ETUDE DES PLANS D'EAU SUNGDAUVIENS 2021-2022

Fédération du Haut-Rhin pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique
29, avenue de Colmar - 68200 MULHOUSE
03.89.60.64.74 - www.peche68.fr - contact@peche68.fr

Rédaction : Ywen NAMOKEL, Pierre ROVERE & Pauline FAGOT

Relecture : Emilien BORDIER & Marjorie SCHMERBER

Version finale du 30/04/2022

Dossier suivi par : Y. NAMOKEL, Responsable Technique
responsable.technique@peche68.fr

Financeurs :

Partenaires techniques :

Référence à citer :

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.

SOMMAIRE

1. Introduction ... 1
2. Objectifs ... 2
3. Contexte ... 3
   1. Limnologie ... 3
      a) Histoire et enjeux actuels ... 3
      b) Typologie ... 3
      c) Hydrologie ... 6
      d) Température ... 6
      e) L'oxygène ... 8
      f) Les nutriments ... 9
      g) Eutrophisation ... 10
      h) River continuum concept, NTT, plan d'eau et « saut trophique » ... 12
      i) Continuité écologique et sédimentaire ... 13
   2. Le bassin versant de la Largue et du secteur de Montreux ... 15
      a) Périmètre d'étude ... 15
      b) Le Sundgau ... 16
      c) Géographie ... 16
      d) Démographie ... 16
      e) Géologie ... 16
      f) Réseau hydrographique ... 16
      g) Cadre règlementaire ... 18
      h) Patrimoine naturel et remarquable ... 20
      i) Hydrologie ... 22
      j) Les plans d'eau ... 23
      k) Enjeux ... 24
      l) Débits minimum biologique ... 24
      m) Thermie ... 25
      a) Biodiversité piscicole ... 27
      b) Halieutisme ... 29
   3. Les sites pilotes ... 29
      a) Le site de Courtavon ... 31
      b) Le site de Chavannes sur l'étang ... 36
      c) Les sites de Montreux-Vieux (plan d'eau Ouest dit le Réservoir) ... 40
      d) Les sites de Montreux-Vieux (plan d'eau Est dit l'étang du Pendu) ... 43
      e) Le site de Guershwiller ... 45
      f) Le site de Pfetterhouse ... 49
      g) Le site de Levoncourt ... 55
4. Méthodologie ... 59
   1. Généralités ... 59
   2. Approche physique ... 61
      a) Volet bathymétrie ... 61
      b) Volet drone ... 62

c) Volet flux 64
d) Volet thermie 71
e) Volet physico-chimique 74
f) Volet hydromorphologie 78
3. Approche biologique 84
a) Volet ADNe 84
b) Volet piscicole 87
c) Volet invertébré 89
d) Volet astacicole 91
5. Résultats par sites pilotes 93
1. Le site de Courtavon 93
a) Volet bathymétrie 94
b) Volet drone 96
c) Volet flux 97
d) Volet thermie 103
e) Volet physico-chimique 113
f) Volet hydromorphologie 131
g) Volet ADNe 145
h) Volet piscicole 150
i) Volet invertébré 157
j) Volet astacicole 162
2. Le site de Chavannes 164
a) Volet bathymétrie 165
b) Volet drone 167
c) Volet flux 168
d) Volet thermie 172
e) Volet physico-chimie 179
f) Volet ADNe 185
g) Volet invertébré 188
h) Volet astacicole 192
3. Les sites de Montreux-Vieux 194
a) Volet bathymétrie 195
b) Volet physico-chimie 199
c) Volet ADNe et piscicole 206
d) Volet astacicole 211
4. Le site de Guershwiller 213
a) Volet bathymétrie 214
b) Volet drone 216
c) Volet flux 217
d) Volet physico-chimie 218
e) Volet ADNe 224
f) Volet invertébré 226
g) Volet astacicole 230

5. Le site de Pfetterhouse 232
a) Volet drone 233
b) Volet flux 234
c) Volet thermie 240
d) Volet physico-chimie 247
e) Volet piscicole 252
f) Volet invertébré 253
6. Le site de Levoncourt 259
a) Volet bathymétrie 260
b) Volet drone 261
c) Volet physico-chimie 262
d) Volet invertébré 267
e) Volet astacicole 272
6. Approche globale et perspectives 274
1. Des impacts identifiés et quantifiés, aussi diversifié que les typologies étudiées 274
a) Le cas de l'ADNe 274
b) Le cas des invertébrés benthiques 275
c) Le cas de la thermie 279
2. Agir, préserver et restaurer 280
a) Perspectives globales 280
b) Le cas du plan d'eau de Courtavon 284
7. Conclusion 287
BIBLIOGRAPHIE 289

Tables des Figures

Figure 1 : Structure schématique d'un plan d'eau (source : eaufrance.fr) 4
Figure 2 : cycle de production piscicole traditionnel en étang (Banas, 1997). 5
Figure 3 : Stratification selon les cycles saisonniers (source : eaufrance.fr et réseau lacs sentinelles, nd) 7
Figure 4 : Schéma simplifié du cycle de l'azote au lac Saint-Charles (APEL 2016). 9
Figure 5 : Cycle global du phosphore (Bonniemf Incorporates work by NASA Earth science enterprise). 10
Figure 6 : Schéma simplifié des variables de contrôles et du cycle de l'eutrophisation. 11
Figure 7 : Evolution et comblement progressif d'un lac (phénomène au long terme mais pouvant être accéléré du fait des impacts anthropiques) (source : eaufrance.fr). 11
Figure 8 : Le river continuum concept de Vannote (1980). La proportion de groupes alimentaires d'invertébrés correspond aux changements des facteurs physiques dans le sens longitudinal (source : USDA 2001). 12
Figure 9 : Localisation du secteur général de l'étude : le bassin versant de la Largue et du secteur de Montreux (périmètre SAGE). 15
Figure 10 : Réseau hydrographique du secteur d'étude (périmètre SAGE). 17
Figure 11 : Présentation du principe d'agrégation pour la qualification de l'état écologique. 19
Figure 12 : Débit moyen mensuel de la Largue (m³/s), station à Friesen (source Banque hydro, 2022 – pour les données les plus valides entre 2013 et 2022). 22
Figure 13 : Localisation des principaux plans d'eau recensés (source : EPAGE Largue 2021). 23
Figure 14 : Répartition du réseau de sonde thermique dans le Haut-Rhin. Température moyennes des 30 jours les plus chaud et écarts thermiques vis-à-vis des préférendums de la truite. Projection des moyennes interannuelles des 30 jours les plus chauds issue d'une combinaison multimodèle (MTw7J MUL) (source : INRAE). La largeur des polylignes est fonction de l'ordre de Strahler. 26
Figure 15 : Température moyennes des 30 jours les plus chaud en 2019 sur la Largue (plus représentative que 2021). 27
Figure 16 : Localisation des stations de pêche d'inventaire sur le bassin de la Largue en 2020. 28
Figure 17 : Zone d'étude des plans d'eau et répartition des 7 sites étudiés en 2021 (NB : 2 plans d'eau au lieu d'un seul sont juxtaposés au niveau de « Montreux » - les dénominations des sites sont abrégés). 30
Figure 18 : Illustrations du plan d'eau de Courtavon (environnement Sud, Nord et berges Est). 31
Figure 19 : Plan descriptif du plan d'eau de Courtavon. 31
Figure 20 : Occupation des sols sur le bassin de la Largue amont et du site de Courtavon. 32
Figure 21 : Zones naturelles d'intérêt écologique et Natura 2000 sur le site de Courtavon. 32
Figure 22 : Comparatif de la queue du plan d'eau, 2006-2010 (gauche) et 2000-2005 (droite), source : IGN remonter le temps, 2021 33
Figure 23 : Comparatif actuel (gauche) et 1950-65 (droite), avant la dérivation à l'Ouest de la Largue, source : IGN remonter le temps, 2021 34
Figure 24 : Illustration du plan d'eau de Chavannes sur l'étang. 36
Figure 25 : Plan descriptif du plan d'eau de Chavannes sur l'étang. 36
Figure 26 : Occupation des sols sur le bassin de la Gruebaine et les sites de Chavanne et de Montreux. 37
Figure 27 : Zones naturelles d'intérêt écologique et Natura 2000 sur le site de Chavanne. 37
Figure 28 : Comparatif actuel (gauche) et de 1950-65 (en haut à droite) et carte d'état-major (1820-1866) en bas à droite. Il est possible de voir que le cours d'eau passait en rive gauche de l'étang actuellement en barrage, source : IGN remonter le temps, 2022. 39
Figure 29 : Plan descriptif du plan d'eau plan d'eau Montreux-Ouest dit le Réservoir. 40
Figure 30 : Zones naturelles d'intérêt écologique et Natura 2000 sur les sites de Montreux. 41
Figure 31 : 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. 42
Figure 32 : Illustration du taux de recouvrement en aout 2021 de Trapa natans. 43
Figure 33 : Plan descriptif du plan d'eau plan d'eau Montreux-Est dit l'étang du Pendu. 44
Figure 34 : Plan descriptif du plan d'eau plan d'eau de Guershwiller situé sur la commune de Pfetterhouse et propriété du CEN. 46
Figure 35 : Occupation des sols sur le bassin du Babersenbach et du site de Guershwiller. 46
Figure 36 : Zones naturelles d'intérêt écologique, faunistiques et floristiques et Natura 2000 sur le bassin du Babersenbach et du site de Guershwiller 47
Figure 37 : Comparatif actuel (gauche), de 1950-65 (en haut à droite), de 2006-2010 (en bas à gauche) et des cartes d'états-majors (en bas à droite). Les pièces d'eau n'ont que peu évoluées depuis le passé. Source : IGN remonter le temps, 2022. 48
Figure 38 : Plan descriptif du plan d'eau plan d'eau de Pfetterhouse. 49
Figure 39 : Détail de l'hydrologie du site et de la prise d'eau sur la Largue en amont. 51
Figure 40 : Occupation des sols sur le bassin de la Largue et du site de Pfetterhouse. 52
Figure 41 : Zones naturelles d'intérêt écologique et Natura 2000 sur le site de Pfetterhouse. 52
Figure 42 : Comparatif actuel (en haut à gauche), de 1950-65 (en haut à droite), de 2006-2010 (en bas à gauche) et de 2000-2005 (en bas à droite). Source : IGN remonter le temps, 2022. 53
Figure 43 : Illustration des travaux de vidange du plan d'eau (prise de vue lors du 17/02/21). 54
Figure 44 : Plan descriptif du site de Levoncourt. 55
Figure 45 : Occupation des sols sur le bassin de la Largue amont et du site de Levoncourt. 56

Figure 46 : Zones naturelles d'intérêt écologique et Natura 2000 sur le site de Levoncourt. 56
Figure 47 : Comparatif actuel (en haut à gauche), de 1950-65 (en haut à droite), de 2006-2010 (en bas à gauche) et de 2000-2005 (en bas à droite). Source : IGN remonter le temps, 2022. 57
Figure 48 : Schéma des liaisons entres chaque volet et les deux problématiques principales (en vert pour l'approche physique et en bleue pour l'approche biologique). 59
Figure 49 : Schéma général de l'articulation des 10 volets analytiques et des deux approches employées lors de l'étude des plans d'eau du Sundgau..... 60
Figure 50 : 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). 61
Figure 51 : Plan d'échantillonnage (bathymétrie) du plan d'eau de Courtavon. 62
Figure 52 : Illustrations du drone Phantom 4 Pro V2.0. 63
Figure 53 : 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) 64
Figure 54 : Courantomètre électromagnétique. 64
Figure 55 : Matériel de topographie, niveau de chantier (a), mire (b) et point dur de référence (c). 66
Figure 56 : Schéma buse, source Cap-Récifal (Denis Tournassat), nd..... 69
Figure 57 : Socles et sonde bathymétrique. 70
Figure 58 : Sonde thermique Hobo Pendant (a) et exemple du système de fixation installé au point le plus profond du site de Courtavon pour suivre l'évolution thermique du plan d'eau (b). 71
Figure 59 : Schéma des orientations des choix des tests statistiques de comparaisons de moyennes. 73
Figure 60 : Boitier multiparamétrique (a), sonde oxygène (b), sonde pH (c), sonde conductivité (d) 74
Figure 61 : Bouteille de VanDorn..... 74
Figure 62 : Illustration et principe de disparition du disque de Secchi (RIEM, 2019). 77
Figure 63 : Illustrations du Trimble Nomad 5 (à gauche) et de la prise de note in situ, sur la Largue (à droite). ... 78
Figure 64 : Colmatage des substrats sur la Largue 80
Figure 65 : Découpage d'une ripisylve en strates (Syndicat du bassin de l'Ouche, 2019) 82
Figure 66 : Schéma des méthodes de métabarcoding (a) et de barcoding (b). Source : Spygen. 85
Figure 67 : 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. 86
Figure 68 : classes de qualité de l'indice pathologique global. 88
Figure 69 : Illustrations des opérations de pêche électrique sur la Largue, tri des poissons (1), biométrie (2), bacs oxygénés en attendant la remise à l'eau (3), photographie du phénotype des Truites fario (4), filet aval (5), opérateur épuisette (6), opérateur anode avec groupe portatif FEG1700 (7). 88
Figure 70 : Illustration des prélèvements d'invertébré et de la détermination en laboratoire. 90
Figure 71 : Illustrations des nasses à écrevisses utilisées (a), d'une station de pose de nasses dans des habitats favorables et à l'ombre (b), captures d'écrevisses à pattes grêles (Astacus leptodactylus) sur Courtavon (c)..... 92
Figure 72 : Cartographie schématique de la métrologie déployée sur le site de Courtavon et noms des stations. 93
Figure 73 : Carte bathymétrique du plan d'eau de Courtavon et caractéristiques associées. 94
Figure 74 : 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)..... 95
Figure 75 : Orthophotographie de précision (a) et Modèle Numérique de Terrain (b) du site de Courtavon. 96
Figure 76 : débit de la Largue en 2021 au niveau de la station de Friesen (sources : hydroportail 2022)..... 97
Figure 77 : Courbes de tarages produites sur la Largue à Courtavon. 98
Figure 78 : Débits estimés en position médiane, en aval et au déversoir d'avril 2021 à mars 2022. 99
Figure 79 : Hauteur d'eau du plan d'eau de Courtavon, de la Largue et débits estimés en aval d'avril 2021 à mars 2022. 101
Figure 80 : bilan hydrologique du site de Courtavon. 102
Figure 81 : Débits mensuels de la Largue à Courtavon (sources : hydroportail 2022 et EPAGE Largue)..... 103
Figure 82 : profils thermiques et températures moyennes journalières des 6 stations annexes du site de Courtavon (plan d'eau, affluent et zones éloignées). 104
Figure 83 : profil thermique et températures moyennes journalières des 3 stations principales du site de Courtavon (Largue et exutoire). 105
Figure 84 : boxplots des températures moyennes mensuelles des 9 stations du site de Courtavon. 106
Figure 85 : boxplots des températures journalières moyennes sur 6 mois (fin-avril à début-octobre) des 9 stations du site de Courtavon. 107
Figure 86 : Boxplots comparatifs des températures moyennes mensuelles entre l'amont (en haut) et l'aval (en bas) du plan d'eau de Courtavon. Les lettres représentent les groupes de significativités issus du comparatif intra-station et les chiffres les groupes issus du comparatif inter-stations..... 108
Figure 87 : Résultats des moyennes des 30 jours les plus chauds sur le site de Courtavon. 111
Figure 88 : Résultats des moyennes des 30 jours les plus chauds sur le site de Courtavon et répartition des températures moyennes selon le préférendum thermique de la truite fario et du Brochet..... 112
Figure 89 : Schéma simplifié des localisations et noms des diverses stations d'analyses physico-chimiques.... 113
Figure 90 : Qualité physico-chimique sur la base des concentrations moyennes sur le site de Courtavon et paramètres déclassants associés..... 114

Figure 91 : Qualité physico-chimique sur la base des concentrations maximales sur le site de Courtavon et paramètres déclassants associés. 115
Figure 92 : Profondeur de pénétration de la lumière (turbidité mesurée au disque de Secchi) sur le plan d'eau de Courtavon. 118
Figure 93 : Evolution temporelle et spatiale de la concentration en oxygène : sur la Largue (a), au Nord du lac (b), au Sud du lac (c) et au Sud-Est avec les affluents (d). 119
Figure 94 : Evolution temporelle et spatiale de la conductivité : sur la Largue (a), au Nord du lac (b), au Sud du lac (c) et au Sud-Est avec les affluents (d). 120
Figure 95 : Evolution temporelle et spatiale du pH : sur la Largue (a), au Nord du lac (b), au Sud du lac (c) et au Sud-Est avec les affluents (d). 121
Figure 96 : Evolution temporelle et spatiale de la concentration en Nitrite : sur la Largue (a), au Nord du lac (b), au Sud du lac (c) et au Sud-Est avec les affluents (d). 122
Figure 97 : Evolution temporelle et spatiale de la concentration en Nitrate : sur la Largue (a), au Nord du lac (b), au Sud du lac (c) et au Sud-Est avec les affluents (d). 123
Figure 98 : Evolution temporelle et spatiale de la concentration en Ammonium : sur la Largue (a), au Nord du lac (b), au Sud du lac (c) et au Sud-Est avec les affluents (d). 124
Figure 99 : Evolution temporelle et spatiale de la concentration en Orthophosphate : sur la Largue (a), au Nord du lac (b), au Sud du lac (c) et au Sud-Est avec les affluents (d). 125
Figure 100 : Rapport azote minéral / orthophosphate dans la couche euphotique (moyenne des concentrations) dans le plan d'eau de Courtavon en 2021. 126
Figure 101 : précipitations mesurées sur la zone d'étude d'avril à octobre 2021 (source : infogeo swiss river 2021). 127
Figure 102 : Concentration en nutriments mesurées et pluviométrie sur la Largue. 128
Figure 103 : Concentration en nutriments mesurées et pluviométrie sur les affluents du plan d'eau (rejet au Sud du restaurant et ruisseau au Sud-Est). 129
Figure 104 : Graphique des individus de l'ACP (gauche), source : P. Rovere, 2021 et Graphique des variables de l'ACP (droite), source : P. Rovere, 2021 130
Figure 105 : Sectorisation du tronçon prospecté de la Largue à proximité du plan d'eau de Courtavon. 131
Figure 106 : planche photographique des 5 segments identifiés sur le site de Courtavon 132
Figure 107 : Faciès d'écoulement, colmatage et granulométrie de la Largue à proximité du plan d'eau de Courtavon 133
Figure 108 : Colmatage observé sur la Largue à proximité du plan d'eau de Courtavon 134
Figure109 : Mise en évidence d'une incision supposée au droit du déversoir (différence d'altitude entre le déversoir et le fond du lit estimée à 2m). 135
Figure 110 : Illustrations des types d'embâcle observés. 136
Figure 111 : Embâcles présents au pied du déversoir du plan d'eau de Courtavon 136
Figure 112 : Embâcles situés à proximité du plan d'eau de Courtavon 137
Figure 113 : Exemple de déchets observés sur le secteur d'étude et localisation associées. 138
Figure114 : Continuité et diversité de la ripisylve 139
Figure115 : Hauteur et pente moyennes des berges sur le secteur d'étude 140
Figure 116: Franchissabilité des obstacles à l'écoulements pour la Truite fario 141
Figure117 : Ouvrages problématiques pour la continuité écologique situés sur le tronçon prospecté de la Largue 142
Figure118 : Occupation des sols à proximité du plan d'eau de Courtavon 143
Figure119 : Tronçon aval du tronçon prospecté de la Largue (à gauche), enrochements disposés en rive droits (à droite) 144
Figure120 : La Largue au droit du plan d'eau de Courtavon 144
Figure121 : Vestiges de protection de berge en rive gauche (à gauche) et enrochements en rive droite (à droite)
Figure122 : Résultats par transects des échantillonnages d'ADNe sur le plan d'eau de Courtavon. 147
Figure123 : Proportions d'abondances relatives des taxons sur le plan d'eau de Courtavon. 147
Figure124 : Occurrence et répartition des différentes espèces détectées par ADNe sur le plan d'eau de Courtavon. 148
Figure 125 : Illustration du Pseudorasbora parva ou goujon asiatique (source : observatoire des poissons de seine-Normandie). 149
Figure 126 : Illustration de l'amour blanc, Ctenopharyngodon idella (source : observatoire des poissons de seine-Normandie). 150
Les deux espèces majoritaires à l'amont (Vairon à gauche et Truite fario à droite) (source : observatoire des poissons de seine-Normandie). 152
Les deux espèces majoritaires à l'aval (Chabot fluviatile à gauche et Chevesne à droite) (source : observatoire des poissons de seine-Normandie). 153
Figure 127 : Résultats IPR à l'échelle du bassin (données 2020-2021) et proportions d'espèces de poisson. 155
Figure 127bis : comparatif en termes de proportions d'espèces présentes sur les deux stations étudiées (en 2021) ainsi que les stations situées en amont éloigné et en aval éloigné (résultats de 2020). 156
Figure 128 : Résultats généraux du volet invertébré sur la Largue à Courtavon (a), résultats complémentaires (b) et illustrations des groupes indicateurs (c). 157
Figure 129 : diagramme des proportions des variables 24 (ordres d'insectes) et 11 (modes d'alimentation). 158
Figure130 : histogramme des degrés de trophie et de saprobie (amont Courtavon). 158

Figure131 : Résultats de l'outil de diagnostic ODInvertebres sur la station amont Courtavon. 159
Figure 132 : diagramme des proportions des variables 24 (ordres d'insectes) et 11 (modes d'alimentation). 160
Figure 133: histogramme des degrés de trophie et de saprobie en (aval Courtavon). 160
Figure 134: Résultats de l'outil de diagnostic ODInvertebres sur la station aval Courtavon. 161
Figure136 : Illustration des deux espèces d'écrevisses capturées à Courtavon avec : l'écrevisse à pattes grêles (Astacus leptodactylus) dans le plan d'eau à gauche et l'écrevisse à pattes rouges dans la Largue aval (Astacus astacus) à droite. 162
Figure 137 : Cartographie schématique de la métrologie déployée sur le site de Chavannes-sur-l'étang et noms des stations. 164
Figure 138 : Carte bathymétrique du plan d'eau de Chavannes-sur l'étang et caractéristiques associées. 165
Figure 139 : 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). 166
Figure 140 : Orthophotographie de précision (a) et Modèle Numérique de Terrain (b) du site de Chavannes.... 167
Figure141 : débit de la Gruebaine en 2019-2020 au niveau de l'exutoire du bassin (sources : VNF et CEN Alsace). 168
Figure142 : Courbes de tarages produites sur la Gruebaine, à l'amont du plan d'eau (à gauche) et à l'aval (à droite). Les figures du bas présentes les résultats après la suppression de l'unique valeur plus élevée. 169
Figure143 : Résultats des mesures au courantomètre sur les stations de jaugeage en amont et en aval du plan d'eau. 169
Figure144 : Hauteur d'eau du plan d'eau et débits estimés au déversoir d'avril à juillet 2021. 170
Tableau 14 : Moyennes mensuelles des débits estimés au droit du déversoir du plan d'eau. 170
Figure145 : proportion des diverses gammes de débits estimés à l'exutoire du plan d'eau de Chavannes entre avril et juillet 2021. 171
Figure146 : Bilan des flux sur le site de Chavannes. 171
Figure147 : profil thermique et températures moyennes journalières des 4 stations du site de Chavannnes. 173
Figure148 : boxplots des températures moyennes sur 6 mois des 4 stations du site de Chavannnes. 173
Figure149 : boxplots des températures moyennes mensuelles des 4 stations du site de Chavannnes. 174
Figure 150: Boxplots comparatif des températures moyennes mensuelles entre l'amont (gauche) et l'aval (droite) du plan d'eau de Chavannes. Les lettres représentent les groupes de significativités issus du comparatif intra-station et les chiffres les groupes issus du comparatif inter-stations. 175
Figure 151: Résultats des moyennes des 30 jours les plus chauds sur le site de Chavannes. 177
Figure 152: Répartition des températures moyennes selon le préférendum thermique de la truite fario sur Chavannes. 178
Figure153 : Répartition des températures moyennes selon le préférendum thermique du brochet sur Chavannes. 178
Figure154 : Qualité physico-chimique sur la base des concentrations moyennes sur le site de Chavannes et paramètres déclassants associés. 179
Figure 155: Qualité physico-chimique sur la base des concentrations maximales sur le site de Chavannes paramètres déclassants associés. 180
Figure156 : Evolution temporelle et spatiale de la concentration en oxygène (a), la conductivité (b) et le pH (c) sur la Gruebaine amont, sur le plan d'eau et sur la Gruebaine aval. 182
Figure157 : Evolution temporelle et spatiale de la concentration en nitrite (a), en nitrate (b), en amonium (c) et en phosphate (d) sur : l'amont de la Gruebaine, le plan d'eau et l'aval. 183
Figure158 : Rapport azote minéral / orthophosphate dans la couche euphotique (moyenne des concentrations) dans le plan d'eau de Courtavon en 2021. 184
Figure 159: Résultats des analyses ADNe sur le site de Chavannes sur l'étang. 185
Figure 160 : Illustration de la station d'inventaire piscicole située en amont et des espèces majoritairement échantillonnées (Pseudorasbora en haut et perche soleil en bas à droite). 186
Figure161 : Résultats généraux du volet invertébré sur la Gruebaine à Chavannes sur l'étang (a), résultats complémentaires (b) et illustrations des groupes indicateurs (c). 188
Figure 162: diagramme des proportions des variables 24 (ordres d'insectes) et 11 (modes d'alimentation). 189
Figure 163: histogramme des degrés de trophie et de saprobie (amont Chavannes). 189
Figure164 : Résultats de l'outil de diagnostic ODInvertebres sur la station amont Chavannes. 190
Figure165 : diagramme des proportions des variables 23 (classes) et 11 (modes d'alimentation). 191
Figure 166 : histogramme des degrés de trophie et de saprobie en (aval Chavannes). 191
Figure 167: Résultats de l'outil de diagnostic ODInvertebres sur la station aval Chavannes. 192
Figure 168 : Cartographie schématique de la métrologie déployée sur les sites de Montreux-Vieux et noms des stations. 194
Figure169 : 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.). 195
Figure170 : 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). 196
Figure 171 : Orthophotographie de précision (a) et Modèle Numérique de Terrain (b) des sites de Montreux-Vieux. 198
Figure 172 : Qualité physico-chimique sur la base des concentrations moyennes sur les sites de Montreux-Vieux et paramètres déclassants associés. 199

Figure 173 : Qualité physico-chimique sur la base des concentrations maximales sur les sites de Montreux-Vieux et paramètres déclassants associés. 200
Figure174 : Evolution temporelle et spatiale de la concentration en oxygène (a), la conductivité (b) et le pH (c) sur les plans d'eau de Montreux Vieux (NMont pour Montreux-Ouest et SMont pour Montreux Est). 203
Figure 175 : Evolution temporelle et spatiale de la concentration en nitrite (a), en nitrate (b), en amonium (c) et en phosphate (d) sur les plans d'eau de Montreux Vieux (NMont pour Montreux-Ouest et SMont pour Montreux Est). 204
Figure 176 : Rapport azote minéral / orthophosphate dans la couche euphotique (moyenne des concentrations) dans le plan d'eau de Montreux Ouest (a) et Montreux Est (b) en 2021. 205
Figure177 : Résultats des analyses ADNe sur les sites de Montreux-Vieux 206
Figure 178 : Cartographie schématique de la métrologie déployée sur le site de Guershwiller (sur la commune de Pfetterhouse) et noms des stations. 213
Figure 179 : Carte bathymétrique du plan d'eau de Guershwiller et caractéristiques associées. 214
Figure 180 : 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). 215
Figure 181 : Orthophotographie de précision (a) et Modèle Numérique de Terrain (b) du site de Guershwiller-Pfetterhouse du CEN Alsace. 216
Figure 182 : Courbes de tarages produites sur le site de Guershwiller, à l'amont du plan d'eau (a) , à l'aval (b) , à l'aval éloigné (c) et variations des débits (d). 217
Figure183 : Hauteur d'eau du plan d'eau d'avril 2021 à mars2022 et moyennes mensuelles. 218
Figure 184 : Qualité physico-chimique sur la base des concentrations moyennes sur le site de Guershwiller et paramètres déclassants associés. 219
Figure 185: Qualité physico-chimique sur la base des concentrations maximales sur le site de Guershwiller paramètres déclassants associés. 220
Figure186 : Evolution temporelle et spatiale de la concentration en oxygène (a), la conductivité (b) et le pH (c) sur les stations du site de Guershwiller. 221
Figure 187 : Evolution temporelle et spatiale de la concentration en nitrite (a), en nitrate (b), en amonium (c) et en phosphate (d) sur : l'amont de la Gruebaine, le plan d'eau et l'aval 222
Figure188 : Rapport azote minéral / orthophosphate dans la couche euphotique (moyenne des concentrations) dans le plan d'eau de Guershwiller en 2021. 223
Figure 189 : Résultats des analyses ADNe sur le site de Guershwiller. 224
Figure190 : Illustrations d'une capture de Perche soleil. 225
Figure191 : Résultats généraux du volet invertébré sur le site de Guershwiller (a), résultats complémentaires (b) et illustrations des groupes indicateurs (c). 226
Figure192 : diagramme des proportions des variables 24 (ordres d'insectes) et 11 (modes d'alimentation). 227
Figure193 : histogramme des degrés de trophie et de saprobie (amont Guerswiller). 227
Figure194 : Résultats de l'outil de diagnostic ODInvertebres sur la station amont Guershwiller. 228
Figure195 : diagramme des proportions des variables 23 (classes) et 11 (modes d'alimentation). 229
Figure 196 : histogramme des degrés de trophie et de saprobie (aval Guershwiller). 229
Figure197 : Résultats de l'outil de diagnostic ODInvertebres sur la station aval Guershwiller. 230
Figure 198 : Cartographie schématique de la métrologie déployée sur le site de Pfetterhouse et noms des stations. 232
Figure 199 : Orthophotographie de précision (a) et Modèle Numérique de Terrain (b) du site de Pfetterhouse. 233
Figure 200 : débit de la Largue en 2021 au niveau de la station de Friesen (sources : hydroportail 2022). 234
Figure201 : Courbes de tarages produites sur la Largue à Pfetterhouse. 235
Figure202 : Débits estimés en amont, en aval et prélevés d'avril à octobre 2021. 236
Figure203 : Hauteur d'eau du plan d'eau de Pfetterhouse, de la Largue et débits estimés en aval d'avril à novembre 2021. 238
Figure204 : Bilan des flux sur le site de Pfetterhouse. 239
Figure 205 : profil thermique et températures moyennes journalières des 4 stations du site de Pfetterhouse. 241
Figure 206 : boxplots des températures moyennes sur 6 mois des 4 stations du site de Pfetterhouse. 241
Figure 207 : boxplots des températures moyennes mensuelles des 5 stations du site de Pfetterhouse. 242
Figure 208 : Boxplots comparatifs des températures moyennes mensuelles entre l'amont (gauche) et l'aval (droite) du plan d'eau de Pfetterhouse. Les lettres représentent les groupes de significativités issus du comparatif intra-station et les chiffres les groupes issus du comparatif inter-stations. 243
Figure 209 : Résultats des moyennes des 30 jours les plus chauds sur le site de Pfetterhouse. 245
Figure 210 : Résultats des moyennes des 30 jours les plus chauds sur le site de Pfetterhouse. 246
Figure 211 : Répartition des températures moyennes selon le préférendum thermique de la truite fario sur Pfetterhouse. 246
Figure 212 : Qualité physico-chimique sur la base des concentrations moyennes sur le site de Pfetterhouse et paramètres déclassants associés. 247
Figure213 : Qualité physico-chimique sur la base des concentrations maximales sur le site de Pfetterhouse paramètres déclassants associés. 248
Figure214 : Evolution temporelle et spatiale de la concentration en oxygène (a), la conductivité (b) et le pH (c) sur Pfetterhouse. 249
Figure215 : Evolution temporelle et spatiale de la concentration en nitrite (a), en nitrate (b), en amonium (c) et en phosphate (d) sur : l'amont de la Largue, le plan d'eau et l'aval. 251

Figure 216 : Rapport azote minéral / orthophosphate dans la couche euphotique (moyenne des concentrations) dans le plan d'eau de Courtavon en 2021. 252
Figure 217 : Résultats généraux du volet invertébré sur la Largue à Pfetterhouse (a), résultats complémentaires (b) et illustrations des groupes indicateurs (c). 253
Figure 218 : diagramme des proportions des variables 24 (ordres d'insectes) et 11 (modes d'alimentation). 254
Figure 219 : histogramme des degrés de trophie et de saprobie (amont Pfetterhouse). 254
Figure 220 : Résultats de l'outil de diagnostic ODInvertebres sur la station amont Pfetterhouse. 255
Figure 221: diagramme des proportions des variables 24 (ordres d'insectes) et 11 (modes d'alimentation). 256
Figure222 : histogramme des degrés de trophie et de saprobien (aval Pfetterhouse). 256
Figure223 : Résultats de l'outil de diagnostic ODInvertebres sur la station aval Pfetterhouse. 257
Figure 224 : Cartographie schématique de la métrologie déployée sur le site de Levoncourt et noms des stations. 259
Figure225 : Carte bathymétrique des plans d'eau de Levoncourt (en haut) et profondeur de vase (en bas). 260
Figure 226 : Orthophotographie de précision (a) et Modèle Numérique de Terrain (b) du site de Levoncourt. ... 261
Figure 227 : Qualité physico-chimique sur la base des concentrations moyennes sur le site de Levoncourt et paramètres déclassants associés. 262
Figure 228 : Qualité physico-chimique sur la base des concentrations maximales sur le site de Levoncourt paramètres déclassants associés. 263
Figure 229 : Evolution temporelle et spatiale de la concentration en oxygène (a), la conductivité (b) et le pH (c) sur les stations du site de Levoncourt. 264
Figure 230 : Evolution temporelle et spatiale de la concentration en nitrite (a), en nitrate (b), en amonium (c) et en phosphate (d) sur Levoncourt. 265
Figure 231 : Rapport azote minéral / orthophosphate dans la couche euphotique (moyenne des concentrations) dans le plan d'eau de Guershwiller en 2021. 266
Figure232 : Résultats généraux du volet invertébré sur le site de Levoncourt (a), résultats complémentaires (b) et illustrations des groupes indicateurs (c). 267
Figure233 : diagramme des proportions des variables 24 (ordres d'insectes) et 11 (modes d'alimentation). 268
Figure234 : histogramme des degrés de trophie et de saprobie (amont Levoncourt). 268
Figure235 : Résultats de l'outil de diagnostic ODInvertebres sur la station amont Levoncourt. 269
Figure236 : diagramme des proportions des variables 24 (ordres d'insectes) et 11 (modes d'alimentation). 270
Figure237 : histogramme des degrés de trophie et de saprobie (aval Levoncourt). 270
Figure238 : Résultats de l'outil de diagnostic ODInvertebres sur la station aval Levoncourt. 271
Figure 239 : Répartition générale des espèces de poissons détectées grâce à l'ADNe dans le Sundgau (codes espèces en annexe ou sur 275
Figure 240 : Analyse factorielle des correspondances sur les listes faunistiques obtenues sur les 10 inventaires I2M2 du Sundgau (données log-transformées). [Total inertia 0.70 ; Projected inertia Ax1 30.60% Ax2 24.10% Ax3 15 276
.21%]. 276
Figure241 : comparatif du trait bioécologique « mode d'alimentation » entre les stations de la Largue. 277
Figure 242 : Illustration des classes de qualité biologiques calculés sur les 10 stations à l'aide des résultats de l'I2M2 (à gauche) ou de l'IBG-DCE (à droite). 278
Figure243 : Schéma des températures moyennes des 30jours les plus chauds des 3 sites principaux : Pfetterhouse, Chavannes et Courtavon. 279
Figure 244 : schéma de fonctionnement d'un étang (source : EPTB Vienne, 2008). 280
Figure 245 : Schéma des résultats et des perspectives du projet « étude des plans d'eau Sundgauviens ». 281
Figure 246 : Schéma des typologies de problématiques observées en conclusion de l'étude des plans d'eau du Sundgau. 283
Figure 247 : schéma de pistes de réflexions d'aménagements en réponse aux problématiques (zonation à titre indicatif – les chiffres sont références des divers points). 286
Figure 248 : Illustration de travaux d'aménagements ambitieux et fructueux sur le site du « marais de Contes » (62) en 2015 pour un cout total de 1 052 000€ (restauration de la continuité écologique et recréation d'un lit mineur du cours d'eau à gauche, amélioration capacité auto épuratrice du milieu, diversification des habitats, création d'ilots, de zones de hauts fonds, de sentiers pédagogiques, création de frayères, etc.) – (source : http://www.peche62.fr/les-travaux-de-restauration-de-contes/). 287

Liste des tableaux

Tableau 1 : Crues sur la Largue, station de Friesen, source banque hydro, 2021 23
Tableau 2 : Résultats et débits minimum biologiques proposés (DMB) en 2021 (source : EPAGE Largue – Skora, 2021). 25
Figure 14 : Répartition du réseau de sonde thermique dans le Haut-Rhin. Température moyennes des 30 jours les plus chaud et écarts thermiques vis-à-vis des préférendums de la truite. Projection des moyennes interannuelles des 30 jours les plus chauds issue d'une combinaison multimodèle (MTw7J MUL) (source : INRAE). La largeur des polylignes est fonction de l'ordre de Strahler. 26
Figure 15 : Température moyennes des 30 jours les plus chaud en 2019 sur la Largue (plus représentative que 2021). 27
Tableau 3 : Variation de µ selon w et H0. 68
Tableau 4 : Coefficient de rugosité selon les matériaux, source : CEREMA (Bernard Chocat), 2020 68
Tableau 5 : Résumé des différents paramètres physico-chimiques analysés lors de l'étude sur la période d'avril à octobre 2021 75
Tableau 6 : Classes de qualités physico-chimiques en cours d'eau pour les paramètres étudiées fournies par l'arrêté du 27 juillet 2018 (Ministère de la transition écologique et solidaire, 2018). 76
Tableau 7 : Classes de qualités physico-chimiques en plan d'eau et méthode de calcul pour les paramètres étudiés fournies par l'arrêté du 27 juillet 2018 (Ministère de la transition écologique et solidaire, 2018). 76
Tableau 8 : Faciès d'écoulement 79
Tableau 5 : Classification de Wentworth 80
Tableau 6 : Classes de franchissabilité ICE (ONEMA,2015) 83
Tableau 7 : principales caractéristiques morphologiques et hydrologiques de la Largue (source : EPAGE LARGUE – Skora 2021). 97
Tableau 8 : Résultats des mesures au courantomètre sur les stations de jaugeage en amont, en position médiane et en aval du plan d'eau. 99
Tableau 9 : Caractéristiques principales des estimations de débits sur le site de Courtavon sur la période d'avril 2021 à mars 2022 (valeurs aberrantes non prises en compte en gris). 100
Figure 79 : Hauteur d'eau du plan d'eau de Courtavon, de la Largue et débits estimés en aval d'avril 2021 à mars 2022. 101
Tableau 10 : Résultats des moyennes mensuelles du site de Courtavon et quantification de l'impact thermique du plan d'eau. 109
paramètres déclassants associés. 115
Tableau 11 : Résultats des analyses physico-chimiques sur eaux brutes du plan d'eau de Courtavon et valeurs seuils calculées pour les paramètres (phosphore, ammonium, transparence et nitrates) au regard de l'arrêté du 27 juillet 2018 (rubrique plan d'eau). 117
Tableau 11 : Liste des principaux taxons uniquement identifiable au genre ou à la famille par l'expertise ADNe (tableau complet consultable en annexe). 145
Tableau : liste des espèces patrimoniales détectées sur le plan d'eau de Courtavon. 148
Tableau 135: résultats du volet astacicole sur le site de Courtavon. 162
Figure 140 : Orthophotographie de précision (a) et Modèle Numérique de Terrain (b) du site de Chavannes.... 167
Tableau 13 : principales caractéristiques morphologiques et hydrologiques de la Gruebaine (source : Fluvial.IS et CEN Alsace 2020). 168
Tableau 14 : Moyennes mensuelles des débits estimés au droit du déversoir du plan d'eau. 170
Tableau 16 : Résultats des moyennes mensuelles du site de Chavannes et quantification de l'impact thermique de l'étang. 176
Tableau 17 : Résultats des analyses physico-chimiques sur eaux brutes du plan d'eau de Chavannes et valeurs seuils calculées pour les paramètres (phosphore, ammonium, transparence et nitrates) au regard de l'arrêté du 27 juillet 2018 (rubrique plan d'eau). 181
Tableau 18 : Résultats des analyses physico-chimiques sur eaux brutes des plans d'eau de Montreux-Vieux et
Tableau 19 : liste des espèces patrimoniales détectées sur les plans d'eau de Guershwiller. 225
Tableau 20 : principales caractéristiques morphologiques et hydrologiques de la Largue (source : EPAGE LARGUE
Tableau 21 : Résultats des mesures au courantomètre sur les stations de jaugeage en amont et en aval du plan d'eau. 235

Abréviations

AAPPMA : Association Agréée pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique
AERM : Agende de l'Eau Rhin-Meuse
DCE : Directive Cadre sur l'Eau
FDAAPPMA68 : Fédération du Haut-Rhin pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique
ICE : Information sur la Continuité Écologique
OH : Ouvrage Hydraulique
PLUI : Plan Local d'Urbanisme Intercommunal
PNR : Parc Naturel Régional
RD : Rive droite
RG : Rive gauche
SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SANDRE : Service d'Administration National des Données et Référentiels sur l'Eau
SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
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

1. Introduction

Les plans d'eau sont des milieux aquatiques remarquables, présents depuis tout temps et de toutes origines, leur implantation dans le paysage local et dans la structuration des hydrosystèmes est indéniable.

