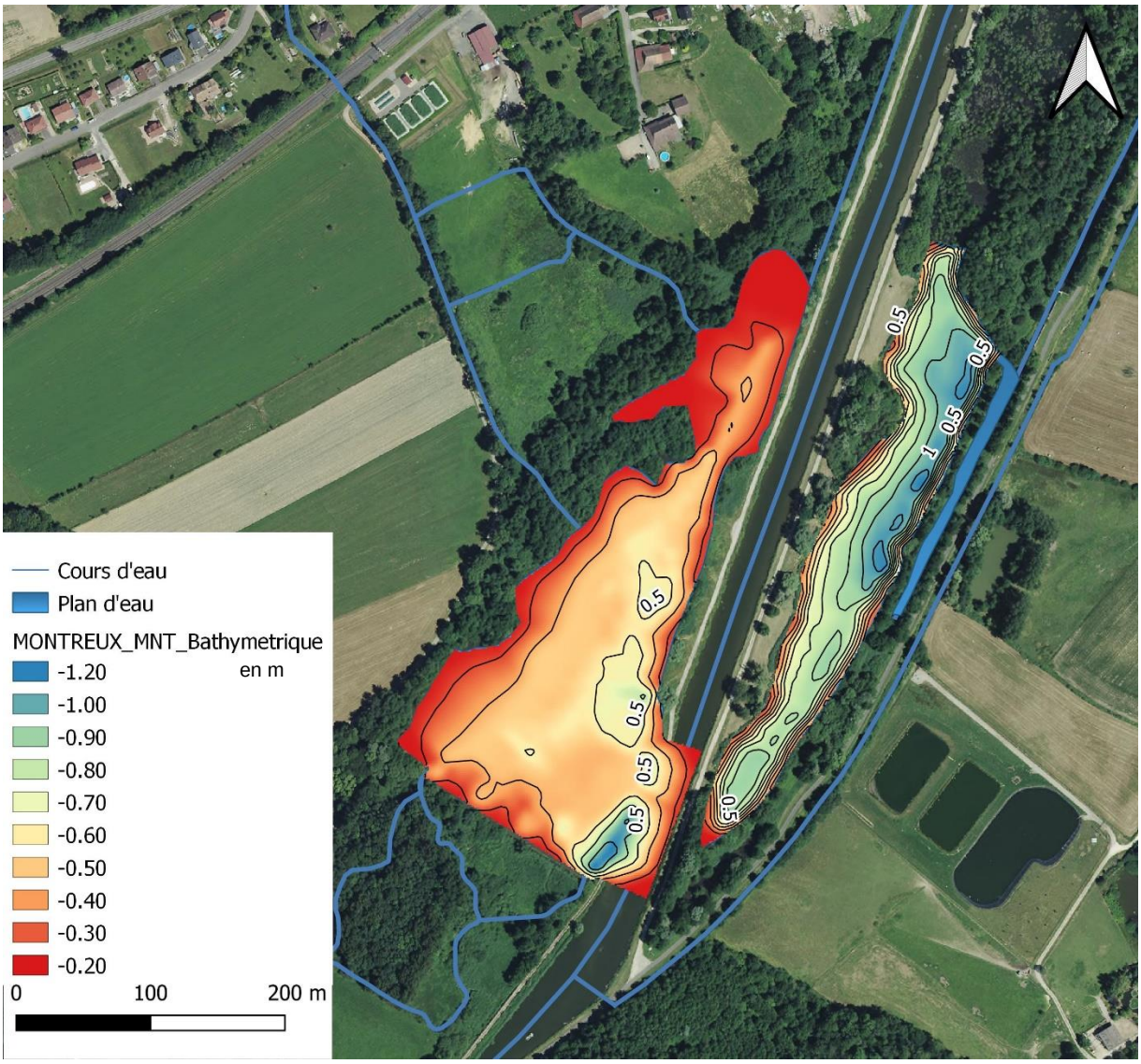
L'étang du Pendu est caractérisé par des profondeurs plus importantes, des profils abruptes et un envasement modéré relativement uniforme.

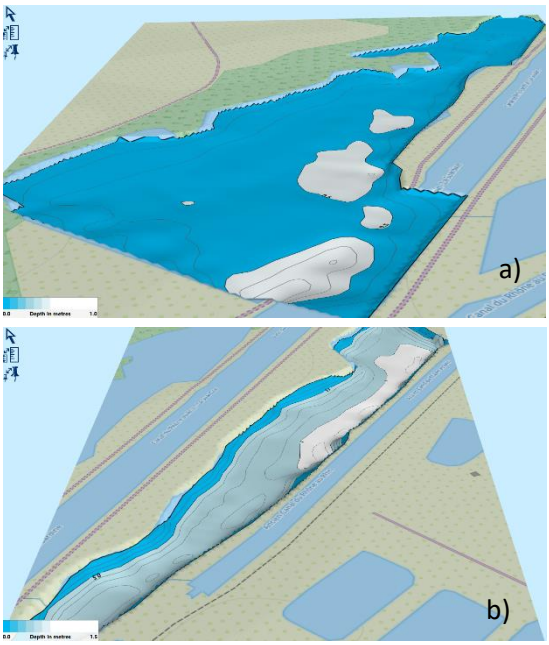
La profondeur maximale est de 1,21m pour une profondeur moyenne de 0,75m. On note deux zones distinctes avec :

- Une zone moins profonde au Sud (entre 0,5 et 0,80m) ;
- Une zone plus profonde au Nord-Est (supérieure à 1m).

➔ La zone située à l'extrême Nord du site est fortement végétalisée et en « réserve de pêche ». En termes d'habitats, le site est très diversifié et intéressant. De nombreux herbiers aquatiques sont observés ainsi que des substrats variées (sables, blocs, vases) et des structures immergées comme des troncs et des bois morts.

➔ Les enjeux pouvant être synthétisés sont à l'Ouest : l'envasement et l'eutrophisation du site & à l'Est : La fermeture du milieu et sa connectivité. Des réflexions de restauration ou d'aménagement seront amener en fonction des opportunités en lien avec des partenariats en maturation (en 2023) avec la commune et VNF.





caractéristiques physiques	Montreux Ouest	Montreux Est
Surface (m²)	51979	24320
Périmètre (m)	1446	1063
Profondeur Max (m)	0.85	1.21
Profondeur Min (m)	0.20	0.10
Profondeur Moy (m)	0.37	0.75
Volume d'eau total (m3)	19168	18338
Volume de sédiment total (m3)	24805	11161
Profondeur sédiment Max (m)	1	1,5
Profondeur sédiment Min (m)	0,2	0,2
Profondeur sédiment Moy (m)	0,5	0,5

Figure 72 : Carte bathymétrique des plans d'eau de Montreux-Vieux et caractéristiques associées (avec « Montreux Ouest » dit le « réservoir » en a. et « Montreux Est » dit « l'étang du pendu en b.).

Ce qu'il faut retenir

- Ce sont 87 annexes hydrauliques qui ont été diagnostiquées (17Ha) sur 8 grands secteurs d'étude. La majeure partie de ces annexes étaient localisées sur l'Ill et sur le canal grand gabarit. La majorité des annexes recensées sont des bras morts ou des chenaux secondaires de tailles modestes.
- Plus de la moitié des annexes présentent une fonctionnalité classé « faible » (51%) et plus d'un tier des annexes présentent une fonctionnalité « moyenne » (35%).
- Seul 11% des annexes présentent une fonctionnalité classée « bonne », ce qui semble très peu. Ce résultat témoigne d'une problématique tangible de perte de fonctionnalité des annexes de la plaine d'Alsace pour le brochet (espèce classée VU).
- Les annexes les plus fonctionnelles sont les marais et les chenaux secondaires.
- Les zones qui présentent plus d'annexes fonctionnelles sont situées sur les secteurs : « canal Rhône-Rhin », « grand canal » et « Ill amont ».
- Ce sont un ou plusieurs facteurs limitants qui sont observés sur les annexes avec comme principales problématiques :
    - Un manque d'habitats favorables (89,6%) ;
    - Des pentes de berges trop abruptes (69%) ;
    - Un ensoleillement trop faible (56%) ;
- D'autres facteurs sont moins problématiques comme la surface en eau, la connexion avec le cours d'eau (excepté sur l'Ill) ou les écoulements.
- Si plusieurs zones à enjeux sont identifiées, les annexes de l'Ill sont majoritairement peu fonctionnelles et peu propices au développement du brochet. Ces problèmes de fonctionnalités sont liés :
    - Aux caractéristiques hydrologiques de l'Ill Haut-Rhinoise avec des crues aussi intenses que courtes et une érosion régressive marquée sur certains secteurs. La majeure partie des annexes vont être ressuyées trop rapidement avec des écoulements trop importants et des hauteurs d'eaux trop variables ou vont se retrouver rapidement déconnectées.
    - Aux caractéristiques et à l'état physiques des annexes de l'Ill, majoritairement plus défavorables que sur les autres secteurs.
- Cette approche de diagnostic a permis d'identifier précisément les principales problématiques des annexes de la plaine d'Alsace. La prise en compte de ces observations sera utile à la mise en place de propositions d'actions.

5.2. Approche Biologique

a) Focus global

❖ Résultats généraux

C'est au total **54 annexes hydrauliques** qui ont pu être inventoriées au mois de mai à travers **139 Indices d'Abondances Brocheton** sur deux années (2021-2022). En termes de linéaire cela représente 18,3km échantillonnées par pêches électriques sur deux ans avec un linéaire moyen par IAB de 130m.

En pratique, les échantillonnages ont représenté une dizaine de jours de pêche électrique environ à raison de 8 à 10 pêches électriques par jours. Les inventaires ont eu lieu du 10 au 28 mai 2021 et du 16 au 31 mai 2022.

Des **juvéniles de brochets** issus de la frais de l'année 2021 et 2022 ont pu être échantillonnés sur **13 annexes hydrauliques différentes**. C'est ainsi 28 IAB (dont 8 en 2021 et 20 en 2022) qui ont permis de mettre en lumière des alevins de brochet parmi les 139 IAB réalisés. 65 brochetons de l'année ont ainsi pu être capturés et mesurés.

- ➔ L'année 2021 a mis en lumière la présence de brochetons sur 6 annexes (12% des 65 IAB) ;
- ➔ L'année 2022 a mis en lumière la présence de brochetons sur 11 annexes (27% des 74 IAB).

Globalement l'année 2022 semble avoir été meilleure en termes de réussite de la reproduction du brochet. Une synthèse de ces résultats généraux est présentée ci-dessous :

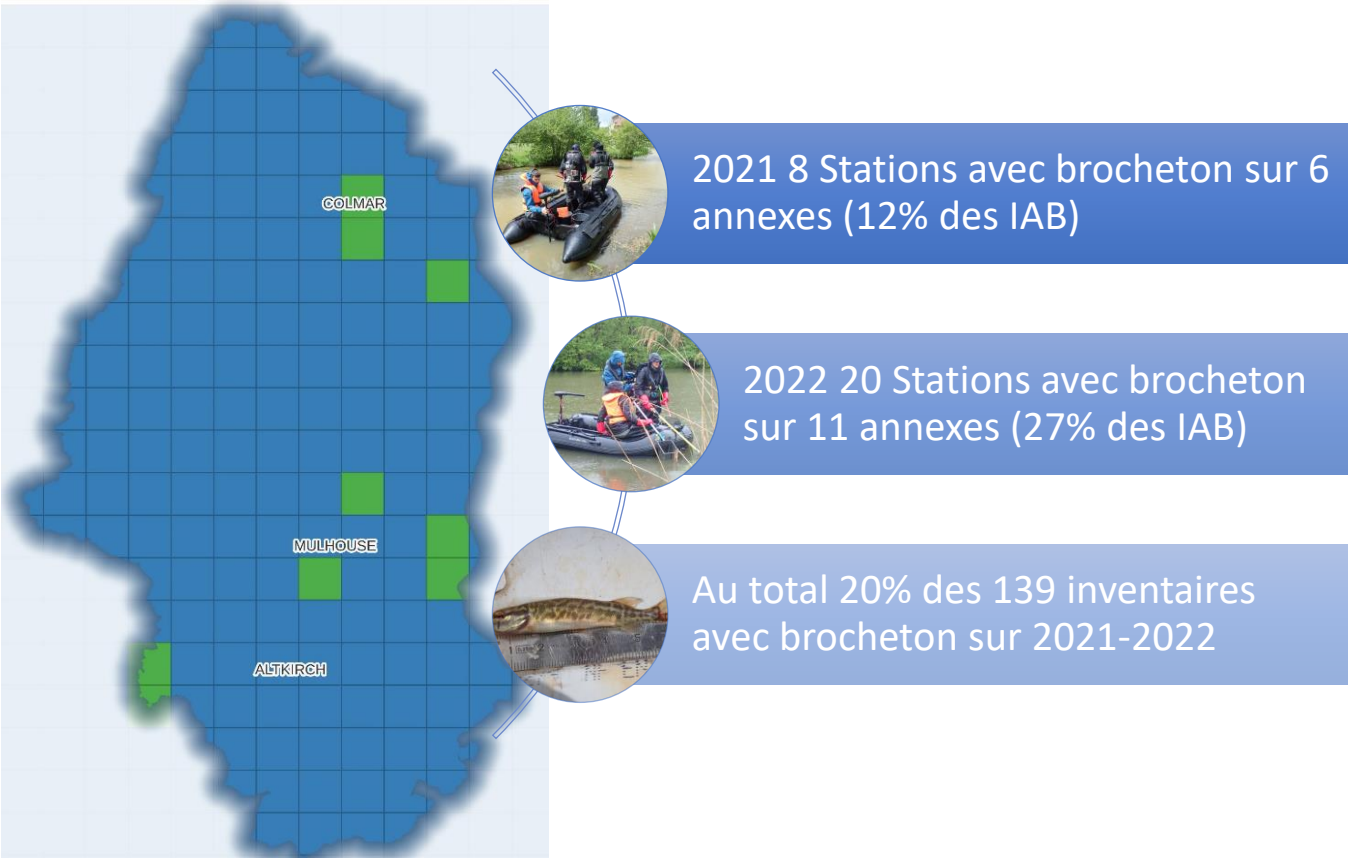


Figure 73 : Synthèse des résultats généraux des campagnes de pêches électriques de 2021 et 2022 (cartes de localisations des brochetons par maille de 5kmx5km et chiffres généraux).

Si le protocole cible les petites classes de tailles (qui représentent la majeure partie des captures), plusieurs captures anecdotiques de géniteurs ont pu avoir lieu (compris entre 50 à 70cm).

Les classes de tailles des captures de brochet sont présentées figure 74. La majeure partie des effectifs capturés mesurent entre 5 et 9cm. Les tailles des brochetons peuvent être très variables en fonction de divers paramètres :

- Période de ponte ;
- Température et donc période de développement ;
- Ressource alimentaire présente.

A la même période des brochetons de 6cm comme de 10cm peuvent être échantillonnés dans des annexes différentes à cause de la variabilité géographique de ces facteurs. Mais en générale les brochetons capturés dans la même annexe ont des tailles assez proches. Les plus petits brochetons ont été capturés sur le Quatelbach en 2022 (min = 44mm) et les plus grand sur le canal de Neuf-Brisach en 2022 (101mm) la même semaine.

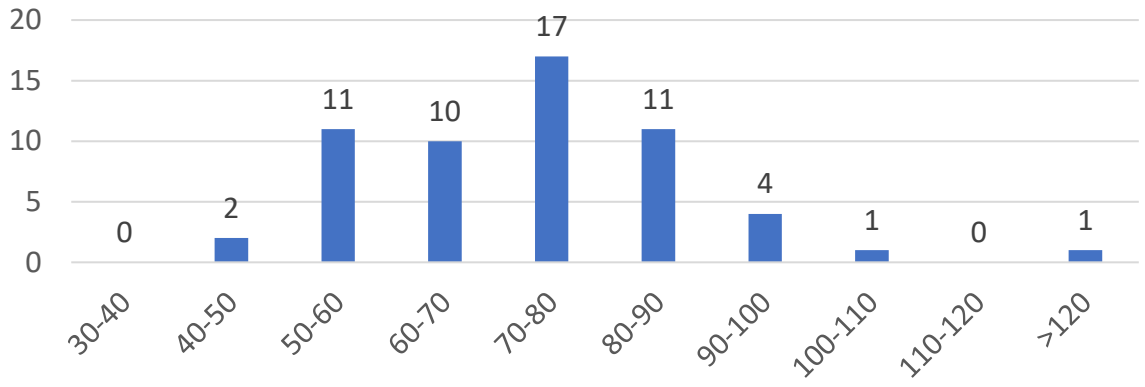


Figure 74 : histogramme des classes de tailles des brochets capturés

Par rapport à la thermie, à la géographie, à la météorologie et aux facteurs environnementaux : la période de la mi-mai semble bien correspondre en Alsace à la période où les juvéniles de brochet sont retrouvés entre le stade alevin nageant et le stade brocheton migrant.

❖ Captures accessoires

Si le brochet était l'espèce ciblée par les inventaires, les occurrences des autres espèces de poissons et d'écrevisses sont particulièrement informatives du fait du large maillage de station réalisé. C'est au total 32 taxons différents qui ont été échantillonnées sur les deux ans sur les 139 IAB (avec **31 espèces de poissons différentes et une espèce d'écrevisse**).

Certaines espèces, très rares, n'ont été relevées que sur quelques sites, d'autres très courantes, sur la majorité des sites. **La diversité spécifique moyenne dans les annexes est de 3,78 espèces différentes.**

Mais certaines disparités apparaissent avec :

- des annexes monospécifiques (comme plusieurs annexes sur le secteur « grand canal » où seul le gobie à taches noires à été échantillonné) ;
- des annexes très riches ayant permis la capture de 10 espèces différentes (comme sur « I16 » à Mulhouse sur secteur « Ill amont »).

Tableau 10 : Listes des 32 taxons retrouvés dans les annexes hydrauliques et occurrence associée (par ordre décroissant de présence).

Nom vernaculaire	Code taxon	Nom scientifique	%Occurence
Gobie à taches noires	GTN	*Neogobius melanostomus*	56%
Chevesne	CHE	*Squalius cephalus*	37%
Gardon	GAR	*Rutilus rutilus*	36%
Goujon asiatique	PSR	*Pseudorasbora parva*	31%
Bouvière	BOU	*Rhodeus amarus*	30%
Perche soleil	PES	*Lepomis gibbosus*	21%
Brochet	BRO	*Esox lucius*	20%
Epinoche	EPI	*Gasterosteus aculeatus*	14%
Ecrevisse americaine	OCL	*Orconectes limosus*	13%
Anguille	ANG	*Anguilla anguilla*	12%
Goujon	GOU	*Gobio sp.*	12%
Perche	PER	*Perca fluviatilis*	12%
Rotengle	ROT	*Scardinius erythrophthalmus*	10%
Ablette	ABL	*Alburnus alburnus*	9%
Silure	SIL	*Silurus glanis*	9%
Vandoise	VAN	*Leuciscus leuciscus*	9%
Tanche	TAN	*Tinca tinca*	8%
Spirlin	SPI	*Alburnoides bipunctatus*	6%
Hotu	HOT	*Chondrostoma nasus*	5%
Black-bass	BBG	*Micropterus salmoides*	4%
Carrassin	CAS	*Carassius carassius*	4%
Aspe	ASP	*Aspius aspius*	3%
Gremille	GRE	*Gymnocephalus cernua*	3%
Loche franche	LOF	*Barbatula barbatula*	3%
Barbeau fluviatile	BAF	*Barbus barbus*	2%
Brème commune	BRE	*Abramis brama*	2%
Carpe commune	CCO	*Cyprinus carpio*	2%
Chabot	CHA	*Cottus gobio*	2%
Poisson chat	PCH	*Ameiurus melas*	2%
Vairon	VAI	*Phoxinus phoxinus*	2%
Gobie demi-lune	GDL	*Proterorhinus semilunaris*	1%
Gobie de Kessler	GKS	*Ponticola kessleri*	1%

❖ Espèces patrimoniales

Parmi les espèces échantillonnées, certaines présentent un **intérêt patrimonial** ou un statut de conservation important en France tels que : l'Anguille (*Anguilla anguilla* ; CR), le Brochet (*Esox lucius* ; VU), la Bouvière (*Rhodeus amarus* ; LC) ou le barbeau (*Barbus barbus* ; LC).

8 espèces dites patrimoniales sont retrouvées. Une espèce patrimoniale correspond à une espèce protégée, menacée (sur liste rouge), rare ou encore une espèce ayant un intérêt scientifique, symbolique ou culturel régional.

On rappelle que le statut d'espèce patrimoniale est un bon indicateur de la richesse d'un territoire. Ces taxons appartiennent notamment à la liste régionale des espèces déterminantes de ZNIEF en Alsace (source : INPN 2022).

Tableau 11 : liste des espèces patrimoniales détectées sur les annexes de la plaine d'Alsace

Nom scientifique	Nom vernaculaire	Statuts UICN
Leuciscus aspius	Aspe	**NA (Alsace) ; LC (Monde)**
Esox lucius	Brochet	**VU**
Anguilla anguilla	Anguille	**CR ; Protocole Barcelone Annexe III ; Convention de Bonn Annexe II ; Annexe V OSPAR**
Rhodeus amarus	Bouvière	**LC ; Annexe II DHFF ; Annexe II CB**
Cottus sp.	Chabot	**LC**
Barbus barbus	Barbeau	**LC ; Annexe II DHFF ; Annexe III Berne**
Leuciscus leuciscus	Vandoise	**LC**
Phoxinus phoxinus	Vairon	**LC**

Légende *: EX : Disparue – CR : Danger critique d'extinction – EN : En danger – VU : Vulnérable – NT : Quasi menacée – LC : Préoccupation mineure. Annexe II DHFF : retrouvées en Annexe II de la Directive Cadre Habitats Faune Flore.*

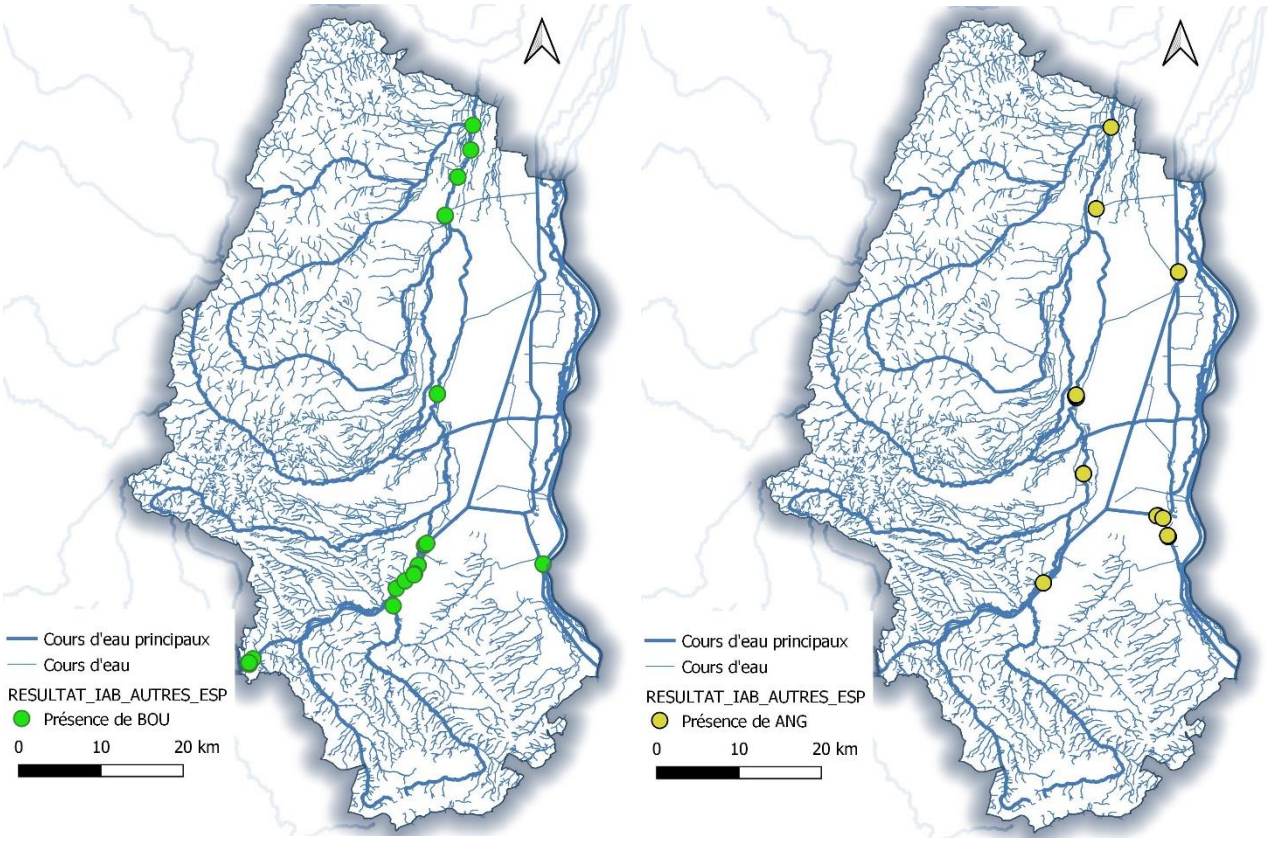


Figure 75 : localisation des stations où la bouvière (BOU) et l'anguille (ANG) ont été échantillonnées.

Les deux espèces patrimoniales les plus représentées (hormis le brochet) sont la bouvière (LC ; Annexe II DHFF ; Annexe II CB) et l'anguille (CR ; Annexe III P. Barcelone ; Annexe II C.Bonn ; Annexe V OSPAR).

L'anguille (*Anguilla anguilla*) est une espèce migratrice à enjeux fort, sa mise en évidence sur 12% des annexes est une information importante. Elle peut être retrouvée dans les annexes hydrauliques, pouvant être des zones favorables faisant office de zone de grossissement.

Figure 76 : Illustration de la bouvière (source : observatoire des poissons de seine-Normandie).

La bouvière (*Rhodeus amarus*) est un poisson vivant dans des eaux stagnantes et végétalisées, il est commun de la rencontrer dans les étangs ou dans les annexes hydrauliques de la plaine d'Alsace (présente sur 30% des IAB). C'est une petite espèce grégaire au mode de reproduction particulier. En effet, la femelle au moment de sa ponte développe un tube (oviducte) lui permettant de pondre ses œufs dans des moules d'eaux douces (majoritairement des Anodontes ou des *Unionidés*).

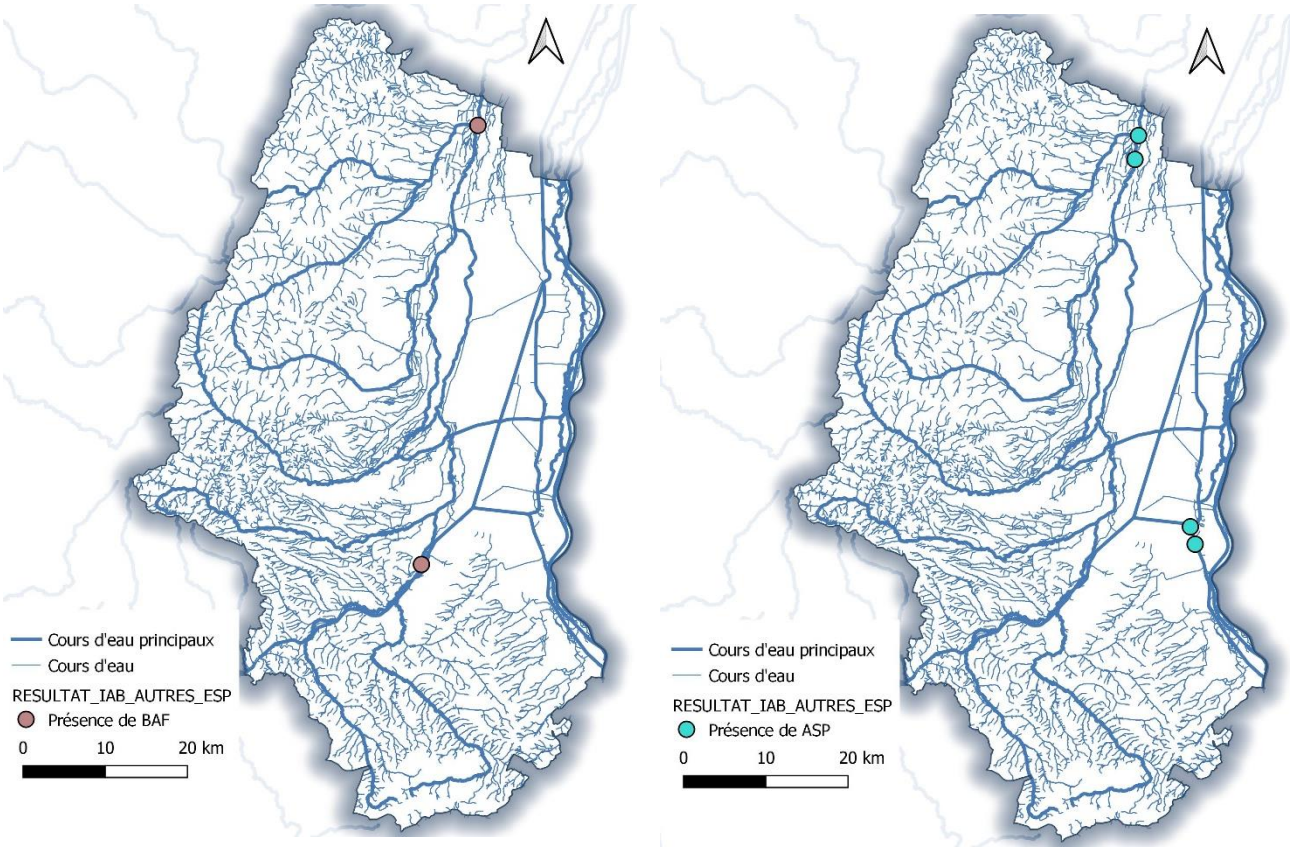


Figure77 : localisation des stations où le barbeau (BAF) et l'aspe (ASP) ont été échantillonnées.

D'autres espèces patrimoniales sont moins présente et plus sectorisées (comme le barbeau, l'aspe ou la vandoise) mais l'identification de leur zone d'occurrence n'en est pas moins informative.

❖ <u>Espèces exotiques & espèces exotiques envahissantes</u>

Une espèce exotique est une espèce allochtone introduite par l'Homme (volontairement ou de façon fortuite) dans une aire de répartition distincte de son aire d'origine (elle n'est pas forcément envahissante).

Une espèce peut être qualifiée d'envahissante (EEE) si celle-ci a une tendance à se propager de manière exponentielle et donc de prédominer dans les écosystèmes, les habitats au détriment des espèces indigènes avec des conséquences écologiques, économiques et/ou sanitaires négatives (McNeeky et al.2001, UICN 2022, INPN 2022, CREEE 2022). Ces espèces peuvent aussi bien être végétales qu'animales.