Les eaux continentales de surface se distinguent en deux grandes catégories : les eaux courantes ainsi que les eaux stagnantes (Angelier, 2000). L'intérêt scientifique s'est concentré sur l'étude des grandes étendues d'eau que sont les lacs (Léman), depuis le XIXème siècle jusqu'à maintenant. Cependant les étendues d'eau lacustres ne se limitent pas à celles dont la taille est importante (lacs Alpins) et c'est à la fin du XXème siècle, avec le contexte de la directive cadre sur l'eau (DCE), que des travaux émergent sur les plans d'eau.

D'un point de vue typologique, un plan d'eau est d'après la définition du Service d'Administration Nationale des Données et Référentiels sur l'Eau : « une étendue d'eau douce continentale de surface, libre stagnante, d'origine naturelle ou anthropique, de profondeur variable. Ils peuvent posséder des caractéristiques de stratification thermique. Le terme plan d'eau recouvre un certain nombre de situations communément appelées lacs, retenues, étangs, gravières, carrières ou marais. Les définitions rattachées à ces différentes situations sont nombreuses et font souvent référence à des usages » (SANDRE, 2005). Ainsi, cette terminologie renseigne sur des typologies variées et sur des usages potentiellement liés à celles-ci.

Une grande partie des plans d'eau sont des étangs : « plan d'eau d'origine naturelle ou artificielle, de faible profondeur sans stratification thermique stable » (SANDRE, 2005). Leurs origines remontent au Moyen Âge, où ils ont été creusés par des moines pour la production piscicole (e.g. carpes) (Billard, 2010). Parfois équipés pour accueillir les eaux de drainage, ils ont également une fonction récréative comme la pêche, la chasse et plus tard les sports nautiques. Les plans d'eau et les étangs sont une interface privilégiée entre le milieu terrestre et le milieu aquatique. Ces étendus d'eau stagnante sont parfois des véritables puits de biodiversité et de ressource en eau mais à l'inverse peuvent aussi avoir des niches écologiques limités et des impacts négatifs forts sur les hydrosystèmes attenants.

Cependant, ces étendues d'eau, longtemps vues comme des réservoirs de biodiversité jouent également un rôle perturbateur des hydrosystèmes (réchauffement des cours d'eau, introduction d'espèces invasives, etc.). Cet impact est généralement plus important sur les rivières de 1ère catégorie piscicole (rivière à Truite fario) et ces perturbations sont nuancées selon la typologie des sites. De plus, à cause de leur capacité d'autoépuration inférieure aux eaux courantes, les plans d'eau sont plus vulnérables à des évènements perturbateurs comme l'eutrophisation (Bartout and Touchart, 2013). La gestion des plans d'eau nécessite de connaitre leurs fonctionnements mais aussi leurs impacts sur les rivières. C'est pourquoi l'acquisition de ces connaissances est importante et permet aux structures concernées de prendre des mesures adaptées au regard d'une gestion efficace de ces étendues d'eau.

En France, on dénombre environ 550 000 plans d'eau d'une superficie supérieure à 1 are (Bartout and Touchart, 2013). Ces plans d'eau abritent une forte diversité. D'une part, floristique, en raison des variations de hauteurs d'eau (marnage) qui entraine une végétation diversifiée. Et d'autre part, faunistique puisque de nombreuses espèces d'animaux sont présentes dans cet écosystème, tels que les insectes, les poissons, les amphibiens et les oiseaux (Eaufrance, 2015). En France, l'étude des plans d'eau est un sujet qui manque de connaissance (Bartout and Touchart, 2013). On assiste historiquement à la prolifération des plans d'eau dans certaines régions, notamment dans la zone d'étude du Sundgau (Sud du département du Haut-Rhin) et du bassin versant de la Largue où le SAGE (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux) dénombre plus de 1100 plans d'eau de typologies variées (EPAGE Largue, 2016). Malgré le caractère de territoire de projet à l'histoire riche,

cette région d'étangs est également très méconnue avec des gestions locales parfois anarchiques.

C'est à la suite de ce constat qu'est liée la genèse de la présente étude déployée par la Fédération du Haut-Rhin de pêche et de protection des milieux aquatiques (FDAAPPMA68) en tant qu'association de protection de la nature reconnue d'utilité publique.

La présente étude s'intègre dans un programme global en collaboration et concertation étroite avec l'AERM (Agence de l'Eau Rhin-Meuse) et l'UBRM (Union des fédérations pour la pêche et la protection des milieux aquatiques du Bassin Rhin-Meuse). Mais également avec les partenaires locaux comme le Conservatoire des Espaces Naturels d'Alsace (CEN Alsace), l'Établissement Public d'Aménagement et de Gestion de l'Eau du bassin versant de la Largue et du secteur de Montreux (EPAGE Largue), Voie Navigable de France (VNF) et institutionnels avec la Direction Départementale des Territoire (DDT) et l'Office Français de la Biodiversité (OFB).

2. Objectifs

Les objectifs de cette étude sont multiples :

- Fournir des données scientifiques qualitatives permettant une connaissance fine de l'hydrosystème (aspects biologiques et facteurs structurants) ;
  - ➔ Définir la fonctionnalité des plans d'eau ;

- Appréhender l'impact des plans d'eau sur l'évolution des communautés des hydrosystèmes attenants ;
  - ➔ Identifier les impacts et les quantifier ;

- Permettre le déploiement de préconisations de gestion ou l'émergence de travaux de restauration sur des sites pilotes ;
  - ➔ Perspectives d'actions.

3. Contexte

1. Limnologie

a) Histoire et enjeux actuels

Le terme de limnologie est inventé par François-Alphonse Forel (1841-1912) avec ses travaux sur le lac Léman publiés dans un ouvrage monographique en trois volumes en 1892, 1896 et 1904 (Pilet, 2007). Issu du grecque « limne » (lac) et « logos » (étude), il définit l'étude des écosystèmes aquatiques continentaux et les facteurs physiques et biologiques qui influencent la vie des organismes. La limnologie dynamique s'intéresse plus spécifiquement aux mouvements des eaux tels les variations de niveaux, des ondes et des flux (Kumar, 2005; Touchart, 2002).

Les plans d'eau abritent des espèces sensibles aux variations du milieu, lui-même dépendant des conditions qui l'entourent. Pour exemple, le taux d'oxygène contenu dans l'eau peut être fortement influencé par le réchauffement climatique. En effet, l'augmentation de la température entraine une diminution de l'oxygène dissous et pourrait amplifier la stratification thermique ainsi que la production primaire (Jane et al., 2021). Cette étude parue dans Nature en 2021 démontre également un déclin significatif (2,75 à 9,3 fois plus important que dans les océans) de l'oxygène dissous dans les eaux douces.

Dans la littérature scientifique, on retrouve plus d'articles sur la limnologie des lacs que celles des étangs. Ces derniers sont souvent étudiés pour leurs rôles historiques de production piscicole. Actuellement, à l'échelle mondiale, l'aquaculture représente 28% de la production de poisson (2018), soit 51.3 millions de tonnes de poissons (ONU, 2020). Contrairement aux étangs où l'origine anthropique et les usages piscicoles sont reconnus, les lacs sont étudiés pour déterminer l'influence des pressions extérieures sur leurs écosystèmes. En effet, ces pressions causent une diminution de la biodiversité et une intensification de l'eutrophisation (Tremblay and Pienitz, 2015).

b) Typologie

❖ Les plans d'eau

Il existe deux grandes typologies principales au sein des plans d'eau attenants à un hydrosystème. Ils sont généralement soit : en dérivation (création d'un lit de contournement du plan d'eau) soit en barrage (aussi appelé au fil de l'eau : le plan d'eau est directement sur la rivière, provoquant un obstacle à l'écoulement) (BE Sinbio, 2011). Ils bénéficient de plusieurs apports d'eau (précipitation, écoulement de surface et souterrain), la quantité d'eau fournie diffère selon la typologie des sites (Wetzel, 2001).

Les plans d'eau sont caractérisés par la quantité d'eau, celle-ci est calculée avec une carte bathymétrique, un élément déterminant pour comprendre le fonctionnement de ces hydrosystèmes lacustres et la variation de leurs paramètres en fonction de la profondeur (Håkanson, 1996). Ces données permettent notamment une estimation du marnage et de la quantification des temps de résidence de l'eau dans les plans d'eau. Le bilan des flux est réalisé par l'estimation du débit des affluents et effluents par calculs et mesures ponctuelles (Le Coz et al., 2011). D'autre part, plusieurs paramètres déterminants pour les habitats sont dépendants du profil bathymétrique, tels la température et le cycle de la matière organique (Kalff, 2002). Des petits étangs de moins d'un hectare aux grands lacs de plusieurs centaines de kilomètres carrés, la taille des plans d'eau varie très fortement. Au sein de la zone étudiée le plus grand plan d'eau est le plan d'eau de Courtavon avec 29 hectares.

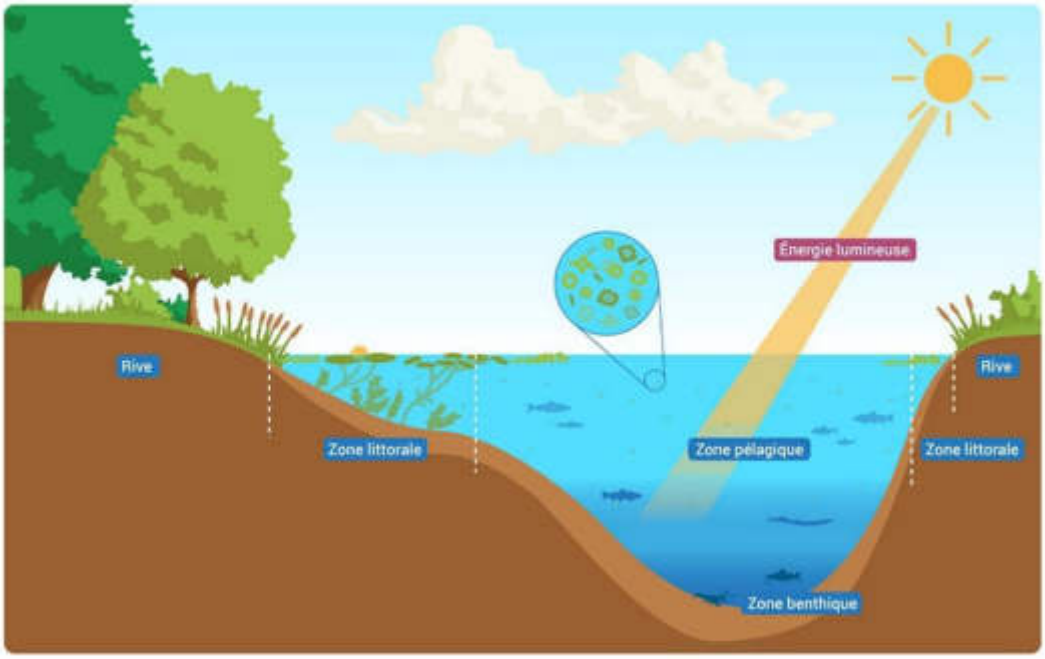


Figure 1 : Structure schématique d'un plan d'eau (source : eaufrance.fr)

❖ Les étangs

En France, la plupart des plans d'eau sont des étangs. C'est également majoritairement le cas au sein de la zone étudiée. Plusieurs définitions existent, centrées sur des caractéristiques physiques comme :

- La surface ou la profondeur avec la définition de Oertli (2013) : « Un étang est une surface d'eau stagnante, d'origine naturelle ou artificielle, de profondeur généralement limitée n'excédant pas 8 m et permettant ainsi un afflux lumineux sur l'ensemble du fond de la masse d'eau » ;
- La notion d'absence de stratification thermique avec la définition du SANDRE (2005) : « un étang est un plan d'eau d'origine naturelle ou artificielle, de faible profondeur sans stratification thermique stable ».

La superficie de l'étang est généralement comprise entre 5000m² et 5 hectares (Oertli et al 2000). Beaucoup d'étangs en France datent du Moyen Âge, où ils furent construits par les moines. De nombreux étangs sont encore exploités actuellement (pisciculture extensive) mais certains ne le sont plus ou possèdent uniquement un rôle d'intérêt paysager et cynégétique. On estime le nombre de petits plans d'eau à près d'un million en France (Oertli et Frossard, 2013).

Construits à l'origine avec une vocation de production piscicole, le cycle « classique » de production piscicole d'un étang se décompose en 4 phases (Banas, 1997) : Le remplissage, la phase de production piscicole, la vidange avec la pêche et enfin la période d'assec avec parfois une mise en culture. La période d'assec est facultative et de moins en moins pratiquée. Les étangs apportent de nombreux service et ce, même s'ils ne servent pas forcément en premier lieu à des fins de productions piscicoles. Ils correspondent souvent à des zones de tourisme, de loisirs (chasse et pêche), de baignade, sont des lieux d'observations naturelles pour le public ou apportent juste une valeur paysagère (Oertli et Frossard, 2013). Tout comme le plan d'eau, l'étang peut être en barrage ou en dérivation. L'étang de barrage est construit directement sur le cours d'eau par la création d'une digue. L'étang de dérivation en revanche est construit parallèlement au cours d'eau et possède une prise d'eau annexe (Banas, 2001).

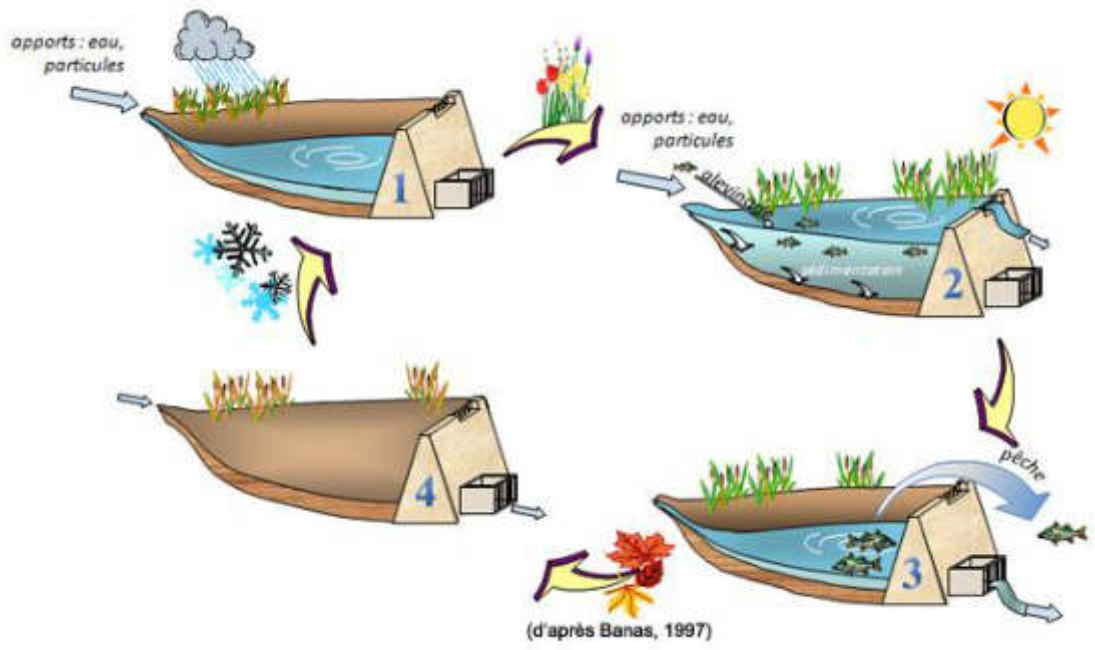


Figure 2 : cycle de production piscicole traditionnel en étang (Banas, 1997).

Les étangs de barrage peuvent jouer un rôle économique ou patrimonial, un rôle de réservoir des eaux pluviales, de soutien des débits d'étiages et de support d'une importante biodiversité (oiseaux, batraciens, insectes…). En effet, les étangs peuvent jouer un rôle de zone refuge ; de lieu de reproduction pour les amphibiens, une zone de migration pour les oiseaux ou encore présenter une richesse spécifique plus importante de certains groupes comme les macrophytes, les odonates, les amphibiens et les poissons (Vallod et Wezel, 2010).

Mais, malgré tous les avantages socio-économiques qu'ils peuvent procurer ; les étangs ne sont pas sans effets sur les cours d'eau. Ceci est particulièrement vrai pour les étangs de barrage directement positionnés sur le cours d'eau (Le Louarn et Berthu, 1991).

Les étangs ont de ce fait des impacts négatifs connus comme la perturbation hydrologique et la rupture du continuum écologique et sédimentaire qu'ils engendrent (le barrage à la libre circulation des poissons et des sédiments). Ils peuvent aussi induire un réchauffement des eaux (Le Louarn et Berthu, 1991 ; Casas et al, 2000). En été, la hausse de température liée à l'étang de barrage est comprise entre 2 et 7°C (Le Louarn et Berthu, 1991 ; Boutet-Berry, 2000). L'étang n'a pas seulement des impacts thermiques sur la qualité de l'eau ; il tend aussi à modifier d'autres paramètres physico-chimiques comme l'oxygénation qui est en général plus faible après l'étang lorsque l'eau est évacuée par le fond (Boutet-Berry, 2000) L'étang lui-même consomme aussi de l'O^2 la nuit et en produit le jour (ceci dans le cas d'une phytomasse importante). Pour le pH, il dépend du pouvoir tampon du milieu aqueux et de l'action de la photosynthèse plus ou moins élevée. Notons qu'il est généralement plus élevé à l'aval des étangs et compris entre 6,5 et 9 (Schlumberger, 2002). Ceci peut poser des problèmes dans certains cas comme lors de fortes chaleurs avec la production de NH4+ toxique pour les poissons. Les étangs tendent souvent à s'eutrophiser à cause d'un excès de matières organiques. Cet excès peut aussi produire de l'ammonium lors de sa dégradation. Ces changements corrélés entre-deux peuvent jouer sur la faune piscicole (certains poissons comme la truite ont besoin d'une oxygénation élevée) ou sur la photosynthèse des plantes.

Au niveau des nutriments comme l'azote, le phosphore ou les matières en suspension, des changements liés aux étangs sont aussi connus (Banas 2001). L'étang peut exercer plusieurs influences sur le milieu aval. Ainsi, il peut assimiler l'azote et le phosphore comme un puits ou jouer le rôle de source. Ceci dépend notamment de la nature du plan d'eau et de la saison

(Golterman, 1995 ; Banas 2001). L'étang peut relarguer ces nutriments dans le cas d'une forte fertilisation par le gestionnaire afin d'augmenter sa productivité dans le cadre d'un système piscicole intensif ou semi-intensif (Beaupied, 1980, Hargreaves 1998). Néanmoins, ces systèmes de gestions sont en général peu observés en France où l'on trouve plutôt des systèmes extensifs moins productifs. Ainsi, on observe majoritairement des tendances à l'abattement des charges de phosphore et azote. L'azote peut être assimilé par le réseau trophique de l'étang ou piégé par minéralisation ou encore assimilé par dénitrification (Beaupied, 1980 ; Banas, 2001). Le bilan total d'assimilation peut être estimé entre 65 et 106 kg/ha pour l'azote et entre 1,6 à 8,7 kg/ha pour le phosphore. Ces données ont pu être obtenues par l'étude de 6 étangs en Lorraine (Banas, 2001).

L'étang étant un milieu lentique très productif, il tend naturellement à s'eutrophiser. Les matières en suspension (MES) sont soit d'origine allochtone, soit d'origine autochtone. Dans le cas des cours d'eau de tête de bassins, la source majoritaire de MES est allochtone (feuilles des arbres, etc). Or, dans un étang, du fait de la forte productivité du milieu, les sources de nourriture sont plutôt autochtones. Les matières organiques (MO) constituent la part la plus importante des MES en étangs. La production de matière organique élevée conduit à une forte sédimentation des particules en suspension dans l'étang. Sur 6 étangs lorrains, la valeur de sédimentation est estimée entre 3,6 et 6 ,2 T/ha/an par Banas en 2001. Les étangs peuvent donc jouer un rôle de rétention des MES, nitrates et phosphate intéressant d'un point de vue écologique pour les milieux avals. Néanmoins, il convient aussi de faire le distinguo entre les flux en phases de production et les flux en phase de vidange.

En effet, la phase de vidage est considérée comme une phase sensible du fait de l'expulsion massive de particules vers l'aval. Les rejets par hectare d'étang peuvent être multipliés par 10 en période de vidange selon les pratiques de gestion (Banas 2001). En effet, la vidange d'étang lors de fortes précipitations conduit à un lessivage des sédiments exondés favorable au système en aval. De plus, certains des éléments relargués lors de la vidange peuvent entraîner une eutrophisation du milieu aval, une baisse de l'oxygénation de l'eau ou encore une forte augmentation du taux de matières organiques (Boutet-Berry, 2000).

Une vidange se découpe en 3 phases dont 2 phases majoritairement critiques (Masson, 2005). Une phase de début de vidange avec un pic de MES qui correspond à l'ouverture de la vanne ; puis la phase de vidange qui peut durer plusieurs jours voire plusieurs semaines. Et enfin, une dernière étape ; la phase de pêche (à la fin de la vidange) où le poisson va être récupéré, ce qui remet encore une fois en suspension une grande quantité de MES.

c) Hydrologie

L'hydrologie des rivières dépend des caractéristiques de leurs bassins versants. Les débits sont influencés par l'hydrologie du bassin ainsi que la géologie de celui-ci (Gordon et al., 2004). La couverture des sols, notamment l'urbanisation, augmente le ruissèlement et donc l'intensité des crues (Schoonover et al., 2006). L'imperméabilisation des bassins versants peut nuire à l'intégrité des rivières et l'écosystème végétal maintenant les berges (White and Greer, 2006). Les systèmes de déversoir sur les plans d'eau constituent un apport anthropique d'eau à la rivière, augmentant souvent la température du cours d'eau (Bae et al., 2016; Touchart and Bartout, 2010).

d) Température

Dans les rivières, l'augmentation de la température se fait majoritairement sur le plan horizontal, c'est-à-dire vers l'aval. Au contraire, dans les plans d'eau, la stratification thermique est une dynamique verticale liée au rayonnement solaire (Wetzel, 2001) et les transferts de chaleur latéraux (Imberger, 1985). La modification de la température de l'eau implique des variations de densité de chaque couche (Kalff, 2002). Dépendant des températures extérieures et des vents, cette stratification est variable selon les saisons. Au printemps, la température est uniforme autour de 4 degrés, c'est-à-dire la température pour laquelle la

masse volumique de l'eau est maximale (Azouni, 1977). En été, une stratification se met en place avec une couche d'eau plus froide au fond et l'eau plus chaude en surface. L'automne est une période de brassage des eaux, caractérisées par une température uniforme en tout point du lac. Enfin, en hiver, il n'est pas rare qu'une couche de glace se forme en surface. L'eau présente sous cette couche est la plus froide et la température augmente avec la profondeur (Dake and Harleman, 1969; Kalff, 2002; Wetzel, 2001).

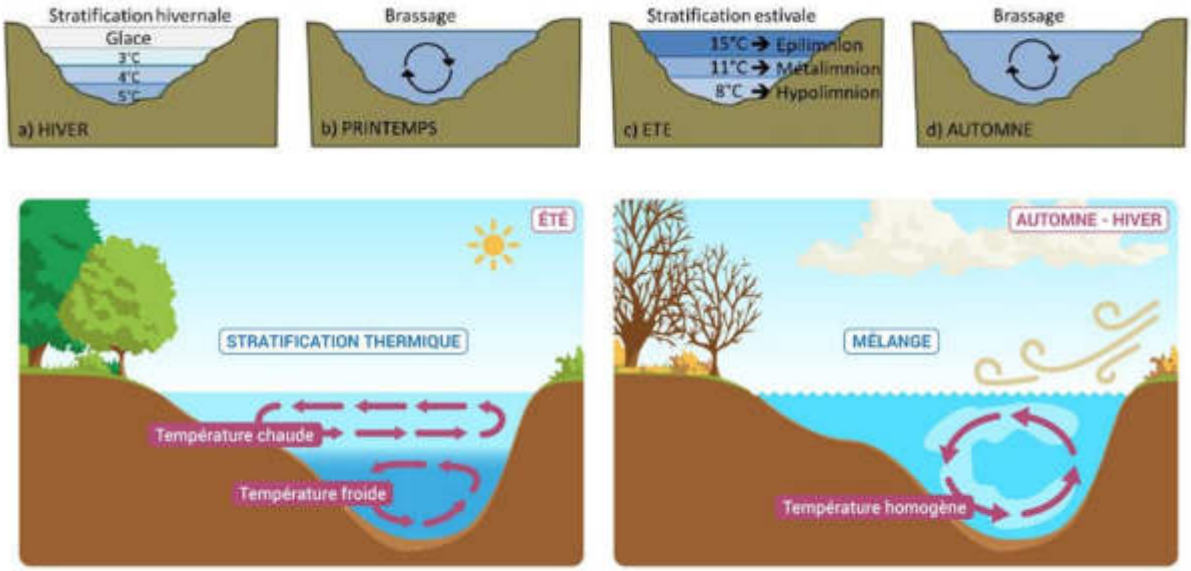


Figure 3 : Stratification selon les cycles saisonniers (source : eaufrance.fr et réseau lacs sentinelles, nd)

Une différence de température de quelques degrés entre deux couches d'eau suffit à empêcher les masses d'eau de se mélanger (Figure 3). Selon les périodes de stratification, la colonne d'eau peut être divisée en trois couches (Wetzel, 2001) :

- L'hypolimnion : couche inférieure, elle est caractérisée par une température faible en été et en hiver cette couche est la plus chaude ;
- L'épilimnion : couche supérieure caractérisée par sa température élevée par rapport aux autres couches sous l'effet du rayonnement ou sa faible température en hiver avec une couche de glace ;
- Le métalimnion : la couche entre l'hypolimnion et l'épilimnion, cette strate de température intermédiaire est communément appelée thermocline.

Cependant, la présence d'une stratification thermique peut aussi dépendre d'autres paramètres comme la surface ou la profondeur maximale du plan d'eau. La littérature montre également que la profondeur à laquelle se trouve la thermocline peut dépendre de la taille (surface) du lac (Gorham and Boyce, 1989).

D'un point de vue général, sur des écosystèmes de tailles inférieures, la température globale de l'eau varie en fonction des saisons durant l'année : ces températures dépendent du vent et de la glace durant les périodes froides (hiver) et majoritairement du rayonnement solaire durant l'été (Martin, 1972). Il est à noter qu'à l'échelle du cycle journalier, les variations sont les plus faibles durant la saison hivernale et que des évènements hydrologiques comme des pluies peuvent faire fluctuer significativement la température des plans d'eau (Young, 1975).

L'étude de deux plans d'eau en Angleterre (Martin, 1972) montre plusieurs points :

- La température de l'air et de l'eau sont plus étroitement liées lorsque les interactions avec le rayonnement solaire sont limitées par la couverture nuageuse ;

- La présence d'une couche d'algue diminue l'amplitude des fluctuations de température ;
- L'amplitude des fluctuations est plus importante en eau peu profonde ;
- La présence d'une stratification dans des plans d'eau peu profonds (maximum 90 cm).

Tout comme les plans d'eau, la température des rivières est aussi influencée par l'environnement extérieur. L'ombre résultant de la végétation influence la température maximale du cours d'eau : elle diminue significativement lorsque la rivière est ombragée. Néanmoins, les températures moyennes et minimales ne sont pas changées (Johnson, 2004). Johnson (2004) met également en lumière qu'une des principales causes de réchauffement de l'eau est le rayonnement solaire. Dans le contexte actuel, le réchauffement global de l'air est corrélé à l'augmentation de la température des cours d'eau, ce qui peut avoir un effet important sur l'écosystème aquatique (Kaushal et al., 2010). Aussi, on note une corrélation entre la migration de certaines espèces piscicoles et l'augmentation ou la diminution des températures de l'eau des rivières (Bjornn, 1971).

La présence d'étangs à proximité des rivières induit un réchauffement de la température des hydrosystèmes attenants. Ces modifications entraînent des conséquences sur l'équilibre des écosystèmes aquatiques (Le Louarn and Bertru, 2005 ; Seyedhashemi et al., 2021). Les variations du régime thermique s'insèrent dans une temporalité (en fonction des cycles) à l'échelle journalière ou annuelle (Boutet-Berry et Delvallee, 2000).

L'influence d'un plan d'eau varie selon la typologie des sites (dérivation, en barrage) et de leurs équipements hydrauliques, ainsi que par le type de transfert de l'eau vers la rivière (moine, vanne de fond, déversoir) (Touchart, 2007). Certains de ces ouvrages sont moins impactant sur la rivière, comme les moines qui entrainent un réchauffement inférieur par rapport aux déversoirs (Touchart, 2007). Les moines sont composés de trois murs verticaux en béton ajoutée à une ouverture qui s'effectue du côté de l'étang. Cette dernière est comblée avec des planches afin de prélever l'eau au fond. Une deuxième série de planches sépare l'orifice de sortie et celui d'entrée. Ainsi, l'eau provient du fond et sort par débordement (Touchart and Bartout, 2010). La présence du moine diminue l'amplitude des variations de température diurne d'environ trois quart contre un quart pour les seuils déversoirs. La principale différence entre les ouvrages est que les moines diminuent les variations de température journalière là où les seuils l'augmentent (Touchart and Bartout, 2010). En hiver, l'impact thermique du plan d'eau est faible quel que soit l'ouvrage. Par conséquent, le contraste est bien plus important pendant la période chaude (Le Louarn and Bertru, 2005; Touchart and Bartout, 2010).

e) L'oxygène

La concentration (mg d'O2/L) et la saturation en oxygène (% d'O2) sont des propriétés chimiques affectées par les paramètres physiques comme la turbulence de l'eau ou la température (Wetzel, 2001). L'oxygène peut être produit par les organismes photosynthétiques ou absorbée. La capacité d'absorption des gaz par l'eau augmente avec la diminution de la température ambiante (Gordon et al., 2004). La concentration est, en eau pure, proche de 14 mg/L à 0°C, proche de 9 mg/L à 20°C et d'environ 6 mg/L à 40 °C (Benson and Krause, 1980).

Les plans d'eau présentent une concentration en oxygène plus forte en surface (Chang et Ouyang, 1988) entrainant une stratification, conséquence en partie de la température mais également aux producteurs d'oxygène (végétaux). La respiration et la dégradation de la matière organique par les êtres vivants engendrent une diminution de l'oxygène présent dans le milieu (Kalff, 2002; Lazzarotto, 2005).

En écosystème lacustre, la saturation en oxygène s'inscrit dans les cycles annuels, augmentant de fin mai à début septembre. La concentration en oxygène, quant à elle, diminue

entre février et novembre (Kalff, 2002). Cette dernière a tendance à être constante dans des plans d'eau présentant un brassage due à l'exposition au vent (Kalff, 2002).

La quantité d'oxygène dans le milieu est directement influencée par le phénomène d'eutrophisation : la croissance végétale, notamment algale, augmente significativement à cause des rejets de nutriments. Il s'en suit une augmentation de la quantité de matière organique, dont la décomposition consomme de l'oxygène (Kalff, 2002; Lazzarotto, 2005). La diminution de l'oxygène rend les zones profondes des plans d'eau inhabitables aux organismes vivants (Jane et al., 2021). Dans certaines conditions, le potentiel redox de l'eau diminue avec la concentration en oxygène, ce qui favorise l'apparition de composé néfaste à la biologie comme l'ammoniaque (Boutet-Berry and Delvallee, 2000).

Dans les plans d'eau attenant aux rivières, il est commun d'observer une augmentation de la saturation en oxygène car la température augmente avec la surface lacustre, mais la concentration en oxygène diminue avec l'ajustement thermique en aval (Touchart et al., 2012). Lors de la même étude, les auteurs observent une diminution de la concentration en oxygène à l'aval d'autres sites. Cette concentration peut également dépendre du mode de restitution à la rivière, les déversoirs pouvant entraîner une oxygénation et à l'inverse, les moines, une désoxygénation (Le Louarn and Bertru, 2005).

Les réactions d'oxydo-réduction sont largement dépendantes des microorganismes. Ces réactions sont responsables de la plus grande part d'oxydation de la matière organique et du recyclage des nutriments. L'oxygène dissous est l'accepteur d'électron dans les systèmes aérobies, lorsque cet accepteur n'est plus présent, d'autres substances sont réduites (matière organique et nutriment comme le NO3) (Kalff, 2002).

f) Les nutriments

L'azote et le phosphate sont les principaux nutriments qui jouent un rôle dans le processus d'eutrophisation. De plus, leur aspect soluble favorise une infiltration dans le milieu ainsi qu'un ruissellement et un drainage par les eaux. Ces deux éléments ont chacun un cycle différent (Eaufrance, 2014). Leur concentration dans les hydrosystèmes permet le classement des masses d'eau selon les classes de qualité (Ministère de la transition écologique et solidaire, 2018).

L'azote sont forme de nitrate (NO3) est assimilé par les organismes végétaux, par la suite, la décomposition des plantes créée de la matière organique. Puis des organismes décomposent cette matière en ammonium (NH4), ce composant est ensuite oxydé en nitrite (NO2) puis en nitrate (NO3). La dynamique de ce cycle est variable selon les paramètres physico-chimiques (pH, température) du milieu (Eaufrance, 2014; Kalff, 2002; Pinay et al., 2017).

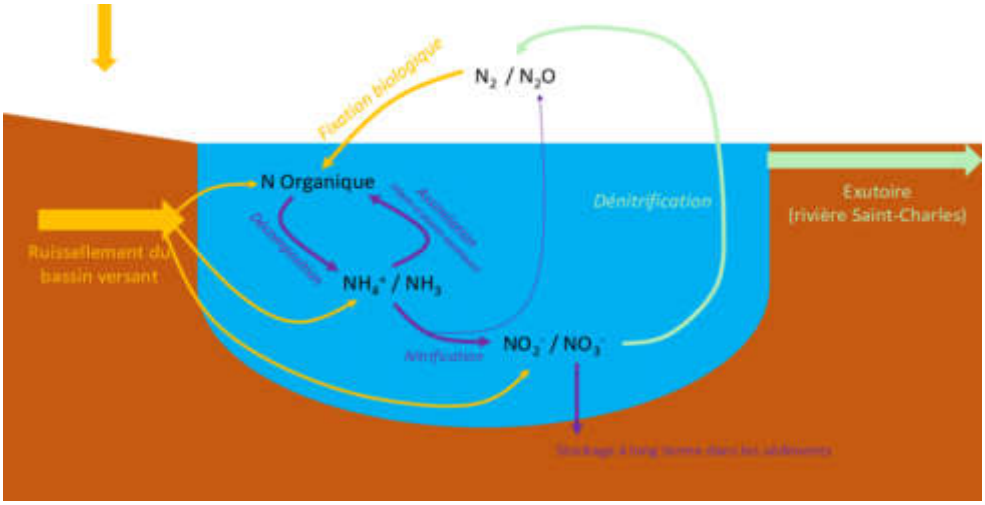


Figure 4 : Schéma simplifié du cycle de l'azote au lac Saint-Charles (APEL 2016).

Le phosphore est présent en quantité plus limité à l'état naturel. Contenu dans les sols, on le retrouve dans les milieux aquatiques sous forme dissoute. Il est issu d'une part de l'érosion des sols (phosphore minéral) et des apports anthropiques (engrais, eaux usées, produits ménagers) (Pinay et al., 2017). Ce nutriment est l'élément naturellement limitant à la croissance algale et donc à l'eutrophisation des milieux aquatiques.

En termes de proportions, il entre dans les écosystèmes majoritairement par les bassins versants (drainage des surfaces agricoles, érosion) et une part plus faible provient directement des précipitations survenues sur l'étendue d'eau. (Kalff, 2002).

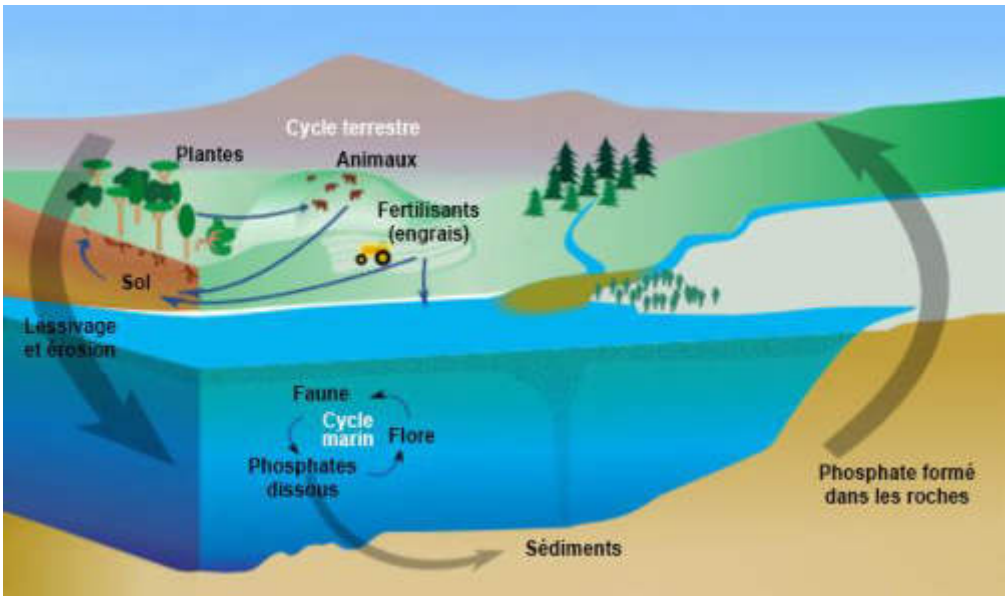


Figure 5 : Cycle global du phosphore (Bonniemf Incorporates work by NASA Earth science enterprise).

g) Eutrophisation

Si l'eutrophisation est avant tout un phénomène naturel faisant parti du cycle de vie d'un lac, il intervient naturellement sur des échelles de temps très longues. Ainsi une accélération forte du phénomène est très souvent le fait d'activités et de pressions anthropiques.

L'eutrophisation compte parmi les altérations les plus couramment observés dans les eaux continentales et marines. Ce phénomène est déclenché par des apports excessifs en nutriments (généralement des matières azotées et phosphorées).

Les manifestations les plus connues sont ainsi les efflorescences de cyanobactéries (parfois toxiques) dans les lacs et les rivières, les proliférations de macroalgues, les blooms algaux parfois massif, la réduction de la transparence de l'eau, une altération des paramètres physico-chimiques au long terme, etc. (Pinay et al. 2018). Ces manifestations sont régies par un ensemble de variables de contrôles (figure 6).

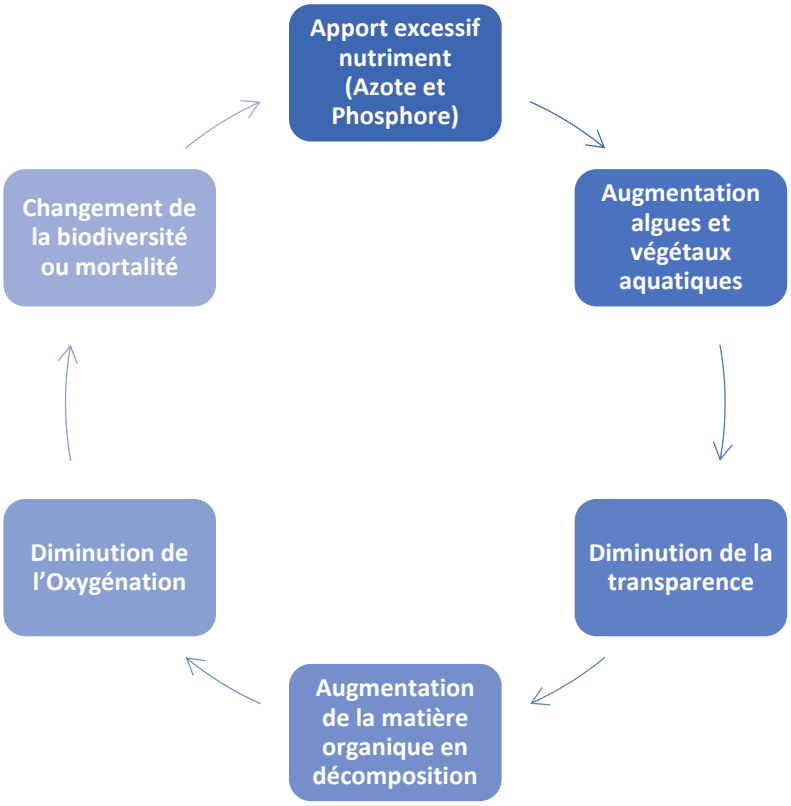


Figure 6 : Schéma simplifié des variables de contrôles et du cycle de l'eutrophisation.

Ces phénomènes génèrent ainsi des perturbations majeures au sein des écosystèmes aquatiques et ont des impacts sur un ensemble d'enjeux (social, économique, écologie, etc.).

L'intensification de l'agriculture et l'urbanisation sont identifiées comme les principales contributions de ces apports excessifs de nutriments aux écosystèmes aquatiques (Pinay et al. 2018). Bien souvent le Phosphore présente un rôle central dans les relations d'eutrophisation, agissant souvent comme facteur limitant (Capblancq et al. 2002). Les phénomènes d'eutrophisation prennent également de plus en plus de place dans la conceptualisation du grand public et dans une dynamique sociale et politique de large échelle (Levain et al. 2017).

Dans le cas des plans d'eau c'est ainsi le processus qui peut faire passer un lac oligotrophe (pauvre en matière nutritive) à eutrophe (riches en matières nutritives).

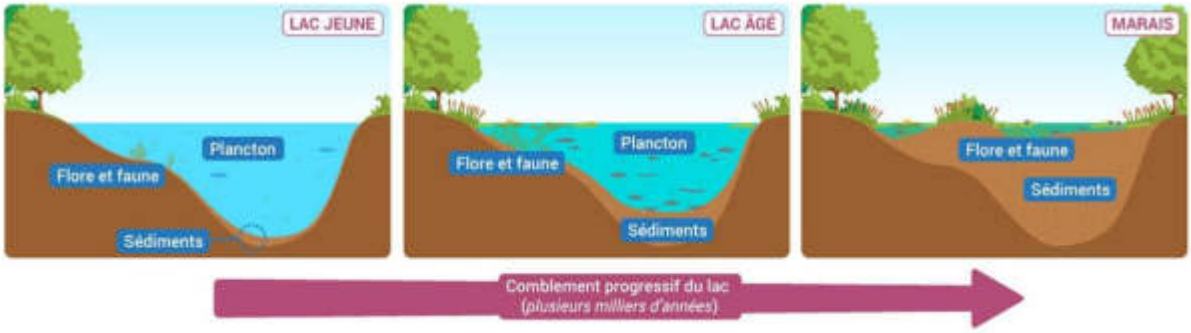


Figure 7 : Evolution et comblement progressif d'un lac (phénomène au long terme mais pouvant être accéléré du fait des impacts anthropiques) (source : eaufrance.fr).

h) River continuum concept, NTT, plan d'eau et « saut trophique »

Le « River Continuum Concept », ou concept du continuum fluvial, traduit l'évolution des caractéristiques d'un cours d'eau de l'amont vers l'aval, en termes de grands ensembles (géomorphologie, chimie, biologie et impacts anthropiques). Les rivières sont considérées par Vannote (1980) comme des « usines à dégrader la matière organique de façon ordonnée », suivant une logique amont aval. De nombreuses études confirment le concept du continuum fluvial proposé par Vannote (Le Bihan, 2015) avec la transformation de 95% de la matière organique brute en matière organique particulaire fine et dissoute (Naiman, 1982, Whiles et al., 1995, Kiffney et al., 2000).

Ainsi, on observe classiquement le cycle suivant (figure 8) :

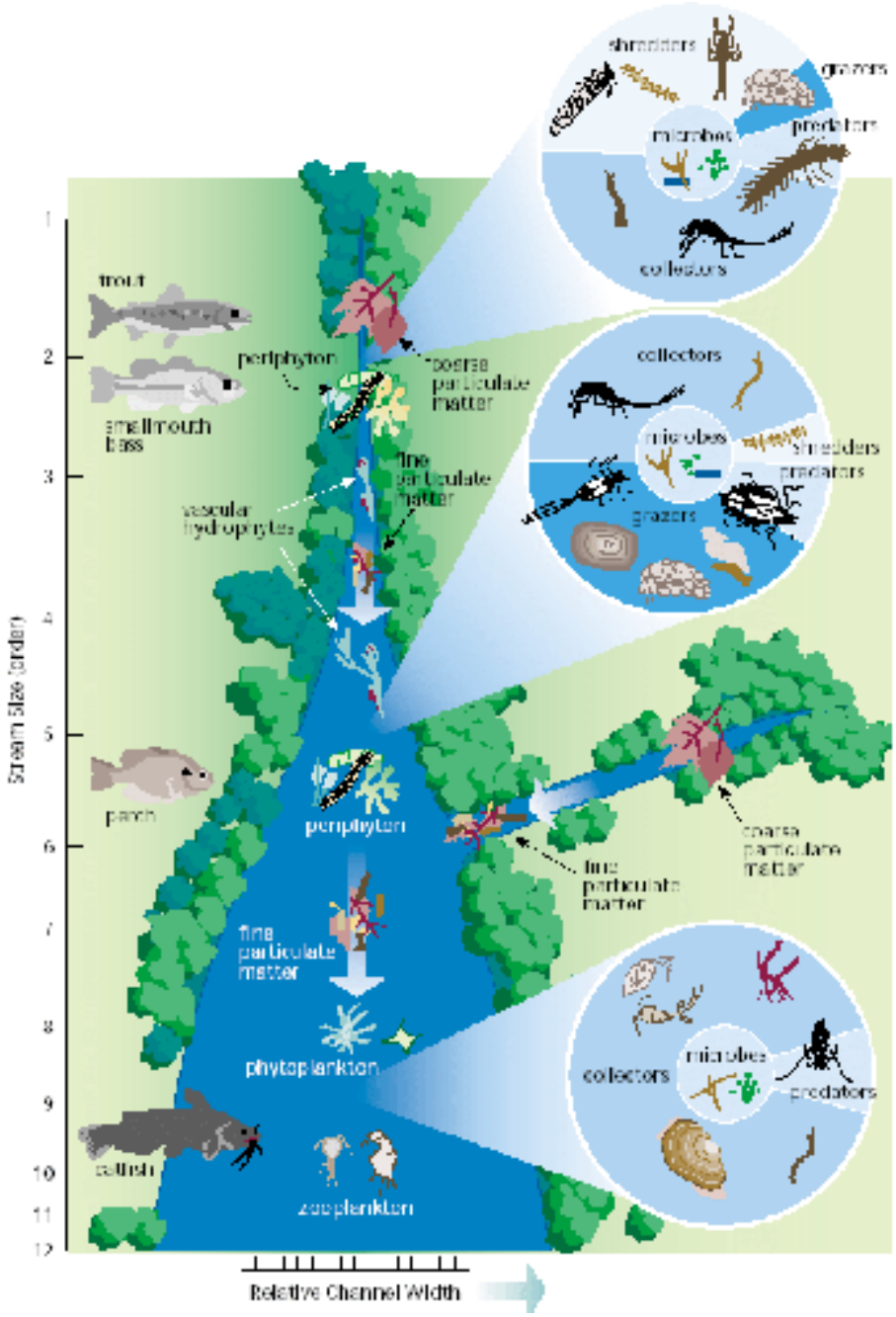


Figure 8 : Le river continuum concept de Vannote (1980). La proportion de groupes alimentaires d'invertébrés correspond aux changements des facteurs physiques dans le sens longitudinal (source : USDA 2001).

- La matière organique fine est assimilée par les collecteurs qui augmentent avec les rangs (ordination de Strahler) ;
- Les macroinvertébrés servent de nourriture à la faune piscicole (les invertébrés terrestres tombant du couvert végétal constituent aussi une proportion importante de proies pour les poissons (Wipfli & Gregovich, 2002 ; Wipfli, 2005)) ;
- La densité de poissons est supérieure pour les cours d'eau avec de nombreuses connections avec les têtes de bassin versant du fait d'un apport en proies plus importants (Binckley &Wipfli, NP).

Les cours d'eau possèdent ainsi un rôle central dans le cycle de décomposition de la matière organique (Fremier 2004 ; Hestir 2007). Ce cycle de dégradation est particulièrement important et structurant dans les relations trophiques des têtes de bassin versant (la majeure partie des apports de matières étant d'origine allochtone).

En plan d'eau, les phénomènes ne sont pas les mêmes puisque dans la plupart des cas, la matière organique est d'origine autochtone. Ainsi, les étangs et plans d'eau constituent des zones lentiques très biogènes. La matière organique autochtone (constituée entre autres par le plancton, les macrophytes, les fèces produites par le biote) peut ainsi modifier les équilibres souvent fragiles des écosystèmes aquatiques de tête de bassin versant (Four, 2017).

Four (2017) démontre ainsi qu'un étang de barrage en milieu agricole entraîne une diminution de la vitesse de décomposition des litières de feuille, en lien notamment avec une diminution de la biomasse fongique. Sur des cours d'eau forestiers ce sont, en revanche, essentiellement les communautés de macro-invertébrés qui semblent influencées par les étangs de barrage. Les modifications sont plus marquées qu'en milieu agricole, avec une diminution des taxons les plus sensibles aux pollutions organiques à l'aval.

i) Continuité écologique et sédimentaire

Liés à leur nature, les étang et plans d'eau en barrage sont un obstacle direct à la continuité écologique et sédimentaire. Cet obstacle physique est notamment matérialisé par des changements des communautés biologiques situées à l'aval (Le Louarn et Berthu, 1991 ; Casas et al, 2000 ; Four, 2017).

Si les plans d'eau en dérivation sont moins voire peu ou pas impactant sur cette continuité ce n'est pas le cas de tous, puisque bien souvent un ouvrage de dérivation est implanté sur le cours d'eau principal (ouvrage de réhausse de la ligne d'eau, ouvrage de dérivation, prise d'eau sur un seuil, etc.). Cet ouvrage peu ainsi induire de fait un obstacle à la continuité écologique et sédimentaire.

Notion introduite en 2000 par la Directive Cadre sur l'Eau (DCE n°2000/60/CE) et traduite par la Loi n° 2006-1772 du 30 décembre 2006, la continuité écologique d'un cours d'eau est également inscrite dans la circulaire DCE/12 n°14 du 28 juillet 2005 et définit dans l'article R214-109 du Code de l'Environnement.

Elle est définie comme :

- La libre circulation des organismes vivants et leur accès aux zones indispensables à leur reproduction, leur croissance, leur alimentation ou leur abri ;
- Le transport naturel des sédiments ;
- Le bon fonctionnement des réservoirs biologiques (connexions, notamment latérales, et conditions hydrologiques favorables).

Elle a donc une dimension amont-aval, impactée par les ouvrages transversaux comme les seuils et barrages, et une dimension latérale, impactée par les ouvrages longitudinaux comme les digues et les protections de berges (Ministère de l'Ecologie, du Développement durable, du Transport et du Logement, 2009). Les obstacles à l'écoulement sont de différentes formes (barrage, seuil, vanne, route, remblai). Ils sont à l'origine de modifications de la morphologie

et de l'hydrologie du cours d'eau et perturbent fortement le fonctionnement des écosystèmes aquatiques en altérant la diversité et la qualité des habitats aquatiques.

Du point de vue réglementaire (article R214-109 du Code de l'environnement), un obstacle à la continuité est un ouvrage qui répond à au moins un critère parmi les suivants :

- Il ne permet pas la libre circulation des espèces biologiques et l'accès aux zones indispensables à leur reproduction, leur croissance, leur alimentation ou leur abri ;
- Il empêche le bon déroulement du transport naturel des sédiments ;
- Il interrompt les connexions latérales avec les réservoirs biologiques ;
- Il affecte substantiellement l'hydrologie des réservoirs biologiques.

Les ouvrages entrainent un fractionnement des populations de poissons qui tendent à se différencier génétiquement.

Cette différenciation à tendance à provoquer une perte de diversité génétique car les populations se retrouvent isolées, et ceci est particulièrement démontré en tête de bassin versant (Junker et al., 2012 dans Dany, 2016).

2. Le bassin versant de la Largue et du secteur de Montreux

a) Périmètre d'étude

Situé au Sud-Ouest du Haut-Rhin (68) et de la Collectivité Européenne d'Alsace (CEA), le bassin versant de la Largue est frontalier du Territoire de Belfort (90), de la Suisse et du bassin versant de l'Ill et de la Doller. Il s'intègre donc dans un ensemble d'entités imbriquées avec le Jura alsacien au Sud, le massif Vosgien en limite Nord-Ouest de la zone et le début de la plaine d'Alsace à l'aval du bassin de la Largue.

Dans le cadre de l'étude des plans d'eau Sundgauviens, ce sont les limites du périmètre du SAGE du bassin versant de la Largue et du secteur de Montreux qui ont été utilisées. Pour le moment, la partie amont du bassin versant de l'Ill n'a pas été comprise dans le secteur d'étude à des fins de simplification (SAGE Ill Nappe Rhin).

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

- Caractère remarquable du bassin de la Largue et du Sundgau ;
- Densité élevée d'étangs et de plans d'eau de typologies variées ;
- Un manque de données biologique et de connaissance de fonctionnalité identifié ;
- Une forte demande d'actions des AAPPMA locales et de la volonté de trouver des solutions pérennes pour reconquérir une fonctionnalité plus optimale de certains secteurs ;
- L'inclusion du secteur d'étude dans une dynamique territoriale et administrative pertinente (SAGE du bassin versant de la Largue et du secteur de Montreux) ;
- L'impulsion commune de partenaires locaux mobilisés.

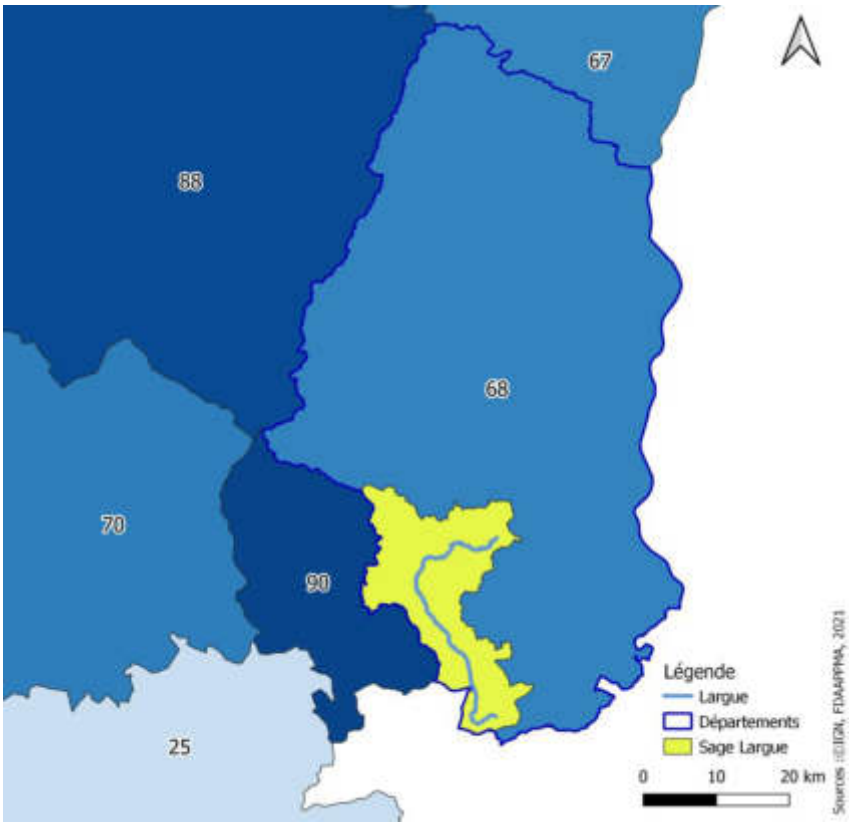


Figure 9 : Localisation du secteur général de l'étude : le bassin versant de la Largue et du secteur de Montreux (périmètre SAGE).

b) Le Sundgau

Le périmètre d'étude est donc localisé au cœur du territoire du Sundgau. Le Sundgau est une zone géographique située dans le sud de la Collectivité Européenne d'Alsace (aussi parfois appelé « Sud-Alsace »). C'est une zone de collines, constituée par un réseau hydrographique dense (incluant le bassin versant de l'Ill, de la Largue, une partie du cours du Rhin et un important réseau canalisé). L'altitude moyenne est de 500m au Sud et de 350m au Nord du Sundgau. Ce territoire est constitué de plusieurs entités définies comme : le Sundgau méridional, le Sundgau septentrional, le Sundgau du pied des Vosges, la vallée sundgauvienne du Rhin et le Jura alsacien. Ce sont 3 principales intercommunalités qui sont localisées au sein de ce territoire (en bordure de la communauté d'agglomération de Mulhouse) : la CC Sundgau, la CC Sud-Alsace Largue et la CA de Saint-Louis. Le Sundgau est un territoire de projet et à l'histoire riche. Les milieux aquatiques et notamment les plans d'eau et les étangs y prennent une part prépondérante (densité historique d'étangs très importante depuis le Moyen-Age). Mais cette région présente également des interrelations écosystémiques parfois méconnues (notamment avec les plans d'eau qui sont très structurants dans le paysage local).

c) Géographie

La zone d'étude se situe au Sud-Ouest du Haut-Rhin dans le bassin versant de la Largue et du secteur de Montreux (Figure 9). Il s'agit d'une zone de 385 km², artificialisée à 9%, le reste du territoire étant occupé à 35% par des espaces forestiers et semi-naturels, à 19% par des cultures permanentes et à 36 % par des cultures annuelles. La part des milieux hydrographiques est de 1% (source : CORINE LAND COVER).

d) Démographie

La population de 38 000 habitants en 2007 est répartie sur 7 communes de plus de 1000 habitants (32% de la population) et 61 communes de moins de 1000 habitants (68% de la population). En raison de sa proximité avec les zones d'activités de Belfort, Mulhouse et Bâle, le secteur est en développement : entre 2000 et 2013 la population a augmenté de 23%. La densité démographique moyenne est de 97.3 habitants/km² mais celle-ci varie selon les localisations : il existe une faible densité dans la partie Sud (50 habitants/km²) et une densité plus forte au Nord (200 à 540 habitants/km²) au plus proche des agglomérations (source : INSEE).

e) Géologie

Les sous-sols de la vallée de la Largue sont constitués de plusieurs entités propres (source : SAGE) avec :

- Les calcaires jurassiques au Sud dans le Jura alsacien (caractérisés par une perméabilité importante) ;
- Les cailloutis pliocènes du Sundgau du Belfortain à l'Est (alluvions de matériaux alpin ou vosgien) ;
- Les cailloutis pliocènes du Sundgau à l'Est de la Largue ;
- Les marnes sableuses de l'oligocène ou molasses alsaciennes en fond de vallée et à l'aval du bassin (couches marneuses) ;
- Les cailloutis pliocènes du Sundgau entre Largue et Doller au Nord du bassin (dépôt de matériel Vosgien couvert de Loess).

f) Réseau hydrographique

Le périmètre de la zone d'étude présente un réseau hydrographique dense. Le cours d'eau principal est la Largue qui s'écoule selon un axe Sud-Nord. La Largue prend sa source à Oberlarg dans le Jura alsacien à 550m d'altitude et se jette dans l'Ill à Illfurth. Sa longueur est de 50,5km.

Les principaux affluents de la Largue sont :

- Le Grumbach ;
- Le Largitzenbach ;
- Le Haltschbach ;
- Le Roesbach ;
- Le Dorfbach ;
- Le Babersenbach ;
- Le Krebsbach ;
- L'Elbachlein ;
- Le Traubach ;
- Le Soultzbach ;
- Le Krebsbach ;

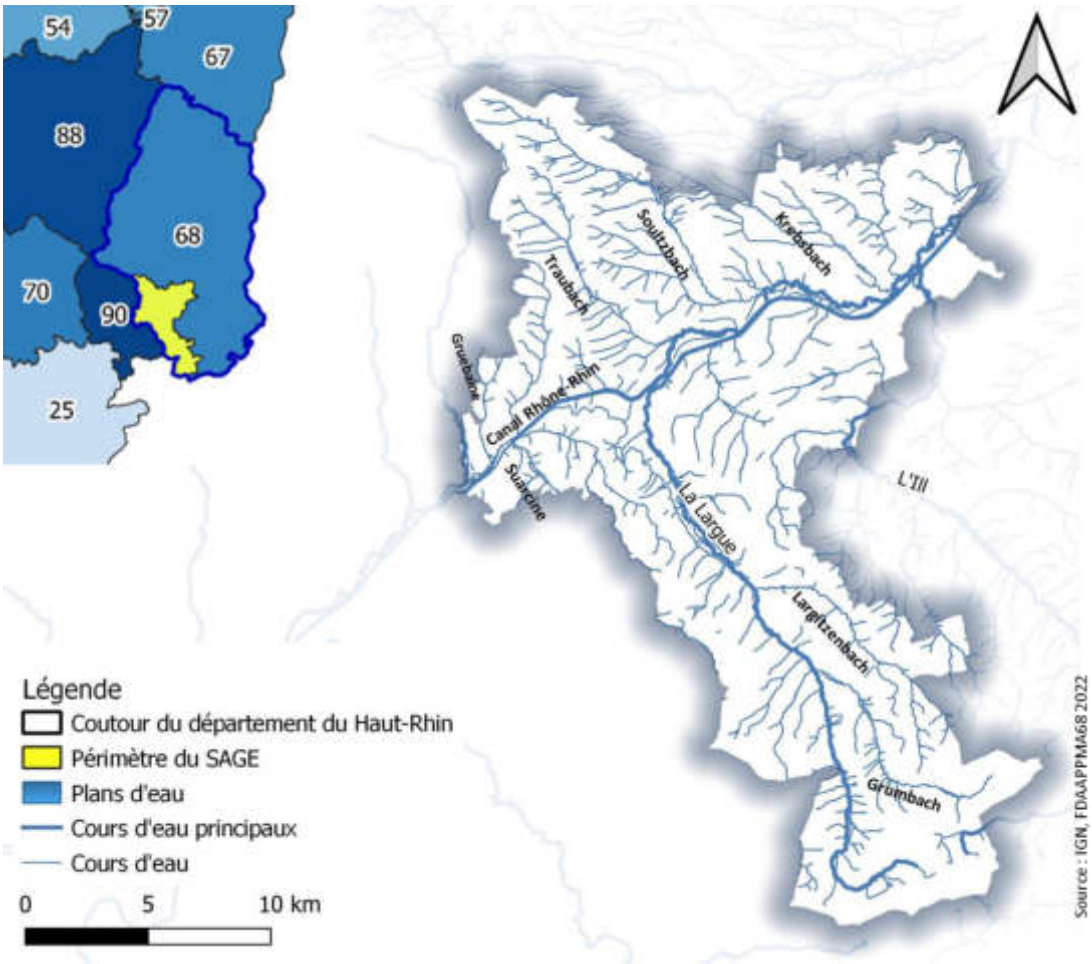


Figure 10 : Réseau hydrographique du secteur d'étude (périmètre SAGE).

En plus de la Largue, 5 cours d'eau sur trouvent sur le territoire avec :

- La Gruebaine (Riedinger),
- La Loutre (Reppe),
- La Lutter,
- La Suarcine,
- La Saint-Nicolas.

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).

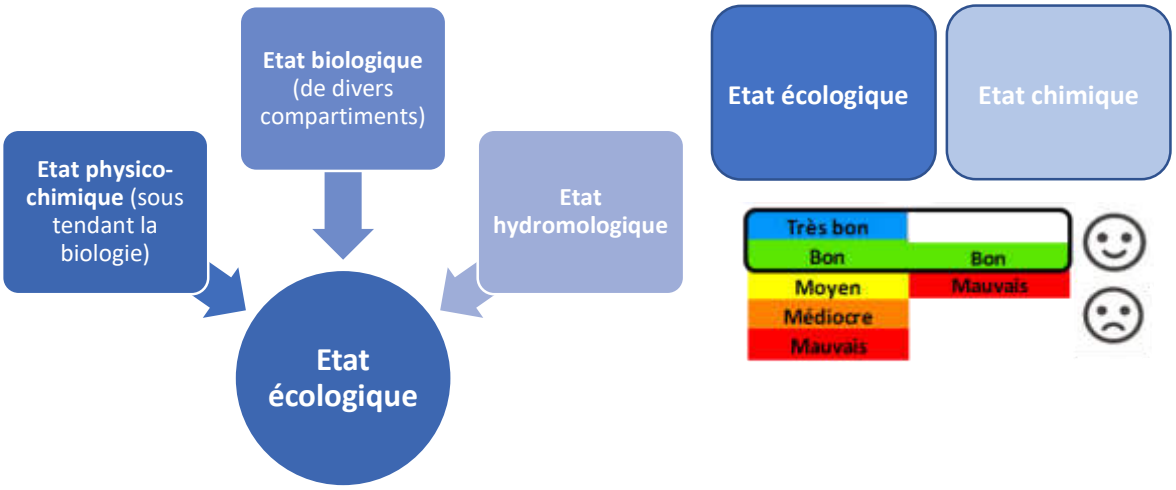


Figure 11 : Présentation du principe d'agrégation pour la qualification de l'état écologique.

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).

❖ L432-6 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. Si la Largue bénéficiait du classement au titre de l'article L.432-6 du code de l'environnement, elle n'a pas été retenue pour le classement des cours d'eau en listes 1 et 2 relatives à l'article L.214-17.

❖ 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 ce cadre, les plans d'eau (particulièrement nombreux dans le Sundgau) 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).

❖ Le SAGE

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 SAGE de la Largue, premier SAGE volontaire de France, a été approuvé par arrêté préfectoral le 24 septembre 1999. La Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (2006) donne ainsi au SAGE une nouvelle portée juridique. Le SAGE de la Largue a donc nécessité une révision, menée par la CLE de janvier 2011 à octobre 2015. Le SAGE révisé a été approuvé par l'Arrêté Préfectoral du 17 mai 2016.

Le SAGE s'étend sur 68 communes en 2016, actuellement réparties en 3 principales communautés de communes avec :

- CC Sundgau ;
- CC Sud-Alsace Largue ;
- CC de la vallée de la Doller et du Soultzbach.

Les règles du SAGE sont :

1. Prévenir toute nouvelle rupture à la continuité écologique
2. Zones humides "réservoir"
3. Limitation de la création de nouveaux étangs

La liste des enjeux et thèmes du SAGE sont :

- Qualité des eaux (surface et souterraine) ;
- Quantité des eaux (Gestion débits d'étiage, inondations et eaux souterraines) ;
- Fonctionnement des milieux aquatiques (cours d'eau, zones humiques et plans d'eau) ;
- Enjeux transversaux (Liaison Saône-Rhin, tourisme, économie, etc.).

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 choisi 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 le Sundgau c'est ainsi trois sites principaux qui sont recensés :

- Le site Natura2000 « Sundgau région d'étangs » ;
- Le site Natura2000 « Vallée de la Largue » ;
- Le site Natura2000 « Jura Alsacien ».

Seuls les sites Natura2000 « Sundgau région d'étangs » et « Vallée de la Largue » sont animés par l'EPAGE Largue depuis de nombreuses années sous couvert d'un document d'objectifs du site Natura2000 (DOCOB) n°FR4201811 datant de 2012. Les arrêtés correspondant sont les suivants :

- L'arrêté de création du 17 mars 2008 portant décision du site Natura 2000 Sundgau, région des étangs (zone spéciale de conservation) ;
- L'arrêté de création du 17 mars 2008 portant décision du site Natura 2000 Vallée de la Largue (zone spéciale de conservation).

Plusieurs milieux comme des étangs à fort marnage, des mares, des habitats prairiaux, des habitats forestiers, etc. offrent des lieux de vie et de croissance à de nombreuses espèces animales et végétales d'intérêt patrimonial comme :

- Le Cuivré des marais ;
- Le Sonneur à ventre jaune ;
- Le Triton crêté ;
- Le Grand Murin ;
- La Marsillée à quatre feuilles ;
- Le Dicrane vert.

❖ <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 :

- 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.

❖ 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. C'est notamment le cas d'une étude de fonctionnalité alluviale de la Gruebaine qui a pu être réalisé en 2020-2021 dans le but de restaurer plusieurs sites comprenant des plans d'eau (Fluvial.IS 2020).

i) Hydrologie

Le principal affluent du bassin versant de la Largue, la Largue prend sa source au Sud du bassin versant à une altitude de 572 m et se jette dans l'Ill à 51 km au Nord-Est.

Deux stations de mesure principales sont localisées sur le bassin :

- La Largue à Friesen - Pont RD17 (A112010002) ;
- La Largue à Spechbach-le-Bas (A115 0200 01) ;
- Une ancienne station de mesure (de 1976-1981) était également localisée à Courtavon.

Les précipitations moyennes annuelles sont comprises entre 900 et 1000mm entrainant un module de 1,13 m³/s sur la station de Friesen (1130L/s).

Lors des périodes d'étiages, les débits peuvent descendre à 0,27 m³/s (VCN3) sur une fréquence biennale et 0,22 m³/s (VCN3) à fréquence quinquennale sèche (Banque hydro, 2021). Le QMNA5 est de 0,28 m³/s.

La période de haute eau se situe pendant l'hiver (maximum en janvier-février : débit moyen 1,7 m³/s). Tandis que les débits les plus faibles se retrouvent en juillet-août-septembre (minimum en septembre : débit moyen 0,640 m³/s) (Figure 12).