Certaines espèces exotiques devenues envahissantes sont citées dans différents dispositifs réglementaires. Le règlement européen n°1143/2014 du Parlement et du Conseil du 22/10/2014 relatif à la prévention et à la gestion de l'introduction et de la propagation des espèces exotiques envahissantes identifie un certain nombre d'espèces de faune et de flore préoccupants pour l'Europe au travers des règlements d'exécution. Afin de répondre à ce dispositif, la France a publié sa stratégie nationale relative aux EEE en 2017. En 2022, un projet de plan d'action pour prévenir l'introduction et la propagation d'espèces exotiques envahissantes est en cours de finalisation. En France, le règlement de référence est donc la loi n° 2016-1087 du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages comprend une section relative au « contrôle et à la gestion de l'introduction et de la propagation de certaines espèces animales et végétales ». Section 2 : Contrôle et gestion de l'introduction et de la propagation de certaines espèces animales et végétales (Articles L411-4 à L411-10).
Les listes pouvant être appliquées dans ce cas sont :

- Liste des espèces exotiques envahissantes préoccupantes pour l'Union européenne en date du 25 juillet 2019 ;
- Arrêté du 14 février 2018 relatif à la prévention de l'introduction et de la propagation des espèces animales exotiques envahissantes sur le territoire métropolitain.

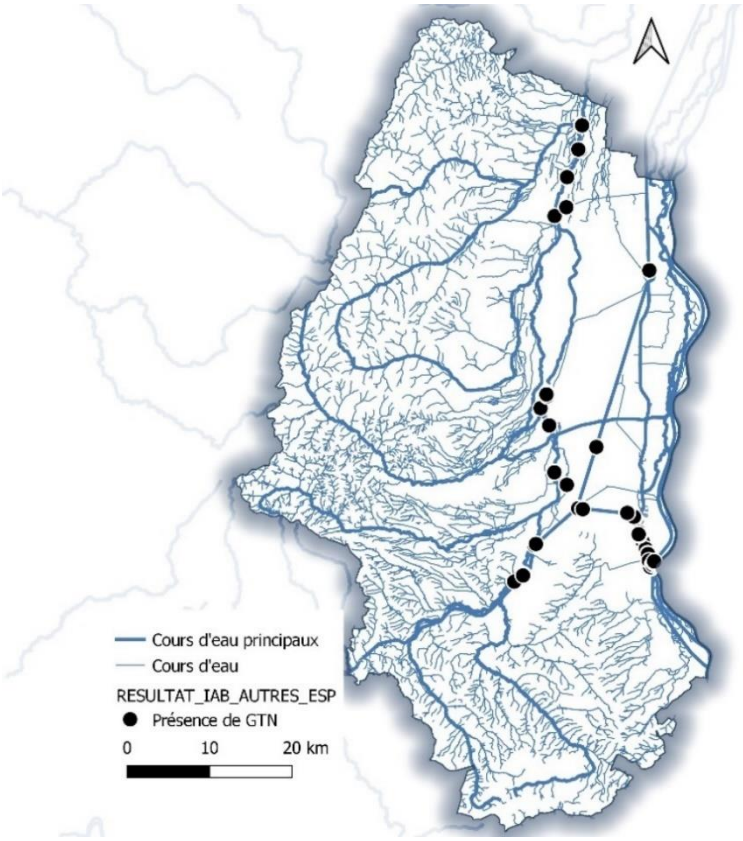
Dans le cas des annexes de la plaine d'Alsace, c'est **11 espèces exotiques qui sont recensées**. Il s'agit de : la perche soleil, du carassin, de la carpe, du silure, de l'aspe, du goujon asiatique (*Pseudorasbora parva)*, du poisson chat, du black-bass et des 3 espèces de gobies (taches noires, demi-lune et Kessler).

Parmi elles, **4 espèces** (la perche soleil, le poisson chat, le goujon asiatique et l'écrevisse américaine) **sont listées règlementairement en tant qu'espèces susceptibles de causer des déséquilibres biologiques**. Les gobies d'eau douces ne sont pas listés règlementairement comme espèces exotiques envahissante (liste européenne) mais figurent néanmoins au titre des L.431.4, L431.7 & L436-5 du code de l'environnement (interdiction d'introduction et d'utilisation comme appât).

Un focus sur plusieurs espèces à enjeux sur la plaine d'Alsace est proposé avec :

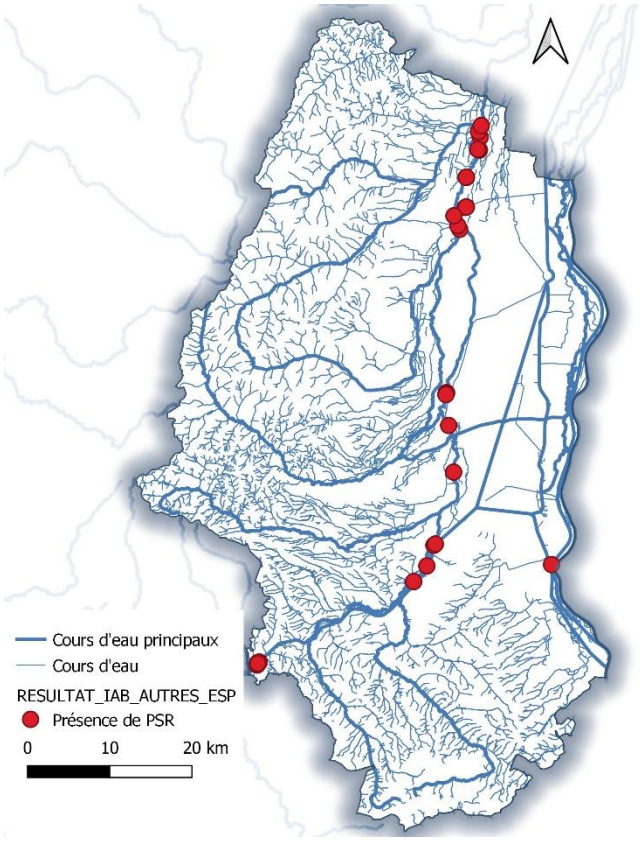
- L'écrevisse américaine (*Orconectes limosus* &/ou *Faxonius limosus*) : son introduction sur le territoire, y compris le transit sous surveillance sont interdits en France par l'arrêté du 14 février 2018. L'espèce a été importées en Europe à des fins d'élevage à la fin du XIXe siècle (notamment en Allemagne). L'Écrevisse américaine est l'espèce allochtone la mieux représentée sur le territoire national. L'espèce représente une menace pour les écrevisses indigènes, par compétition et par transmission de la peste des écrevisses (aphanomycose), dont elle est porteuse saine (source : centre de ressource des espèces exotique envahissante). Elle est présente sur 13% des IAB.

Figure 77 : Illustration du Neogobius melanostomus ou gobie à taches noires (source : observatoire des poissons de seine-Normandie).



- Le gobie à taches noires (*Neogobius melanostomus*) : le gobie à tache noire est un poisson capable de s'adapter à différents milieux ; il est ainsi présent en eau douce et salée. Le gobie à tache noire a été introduit par l'Homme et présente des tendances invasives. Cette espèce est originaire d'Europe de l'Est (bassin Ponto-Caspien). La colonisation par le Gobie à taches noires est due à la navigation sur les canaux. Le gobie à taches noires peut entrer en compétition avec des espèces indigènes, et sa prédation sur les œufs, alevins et parfois juvéniles de poissons a été rapportée (Kornis et al., 2012). Les populations de gobies à tache noire ont atteint de telles dimensions dans de nombreux écosystèmes qu'elles ont souvent modifié les chaînes trophiques de ces milieux (Kornis et al., 2012). En France, il apparaît pour la première fois dans le Rhin à Gambsheim et à Rhinau, ainsi que dans la partie aval de la Moselle en 2011 (Manné et al., 2013). Depuis il n'a cessé de s'expanser. Il est présent sur plus de 56% des IAB et est très implanté sur l'Ill et les canaux attenants.

Figure78 : localisation des stations où le gobie à taches noires a été échantillonné.



- Le *Pseudorasbora* ou goujon asiatique (*Pseudorasbora parva*) est considéré comme l'un des poissons les plus envahissants du monde. Il est également porteur sain de l'agent Rosette (*Sphareothecum destruens*) susceptible de contaminer un large spectre d'hôtes (comme les cyprinidés et salmonidés notamment). Sa présence, même en faible effectif sur les annexes hydrauliques de l'Ill est alarmante. Il est également présent en très grande densité sur les annexes de Montreux-Vieux notamment (plan d'eau « réservoir » & « étang du pendu »). Il est présent sur 31% des IAB.

Figure79 : localisation des stations où le goujon asiatique a été échantillonné.

Figure 80 : Illustration du Pseudorasbora parva ou goujon asiatique (source : observatoire des poissons de seine-Normandie).

❖ Répartition des espèces sur la plaine d'Alsace

Les 5 espèces les plus couramment retrouvées sur les annexes (et avec une occurrence supérieure à 30%) sont :

- le gobie à taches noires, qui domine très largement les inventaires notamment sur les secteurs de l'Ill et les secteurs « grand canal » et « canal déclassé » (sur 56% des IAB) ;
- le chevesne (sur 37% des IAB) ;
- le gardon (sur 36% des IAB) ;
- le goujon asiatique qui prédomine les peuplements notamment sur les secteurs « canal Rhône-Rhin » et sur l'Ill Amont et Aval principalement (sur 31% des IAB) ;
- la bouvière qui est bien représentée sur les annexes de l'Ill amont et aval (sur 30% des IAB)
- Les autres taxons sont ensuite représentés sur moins de 21% des IAB.

Les 5 espèces les plus rares sont :

- Le gobie de Kessler et le gobie demi-lune, qui sont observés de manières anecdotiques sur certaines annexes du secteur « grand canal » (moins de 1% des IAB) ;
- Le vairon, naturellement moins présent dans les eaux de secondes catégories piscicoles (uniquement retrouvé sur 2 stations sur l'Ill amont et 1 station sur l'Ill aval) ;
- Le poisson-chat, présent uniquement sur le secteur du « canal Rhône-Rhin » et uniquement sur la commune de Montreux-Vieux ;
- Le chabot, naturellement moins présent dans les eaux de secondes catégories piscicoles (moins de 2% des IAB – présent sur 3 annexes de l'Ill en amont) ;
- La carpe commune, présente sur le canal de Colmar et sur 2 annexes de l'Ill. Si l'espèce peut potentiellement se retrouver dans les annexes en période de reproduction (mai-juillet) cela ne semble pas être cas à la période d'échantillonnage (température de 17-18°C nécessaire). Il est aussi possible que la carpe soit peu représentée sur l'Ill ou sur les secteurs sélectionnés.

Figure82 : Illustrations de plusieurs captures lors des inventaires avec : en a) juvénile de tanche – b) juvénile de black bass – c) brocheton – d) jeune brochet d'un an. ***De très nombreux juvéniles de plusieurs espèces de poissons ont pu être retrouvés dans les annexes.***

Tableau 12 : Proportion des occurrences des différentes espèces par secteur.

	CANAL DE COLMAR	CANAL DECLASSE	CANAL RHONERHIN	GRAND CANAL	ILL AMONT	ILL AVAL	ILL MEDIANE	QUATELBACH
ABL	3%	0%	0%	0%	4%	7%	2%	0%
ANG	3%	13%	0%	5%	1%	1%	10%	0%
ASP	0%	0%	0%	2%	0%	2%	0%	0%
BAF	0%	0%	0%	0%	1%	2%	0%	0%
BBG	0%	0%	8%	0%	0%	0%	0%	0%
BOU	15%	0%	13%	2%	11%	6%	8%	0%
BRE	0%	0%	3%	1%	0%	0%	0%	0%
BRO	13%	17%	4%	7%	2%	0%	3%	27%
CAS	0%	0%	4%	0%	2%	1%	0%	0%
CCO	3%	0%	0%	1%	1%	0%	0%	0%
CHA	0%	0%	0%	0%	2%	1%	0%	0%
CHE	8%	22%	0%	4%	9%	16%	22%	27%
EPI	0%	0%	0%	12%	3%	2%	0%	9%
GAR	8%	9%	21%	10%	13%	2%	0%	0%
GDL	0%	4%	0%	2%	0%	0%	2%	0%
GKS	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
GOU	0%	0%	1%	0%	11%	2%	2%	0%
GRE	0%	0%	0%	0%	3%	0%	0%	0%
GTN	13%	17%	0%	32%	6%	15%	20%	27%
HOT	0%	0%	0%	2%	0%	6%	0%	0%
LOF	0%	0%	0%	0%	2%	4%	0%	0%
OCL	13%	0%	0%	9%	2%	0%	0%	0%
PCH	0%	0%	9%	2%	3%	0%	7%	0%
PER	0%	0%	4%	0%	0%	0%	0%	0%
PES	10%	0%	15%	3%	3%	2%	7%	0%
PSR	13%	0%	12%	1%	5%	18%	12%	0%
ROT	0%	9%	6%	1%	3%	1%	2%	0%
SIL	0%	4%	1%	3%	2%	2%	3%	9%
SPI	0%	4%	0%	3%	2%	5%	2%	0%
TAN	0%	0%	0%	0%	7%	0%	0%	0%
VAI	0%	0%	0%	0%	2%	1%	0%	0%
VAN	3%	4%	5%	4%	1%	2%	0%	0%

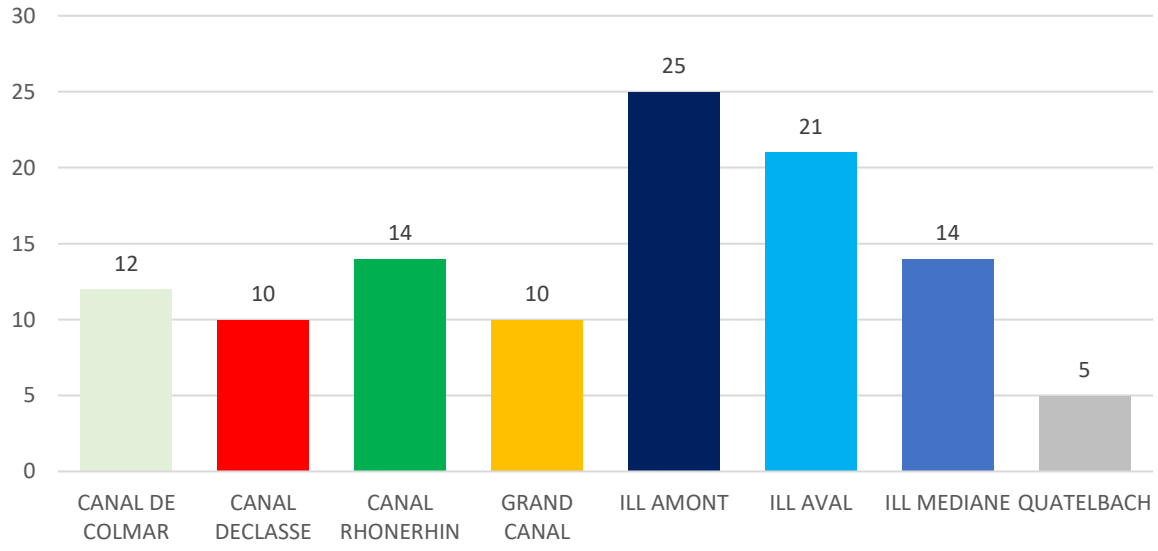


Figure81 : Nombre d'espèce différentes retrouvées par secteurs.

➔ Les secteurs qui présentent le plus grand nombre d'espèces différentes sont :
- Le secteurs Ill amont (25 taxons),
- Le secteur Ill aval (21),
- Les secteurs Ill médiane et « canal Rhône-Rhin » (14).

➔ Les secteurs qui présentent le nombre d'espèce le plus faible dans les annexes sont :

1. Le secteur du Quatelbach (5),
2. Les secteurs « grand canal » et « canal déclassé » (10).

❖ Synthèse cartographique des occurrences de brocheton

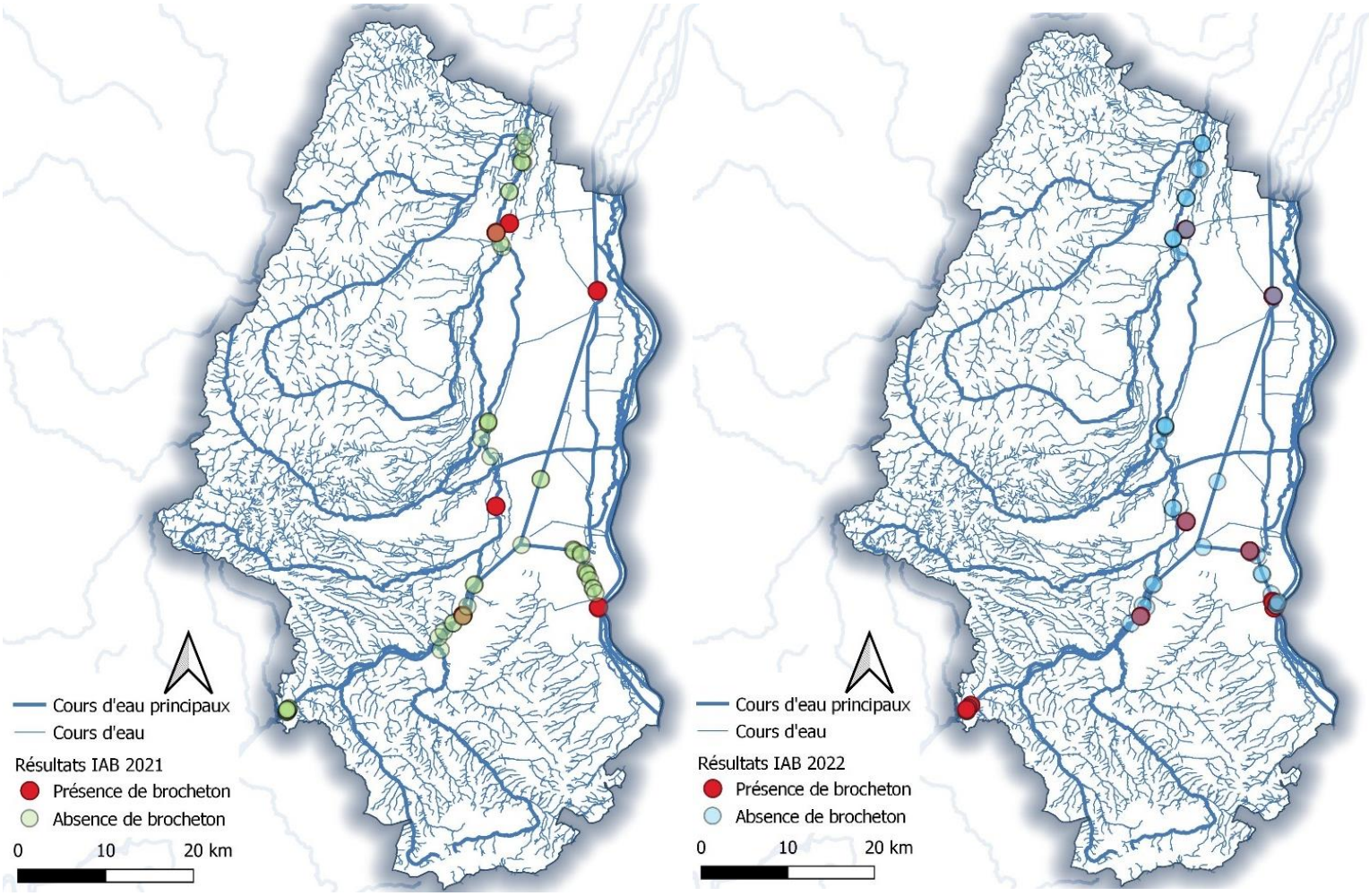
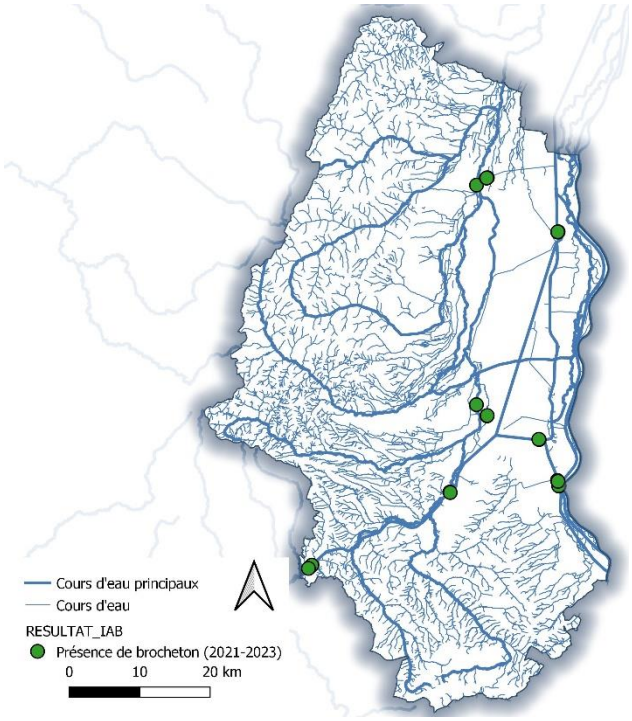


Figure83 : Résultats des Indices d'Abondances Brochetons 2021 (en a), 2022 (en b) & toutes années confondues.



❖ Résultats des indices d'abondances brocheton (IAB)

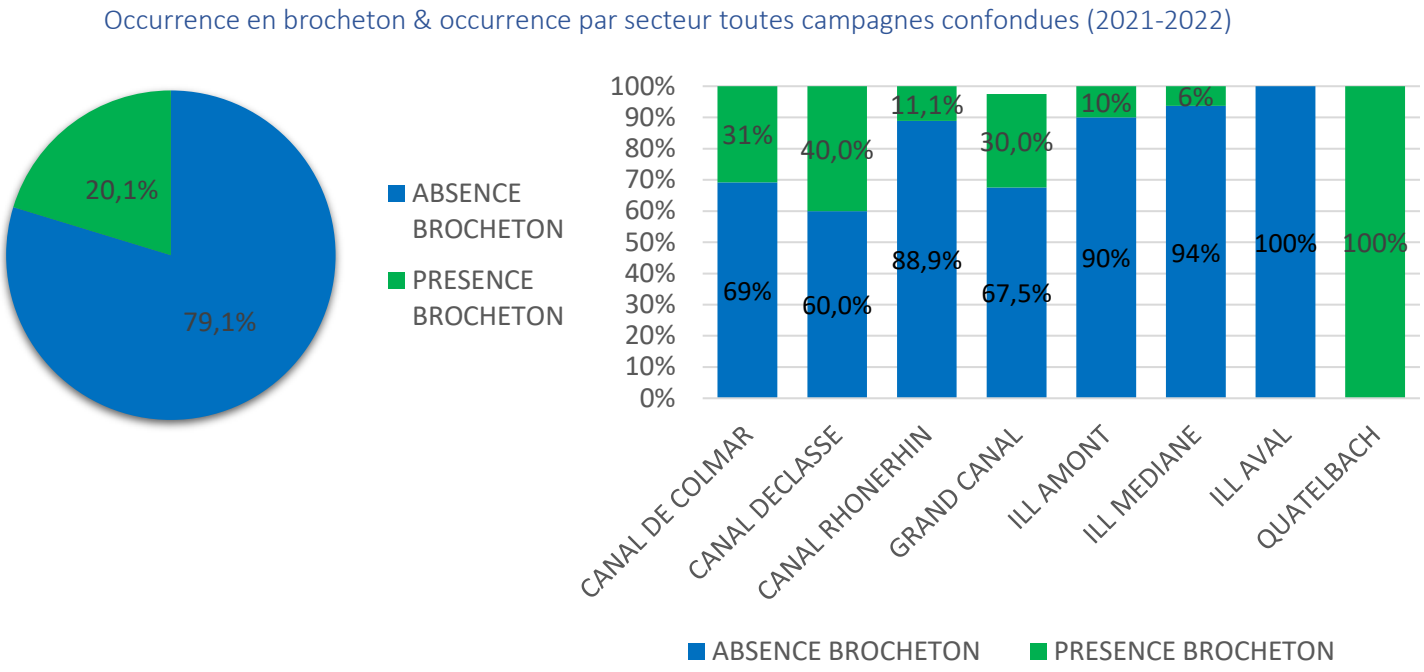


Figure83 : Résultats des IAB toutes années confondues avec la présence ou l'absence de brocheton sur l'ensemble des sites (à gauche) & par secteurs (à droite).

Sur l'ensemble de la plaine d'Alsace c'est donc 20% des IAB qui ont permis la mise en évidence de juvéniles de brochet (13 sites sur 67 ou 28 IAB sur 139). Si la réussite de la frais du brochet peut être très hétérogène selon les zones et les années, ces valeurs sont relativement proches à élevées par rapport à la bibliographie (certaines études similaires mettent en avant des occurrences aux alentours des 10%).

Au regard des 7 secteurs d'études, des grandes disparités sont observées selon les secteurs avec :

- Des secteurs à **fonctionnalité importante** où plus de 30% des inventaires ont pu mettre en évidence des juvéniles de l'année comme les secteurs : « Quatelbach » - « canal déclassé » - « canal de Colmar » - « grand canal ».
- Des secteurs à **fonctionnalité moyenne** où moins de 20% des inventaires ont pu mettre en évidence des juvéniles de l'année comme les secteurs : « canal Rhône-Rhin » - « Ill amont » - « Ill médiane ».
- Des secteurs **non-fonctionnels** : comme l'Ill aval où aucun brocheton n'a été capturé sur les divers inventaires réalisés sur les deux campagnes.

➔ **Globalement, on note une proportion plus importante de sites avec brocheton en secteurs canalisé que sur l'Ill.** Cette observation peut mettre en avant de grave problématiques de fonctionnalité des annexes hydrauliques de l'Ill.

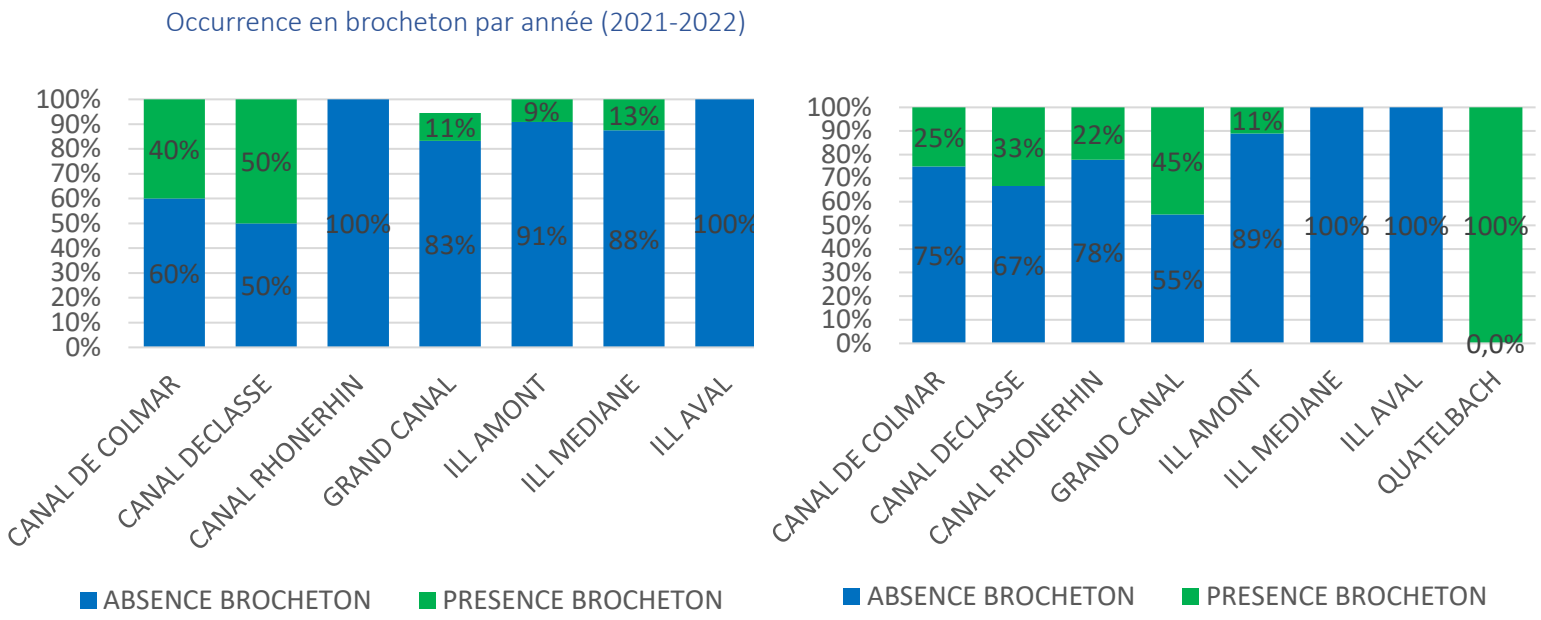


Figure84 : Résultats des IAB par année et par secteurs avec 2021 à gauche et 2022 à droite.

La reproduction du brochet peut être très disparate entre les années selon l'ensemble des facteurs régissant les diverses étapes du cycle de l'espèce (en général il est admis qu'une année de reproduction réussie sur 3 peut suffire au recrutement de l'espèce). La plupart des stations de pêches électriques ayant été reconduites sur les deux années, un comparatif sommaire peut être réalisé.

Toutefois, il convient de rester prudent quant à l'interprétation des données puisque :

- Certains sites en eau en 2021 étaient à sec en 2022 ;
- Plus d'IAB ont été fait en 2022 mais sur moins de site qu'en 2021 ;
- Meilleure orientation des linéaires à échantillonner en 2022 à travers une meilleure connaissance des sites pouvant accueillir des brochetons, ce qui peut induire un biais cognitif.

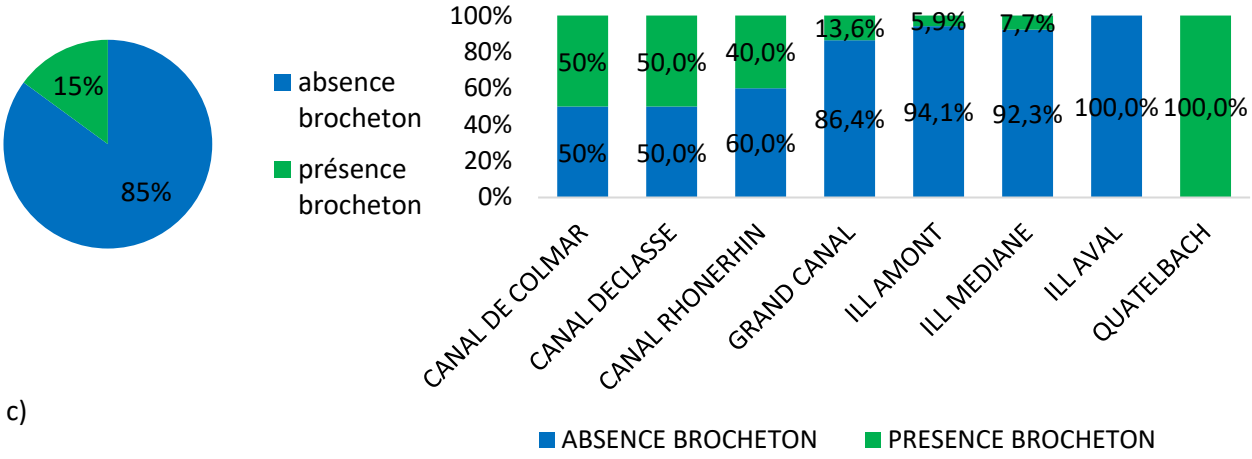
Néanmoins :

- L'année 2021 a mis en lumière la présence de brochetons sur 6 annexes 12% des 65 IAB).
- L'année 2022 a mis en lumière la présence de brochetons sur 11 annexes (27% des 74 IAB).