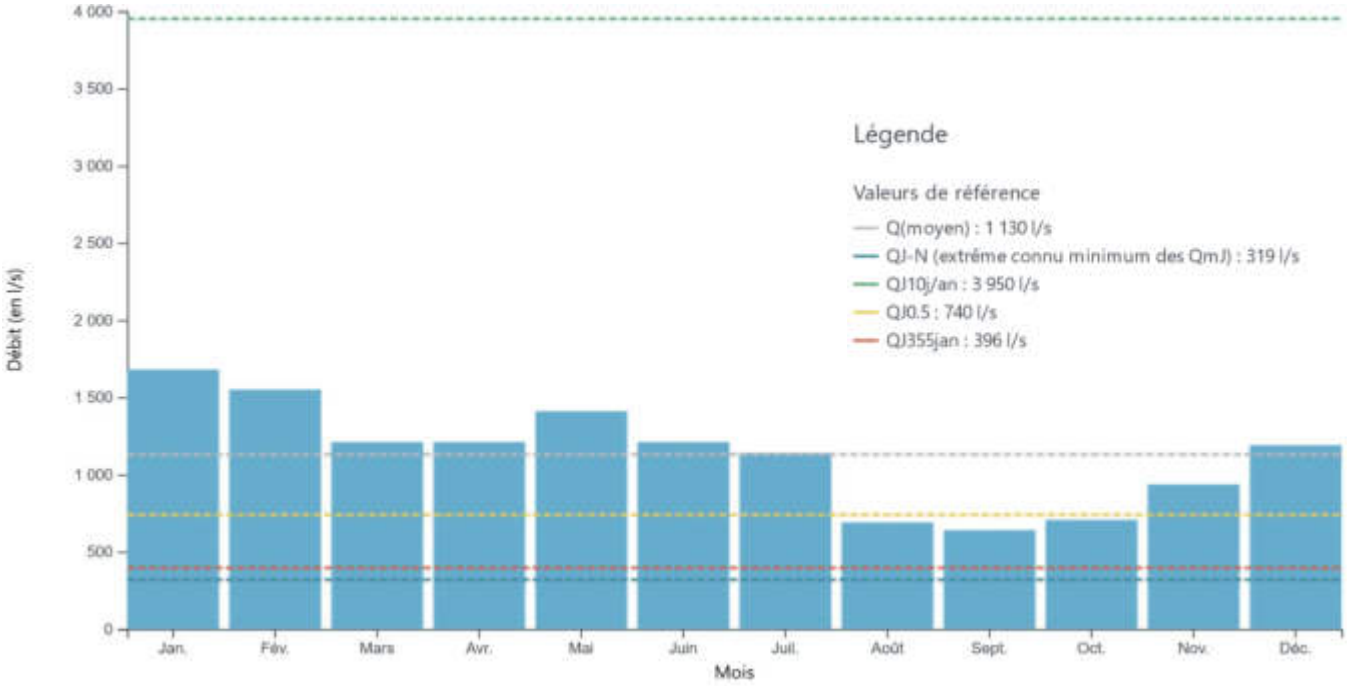


Figure 12 : Débit moyen mensuel de la Largue (m³/s), station à Friesen (source Banque hydro, 2022 – pour les données les plus valides entre 2013 et 2022).

Les crues sont importantes sur le cours d'eau bien qu'aucune crue centennale n'ait été enregistrée jusqu'à présent (53 ans de mesure). Le débit maximal instantané est de 65.5 m³/s en septembre 2007 à la station de Friesen (Tableau 1).

Tableau 1 : Crues sur la Largue, station de Friesen, source banque hydro, 2021

Période de retour	biennale	quinquennale	décennale	vicennale	cinquantennale
QIX (m³/s)	19	28	33	39	46

j) Les plans d'eau

Sur ce territoire, les plans d'eau sont un facteur structurant. On recense 1165 étangs pour une superficie de 414 ha sur un bassin versant de 315 km² correspondant à une densité de 1,3 ha d'étang / km² (figure 13). Ces plans d'eau ont plusieurs vocations dont un rôle historique, notamment traditionnel d'élevage de carpe. En effet, le secteur bénéficie du label « La Route de la Carpe Frite » (site remarquable du goût) au même titre que la « Route des Vins » dans le vignoble alsacien. À la suite de leur prolifération, en 1999, la Commission Locale de l'Eau (CLE) a demandé une limitation de la création d'étangs. Désormais, les services concernés n'instruisent plus que les demandes de modifications d'étangs (EPAGE Largue, 2016).

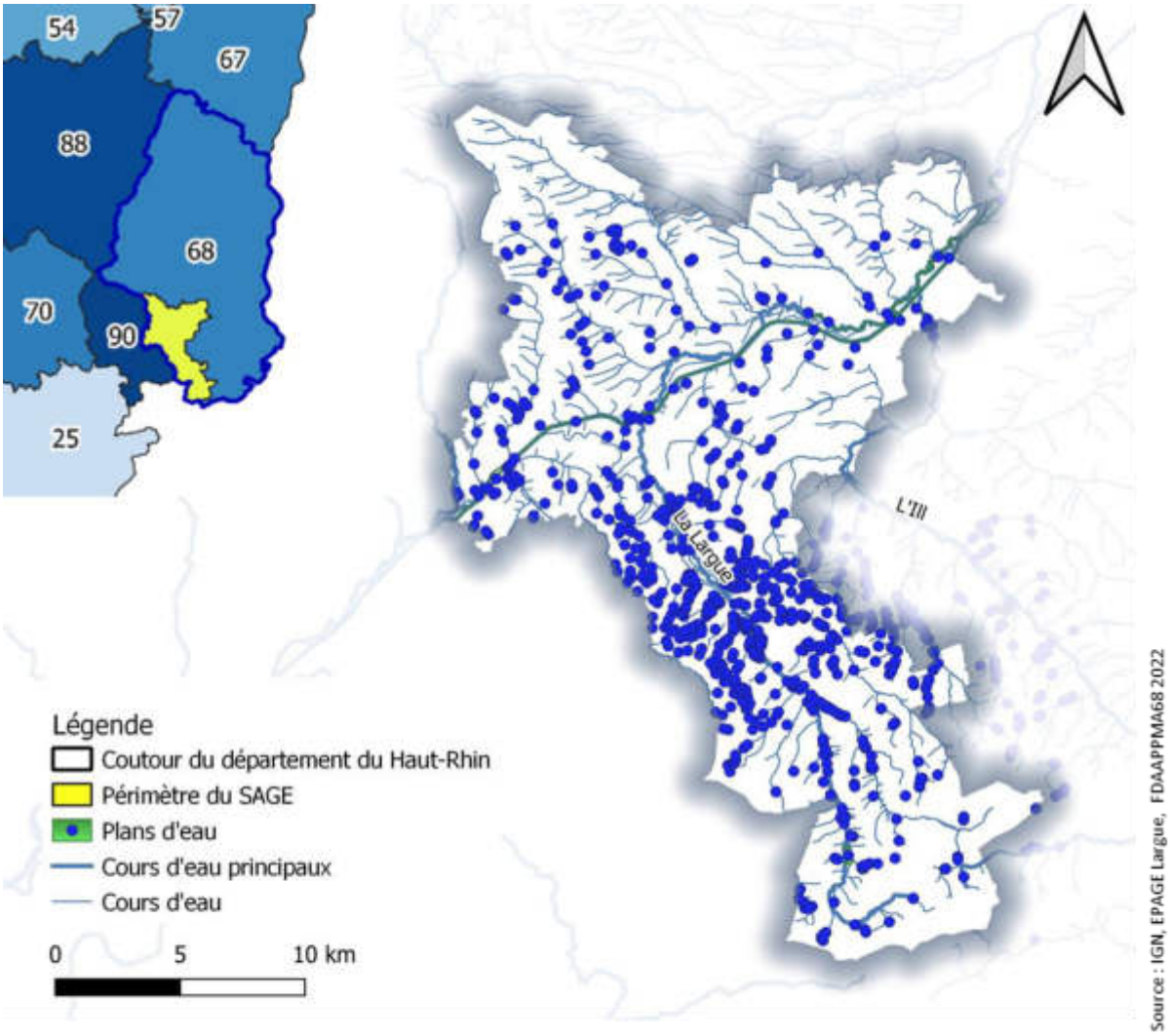


Figure 13 : Localisation des principaux plans d'eau recensés (source : EPAGE Largue 2021).

k) Enjeux

Sur la zone du SAGE Large, en 2010, le volume d'eau souterrain prélevé est de 1 709 960 m³. La majorité (96.2%) est destinée à l'alimentation en eau potable, 0.79% à l'irrigation et 3.01% pour d'autres usages, dont 1.49% pour un golf (Mooslargue). Pour répondre à la problématique de la qualité des milieux, l'agence de l'eau préconise la création de zones tampons (en sortie de drain), la reconnexion des petits cours d'eau, l'aménagement ou la suppression des ouvrages et étangs ayant un impact négatif sur les cours d'eau. D'autre part, une gestion et une conciliation des usages de l'eau doit être effectuée, surtout lors des contextes d'étiages. Enfin la préservation de la qualité de l'eau est essentielle. Cela passe par une attention particulière aux quantités de nitrates et de nitrites contenues dans l'eau ainsi que par une sécurisation des captages d'eau (EPAGE Largue, 2016).

l) Débits minimum biologique

Dans un contexte général de changement climatique global où les notions de quantité et de qualité de la ressource en eau deviennent centrales, le bassin de la Largue est particulièrement impacté par la problématique des étiages.

Dans le cadre de prélèvement d'eau de plan d'eau (notamment en dérivation) ou d'autres ouvrages, plusieurs impacts de non-respect du débit minimum biologique ou d'un débit minimum biologique qualifié comme insuffisant (équivalent au 1/10 du module au minimum) peuvent être listés.

En effet, la littérature permet de mettre en lumière un grand nombre d'observation notamment sur l'évolution des communautés tel que :

- Des baissent de densités piscicoles observées à l'aval des ouvrages de prises d'eau lorsque les débits réservés sont inférieurs ou égaux au 1/10e du module (Baran et al. 1995 ; Ovidio et al., 2004 ; Ovidio et al., 2006 ; FAAPPMA09, 2016) ;
- Des changements au niveau des classes d'âges et des disparitions de géniteurs ; (Benejam et al., 2014) ;
- Des modifications des peuplement d'invertébré benthiques et des cycles trophiques (Lagarrigue, 2000 ; Degiorgi et al. 2000) ;
- Des impacts plus modérés à faible dans le cadre de programme de tests avec des débits réservés plus élevés que le 1/10e du module (+17%) produit à l'aide de modèles spécifiques (ECOGEA 2016) ;
- Des impacts marqués sur les habitats ou même des mortalités aiguës des écarts de débits dans le cas d'éclusés ou de modification plus brutales (Bejerano et al., 2017 ; Korman et Campana 2009 ; Scruton et al. 2008).

C'est l'article L214-18 du Code de l'Environnement qui détermine les conditions de fixation des débits minimums sous les prises d'eau. En 1984, la loi pêche a permis une avancée importante en instaurant la valeur seuil du 1/10 du module comme référence règlementaire (anciennement 2,5%). Si cette évolution est salutaire, elle n'est, dans certains cas de figure pas suffisante ou non en adéquation avec le fonctionnement du cours d'eau. Dans les Alpes et les Pyrénées, les débits d'étiage naturels sont par exemple de l'ordre de 25 à 40% du débit moyen annuel. Dans le Massif-Central, ils varient entre 10 et 20% (Baran, 2011). De plus, certains secteurs ne sont pas couverts par une station de mesure et en ce sens n'ont pas de valeur de module pouvant servir de référence.

Une étude complète a vu le jour en 2021-2022 (portée par l'EPAGE Largue) avec pour objectif de définir les débits minimums biologiques sur la Largue afin d'élaborer un plan de gestion efficace de la ressource en eau en période d'étiage (Skora, 2021). L'étude doit permettre de répondre à un certain nombre d'interrogation concernant l'impact des débits d'étiage de plus en plus critiques dans le secteur et la caractérisation de débit minimum locaux pertinents (notamment à l'aide du protocole ESTIMHAB).

Tableau 2 : Résultats et débits minimum biologiques proposés (DMB) en 2021 (source : EPAGE Largue – Skora, 2021).

Stations	Courtavon	Seppois-le-Haut	Friesen	Altenach	Heidwiller
DMB proposé (l/s)	20	40	150	180	310

m) Thermie

En impactant directement la répartition, la croissance et le métabolisme des espèces aquatiques, la température est un paramètre clé pour le suivi de la qualité des écosystèmes aquatiques. C'est pourquoi depuis 2012, la Fédération du Haut-Rhin de pêche et de protection du milieu aquatique (FDAAPPMA68) s'est lancée dans le suivi thermique des principaux cours d'eau du département, avec un réseau constitué de 123 sondes (Enregistreurs Onset HOBO) en 2020-2021.

Le programme a pour objectif de :

- Contribuer à la connaissance du fonctionnement des cours d'eau et des impacts des variations de température sur ces derniers ;
- Révéler certains impacts indirects et appuyer les constats établis à partir d'autres paramètres (physico-chimiques, biologiques, maladies potentielles (SHV, PKD), etc.) ;
- Délimiter les zones propices au développement de chaque espèce, ainsi que leur évolution ;
- Appréhender l'impact du changement climatique sur la qualité des eaux et les peuplements piscicoles.

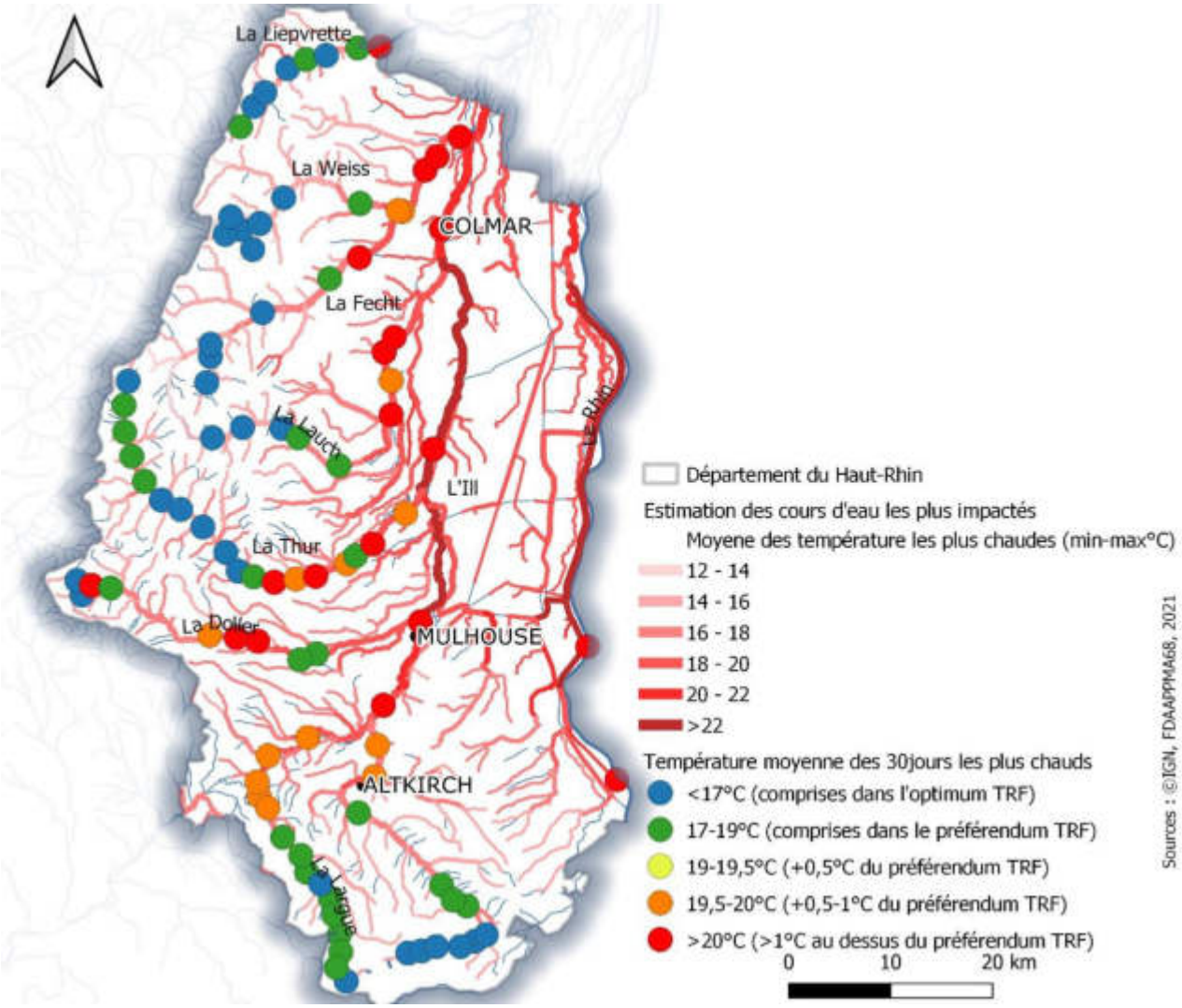


Figure 14 : Répartition du réseau de sonde thermique dans le Haut-Rhin. Température moyennes des 30 jours les plus chaud et écarts thermiques vis-à-vis des préférendums de la truite. Projection des moyennes interannuelles des 30 jours les plus chauds issue d'une combinaison multimodèle (MTw7J MUL) (source : INRAE). La largeur des polylignes est fonction de l'ordre de Strahler.

Les valeurs présentées sur la Largue ainsi que l'Ill amont sont favorables aux Salmonidés jusqu'à mi-parcours. Les secteurs de résurgences phréatiques permettent un dépassement modéré du seuil de 19°C lors du mois le plus chaud de l'année. L'aval de la Largue à partir de Hindlingen semble donc moins favorable au développement de la Truite (figure 14). Le secteur situé entre Courtavon et Seppois-le-Haut est également notifié comme une zone de tension pour le préférendum thermique de la Truite.

D'une manière générale, la Largue présente un régime thermique caractéristique avec des profils particulièrement homogènes entre les diverses stations (excepté « Levoncourt »). Le cours d'eau présente des températures très froides en hiver et très chaudes en été mais ne dépassant néanmoins jamais le seuil léthal de la truite (25°C). La période la plus chaude en 2019 est comprise, entre fin-juin et fin juillet avec une Tmoy30J supérieure à 19°C sur 66% des stations (figure 15).

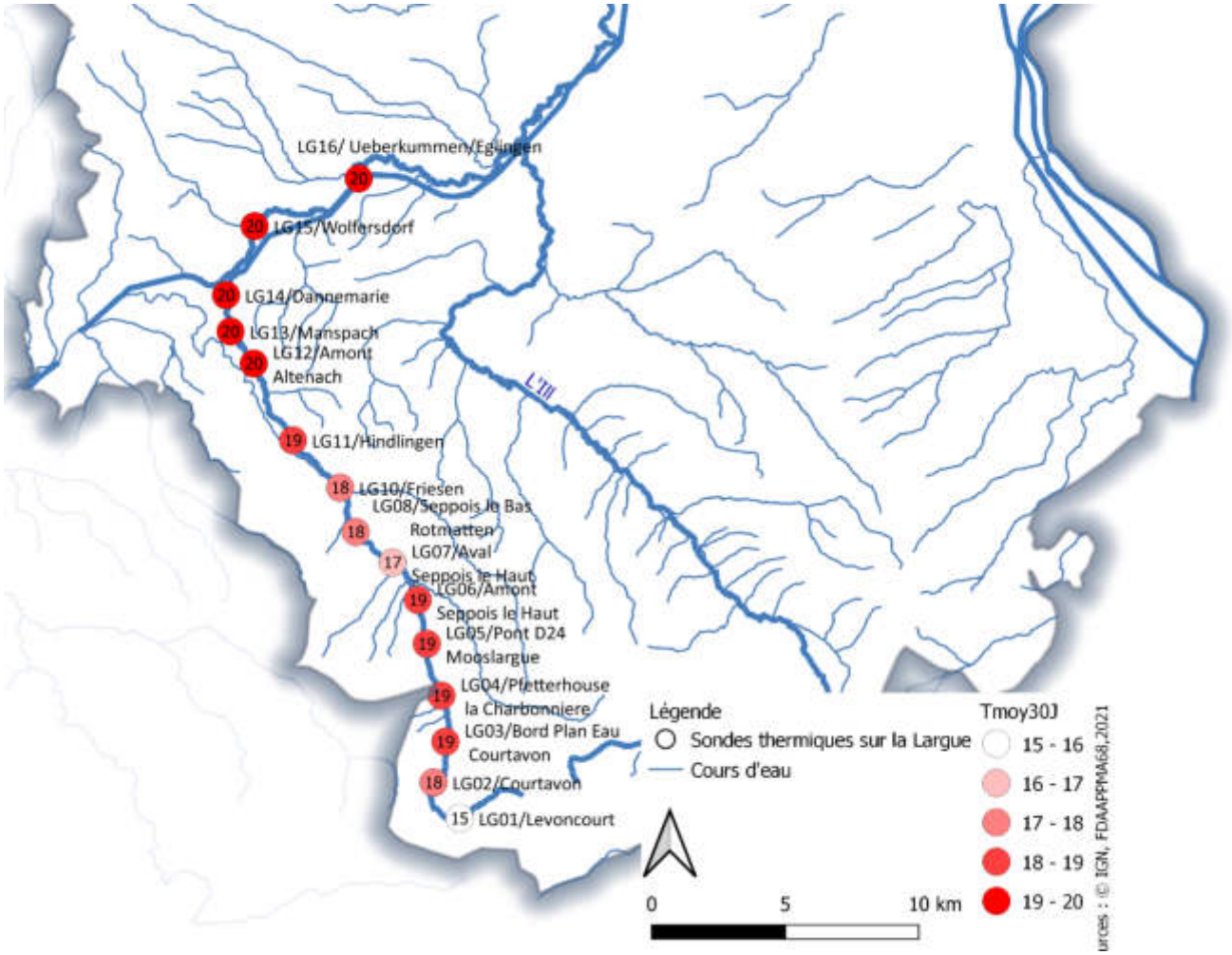


Figure 15 : Température moyennes des 30 jours les plus chaud en 2019 sur la Largue (plus représentative que 2021).

Si le secteur étudié n'est pas autant anthropisé que les autres bassins vosgiens, le bassin de la Largue fait face à des pressions différentes notamment au niveau de l'occupation du sol. Une des particularités du secteur est la densité conséquente d'étangs et de plans d'eau divers de toutes typologies. Le maillage complexe entre les affluents de la Largue, les zones de sources et les plans d'eau peut conduire à cette homogénéisation thermique observée. Les apports diffus des étangs attenants, voire parfois directement positionnée sur le cours principal, peuvent avoir un impact structurant majeur sur la thermie du cours d'eau. Néanmoins 81,4 à 98,9 % des valeurs mesurées restent comprises entre 4 et 19°C sur l'ensemble du bassin confirmant par-là, le potentiel important de la Largue pour l'implantation de population à dominance salmonicoles.

a) Biodiversité piscicole

Les inventaires biologiques récents mettent en évidence des peuplements très diversifiés (vraisemblablement la résultante d'échanges avec les étangs alentours) avec des proportions parfois importantes d'espèces tels que : Perche fluviatile, Goujon, Perche soleil, Spirlin et *Pseudorasboras parva* dès Pfetterhouse. L'étude des interrelations écosystémiques entre la Largue, ses affluents et les plans d'eau du bassin semble donc prépondérante afin d'améliorer la compréhension du fonctionnement de ce secteur à fort potentiel.

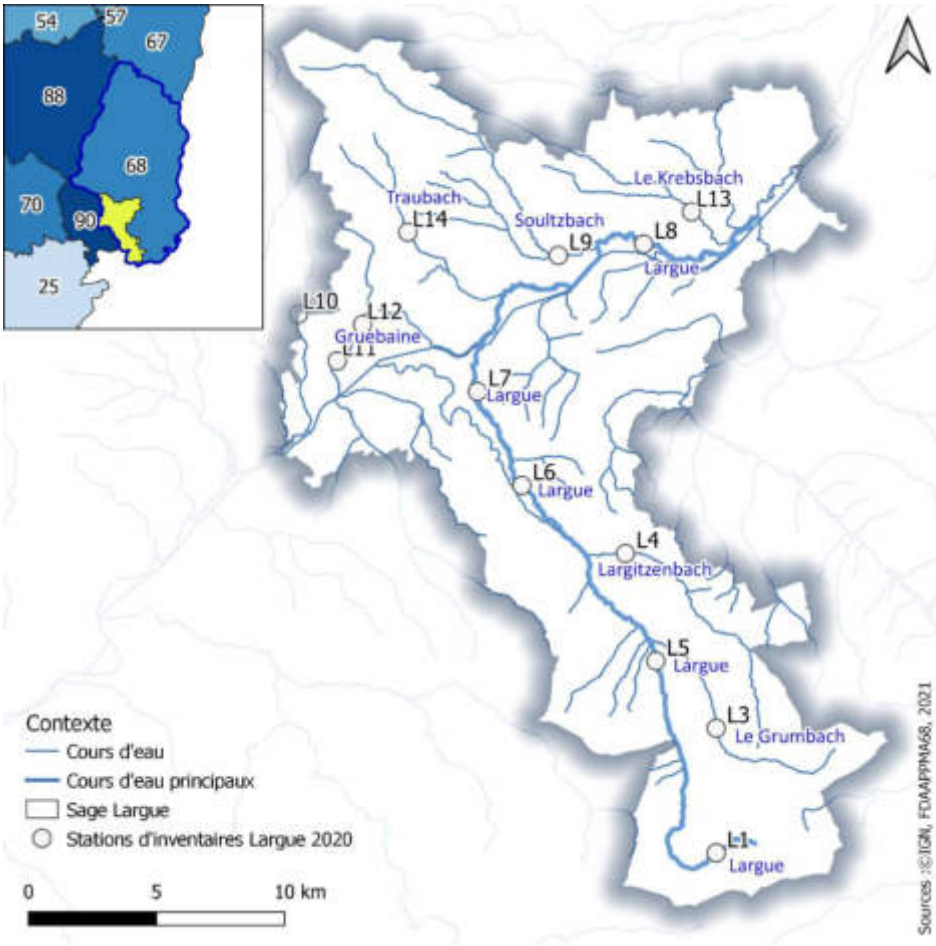


Figure 16 : Localisation des stations de pêche d'inventaire sur le bassin de la Largue en 2020.

Globalement, les résultats des inventaires réalisés en 2020 par la Fédération sur le territoire du SAGE de la Largue et du secteur de Montreux permettent de mettre en évidence plusieurs tendances :

- 24 espèces différentes dont 4 espèces patrimoniales et 3 espèces exotiques sont inventoriées ;
- Le bassin de la Largue est caractérisé par une importante concentration en espèces exotiques envahissantes, notamment de *Pseudorasbora parva* (présent en grande densité sur certains secteurs) ;
- Les secteurs situés en amont du bassin présentent un potentiel à préserver (secteur d'Oberlarg ou de Durlinsdorf) ;
- La qualité biologique est très hétérogène sur la zone d'étude (entre très bonne et mauvaise) mais majoritairement moyenne à médiocre ;
- D'importantes concentrations en phosphate sont présentes sur l'ensemble des stations ;
- Une certaine résilience du cours moyen de la Largue de Pfetterhouse à Manspach peut être mis en évidence (malgré une qualité biologique moyenne) ;
- Des densités de truite fario globalement faible à très faible sont observées (exceptées sur les secteurs les plus à l'amont) ;
- L'absence de l'anguille dans les inventaires de 2020 mais l'occurrence importante de la lamproie de planer ;
- Un état de santé globalement excellent ;
- Des peuplements diversifiés mais déséquilibrés mettant en évidence un certain nombre de pressions.

b) Halieutisme

La Largue est classée en 1ere catégorie piscicole de sa tête de bassin à la commune de Wolersdorf (au niveau de sa traversé sous le canal du Rône au Rhin). Les cours d'eau du secteur de Montreux et les canaux sont classés en seconde catégorie tout comme la Largue entre Wolfsdorf et sa confluence avec l'Ill. Deux principales AAPPMA se partage les baux de pêches de territoire avec :

- L'AAPPMA Sud Alsace ;
- L'AAPPMA les Brochets de Mulhouse.

Le bassin de la Largue est néanmoins caractérisé par une très faible proportion de linéaire de cours d'eau comprise dans les baux de pêches des associations agrées. En effet, la très grande majorité des cours d'eau du bassin (la Largue mais aussi l'ensemble des affluents) sont gérée par des Amicales de pêche hors réseau fédéral. Celles-ci ne sont pas affiliées à la Fédération du Haut-Rhin pour la pêche et la protection du milieu aquatique puisque non agrées. Dans ce cadre il est ainsi complexe d'avoir une chronique précise des gestions actuelles et passées de ces structures.

3. Les sites pilotes

Dans un souci d'équité, de pertinence et de moyen technique, ce sont 7 sites pilotes qui ont été sélectionné. Ces 7 plans d'eau ont été choisis en fonction de :

- Leur représentativité en termes de typologies dissemblables et extrapolables à la majeure partie des autres plans d'eau du secteur étudié ;
- Leur caractère spécifique en termes d'enjeux ;
- La possibilité à *fortiori* de l'application efficiente de mesure de gestion et/ou de travaux de restauration ;
- Leurs intérêts d'un point de vue patrimonial ou à l'inverse en termes d'impacts.

Ces sites sont représentés sur la figure 17 (dénomination abrégée) et concernent donc :

- Le plan d'eau de Courtavon : un plan d'eau situé dans le Jura alsacien, le plan d'eau de Courtavon s'étend sur près de 29 ha dont 17 ha alloués à la pêche en « No kill ». Il est géré par un Syndicat Intercommunal représentant quatorze villages propriétaires pour la partie zone de loisir et par la fédération de pêche 68 pour l'activité pêche ;
- L'étang de Levoncourt (prise directe sur un ruisseau à écrevisse autochtone) ;
- Autres étangs plus importants : étangs de Chavannes et Montreux vieux, de Gerschwiller et de Pfetterhouse.
  - ➔ **Des fiches de synthèse de type « cartes d'identité » des plans d'eau sont consultables en annexes.**

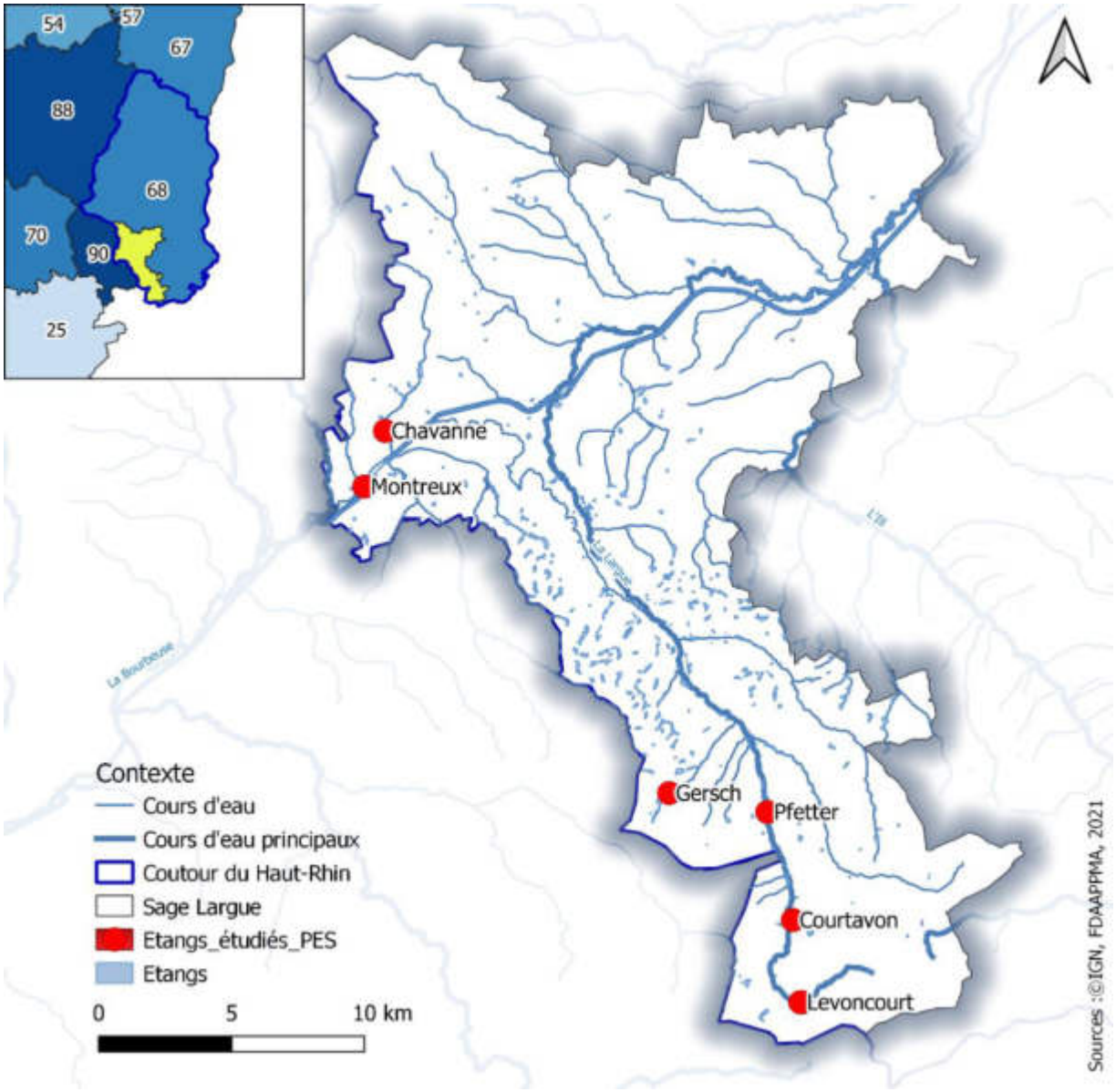


Figure 17 : Zone d'étude des plans d'eau et répartition des 7 sites étudiés en 2021 (NB : 2 plans d'eau au lieu d'un seul sont juxtaposés au niveau de « Montreux » - les dénominations des sites sont abrégés).

a) Le site de Courtavon

Figure 18 : Illustrations du plan d'eau de Courtavon (environnement Sud, Nord et berges Est).

❖ Caractéristiques générales

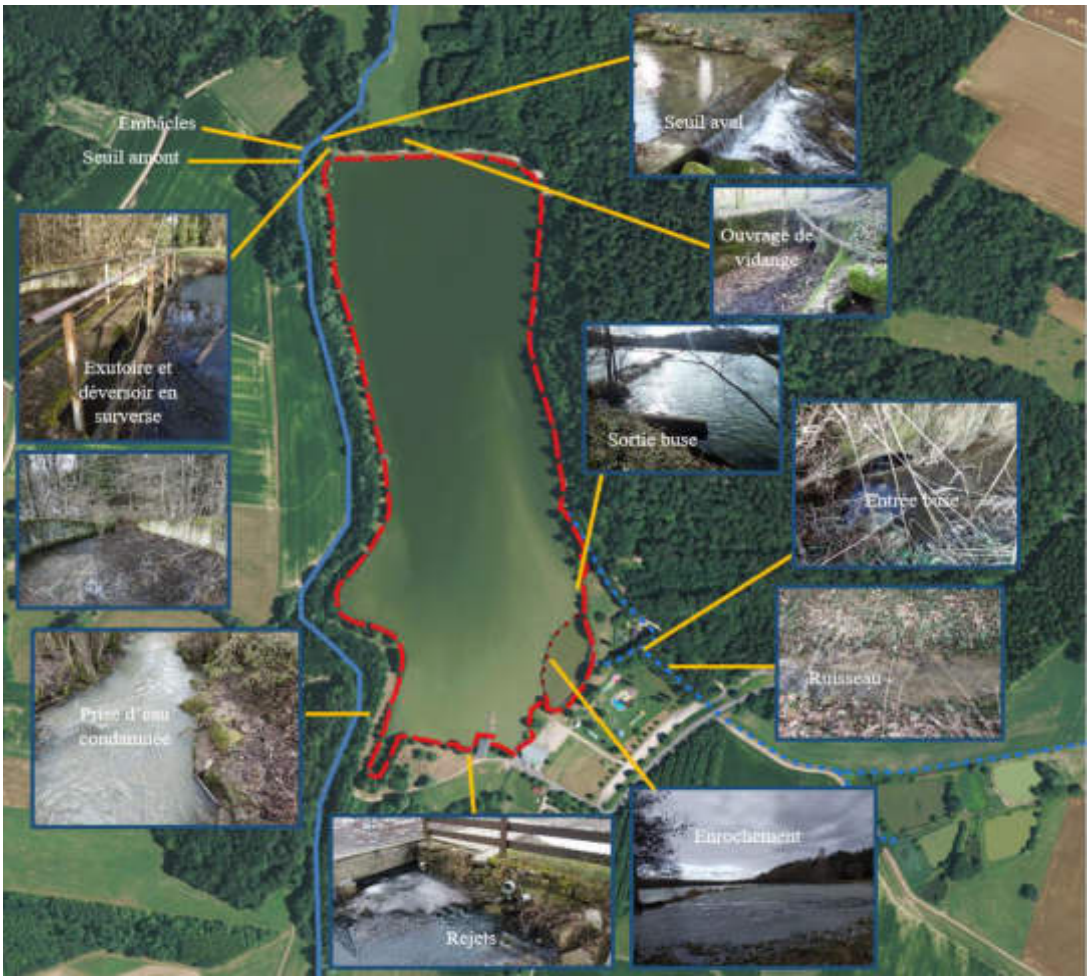


Figure 19 : Plan descriptif du plan d'eau de Courtavon.

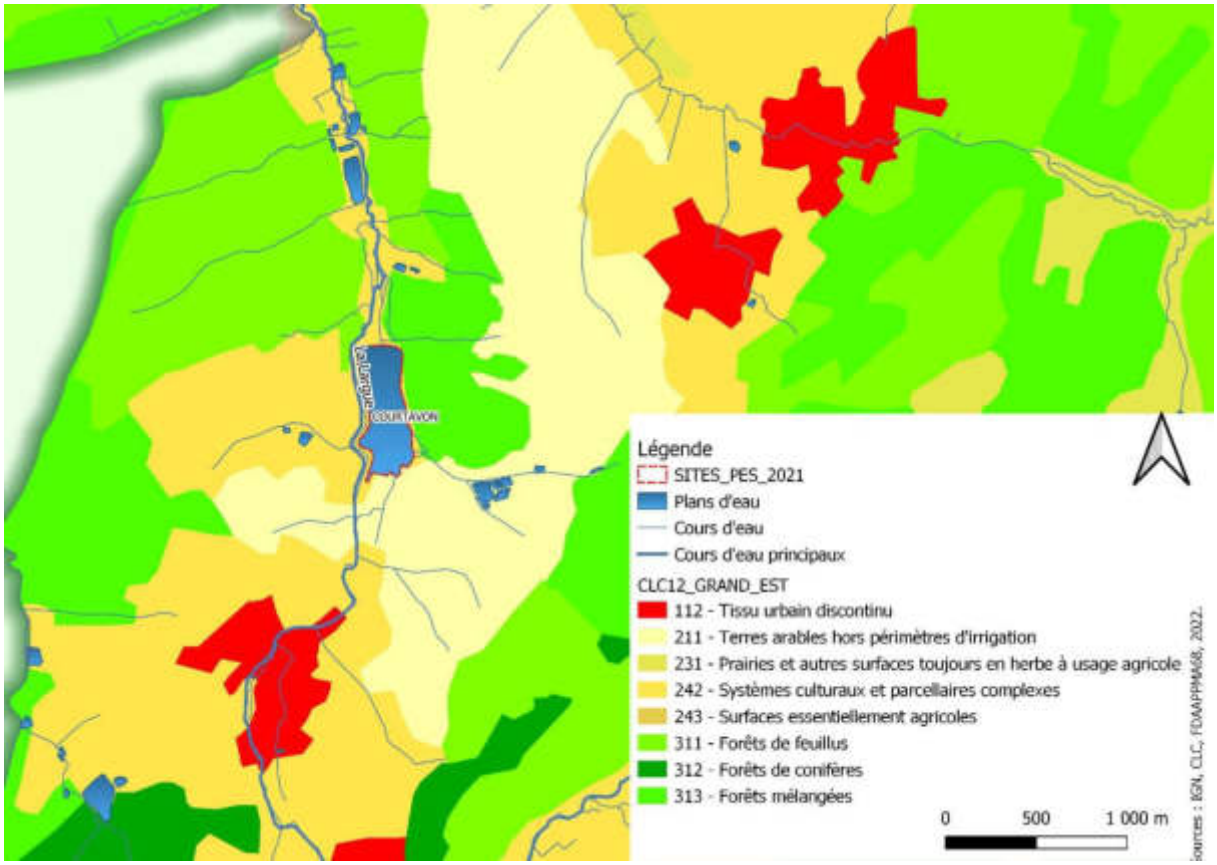


Figure 20 : Occupation des sols sur le bassin de la Largue amont et du site de Courtavon.

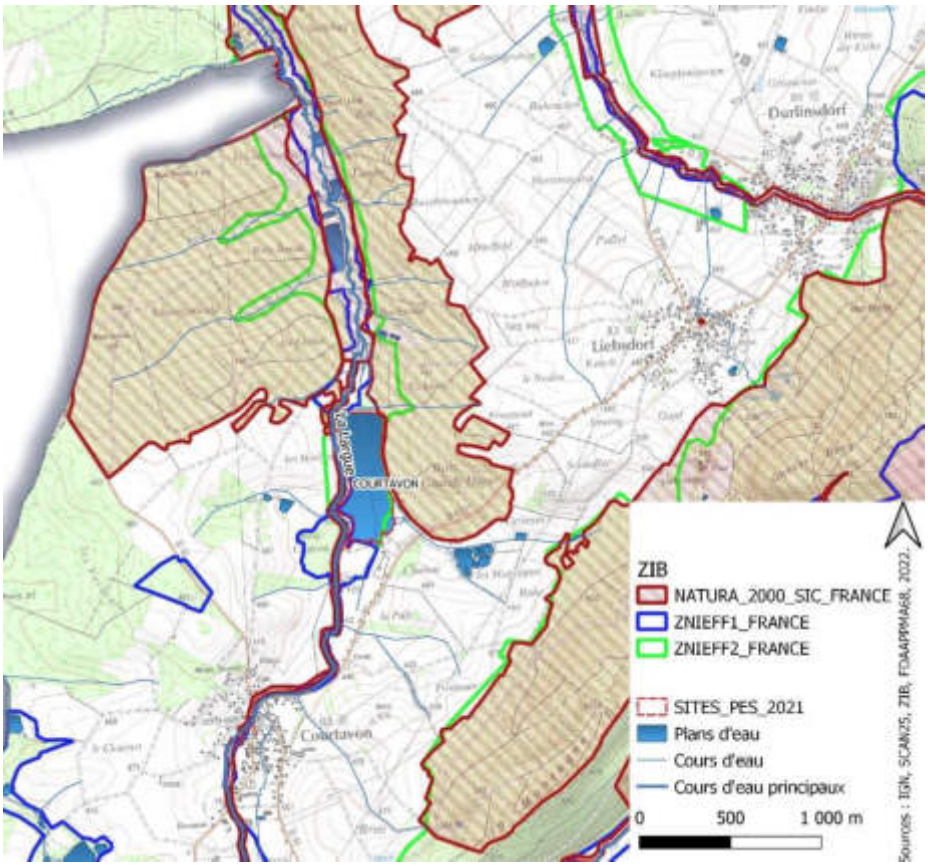


Figure 21 : Zones naturelles d'intérêt écologique et Natura 2000 sur le site de Courtavon.

Le plan d'eau de Courtavon mesure 700 m de longueur et 300 m au plus large, soit une superficie en eau de 16 ha ce qui en fait un des plus grands plans d'eau de la région. Il est localisé au Sud du Sundgau près de la ville de Courtavon. Le site complet représente 29 ha.

La partie amont au plan d'eau du bassin versant de la Largue est majoritairement occupée par des terres agricoles hétérogènes. Le site est situé en zone Natura 2000 et en ZNIEFF (figure 20).

Le plan d'eau de Courtavon est alimenté par un ruisseau au Sud-Est. Une ancienne prise d'eau sur la Largue existe au Sud-Ouest, cependant considérée comme illégale par la réglementation actuelle, elle a été condamnée par le Syndicat en 2021 (figure 21).

Il existe un ouvrage pour les vidanges sous la digue : une conduite de prise (500 mm de diamètre) protégée par une grille et fermée par une vanne. La sortie d'eau se fait par un déversoir en surverse au Nord du site où l'eau se jette dans la Largue, cet ouvrage est prévu pour déverser les 22 m³/s de la crue centennale.

Figure 22 : Comparatif de la queue du plan d'eau, 2006-2010 (gauche) et 2000-2005 (droite), source : IGN remonter le temps, 2021

❖ Historiques et enjeux

Le plan d'eau de Courtavon a été créé à la fin des années 1970 (figure 22). Il fut rempli à la fin 1979. En 1970, la décision d'accueillir des touristes dans le Sundgau est discutée, Le Maire de la commune de Ferrette (Alphonse JENN) propose de développer le tourisme et le choix du site d'accueil se porte sur un plan d'eau.

L'opportunité se présente lorsque la commune de Courtavon entreprend le remembrement de ses terrains, avec sur les lieux, un ancien étang asséché datant du Moyen-Âge. Après plusieurs années de discussion, le Syndicat intercommunal est créé, regroupant 14 communes alentours. Il achète les 33 ha de terrain à la Sociétés d'Aménagement Foncier et d'Etablissement Rural (SAFER) ainsi qu'à des propriétaires privés.

Figure 23 : Comparatif actuel (gauche) et 1950-65 (droite), avant la dérivation à l'Ouest de la Largue, source : IGN remonter le temps, 2021

Le budget pour la création du plan d'eau s'élève à 1,4 million de francs. 75% sont prêtés par le département et 300 000 francs sont apportés par la Fédération de pêche du Haut-Rhin. En contrepartie, elle obtient un bail de 30 ans et le droit de pêche sur les deux grandes rives.

Le Syndicat lance les travaux, 18 ha sont creusés, la rivière Largue est détournée en amont du plan d'eau et l'ancienne digue (Nord) reprend son usage initial. A l'aval, un déversoir est construit. Le plan d'eau sera rempli en 1979. Par la suite, le Syndicat continue le développement de l'activité touristique en investissant dans l'achat de barques et de pédalos ainsi que la construction d'une plage et l'aménagement d'un ponton en 1990. Outre ces aménagements, l'afflux touristique notamment des frontaliers, dépasse les attentes des gestionnaires soit 20 000 estivaux en 1991 (d'après le journal « Sundgau »). Il s'en suit un programme d'aménagement en réponse à l'intérêt grandissant pour le site : l'aménagement d'un bassin de baignade, d'une salle d'accueil, d'une cuisine et la création d'un camping de deux hectares. Ces travaux (5 millions de francs) sont financés majoritairement par le programme Interreg (40%), le département Haut-Rhin (30%) et le syndicat (20%). Le reste des fonds provient de la région Alsace (5%) et de la République et canton du Jura (5%).

- Gestion et usages

Durant les dernières années, le rayonnement touristique du site est décroissant. Actuellement, le plan d'eau de Courtavon offre différentes possibilités : camping, promenade autour du site ou un repas au restaurant qui a récemment ouvert au Sud du plan d'eau. La pêche, notamment en float-tube, est possible sur la partie Nord du plan d'eau avec une variété d'espèces (brochets, carpes, perches, etc.) en fonction des périodes.

L'entretien du plan d'eau se résume à un fauchage régulier de la ripisylve sur les berges, réalisé par le Syndicat Intercommunal de Courtavon (propriétaire) pour permettre l'accès au site ainsi qu'une seule vidange le 13/11/1986 (Syndicat intercommunal de Courtavon, 1986). Cette vidange devait aboutir à la plantation de céréales, néanmoins, le plan d'eau a été rapidement rempli pour offrir une solution de repli aux pêcheurs après la pollution du Rhin par l'usine de Sandoz le 31/10/1986 et l'interdiction de la pêche sur le fleuve (Gautier, nd).

- Problématiques

Depuis deux ans, une nouvelle dynamique s'est mise en place sur le plan d'eau de Courtavon, la Fédération de pêche entreprend des rénovations du chalet pour y installer un garde pêche à l'année, un couple de restaurateurs a repris les locaux (qui ont été rénovés et accueillent désormais des clients) au Sud du plan d'eau. Enfin, sur la partie Sud se trouve un complexe

de jeux gonflables destinés aux enfants. Les nouveaux propriétaires ont entrepris les premières démarches pour rétablir la baignade, interdite depuis 2005 (DDASS Service Santé-Environnement, 2006). Pour les sports nautiques, une remise en état des embarcations destinées à la location est prévue. De point de vue de la Fédération de Pêche, le site présente un fort potentiel pour le tourisme vert permettant de concilier les activités touristiques et biodiversité du site. L'objectif est de mettre en place un plan de gestion, un plan d'aménagement et proposer des actions de sensibilisation tel un parcours de découverte

b) Le site de Chavannes sur l'étang

Figure 24 : Illustration du plan d'eau de Chavannes sur l'étang.

❖ Caractéristiques générales

Figure 25 : Plan descriptif du plan d'eau de Chavannes sur l'étang.

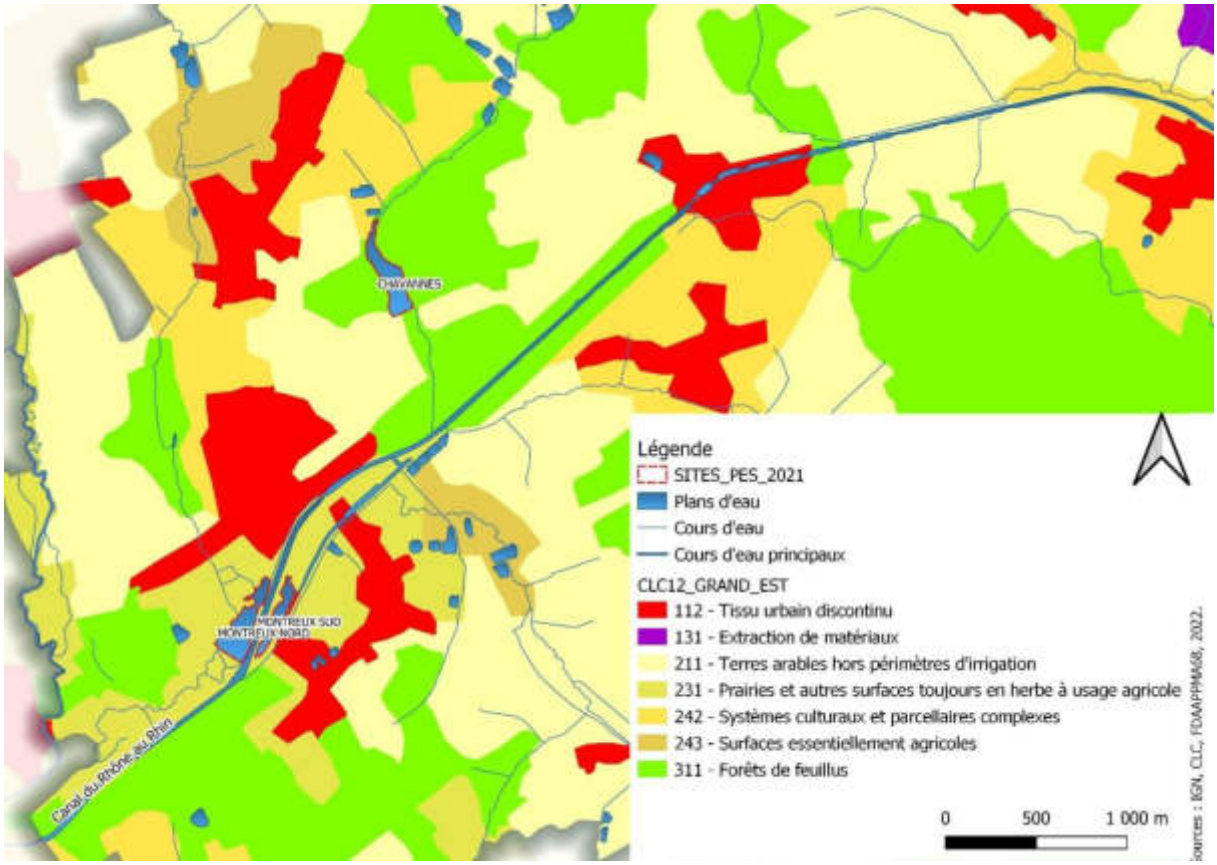


Figure 26 : Occupation des sols sur le bassin de la Gruebaine et les sites de Chavanne et de Montreux.

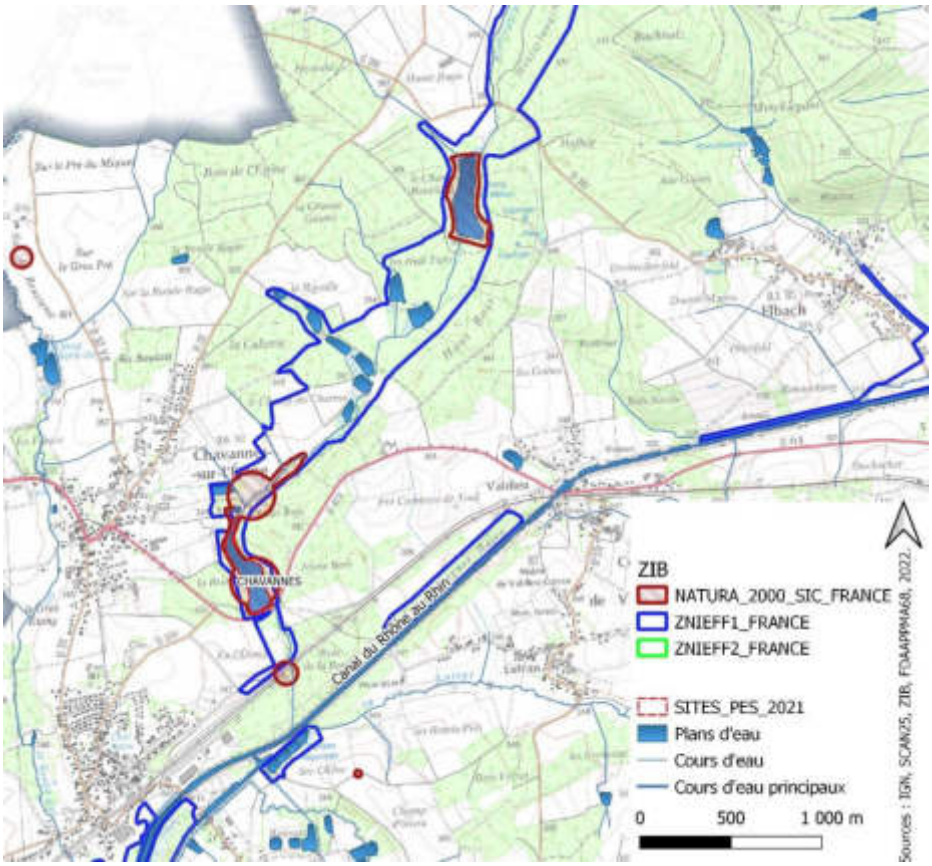


Figure 27 : Zones naturelles d'intérêt écologique et Natura 2000 sur le site de Chavanne.

Le plan d'eau de Chavannes sur l'étang mesure 472 m de longueur et 125 m au plus large, soit une superficie en eau de 1,7 ha. Le plan d'eau de Chavannes et situé sur la commune de Chavannes sur l'étang (68) à une altitude de 340m. Il est placé directement en barrage sur le cours de la rivière de la Gruebaine. L'environnement du site est constitué de : forêt de feuillus (Ouest et Est), de zones agricoles hétérogènes (Nord et Sud-Ouest) et de terres arables hors périmètres d'irrigation (Nord-Ouest). Le site est compris en zone Natura 2000 (SIC), proche de sites CEN et en ZNIEFF de type 1 (figure 26 et 27).

Au nord le cours d'eau se jette dans l'étang et est restitué par une surverse située au Sud-Est (figure 25). L'ouvrage situé à l'amont est fortement détérioré et le cours d'eau s'est ainsi divisé en deux bras se jetant chacun dans le plan d'eau à un endroit différent. Des fuites de digues et des résurgences longent la rive gauche du plan d'eau pour rejoindre le rejet du déversoir au Sud. Des écoulements plus ou moins important ont été observé selon les périodes. Le cours d'eau passe ensuite sous un pont situé sur la D419 avant de rejoindre le canal du Rhône au Rhin.

Le bassin versant de la Gruebaine est caractérisé par une forte densité d'étangs présent tout le long de son cours en dérivation ou en barrage et de tailles variés dont le plus grand est l'étang du Milieu appartenant au CEN Alsace.

La Gruebaine est un cours d'eau naturel non navigable de petit gabarit situé dans la partie sud- ouest du département du Haut-Rhin, à la frontière avec le Territoire de Belfort (90). La Gruebaine prend sa source dans la commune de Vauthiermont (90), s'écoule sur un linéaire de 8,83 km pour confluer avec le Canal du Rhône au Rhin au niveau de la commune de Magny (68). Ce cours d'eau de seconde catégorie piscicole traverse notamment les communes de Chavannes-sur-l'Etang (linéaire de 2,19 km) et Montreux-vieux (linéaire de 1,50 km). Le bassin versant de la Gruebaine représente une surface de 8 km² et possède un ordre de Strahler égal à 2. La température moyenne du bassin est de 10,1 °C, la pluviométrie annuelle est de 1115 millimètres. La Gruebaine est inclue dans le SAGE de la Largue et secteur de Montreux. Cette zone géographique est caractérisée par un très grand nombre de plans d'eau, très structurant au sein du paysage local. La Gruebaine traverse ou longe ainsi plusieurs étangs le long de son parcours. Ce ruisseau est situé à la frontière entre le bassin hydrographique Rhône-Méditerranée et le bassin Rhin-Meuse mais est rattaché à l'agence de l'eau Rhin-Meuse.

Le cours d'eau est caractérisé par un régime intermittent avec des amplitudes de débit très importante entre crues et étiages.

- ❖ <u>Historiques et enjeux</u>

Le Conservatoire d'Espaces Naturels d'Alsace (CEN Alsace, anciennement CSA pour Conservatoire des Sites Alsaciens) a initié en 2019 un projet visant à l'amélioration du fonctionnement alluvial et à la renaturation d'étangs dans le lit majeur de la Gruebaine à Chavannes-sur-l'Étang (Fluvial.IS - CEN Alsace, 2021). Le CEN Alsace est propriétaire de nombreux plans d'eau en Alsace. Sur le fond de vallée alluviale de la Gruebaine, le CEN Alsace est propriétaire de 3 étangs d'intérêt, en dérivation, aux enjeux écologiques forts sur la commune de Chavannes sur l'étang, jouxtant le cours d'eau de la Gruebaine : l'étang du Pré Favé, l'étang Derrière les Bois et l'étang du Milieu. L'étang du pré Favé est situé juste au Nord du plan d'eau étudié.

Il est le dernier à être situé sur le cours de la Gruebaine avant que le cours d'eau ne se jette dans le canal Rhône-Rhin. Historiquement le plan d'eau était également géré par le CEN Alsace sur une période mais il est depuis lors géré par les propriétaires du site. Divers aménagements ont été réalisé par le passé (figure 27) comme la création d'îlots, de mares (au Nord-Est) ou encore d'abris pour oiseaux. Des vidanges récurrentes furent aussi réalisées par le passé à des fins piscicoles. On note une volonté d'aménagement des propriétaires sur le site (roselière, bois mort, végétalisation forte, aménagement pour l'avifaune notamment).

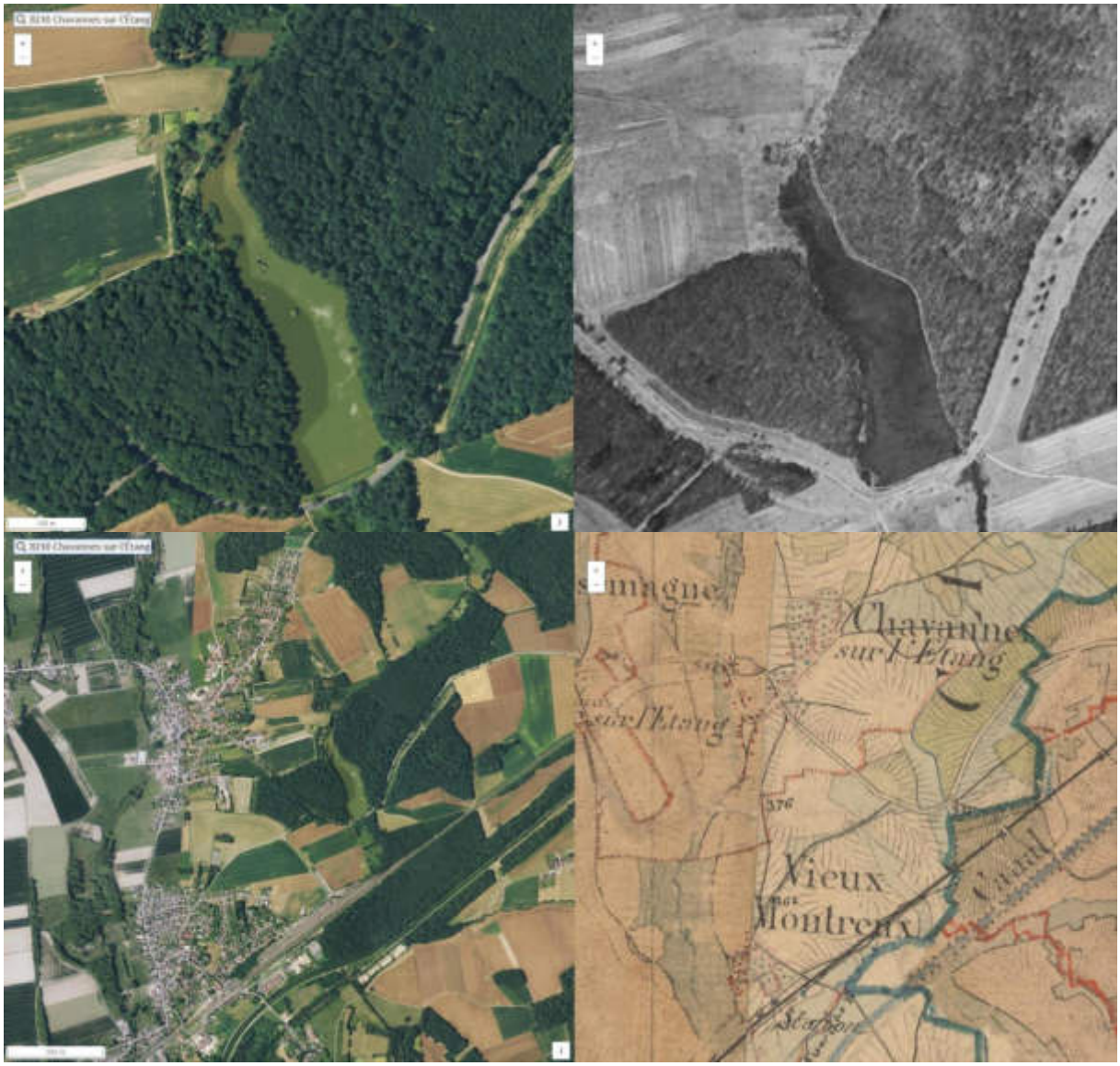


Figure 28 : Comparatif actuel (gauche) et de 1950-65 (en haut à droite) et carte d'état-major (1820-1866) en bas à droite. Il est possible de voir que le cours d'eau passait en rive gauche de l'étang actuellement en barrage, source : IGN remonter le temps, 2022.

❖ Gestion et usages

Actuellement le site est privé et sans usages mise à part la création par le propriétaire d'une zone de quiétude pour l'avifaune et d'un usage occasionnel du site pour de la photographie animalière.

❖ Problématiques

Plusieurs problématiques peuvent être listées sur ce site comme :

- Le déploiement de projets de restauration de la fonctionnalité alluviale du cours d'eau (projet de grande ampleur à l'échelle du bassin versant).
- La volonté des acteurs et des propriétaires d'améliorer la situation du site et sa naturalité.
- Des observations récurrentes de braconnage.
- Un rejet issu d'une industrie locale qui s'écoule également dans le plan d'eau (rejet choucrouterie cf. figure 25).

c) Les sites de Montreux-Vieux (plan d'eau Ouest dit le Réservoir)

Les deux plans d'eau de Montreux-Vieux présentent une typologie différente puisqu'ils ne sont pas en barrage ou en dérivation sur un cours d'eau mais forment des annexes du canal du Rhône au Rhin. Du fait de leurs caractéristiques, ces deux sites sont également reliés à l'étude des annexes hydrauliques de la plaine d'Alsace portée par la FDAAPPMA68 en 2021-2022.

❖ Caractéristiques générales (plan d'eau Ouest dit le Réservoir)

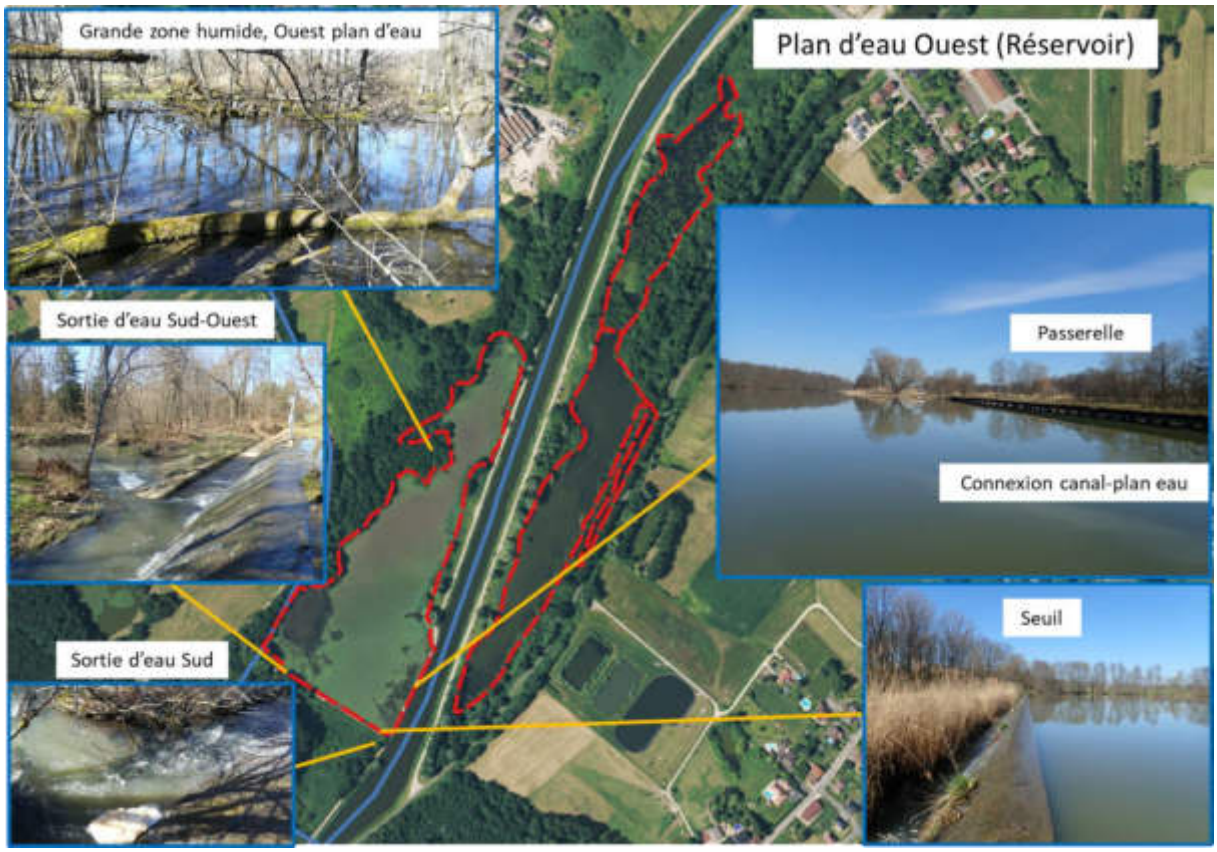


Figure 29 : Plan descriptif du plan d'eau plan d'eau Montreux-Ouest dit le Réservoir.

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.

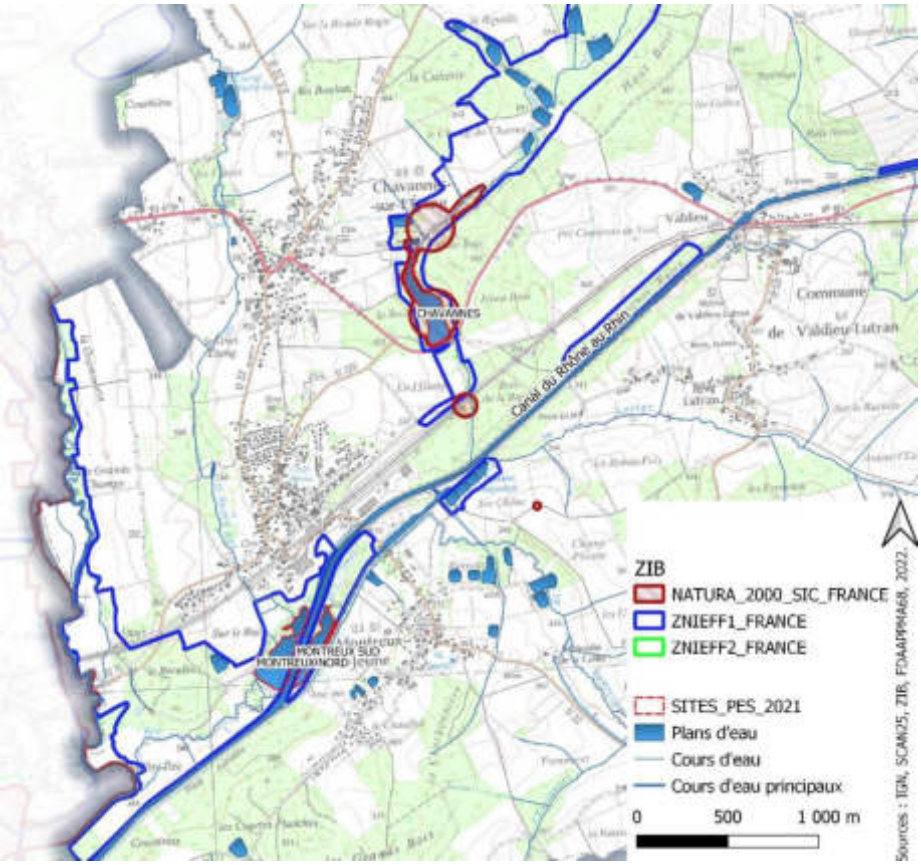


Figure 30 : Zones naturelles d'intérêt écologique et Natura 2000 sur les sites de Montreux.

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).

Figure 31 : 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.

❖ 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.

❖ Problématiques

Lié à l'absence d'aménagement ou de protocole de gestion récent, le site a naturellement évolué dans le temps (figure 31). 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 32 : 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.

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

❖ Caractéristiques générales

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.

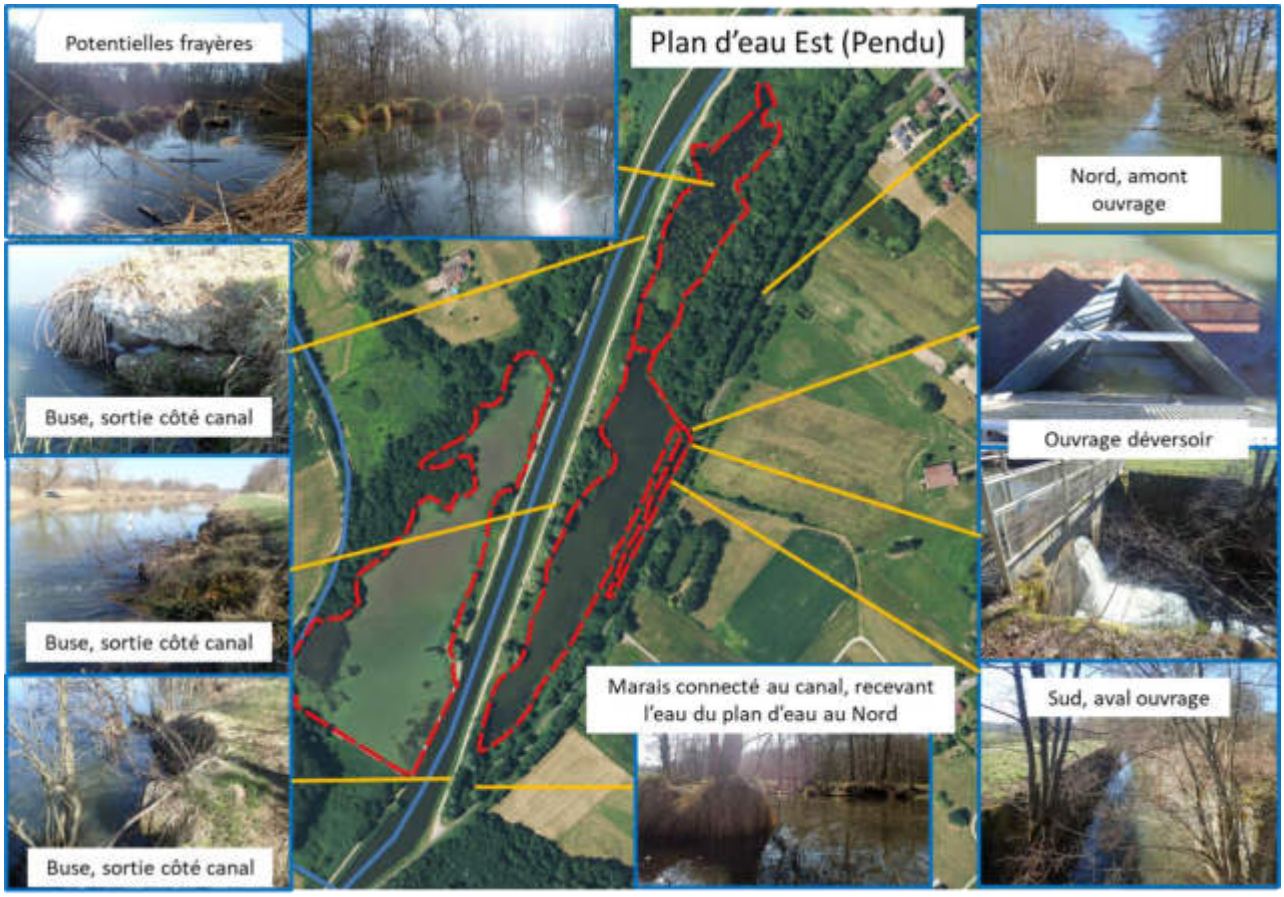


Figure 33 : Plan descriptif du plan d'eau plan d'eau Montreux-Est dit l'étang du Pendu.