➔ **Les occurrences en brocheton sont globalement plus nombreuses en 2022 qu'en 2021.**

- Par secteurs,
  - les occurrences en brochetons sont plus élevés en 2021 qu'en 2022 sur le « canal de Colmar », le « canal déclassé » et sur « l'Ill médiane » ;
  - les occurrences en brochetons sont plus importantes en 2022 qu'en 2021 sur le « canal Rhône-Rhin », le « grand canal » et « l'Ill amont » ;
  - Certains secteurs n'ont permis de mettre en évidence des brocheton qu'une année sur les deux comme : « canal Rhône-Rhin » (absence en 2021) et « Ill médiane » (absence en 2022).

Occurrence en brocheton par annexes hydrauliques



c)

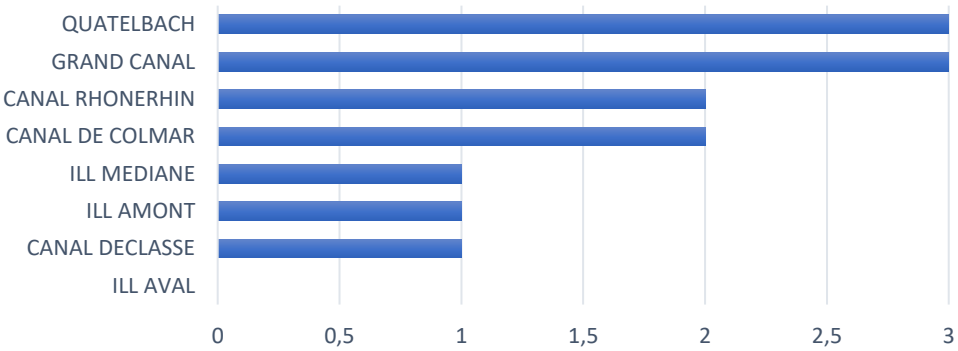


Figure85 : Proportion de présence ou absence de brocheton sur les 87 annexes hydrauliques (en a) par secteurs (en b) & nombres d'annexes avec brochetons par secteurs (en c).

Si on s'intéresse non pas aux occurrences par IAB (station de pêches électriques) mais bien aux occurrences en brocheton par annexes hydrauliques, on s'aperçoit ainsi que **15% des 87 annexes hydrauliques de la plaine d'Alsace présentent des juvéniles de brochet sur au moins 1 an sur deux**.

En termes de proportions, d'importantes disparités sont observées avec :

- Des secteurs à la proportion d'annexe avec brocheton très dominante (plus de la moitié des annexes recensées) comme : « canal de Colmar », « canal déclassé » et « quatelbach » ;
- Des secteurs à la proportion d'annexe avec brocheton importante (entre 10 et 40% des annexes recensées) comme sur le secteur « canal Rhône-Rhin » ou « grand canal » ;
- Des secteurs à la proportion d'annexe avec brocheton faible à moyenne (moins de 10%) comme : « Ill amont » et « Ill médiane » ;
- Des secteurs avec aucun brocheton mis en évidence comme l'Ill aval.

Mais attention, si on met en balance des proportions avec le nombre d'annexes hydrauliques par secteurs, des fortes proportions peuvent être lié à très peu de sites. Pour rappel, seules 4 annexes ont été recensée sur le « canal de Colmar », 2 sur le « canal déclassé » et 5 sur le secteur « canal Rhône-Rhin ».

En termes de nombres d'annexes fonctionnelles (avec brochetons), ce sont ainsi seulement 13 annexes qui ont mis en évidence la présence de brocheton.

Avec :

- 3 annexes sur le Quatelbach et 3 sur le secteur « grand canal » ;
- 2 annexes sur les secteurs « canal rhône-rhin » et 2 sur le « canal de Colmar » ;
- 1 seule annexe sur les secteurs « Ill amont » et 1 sur « Ill médiane ».

En conclusion,

➔ **Globalement, on note une proportion plus importante d'annexes hydrauliques avec brocheton sur les secteurs canalisés que sur l'Ill.**
➔ **Moins de 4% des 51 annexes hydrauliques recensées sur l'Ill ont mis en évidence des juvéniles de brochet, mettant en avant des problématiques de fonctionnalités.**
➔ **Le brochet possède ainsi sur la plaine d'Alsace plus de zones où il est à même de réaliser son cycle biologique en secteur canalisé. La situation du brochet dans l'Ill semble problématique au regard des résultats.**

Analyse par habitats de prélèvement

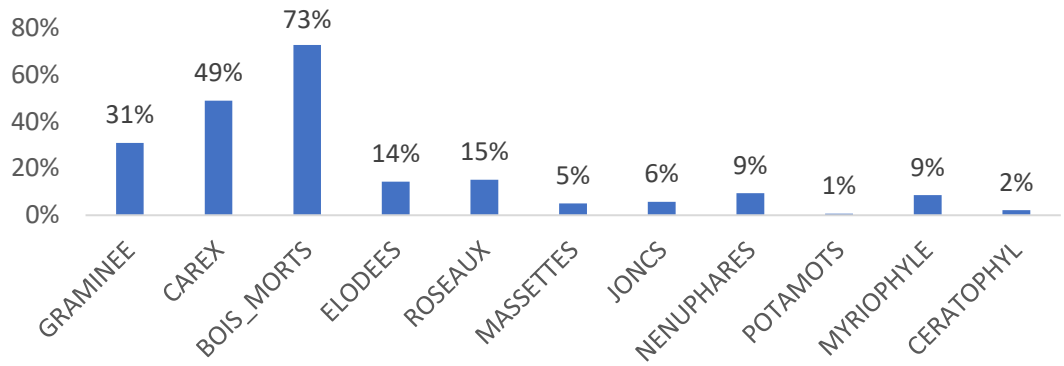


Figure 86 : Habitats dans lesquelles les brochetons ont été capturés.

Parmi les différents habitats échantillonnés lors des 139 IAB, les habitats ayant permis la capture de brocheton sont :

- à 73% des bois morts. Cette observation est alarmante dans le sens où les bois morts sont classés comme un substrat dit « par défaut ». Cette observation peut potentiellement témoigner d'un manque de surface favorable dans les annexes au regard des géniteurs présents.
- à 49% des *Carex spp*.. Différents groupements de Carex ont pu être mis en évidence comme surface la plus favorable…lorsque celle-ci est présente (*Carex paniculata, Carex pseudocyperus*, etc.).
- à 31% des graminés. Surface pouvant être des plus favorable mais très peu présente lors des inventaires.
- Proportions variables de captures dans d'autres zones (hydrophytes, nénuphars, etc.).

➔ On note l'absence (ou des proportions très faible) du substrat le plus favorable (graminée) lié à la nature même des annexes hydrauliques de la plaine haut-rhinoise (absence de prairie inondables).
➔ En termes de ratio présence-réussite, les substrats les plus présent et utilisés semblent donc être :

1. Les groupements de *Carex* spp.
2. Les autres hélophytes (T*yphae*, roseaux, *Phalaris*, Iris, etc.)
3. Les hydrophytes lorsqu'il reste présent lors du cycle de reproduction ou les substrats ligneux/végétaux divers.

Occurrence en brocheton par typologie d'annexes

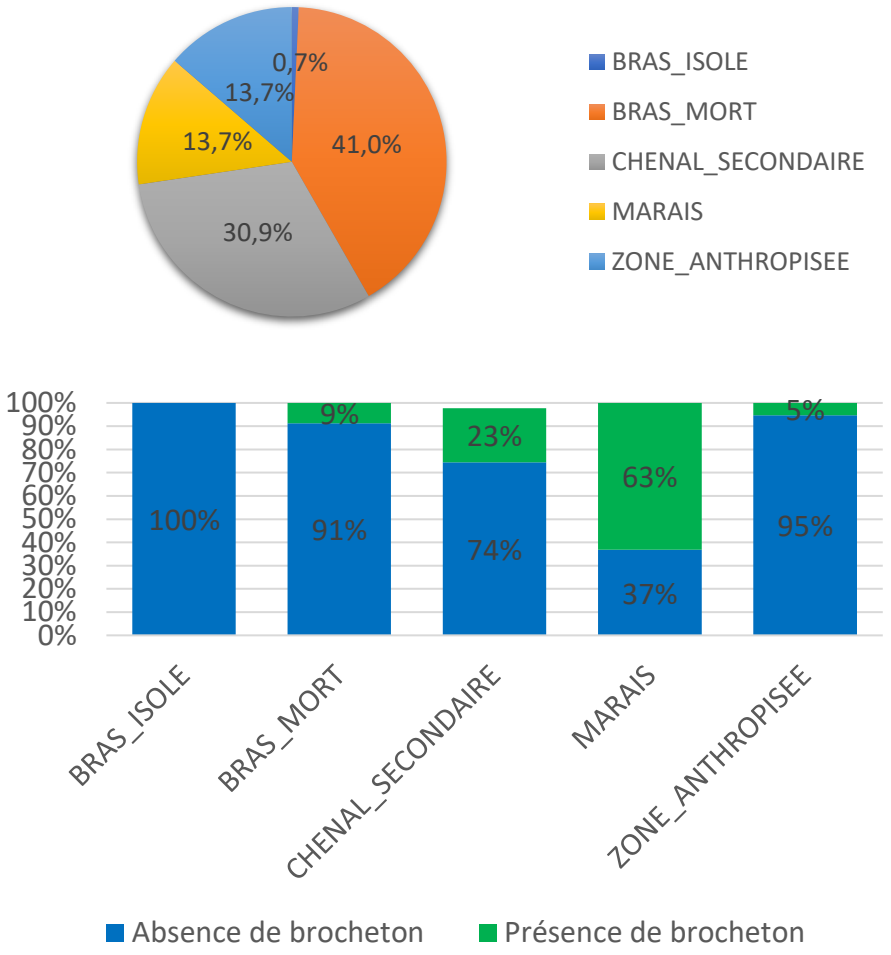


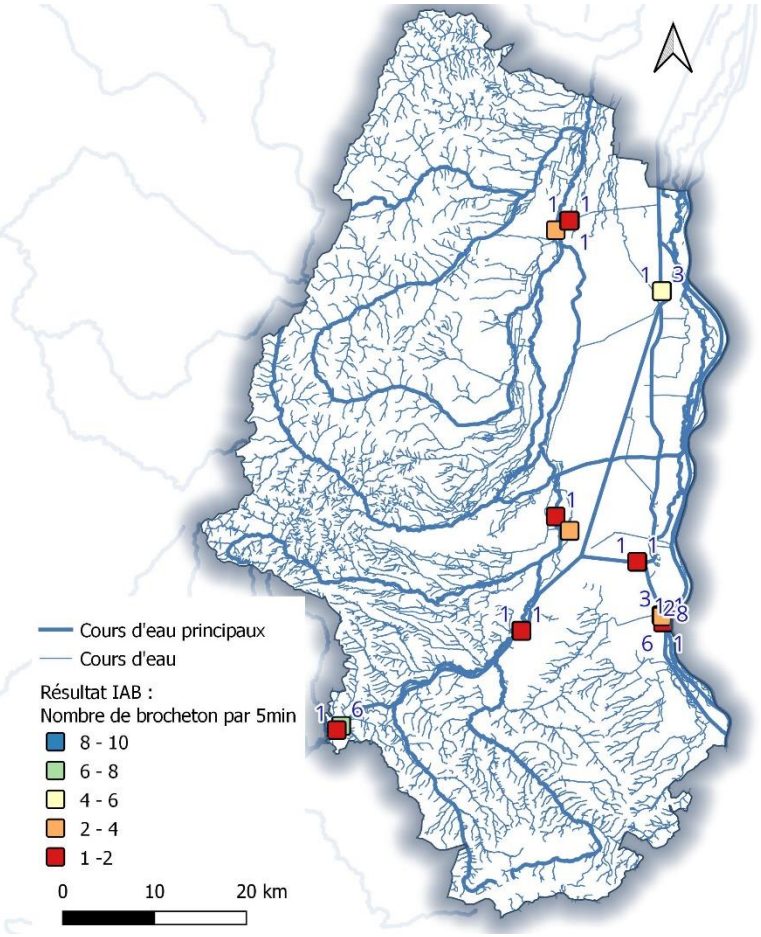
Figure87 : Typologie d'annexes hydrauliques échantillonnées (en a) & absence ou présence de brocheton par typologie d'annexe hydrauliques.

Lors des inventaires, l'ensemble des 6 typologie différentes recensées ont été échantillonnées. Mais avec une moindre proportion de « bras isolé », leur nature étant, de base, très peu fonctionnelle pour le brochet. Les typologies les plus souvent échantillonnées en termes de proportions sont : les bras mort (41%), les chenaux secondaires (31%) et dans une moindre mesure les marais et zones anthropisées (14% chacune).

Parmi ces 6 typologies certaines ont semblées plus favorable à l'observation de juvéniles de brochet comme :

- Les marais : la majeure partie des IAB réalisés dans les annexes de type marais ont mis en évidence des brochetons (63%).
- Les chenaux secondaires (23%).
- Les bras mort (9%).
- Les zones anthropisées (5%).
- Les bras isolés échantillonnés n'ont pas permis de mettre en évidence des brochetons.

Comparatif & CPUE



Les Indices d'Abondances Brocheton sur toujours réalisés sur un effort de pêche continu de 5min sur une moyenne de 100 à 130m linéaire. La mise en lumière des résultats sous forme de « Capture Par Unité d'Effort » ou CPUE, permet de comparer plus aisément les stations. L'unité utilisé est le nombre de brocheton capturés en 5min (nbr Broc/5min).

A l'échelle des 28 stations de pêches électriques sur les 13 annexes ayant présentées des occurrences de brochetons :

➔ Le nombre maximum de brocheton capturés en 5min est de 8 en 2022 sur l'annexe CH1 située sur le secteur « grand canal ».
➔ Le nombre minimum est de 1Broc/5min sur 46% des stations.
➔ La moyenne de Broc/5min est de 2,32.

Figure88 : Nombre de brocheton capturé par 5 min sur l'ensemble des campagnes (2021-2022).

Si une extrapolation des CPUE en densité est hasardeuse, un rapide comparatif peut néanmoins être proposé en rapport avec la bibliographie et les observations de Chancerel :

- Si notre rayon d'attraction de notre appareil de pêche portatif (Pulsium de IMEO) est environ égal à 1m (comparatif similaire issu de Pottier et al. 2022) et que l'effort de pêche est principalement réalisé en linéaire : il est possible d'admettre que la surface relative échantillonnée lors d'un IAB doit être comprise en 100 et 150m².
- D'après Chancerel (2003) la production en juvéniles de brochetons migrant est de l'ordre de :
  - 0.2 à 0.3 juvéniles/m² pour des marais aménagées et contrôlées.
  - 0.5 juvéniles/m² à 1 juvéniles/m² (exceptionnellement) pour des sites de naturels de très bonnes qualités.
  - 2 à 3 juvéniles/m² pour les bassins d'élevages où tous les facteurs favorables sont réunis et gérés. A partir de ces données sur le recrutement, il sera possible de déterminer la densité théorique en BROc.
- Si on extrapole les densités théoriques de brochetons attendus sur une surface de 100 à 150m² cela donne :
  - 20 à 30 brochetons par 100m² pour des marais aménagées et contrôlées ;
  - 50 brochetons par 100m² pour des sites de naturels de très bonnes qualités.

➔ Or la densité relative estimée maximale retrouvée sur la plaine d'Alsace n'est que de l'ordre de 0,08 ± 0,05 brocheton par 100m² ce qui reste très éloigné de ces références bibliographiques.

➔ Cet exercice comparatif met avant tout en lumière un **réel problème de fonctionnalité et d'efficacité de la reproduction du brochet dans le département**.

En l'état il apparait ainsi complexe de statuer sur la mise en place d'un comparatif indiciel. Néanmoins, travailler ainsi en comparant des CPUE entre elles sur nos sites reste possible et pertinent. Ainsi, les 3 annexes hydrauliques les plus efficaces pour la reproduction du brochet sont :

1. CH1 sur le secteur « grand canal » sur la commune de Kembs ;
2. CRR2 sur le secteur « canal Rhône-Rhin » sur la commune de Montreux-Jeune ;
3. CRRD2 sur le secteur « canal déclassé » sur la commune de Neuf-Brisach ;

Figure89 : illustration des 3 annexes où le plus de juvéniles de brochet ont été observés au cours des deux campagnes (2021-2022) avec CH1 en a) – CRR2 en b) – CRRD2 en c)

En définitive il est ainsi possible de classer les sites en les comparant entre eux avec :

- Les **sites très peu efficaces pour la reproduction du brochet** où 1 seul brocheton par IAB a été dénombré. Ces sites témoignent d'une réussite de la frais (occurrence de brocheton) mais également d'un manque certain de fonctionnalité avec des facteurs limitants. Ils peuvent être très intéressant à optimiser/restaurer.
  Il s'agit des annexes : I7 (secteur Ill amont), I22 (Ill médiane), CRR4 (canal Rhône-Rhin), CC1 (canal de Colmar) et CRR9 (grand canal) ;
- Les **sites moyennement efficaces pour la reproduction du brochet** où entre 2 et 6 brochetons par IAB ont été dénombrés. Ces sites témoignent d'une réussite de la frais et d'une efficacité moyenne mais un ou plusieurs facteurs limitants peuvent être en cause. Ces sites doivent être protégés ou optimisés au cas par cas.
  Il s'agit des annexes : QUA1, QUA2, QUA3 (secteur Quatelbach), CRRD2 (canal déclassé), L2 (canal de Colmar) et CRR22 (grand canal) ;
- Les **sites efficaces pour la reproduction du brochet** où plus de 6 brochetons par IAB ont été dénombrés. Ces sites témoignent d'une réussite de la frais et d'une efficacité en recrutement prometteuse. Ces sites doivent principalement être protégés et gardés en l'état.

Il s'agit des annexes : CH1 (secteur grand canal) et CRR2 (canal Rhône-Rhin).

➔ Dans la suite du rapport on parle **d'efficacité** s'il y'a eu occurrence de brocheton et de **fonctionnalité** si cette occurrence n'est pas prouvée. **On distingue efficacité biologique de la fonctionnalité physique.**

❖ Analyses multivariées

Analyse en Composante Principale

Une analyse en composante principale (ACP) a été utilisée afin de mettre en évidence les relations entre les variables physico-chimiques mesurées lors des 139 inventaires.

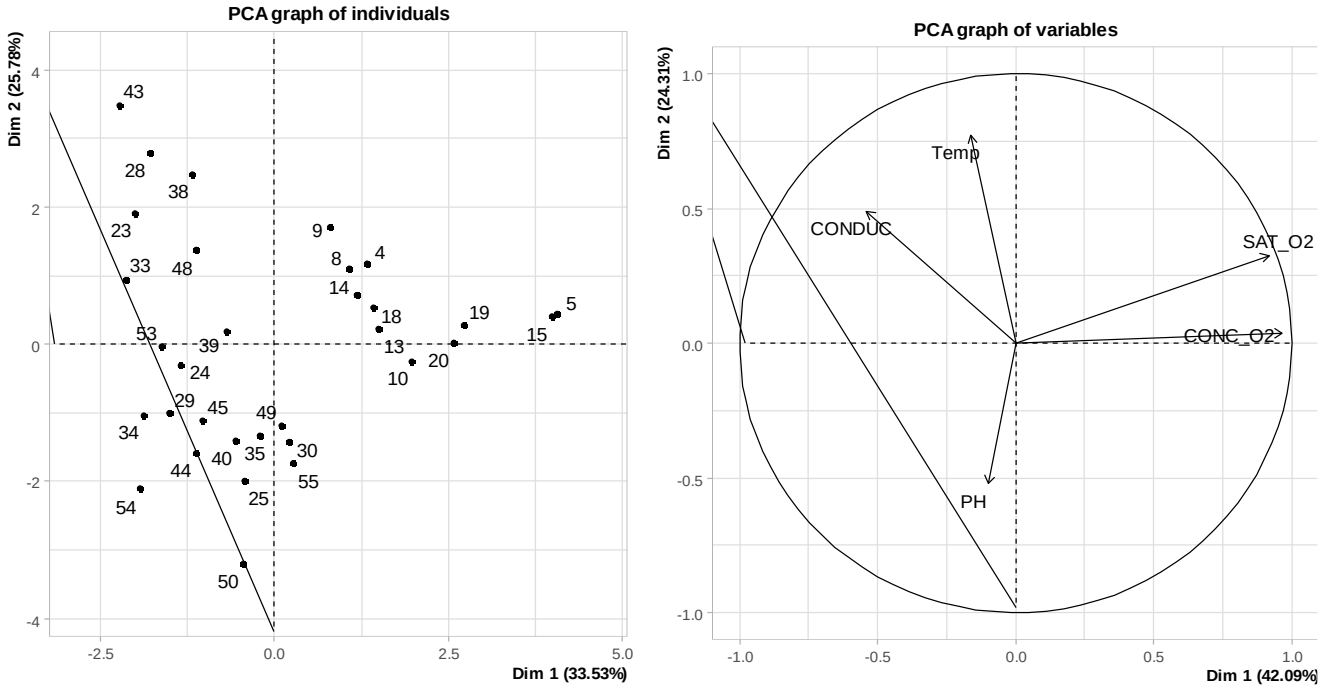


Figure 90 : ACP sur les 5 mesures physico-chimiques réalisées sur les stations IAB et cercle des corrélations.

L'ACP a été réalisée sur des variables environnementales transformées par la fonction log pour les variables continues ou par la racine carrée de la fonction arcsin pour les proportions.

Peu de tendances ressortent de cette analyse. En effet, les données physico-chimiques restant relativement homogènes lors des deux années au mois de mai.

Pour la température, celle-ci était très fluctuante en fonction des jours de pêche, de l'heure de la journée et surtout entre les deux campagnes (moyenne de 13°C en 2021 contre 19,9°C en 2022). Le pH moyen est de 7,52 (min=6,64 ; max=8,5). La conductivité est parfois très variable selon les zones avec une moyenne de 388,9 (min= 203 : max=660).

Analyse en Composantes Multiples sur les facteurs physiques des annexes

Une analyse en composante multiples (ACM) a été utilisée afin de mettre en évidence les relations entre les 7 variables descriptives disponibles pour les 139 stations et la présence ou non de brochetons de l'année (avec : surface de l'annexe, « SFR » ou densité en habitat favorable, communication avec le cours d'eau, profondeur moyenne, ensoleillement, pente des berges et vitesse d'écoulement de l'eau dans l'annexe).

Pour des raisons statistiques, 7 variables environnementales ont été retenues pour cette analyse et sont présentées dans la Figure 91.

Aide à la lecture d'une ACM

L'ACM est une technique d'analyse statistique descriptive visant à résumer l'information contenue dans un grand nombre de variables qualitatives afin de faciliter son interprétation
L'observation du placement des divers barycentres des variables nous renseigne sur la description globale du jeu de donnée. Plus une variable est excentrée plus elle est différenciée, plus elle est centrale et plus elle est commune ou homogène. La répartition entre les deux axes factoriels (x et y) des figures nous aide également à faire ressortir les différentes tendances.

5 dimensions sont projetées pour cette ACM (figure91), avec un pourcentage de l'inertie projetée de 55,63% sur les 5 premiers axes. Cette valeur relativement importante, témoigne de bonne prise en compte de l'information. Cette analyse apporte un certain nombre d'informations. **L'ACM révèle notamment que certaines variables semblent corrélées entres-elles et à l'inverse certaines autres variables ne le sont clairement pas** (Figure 91).

Ainsi vis-à-vis des variables entre elles :

- L'ACM révèle que la présence d'un recouvrement en substrat favorable (SFR compris entre 25 et 50% = code 2) semble intimement liée à la présence de pente douce (pente : code 1 et 2), d'une profondeur favorable (profondeur entre 0,25m et 1m = code 2) et à un ensoleillement fort (ensoleille : code 2).
- Le code 4 du paramètre SFR est excentré du jeu de donnée car les annexes avec une forte densité de substrats favorables étaient très peu représentées.

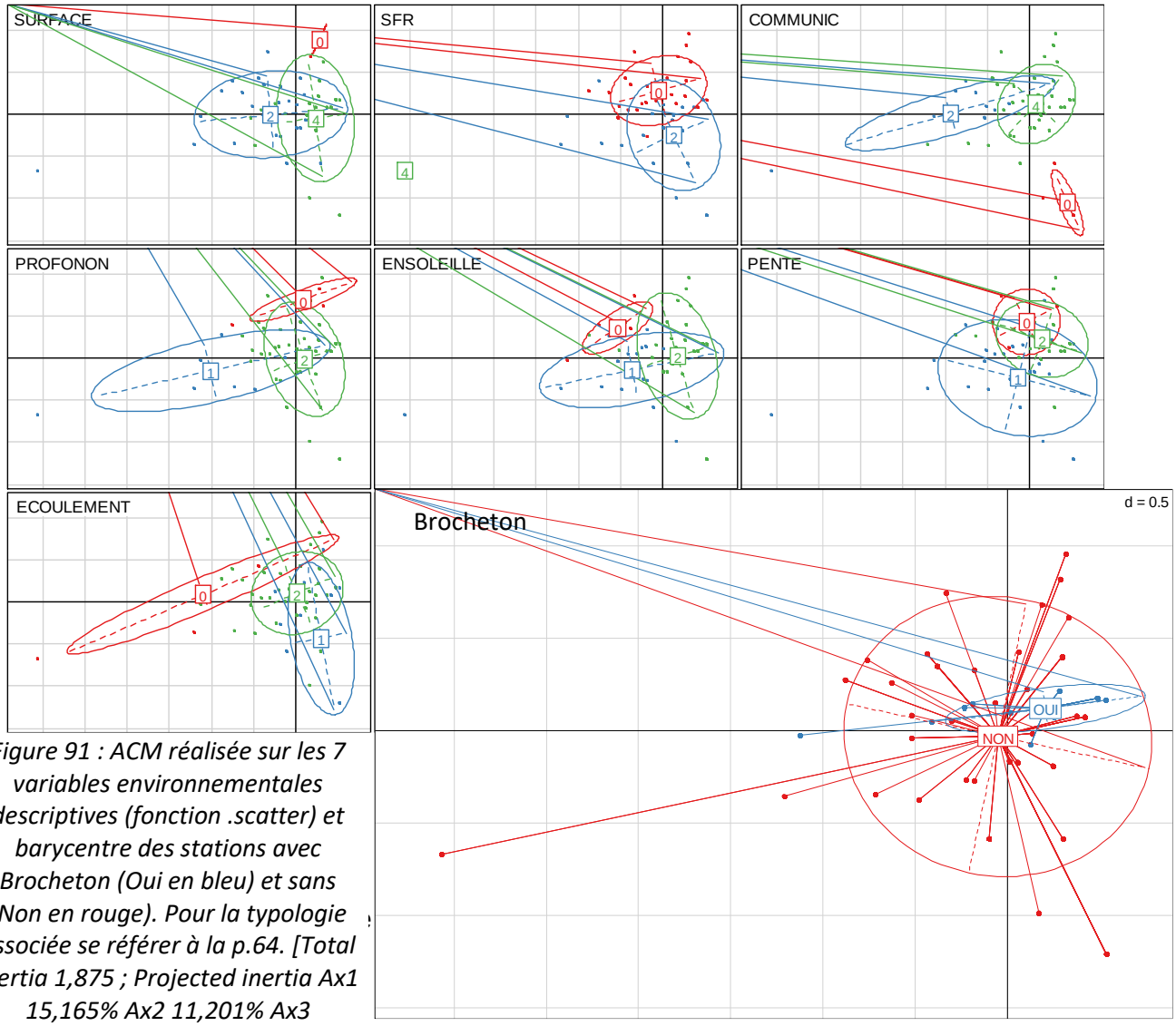


Figure 91 : ACM réalisée sur les 7 variables environnementales descriptives (fonction .scatter) et barycentre des stations avec Brocheton (Oui en bleu) et sans (Non en rouge). Pour la typologie associée se référer à la p.64. [Total inertia 1,875 ; Projected inertia Ax1 15,165% Ax2 11,201% Ax3 10,797%].

- Par rapport à la présence ou non de brochetons, les barycentres semblent tout de même superposés. Ce fait indique **une ressemblance possible entre les sites avec et sans brochetons**. Ainsi les variables descriptives du milieu n'expliquent pas tout. Certains sites sans brocheton sont similaires en termes de typologie d'habitats de certains sites avec brochetons.
- Néanmoins, il ressort tout de même que les sites présentant des brochetons semblent les plus corrélés (cercle bleu) avec :
    - Une bonne communication avec le cours d'eau (communication : code 4) ;
    - Un ensoleillement important (ensoleillement : code 2)
    - Une profondeur favorable (profondeur entre 0,25m et 1m = code 2)
- Plus étonnamment la présence de brocheton semble plus indépendante du paramètre « SFR » ou « pente ». Encore une fois, il est possible que cela soit dû à une relative homogénéité des sites (les barycentres des paramètres « pente » et « SFR » (code 0 et 2) sont très superposés. Comme vu lors du volet physique, les facteurs les plus problématiques sur les annexes de la plaine d'Alsace sont les SFR et les pentes des berges (qui sont majoritairement non favorable sur les annexes).

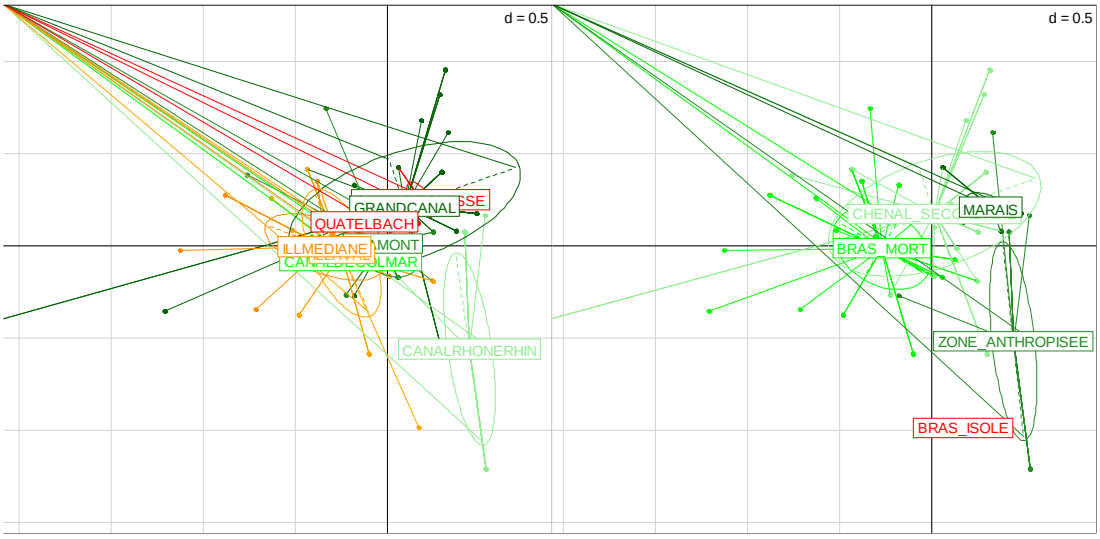


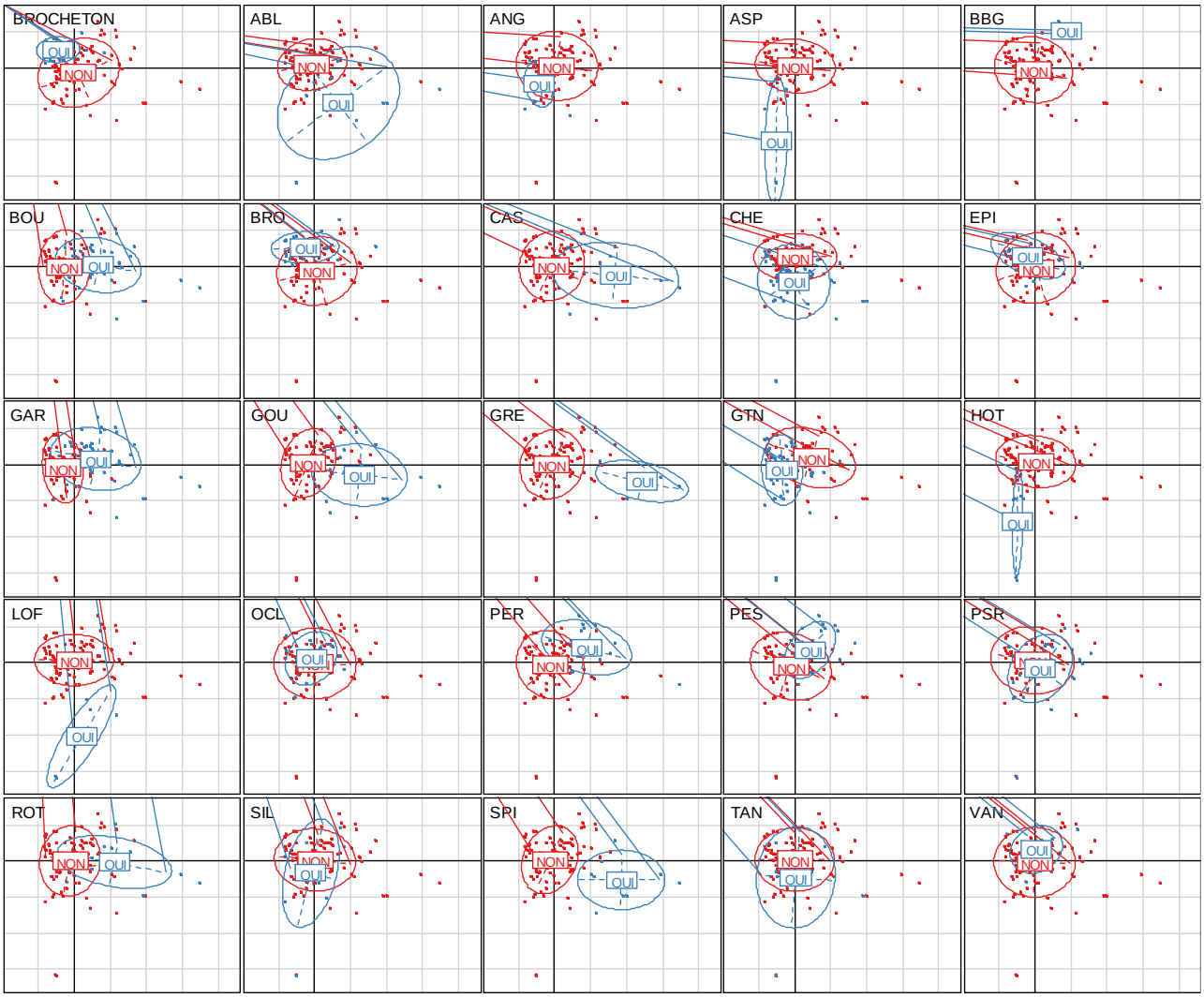
Figure92 : ACM réalisée sur les 7 variables physiques avec l'illustration des barycentres des secteurs (à gauche) et de la typologie des annexes (à droite) - (fonction s.class).

Si on compare les caractéristiques physiques par rapport aux secteurs ou à la typologie des annexes :

- Les barycentres de l'ensemble des secteurs (excepté le secteur « canal Rhône-Rhin ») sont très superposés. L'ensemble des barycentres appartenant à chaque secteur est fortement groupé au centre de la figure. Cette observation témoigne d'une relative homogénéité des annexes dans l'ensemble de la plaine. **En bref, des annexes similaires d'un secteur à l'autre peuvent être retrouvées, mais les annexes peuvent également présenter une grande diversité au sein d'un même secteur.**
- Seul le secteur « canal Rhône-Rhin » semble se départager des autres, avec des annexes de caractéristiques différentes.
- Au regard de la typologie, les chenaux secondaires et les bras mort sont au centre de la figure. Ils sont ainsi plus homogènes et peuvent présenter toutes sortes de caractéristiques physiques.
- Les marais, les zones anthropisées et les bras isolés sont plus spécifiques et se démarques des autres barycentres. En effet, leurs caractéristiques physiques semblent plus en lien avec leur nature que les bras mort et chenaux secondaire qui eux, peuvent présenter toutes sortes de caractéristiques. Par exemple :

- Les marais semblent plus corrélés à des profondeurs favorables (profondeur entre 0,25m et 1m = code 2), un écoulement faible (code 2), une bonne communication (code 4) et un ensoleillement favorable de par leur végétation basse (code 2). Les marais semblent en effet plus favorables au brochet au regard de la relative superposition du barycentre « marais » avec le barycentre « OUI » brocheton (en bleu).
- Les Bras isolés sont sans surprise, d'une moins bonne communication avec le cours d'eau (code 0).
- Les zones anthropisées semblent plus corrélées à un léger écoulement (code1), un ensoleillement fort (code 2) et divergent grandement des autres typologies.

Analyse en Composantes Multiples sur les occurrences des espèces de poissons



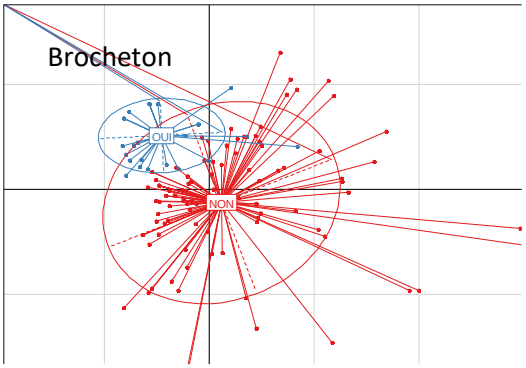


Figure 93 : ACM réalisée sur les variables d'occurrence des espèces de poissons. 24 espèces sont renseignées (avec exception des espèces rares - fonction. scatter). BRO représente la présence de Brochet adulte et BROCHETON de juvéniles (oui – non). [Total inertia 1 ; Projected inertia Ax1 13,42% Ax2 10,144% Ax3 8,641%].

Une ACM a été réalisée afin de mettre en évidence les relations entre les occurrences des 24 espèces de poissons pour les 139 stations avec la présence ou non de brochetons de l'année. 5 dimensions sont projetées pour cette ACM, avec un pourcentage de l'inertie projetée de 45,44% sur les 5 premiers axes. A l'aide de la figure 93, on note :

- Des barycentres des stations avec ou sans brochetons qui se démarquent plus fortement les uns des autres. Cette observation laisse transparaître **une différenciation des communautés pouvant être rencontrées dans les annexes avec brochetons par rapport aux annexes sans.**
- **La présence de brochetons semble ainsi être corrélée avec la présence d'assez peu d'espèces** exceptées : des autres brochets et des épinoches (et dans une moindre mesure, la bouvière et le chevesne). Ce trait peut permettre d'avancer l'hypothèse que les brochetons ne doivent pas être en compétition avec d'autres espèces sur les annexes de la plaine pour survivre. Par exemple la présence de carrassin, de grémilles, de *Pseudorasboras,* d'aspe, de black-bass, ou encore de spirlin semble être corrélée avec l'absence de juvéniles de brochets. Ce résultat semble logique de par l'impact que peuvent avoir des espèces à régime omnivore (et à tendance piscivore) sur des annexes souvent connectées toutes l'années au cours principal.
- Ces observations laissent entrevoir le fait que les annexes de la plaine peuvent avoir des disparités fortes quant à l'attractivité de certaines communautés piscicoles. **Certaines annexes seraient ainsi plus propices à la présence de certains taxons et pas d'autres selon leurs caractéristiques** (secteur, caractéristiques physiques et typologie).

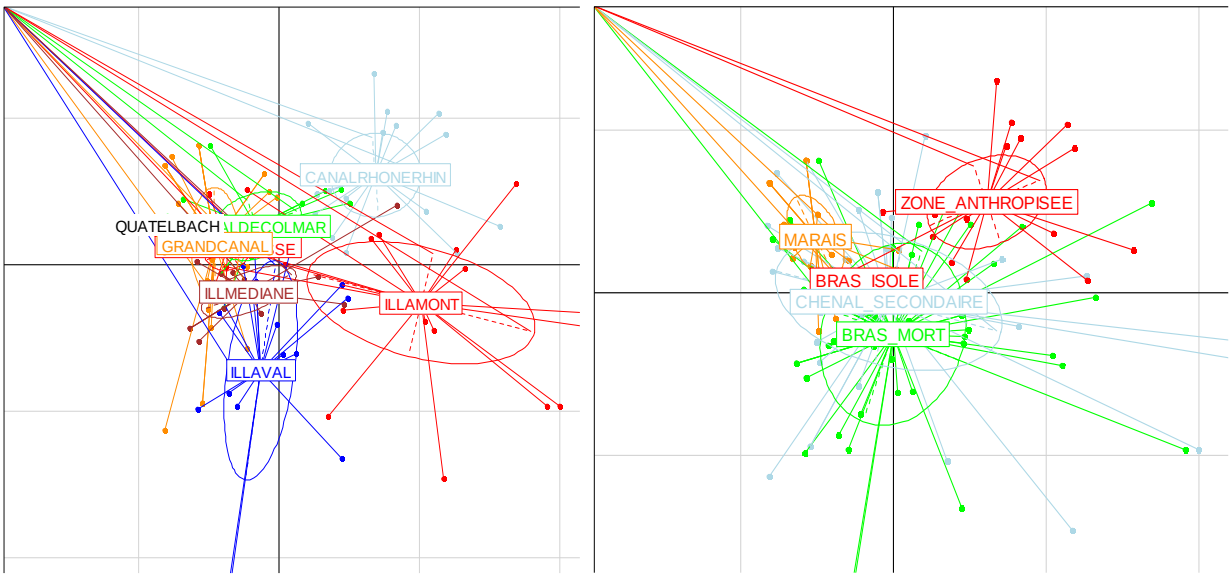


Figure94 : ACM réalisée sur les variables d'occurrence des espèces de poissons. avec l'illustration des barycentres des secteurs (à gauche) et de la typologie des annexes (à droite) - (fonction s.class).

En effet, au regard des barycentres des secteurs (figure 94 gauche) et des typologies d'annexe (figure 94 droite) :

- Les barycentres des secteurs : quatelbach, canal de Colmar, canal déclassé, et grand canal sont très superposés en haut à gauche. Cette observation peut témoigner de population de poissons plus homogènes et similaires entre ces divers secteurs. En effet, ces secteurs semblent plutôt corrélés à l'occurrence d'espèce comme : brochet, bouvière, chevesne, épinoche, gardon, gobie à taches noires, perche, tanche, vandoise ou silure.

- Le barycentre du secteur « canal Rône-Rhin » se démarque des autres (en haut à droite), ses populations semblent plus spécifiques avec des espèces telles que : black-bass, *Pseudorasbora*, perche soleil, rotengle, gardon ou carrassin.
- Les barycentres des secteurs de l'Ill divergent fortement des autres secteurs. Excepté « Ill médiane » (aux populations plus proches des secteurs canalisés), **les secteurs Ill amont et Ill aval se démarquent des autres secteurs mais aussi entre eux.** Les annexes de ces secteurs semblent présenter des population plus spécifiques et différentes.
    - Notamment pour « Ill aval » (en bas de la figure) : silure, tanche, loche franche, gobie à taches noires, hotu, ou aspe.
    - Notamment pour « Ill amont » (à droite de la figure) : spirlin, rotengle, perche, *Pseudorasbora*, gremille, goujon, gardon, carassin ou ablette.

Classification en Ascendance Hiérarchique sur les occurrences des espèces

Afin de rendre compte de ces observations et pour aller plus loin, une classification ascendante hiérarchique (CAH) a été réalisée sur le jeu de donnée (« espèces de poisson »), en complément de l'ACM.

Cette approche permet de regrouper les zones qui se ressemblent en « clusters » différenciés (Figure 95).

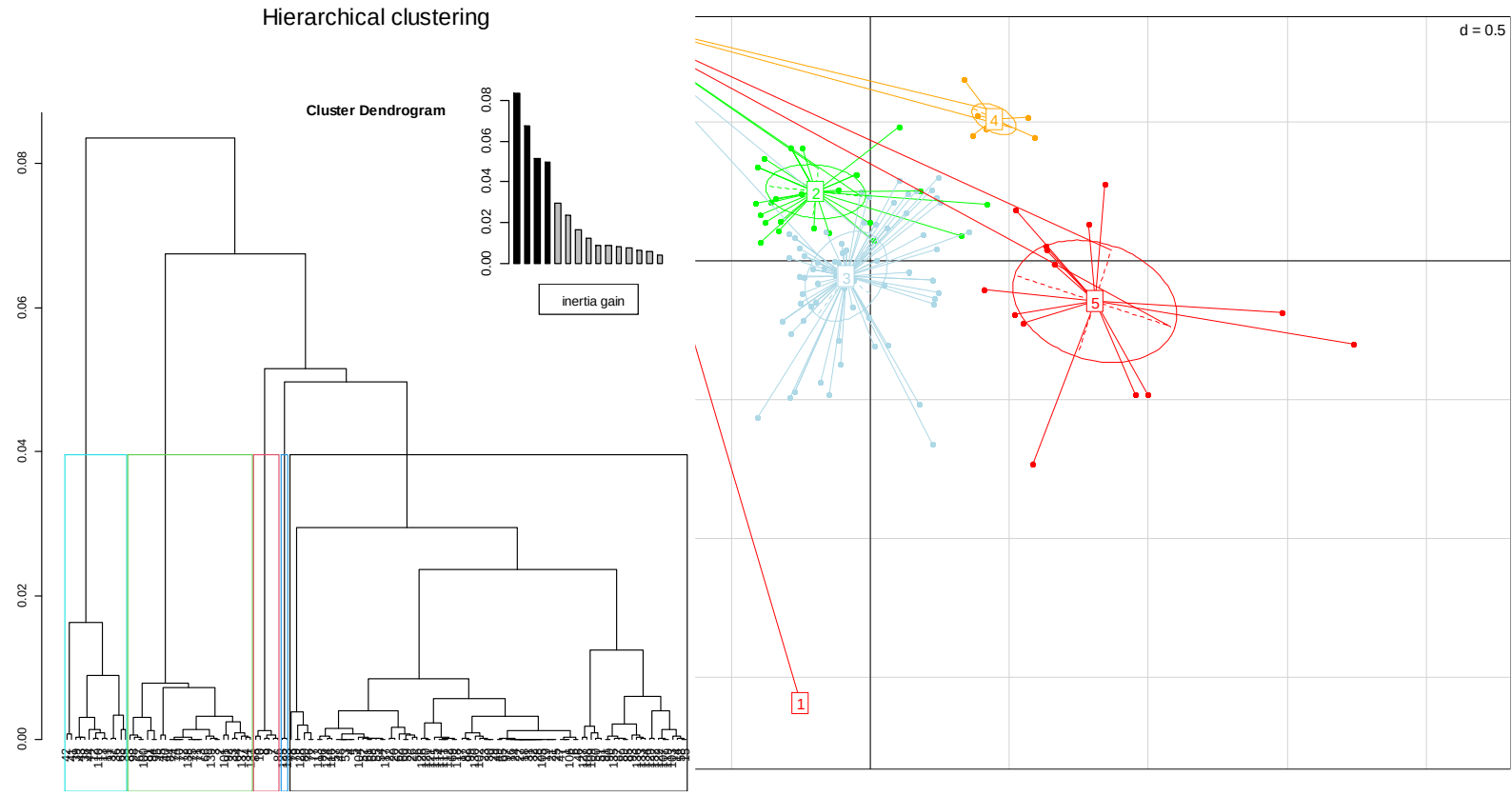


Figure 95 : Résultats de la classification ascendante hiérarchique (CAH) réalisés sur le jeu de donnée obtenue après l'ACM (dendrogramme à gauche – méthode de Ward et barycentre des clusters crées à droite).

La CAH permet **un découpage de la répartition des 139 IAB en 5 clusters bien différenciés.** Ainsi 5 groupes de variables sont observés avec les clusters 2 et 3 majoritaires.

Ainsi :

- Le cluster 1 est uniquement constitué de deux IAB appartenant à l'Ill aval et aux populations très divergentes des autres.
- Le cluster 2 est majoritairement constitué des stations ayant présentées des brochetons. Cette observation est particulièrement informative puisqu'elle **prouve que les stations avec brochetons sont différenciées des stations sans brocheton**.
- Le cluster 3 regroupe la majorité des stations, avec les populations des plus diversifiées et homogènes (aux taxons nombreux et couramment retrouvés).
- Le cluster 4 est très divergent des autres et regroupe surtout les stations situées sur le canal Rhône-Rhin à Montreux-Vieux. Ces stations ont présenté des populations très différentes des autres secteurs (notamment avec la présence du black-bass et de nombreuses espèces exotiques).
- Le cluster 5 semble principalement constitué de stations issues de l'Ill aval qui semblent spécifiques et divergentes des autres.

b) Focus Local

Les 13 sites présentés ci-après sont tous les sites où des juvéniles de brochets ont été dénombrés entre 2021 et 2022. Ces sites ont été sélectionnés comme :

- les plus importants à **préserver** (**sites efficaces** pour la reproduction du brochet) ;
- les plus important à **préserver et/ou optimiser** (**sites moyennement efficaces** pour la reproduction du brochet) ;
- les plus importants à **optimiser ou restaurer** (**sites peu efficaces** pour la reproduction du brochet).

➔ **Des recommandations d'actions plus détaillées sont listées dans le chapitre « perspectives ».**

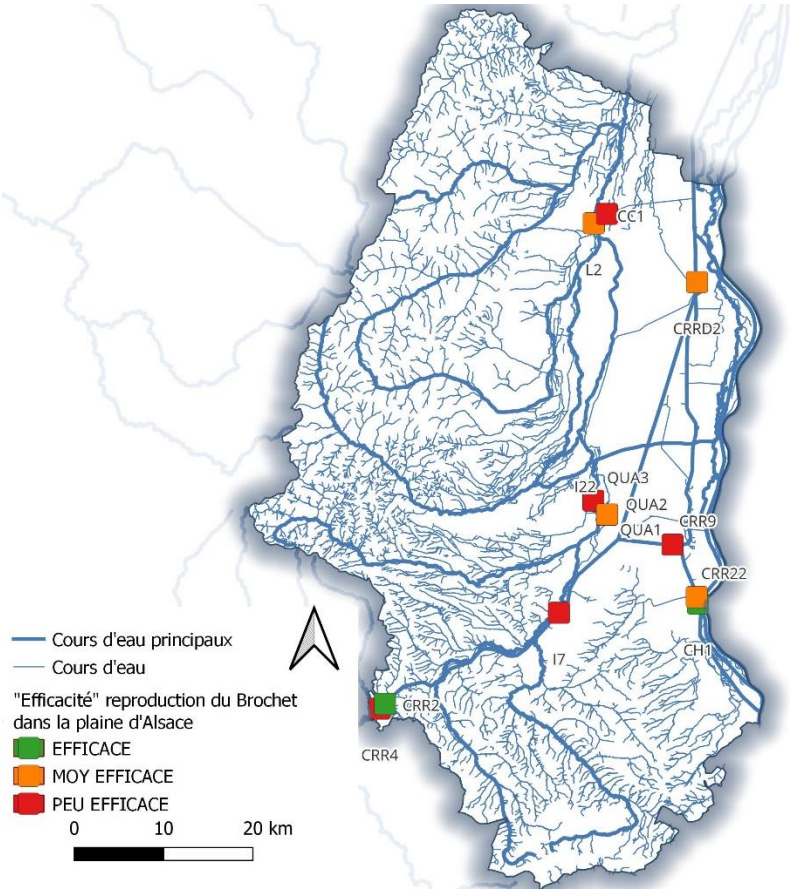
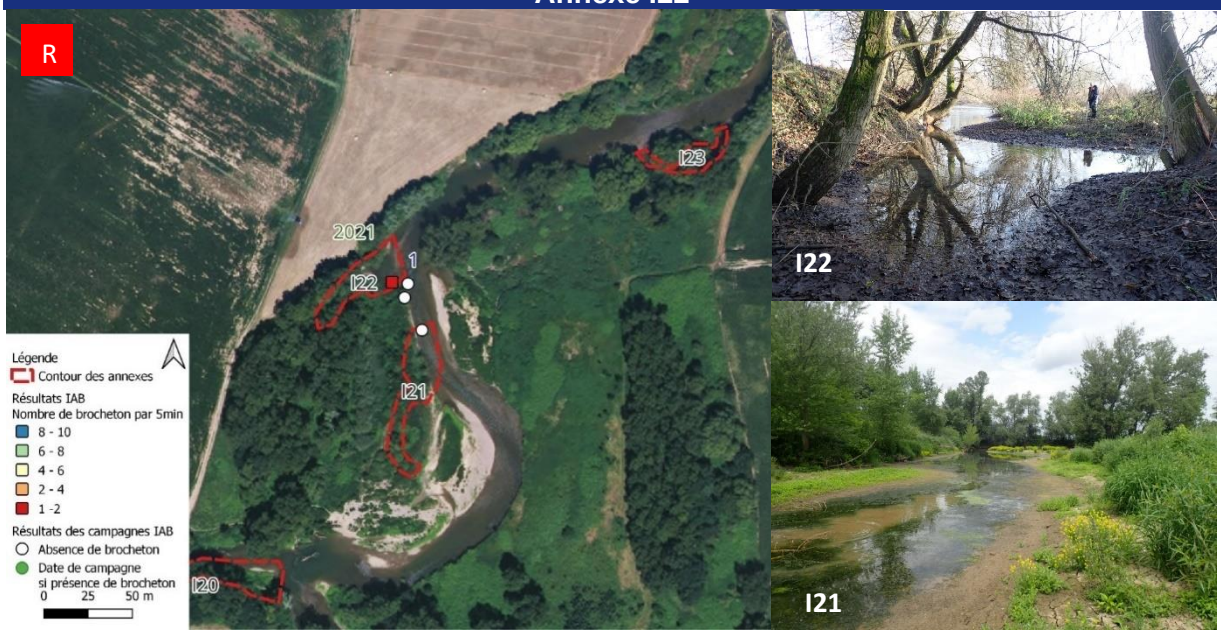


Figure 96 : « Efficacité » de la reproduction du brochet dans les annexes de la plaine d'Alsace.

Annexe I22



L'annexe « I22 » est un bras mort de 880m² qui se trouve sur le secteur de l'Ill médiane (commune de Ruelisheim). Situé en plein virage en rive gauche de l'Ill, cette annexe est très ombragée sous un couverte arboré et arbustif dense. Le secteur est très intéressant avec une zone méandriforme dans un cadre environnemental agricole et sans enjeu urbain. On note également la présence de traces de passages de castor. Mais 1 seul juvénile de brochet a été capturé à l'extrémité de l'annexe hydraulique en 2021 et pas en 2022. Ces observations rejoignent un manque de fonctionnalité de l'annexe tel que : couvert arboré trop dense, habitats peu favorable (litière de feuille et branchage), petite surface, hydrologie aléatoire (lessivage lors de crues trop important, niveau d'eau et durée de submersion très variables).
L'annexe voisine (I21) présente des habitats plus attractifs et un ombrage plus faible mais est situé plus au centre du lit majeur et est ainsi plus lessivé en période de crue.

Annexe I7

L'annexe « I7 » est un bras secondaire de l'Ill qui est au croisement aussi bien l'Ill que du canal du Rhône au Rhin (alimentation par le canal proche d'un seuil et confluence avec l'Ill en aval d'un ouvrage au cœur du lycée). Le bras traverse la propriété du lycée privé de Zillisheim. La densité d'habitats favorables est importante mais la gestion de la zone n'est pas forcément

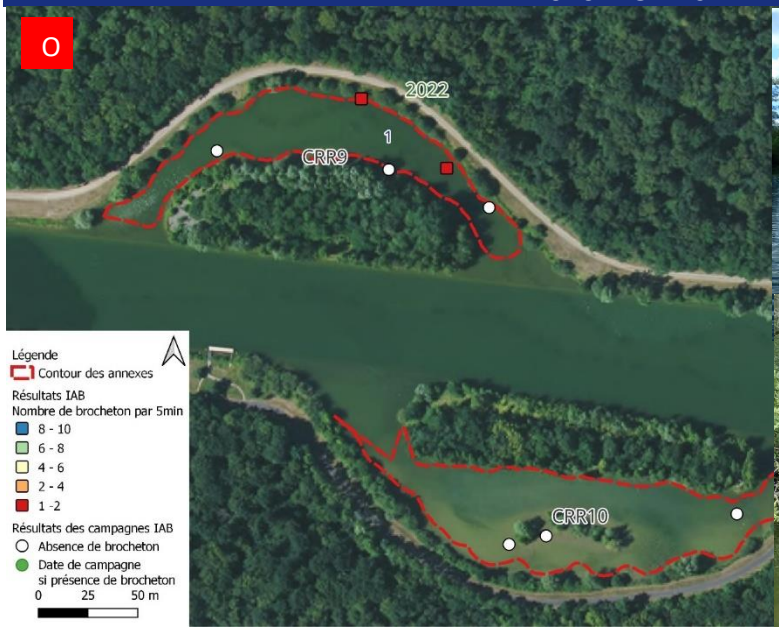
en cohérence avec le développement de ceux-ci. En effet, lié aux enjeux du site (protection des berges, public scolaire, zone urbaine, bras utilisé pour la pratique du canoé, etc.), les berges sont fréquemment coupées ou faucardées. Néanmoins un échange favorable a pu être réalisé sur le terrain avec les techniciens des espaces verts de la zone. L'échantillonnage a également fait l'objet d'une communication dans la gazette communale locale. En effet, le site étant situé en zone urbaine, les campagnes ont pu créer une certaine émulation du public. Un seul brocheton par année a pu être observé.

Annexe « CC1 »

L'annexe « CC1 » est un bras mort de 1130m² situé sur le canal de Colmar sur la commune d'Horbourg-Wihr. Cette annexe est issue de travaux de création en 2004 et d'un partenariat entre VNF et la FD68. Néanmoins la zone n'a jamais semblée totalement fonctionnelle et a été délaissée dans l'historique des structures avant la présente étude. L'annexe présente des enjeux en termes d'habitats favorables et un ensoleillement fort. Mais elle présente également des niveaux d'eau inadaptés et des berges aux pentes trop abruptes pour un développement optimale de la végétation hélophytique. 1 seul brocheton par IAB a été mis en évidence en 2021 et en 2022 dans les zones de touradon de *Carex*.
En parallèle de la présente étude, l'annexe « CC1 » a donc fait l'objet d'un diagnostic plus poussé en 2021 et des premiers travaux de restauration en maitrise d'ouvrage FDAAPPMA68 issus de l'étude, en automne 2022.
Plusieurs actions ont été réalisées en 2022 telles que :

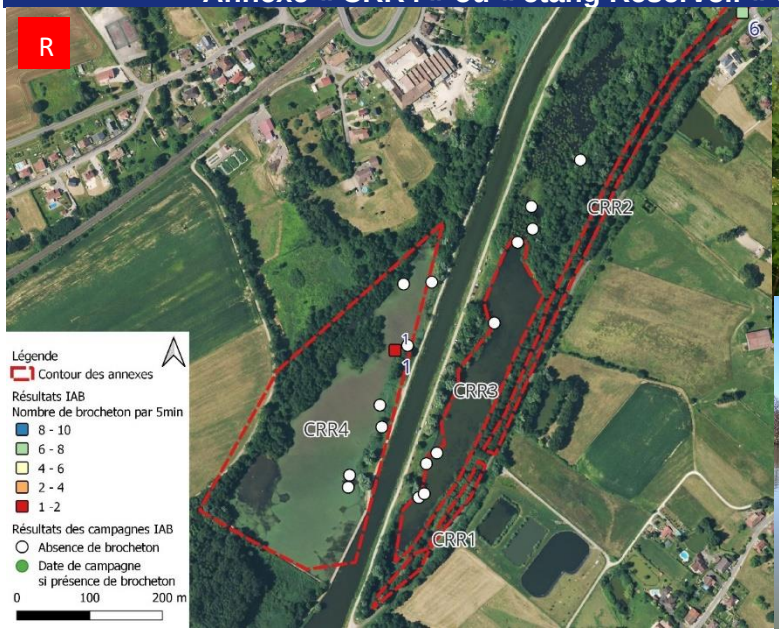
- Suppression du grillage encore présent (avec l'aide de l'AAPPMA « la fraternelle de Colmar ») ;
- Entretien de la végétation & ouverture du milieu (par Mathieu Elagage) ;
- Travaux de reprofilage, suppression de la connexion médiane et reprise des berges (par VNF) ;
- Sauvegarde des milieux et des habitats favorables (notamment Carex spp.) ;
- Pêche électrique (état initial et sauvetage – avec l'aide de l'AAPPMA « les truites de Colmar ») ;
- Réalisation d'un chantier bénévole (05/12/22) avec une quinzaine de participants pour la finalisation (valorisation des déchets de coupes, création d'habitats, de fagots et ilots) ;
- Plantation sur les deux berges d'essences plus adaptés (hélophyte bas : joncs, iris, Carex, etc. - par Nature & Technique) ;
- Réfection du chemin de halage (par Nature & Technique) ;
- Pose de panneau pédagogique sur le site (avec l'aide du lycée agricole du Pflixbourg).

Annexe « CRR9 »



L'annexe « CRR9 » est un bras secondaire séparé par un ilot sur le canal grand gabarit du Rhône au Rhin. De taille importante (une des plus grande avec 4980m²), l'annexe présente des habitats et des hauteurs d'eau variées. La zone centrale en eau est plus profonde (>1m) mais riche en hydrophyte (herbiers de cératophylle et myriophylle), tandis que les zones rivulaires sont moins profondes (plages de galets de 0,25m à 1m). Néanmoins la surface végétalisée réellement efficace reste assez minoritaire sur les berges, plusieurs grands touradons de Carex sont retrouvés mais ils sont très épars et les berges sont relativement rocailleuses. 1 brocheton par IAB (*2) ont été dénombrés (uniquement sous les grands touradon comme en illustration). Une optimisation intéressante de cette zone pourrait être proposée (apport de matière, ajout d'habitats et plantation).