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 33). 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 31). 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.

e) Le site de Guershwiller

❖ Caractéristiques générales

Le site est propriété du CEN Alsace. Le plan d'eau d'Obergerschwiller/Pfetterhouse du CEN Alsace (appelé « plan d'eau de Guershwiller » dans la suite de l'étude), mesure 420 m de longueur et 390 m au plus large, soit une superficie en eau de 5,8 ha. Le plan d'eau de Guershwiller est situé sur la commune de Pfetterhouse (68) à une altitude de 420m. Le CEN Alsace est propriétaire de la zone d'étude (étang, terrain et deux carpières situées au Sud). L'environnement du site est représenté par des forêts de feuillus au Nord et des terres arables au Sud (figure 35). Le site est situé dans l'emprise d'une zone Natura 2000, d'une ZNIEFF de type 1 et de type 2, ainsi que dans le périmètre de « zone humide prioritaire » du SAGE.

Le plan d'eau est directement en barrage (prise direct) sur le Babersenbach (affluent en rive gauche de la Largue). Un étang de taille plus importante est situé directement en aval de l'étang du CEN Alsace et appartient à des propriétaires privés. Le ruisseau traverse ainsi un ensemble de complexe d'étang avant de rejoindre la Largue. Ce sont 21 pièces d'eau qui sont recensées sur ce bassin versant d'une superficie de 5,17km² (CEN Alsace, 2021). 2 carpières sont alimentées en dérivation (mais non fonctionnelles) en amont immédiat du plan d'eau. Le site présente également des caractéristiques de naturalité forte, un intérêt patrimonial et une importante biodiversité est référencée suites aux études naturalistes du CEN (Cuivré des marais, Marsillé à quatre feuille, sonneur à ventre jaune, rainette et grenouille rousse notamment).

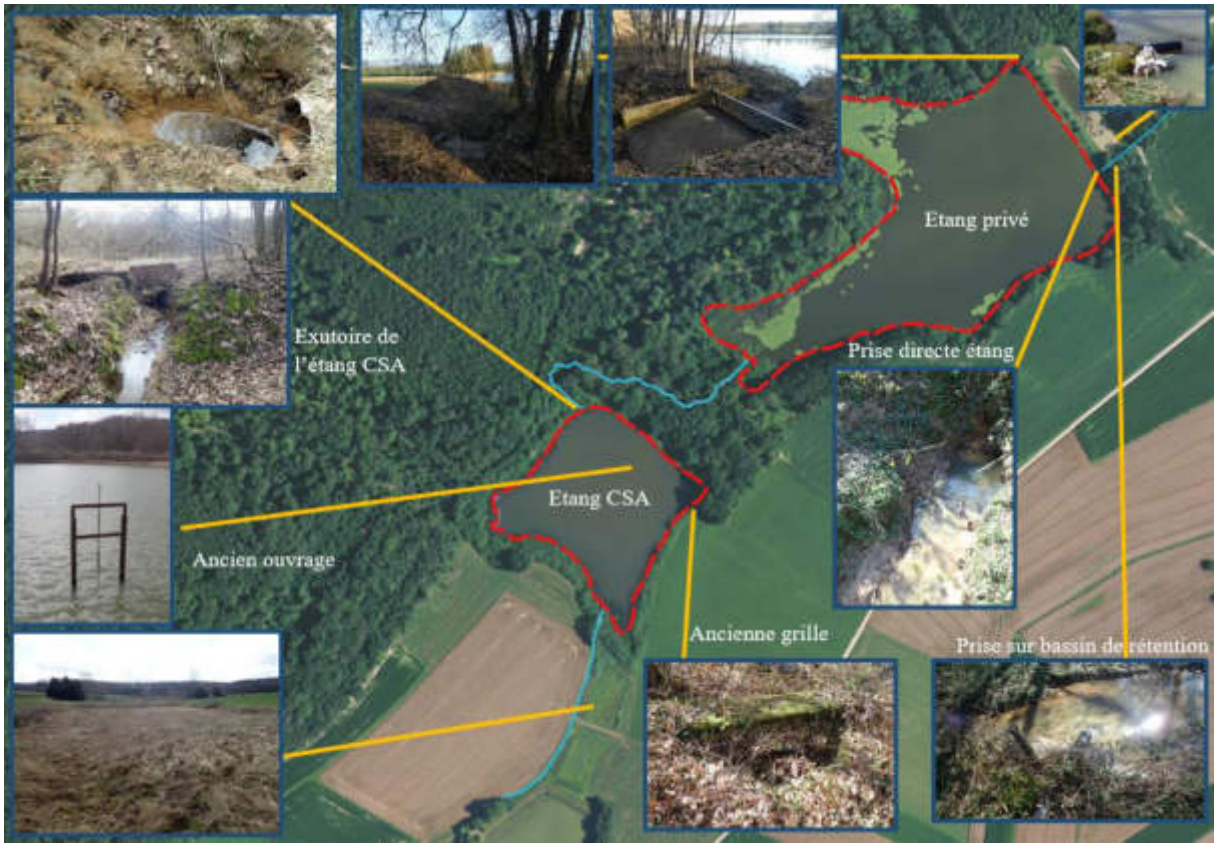


Figure 34 : Plan descriptif du plan d'eau plan d'eau de Guershwiller situé sur la commune de Pfetterhouse et propriété du CEN.

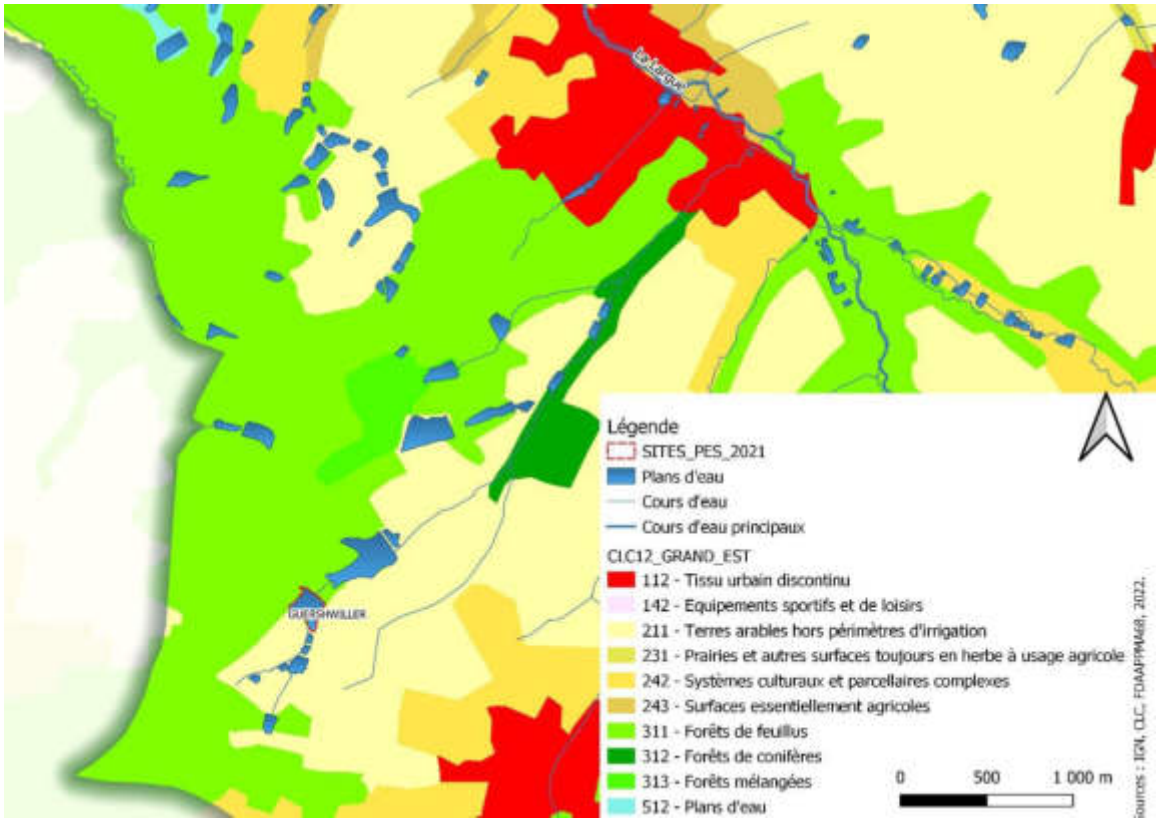


Figure 35 : Occupation des sols sur le bassin du Babersenbach et du site de Guershwiller.

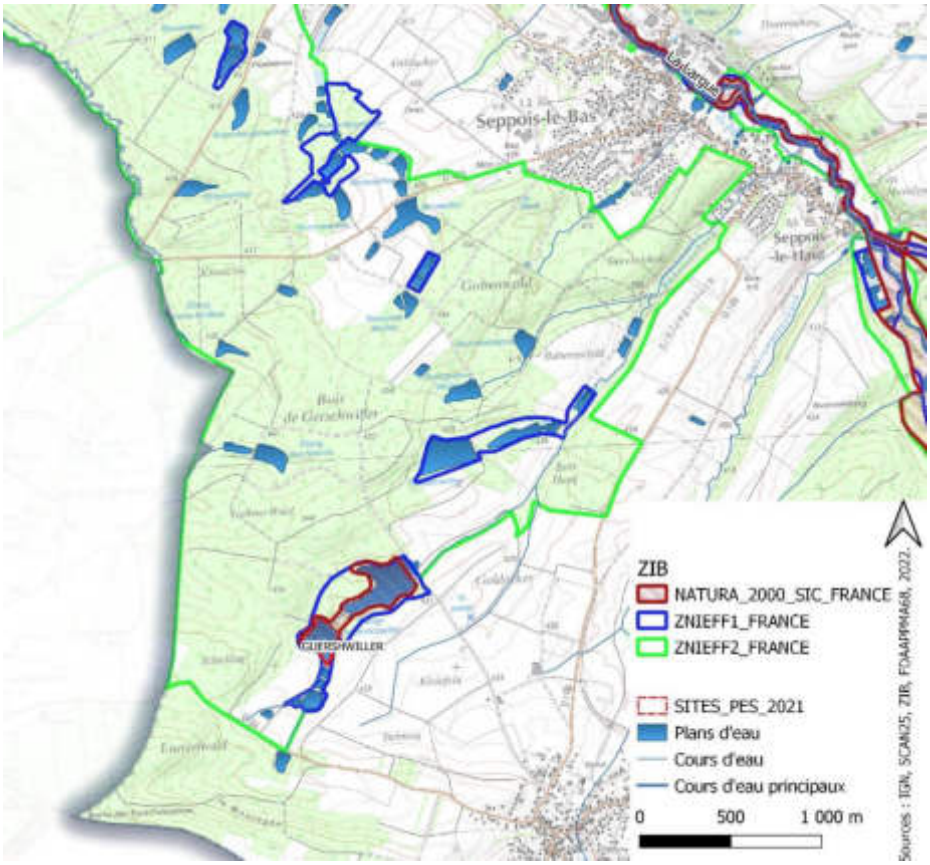


Figure 36 : Zones naturelles d'intérêt écologique, faunistiques et floristiques et Natura 2000 sur le bassin du Babersenbach et du site de Guershwiller

❖ Historiques et enjeux

Le plan d'eau de Guershwiller est qualifié comme l'un des plus ancien du secteur d'étude. Il apparait en effet déjà sur les cartes dressées par Broutain en 1722 (figure 37). Historiquement il servait plutôt de réserve d'eau pour l'étang situé en aval. Le plan d'eau fut ainsi mis en assec de manière récurrente par le passé.

Le site a fait l'objet d'une acquisition foncière en 2018 par le CEN Alsace. Depuis, une stratégie de gestion patrimoniale est appliquée et un projet de renaturation est en cours d'étude en 2022 dans le cadre du plan de relance national (objectif trame verte et bleu).

Les enjeux du site sont ainsi multiples avec :

- Contribuer à l'amélioration du fonctionnement hydrologique du bassin versant (réduire les prélèvements d'eau au profit du cours d'eau en période d'étiage et réduire l'impact de l'étang sur la thermie du cours d'eau) ;
- Contribuer à la sauvegarde de la biodiversité des zones humides du Sundgau (potentiel de nidification et de reproduction pour la faune, améliorer l'expression des communautés végétales liées aux vases exondés, réouvrir et limiter le développement des boisements pour l'expression des hélophytes, définir des habitats cibles pour les anciennes carpières en prenant en compte la fonctionnalité de l'hydrosystème et améliorer la fonction de corridor écologique sur la bordure Est du site).

Figure 37 : Comparatif actuel (gauche), de 1950-65 (en haut à droite), de 2006-2010 (en bas à gauche) et des cartes d'états-majors (en bas à droite). Les pièces d'eau n'ont que peu évoluées depuis le passé. Source : IGN remonter le temps, 2022.

❖ Gestion et usages

Une stratégie de gestion patrimoniale est appliquée et un projet de renaturation est en cours d'étude en 2021. La gestion est axée sur la conservation et l'expression des communautés floristiques et faunistiques patrimoniales (gestion et usage conservatoire).

❖ Problématiques

Plusieurs problématiques sont recensées comme :

- Pertinence de la réalisation d'un état initial centrée sur des volets supplémentaires ;
- Volonté des acteurs et des propriétaires de faire émerger des travaux d'aménagement et de restauration à partir de 2022 (dérivation du lit du cours d'eau, actuellement en barrage sous couvert d'un partenariat entre le CEN et l'EPAGE) ;
- Conciliation des enjeux de biodiversité du plan d'eau avec la fonctionnalité du ruisseau dans le cadre d'un réseau complexe d'étang en barrage ;

- Choix de la réalisation d'une étude complète d'Avant-Projet réalisée par un bureau d'étude sous maitrise d'ouvrage du CEN en 2022 : pour cette raison, l'étude du site de Guershwiller a été allégé comparativement aux autres sites pilotes mais reste utile pour offrir un comparatif typologique ;
- Partenariat entre la FDAAPPMA68 et le CEN avec la pose d'une sonde de mesure de hauteur d'eau à demeure dans le but de suivre le marnage du plan d'eau (enjeux de communauté végétales patrimoniales pionnières).

f) Le site de Pfetterhouse

❖ Caractéristiques générales

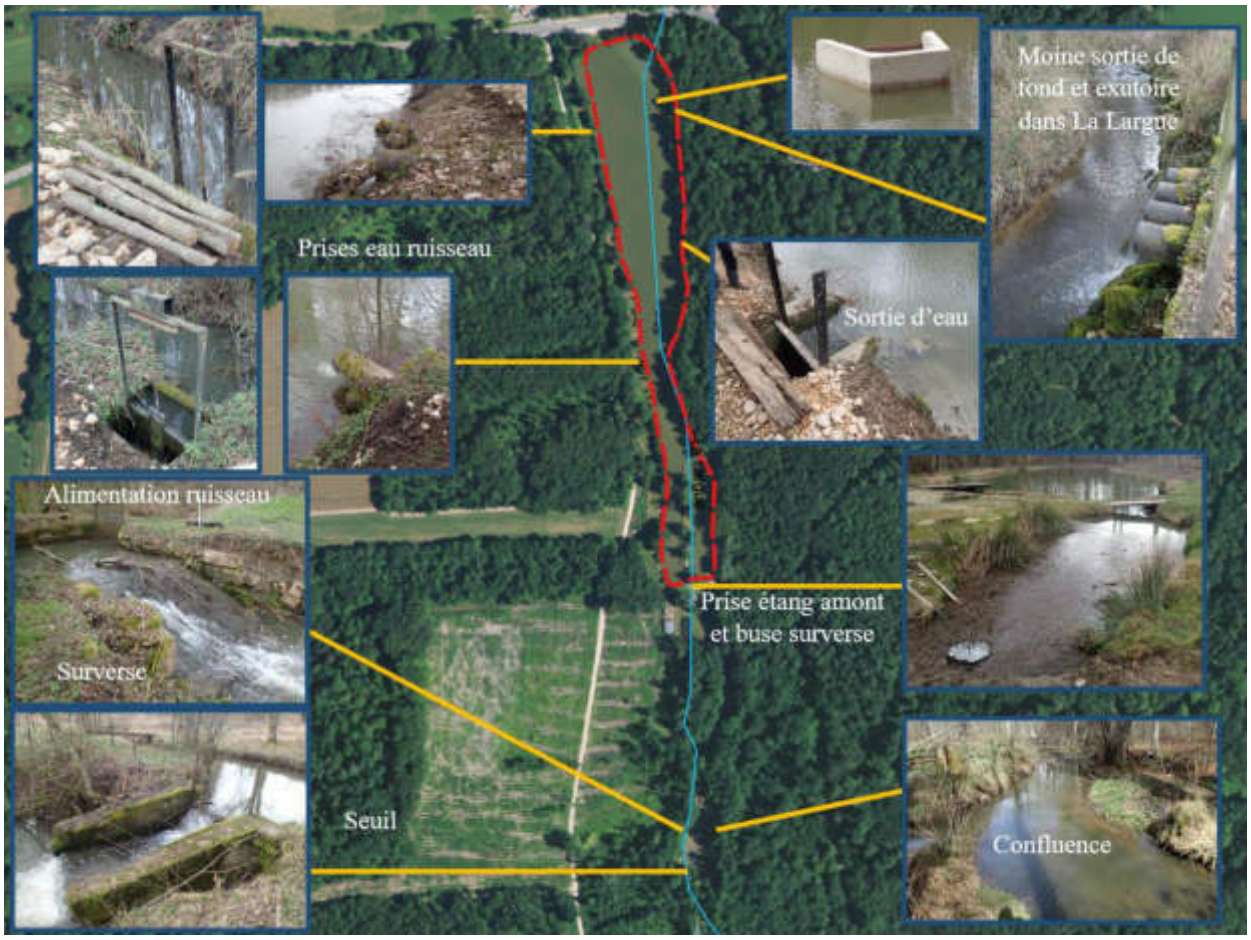


Figure 38 : Plan descriptif du plan d'eau plan d'eau de Pfetterhouse.

Le plan d'eau de Pfetterhouse, mesure 410 m de longueur et 60 m au plus large, soit une superficie en eau de 1,7 ha. Le plan d'eau de Pfetterhouse est situé sur la commune du même nom à une altitude de 400m. Celui-ci est positionné en dérivation via le ruisseau du Moulin (qui s'écoule à l'Ouest du plan d'eau) et le long de la Largue (située à l'Est de la digue et du plan d'eau).

Le réseau hydrologique du site (notamment la partie amont), plus complexe, est détaillée figure 39. La Largue s'écoule selon un axe Sud-Nord et est captée à travers un complexe d'ouvrage permettant une réhausse de la côte d'eau avec :

- Un premier seuil qui permet la gestion de la hauteur d'eau de la zone via des planches amovibles ;
- Un second seuil qui fait office d'ouvrage de surverse en cas de trop hautes eaux ;

- Enfin un troisième ouvrage permet le captage d'une partie des eaux de la Largue pour alimenter le complexe d'étangs situés en aval à travers un ruisseau.

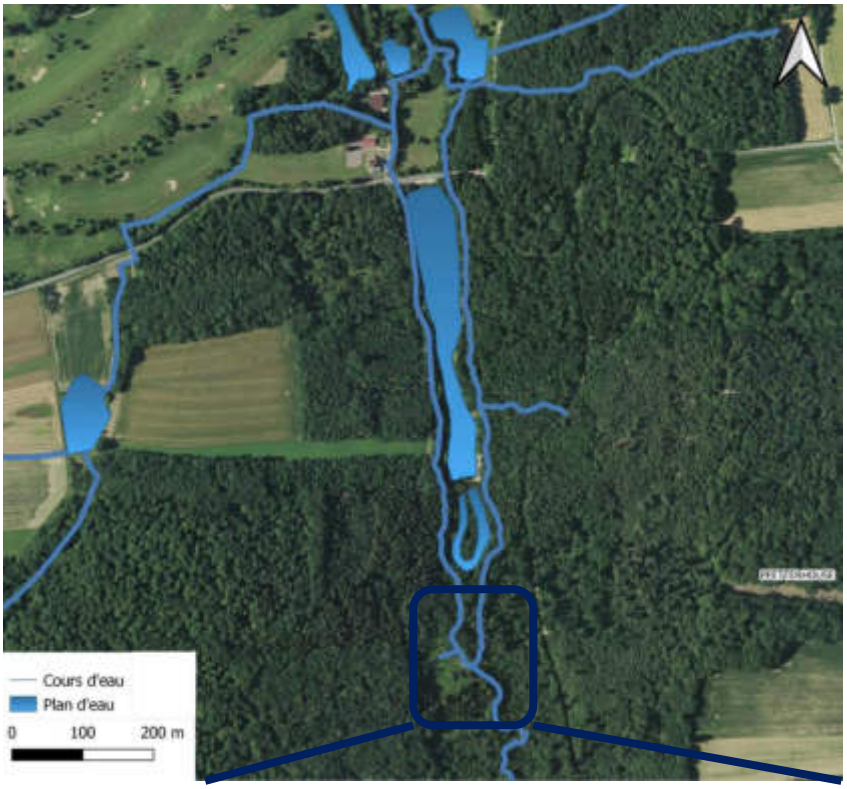
Les obstacles sont référencés au sein du Référenciel des Obstacles à l'Ecoulement (ROE France) sous les codes :

- ROE97541 pour le premier ouvrage ;
- ROE66187 pour le second ouvrage.

Les deux ouvrages cités sont jugés infranchissables pour l'espèce repère du contexte, la Truite fario. De plus le cours de la Largue présente un effet bief important, conséquence de la réhausse de la ligne d'eau, sur plus de 200m de linéaire.

Le ruisseau à l'Ouest alimente le site étudié (droit d'eau fondé en titre du propriétaire) via plusieurs entrées d'eau manœuvrables mais également un complexe d'étang situés à l'aval de l'axe routier Nord. Le ruisseau se rejette dans la Largue qui traverse ensuite le golf de Pfetterhouse avant de retrouver un profil plus représentatif du secteur.

L'occupation du sol est à dominance de forêt de feuillus à l'Ouest, au Sud et à l'Est (figure 40). Des espaces verts artificiels sont recensé au Nord (Golf). Le site est situé en zone Natura 2000 (SIC) et en ZNIEFF de type 1 (figure 41).



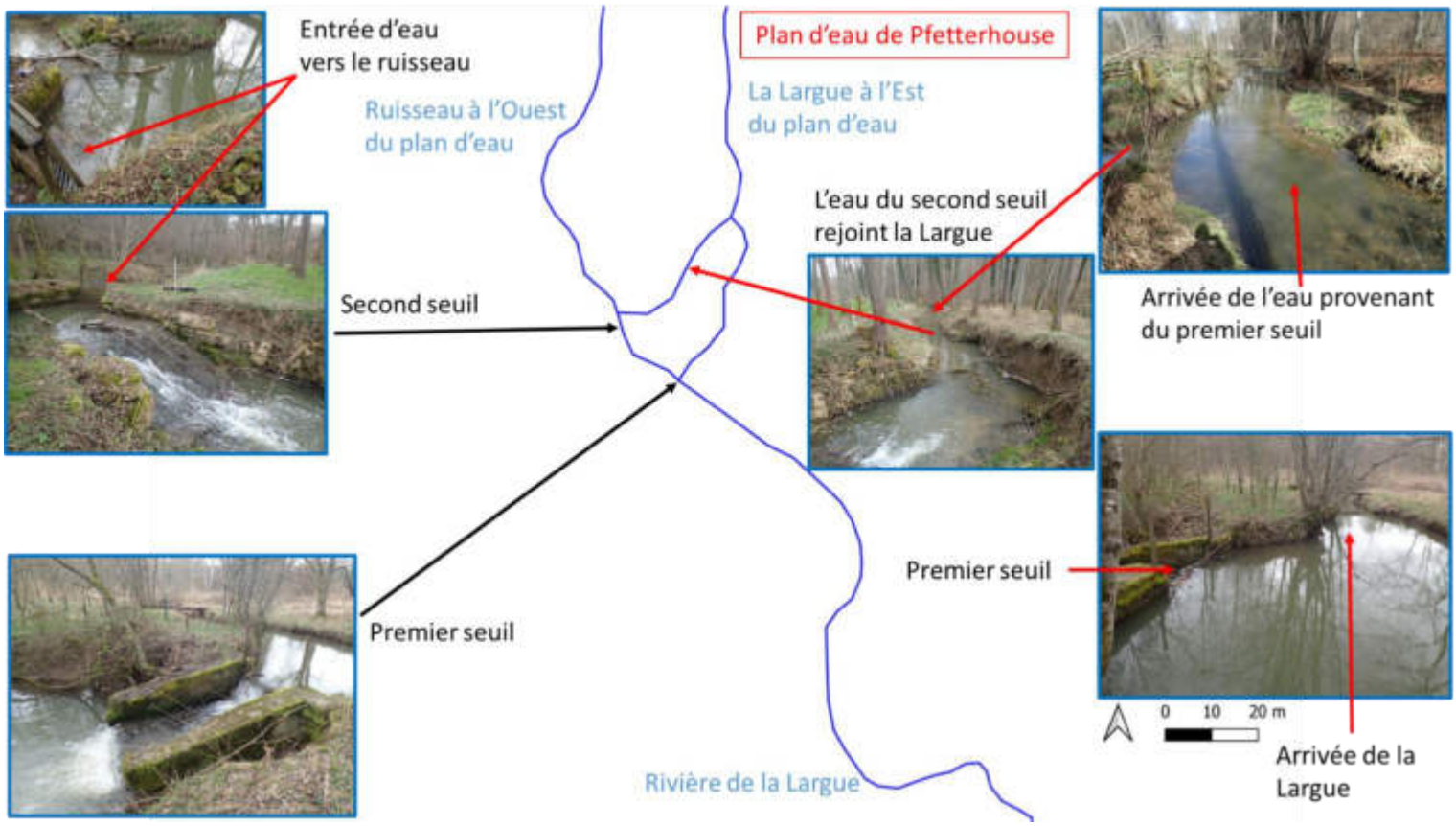


Figure 39 : Détail de l'hydrologie du site et de la prise d'eau sur la Largue en amont.

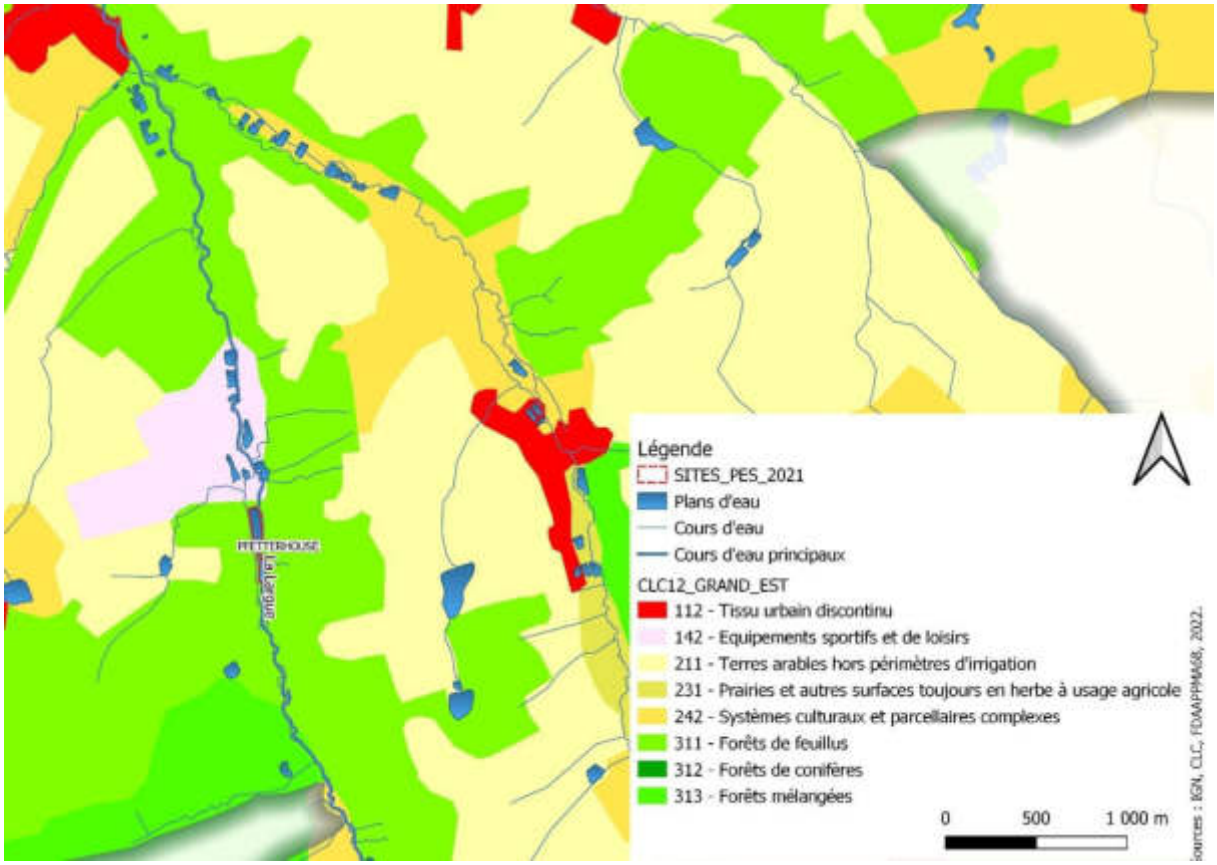


Figure 40 : Occupation des sols sur le bassin de la Largue et du site de Pfetterhouse.

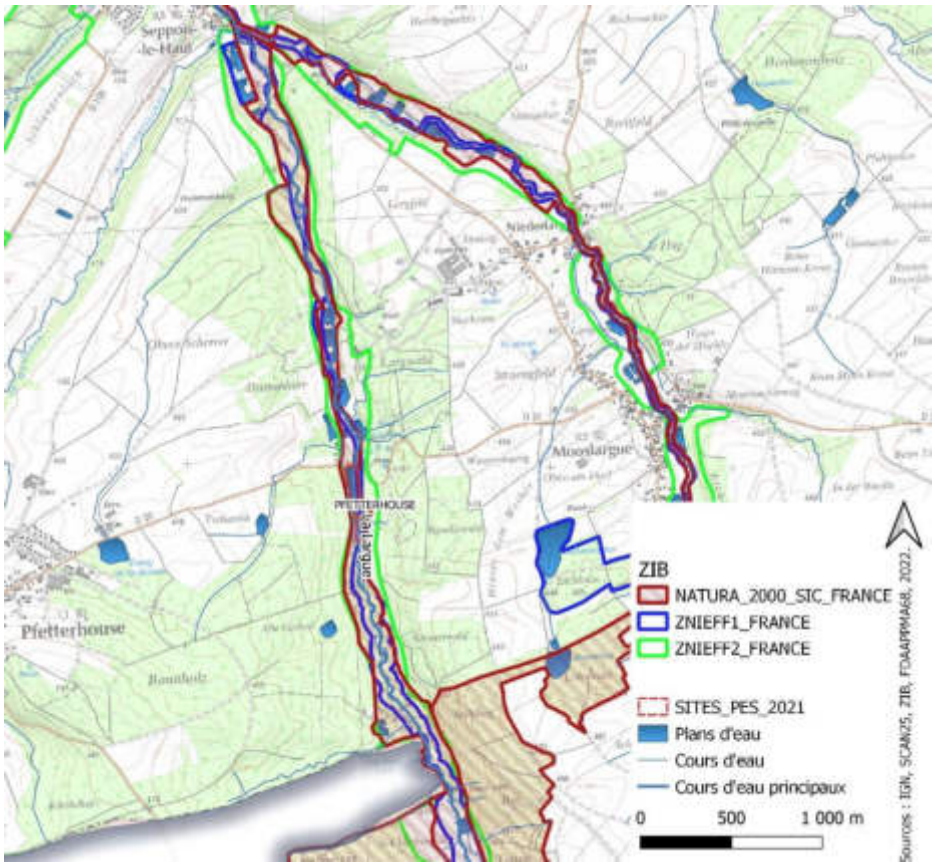


Figure 41 : Zones naturelles d'intérêt écologique et Natura 2000 sur le site de Pfetterhouse.

❖ Historiques et enjeux

Le plan d'eau, utilisé à l'origine à des fins de productions piscicoles, n'a que peu évolué entre 2000 et 2019 (figure 42). Le Site a fait l'objet d'une acquisition récente par un propriétaire privé. Le plan d'eau a ensuite totalement été réaménagé début 2021. Les travaux, financés intégralement par le propriétaire ont consistés à la réalisation de nombreux aménagements du site : travaux de vidange complète, curage du plan d'eau, terrassement lourd, curage du ruisseau, aménagements du site, rénovation des organes de gestion, installation d'un réseau d'aérateurs et installation d'un moine (figure 43).

Figure 42 : Comparatif actuel (en haut à gauche), de 1950-65 (en haut à droite), de 2006-2010 (en bas à gauche) et de 2000-2005 (en bas à droite). Source : IGN remonter le temps, 2022.

Situé en zone Natura 2000, les travaux ont fait l'objet de recommandations de la part des services instructeurs mais aussi de l'EPAGE. Malgré tout certains écarts ont pu être constatés (vidange hors période autorisée, curage du ruisseau, individus issus de pisciculture retrouvés dans la Largue, etc.). Le propriétaire semble néanmoins sensibilisé sur certaines thématiques comme les enjeux de franchissabilités liés aux ouvrages de prises d'eau amont.

Les enjeux du site sont donc nombreux, étant donné la nature et la localisation du site (sur le cours de la Largue en première catégorie piscicole) avec :

- La présence d'un complexe d'ouvrage infranchissable très structurant sur le cours principal de la Largue (important effet bief) dans une zone à enjeux ;
- L'importance de bonnes pratiques de gestion notamment au niveau des prélèvements d'eau en période critique (étiage sévère sur la Largue en période estivale) ;
- La conciliation entre les enjeux de biodiversité et les usages du site ;
- Réduction des impacts physico-chimiques et thermiques sur la Largue ;

Figure 43 : Illustration des travaux de vidange du plan d'eau (prise de vue lors du 17/02/21).

❖ Gestion et usages

Le site est privé et a fait l'objet de nombreux aménagement à but récréatif. Le plan d'eau fait office de carpodrome privé : c'est un étang principalement dédié à la pêche de la carpe en surdensité. Étant donné la nature de la gestion en surdensitaire et la jeunesse des travaux, le plan d'eau n'a qu'une production primaire autochtone très réduite. Une quantité importante de nourriture est ainsi introduite de manière quasi-journalière. Des aérateurs ont également été installés. La gestion actuelle (après remplissage) privilégie des entrées d'eau et des sorties d'eau, réduites au strict minimum vis-à-vis des préférendums thermiques de la Carpe.