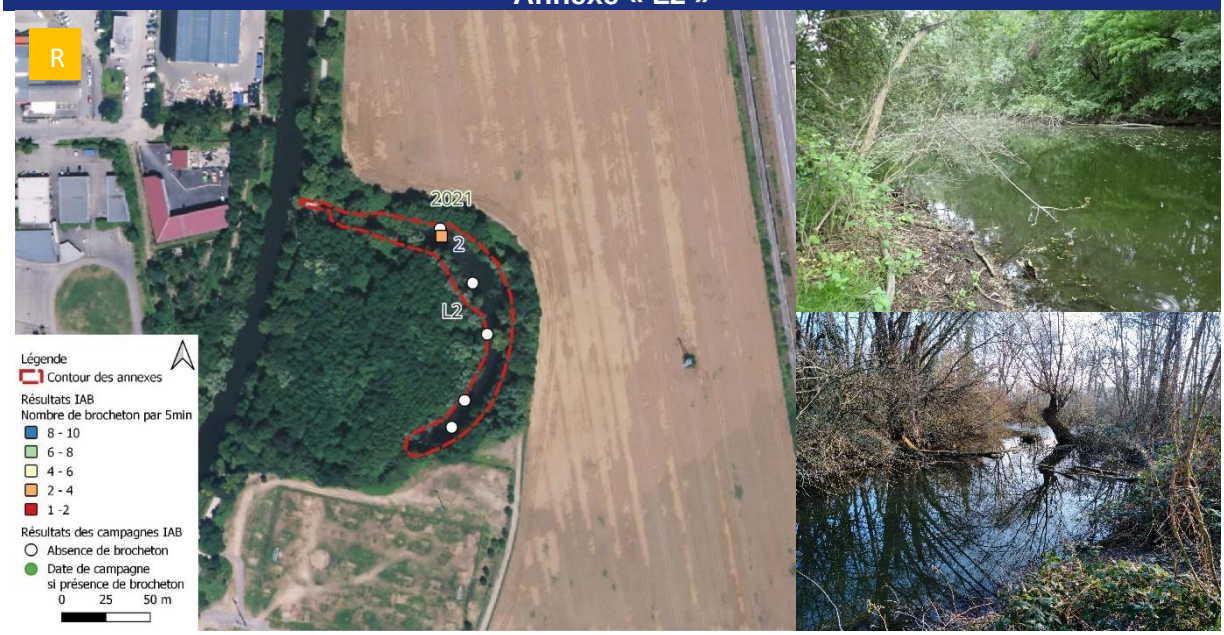
Annexe « CRR4 » ou « étang Réservoir » à Montreux-Vieux



L'annexe CRR4 ou « étang Réservoir » a fait l'objet d'une étude dédié en 2021 (avec le site « CRR3 » ou « étang du Pendu »). La connexion est franche avec le canal du Rhône au Rhin. Ces deux sites sont les plus grands de l'étude avec 6820m² pour le site CRR4. Si de prime abord les conditions semblent favorables à la reproduction du brochet (ensoleillement, berges en pentes douches et grande densité d'hydrophyte), plusieurs facteurs limitants sont

observés : l'étude bathymétrique a mis en évidence une très importante profondeur de vase dans le plan d'eau. De plus le site est pratiquement intégralement recouvert de châtaigne d'eau (*Trapa natans*) au cours de la saison (>80% en 2021). Cette plante flottante pourrait avoir un effet délétère sur les communautés de poissons (baisse de la luminosité, baisse de l'oxygénation, forte concentration en matière organique en décomposition). Enfin, de très importants effectifs d'espèces exotiques ont été observés dans les zones favorables au brochet (*Pseudorasbora* et perche soleil notamment). Un seul brocheton a été capturé en 2022 dans la grande roselière située à l'est (pourtant très favorable) alors que des effectifs conséquents de goujon asiatique ont été observés (*Pseudorasbora*). Si des actions de restauration du site peuvent être entreprise, il conviendra également de lier les actions avec une prise en compte des nombreuses espèces exotiques présentes sur site pouvant induire un déséquilibre.

Annexe « L2 »



L'annexe « L2 » est située sur la Lauch canalisée à l'est de la ville de Colmar. La Lauch canalisée rejoint ensuite un croisement entre l'Ill et le canal de Colmar quelques km plus en aval. L'annexe est un bras mort de 3500m² issu de travaux de création en 2008. Le niveau d'eau de l'annexe est administré artificiellement par une vanne (alimentée par un panneau solaire et pouvant être manœuvrée) et par le niveau du cours d'eau (directement tributaire du niveau de l'Ill au niveau de l'ouvrage en aval). Actuellement la zone évolue librement depuis des années et il n'existe plus réellement de gestion effective. L'annexe est très fortement boisée, présente un ombrage fort, des pentes moyennement douces et une profondeur >1m au centre. De nombreux habitats piscicoles intéressant sont observés (souches, bois morts, etc.) mais très peu d'habitats favorables à la reproduction du brochet sont présent. Deux brochetons ont été capturés sur quelque m² de végétation herbacée vers le centre de l'annexe, témoignant par-là de l'attrait de l'annexe pour l'espèce.
Le site présente des enjeux de restauration du fait de sa localisation et du contexte partenarial favorable.
Plusieurs facteurs défavorables sont ainsi observés sur le site, limitant par-là l'attrait du site. On note néanmoins de très importants effectifs de bouvière capturés sur le site.
Ce site fera l'objet d'un diagnostic pour poussé dans le cadre de travaux de restauration pour horizon 2023-2024. Les préconisations principales sont : ouverture franche du milieu, travail en déblais/remblais sur la rive Ouest, création de chenaux secondaires peu profonds (et sauvegarde du bras central plus profond).

Annexe « CRRD2 »

L'annexe « CRRD2 » est située sur le canal du Rhône au Rhin déclassé au niveau de la commune de Neuf-Brisach. L'annexe jouxte le canal et présente deux connexions franches. La zone est peu profonde et s'est peu à peu transformé en un marais/petit étang. Les berges sont fortement végétalisées et plusieurs arbres morts sont notifiés. Des surfaces favorables sont retrouvées sur la rive Nord et Sud avec des roselières denses et des iris. 5 brochetons ont pu être capturés chaque année sur les deux ans. La surface de l'annexe est relativement importante avec 4500m², néanmoins seule une faible proportion (>25%) de la zone présente des surfaces favorables. Le site présent des enjeux de protection voir d'optimisation fort avec les conditions qui semblent réunies pour offrir une zone très fonctionnelle (notamment si les surfaces favorables peuvent être augmentées).

Annexes du Quatelbach

Les trois **annexes du Quatelbach** (QUA 1, 2 & 3), sont localisées l'un à côté de l'autres au niveau de la commune de Sausheim. Ces annexes de type chenaux secondaires, sont de petite taille (entre 110 et 210m²). Elles présentent un couvert arbustif dense avec de nombreux arbres surplombant l'eau (aulnes, saules, noisetiers, etc.). Les surfaces favorables sont relativement faibles (>25%) et comprennent principalement des iris. Plusieurs brochetons ont

été échantillonnées sur des tapis de feuilles et branchages. Cette observation démontre de l'attrait des sites pour les géniteurs mais de l'utilisation « par défaut » des substrats présents. Les connexions avec l'Ill sont relativement proches et la zone pourrais être très intéressante (environ 1km en amont au niveau de Mulhouse pour rejoindre le canal déclassé plusieurs km en aval au niveau de Neuf-Brisach). Néanmoins aucun bail de pêche d'AAPPMA ne semble référencé dans le secteur (utile à débloquer avant toute action préalable).

Annexe « CRR22 »

L'annexe « CRR22 » est située sur le canal de Huningue à moins de 2km du canal du Rhône au Rhin et du grand canal d'Alsace. L'annexe présente donc une localisation intéressante au croisement de plusieurs grand milieux. La zone est moyennement profonde à peu profonde aux abords des berges. D'une surface de 3200m², la zone présente un attrait certains pour l'espèce avec la capture de 5 brochetons en 2022. Les captures ont été réalisées au Nord sur des touradons de *Carex* et au Sud de l'annexe sur les zones regroupant *Iris* et *Carex*. Des zones de haut fond sont également présentes, particulièrement favorables car permettant un réchauffement de l'eau. La zone est en réserve de pêche (baux de pêches AAPPMA d'Habsheim) et semble difficile d'accès, ce qui préserve par nature le site.

Annexe « CH1 »

L'annexe « CH1 » est une des plus grandes annexes (14 766m²) tout en étant la plus prolifique du département en termes de capture de brocheton (25 brochetons en 2022 et 5 en 2021). L'IAB ayant permis le plus de capture en 5min a été réalisé sur l'annexe en 2022 dans des zones de touradon de Carex (8brocheton en 5min). La plupart des autres brochetons ont été capturés dans des touradon de *Carex* ou des *Iris*. L'annexe présente une surface favorable importante avec :

- La présence d'Iris en berge, de nombreux touradon de *Carex* et des zones de roselières.
- Des zones de hauts fonds et des ilots végétalisés.
- Une connexion franche avec le canal de Huningue en deux point et l'absence de courant.

La zone la plus au Sud est fortement envasé et n'a pas été aussi prolifique que la zone Nord de l'annexe. Cette grande annexe et zone de marais reste clairement à préserver au vu de l'écart d'intérêt qu'elle présente par rapport à toutes les autres zones inventoriées.

Annexe « CRR2 »

L'annexe « CRR2 » est une annexe particulière puisque qu'elle consiste en une sorte de bras secondaire à l'interface entre le cours de la Suarcine et le canal du Rhône au Rhin. Ce contre-canal présente donc d'importantes difficultés de franchissement. En effet, les eaux de la Suarcine se déversent dans le contre canal (ainsi que les eaux de l'étang du Pendu par fuites), les eaux de ce contre canal coulent ensuite par un déversoir dans un bassin qui se déverse enfin dans le canal du Rhône au Rhin (cf figure 97). 6 brochetons ont été capturés en 5min dans une petite zone recouverte d'iris au centre de l'annexe. Aucune autre espèce hormis des brochets n'a été mis en évidence. Si des opportunités locales peuvent se débloquer vis-à-vis d'une possible reconnexion de la zone au canal, l'annexe pourrait être prioritaire en termes de restauration (reconnexion au canal). Malgré tout ces actions semblent peu probable du fait d'un important différentiel de hauteur entre l'annexe et le canal (chute au déversoir et ouvrage).

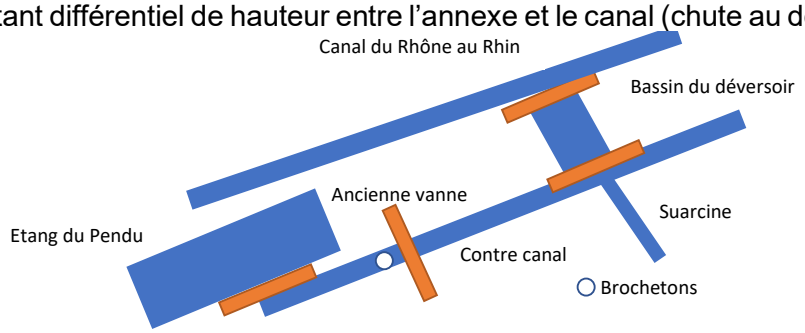


Figure 97 : Schéma du réseau hydrauliques en relation avec l'annexe CRR2 et le canal du Rhône-Rhin.

Ce qu'il faut retenir

- 139 inventaires par pêches électriques ont été réalisés sur 54 annexes hydrauliques dans la plaine d'Alsace Haut-Rhinoise entre 2021 et 2022.
- La présence de brochetons est mise en évidence sur 13 annexes différentes (20% des inventaires) sur les deux années 2021-2022.
- 31 espèces de poissons différentes sont observées sur les annexes de la plaine d'Alsace (68) avec :
    - Plusieurs espèces exotiques envahissantes ;
    - Plusieurs espèces patrimoniales.
- Globalement la reproduction du brochet est bien meilleure sur les secteurs canalisés que sur l'Ill (secteurs : « canal Rhône-Rhin », « grand canal » et « canal déclassé » notamment).
- Moins de 4% des annexes de l'Ill sont efficaces pour la reproduction du brochet. Cette observation met en lumière des problématiques de fonctionnalité pour l'espèce sur l'Ill Haut-Rhinoise.
- Les chenaux secondaires et les zones de marais sont les plus efficace pour la reproduction. Les groupements de joncs (touradon de *Carex spp*) sont les supports de reproduction principaux.
- L'efficacité de la reproduction est très variable selon les zones avec 3 tendances identifiés :
    - Les sites très peu efficaces ;
    - Les sites moyennement efficaces ;
    - Les sites efficaces.
- Les analyses statistiques indiquent que les sites avec brochetons sont bien différents des sites sans brochetons à travers plusieurs caractéristiques (population de poisson & caractéristiques physiques).
- Plusieurs sites ont été identifiés avec des proposition de gestion centrées autour de 3 axes :
    - Protéger ;
    - Optimiser ;
    - Restaurer.
- Cette approche de diagnostic a permis d'identifier précisément les zones de reproduction efficace du brochet. La prise en compte de ces observations sera utile à la mise en place de propositions d'actions.

VI. Discussion, Perspectives et Orientations de gestion

6.1. Identification des problématiques des annexes de la plaine d'Alsace

L'étude a permis de mettre en lumière un certain nombre de problématiques inhérentes aux annexes hydrauliques diagnostiquées dans la plaine Haut-Rhinoise. **Les principaux facteurs limitant la fonctionnalité des annexes sont** :

- Faibles surfaces favorables à la reproduction ;
- Ensoleillement faible ;
- Pente des berges abruptes ;
- Hydrologie et connectivité défavorable (sur l'Ill) ;
- Densité et taille d'annexe faible sur certains secteurs rectifiés.

6.2. Proposition d'actions

3 grands axes de travail sont ainsi proposés à travers des actions de :

a) **Préservation** ;
b) **Correction** (ou Optimisation) ;
c) **Restauration**.

a) Préservation

Les actions de **Préservation** visent à éviter les impacts. L'étude a permis d'identifier des **zones fonctionnelles et efficaces** pour la reproduction du brochet. La protection et la sauvegarde des zones efficaces pour la reproduction du brochet est prépondérante afin d'éviter leur disparition.

Les principales actions de préservation pouvant être proposées sont :

- L'incorporation des zones de frayères efficaces dans un « arrêté préfectoral frayère ». En 2023, une réflexion conjointe est lancée avec la DDT et l'OFB afin de consolider un arrêté frayère permettant d'identifier et de sauvegarder plus efficacement les zones de reproduction du brochet (entre d'autres espèces).

- La maîtrise du foncier des zones à fort intérêt. La gestion conservatoire de zones à enjeux identifiés est l'une des méthodes les plus efficace et protectionniste mais elle nécessite une maitrise du foncier (parfois complexe à acquérir).

- La mise en place d'un arrêté préfectoral de biotope (APB). Sur des plus grands secteurs à enjeux, le déploiement de zones en arrêté de protection biotope peut être pertinent.

- La sanctuarisation de certains sites vis-à-vis de la pêche. La sanctuarisation des sites à enjeux vis-à-vis de la pêche de loisir peut aussi être pertinent notamment à travers la mise en place de « réserve de pêche » où la pêche est interdite. D'autres mesures règlementaires vis-à-vis de la pêche de loisirs peuvent également être listées (linéaire en « no-kill » - gestion patrimoniale – réorienter la pression de pêche ailleurs ou sur d'autres espèces – sensibilisation – opération de garderie).

Les actions de préservation sont recommandées sur les annexes identifiées comme présentant :

- Une **bonne fonctionnalité** physique ;
- Une **reproduction de brochet efficace à moyennement efficace**.

b) Correction

Les actions de **Correction (ou d'optimisation)** visent à réduire les impacts. L'étude a permis d'identifier des **zones moyennement fonctionnelles et moyennement efficaces** pour la reproduction du brochet. L'émergence d'actions correctives à ambitions modérées semble pertinente sur ces sites où seulement 1 ou 2 facteurs limitants sont identifiés.

Les actions de correction pouvant être proposées sont :

- Opération de sensibilisation des propriétaires, gestionnaires ou maitre d'ouvrage. La modification de certaines pratiques peut parfois être suffisante afin d'amener un gain important aux écosystèmes (fauche tardive - coupes sélectives - entretien raisonné de la ripisylve – « guide des bonnes pratiques » - meilleure prise en compte de la biologie des poissons dans les projets – plan de gestion).

- Préconisation de gestion des espaces autour des annexes. En effet, l'environnement immédiat des annexes peut jouer un rôle sur le fonctionnement de celles-ci. Des mesures simples à mettre en œuvre peuvent avoir un impact important sur certains facteurs limitant comme la surface favorable à la reproduction :
  - Limiter au maximum l'artificialisation des berges ;
  - Laisser les habitats favorables des annexes plutôt bordés de prairie. En effet, la fauche régulière des berges ou l'embroussaillement des berges empêchent le maintien des touradons de Carex (principaux supports de reproduction) dans le temps ;
  - Limiter les intrants de polluants ;
  - Campagnes de ramassages de déchets.

- Mise en place de Chantiers Nature. La mise en place de chantier nature ou chantier participatif présente de nombreux avantages parmi :
  - un coût de mise en œuvre relativement faible ;
  - un bénéfice écologique élevé par rapport aux coûts engagés ;
  - une composante fédératrice avec la présence de bénévoles des AAPPMA ou de partenaires ;
  - une dimension de sensibilisation dans le cadre des journées de travaux (grand public, communes...) ;
    - La typologie d'actions pouvant faire l'objet d'un chantier nature est très varié. Quelques tests ont pu être réalisés sur des annexes hydrauliques (comme : diversification d'habitats – mise en place de fagots – coupes sélectives – nettoyage de déchets – plantation - enlèvement d'embâcles – etc.).

➔ **Les actions de correction sont recommandées sur les annexes identifiées comme présentant** :
  - Une **fonctionnalité** physique **moyenne à faible** ;
  - Une **reproduction de brochet moyenne à peu efficace** ou **inexistante**.

➔ L'émergence d'un programme de chantier nature apparait comme complémentaire aux actions de restauration. **La FDAAPPMA68 planifie de déployer un programme interannuel de chantier nature à partir de 2023**.

c) Restauration

Les actions de **Restauration** visent à supprimer les impacts. L'étude a permis d'identifier des **zones faiblement fonctionnelles et inefficaces** pour la reproduction du brochet ainsi que les principaux axes de travail. L'émergence d'actions de restauration à plus haute ambition semble pertinente sur ces sites où un ensemble de facteurs limitants est identifié. La création de zones supplémentaires peut également être envisagée (*ex nihilo*) sur les secteurs où la densité d'annexe est faible.

Les actions de restauration pouvant être proposées sont :

- Assistance à Maitrise d'Ouvrage, partenariats & sensibilisation des maitres d'ouvrage. La FDAAPPMA68 peut apporter conseil et expertise aux maitres d'ouvrage. Ceci afin de permettre une meilleure prise en compte des enjeux piscicoles ou pour mutualiser des moyens et des compétences ;

- Travaux de restauration écologique en maitrise d'ouvrage. La mise en place de travaux de restauration ambitieux est nécessaire au vu des résultats. Les types d'actions de restauration écologique sont multiples et variés. Selon les spécificités du projet, plusieurs actions pourront être combinées afin de répondre au mieux aux problématiques/pressions rencontrées.

Les travaux en rivière et en lit majeur sont soumis à la loi sur l'eau et les milieux aquatiques du 30 Décembre 2006 et au Code de l'Environnement (L214-1 à L214-6). Tout projet d'installations, d'ouvrages, de travaux ou d'activités (dit « IOTA ») ayant un impact sur l'eau et les milieux aquatiques doit faire l'objet d'un dossier « loi sur l'eau » suivant deux types de procédures : la Déclaration ou l'Autorisation.

➔ **La FDAAPPMA68 planifie de restaurer au moins une annexe hydraulique par an.** Les actions de restauration plus lourdes peuvent aussi être, selon les cas, complémentaires de Chantiers Nature.

d) Typologie d'actions

Les actions de restauration écologique adaptées au contexte des annexes hydrauliques de la plaine d'Alsace sont listées ci-après sous la forme d'un « tableau typologique ».

L'objectif n'est pas de fournir un recensement exhaustif des propositions d'actions par annexes mais bien de proposer les principaux axes de travail à développer. En effet, un diagnostic plus poussé sera nécessaire dans le cadre de la rédaction du « dossier loi sur l'eau » ou pour consolider l'avant-projet d'une zone en particulier (réalisation de mesure topographique, analyse des niveaux d'eau, cartographie précise des habitats, inventaires complémentaires, plan des aménagements, etc.). La réalisation d'un état initial est indispensable pour évaluer et caractériser dans le détail les interventions à réaliser.
Ces actions doivent également faire l'objet de suivi post-travaux.
Majoritairement les travaux de restauration d'annexes devront cibler :

- L'ouverture du milieu ;
- La mise à niveau des côtes d'eau ;
- Le retalutage des berges en pentes douces.

Les interventions sur la végétation, dans le lit du cours d'eau ou dans l'annexe doivent se faire en dehors de la période de nidification des oiseaux (AP du 7 mai 2012 – interdiction travaux sur les haies su 15mars au 31juillet inclus) et des poissons (frais des salmonidés de janvier à mars en 1er catégorie et frais des autres espèces d'avril à juillet en 2eme catégorie piscicole). La période la plus propice au déploiement de travaux est ainsi en générale comprise entre aout et octobre (cf tableau en annexe).

Les actions sont listées ci-après par compartiment : habitats – ripisilve – berges – connectivité & environnement.

Compartiment	Actions	Pressions	Objectifs	Actions	Préservation	Correction	Restauration
Habitats	**Création d'habitats**	Faibles surfaces favorables à la reproduction (<25%) Pour rappel les groupements végétaux les plus favorables sont : 1-graminées immergés (dans le cas d'ennoiement du site) 2-touradons de *Carex spp* 3-complexe pérenne d'hélophytes (*Phalaris*, *Rumex*, joncs, Glycéries) 4-complexe pérenne d'hydrophyte (Myriophylle, Cératophylle, etc.)	Favoriser la diversité des habitats Augmenter la surface favorable à la reproduction Augmenter la surface de recouvrement des végétaux favorables Augmenter le potentiel d'accueil de l'annexe (larves, juvéniles et adultes reproducteurs)	Plantations d'essences adaptées Plantation d'hélophytes à plusieurs étagement (haut de berge, zone médiane et pied de berge) Création d'habitats ou de caches pour les juvéniles (ilots, fagots, arbres morts, tronc, etc.)		x	x
	Terrassement	Niveau d'eau inadapté (trop important ou trop faible)	Favoriser la diversité des habitats Permettre l'attractivité de la zone pour les géniteurs Permettre la compatibilité entre les niveaux d'eau et le développement des œufs & larves (30-60cm) Permettre la dévalaison des juvéniles et empêcher le piégeage des individus	Création de microtopographies (étagement, ilots, zones de hauts fond) Création d'un chenal de ressuage plus profond Travaux de terrassement en déblais/remblai - apport de matière - ou export de matière selon les sites			x
	Agrandissement d'annexe	Surface de l'annexe faible	Augmenter la surface de l'annexe (plus favorable à partir de 1500m²) Augmenter la surface de l'interface terre-eau	Travaux de terrassement Création de zones supplémentaires favorables Créations de dépressions pour augmenter la surface de nurseries Création d'agrandissement de l'annexe (emprise foncière)			x
	Création d'annexe	Densité d'annexe faible	Augmenter la densité d'annexes Augmenter l'efficience du réseau d'annexe	Travaux de création d'annexe hydrauliques			x

Tableau 13a : Typologie d'actions de restauration sur les habitats.

Compartiment	Actions	Pressions	Objectifs	Actions	Préservation	Correction	Restauration
Ripisilve	**Plantation d'une ripisylve adaptée**	Ripisylve absente ou discontinue	Favoriser la diversité des habitats Limiter l'érosion Création d'ombrage modéré (limiter l'eutrophisation, limiter la prolifération algale, limiter le réchauffement des eaux)	Plantations d'essences adaptées Suivi nécessaire sur plusieurs années (remplacement des plants morts, restauration éventuelle des paillages, désherbage au pied du plan)		x	x
	Ouverture du milieux	Ripisylve trop dense (ombrage trop important)	Augmenter l'ensoleillement Favoriser le réchauffement des eaux Favoriser le développement des supports végétaux de ponte et de croissance Favoriser le développement de la nourriture (zooplancton & invertébrés)	Elaguer la ripisylve localement, effectuer des coupes sélectives d'éclaircies tronçonnage sélectif des arbres vieillissants Ouverture franche du milieu (L'aménagement peut paraître traumatisant pour le milieu mais la végétation recolonise le site rapidement. En outre, cela évite de multiplier les travaux d'entretien en agissant uniquement tous les 5 à 10 ans) Exemple : La coupe de saules en têtard est un bon compromis pour préserver des zones d'ombres sans limiter l'ensoleillement		x	x
	Entretien et restauration de la ripisylve	Ripisylve inadapté (diversité - age)	Retrouver les fonctionnalités de la ripisylve (ombrage, rôle épuratoire, stabilisation des berges, habitats, nourriture) Diversification de la ripisylve	Plantations d'essences adaptées Coupes sélectives		x	x
Berges	**Retalutage**	Pente des berges abruptes	Favoriser la diversité des habitats Favoriser le developpement naturel de végétation favorable (helophyte & hydrophyte) Limiter la sensibilité à l'érosion	Retalutage des berges en pentes douces			x

Tableau 13b : Typologie d'actions de restauration sur la ripisilve et les berges.

Compartiment	Actions	Pressions	Objectifs	Actions	Préservation	Correction	Restauration
Connectivité & niveau d'eau	**Reconnexion**	Annexe déconnectée Niveau d'eau incompatible Problème de périodicité Annexe en eau trop longtemps (+1an) Annexe pas suffisamment en eau (40jours) Débits/écoulements trop importants	Réussite de la phase de reproduction Réussite de la phase de développement larvaire Réussite de la phase de croissance et de dévalaison des juvéniles	Travaux de terrassement, retalutage ou curage Abaissement du fond de l'annexe pour favoriser son ennoiement Création d'un chenal de ressuage plus profond Retirer les atterrissements pouvant contraindre la connexion Réduction des écoulements, protection contre les flux			x
Envirronement	**actions de sensibilisation ou de protection**	Pollution diverses	Réduire ou lutter contre les pollutions	Enlevement des déchets Actions de sensibilisation Actions de surveillance	x	x	
		Batillage & navigation	Réduire les impacts du batillage (parfois très néfaste sur les pontes)	Creation d'annexe en "peigne" Brises vagues ou protections Suppréssions des entrées latérales ou Isolement des zones favorables		x	x
		Artificialisation des espaces naturels	lutte contre l'artificialisation des sols	Actions de sensibilisation Actions de surveillance	x	x	
		Disparition des zones humides	Préserver les zones humides existantes Rétablir la fonctionnalité des zones humides	Restauration et préservation des zones humides	x	x	x
		Isolement des populations absence de continuité écologique	Favoriser le brassage génétique des populations piscicoles reconnectées Favoriser le rétablissement de la libre circulation des espèces aquatiques Permettre la réactivation de la dynamique du cours d'eau Augmenter le potentiel de régénération naturelle de l'écosystème Valoriser la fonction paysagère du cours d'eau	Restauration de la continuité écologique (trame verte et bleu) et sédimentaire Actions de prévention et de sensibilisation	x	x	x
		Menaces diverces	Mesures protectionnistes	Inclusion dans un arrêté préfectoral frayère Inclusion dans une ZIB Création d'APB Maitrise foncière	x		
		Pression de pêche trop importante	Mesures de conversation de la ressource	Réserve de pêche Reglementation adapté	x		
		Espèces Exotiques Envahissantes	Rediversifier la ripisylve Favoriser l'implantation d'espèces indigènes Limiter la colonisation ou Supprimer la présence de des invasives si possible pour supprimer les impacts associés	Travaux à réaliser depuis l'amont vers l'aval Plusieurs stratégies peuvent être envisagées selon le stade de croissance et de colonisation	x	x	

Tableau 13c : Typologie d'actions sur la connectivité, les niveaux d'eau et sur l'environnement externe lié à l'annexe.

e) Priorisation des secteurs d'actions

Après analyse de l'ensemble des données, il convient de proposer une méthode de priorisation des actions de restaurations pour aboutir à une planification cohérente des actions de gestion sur la zone d'étude. Au vu du nombre de sites et leur étendue géographique, il n'est pas possible de définir des mesures spécifiques à chaque annexe. **L'objectif est plutôt de proposer une méthodologie pour orienter le choix d'un site à restaurer.**

La plaine d'Alsace Haut-Rhinoise comprend 8 secteurs dont 3 secteurs qui concernent l'Ill (amont – médiane – aval).

A cette échelle, il convient de prioriser ces secteurs afin d'orienter le choix des sites à restaurer. Au-delà de la fonctionnalité à proprement parler des annexes hydrauliques, leur densité au sein d'un secteur est également un paramètre à prendre en compte pour permettre de prioriser les actions. L'objectif est d'identifier les zones en déficit pour s'en occuper en priorité afin que la densité d'annexe soit suffisante selon les secteurs.

L'objectif de cette démarche est qu'à termes, le brochet (et les espèces accompagnatrices) puissent trouver suffisamment de sites fonctionnels pour se reproduire au sein de chaque secteur. Les secteurs sont classés selon leur densité en annexes hydrauliques (tableau 14). De manière générale, plus la densité augmente, plus les tronçons contiennent au moins un site à fonctionnalité « bonne ». Néanmoins, les sites présentant une bonne fonctionnalité sont très minoritaires dans le Haut-Rhin (<11%). A titre de comparatif, Humbert, dans son étude centrée sur la Moselle de 2014 à 2017, considère une densité d'annexe inférieur à 1 par km comme faible (Humbert et al. 2017). Dans le cas de la plaine d'Alsace, la densité maximale en annexe par secteur est de 1/km (sur l'Ill amont).

Le Brochet n'est pas une espèce morphologiquement adaptée pour franchir des obstacles, ses capacités de saut étant limitées. Les ouvrages transversaux de type barrages ou seuil contraignent ses déplacements dans la rivière dès que leurs hauteurs atteignent quelques décimètres (Chancerel, 2003). Ces ouvrages peuvent servir de point de repère pour définir des zones d'actions par biefs.

Tableau 14 : Classements des secteurs selon leur densité en annexe hydraulique.

					NBR ANNEXE					
Secteurs	**Nombre d'annexe**	**Surface d'annexe (m²)**	**Linéaire étudié**	**Densité**	**BON**	**MOYEN**	**FAIBLE**	**MAUV**	**AVEC BROCHETON**	**Priorité de restauration***
CANAL DECLASSE	2	5500	40	0,05		2			1	
CANAL DE COLMAR	4	9400	24	0,17		2	2		2	
CANALRHONERHIN	5	20115	22	0,23	2		2	1	2	
QUATELBACH	3	395	9	0,33		1	2		3	
ILL MEDIANE	13	27902	24	0,54	1	7	5		1	
ILL AVAL	21	46977	30	0,70	1	8	12		0	
GRAND CANAL	22	46077	28	0,79	3	7	12		3	
ILL AMONT	17	16925	17	1,00	3	4	9	1	1	
Total général	87	173291	194	0,47 (moy)	10	31	44	2	13	

Remarques :

- La particularité de l'étude est :
  - de prendre en compte des secteurs de canaux artificiels.
  - d'avoir des secteurs artificiels qui présentent une densité d'annexes supérieure aux secteurs naturels.
  - d'avoir des secteurs naturel (Ill) également très fortement aménagé.
- Un débat peut donc être amené sur la pertinence de hiérarchiser des secteurs artificiels avant des secteurs naturels (Ill). Mais au vu des résultats (situation de l'espèce sur les secteurs naturel – situation de la fonctionnalité faible des annexes des secteurs naturels – hydrologie locale – etc.) et des particularités citées ci-dessus, la priorisation des tronçons artificiels a également du sens. En conclusion, il a donc été choisi de scinder la priorité de hiérarchisation des secteurs de canaux en parallèle de ceux de l'Ill comme suivant :

Secteurs artificiels	Priorisation	Secteurs naturels	Priorisation
CANAL DECLASSE	1	QUATELBACH*	0*
CANAL DE COLMAR	2	**ILL MEDIANE**	1
CANALRHONERHIN	3	**ILL AVAL**	2
GRAND CANAL	4	**ILL AMONT**	3

- **Le choix du secteur pourra être fait en fonction des opportunités locales en alternance entre les secteurs artificiels et secteurs naturel.**
- Le secteur du Quatelbach a été échantillonné par opportunisme et semble intéressant en termes de priorité. Mais ce secteur n'est pour le moment couvert par aucun bail de pêche de la FDAAPPMA68 ou des AAPPMA. Ce secteur est ainsi mis en marge des autres pour le moment.
- Si on prend en compte le nombre d'annexe avec brocheton en plus de la densité seule, l'ordre sera le suivant : Ill Aval - Canal Declasse - Ill Mediane - Ill Amont - Canal De Colmar - Canal Rhone-Rhin – Quatelbach - Grand Canal

3 modes de hiérarchisation paraissent donc pertinents pour cibler les secteurs d'action avec :

- Hiérarchisation par densité d'annexes ;
- Hiérarchisation par alternance secteur artificiel/secteur naturel ;
- Hiérarchisation par secteurs pauvre en frayère efficace.

f) Choix d'une annexe à restaurer

❖ Annexes hydrauliques et AAPPMA

12 AAPPMA se partagent les lots de pêche sur le linéaire étudié. Selon la taille de leurs lots de pêche et leur position sur le cours d'eau, il paraît évident que certaines d'entre elles seront plus concernées par la réalisation de travaux de restauration. Choisir une AAPPMA peut permettre de faciliter le choix des secteurs à restaurer. Ce paramètre est notamment à prendre en compte pour l'émergence d'action de type « chantier nature » pour dynamiser le réseau associatif.

❖ Démarche pour choisir un site

Une fois le secteur choisi en fonction des priorités établies, les annexes hydrauliques présentes sur son linéaire sont sélectionnées selon leur fonctionnalité. Au vu des retour d'expérience (Humbert, 2017), **il parait plus pertinent de travailler sur les sites dont la fonctionnalité est évaluée comme moyenne ou faible**. D'autres paramètres doivent également être pris en compte comme : la balance cout/gain écologique, la présence

d'ouvrage proches, la morphologie locale du cours d'eau, etc. L'outil de priorisation est utile en tant qu'aide à la décision mais il est aussi très souvent pertinent de travailler « à l'opportunité ». C'est-à-dire de prendre en compte des contextes locaux favorables ou facilitateurs (partenaires intéressés, privés ou gestionnaires fonciers volontaires, démarchage des AAPPMA, etc.).

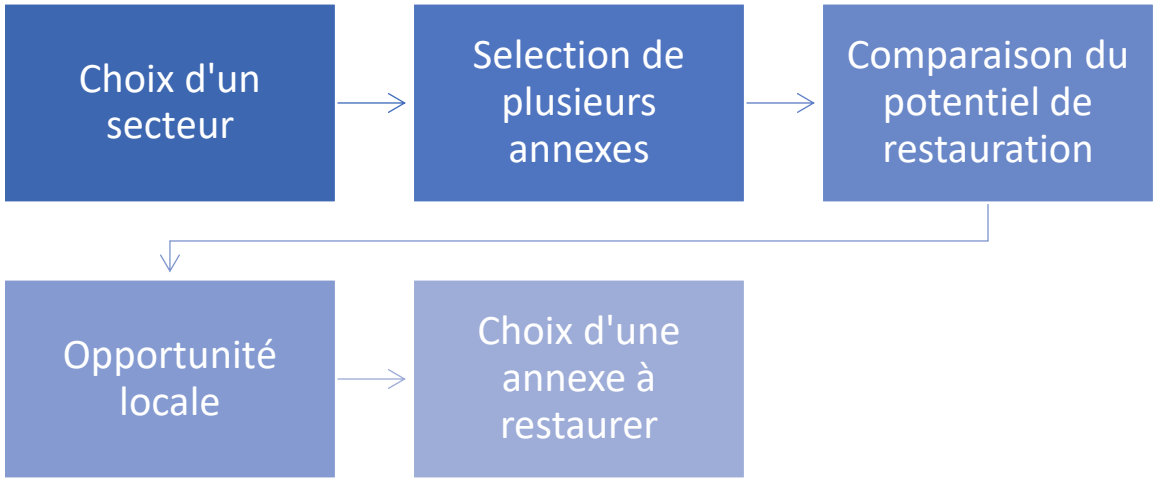


Figure98 : Schéma résumant la démarche de priorisation pour choisir un site à restaurer.

➔ **En fonction de l'ensemble des critères énoncés, un « code » de priorisation entre 1 et 5 est attribué à chaque annexes au sein de la base de données « annexe hydraulique » de la FDAAPPMA68.**

Ce sont ainsi :

- 29% des annexes qui sont notifiées en priorisation 1 ;
- 26% des annexes qui sont notifiées en priorisation 2 ;
- 21% des annexes qui sont notifiées en priorisation 3 ;
- 15% des annexes qui sont notifiées en priorisation 4 ;
- 1% en priorisation 5 et 8% en priorisation 0 (zone à protéger donc à ne pas restaurer ou zone hors périmètre d'action).

Les proportions sont globalement assez proches entre les sites à priorisations 1, 2 et 3. La majeure partie des annexes sont notifiées comme « à restaurer » (68%), 28% à « optimiser » et 5% à « protéger ».

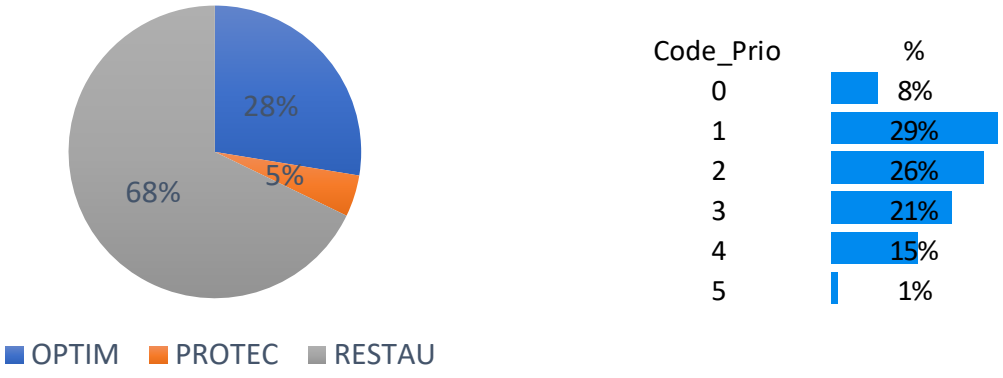


Figure 99 : Proportion des actions proposées et des divers codes de priorisations.

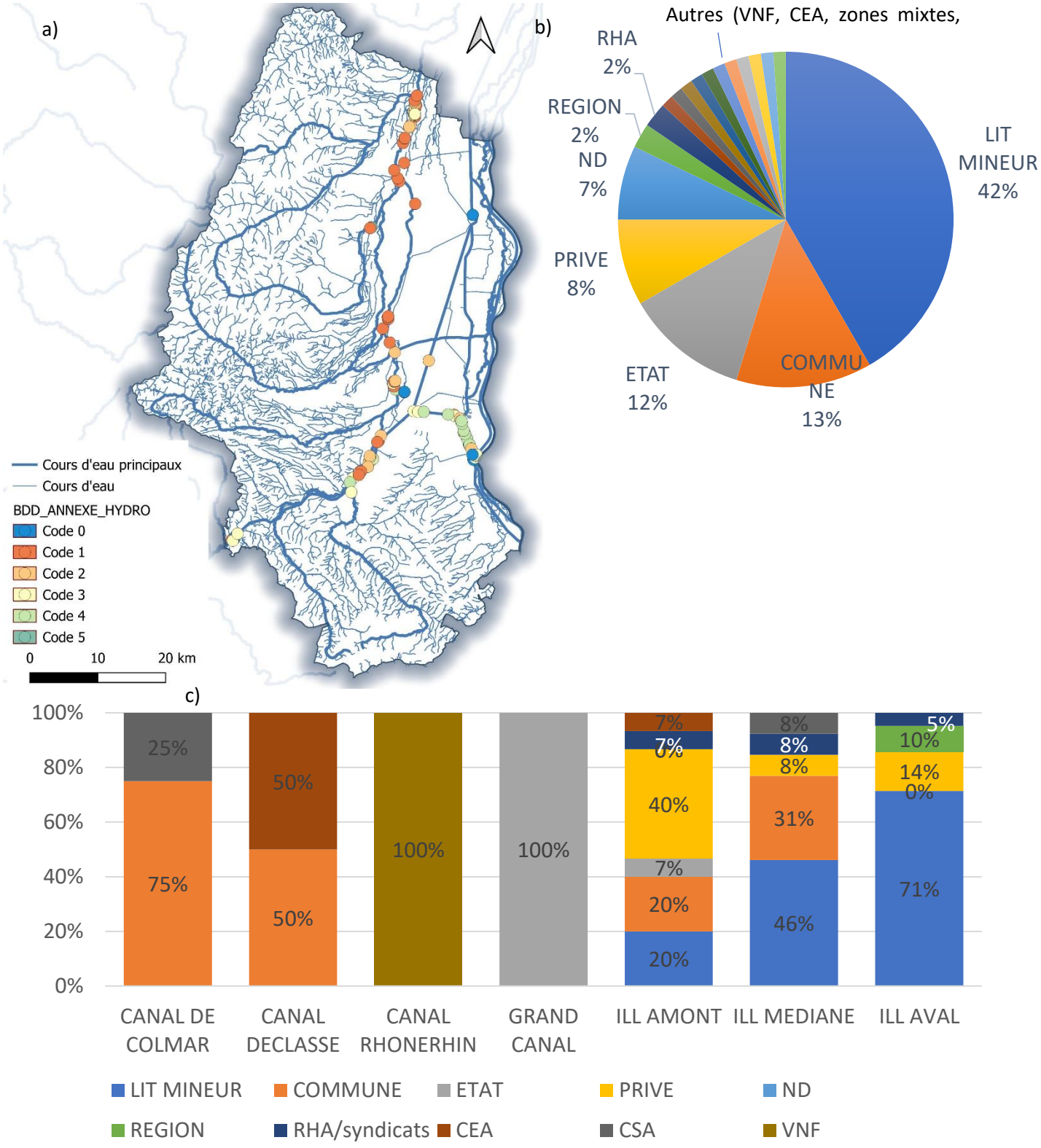


Figure 100 : Localisations des annexes en fonction de leur priorisation d'action (en a), proportions des types de propriétés foncière des annexes (en b), proportion des types de propriété par zones.

Afin de faciliter le choix des sites à sélectionner, une analyse des propriétés foncières est proposée. Cet exemple met en avant une grande disparité de type de propriété par zones mais aussi par code d'action. Globalement, les secteurs canalisés sont sous maitrise foncière de l'état ou de VNF alors que les sites sur l'Ill sont très disparates.

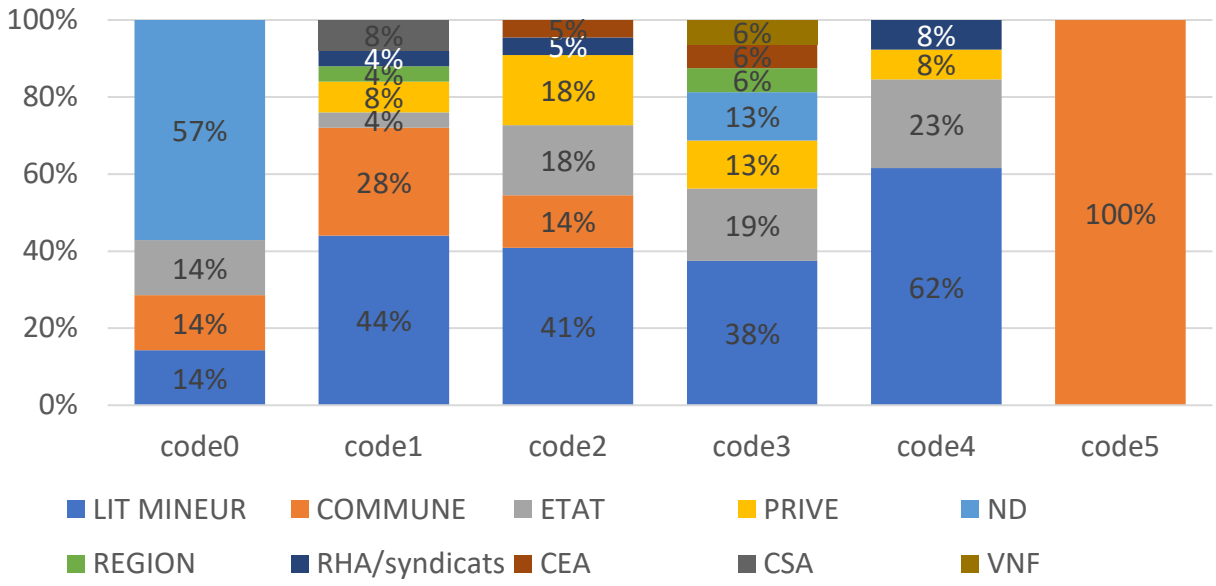


Figure 100bis : proportion des types de propriété par code de priorisation.

La propriété foncière est prise en compte dans l'attribution du code de priorisation. De fait, les annexes s'étant vu attribuée un code 1 ou 2 (à sélectionner à court terme), sont majoritairement localisées sur des propriétés publiques (commune, région ou état), certains sites sont également en gestion conservatoire (code1).

Remarque : On note que dans la zone d'étude l'ensemble des linéaires étudiés sont classés comme « **cours d'eau domaniaux** » (*excepté l'Ill amont et médiane*).
Lorsque la typologie « lit mineur » est renseignée :

- Si le cours d'eau est dit domaniaux, la maitrise foncière relève de l'état (ou aux communes selon les cas mais reste « publique ») ;
- Si le cours d'eau est non-domanial (Ill amont et Ill médiane), la maitrise foncière relève du propriétaire en rive droite ou en rive gauche selon la localisation de l'annexe par rapport au milieu du lit mineur.

Ces informations seront utiles lors de la sélection des annexes à restaurer (définition du programme d'action) & lors de la phase d'émergence de projet de restauration qui s'en suit.

a) Mesures de gestion complémentaires

❖ Alimentation de la base de données

La **base de données cartographique** produite dans le cadre de l'étude sera utilisée comme support de travail et outil de choix pour les sites à restaurer. Cette base de données sera régulièrement mise à jour en fonction des avancements des différents projets ou si des annexes supplémentaires venaient à être ajoutées au recensement initial. Cette base de données pourra également être valorisée via des exports réalisés sur demande auprès des partenaires (sous couvert d'une convention d'échange).

❖ Suivi post-travaux

Les actions de restauration doivent faire l'objet de suivi post-travaux. Il convient en effet de réaliser un suivi post-travaux pendant 3 à 5 ans, pour évaluer l'efficience des actions engagées afin d'augmenter la fonctionnalité de l'annexe hydraulique. Chaque Fédération départementales du bassin Rhin-Meuse utilise actuellement sa propre méthode de suivi mais

l'UBRM a été sollicité pour proposer une méthodologie minimale standardisée à l'échelle du bassin Rhin-Meuse. Les suivis pourront faire l'objets de fiche « retour d'expérience » selon les cas.

❖ Le suivi hydrologique et thermique

Certains sites restaurés pourraient faire l'objet d'une surveillance particulière par un suivi des niveaux d'eau et de la température afin de vérifier le bien fondé des aménagements. Le suivi peut aussi être envisagé d'être en temps réel et consultable à distance via l'utilisation des sondes SQUAMA de la Fédération.

❖ Actions de communications

La mise en lumière des actions de restauration de la FDAAPPMA68 ou de ses partenaires semble également pertinente. **Un volet ayant trait à la communication, la sensibilisation et à la pédagogie peut et doit être lié aux projets.** A titre d'exemple les premiers projets de restauration d'annexe prennent en compte la pose de panneaux explicatifs sur site.

❖ Augmentation de la capacité d'accueil dans le cours principal

Figure 101 : Arbre mort sous lequel des brochets ont été observés de nombreuses fois

L'augmentation de la densité d'annexe ou de la fonctionnalité de celle-ci doit permettre d'augmenter la capacité de production du brochet. Néanmoins il apparait pertinent d'œuvrer en parallèle sur **l'augmentation de la capacité d'accueil des milieux** (capacité d'accueil en adulte dans le cours principal). Le PDPG donne un certain nombre d'indications sur les capacités d'accueil du milieu dont les données seront à remettre à jour dans les années à venir. Pour le moment la capacité d'accueil semble supérieure à la capacité de production, mettant ainsi en exergue l'intérêt de restaurer la fonctionnalité des annexes en premier lieu.

A titre d'exemple, Chancerel (2003) propose plusieurs types d'actions comme l'entretien de la ripisylve et la création d'anses propices au développement des hydrophytes. D'autres auteurs comme Grimm (1983) indiquent que la présence d'abris à une influence sur le nombre de brochets de plus de 50cm. Ainsi, le nombre et la biomasse de brochets (adulte) peut être augmenté par : la création ou l'élargissement des zones occupées par des types de végétation immergée subsistant et par la construction d'obstacles en eau libre et profonde (arbres morts, caches, sous-berges, etc.).

❖ Augmentation de la capacité de production dans les annexes

Figure 102 : exemple d'ouvrage de gestion pour des casiers hydrauliques (UFBAG 2014)

La restauration de frayères naturelles, telles que les annexes hydrauliques, doit être poursuivie dans les contextes piscicoles où la capacité de recrutement en brochets est faible. D'autres études telles que celle de Cormont et al. (2020) démontre l'efficacité de ces travaux lorsque les variables environnementales favorables pour le frai sont présentes.

Notre étude a mis en avant des secteurs fortement dégradés vis-à-vis de la capacité de production du brochet. Dans les cours d'eau dégradés ou les zones plus anthropisées, les retours d'expériences démontrent l'intérêt de ne pas omettre de prendre en compte la restauration de frayère dont le niveau d'eau peut être géré artificiellement (Nilsson et al. 2014). Dans un tel contexte ce type d'aménagement peut être étudié.

Dans certains cas, l'utilisation d'anciennes zones artificielles pouvant être réhabilitée en annexe hydraulique attractive peut être intéressant. Cela peut être de cas d'étang, d'ancien plan d'eau, de bassins d'ornements, de ballastières, etc. Un exemple réussi de transformation de ce type a été réalisé sur l'étang de Reuche par la FDAAPPMA55.

Figure 103 : Schéma d'une frayère aménagée avec un système de régulation de la hauteur d'eau (Skov et al. 2018).

Dans d'autres cas, notamment dans les secteurs exempts d'annexe ou à la densité faible, la création d'annexe *ex nihilo* est pertinente. L'avantage de ce type d'opération est de pouvoir modeler le milieu de manière à avoir une configuration optimale pour la reproduction du brochet. Par exemple, Farrell et al. (2016) ont mis en évidence une production plus importante de brochets (650 juvéniles/ha) dans des frayères créées de poches d'eau connectées par des chenaux à la rivière que dans des sites existants restaurés.

❖ Opérations de repeuplement

Le repeuplement en poissons d'espèces diverses pour la pêche est une pratique encore très courante des AAPPMA. L'introduction d'individus supplémentaires dans le cours d'eau apparait souvent comme une opération simple, évidente et aux résultats assurés (Chancerel 2003). Pourtant, il est actuellement bien documenté que les poissons issus de repeuplement sont soumis aux mêmes exigences que les poissons provenant du milieu naturel. Il n'est donc pas possible d'améliorer durablement les effectifs d'une population avec des introductions à un stade qui entraînera une confrontation aux facteurs limitants du milieu aquatique (Chancerel 2003). Les résultats de ces opérations sont fréquemment assez aléatoires. **D'une manière générale, il apparaît que le renforcement des densités de brochets par repeuplement est difficile quel que soit le stade de développement utilisé pour les déversements.**

A titre de comparatif, l'étude de Cormont et .al (2020) a permis de suivre un contingent de 100 brochets par radiopistage sur plus d'un an (avec des brochets sauvages et des brochets issus de déversement). Si globalement les comportements des brochets semblent similaires entre sauvage et domestique (les brochets issus de déversement ont légèrement plus tendance à dévaler). En revanche, le taux de capturabilité des brochets issus de déversement est bien plus important que celui des brochets sauvages. Plus de 80 % des brochets issus de pisciculture avaient quitté le secteur d'étude en moins de 200 jours. Au total environ 50 % des brochets de repeuplements suivis ont été capturés (de manière certaine ou probable) par les pêcheurs, ce qui démontre que cette pratique permet de répondre à une demande halieutique.

Néanmoins, dans les cours d'eau où une phase du cycle de vie du brochet est compromise, (comme des secteurs très artificialisé), des repeuplements ciblés peuvent être envisagés après qu'une expertise du milieu ait été réalisée (sur l'aptitude à la production de brochetons, la capacité d'accueil pour les juvéniles et pour les adultes). L'expertise doit prendre en compte les trois niveaux de croissances de l'espèce : stade alevin/fingerling – stade fingerling/juvénile – stade subadulte/adulte (Chancerel, 2003). Par exemple, si la capacité d'accueil en juvéniles est inférieure à la capacité d'accueil en adulte, l'introduction de subadulte peut compenser les pertes par capture des pêcheurs.

Les effet des lâchers de brochets ont notamment fait l'objet d'une thèse récente (Guillerault, 2017). Il semble ainsi que les juvéniles ont un très faible potentiel d'augmentation de la taille d'une population bien établie mais permettent de maintenir l'espèce dans des zones où elle n'est pas ou plus présente naturellement. Les lâchers de brochets sont plus efficaces lorsque le recrutement naturel est faible ou absent et lorsque les individus sont plus grands. La probabilité de présence du brochet est augmentée par la présence de lâcher sur le tronçon (occurrence) mais pas la taille de la population considérée. Mais il est possible que les lâchers aient une certaine efficacité, en particulier les lâchers de juvéniles lorsque la reproduction n'est pas bonne (Guillerault, 2017). Les lâchers peuvent donc avoir une certaine efficacité pour l'amélioration du loisir de pêche, au moins à court/moyen terme.

Afin de diminuer la pression de pêche sur les cours d'eau, il peut être envisageable de concentrer les opérations de repeuplement de brochets dans des eaux closes dédiées au développement halieutique et qui présentent un intérêt modéré pour la conservation de l'espèce.

Enfin, la possible participation des brochets de repeuplement à la reproduction pose également question vis-à-vis de pollution génétique des populations naturelles, impact de plus en plus documenté (Guillerault, 2017 ; Cormont et al. 2020).

❖ Règlementation halieutique

A l'échelle de la France, des dispositions du Code de l'Environnement sont prises afin de protéger l'espèce Brochet à travers des périodes de fermeture de sa pêche et des limitations de prises (nombre et taille). Selon les mesures prises par les préfets de départements, des modifications locales sont possibles. Bien souvent, ce sont les retours d'expérience locaux qui tendent à insuffler des changements de règlementation généraux.
Dans le département du Haut-Rhin, la réglementation fixe actuellement la taille minimale de capture à 60cm et le quota à 1 brochet maximum par jour/par pêcheur (2023).
En effet, l'application de mesures pouvant limiter la mortalité de l'espèce est souvent plus efficace que les mesures visant à augmenter les stocks (Rogers et al 2010).

De nombreuses pistes de réflexions peuvent être envisagées afin de protéger la ressource, telles que :

- Protection des zones de frayères ou des zones de vulnérabilité (aval d'ouvrage) à travers des actions de mise en réserve ;

- Réorienter la pression de pêche (si elle est jugée forte) vers d'autres espèces ;

- Diversifier les zones de pêches afin d'étaler la fréquentation ;

- Réaliser des interdictions de prélèvement localisées (parcours dit : « no-kill »).
  Si cette pratique est de plus en plus mise en avant par certains pêcheurs de manière volontaire, les gestionnaires peuvent aussi l'imposer à travers la mise en place de parcours « no-kill » inscrit par arrêté préfectoral. Néanmoins cette mesure peut également présenter des limites tel que : la diminution du taux de capture lié à l'apprentissage des poissons et la nécessité de mise en place de bonnes pratiques (remise à l'eau favorable). Une bonne solution est la mise en place de zone de no-kill « tournante ou mobile » (pendant plusieurs années sur une zone avant de changer) ;

- La mise en perspective de la règlementation basé sur la taille minimale de capture (TMC). En effet, la réglementation actuelle vise à protéger uniquement les jeunes individus (TMC fixée à 60cm dans le Haut-Rhin). Or, cette mesure semble présenter des effets délétères de plus en plus documentés. Le constat est celui d'une diminution des effectifs de gros individus lors de l'application d'une TMC ; observation ayant notamment fait l'objet d'une thèse récente (Guillerault 2017). De plus, ce sont les plus grands poissons (souvent des femelles) qui présentent le plus fort taux de fécondité et de dépose d'œufs (Field et al. 2008, Hixon et al. 2014). En ce sens, ce sont les plus grands individus qui ont le plus d'impact dans le recrutement des nouvelles générations. En définitive, une protection à base de maille dite « inversé » ou de « double maille » semble particulièrement pertinente au vu des résultats très positifs observés en France et dans le monde.

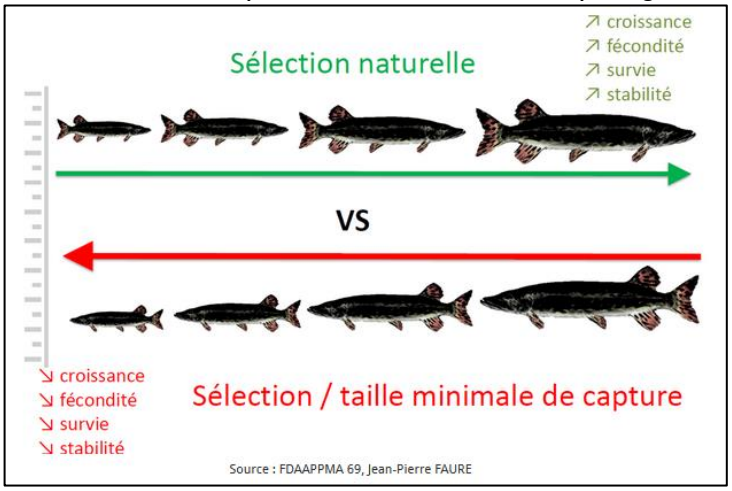


Figure 1 : schéma illustratif des pressions apposé sur une population en comparant sélection naturel et sélection par TMC.

VII. CONCLUSION

L'année 2022 marque la troisième année du lancement de l'étude des annexes hydrauliques de la plaine d'Alsace de la FDAAPPMA68 (2020-2022). **La concrétisation durable de ce plan d'inventaire & de diagnostic** déployé à l'échelle de la plaine du Haut-Rhin **a permis une acquisition de connaissance prépondérante**. La clef d'entrée choisie à travers l'étude de l'espèce brochet dans la plaine Haut-Rhinoise a permis de mieux connaitre la situation de l'espèce mais aussi de comprendre des interrelations écosystémiques associées. Le brochet est considéré comme une espèce repère et l'émergence de projets d'études ou d'actions de restaurations profitables à ce poisson seront également profitables à un large cortège d'espèce animales et végétales. Les objectifs ont ainsi pu être atteint à travers :

- Un recensement et un **diagnostic complet** (physique et biologique) des annexes hydrauliques de la plaine Haut-Rhinoise (hors axe rhénan) ;
- La production de **connaissances organisées** à travers une base de données géoréférencée ;
- Une formalisation des enjeux et des pistes de réflexions produites. Ceci dans le but de favoriser **l'émergence de projet de restauration écologique ou de préconisation de gestion** à l'échelle du Haut-Rhin.

Globalement, les résultats des actions réalisées permettent de mettre en évidence plusieurs tendances à retenir à travers les deux approches :

Pour le volet physique :

- Ce sont 87 annexes hydrauliques qui ont été diagnostiquées (17Ha) sur 8 grands secteurs d'étude. La majeure partie de ces annexes étaient localisées sur l'Ill et sur le canal grand gabarit (des bras morts ou chenaux secondaires de taille modeste).
- La très grande majorité des annexes hydrauliques (89%) ne sont pas en bon état et sont peu fonctionnelle pour la réussite du cycle de vie du brochet. En effet, 56% des annexes présentent une fonctionnalité classé « faible » et 35% sont jugées «moyenne».
- Seul 11% des annexes présentent une fonctionnalité classée « bonne ».

➔ **Ce résultat témoigne d'une problématique tangible de perte de fonctionnalité des annexes de la plaine d'Alsace pour le brochet** (espèce classée VU).

➔ Le diagnostic a permis d'identifier les zones les plus favorables et les plus défavorables ainsi que les principaux facteurs limitants leurs fonctionnalité, à savoir :
  - Un manque d'habitats favorables (89,6%) ;
  - Des pentes de berges trop abruptes (69%) ;
  - Un ombrage trop important (56%) ;

De plus, **les annexes de l'Ill sont majoritairement peu fonctionnelles et peu propices au développement du brochet.** Ces problèmes de fonctionnalités sont liés :

- aux caractéristiques hydrologiques de l'Ill Haut-Rhinoise avec des crues aussi intenses que courtes et avec une érosion régressive marquée sur certains secteurs ;
- aux caractéristiques des annexes de l'Ill majoritairement plus défavorables que sur les autres secteurs.

Travailler sur le secteur canalisé a semblé bénéfique dans le sens où ces hydrosystèmes sont globalement plus accueillant pour le brochet (selon les secteurs) que l'Ill (finalement parfois plus attractive vis-à-vis des cyprinidés rhéophiles).

Pour le volet biologique :

- Ce sont 139 pêches électriques (indice d'abondance de brocheton) qui ont pu être réalisées en deux années de campagnes.
- 31 espèces de poissons différentes ont ainsi été observées sur les annexes de la plaine d'Alsace Haut-Rhinoise dont 8 espèces patrimoniales et 4 espèces exotiques envahissantes.
- Des brochetons ont été retrouvés sur 13 annexes sur les 56 échantillonnées pour 20% des inventaires au total.
- Globalement la reproduction du brochet est bien meilleure sur les secteurs canalisés que sur l'Ill (secteurs : « canal Rhône-Rhin », « grand canal » et « canal déclassé » notamment).
- Moins de 4% des annexes de l'Ill sont efficaces pour la reproduction du brochet. **Cette observation met en lumière des problématiques de fonctionnalité pour l'espèce sur l'Ill Haut-Rhinoise.**

➔ Les analyses ont ainsi permis de mettre en lumière les différences entres les annexes avec brocheton et sans. Ces observations permettront également d'affiner les protocoles en matière de restauration d'annexes.