❖ Problématiques

Au regard des enjeux listés, les problématiques sont multiples :

- Eutrophisation forte du plan d'eau lié à la gestion mais volonté du propriétaire de réduire les flux entrant/sortant au strict minimum (vis-à-vis des préférendums thermiques de la Carpe) ;
- Complexes d'ouvrages bloquants structurant sur la Largue (non classé liste 1 ou liste 2) ;
- Droit fondé en titre du propriétaire ;
- Classement actuelle au titre de la loi sur l'eau du ruisseau du moulin à l'Ouest ;
- Sensibilisation du propriétaire mais questionnements autours des leviers règlementaires pour l'émergence d'action (*cf*. points précédents) ;
- Conciliation entre les enjeux de biodiversité et les usages récréatif du site.

g) Le site de Levoncourt

❖ Caractéristiques générales

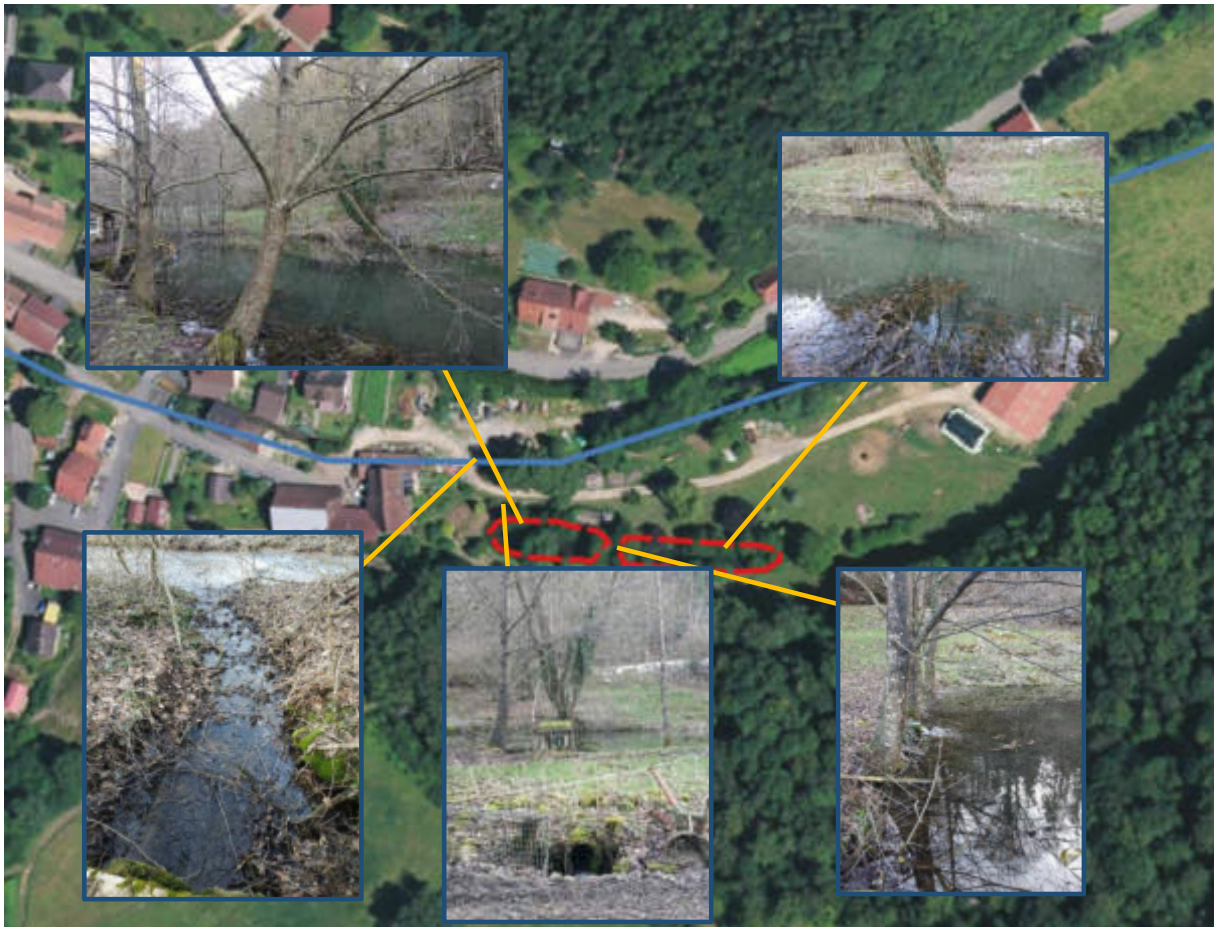


Figure 44 : Plan descriptif du site de Levoncourt.

Le site de Levoncourt diverge fortement des autre sites pilotes de par la typologie des pièces d'eau (et leurs tailles). Le site est caractérisé un complexe de 3 mares drainant une ancienne zone himide en tête de bassin de la Largue (figure 44). Les 3 pièces d'eau sont en série et le trop plein d'eau issu de la mare aval se rejette dans la Largue via une buse (à l'Ouest). Le site est situé sur une parcelle privé à vocation agricole (des vaches paturent sur la zone).

La surface en eau des mares représentent 376m² pour une longueur maximal de 35m et une largeure de 12m. La zone est situé sur la commune de Levoncourt à 4km des sources de la Largue.

L'environnement du site est à dominance de fôret de feuillus au Sud et à l'Est et de tissu urbain au Nord-Ouest (figure 45). Le site est en zone Natura2000 (« Jura Alsacien ») et en ZNIEFF de type 1 et 2 (figure 46).

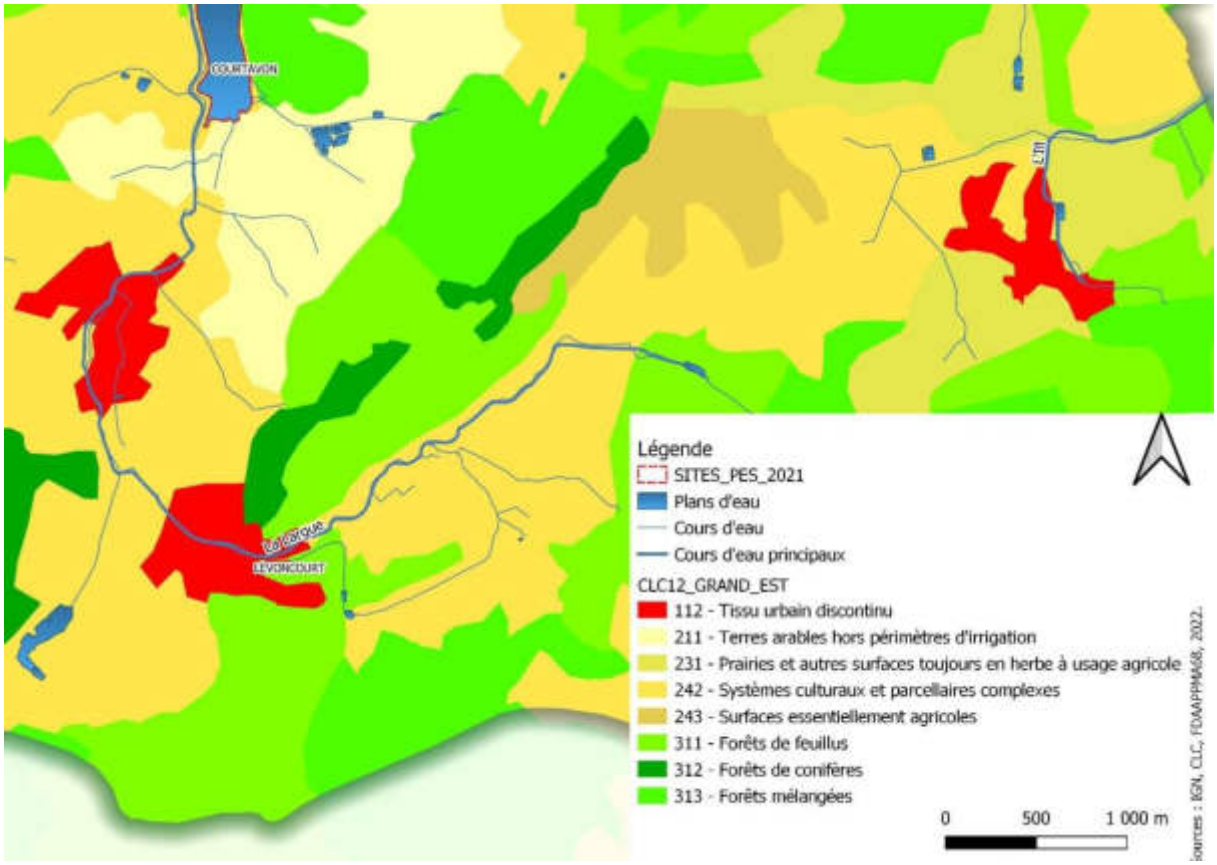


Figure 45 : Occupation des sols sur le bassin de la Largue amont et du site de Levoncourt.

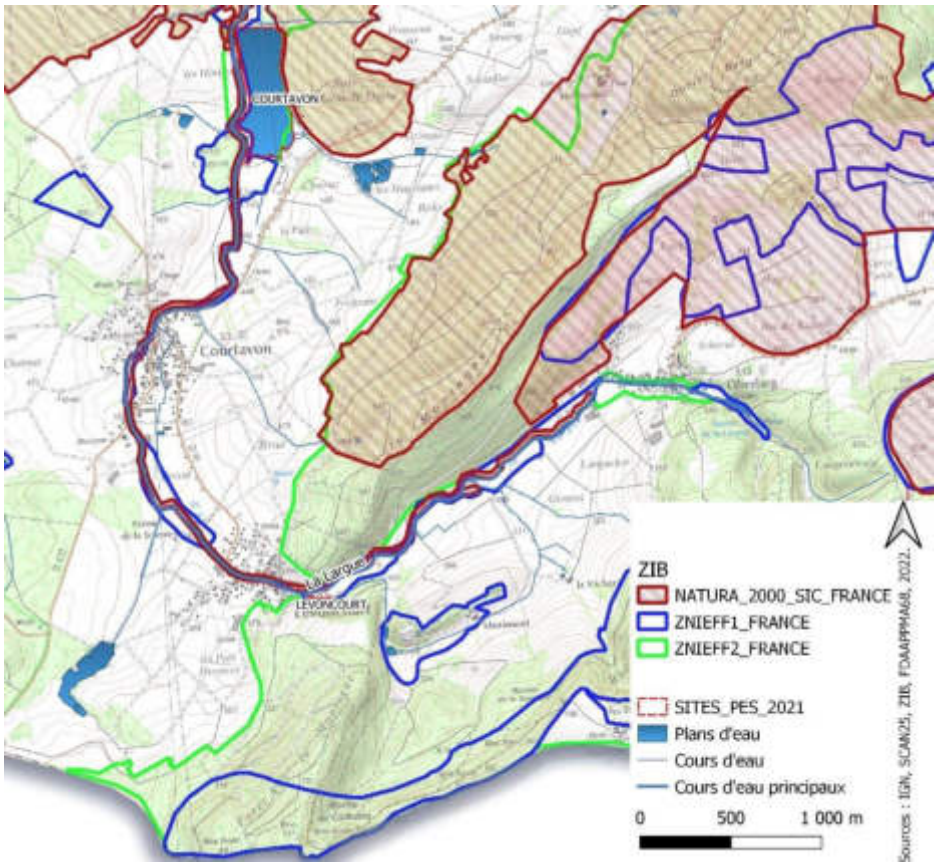


Figure 46 : Zones naturelles d'intérêt écologique et Natura 2000 sur le site de Levoncourt.

❖ Historiques et enjeux

Figure 47 : Comparatif actuel (en haut à gauche), de 1950-65 (en haut à droite), de 2006-2010 (en bas à gauche) et de 2000-2005 (en bas à droite). Source : IGN remonter le temps, 2022.

Le complexe de mares n'est pas ancien (figure 47). Originellement à but récréatif, ce complexe de mares familiale a évolué entre en 2000 et 2019. En effet, le site s'est fortement végétalisé (aucune végétation arbustive n'est visible en 2000-2005).

Le site étant situé en tête de bassin versant de la Largue, les enjeux listés sont directement liés à cette nature (zone à fort enjeux, déterminante de la qualité des hydrosème situé à l'aval) avec :

- La présence d'une espèce emblématique des têtes de bassin : l'écrevisse à pattes blanches (*Austropotamobius pallipes*) au statut CR (classé en danger critique d'extinction) sur la liste rouge alsacienne, en annexe III de la convention de Berne et en annexe II de la DHFF (Directive Habitat Faune Flore) ;
- La préservation de la qualité physico-chimique et thermique de la Largue, particulièrement sensible en tête de bassin ;
- Un tronçon de cours d'eau particulièrement biogène. La Largue entre les sources et la commune de Courtavon est définie comme la zone la plus propice au développement

de la Truite fario du territoire du SAGE à la suite des derniers inventaires piscicoles (densité de juvéniles, habitats favorables, qualité d'eau) ;
- Biodiversité remarquable (avifaune, amphibien, astacicole et chiroptérologique).

❖ Gestion et usages

La zone n'est pas soumise à une gestion particulière mis à part un entretien paysagé des propriétaires. Les usages principaux recensés sont :

- Le pâturage et l'abreuvement bovin ;
- L'usage récréatif et paysagé ;
- Le stockage de bois, de ressources et de matériel agricole.

❖ Problématiques

Les problématiques recoupent les usages et les enjeux avec la nécessité de pouvoir concilier les deux. En effet, un piétinement bovin important et des dépôts de matières organiques caractérise aussi la zone. Les problématiques principales sont donc :

- Les pressions recensées : piétinement bovin, MES, thermie, qualité physico-chimique des eaux rejetées dans la Largue ;
- Les espèces d'intérêts patrimoniales à sauvegarder ;
- La sensibilisation des usagers et propriétaires ;
- La nécessité de concilier les usages avec les enjeux de biodiversité et la protection de la qualité de la Largue, particulièrement fragile et remarquable sur l'amont du bassin versant.

4. Méthodologie

1. Généralités

Ce projet présente une volonté de démarcation via l'utilisation de techniques d'analyses ambitieuses et novatrices. Ce choix découle de la volonté de pouvoir capitaliser sur des retours d'expériences de nouvelles méthodologies encore peu usitées actuellement. L'objectif est de pouvoir acquérir aussi bien des connaissances opérationnelles sur le terrain qu'une plus-value en termes de compétences techniques forte. Ainsi il sera possible de permettre le déploiement local de ce type de méthode d'analyse, mais aussi, de pouvoir apporter un soutien technique renforcé auprès des acteurs ou du tissu interdépartemental de l'UBRM.

D'un point de vue strictement opérationnel, une partie des expertises présentées ci-dessous sont réalisables facilement par sous-traitance. Mais la FDAAPPMA68 a porté son choix vers l'option régie pour la réalisation des études. Cette orientation est privilégiée pour les raisons suivantes :

- Opportunité et volonté de pouvoir capitaliser sur les retours d'expériences entrepris (connaissance, matériel et opérationnel) ;
- Plus grande plasticité lors des phases opérationnelles en régie ;
- Investissements en termes de moyens humain et matériels réutilisables et valorisables dans d'autres études futures ;
- Option réduisant fortement les couts associés dès la première année mais d'autant plus dans le cadre de suivis futurs (investissement humain et matériel déjà réalisé la première année à l'inverse d'une option de sous-traitance reconductible).

La métrologie proposée sur chaque site pilote dois répondre aux problématiques principales communes qui sont de :

- Définir la fonctionnalité des plans d'eau ;
- Définir et quantifier les impacts des plans d'eau.

Pour répondre au mieux aux objectifs, le projet se découpe en deux approches principales, elles-mêmes découpées en 10 volets (figure 48 et 49). Le chapitre traitant de la méthodologie employée présente les volets l'un après l'autre et par approche tandis que le chapitre traitant des résultats présente une articulation autour des sites. La métrologie plus précisément appliquée à un site sera rappelée au début de la présentation des résultats par site (plan d'échantillonnage, placements des sondes, méthode appliquées ou non appliquées, etc.).

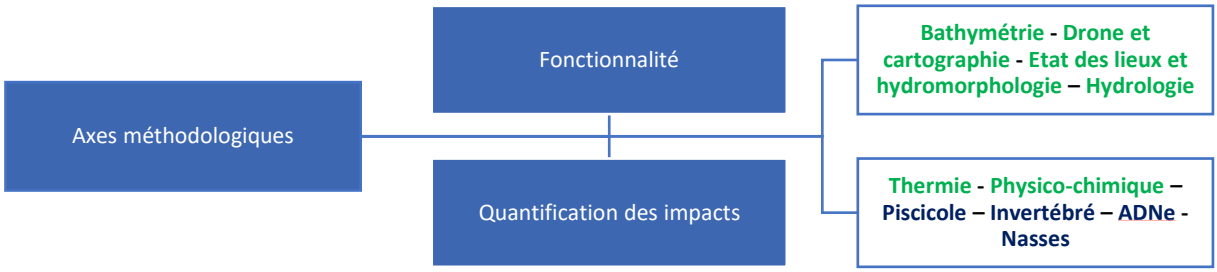


Figure 48 : Schéma des liaisons entres chaque volet et les deux problématiques principales (en vert pour l'approche physique et en bleue pour l'approche biologique).

Approche physique

Volet bathymétrie :
-Profil bathymétrique
-Nature des fonds
-Volume de sédiments

Volet drone :
-Orthophotogrammétrie de précision
-MNT & MNS
-Cartographie précise (habitats, altérations, hydromorphologie, Charli-Albert)

Volet flux :
-Suivi des hauteur d'eau et estimation des débits saisonniers
-Bilan hydrologique

Volet thermie :
Analyse thermique

Volet physico-chimique :
-Analyse nutriment
-Analyse multiparamétrique
-Qualité physico-chimique

Volet hydromorphologie

Approche biologique

Volet ADNe :
-Poissons
-Amphibiens
-Ecrevisses (patte blanche)

Volet piscicole:
-Analyse des communautés piscicoles
-Qualité biologique (IPR, IPR+)

Volet invertébré :
-Analyse des communautés d'invertébrés benthiques
-Qualité biologique (I2M2)

Volet astacicole :
-Nasses à écrevisses et CPUE

Figure 49 : Schéma général de l'articulation des 10 volets analytiques et des deux approches employées lors de l'étude des plans d'eau du Sundgau.

2. Approche physique

a) Volet bathymétrie

❖ Matériel

Les relevés bathymétriques sont réalisés avec l'échosondeur GPS Lowrance Elite 9 FS® (figure 50a). 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.

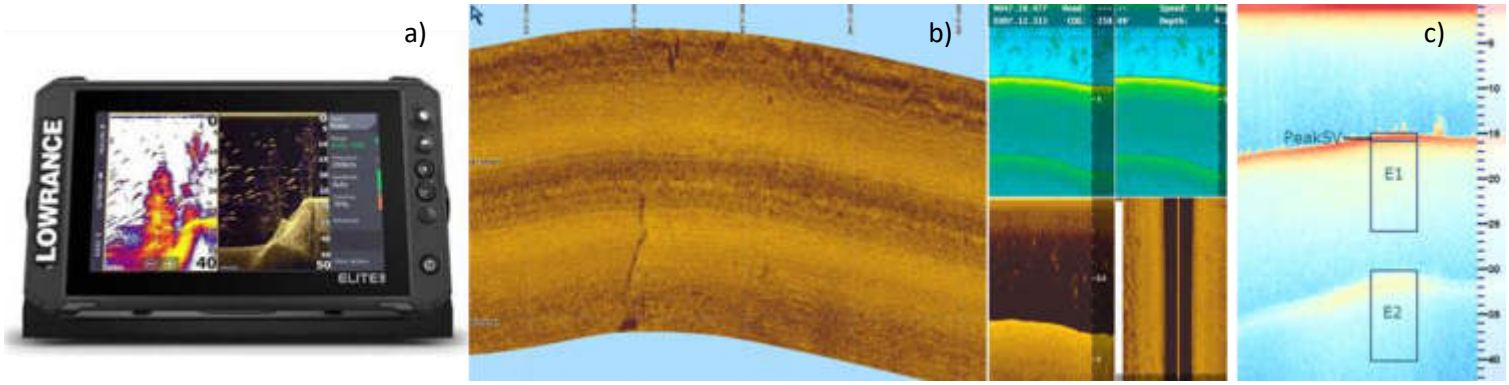


Figure 50 : Illustrations de l'échosondeur (a) et du traitement des données produites avec les vues sonar, sidescan et downscan (b) ainsi que l'appréciation de la profondeur des sédiments (c).

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 50b). 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 51).

Le temps de séjour de l'eau peut être obtenu par la division du volume du plan d'eau (m³) par la quantité de flux sortante (m³/an).

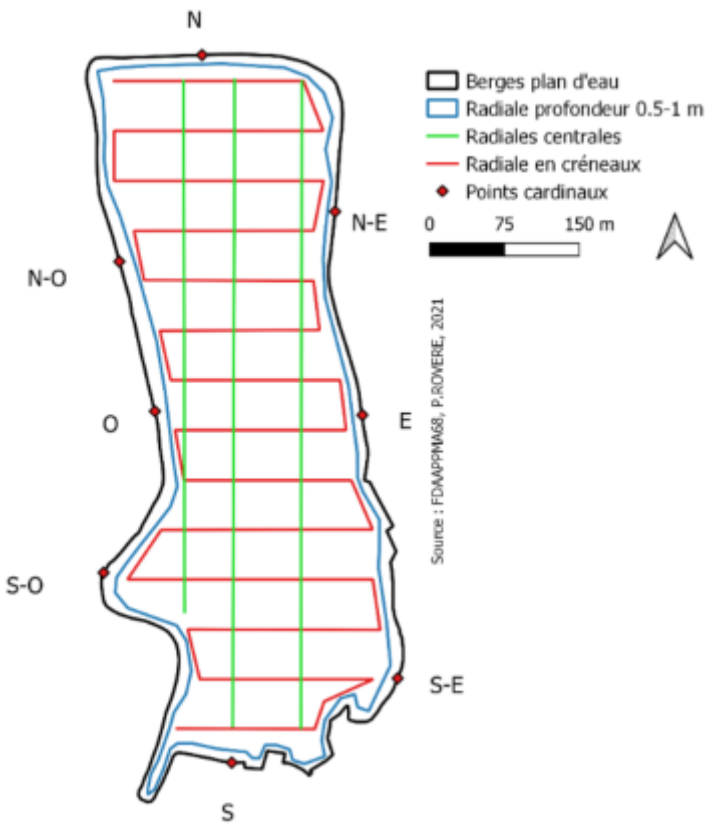


Figure 51 : Plan d'échantillonnage (bathymétrie) du plan d'eau de Courtavon.

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 50b) et ainsi produire une cartographie de la nature des fonds.

b) 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 52) 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 53). 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 52) qui est piloté par un opérateur équipé d'un dispositif de contrôle et de prise de vue manuel et automatisé.

Figure 52 : 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 Plan d'Eau Sundgauviens. 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.

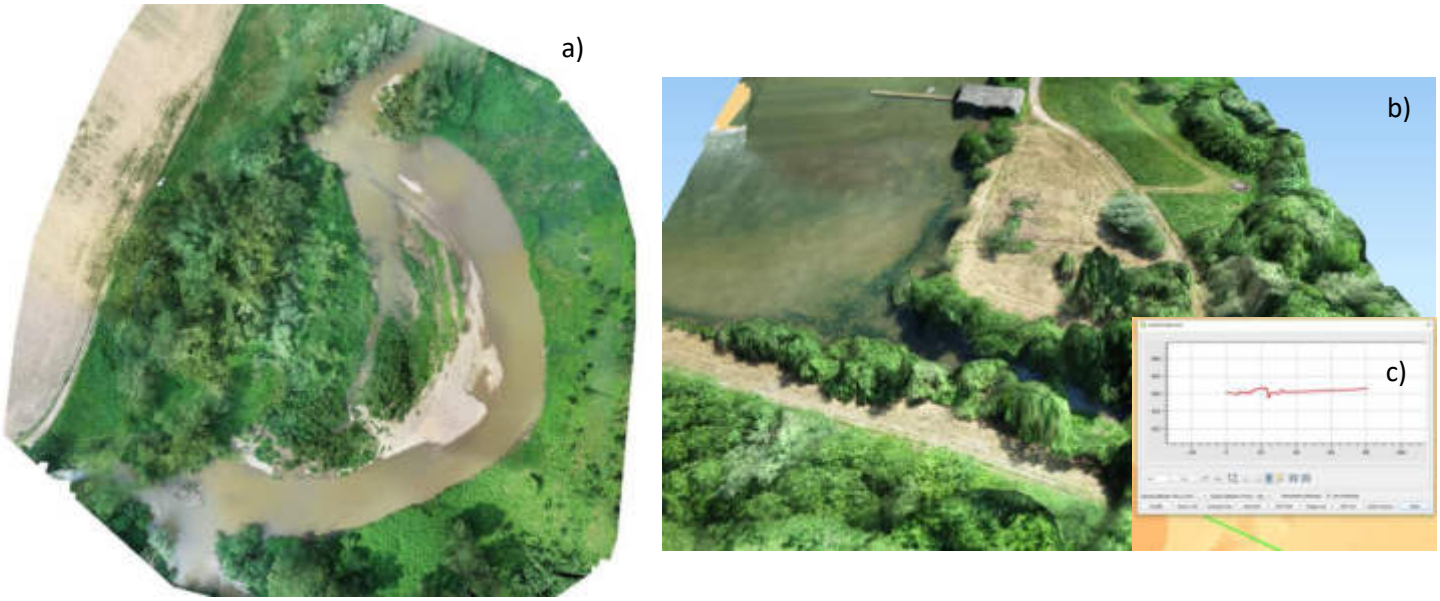


Figure 53 : Illustrations de résultats de travaux sur une annexe hydrauliques pour des calculs d'érosion et de cubature (a), profil en 3D d'une zone rivulaire du site de Courtavon (b) et profil topographique (c) pouvant être analysés (par le module ProfilTool de QGIS)

c) Volet flux

L'estimation des flux entrant et sortant des plans d'eau a été réalisé à travers plusieurs approches dont :

- Mesures ponctuelles : station de jaugeage et courbe de tarage
- Modélisation par le calcul à partir des hauteurs d'eau en continu :
  - Relation hauteur/débit avec la formule de Manning-Strickler ;
  - Relation hauteur/débit avec la loi seuil et la loi buse ;
  - Relation hauteur/débit avec les courbes de tarages ;
- Estimation à partir de hauteur d'eau ponctuelles ou par capacité

❖ Jaugeage au courantomètre électromagnétique

Cette méthode de mesure de vélocité des fluides est conventionnée par la norme ISO 748 : 2007 (AFNOR, 2007). Non empirique, elle repose sur deux types de données : la vitesse moyenne d'écoulement (m/s) et la section mouillée (m²). Leur produit permet d'obtenir un débit (m³/s). Dans notre cas pour déterminer la vitesse, on utilise un courantomètre électromagnétique FLO MATE 2000® (fabriqué par MARSH MCBIRNEY®) qui mesure une vitesse en m/s. Son fonctionnement se base sur la loi de Faraday : la tension induite à travers tout élément conducteur lors d'un passage à angle droit dans un champ électromagnétique est proportionnelle au passage de ce conducteur.

Figure 54 : Courantomètre électromagnétique.

Méthode

La norme courantomètre préconise d'effectuer les mesures sur un site typique, représentatif du cours d'eau. Il est, de plus, nécessaire de choisir un tronçon en ligne droite, le plus long possible. La zone de mesure doit également être la plus homogène possible, éviter les écoulements divergents et convergents ainsi que les obstacles à l'écoulement, les zones mortes et les zones en aval d'un ouvrage. Quant à l'opérateur, il se positionne en aval du courantomètre, jambes écartées pour influencer au minimum l'écoulement sur l'appareil. Au début et à la fin des mesures, le niveau d'eau doit être relevé afin de prendre en compte d'éventuelles variations de hauteur d'eau lors des calculs.

Les mesures sont effectuées sur une section perpendiculaire à l'écoulement le long d'un décamètre tendu entre les deux berges. Chaque mesure correspond à une distance par rapport à la berge, liée à une profondeur et 3 ou 1 mesure(s) de vitesse. Les mesures s'effectuent à 20, 40 et 80 % de la profondeur et uniquement 40 % au niveau des berges ou lorsque la profondeur est inférieure à 25 cm. L'opérateur s'attend à trouver des vitesses plus élevées au niveau du centre et proche de la surface, là où l'écoulement n'est pas influencé par les frottements.

La vitesse moyenne pour chacun des points est déterminée à l'aide de la formule :

¼ x (V0,2 + 2 x V0,4 + V0,8) avec :

- V0,2 : la vitesse à 20% de la profondeur ;
- V0,4 : la vitesse à 40% de la profondeur ;
- V0,8 : la vitesse à 80% de la profondeur ;

La section à laquelle s'applique cette vitesse correspond à la moitié de chaque section adjacente au point de mesure. L'aire entre les points est calculée avec la formule suivante :

[(A + B)/ 2] x D, soit la surface d'un trapèze avec :

- D : la distance verticale entre les deux points de mesure
- A : la grande base
- B : la petite base

La vitesse moyenne est appliquée de part et d'autre du point de mesure ce qui permet d'obtenir le débit moyen sur chacune des sections. Le débit total est calculé par la somme des débits moyens. Plus le nombre de point de mesure est élevé, plus le débit final sera précis.

Les mesures ponctuelles au courantomètre et la hauteur d'eau des sections mouillées permettent de tracer une courbe de tarage avec en abscisses la hauteur d'eau (cm) et le débit (m^3/s) en ordonnées (Lipeme-Kouiyi, 2018). Par la suite, il est possible d'estimer les débits sur la période d'étude grâce aux données de hauteur d'eau fournies par les sondes bathymétriques.

Incertitudes

Les mesures de vélocité des fluides présentent cependant un pourcentage d'incertitude. L'opérateur doit être vigilant à son positionnement (écart des jambes derrières le courantomètre) et rigoureux dans ses mesures. D'après la littérature, le coefficient de vélocité (ratio entre la vitesse réelle et théorique) aurait une incertitude comprise entre 5 et 10% (Le Coz et al., 2010) et est estimée à 7.5% d'après la norme ISO 748 (AFNOR, 2007). L'estimation des sous-sections mouillées n'est jamais exacte : la mesure donne une profondeur moyenne à laquelle est appliquée une vitesse, néanmoins ces sections varient avec le relief du fond. Les mesures sont donc par définition des extrapolations, auxquelles il est possible d'améliorer la précision en ajoutant des verticales intermédiaires entre chaque point de mesure (Cohn et al., 2013).

❖ Estimation du débit avec la formule de Manning-Strickler

Estimer une vitesse d'écoulement avec la formule de Manning-Strickler nécessite trois éléments : la pente, les paramètres de la section et le coefficient de rugosité (K). La lunette topographique et la mire permettent de mesurer des points ainsi que leurs altitudes le long de la section d'étude, par le calcul on peut déterminer la distance entre les points. Le produit de la vitesse et de la section fournit un débit.

Matériel

Les levées topographiques se font avec un niveau optique et une mire graduée (figure 55). Le niveau permet la lecture de trois valeurs : une valeur centrale (fil niveleur : FN), une haute (fil stadimétrique haut : FSH) et une basse (fil stadimétrique bas : FSB), lorsque les points ne sont pas alignés avec la lunette, l'opérateur note l'angle entre le premier point et chaque point de mesure. Ces informations sont lisibles sur la mire, graduée de 0 à 4 mètres, avec une précision de l'ordre du millimètre. Celle-ci est maintenue droite par l'opérateur avec un système à bulle.

Figure 55 : Matériel de topographie, niveau de chantier (a), mire (b) et point dur de référence (c).

L'opérateur place le niveau optique sur une zone haute par rapport aux points de mesures et de manière à éviter la présence d'obstacles entre la mire et la lunette. Le niveau est fixé dans le sol à l'aide du trépied et il est mis à l'horizontal avec le niveau à bulle et l'angle est réglé à 0° à partir de la première mesure. Au début et à la fin des mesures, un point dur sert de référence, pour coter les valeurs en mètre NGF (Nivèlement Général de la France) et également vérifier que les valeurs obtenues en début et fin d'opération sur le même point sont identique et donc vérifier la légitimité des valeurs. La levée topographique nécessite deux opérateurs : l'un lit les valeurs pendant que l'autre déplace la mire sur chaque point.

Traitement des données

La distance entre la lunette et la mire est obtenue grâce aux valeurs haute et basse des fils stadimétriques et la formule suivante (FSH + FSB / 2) = distance mire-lunette. Pour connaitre la distance entre deux points – l'angle et la distance point-lunette étant connue – on admet être dans un triangle quelconque dont sont connues la taille de deux côtés (A et B) et l'angle (α) en radian formé par ces côtés. Ainsi, la distance entre les deux points et égale à :

$$A^2 + B^2 - 2\ AB \times \cos(\alpha \times (\pi / 1\ 80).$$

La section totale est le résultat de la somme des sous-sections représentées par des trapèzes et triangles (sur les berges) correspondant aux sections d'écoulement entre les points de mesures. Les profondeurs sont connues (elles équivalent à la petite et la grande base des formes géométriques) quant à la distance inter-point, elle correspond à la hauteur du trapèze. L'aire d'un trapèze se calcule de la façon suivante :

[(petite base + grande base) x hauteur] / 2 et l'aire d'un triangle : (base x hauteur) / 2.

Le périmètre mouillé correspond à la somme des hypoténuses au fond du lit en eau. La hauteur des sous-sections en forme de trapèze est obtenue en soustrayant les profondeurs et cela permet d'avoir uniquement des triangles rectangles et de calculer leur hypoténuse avec le théorème de Pythagore.

La pente (m/m) est mesurée en établissant un profil en long du cours d'eau, elle est exprimée en altitude perdue (m) par mètre (m). En utilisant les formules ci-dessus, l'opérateur mesure 3 à 5 points dans la rivière de l'amont vers l'aval tout en mesurant la hauteur d'eau avec la pige. Il divise ensuite la différence d'altitude (au niveau de la surface de l'eau) par la distance entre les points les plus éloignés pour obtenir la pente.

La formule de Formule de Manning-Strickler permet d'estimer :

- une vitesse (m/s) avec le rayon hydraulique (m) : section mouillée (m²) / périmètre mouillé (m) ;
- le coefficient de rugosité K (sans unité)
- la pente (m/m).

Soit :

K x rayon hydraulique ^(2/3) x pente ^(1/2).

Le débit (m³/s) est issu du produit de la section (m²) et de la vitesse (m/s).

Le coefficient de rugosité peut être choisit visuellement sur le site d'étude ou calculé avec le tableau de CHOW (Chow, 1959).

Le site internet BedloadWeb résulte d'une collaboration entre l'INRAe et l'OFB. Il offre la possibilité de réaliser des simulations avec la formule de Manning-Strickler et nécessite un coefficient de rugosité, les coordonnées x et z de la section, la pente et une hauteur d'eau variable selon les besoins. Ces simulations permettent d'extrapoler les débits en fonction de la hauteur d'eau avec la possibilité de choisir des coefficients de rugosité variables pour les berges notamment.

❖ <u>Loi seuil</u>

Les déversoirs sont définis par plusieurs caractéristiques, ces derniers permettent d'estimer un débit en fonction de la lame d'eau sur l'ouvrage. L'estimation se fait avec une formule générale, à adapter selon les particularités du déversoir, quand celui-ci n'est pas rectangulaire.

Méthode

La mesure de hauteur d'eau dans la buse se fait à l'aide d'un mètre rigide fin pour une mesure précise et un influencer au minimum la hauteur d'eau.

La formule est la suivante :

$$Q = \mu * L * h * \sqrt{(2 g h)}$$ (SUEZ, nd) avec :

- le débit Q (m³/s)
- le coefficient de débit du déversoir μ
- la largeur du seuil L (m)
- la hauteur de la lame d'eau (m)
- l'accélération de la pesanteur (9.81 m/s²)

Le coefficient μ est d'environ 0.40 pour un déversoir rectangulaire en mince paroi avec une vitesse d'approche faible, ce qui est en adéquation avec les déversoirs étudiés. Ce coefficient peut être calculé avec la formule suivante (Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, ND) ainsi que la hauteur d'eau au seuil avant la perte de charge (H0 en m) et la profondeur à l'amont du seuil (w en m) :

$$\mu = 0{,}4023 * (1 + ((0{,}135 * H0) / w)) * (1 + (0{,}0011 / H0) ^(3 / 2)$$

L'exemple ci-dessous (tableau 3) montre les variations de μ en fonction de w et H0. À noter que les déversoirs étudiés ont des w compris entre 10 cm et 1 m et des H0 de l'ordre du cm.

Tableau 3 : Variation de μ selon w et H0.

w (m)	H0 (m)	μ
5	0,01	0,417090
3	0,05	0,404521
1	0,08	0,407300
0,5	0,1	0,413639
0,25	0,25	0,456744
5	1	0,413177
0,1	0,01	0,422606

❖ Estimation du débit dans des buses

L'estimation d'un débit dans une buse cylindrique et rectiligne se fait en déterminant une vitesse (formule de Manning-Strickler) multipliée à une section mouillée (calculée en géométrie dépendant de la hauteur d'eau (h)). Afin de calculer la vitesse, un coefficient de rugosité (K) est choisi en fonction des matériaux constituant la buse (tableau 4). La pente (i) entre les extrémités de la buse est mesurée avec un niveau de chantier.

Tableau 4 : Coefficient de rugosité selon les matériaux, source : CEREMA (Bernard Chocat), 2020

Nature des parois	Coefficient K ($m^{1/3}.s^{-1}$)
PVC, PRV	85 à 90
Grès	80 à 85
Béton lisse	70 à 75
Maçonnerie	65 à 70
Noue enherbée	50 à 60
Béton dégradé - maçonnerie ancienne - terre battue	55 à 60
Rivière régulière en lit rocheux ou berges en terre enherbées	40 à 50
Rivière en lit de cailloux - berges en terre dégradées	30 à 40
Berges totalement dégradées - torrent transportant de gros blocs	15 à 30

Méthode

La variation de la hauteur d'eau (h) et donc l'angle mouillé (θ) influence la proportion en eau de la section (figure 56). Le calcul du débit nécessite de déterminer une vitesse d'écoulement

(V) à travers une section mouillée (Sm), ces deux paramètres sont obtenus de la manière suivante :

- angle mouillé : θ (radian) = 2 Arccos (1 -(2 * h) / D)
- section mouillée : Sm (m²) = ((D) / 8) * (θ – Sin (θ))
- périmètre mouillé : Pm (m) = (1 / 2) * θ * D
- rayon hydraulique : Rh (m) = Sm / Pm ou aussi = (D / 4) * (1 – (Sin (θ) / θ)
- vitesse : V (m/s) = K * i ^(1 / 2) * Rh ^(2 / 3)
- débit : Q (m³/s) = V * Sm

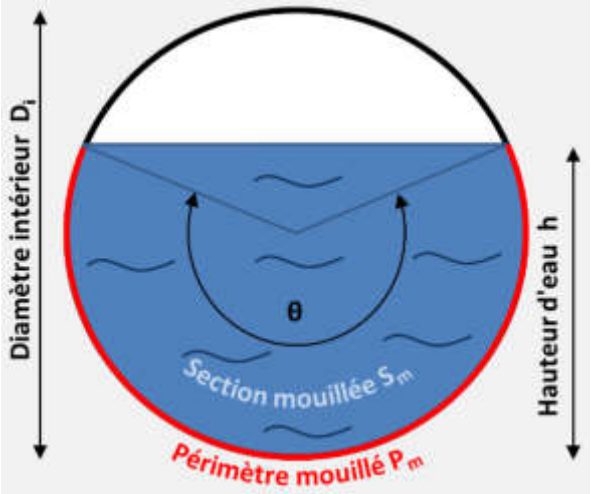


Figure 56 : Schéma buse, source Cap-Récifal (Denis Tournassat), nd

❖ Sonde bathymétrique et hauteur d'eau

Les sondes bathymétriques (Rugged TROLL 100 Data Logger 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'un seuil 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 les autres méthodes de calculs précédemment citées) et le marnage des sites.