Ces deux approches de diagnostic ont permis d'identifier précisément les principales problématiques & enjeux des annexes de la plaine d'Alsace. La prise en compte de ces observations sera utile à la mise en place de propositions d'actions. Il a été possible de synthétiser les propositions d'actions sous la forme de 3 axes principaux :

- Protéger ;
- Optimiser (ou Corriger) ;
- Restaurer.

Ces préconisations d'actions liées aux résultats de l'étude ont pu être listées au sein d'un tableau de synthèse et d'une base de données géoréférencée.

Au regard des résultats et de la situation complexe du brochet sur le territoire, il apparait prépondérant de poursuivre la dynamique lancée sur les annexes hydrauliques de la plaine. Ce diagnostic préalable a permis un constat dont découle des préconisations d'actions concrètes. La FDAAPPMA68 s'impose à la suite de ce projet, d'entreprendre *à minima* la restauration d'une annexe hydraulique par an. En parallèle un ensemble d'action sera déployée notamment grâce au soutien et à la motivation des associations de pêches locales et des partenaires moteurs dans cette dynamique.

Il appartient à présent à l'ensemble des acteurs de prendre la pleine mesure des enjeux de protection de la faune et des milieux aquatiques futurs. Les choix du présent sont particulièrement déterminant pour la durabilité des milieux et des ressources naturelles de demain.

VIII. BIBLIOGRAPHIE

ACREMAN M., HOLDEN J, 2013. How Wetlands Affect Floods. Wetlands 33, 773–786 (2013). https://doi.org/10.1007/s13157-013-0473-2

ADIRA, 2021. Étude « Collectivité Européenne d'Alsace : chiffres clefs » – octobre 2021. 25p.

ADIRA, 2022. Étude « Collectivité Européenne d'Alsace : chiffres clefs » – décembre 2022. 22p.

AFNOR. NF T90-344, 2011. Qualité de l'eau - Méthode de détermination de l'Indice Poisson Rivière (IPR). Afnor, 2011.

AFNOR. NF T90-383, 2012. Qualité de l'eau - Échantillonnage des poissons à l'électricité dans le cadre des réseaux de suivi des peuplements de poissons en lien avec la qualité des cours d'eau. Afnor, 2012.

ALLION ET LELIEVRE, 2016. « Inventaire et caractérisation des annexes hydrauliques de la rivière Allier dans le département de l'Allier (03) ».

AMOROS, C., 1987. « Evolution des écosystèmes aquatiques abandonnés par les fleuves : recherches méthodologiques appliquées à la gestion écologique des systèmes fluviaux », Thèse Université de Lyon 1, 42p.

ARLINGHAUS, R., BORK, M., FLADUNG, E., 2008. Understanding the heterogeneity of recreational anglers across an urban–rural gradient in a metropolitan area (Berlin, Germany), with implications for fisheries management. Fish. Res. 92, 53–92.

ARRETE DU 27 JUILLET 2018 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement. JORF n°0199 du 30 août 2018, texte n° 14.

ASK, J. ET AL. 2009. Terrestrial organic matter and light penetration. Effects on bacterial and primary production in lakes. Limnol. Oceanogr. 54:2034-2040.

BARAULT A., FDAAPPMA27, 2014. Etude du Brochet (Esox lucius L.) en Seine – Potentialités de reproduction, dynamique comportementale et émergence de projets, 47p.

BEAUDOU, D., LAVAL F., FOISSY JM., RICHARD S., 2004. Méthodologie standard de relevés topographiques sur les stations de pêche à l'électricité Note technique.

BEAUFORT A., MOATAR F., SAUQUET E., 2020. Thermie en rivière : Analyse géostatistique et description de régime : Application à l'échelle de la France, INRAE UR RiverLy, Université de Tours GéHCO, 63 pages + 53 pages d'annexes

BELLIARD J. & ROSET N., 2006. L'indice poisson rivière (IPR), Notice de présentation et d'utilisation, CSP, Ed, avril 2006, 20 p.

BELLIARD J., DITCHE JM., ROSET N., 2012. Guide pratique de mise en œuvre des opérations de pêche a l'électricité dans le cadre des réseaux de suivi des peuplements de poissons. ONEMA. 31 p.

BLANDIN P., 1986. Bioindicateurs et diagnostic des systèmes écologiques. Bulletin d'écologie, tome 17, fascicule 4, 307 p.

BRY, C. ET AL. 1992. Analysis of sibling cannibalism among pike, Esox lucius, juveniles reared under semi-natural conditions, Env. Biol. Fish. 35:75-84.

BULLOCK, A. AND ACREMAN, M.2003. The role of wetlands in the hydrological cycle, Hydrol. Earth Syst. Sci., 7, 358–389, https://doi.org/10.5194/hess-7-358-2003, 2003.

CASSELMAN, J.M. AND C.A. LEWIS. 1996. Habitat requirements of northern pike (Esox lucius). Can J. Fish. Aquat.Sci. 53: 161-174

CHANCEREL, 2003. Le Brochet, biologie et gestion, Conseil supérieur de la pêche, 199p.

CHEVALLIER E. (FDAAPPMA 02), 2022 . Utilisation du lit majeur et des annexes restaurées comme refuge lors des crues – le cas du brochet (Esox lucius)

CLUYTENS L. 2019. Diagnostic des frayeres à brochet de l'Aisne et identification de sites potentiels à restaurer. FDAAPPMA02 82p

COOPER, J.E. ET AL. 2008. Potential effects of spawning habitat changes on the segregation of northern pike (Esox lucius) and muskellunge (E. masquinongy) in the Upper St. Lawrence River. Hydrobiologia 601:41-53

CORMONT S., GONZALEZ G, MASSARD P., FAVRIOU P. ET ROY R., 2020. Etude comportementale du brochet en vallée de Meuse. Fédération de la Meuse pour la pêche et la protection des milieux aquatiques (FDAAPPMA 55).126p

CRAIG, J.F. AND J.A. BABALUK. 1989. Relationship pf condition of walleye (Stizostedion vitreum) and northern pike (Exos lucius) to water clarity, with special references to Dauphin lake, Manitoba. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46:1581-1586.

DEBAYLE M , LELIVRE M., MAREY P. & ROSAK T. 2020. Inventaire et expertise des annexes hydrauliques du fleuve Loire et propositions de gestion. FDAAPPMA03 57p

DENYS G. 2017. Cartographie des espèces de brochet récemment recensées en France : le brochet aquitain Esox aquitanicus et le brochet italien Esox cisalpinus : projet ATLASESOX. 134p

DENYS G.P.J., DETTAI A., PERSAT H., HAUTECOEUR M. ET KEITH P., 2014. Morphological and molecular evidence of three species of pikes Esox spp. (Actinopterygii, Esocidae) in France, including the description of a new species. C. R. Biologies, 337, 521-534.

DEREK P. CRANE, LOREN M. MILLER, JAMES S. DIANA, JOHN M. CASSELMAN, JOHN M. FARRELL, KEVIN L.KAPUSCINSKI & JOE K. NOHNER (2015) Muskellunge and Northern Pike Ecology and Management: Important Issues and Research Needs, Fisheries, 40:6, 258-267

DUBOST N., VAUCLIN V., 2004. Etude des déplacements et des migrations du Brochet (Esox lucius L.) par radiopistage dans l'Ill (1997-2000). Bureau d'études DUBOST Environnement, 57p.

DUDGEON D., ARTHINGTON A., GESSNER M., KAWABATA Z., KNOWLER D., LEVEQUE C., NAIMAN R., PRIEUR-RICHARD A., SOTO D., STIASSNY M., SULLIVAN C., 2006. Freshwater biodiversity : importance, threats, status and conservation challenges. Biological Reviews, 81:163-182.

DUMOUSSET D., 1999. Rôle des annexes hydrauliques dans la dynamique du brochet : cas d'un bras mort du Bec de Dore , CSP Délégation Régionale Auvergne, Limousin, 62p.

DUPIEUX, N., 2004. « Une proposition de protocole commun pour la description et le suivi des annexes hydrauliques du bassin de la Loire. Programme Loire nature, mission scientifique », 52p.

EKLÖV, P. 1997. Effects of habitat complexity and prey abundance on the spatial and temporal distributions of perch (Perca Fluviatilis) and pike (Esox lucius L.). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 54:1520-1531.

FAGO, D.M. 1977. Northern pike production in managed spawning and rearing marshes. Tech. Bull. Wisc. Dep. Nat. Resour. 96:1-30.

FARRELL, J.M. 2001. Reproductive Success of sympatric Northern Pike and Muskellunge in an Upper St. Lawrence River Bay. Trans. Am. Fish. Soc. 130(5):796-808.

FARRELL, J.M. ET AL. 2010. Water-level regulation and coastal wetland vegetation in the upper St. Lawrence River: inferences from historical aerial imagery, seed banks, and Typha dynamics.

FAULKNER, S. 2004. Urbanization impacts on the structure and function of forested wetlands. Urban Ecosystems 7, 89–106 (2004). https://doi.org/10.1023/B:UECO.0000036269.56249.66

FDAAPPMA03 2018. Evaluation de la fonctionnalité des annexes hydrauliques du Val d'allier pour l'espèce Brochet 63p.

FDAAPPMA59 2014. Etude des mouvements saisonniers et des habitats préférentiels au cours d'un cycle annuel chez le Grand Brochet (Esox lucius L.,1758) par radiopistage sur la Rivière Sambre (59) en 2013-2014

FDAAPPMA59 , 2015. Suivi des populations de Brochet (Esox Lucius) dans le département du Nord (59) Bilan synthétique des études de 2011 à 2014.

FORT, M., BETARD F., & ARNAUD-FASSETTA G., 2015. « Chapitre 7 - Les cours d'eau, agents de morphogenèse », , Géomorphologie dynamique et environnement. sous la direction de Fort Monique, Bétard François, Arnaud-Fassetta Gilles. Armand Colin, 2015, pp. 257-304.

GOPAL, B., & JUNK, W. J. , 2000. Biodiversity in wetlands: an introduction. In B. Gopal, W. J. Junk, & J. A. Davis (Eds.), Biodiversity in wetlands: assessment, function and conservation. Vol. 1 (pp. 1-10). Leiden: Backhuys Publishers.

GUILLERAULT N. 2017. Diminution des effectifs de gros individus lors de l'application d'une Taille Minimale de Capture thèse ECOLAB 172p

HAIPENG WU, JIN CHEN, JIJUN XU, GUANGMING ZENG, LIANHAI SANG, QIANG LIU, ZHENGJIE YIN, JUAN DAI, DACONG YIN, JIE LIANG, SHUJING YE, 2019. Effects of dam construction on biodiversity: A review, Journal of Cleaner Production, Volume 221, 2019, Pages 480-489, ISSN 0959-6526.

HODDER, K.H. et al. 2007. Techniques for evaluating thespatial behaviour of river fish. Hydrobiologia 582:257-269.

HONGVE, D., G. RIISE AND J.F. KRISTIANSEN. 2004. Increased colour and organic acid concentration in Norwegian forest lakes and drinking water - a result of increased precipitation. Aquat. Sci. 66:231-238.

HUET M., 1949. Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles des eaux courantes. Schweiz. Z. Hydrol., Il (3-4):332-351.

HUMBERT A., 2017. Etude des annexes hydrauliques de la Moselle, Inventaire, diagnostic et programme de restauration. Fédérations de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique des Vosges, de Meurthe-et-Moselle et de Moselle, 70 p. + annexes

HUNT, BURTON P., ET WILLIAM F. CARBINE, 1951. « Food of Young Pike, Esox Lucius L., and Associated Fishes in Peterson's Ditches, Houghton Lake, Michigan ». Transactions of the American Fisheries Society 80, no 1 (1 janvier 1951).

INSKIP, 1982. "Habitat suitability index models: northern pike. U.S FishWild".

JOHN M. FARRELL 2011. Reproductive Success of Sympatric Northern Pike and Muskellunge in an Upper St. Lawrence River Bay. Faculty of Environmental and Forest Biology, 13210, USA Version of record first published: 09 Jan 2011.

JÖNNSSON, M. ET AL. 2011. Foraging success of juvenile pike Esox lucius depends on visual conditions and prey pigmentation. J. Fish. Biol. 79:290-297.

JOS VERHOEVEN T.A., BERIT ARHEIMER, CHENGQING YIN, MARIET M. HEFTING, 2006. Regional and global concerns over wetlands and water quality, Trends in Ecology & Evolution, Volume 21, Issue 2, 2006, Pages 96-103, ISSN 0169-5347,

JULIE KUBIAK MAGALI MULOT 2017. Généralités sur les zones humides dans la région Grand Est Définitions, références réglementaires et connaissance disponible 2017 53p

KARLSSON, J. ET AL 2009. Light limitation of nutrient-poor lake ecosystems. Nature 460:506-509.

KEITH P. & ALLARDI J., 1997. Bilan des introductions des poissons d'eau douce en France. Bull. Fr. Pêche Piscic. N° 344-345.

KEITH P., POULET N., DENYS G., CHANGEUX T., FEUNTEUN É. & PERSAT H. (COORD.) 2020. Les Poissons d'eau douce de France. Deuxième édition. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris ; Biotope, Mèze, 704 p. (Inventaires & biodiversité ; 18).

KENNETH D. KONYHA, DOUGLAS T. SHAW, KURT W. Weiler 1995. Hydrologic design of a wetland: advantages of continuous modeling, Ecological Engineering, Volume 4, Issue 2, 1995, Pages 99-116, ISSN 0925-8574,

KIFFNEY, P. M., BULL, J. P., & FELLER, M. C., 2002. Climatic and hydrologic variability in a coastal watershed of southwestern British Columbia 1. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 38(5), 1437-1451.

KOBLER, A., KLEFOTH, T., WOLTER, C. ET AL. 2008. Hydrobiologia (2008) Contrasting pike (Esox lucius L.) movement and habitat choice between summer and winter in a small lake 601: 17. https://doi.org/10.1007/s10750-007-9263-2

KOHN A.J. AN P.J. LEVITEN. 1976. Effect of habitat complexity on population density and species richness in tropical intertidal predatory gastropod assemblages. Oecologia 25:199-210

KORNIS M. S., MERCADO-SILVA N. ET VANDER ZANDEN M. J., 2012. Twenty years of invasion: a review of round goby Neogobius melanostomus biology, spread and ecological implications. Journal of Fish Biology (2012) 80, 235–285.

KUIPER, J.J., JANSE, J.H., TEURLINCX, S. ET AL. 2014.The impact of river regulation on the biodiversity intactness of floodplain wetlands. Wetlands Ecol Manage 22, 647–658 (2014). https://doi.org/10.1007/s11273-014-9360-8

LAUTISSIER A., FDAAPPMA 59, 2015. Suivi des populations de Brochet (Esox lucius) dans le département du Nord – Bilan synthétique des études de 2011 à 2014. 73p.

LE COZ J., 2007. « Fonctionnement hydrosédimentaire des bras-morts de rivière alluviale ».

MALAVOI J.R. ET BRAVARD J.P., 2010. Eléments d'hydromorphologie fluviale. Onema. 224 pages.

MALTBY E & BARKER T., 2009. The wetlands handbook. Wiley-blackwell 1010p

MARCON C ET CHASSIGNOL R 2020. Pré-Diagnostic des Annexes hydrauliques de la Loire dans le département de Saône-et-Loire (FDAAPPMA 71) 30p

NAIMAN, R. J., MELILLO, J. M., LOCK, M. A., FORD, T. E., & REICE, S. R., 1987. Longitudinal patterns of ecosystem processes and community structure in a subarctic river continuum. Ecology, 68(5), 1139-1156.

NAMOKEL Y., ROVERE P. & FAGOT P., 2022. Etude des plans d'eau Sundgauviens : état des lieux et diagnostics de 7 sites pilotes. Fédération du Haut-Rhin pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique (FDAAPPMA68). 386p.

NAMOKEL, Y., RIGAULT, B., PINSON TABARY, G. & CROWYN, G. 2020. Focus Biodiversité Marais Audomarois. Fédération du Pas de Calais pour la pêche et la protection des milieux aquatiques (FDAAPPMA 62) 384p.

NELVA, A., PERSAT H., CHESSEL, D., 1979. Une nouvelle méthode d'étude des peuplements ichtyologiques dans les grands cours d'eau par échantillonnage ponctuel d'abondance. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences. 289. 1295-1298.

NIGOT M. & LELIVRE M. 2018. Evaluation de la fonctionnalité des annexes hydrauliques du d'Allier pour l'espèce brochet. FDAAPPMA03 63p

OVIDIO, M. AND PHILIPPART. 2005. Long range seasonal movements of northern pike (Esox lucius L.) in the barbel zone of the river Ourthe (River Meuse basin, Belgium). Pp191-202.

PERSAT H , KEITH P, FEUNTEUN E, ALLARDI J, 2011. Les poissons d'eau douce de France. Museum national d'histoire naturelle – Biotope Edition; 550p.

PETIT, S. , 2006. Reconstitution de la dynamique du paysage alluvial de trois secteurs fonctionnels de la rivière allier (1946-2000), Massif central, France. Géographie physique et Quaternaire, 60(3), 271–287. https://doi.org/10.7202/018000ar

PETITJEAN S., VERSANNE-JANODET S., MAS M., COMBY A., SOURISSEAU E, DUMAS J., 2017. Atlas des poissons du Limousin. Historique, évolution, répartition., Agence Française pour la Biodiversité - Fédération de la Corrèze pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique- Fédération de la Creuse pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique - Fédération de la Haute-Vienne pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique - Maison de l'Eau et de la Pêche de la Corrèze, Tulle, 381 p.

PIERCE, R.B. 2012. Northen Pike: Ecology, Conservation, and Management History. University of Minnesota Press. 208 pp.

POTTIER G., AZAM D., BEAULATON L., VIGNERON T., RIVES J., MARCHAND F., PENIL C. 2022. La pêche scientifique à l'électricité dans les milieux aquatiques continentaux. Office français de la biodiversité. Collection Guides et protocoles. 136 pages

RAAT, A. 1988. Synopsis of biological data on the northern pike: Esox lucius Linnaeus, 1758. FAO Fish. Syn. 145:178 pp.

SANDSTRÖM, A. AND P. KARAS. 2005. Boating and navigation activites influence the recruitment of fish in a baltic Sea archipelago area. Ambio 34:125-130.

SEBER G. A. F. & LE CREN E. D., 1967. Estimating Population Parameters from Catches Large Relative to the Population. Journal of Animal Ecology Vol. 36, No. 3 (Oct., 1967), pp. 631-643.

SIEFERT, R.E., W.A. SPOOR AND R.F SYRETT. 1973. Effects of reduced oxygen concentrations on northern pike (Esox lucius) embryos and larvae. J. Fish. Res. Bd. Can. 30:849-852

SKOV C. NILSSON P. A. 2018. Biology and Ecology of Pike, 411p.

SOUCHON, 1983. La reproduction du Brochet (Esox lucius, L., 1758) dans le milieu naturel, Revue bibliographique dans « Le Brochet, gestion dans le milieu naturel et élevage ». Edition R Billard.

SPRY, D.J. AND J.G. WIENER. 1991. Metal bioavailability and toxicity to fish in low-alkalinity lakes: a critical review. Environ. Pollut. 71:243-304.

THREINEN, C.W. 1969. An evaluation of the effect and extent of habitat loss on northern pike populations and means of prevention of losses. Wis. Dep. Nat. Resour. Bur. Fish Mgmt. Rep. 28.

UBSN, 2019. Rétablissement des continuités latérales sur le bassin de la Seine : Priorisation, Evaluation et Valorisation 35p

UFBAG-ADEAG 2014. Guide technique pour la restauration des frayères à Brochet – 23p.

VANNOTE, R.L., G.W. MINSHALL, K.W. CUMMINS, J.R. SEDELL, AND C.E. CUSHING, 1980. The river continuum concept. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 37: 130-137.

Sites web :

http://www.zones-humides.org/

https://www.eaufrance.fr/

Annexes

Annexe 1 : codes pathologiques

Grille de codification des anomalies anatomo-morphologiques externes et des ectoparasites des poissons visibles à l'œil nu

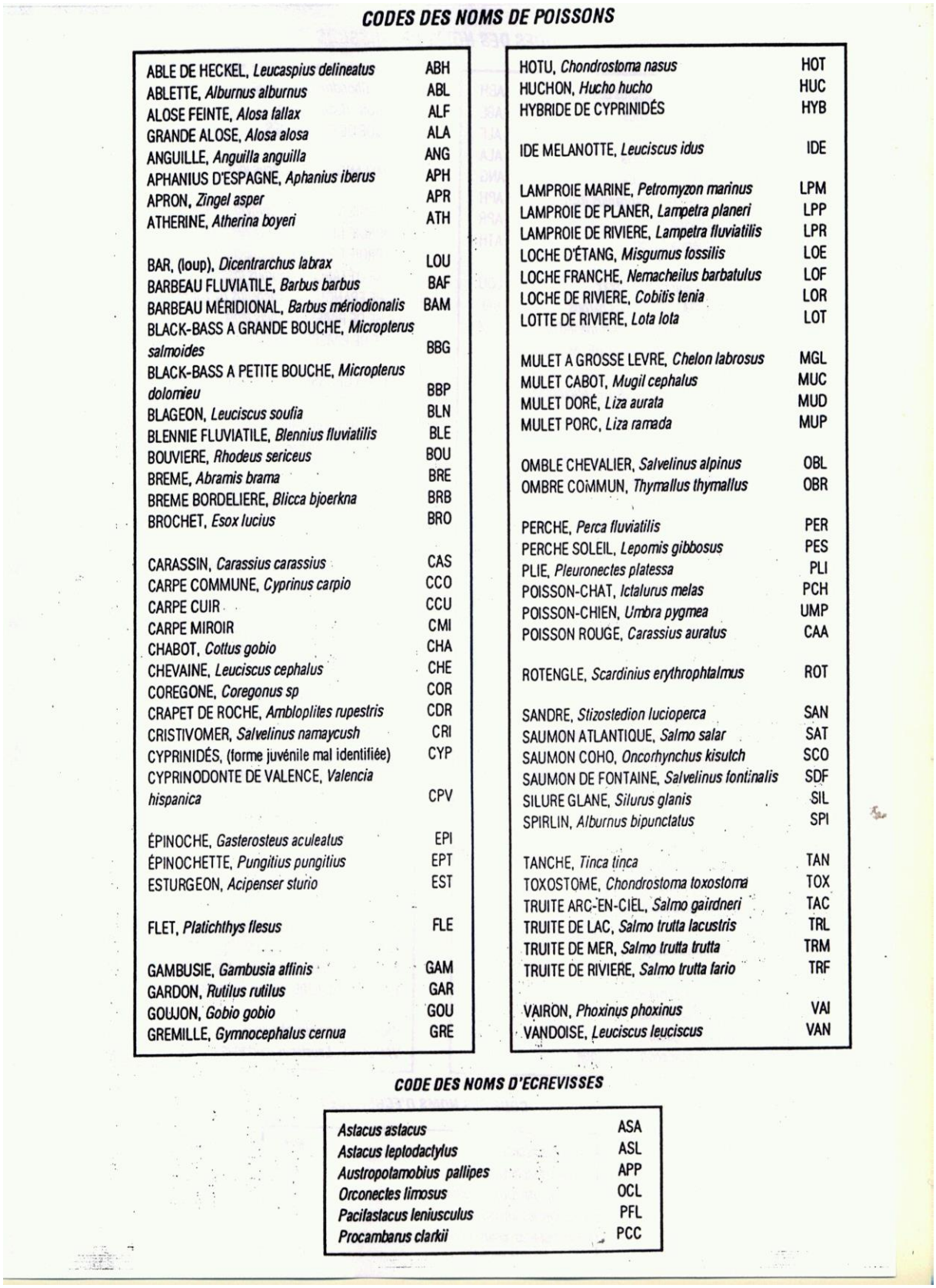
Altérations anatomo-morphologiques	AA		Localisations anatomiques	Code
Absence d'organes	AO		Tout le corps	C
Perte d'écailles	PE		Tête	T
Bulles de gaz	BG		Mâchoire	M
Déformations, difformités et malformations	AD		Bouche	G
Erosions	ER		Barbillon	J
Nécroses	NE		Narine	N
Hypersécrétion de mucus	HM		Œil	Y
Hypertrophie et hyperplasie	HY		Opercule (fente branchiale chez l'anguille)	O
Lésions hémorragiques et congestives	HE		Branchie (sauf pour l'anguille)	B
Maigreur	AM		Dos (= face pigmentée ou zénithale)	D
Plaies et lésions anciennes (cicatrices)	PL		Colonne vertébrale	V
Tumeurs, kystes, nodules et autres grosseurs	TG		Flanc	F
Ulcères (hémorragiques) et ulcérations	UH		Ligne latérale	L
Etat pathologique multiforme	ZO		Ecaille	E
Altérations de la couleur	**AC**		Abdomen (= face aveugle ou nadirale)	A
Opacité	OP		Orifice urogénital (anus)	U
Coloration sombre (mélanose)	CS		Nageoire dorsale	H
Coloration terne ou pâle, dépigmentation	CT		Nageoire pectorale	P
Parasitisme	**PA**		Nageoire pelvienne	R
Points blancs	PB		Nageoire anale	S
Points noirs	PN		Nageoire caudale	Q
Crustacés	PC		Nageoire adipeuse (salmonidés seulement)	J
Hirudinés (sangsues)	PH		Pédoncule caudal	K
Champignons ou Phycomycètes	PM			

Grille de quantification des anomalies et du parasitisme externes

Nombre de lésions (N) et/ou abondance parasitaire (Ab)	Code		Taux (%) de recouvrement corporel (S^2)	Code
N = 0 et/ou absence (Ab)	0		S^2 = 0%	0
N < 3 et/ou abondance (Ab) faible	1		S^2 < 5%	1
N = 4-6 et/ou abondance (Ab) moyenne	2		S^2 = 5-10%	2
N = 7-10 et/ou abondance (Ab) forte	3		S^2 = 10-20%	3
N = > 10 et/ou abondance (Ab) très forte	4		S^2 = >20%	4

NB : Codification d'un « Individu sain » (*i.e.* ne présentant aucune lésion ni aucun parasite externe) : 0

Annexe 2 : Codes taxons



CODES DES NOMS DE POISSONS

ABLE DE HECKEL, *Leucaspius delineatus*	ABH
ABLETTE, *Alburnus alburnus*	ABL
ALOSE FEINTE, *Alosa fallax*	ALF
GRANDE ALOSE, *Alosa alosa*	ALA
ANGUILLE, *Anguilla anguilla*	ANG
APHANIUS D'ESPAGNE, *Aphanius iberus*	APH
APRON, *Zingel asper*	APR
ATHERINE, *Atherina boyeri*	ATH
BAR, (loup), *Dicentrarchus labrax*	LOU
BARBEAU FLUVIATILE, *Barbus barbus*	BAF
BARBEAU MÉRIDIONAL, *Barbus mériodionalis*	BAM
BLACK-BASS A GRANDE BOUCHE, *Micropterus salmoides*	BBG
BLACK-BASS A PETITE BOUCHE, *Micropterus dolomieu*	BBP
BLAGEON, *Leuciscus soufia*	BLN
BLENNIE FLUVIATILE, *Blennius fluviatilis*	BLE
BOUVIERE, *Rhodeus sericeus*	BOU
BREME, *Abramis brama*	BRE
BREME BORDELIERE, *Blicca bjoerkna*	BRB
BROCHET, *Esox lucius*	BRO
CARASSIN, *Carassius carassius*	CAS
CARPE COMMUNE, *Cyprinus carpio*	CCO
CARPE CUIR	CCU
CARPE MIROIR	CMI
CHABOT, *Cottus gobio*	CHA
CHEVAINE, *Leuciscus cephalus*	CHE
COREGONE, *Coregonus sp*	COR
CRAPET DE ROCHE, *Ambloplites rupestris*	CDR
CRISTIVOMER, *Salvelinus namaycush*	CRI
CYPRINIDÉS, (forme juvénile mal identifiée)	CYP
CYPRINODONTE DE VALENCE, *Valencia hispanica*	CPV
ÉPINOCHE, *Gasterosteus aculeatus*	EPI
ÉPINOCHETTE, *Pungitius pungitius*	EPT
ESTURGEON, *Acipenser sturio*	EST
FLET, *Platichthys flesus*	FLE
GAMBUSIE, *Gambusia affinis*	GAM
GARDON, *Rutilus rutilus*	GAR
GOUJON, *Gobio gobio*	GOU
GREMILLE, *Gymnocephalus cernua*	GRE
HOTU, *Chondrostoma nasus*	HOT
HUCHON, *Hucho hucho*	HUC
HYBRIDE DE CYPRINIDÉS	HYB
IDE MELANOTTE, *Leuciscus idus*	IDE
LAMPROIE MARINE, *Petromyzon marinus*	LPM
LAMPROIE DE PLANER, *Lampetra planeri*	LPP
LAMPROIE DE RIVIERE, *Lampetra fluviatilis*	LPR
LOCHE D'ÉTANG, *Misgurnus fossilis*	LOE
LOCHE FRANCHE, *Nemacheilus barbatulus*	LOF
LOCHE DE RIVIERE, *Cobitis tenia*	LOR
LOTTE DE RIVIERE, *Lota lota*	LOT
MULET A GROSSE LEVRE, *Chelon labrosus*	MGL
MULET CABOT, *Mugil cephalus*	MUC
MULET DORÉ, *Liza aurata*	MUD
MULET PORC, *Liza ramada*	MUP
OMBLE CHEVALIER, *Salvelinus alpinus*	OBL
OMBRE COMMUN, *Thymallus thymallus*	OBR
PERCHE, *Perca fluviatilis*	PER
PERCHE SOLEIL, *Lepomis gibbosus*	PES
PLIE, *Pleuronectes platessa*	PLI
POISSON-CHAT, *Ictalurus melas*	PCH
POISSON-CHIEN, *Umbra pygmea*	UMP
POISSON ROUGE, *Carassius auratus*	CAA
ROTENGLE, *Scardinius erythrophtalmus*	ROT
SANDRE, *Stizostedion lucioperca*	SAN
SAUMON ATLANTIQUE, *Salmo salar*	SAT
SAUMON COHO, *Oncorhynchus kisutch*	SCO
SAUMON DE FONTAINE, *Salvelinus fontinalis*	SDF
SILURE GLANE, *Silurus glanis*	SIL
SPIRLIN, *Alburnus bipunctatus*	SPI
TANCHE, *Tinca tinca*	TAN
TOXOSTOME, *Chondrostoma toxostoma*	TOX
TRUITE ARC-EN-CIEL, *Salmo gairdneri*	TAC
TRUITE DE LAC, *Salmo trutta lacustris*	TRL
TRUITE DE MER, *Salmo trutta trutta*	TRM
TRUITE DE RIVIERE, *Salmo trutta fario*	TRF
VAIRON, *Phoxinus phoxinus*	VAI
VANDOISE, *Leuciscus leuciscus*	VAN

CODE DES NOMS D'ECREVISSES

Astacus astacus	ASA
Astacus leptodactylus	ASL
Austropotamobius pallipes	APP
Orconectes limosus	OCL
Pacifastacus leniusculus	PFL
Procambarus clarkii	PCC

Annexe 3 : Tableau typologique des annexes hydrauliques

	Typologie Malavoi (2004) & Malavoi&Bravard(2010)		Typologie FD57 et Lorraines (Humbert 2017)		Typologie FD02&FD71 Loire et Soaone&Loire 2020		Typologie FD55, 2020 ; Dupieux, 2004 ; Mangeot et al, 2009		Typologie FD03 Allion et Lelièvre, 2016 ; Debayle et al, 2020	
1	**Eupotamon (Eupo)**	Le chenal récemment recoupé communique avec le cours d'eau principal par l'aval et par l'amont, quel que soit le débit. Le fonctionnement hydraulique s'apparente un certain temps à celui d'un chenal secondaire	**Chenal secondaire**	Connecté au cours d'eau par l'amont et l'aval, il détourne une partie de la rivière mais son débit est moins fort	**Bras secondaires actifs**	Subdivisions latérales d'un cours d'eau, ils sont situés en dérivation par rapport aux flux principal, à sec à l'étiage, majoritairement composés de sable et peu végétalisés, à la différence des bras	**Bras secondaire actif :**	subdivisions latérales du chenal principal. Ils sont situés en dérivation	**Chenal secondaire**	chenal connecté au cours d'eau par l'amont et l'aval, il détourne une partie de la rivière mais son débit est moins fort
					Bras secondaires en cours de comblement	Anciens chenaux, en partie déconnectés et présentant une végétation plus ou moins dense, ne participant à l'écoulement des eaux qu'en période de débit moyen.	**Noue**	dépression naturelle du lit majeur connectée en permanence au lit mineur par l'amont ou l'aval. Cette reculée forme une zone calme par rapport au lit mineur.	**Chenal tertiaire**	chenal connecté au cours d'eau par l'aval et dont une connexion par l'amont existe en période
									Chenal de crue	chenal peu encaissé, organisé en réseau à travers le lit majeur
2	**Parapotamon (Para)**	Le bras mort est connecté par l'une de ses extrémités, généralement par l'aval mais ne l'est plus par l'autre ; trois stades évolutifs sont distingués	-	-	**Bras mort**	Anciens chenaux, végétalisés et déconnectés du lit principal par l'aval et/ou l'amont. Sur le plan hydraulique, ce type d'annexe ne participe à l'écoulement des eaux qu'en période de crue. Il peut s'agir d'une subdivision latérale comme d'un ancien méandre. Certains d'entre eux, à sec la majeure partie du temps, peuvent avoir	**Ancien bras**	dépression naturelle du lit majeur, mais à la différence de la noue, il n'est pas nécessairement connecté au lit mineur en permanence et ne participe à l'écoulement qu'en période de hautes eaux (niveau plein bord ou supérieur).		
2-1	**Para1**	Connexion par l'aval quel que soit le débit et par l'amont en eaux moyennes	**Bras mort**	Connecté au cours d'eau uniquement par l'aval en période d'étiage et la connexion amont se fait en période de					**Bras mort**	Annexe connectée au cours d'eau uniquement par l'aval en période d'étiage et dont la connexion
2-2	**Para2**	Connexion par l'aval en eaux moyennes et par l'amont en hautes eaux	-	-						
2-3	**Para3**	Connexion par l'aval en hautes eaux et par l'amont en crue annuelle	-	-						
3	**Plésiopotamon (Plésio)**	Pas de connexion nette par l'aval ni par l'amont. Mise en eau lors de la crue annuelle	**Bras isolé ou morte**	Complètement déconnecté du cours d'eau excepté lors des crues	**Prairies inondables et les marais**	prairie ou ancien chenal partiellement comblé par les sédiments où se développe une végétation hygrophile.	**Lac d'oxbow ou ancien bras déconnecté**	dépression naturelle du lit majeur, mais à la différence de la noue et de l'ancien bras en cours	**Morte**	annexe complètement déconnectée du cours d'eau excepté lors des crues annuelles ou biannuelles
4	**Paléopotamon (Paléo)**	Le bras mort est complètement séparé du chenal. La mise en eau se produit lors des crues dépassant le débit de « pleins bords » (Q2ans à supérieure). Deux stades évolutifs	**Marais**	Ancien chenal partiellement comblé par les sédiments où se développe une végétation hygrophile	**Mortes**	annexe complètement déconnectée du cours d'eau excepté lors des crues annuelles ou biannuelles	**Mare**	petite cuvette dans le lit majeur en zone prairiale hygrophile à mésophile. Elle peut résulter d'une évolution naturelle d'un très vieux méandre ou éventuellement être creusée et	**Prairie inondable et marais**	prairie ou ancien chenal partiellement comblé par les sédiments où se développe une végétation hygrophile (c'est-à-dire la végétation se développant dans les milieux humides)
4-1	**Paléo1**	Les restes d'un chenal, même très colmaté, sont visibles. Il y a continuité sur une certaine longueur					**Marais**	dépression fangeuse à un stade de sédimentation avancée, où la nappe d'eau est peu profonde et le terrain fortement végétalisé		
4-2	**Paléo2**	On n'observe plus que petites dépressions discontinues					**Fossé**	fossé de drainage artificiel, creusé le plus souvent entre les parcelles agricoles du lit majeur.		
5			**Prairie**	Zone de pâture ou prairie de fauche dont la végétation est inondée lors des crues			**Affluent temporaire**	affluent situé en lit majeur subissant un assec une partie de l'année.		
6			**Fossé**	Milieu artificiel créé pour le drainage des parcelles agricoles			**Forêt alluviale**	écosystème forestier naturel (ou aménagé ex : peupleraie) lié à la présence d'une nappe phréatique peu profonde et inondé de	**Zone artificialisée**	annexe d'origine anthropique, creusée dans le lit majeur, le plus souvent dans le but d'extraire
7			**Zone anthropisée**	Milieu artificiel qui sert surtout de zone refuge pour la faune piscicole (anciens ports, gravières connectées,...)			**Chenal de crue**	chenaux peu encaissés, organisés en réseau à travers le lit majeur et alimentant les prairies inondables. Ces chenaux ne sont donc en eau qu'en		
							Affluent permanent	affluent situé en lit majeur et en eau toute l'année.	**Confluence en lit majeur**	affluent permanent ou temporaire situé en lit majeur

Annexe 4 : Liste des cours d'eau du bassin RHIN-MEUSE mentionnée au code de l'environnement.

LISTE 1

ANNEXE

LISTE DES COURS D'EAU DU BASSIN RHIN-MEUSE MENTIONNÉE AU 1° DU I DE L'ARTICLE L. 214-17 DU CODE DE L'ENVIRONNEMENT

DPT	MASSE D'EAU SDAGE		TRONÇON		LIMITE
	Code	Nom	Code	Nom	
68	FRCR18	ILL 3	A---0030	L'ILL	De la confluence de la Doller jusqu'à la masse d'eau III 4
68	FRCR19	ILL 4	A---0030	L'ILL	Toute la masse d'eau (depuis l'III 3 jusqu'au canal de Colmar)

DPT	MASSE D'EAU SDAGE		TRONÇON		LIMITE
	Code	Nom	Code	Nom	
67	FRCR20	ILL 5	A---0030	L'ILL	L'III de la limite des départements du Haut-Rhin et du Bas-Rhin jusqu'au Horgiessen
68	FRCR20	ILL 5	A---0030	L'ILL	Depuis le canal de Colmar jusqu'à la confluence avec la Fecht
68	FRCR20	ILL 5	A---0030	L'ILL	Depuis la confluence avec la Fecht jusqu'à la limite départementale avec le Bas-Rhin
67	FRCR21	ILL 6	A---0030	L'ILL	L'III et ses bras, notamment le Mühlbach d'Huttenheim, du Horgiessen jusqu'au canal de décharge de l'III
67	FRCR22	ILL 7	A---0030	L'ILL	L'III et ses bras, notamment les Mühlbach d'Illkirch-Graffenstaden, du canal de décharge de l'III jusqu'à sa confluence dans le Rhin

LISTE 2

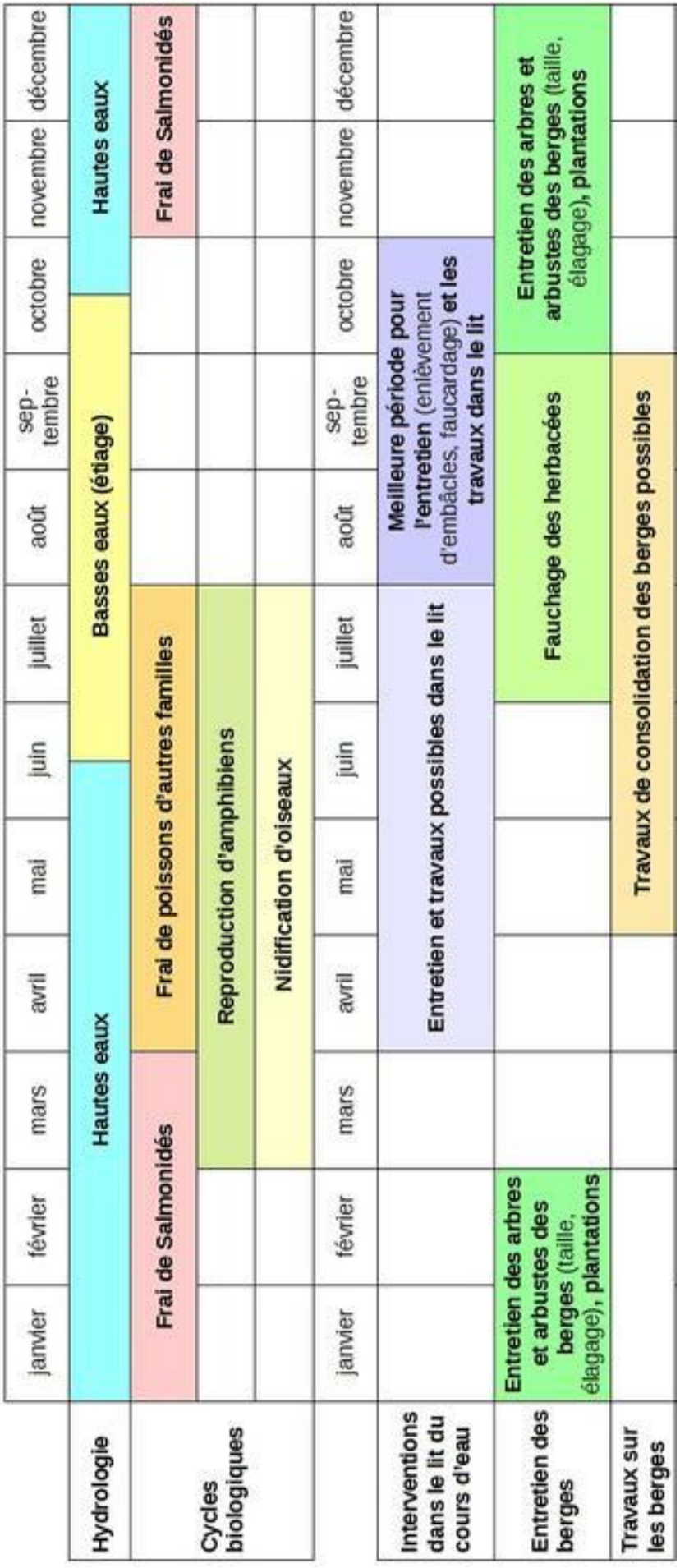
ANNEXE

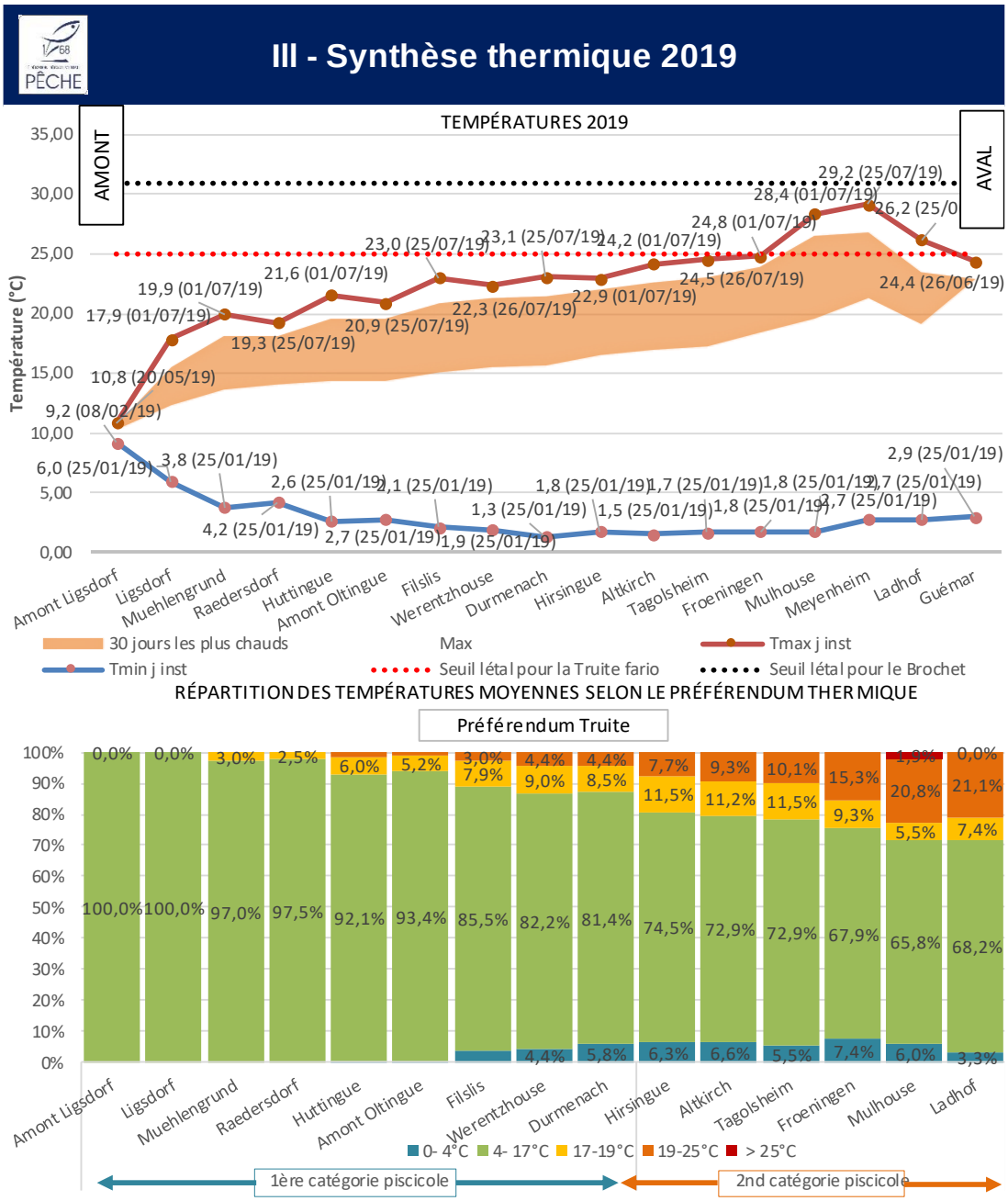
LISTE DES COURS D'EAU DU BASSIN RHIN-MEUSE MENTIONNÉE AU 2° DU I DE L'ARTICLE L. 214-17 DU CODE DE L'ENVIRONNEMENT

DPT	MASSE D'EAU SDAGE		TRONÇON		LIMITE
	Code	Nom	Code	Nom	
68	FRCR18	ILL 3	A---0030	L'ILL	De la confluence de la Largue jusqu'à la masse d'eau Ill 4 à Illzach
68	FRCR19	ILL 4	A---0030	L'ILL	De la masse d'eau Ill 3 à Illzach jusqu'à la confluence de la Lauch

DPT	MASSE D'EAU SDAGE		TRONÇON		LIMITE
	Code	Nom	Code	Nom	
67 et 68	FRCR20	ILL 5	A---0030	L'ILL	De la confluence de la Lauch jusqu'au Horgiessen
67	FRCR21	ILL 6	A---0030	L'ILL	L'Ill et ses bras, notamment le Mühlbach d'Huttenheim, du Horgiessen jusqu'au canal de décharge de l'Ill
67	FRCR22	ILL 7	A---0030	L'ILL	L'Ill et ses bras, notamment les Mühlbach d'Illkirch-Graffenstaden, du canal de décharge de l'Ill jusqu'à sa confluence dans le Rhin

Annexe 5 : Tableau des périodes d'intervention propices en fonctions des contraintes liées aux espèces.





Variables thermiques générales

T instannée min	T instannée max	T journalière moyenne min	T journalière moyenne max	30j les plus chauds		
1,4	29,2	1,7	26,8	T min : 21,4	T moy : 23,9	T max : 26,8
25/01/2019	25/07/2019	28/01/2019	25/07/2019	du 28/06/19	au	27/07/2019
Henflingen	Meyenheim	Durmenach	Meyenheim		Meyenheim	

Preferendum thermique de la Truite fario (en moyenne sur l'Ill)

Nb jours 0 - 4 °C	Nb jours 4 -17 °C	Nb jours 17 - 19 °C	Nb jours 19 - 25 °C	Nb jours > 25 °C
12,1	300,0	24,1	27,9	0,9

Annexe 7 : Fiche terrain utilisée pour le diagnostic par les opérateurs.

FICHE TERRAIN

Organisme :	N° site : Station hydro :
Observateur(s) :	N° fiche :
Date : Heure :	Météo :

Données générales du site

Commune : Cours d'eau : Rive: ☐ Droite ☐ Gauche

Environnement du site :

Tronçon sous influence d'ouvrages ☐ Oui ☐ Non Débit :

si oui, distance annexe hydraulique (m) :

Présentation de l'annexe hydraulique

Type de zones ☐ Chenal secondaire ☐ Bras mort ☐ Morte ☐ Marais ☐ Fossés ☐ Prairie ☐ Zone anthropisée

Miroir d'eau en m² : T°C Cours d'eau : Annexe :

Communication avec le cours d'eau ☐ Amont ☐ Aval ☐ Nulle

Hauteur d'eau (m) Connexion(s) : amont aval Dans l'annexe :

Occupation de la surface mouillée par les végétaux

	Nulle (<5%)	Faible (5 à 25%)	Moyenne (25 à 50%)	Forte (>50%)
Graminées				
Hélophytes				
Hydrophytes				
Arbres				
EEE				
Autres				

Fonctionnalité de l'annexe hydraulique pour la reproduction du brochet

Surface potentielle de la frayère en m²	0 (<50)	2 (50 à 1500)	4 (>1500)
Densité de végétaux (graminées + hélophytes) (%)	0 (<25)	2 (25 à 50)	4 (>50)
Communication avec le cours d'eau	0 (nulle)	2 (moyenne)	4 (bonne)
Profondeur moyenne (m)	0 (<0,1/>1)	1 (0,1 à 0,25)	2 (>0,25/<1)
Ensoleillement de la zone	0 (nul)	1 (moyen)	2 (bon)
Pente des berges	0 (forte)	1 (moyenne)	2 (faible)
Autre(s) écoulement(s) dans la frayère	0 (moyen)	1 (faible)	2 (nul)
NOTE FONCTIONNALITE			(/20)

Potentiel/ Coûts de restauration

Accessibilité de la zone par des engins	0 (mauvaise)	1 (bonne)		
Travaux sur végétation	0 (fort)	1 (moyen)	2 (faible)	
Travaux terrassement	0 (fort)	1 (moyen)	2 (faible)	
NOTE COUTS DE RESTAURATION				(/ 5)
NOTE FINALE				(/ 25)

Photo numéro :

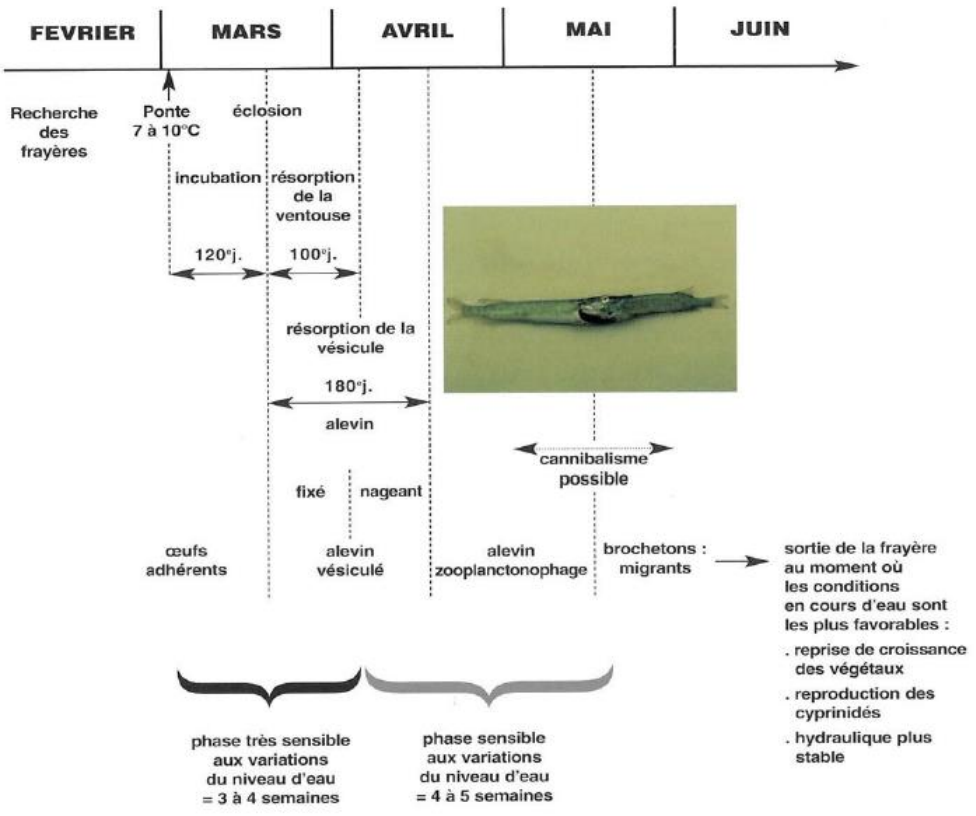
Observations complémentaires

poissons, batraciens, oiseaux, mammifères terrestres et aquatiques, pollution, piétinement, présence de géniteurs…

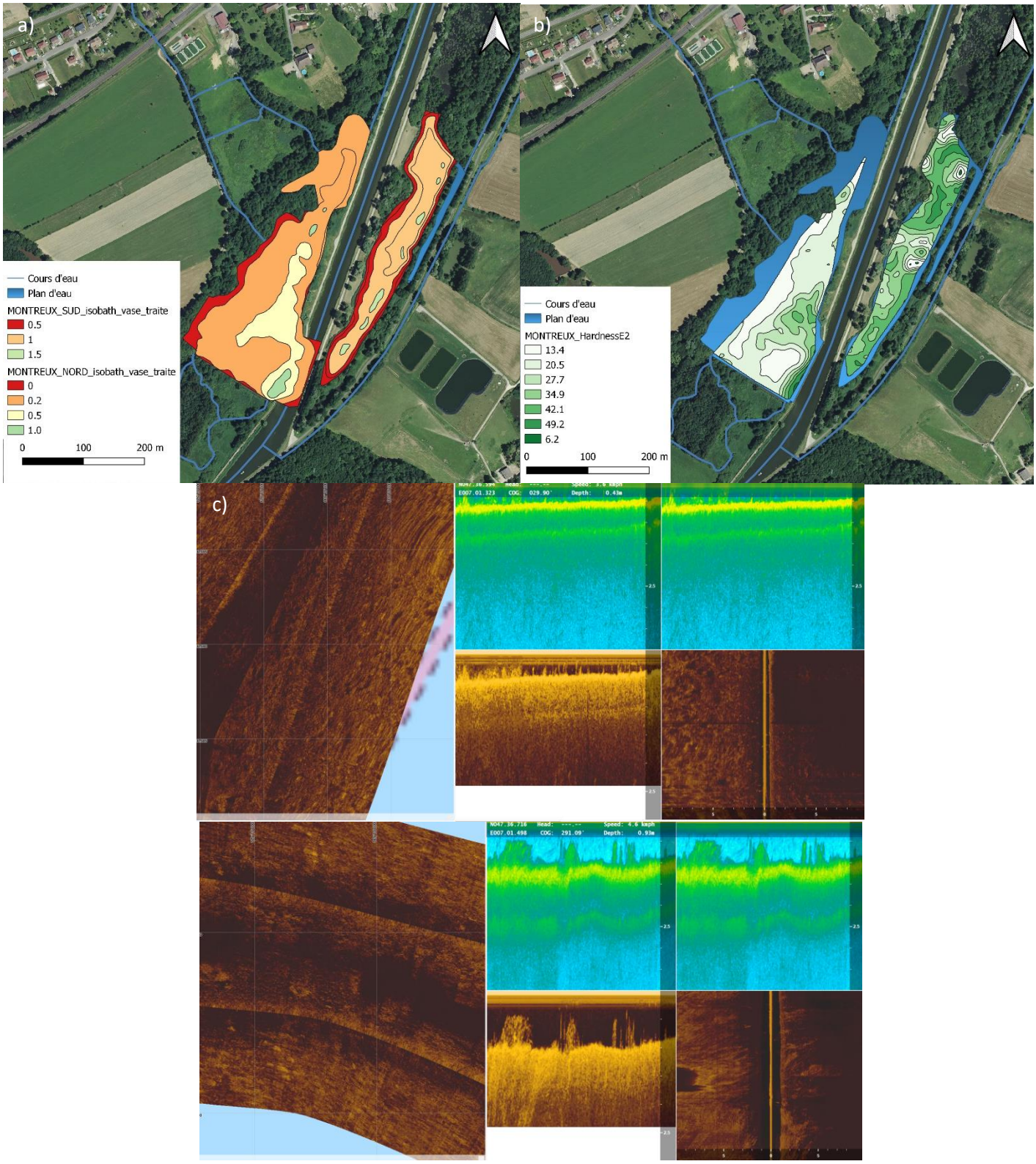
Annexe 8 : Synthèse du cycle de vie et ordres de grandeurs des « taux de survie » aux divers stades de vie du brochet (d'après Chancerel 2003).

Ordre de grandeur des taux de survie depuis l'œuf

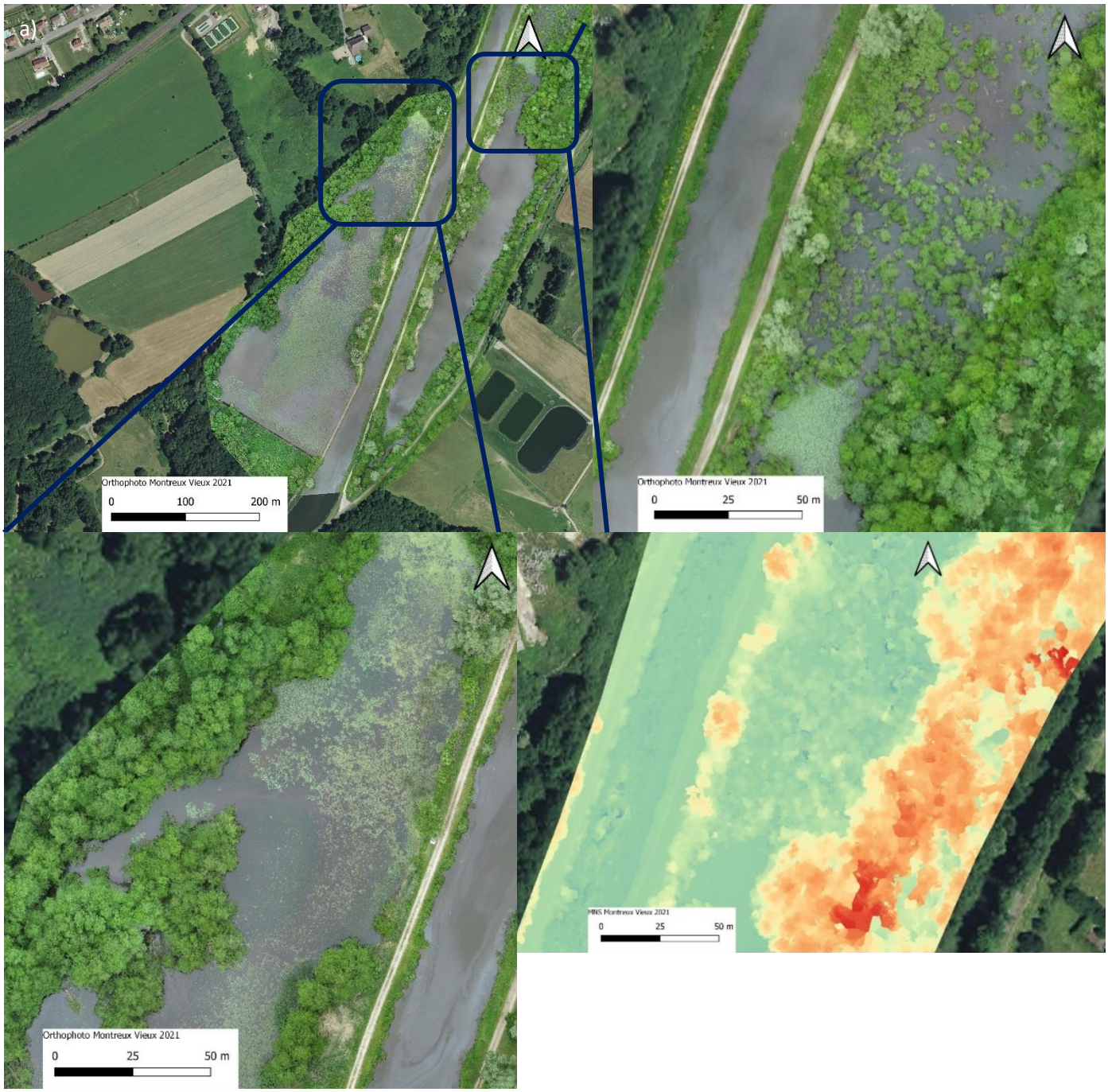
	Œuf ⇨ Brochetons migrants de 6 à 8 semaines	⇨ 1 an 150 g	⇨ Adultes 45 cm/600 g ± 3ans	Mortalité du stade œuf à la première reproduction	Renouvellement potentiel des femelles à la première reproduction (nombre de filles de 3 ans pour une mère)
Milieux aménagés protégés et gérés (élevage)	10%	5%	1,5%	98,5%	99
Milieux naturels fonctionnels neufs (sans prédateurs)	5%	2%	0,5%	99,5%	33
Milieux naturels fonctionnels de bonne qualité	2%	0,5%	0,1 %	99,9%	7
Milieux naturels peu favorisés ou dégradés	<0,3%	<0,05%	<0,005%	>99,99%	< 0,3
	Très dépendant de la qualité des frayères	Très dépendant de la qualité des habitats (nurserie)		Ces mortalités en apparences fortes offrent en fait des possibilités de recrutement très élevées lorsque les conditions sont bonnes	Les milieux fonctionnels autorisent un prélèvement important sans conséquence sur le renouvellement de la population



Annexe 9 : Synthèse des données produites sur les plans d'eau de Montreux Vieux (volet bathymétrie et volet drone) dans le cadre de l'étude des plans d'eau du Sundgau.



Carte de la profondeur de vase en m (a), de la nature des fonds en termes de dureté (b) et de la nature des fonds en termes d'habitats (c avec « Montreux Ouest » en haut et » Montreux Est » en bas).



Orthophotographie de précision (a) et Modèle Numérique de Terrain (b) des sites de Montreux-Vieux.