Matériel

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 57).

Figure 57 : Socles et sonde bathymétrique.

Méthode

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

- Estimation du débit par capacité

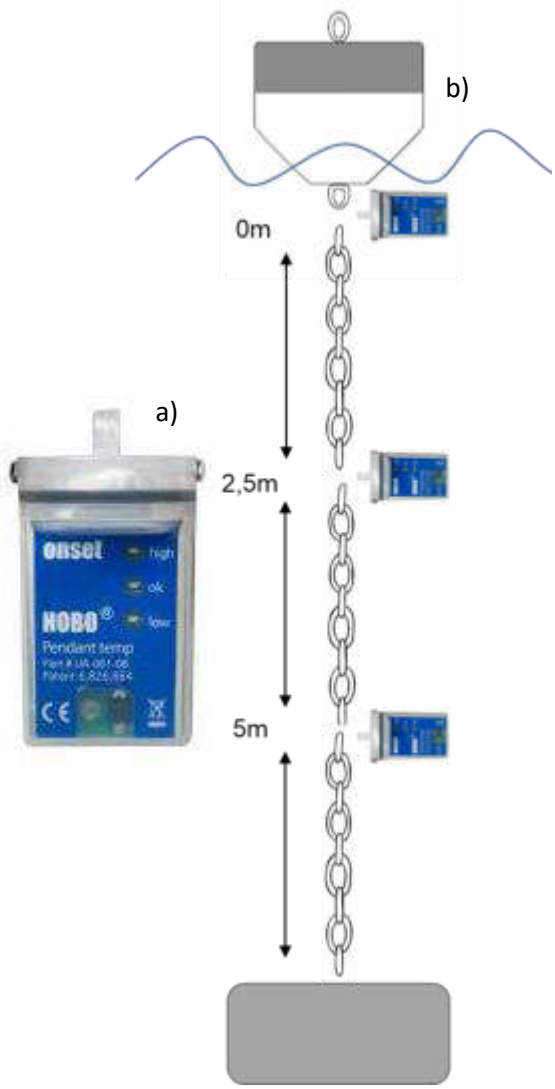
Cette méthode consiste à mesurer directement un temps de remplissage d'un récipient de volume connu. Afin d'éviter d'influencer l'écoulement des flux, la méthode par capacité est applicable au niveau d'une chute, sous un déversoir ou une buse par exemple.

Méthode

Avec un volume du récipient connu, le temps de plusieurs remplissages du volume donné est noté et le débit est calculé à la suite de la moyenne des 5 mesures. Le volume (L) est divisé par le temps (s), cela permet d'obtenir un débit en L/s.

d) Volet thermie

❖ Matériel et méthode



Le suivi thermique des cours d'eau et des plans d'eau a été réalisé à l'aide de sondes thermiques ou thermographes enregistreurs. Les sondes thermiques utilisées sont des enregistreurs de température avec un interface USB optique « HOBO » (figure 58a). Le modèle utilisé est l'enregistreur « Onset Hobo Pendant 64K ». Ils fonctionnent grâce à des piles dont la durée de vie est comprise entre 1 et 2 ans. En cas de déchargement complet de la pile, un système de mémoire non volatile conserve tout de même les données. Celles-ci sont faciles à lire et à exporter grâce à l'utilisation du logiciel associé « HOBOware » qui en quelques minutes permet de récupérer les données accumulées pendant 1 an. D'une masse de 18g, la fixation de ces sondes est facilitée grâce à un œillet déjà percé. Les sondes sont étanches jusqu'à 30 mètres de profondeur. La date et l'heure du lancement de l'enregistrement est programmable à l'avance et les sondes fonctionnent dans un intervalle de température compris entre – 20°C et + 70°C.

Chaque sonde a été positionnée afin d'avoir une fixation robuste pour limiter les pertes ou les dommages tout en étant discrète pour éviter le vandalisme. Les sondes sont disposées en cours d'eau dans les racines où sur des socles sur des secteurs représentatifs (amont/aval, à mi-hauteur d'eau et à l'ombre). Les sondes sont également placées au sein des plans d'eau pour permettre de suivre les variations thermiques en fonction de la hauteur de l'eau, mettre en évidence ou non une stratification thermique ou encore un effet de l'ensoleillement.

Figure 58 : Sonde thermique Hobo Pendant (a) et exemple du système de fixation installé au point le plus profond du site de Courtavon pour suivre l'évolution thermique du plan d'eau (b).

Dans le cas du site de Courtavon un complexe de 3 sondes placées à des intervalles de profondeurs réguliers a été ancré au point le plus profond du lac sur un système de fixation (figure 58b).

❖ Analyse de données

Une fois les sondes relevées, les données thermiques sont déchargées et traitées par le logiciel de la marque associé (Hoboware Pro). Les données sont ensuite bancarisées et traitées à l'aide de plusieurs fichiers de macro Excel réalisés en interne. Ainsi les données brutes sont prétraitées afin de supprimer les éventuels artéfacts de lecture (pics journaliers issu du jour de relève, sonde hors d'eau, panne, etc.). Les données sont ensuite analysées bassin par bassin à l'aide de diverses approches :

- L'étude des températures moyennes journalières ;
- L'étude du régime thermique via l'évolution des températures moyennes mensuelles et des 30 jours les plus chauds ;
- L'étude des proportions et des répartitions des températures journalières moyennes selon les préférendums thermiques de plusieurs taxons (principalement la truite fario) ;

- L'analyse des variations des températures en fonction des hauteurs d'eau dans le cas des plans d'eau ;
- L'analyse des différences de température moyenne des cours d'eau entre l'amont et l'aval des plans d'eau.

Plusieurs variables sont ainsi produites et étudiées pour chaque station, telles que :

- **Variables thermiques générales du milieu** :
  - Température instantanée minimale (Ti min) = valeur de la température instantanée minimale relevée sur la plage de données étudiées
  - Température instantanée maximale (Ti max) = valeur de la température instantanée maximale relevée sur la plage de données étudiées
  - Température moyenne journalière minimale (Tmj min)
  - Température moyenne journalière maximale (Tmj max)
  - Amplitude thermique sur la période
  - Amplitude thermique journalière maximale = la valeur d'amplitude thermique journalière la plus élevée obtenue sur la plage de données étudiées
  - Amplitude thermique des moyennes journalières = différence entre les moyennes journalières maximales et minimales
  - Température moyenne de la période = calcule la moyenne des températures instantanées relevées pendant le suivi
  - Température moyenne des 30 jours consécutifs les plus chauds (Tmoy30J) = calcule, à partir des températures moyennes journalières, la température moyenne sur les 30 jours les plus chauds
  - Les dates des diverses périodes étudiées (dates amplitudes, dates 30 jours consécutifs les plus chauds, etc.)

- **Variables liées aux optimums et préférendums thermiques des espèces :**
  - Préférendum thermique de la truite fario (pour le contexte salmonicole) avec :
    - Nombre total de jours et pourcentage de jours où la température moyenne journalière est comprise entre 4 et 19 °C
    - Nombre total de jours et pourcentage de jours où la température moyenne journalière est inférieure à 4 °C
    - Nombre total de jours et pourcentage de jours où la température moyenne journalière est supérieure à 25°C
    - Nombre total de jours et pourcentage de jours où la température moyenne journalière est comprise entre 4 et 17 °C
    - Nombre total de jours et pourcentage de jours où la température moyenne journalière est comprise entre 17 et 19 °C
    - Nombre total de jours et pourcentage de jours où la température moyenne journalière est comprise entre 19 et 25 °C

  - Préférendum thermique du brochet (pour le contexte eso-cyprinicole) avec :
    - Nombre total de jours et pourcentage de jours où la température moyenne journalière est comprise entre 10 et 24 °C (optimum adulte)
    - Nombre total de jours et pourcentage de jours où la température moyenne journalière est comprise entre 24 et 31 °C
    - Nombre total de jours et pourcentage de jours où la température moyenne journalière est comprise entre 6 et 12 °C (reproduction)
    - Nombre total de jours et pourcentage de jours où la température moyenne journalière est inférieure à 6°C
    - Nombre total de jours et pourcentage de jours où la température moyenne journalière est supérieure à 31°C

- **Variables thermiques spécifiques du milieu** :
  - Conditions thermiques en rapport avec le développement de la Maladie Rénale Proliférative (MRP ou Proliferative Kidney Disease, PKD en anglais) avec le nombre total de jours consécutifs et le pourcentage de jours où la température moyenne journalière est supérieure à 15°C

Si la majeure partie des variables sont calculées à l'aide de macro sur Excel, le reste des analyses statistiques comparatives ou des analyses multivariées et la production de certaines figures sont réalisées à l'aide du logiciel R et de R-studio et des packages ade4, FactoMineR, ggplot2 et colorspace.

❖ Tests statistiques

C'est sur le logiciel R Studio version 4.1.1 (2021-08-10) (RStudio Team, 2021) et la collection (Vaissie et al., 2021) que sont traitées les moyennes journalières, hebdomadaires et mensuelles de température. Le but est de déterminer si la différence entre l'amont et l'aval est significative (lié à l'effet du réchauffement des eaux des plans d'eau) et non due au hasard.

Avant d'utiliser le test de comparaison de Student l'opérateur se doit de vérifier (figure59) :

- Dans le cas du test de Student pour un échantillon unique :
  - Si les données suivent la loi normale
- Dans le cas du test de Student indépendant :
  - Si les deux groupes d'échantillons (x et y), à comparer, suivent une loi normale et si les variances des deux groupes sont égales ou pas
- Pour le test de Student apparié :
  - Si la différence d (= x-y) suit une loi normale

➔ Le théorème central limite nous dit que, la distribution de l'échantillonnage tend à suivre la loi normale lorsque la taille est grande (n > 30).

Le test choisi est un test de Student apparié (et le test de Wilcoxon-Mann-Whitney dans le cas des échantillons de moyennes >30 individus) avec les hypothèses suivantes :

➔ H0 = Pas de différence entre l'amont et l'aval, intervention du hasard
➔ H1 = Différence entre l'amont et l'aval, non due au hasard

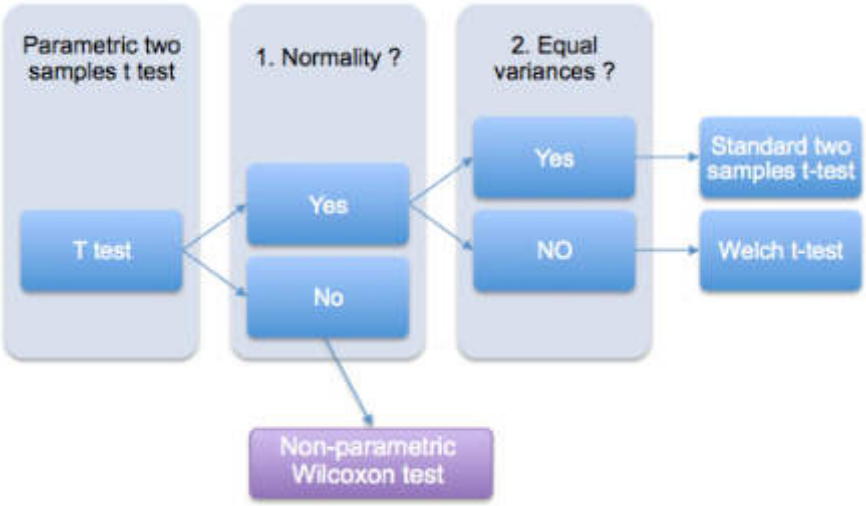


Figure 59 : Schéma des orientations des choix des tests statistiques de comparaisons de moyennes.

e) Volet physico-chimique

❖ Mesures multiparamétriques ponctuelles

Matériel

Les mesures sont réalisées avec la sonde multiparamètres MultiLine® 3620 IDS et les sondes suivantes (Figure 60) : 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.

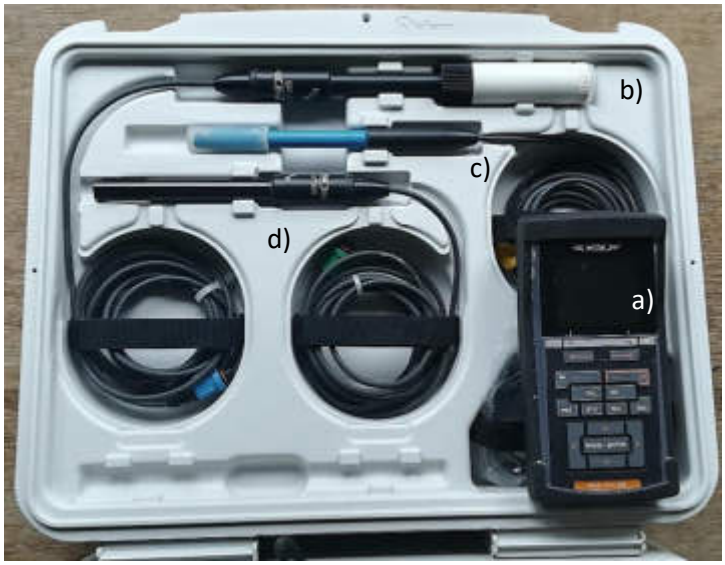


Figure 60 : Boitier multiparamétrique (a), sonde oxygène (b), sonde pH (c), sonde conductivité (d)

Méthode

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.

❖ Concentration de nutriments

Matériel

Les prélèvements aux profondeurs sont réalisés à l'aide d'une bouteille de Van Dorn fabriquée par HYDRO-BIOS KIEL® (conforme au standard EN 50081-1). Elle permet le prélèvement d'un litre d'eau sur une profondeur spécifique. La bouteille de Van Dorn est composée d'une partie cylindrique (figure 61a) dans laquelle l'eau est piégée par des clapets (figure 61b) situés aux extrémités. Ces derniers sont actionnés par un mécanisme à goupille (figure 61c). Lorsque la profondeur d'échantillonnage est atteinte, un messager (figure 61d) lâché par l'opérateur libère la goupille et les clapets bloquent les extrémités de la bouteille (figure 61).

Figure 61 : 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.

Méthode

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 5 : 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 (tableau 6 et7).

Tableau 6 : Classes de qualités physico-chimiques en cours d'eau pour les paramètres étudiées fournies par l'arrêté du 27 juillet 2018 (Ministère de la transition écologique et solidaire, 2018).

	TB/B	B/Moy	Moy/Méd	Méd/Mauvais
Ammonium	0,1	0,5	2	5
Conductivité à 25°C	-	-	-	-
Demande Biochimique en oxygène en 5 jours (D.B.O.5)	3	6	10	25
Nitrates	10	50	-	-
Nitrites	0,1	0,3	0,5	1
Orthophosphates (PO4)	0,1	0,5	1	2
Oxygène dissous	8	6	4	3
Phosphore total	0,05	0,2	0,5	1
Taux de saturation en oxygène	90	70	50	30
Température de l'Eau	20	21,5	25	28
pH	8,2 - 6,5	6 -9	5,5-9,5	4,5 -10

Tableau 7 : Classes de qualités physico-chimiques en plan d'eau et méthode de calcul pour les paramètres étudiés fournies par l'arrêté du 27 juillet 2018 (Ministère de la transition écologique et solidaire, 2018).

Paramètres physico-chimiques	Unité	Limite	Paramètres de calcul				Calcul	
			a	b	c	d	Zmoy = profondeur moyenne (m)	
Phosphore total (médiane)	µg P.L-1	Très bon-Bon	44,174	-0,315	57,744	-0,324	minimum entre [**a***Zmoy^**b**] et [**c***(Zmoy+1)^**d**]	
		Bon-Moyen	61,714	-0,31	95,841	-0,267		
		Moyen-Médiocre	86,234	-0,306	159,92	-0,21		
		Médiocre-Mauvais	120,63	-0,302	268,66	-0,153		
Ammonium (valeur maximale)	µg NH4.L-1	Très bon-Bon	223,58	-0,248	199,25	-0,223		
		Bon-Moyen	290,91	-0,245	283,69	-0,185		
		Moyen-Médiocre	378,71	-0,241	404,53	-0,145		
		Médiocre-Mauvais	494,03	-0,238	578,19	-0,106		
Profondeur du disque de Secchi (médiane)	m	Très bon-Bon	1,1741	0,284	0,9989	0,277	maximum entre [**a***Zmoy^**b**] et [**c***(Zmoy+1)^**d**]	
		Bon-Moyen	0,8703	0,279	0,6492	0,228		
		Moyen-Médiocre	0,6447	0,275	0,4208	0,18		
		Médiocre-Mauvais	0,4766	0,271	0,2722	0,131		
							Zmoy < 15	Zmoy > 15
	µg NO3.L-1	Très bon-Bon					2200	1200

Nitrates (valeur maximale)		Bon-Moyen		5300	2600
		Moyen-Médiocre		12600	5600
		Médiocre-Mauvais		30100	12100

❖ Turbidité

Afin de déterminer la turbidité dans un écosystème aquatique, le disque de Secchi fournit des indications en se basant sur la pénétration lumineuse en fonction du milieu. En effet, l'intensité lumineuse est influencée par la composition de l'eau telle que la matière organique et les particules en suspension qui peuvent absorber la lumière (Foden et al., 2008; Stedmon et al., 2000).

Matériel

Le disque de Secchi est un disque à quartiers alternant (noir et blanc) de 20 cm de diamètre. Une corde graduée d'environ 10 m non élastique est reliée au centre du disque et permet de le descendre dans l'eau. Le disque est équipé d'un leste sur sa partie inférieure, lui permettant de rester parallèle à la surface. Ce matériel répond à la norme EN ISO 7027-2 2019 de détermination de la turbidité (Partie 2 : méthodes semi-quantitatives pour l'évaluation de la transparence des eaux).

Méthode

Pour déterminer la profondeur dite de Secchi, l'opérateur se rend en embarcation sur son lieu de mesure qui reste le même pendant la durée de l'étude. Le disque de Secchi (normé ISO 7027-2 : 2019) est abaissé dans l'eau du côté ombragé de l'embarcation, la première mesure est celle de disparition du disque (Figure 62).

Ensuite, l'opérateur laisse descendre le disque de quelques centimètres après sa disparation puis le remonte et note la profondeur de réapparition. La profondeur de Secchi correspond à la moyenne des profondeurs de disparition et réapparition du disque. Ces observations sont réalisées durant une période d'ensoleillement constant entre 10h et 15h sans lunettes de soleil (CRE Laurentides and MDDELCC, 2016 ; Wetzel and Likens, 2000).

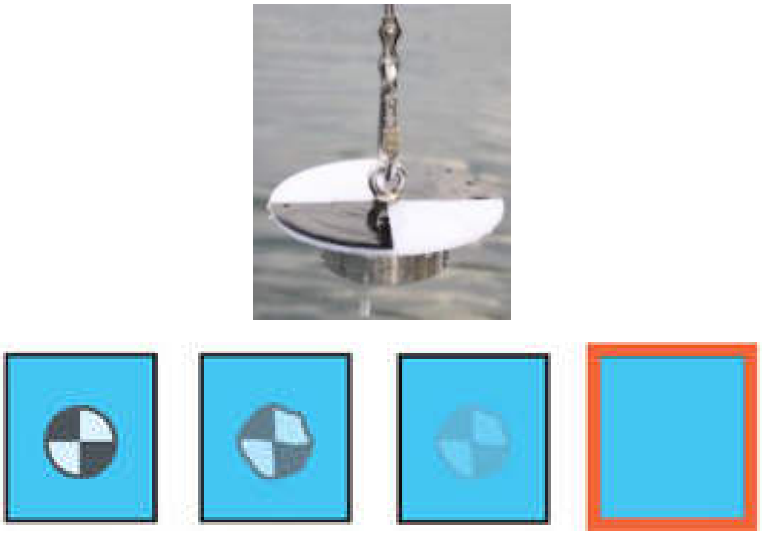


Figure 62 : Illustration et principe de disparition du disque de Secchi (RIEM, 2019).

❖ Etat trophique

L'état trophique des plans d'eau peut être permis via la classification de l'OCDE (OCDE,1982) à travers l'analyse de 3 paramètres principaux :

- Le phosphore total ;
- La chlorophylle a ;
- La transparence.

Cet outil permet une classification des plans d'eau selon 5 catégories : ultra-oligotrophe, oligotrophe, mésotrophe, eutrophe et hypereutrophe.

f) Volet hydromorphologie

Les objectifs du volet hydromorphologie sont :

- ➔ De comprendre de façon globale le fonctionnement hydrologique, biologique et morphodynamique du cours d'eau ;
- ➔ D'identifier et de caractériser les problèmes de fonctionnement du cours d'eau qui sont à l'origine d'altérations morphologiques et biologiques.

Une méthodologie adaptée a donc été retenue à l'échelle du bassin Rhin-Meuse (notamment développée lors des études sur les têtes de bassins des Vosges) et est présentée ci-après.

❖ Principe

Figure 63 : Illustrations du Trimble Nomad 5 (à gauche) et de la prise de note in situ, sur la Larque (à droite).

Lors du parcours, dès qu'un changement notable est observé sur le linéaire (lit, berge ou ripisylve), un nouvel objet est digitalisé et chaque objet est décrit par un certain nombre de paramètres. Plusieurs tables SIG ont été renseignées et digitalisées, parmi elles :

- Tronçon (description du lit, des berges, de la ripisylve, occupation du sol, perturbations, etc.) ;
- Ouvrage hydraulique / ouvrage hydraulique simple ;
- Obstacle naturel ;
- Embâcle ;
- Espèces végétales envahissantes ;
- Abreuvoirs ;
- Passage à gué ;
- Déchet ;
- Divers (Pompage, dérivation, rejet, protection de berge non adaptée, piétinement) ;
- Étang.

Les tables sont des entités dites « ponctuelles », un objet n'étant digitalisé qu'une fois à un emplacement précis, hormis la table « tronçon » qui est une couche linéaire dite « polyligne ».

Le dictionnaire de données présentant l'arborescence des informations renseignées est annexé au rapport.

❖ Linéaires non prospectés

Les linéaires non prospectés font références à des cours d'eau, ou tronçons, qui présentent des caractéristiques spécifiques et pour lesquels une prospection n'a pas été jugé pertinente pour plusieurs raisons (absence de cours d'eau, assec, inaccessible, absence d'enjeux lié à l'étude).

❖ Caractéristiques d'un cours d'eau et paramètres étudiés

L'état des lieux permet de découper le linéaire d'étude en unités fonctionnelles ou tronçons homogènes. Cette sectorisation géomorphologique du cours d'eau permet de distinguer des entités spatiales présentant un fonctionnement homogène.

Compartiment lit mineur : Faciès d'écoulement

Les faciès d'écoulement, ou unité morphodynamique, sont des portions de cours d'eau présentant, sur une certaine longueur, une physionomie générale homogène sur le plan des hauteurs d'eau, des vitesses et de la granulométrie. Les valeurs d'habitats limitantes, pour la Truite fario notamment, étant en période de basses eaux, Malavoi (1989) considère que le débit de caractérisation des faciès le plus adapté est l'étiage moyen. La description des faciès d'écoulements a été déterminée sur la base de la typologie de Malavoi et Souchon (2002) et adaptée au secteur d'étude. Ont donc été retenus les faciès d'écoulement suivants :

Tableau 8 : Faciès d'écoulement

Faciès d'écoulement	Description
Plat courant	Profondeur < 60cm ; vitesse < 30cm/s
Plat lent	Profondeur < 60cm ; vitesse > 30cm/s
Alternance radier / plat courant	-
Radier	Profondeur < 60cm ; vitesse < 30cm/s Rupture de pente nette et affleurement du substrat
Assec	Profondeur = 0 ; vitesse =0
Couvert/souterrain	Faciès non renseigné

Hauteur d'eau et largeur mouillée

La hauteur d'eau et la largeur mouillée sont des indicateurs permettant d'apprécier la situation hydrologique au moment des relevés de terrain. Les hauteurs d'eau ont été renseignées selon les classes suivantes :

- <15cm ;
- de15cm à30cm ;
- de 30cm à 50cm ;
- de 50cm à 1m ;
- >1m.

La largeur mouillée a été renseignées selon les classes suivantes :

- <50cm ;
- de 50cm à 1m ;
- de 1m à 3m ;
- de 3m à 6m ;
- >6m.

Substrat

La granulométrie apporte une information importante tant pour les aspects morphodynamiques (rugosité du lit, transport solide) que biologiques (notion d'habitat, de refuge et d'abri hydraulique) (Malavoi, 2002). La granulométrie, dominante et secondaire, a été déterminée d'après la typologie adaptée de Wentworth (1922).

Tableau 5 : Classification de Wentworth

Type	Classe de taille (Diamètre en mm perpendiculaire au plus grand axe)
Rocher	> 1024
Bloc	256 – 1024
Pierre	64 – 256
Galet	16 - 64
Gravier	2 - 16
Sable grossier	0.0625 - 2
Sable fin	0.0039 – 0.0625
Limon et argile	< 0.0039

Colmatage

Le colmatage considéré est un dépôt de sédiments fins (des argiles aux sables) en surface et dans les interstices de substrats plus grossiers, conduisant à une altération de ses fonctions. Le colmatage des substrats tend à uniformiser les habitats disponibles pour la faune aquatique. En effet, c'est la diversité d'habitats disponibles qui permet d'héberger les espèces naturellement présentes dans les cours d'eau. Le substrat est primordial pour accueillir les macroinvertébrés et les nids de nombreuses espèces de poissons. Ainsi le colmatage va induire une raréfaction des espèces spécialisées aux substrats grossiers au profit de celles spécialisées aux substrats fins. On constate alors une réduction de la disponibilité des ressources trophiques (alimentaires) ainsi qu'un appauvrissement en oxygène. (Observatoire des Poissons du bassin Seine-Normandie).

Le colmatage est un phénomène amplifié par plusieurs facteurs :

- L'érosion des bassins-versants, conséquence directe de la déforestation ainsi que de l'intensification des cultures ;
- Les ouvrages transversaux qui bloquent les transports sédimentaires naturels ;
- Les modifications de la dynamique fluviale (surlargeur, rectification, endiguement, extraction de granulats).

Figure 64 : Colmatage des substrats sur la Largue

Lors des relevés in situ, le colmatage a été évalué selon les classes suivantes :

- nul ;
- ponctuel (<10%) ;
- moyen (10-30%) ;
- important à très important (>30%).

Présences d'algues

Les algues sont généralement microscopiques (invisibles à l'œil nu). Dans le cas d'un développement exceptionnel accentué par des conditions favorables, elles se multiplient et s'agglomèrent au point de former des masses macroscopiques (visibles à l'œil nu). La présence d'algues en rivière, visibles à l'œil nu, indique un déséquilibre dans l'écosystème, souvent associé à un apport en nutriments trop important (éléments fertilisants, azotés et phosphorés) et à des conditions spécifiques (quantité d'ensoleillement élevée, température de l'eau élevée, faible vitesse du courant). Les différents types d'algues macroscopiques peuvent être regroupées en trois classes :

- Phytoplancton ;
- Algues filamenteuses ;
- Diatomées.

Lors des relevés in situ, la densité d'algue a été évaluée selon les classes suivantes :

- nulle ;
- faible ;
- moyenne ;
- forte.

Perturbations ponctuelles du lit mineur

Les éléments ponctuels recensés sur le linéaire d'étude peuvent être des sources de perturbations sur le milieu. Leur recensement est donc essentiel et permet de compléter les connaissances et d'affiner le diagnostic à l'échelle locale. Les typologies recensées sont les suivantes :

- pompage ;
- prélèvement AEP (alimentation eau potable) – captage de source er prise en rivière ;
- dérivation vers plan d'eau ;
- rejet ;
- protection de berges non adaptée ;
- piétinement ;
- abreuvoir ;
- passage à gué ;
- déchets ;
- embâcles.

❖ <u>Compartiment berges et ripisylve</u>

Le fonctionnement des berges et de la ripisylve sont étroitement liés. Ces deux ensembles constituent une zone de transition exploitée par les espèces végétales et animales ainsi qu'une zone tampon entre les milieux aquatiques et terrestres. Lors des prospections de terrain, les paramètres relevés considèrent distinctement les berges et la ripisylve en rive droite et en rive gauche. Lors des relevés in situ, le compartiment berges et ripisylve ont été évaluée selon les catégories suivantes :

- Continuité de la ripisylve :
  - nulle ;
  - faible ;
  - moyenne ;
  - forte.

- Diversité de la ripisylve :
  - nulle ;
  - faible ;
  - moyenne ;
  - forte.
- Strates de la ripisylve :
  - absente ;
  - strate herbacée ;
  - strate arbustive ;
  - strate arborée ;
  - strate complète.
- Position de la ripisylve :
  - perchée ;
  - non perchée ;
  - absence de ripisylve.
- Ombrage :
  - nulle ;
  - faible ;
  - moyenne ;
  - forte.
- Nature de la berge :
  - naturelle ;
  - artificielle ;
  - mixte (à la fois naturelle et artificielle) ;
  - enrochement.
- Géométrie de la berge :
  - verticale ;
  - pentue (>45°) ;
  - plate (<45°) ;
  - sous-cavée.
- Hauteur moyenne des berges :
  - <50cm ;
  - de 50cm à 1m ;
  - de 1m à 1,50m ;
  - de 1,5m à 2m ;
  - >2m.
- Présence de sous-berges :
  - nulle ;
  - faible ;
  - moyenne ;
  - forte.

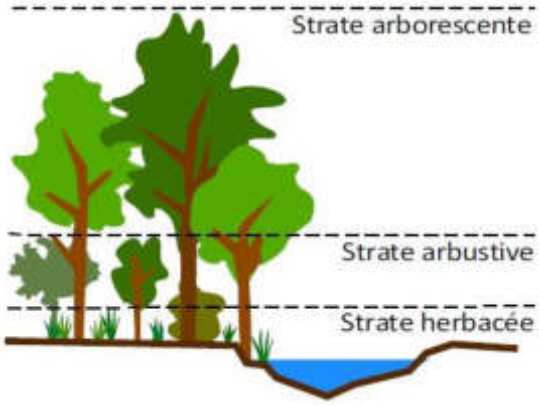


Figure 65 : Découpage d'une ripisylve en strates (Syndicat du bassin de l'Ouche, 2019)

❖ Évaluation de la franchissabilité

La franchissabilité piscicole de chaque obstacle à l'écoulement a été déterminée à partir de plusieurs paramètres issus du guide ICE (ONEMA, 2015). Cette analyse se base sur des constatations visuelles (état de l'ouvrage, type de jet) et sur des mesures simples (hauteur de chute, profondeur de la fosse, lame d'eau sur l'ouvrage notamment). Dans le cadre de travaux impactant un ou plusieurs ouvrages, une étude complémentaire devra impérativement s'ajouter à ce diagnostic simplifié.
L'espèce cible retenue sur le secteur d'étude est la Truite fario ([15-30 cm] – groupe 4b de l'ICE). L'Anguille n'a pas été retenue pour le diagnostic car la dernière donnée d'occurrence historique est datée de 2009 et uniquement à l'aval de la largue. Les classes de franchissabilité retenues pour cette étude sont celles de l'ICE. La nature des obstacles est également renseignée.

Tableau 6 : Classes de franchissabilité ICE (ONEMA,2015)

Franchissabilité	Note équivalente ICE
Franchissable	1
Moyennement franchissable	0.66
Difficilement franchissable	0.33
Infranchissable	0

❖ Indicateurs

Plusieurs types d'indicateurs sont produits pour permettre une analyse plus fine des pressions observées comme :

- La densité d'ouvrage ;
- Le taux d'étagement ;
- Le taux de fractionnement ;

❖ Compartiment lit majeur

Lors des relevés in situ, le compartiment berges et ripisylve ont été évaluée selon les catégories suivantes :

- Les espèces invasives et envahissantes ;
- L'occupation de la bande riveraine :
  - culture ;
  - prairie ;
  - prairie humide ;
  - friche ;
  - boisement de résineux ;
  - boisement de feuillus ;
  - jardin ou espace vert ;
  - infrastructure ;
  - zone urbaine ;
  - autre.

3. Approche biologique

a) 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 :

➔ **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).

Figure 66 : Schéma des méthodes de métabarcoding (a) et de barcoding (b). Source : Spygen.

❖ Méthode

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 67 : 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.

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.).

b) Volet piscicole

Dans le cadre de l'étude, deux pêches électriques complètes ont été réalisées en amont et en aval du plan d'eau de Courtavon pour suivre l'évolution des communautés piscicoles.

❖ Principe

La prospection d'une station se fait d'aval en amont, à l'aide d'une ou de plusieurs anodes. La prospection est complète (tous les habitats sont prospectés) sur la station d'étude et se fait en au moins deux passages successifs sans remise à l'eau des individus entre les passages (méthode d'échantillonnage par épuisement dite De Lury). Dans la mesure du possible, les limites de la station d'étude sont « fermées » (filet, seuil naturel ou artificiel). Le protocole d'échantillonnage des poissons à l'électricité est encadré par les normes NF T 90-344 (Afnor, 2011), XP T90-383 (Afnor, 2008 ; l'actualisation en NF T 90-383 est en cours d'application) et NF EN 14011 (2003-07-01). Mais il est aussi possible de s'appuyer sur la « Notices de présentation et d'utilisation de l'IPR » (Onema, 2006) et sur le « Guide pratique de mise en œuvre des opérations de pêche à l'électricité » (Belliard et al., Onema, 2012).

Le protocole de pêche complète est applicable sur un cours d'eau d'une largeur inférieure à 9 m et dans des conditions hydrologiques favorables. Il est recommandé d'utiliser une anode pour une largeur du linéaire de 4 m.

La réalisation de plusieurs passages successifs permet d'estimer de façon statistique les densités de chacune des espèces rencontrées et donc d'avoir une analyse fiable du peuplement en place. L'extrapolation statistiques est permise à l'aide des méthodes dites de De Lury ou de Carle & Strub.

Tous les individus sont capturés, triés par espèce, dénombrés, mesurés et pesés individuellement. Cependant, pour les espèces dont l'abondance est forte, des « lots » sont réalisés. Plusieurs types de lots sont possible (L, S, G et I).

Classiquement le lot est dénombré, pesé et un sous-échantillon représentatif à traiter de 30 individus homogènes est mesuré individuellement (permettant ainsi un assemblage de lot S et L pour s'affranchir d'une mesure individuelle systématique). L'ensemble des individus (hors espèces nuisibles et susceptibles de causer des déséquilibres biologiques) sont remis à l'eau à la fin de la pêche.

En parallèle les Salmonidés ont fait l'objet de prélèvements scalimétriques en vue de suivre leur taux de croissances et d'autres informations spécifiques. Enfin, l'analyse de l'état sanitaire des populations a été réalisé à travers l'indice pathologique (Elie et Girard, 2014) via l'application de codes pathologiques.

L'indice pathologique global (IPG) de la population piscicole étudiée est la somme des indices pathologiques (IP) calculés comme suivant :

$$IP = P \times Q$$

Avec : P : prévalence des poissons atteints (nombre de poissons présentant des lésions / nombre de poissons examinés)

Q : intensité lésionnelle de 0 à 4 (estimée par le nombre de lésions ou le pourcentage de recouvrement)

$$IPG = \sum IP$$

L'IPG permet ensuite d'être relié à une classe de qualité définie.

0-0,04	Excellente
0,05-0,20	Bonne
0,21-0,80	Précaire
0,81-1,40	Dégradée
1,41-4,00	Mauvaise

Figure 68 : classes de qualité de l'indice pathologique global.

Les analyses des résultats des pêches électriques sont réalisées avec un logiciel interne à la FDAAPPMA68 (« Logiciel Biométrie » version 1.2 ; Namokel, 2021). Son fonctionnement est similaire au système d'évaluation proposé sur le portail d'évaluation des eaux (SEEE) (Eaufrance, 2021).

Figure 69 : Illustrations des opérations de pêche électrique sur la Largue, tri des poissons (1), biométrie (2), bacs oxygénés en attendant la remise à l'eau (3), photographie du phénotype des Truites fario (4), filet aval (5), opérateur épuisette (6), opérateur anode avec groupe portatif FEG1700 (7).

c) Volet invertébré

❖ Principe

Les invertébrés benthiques sont à la base de la chaine trophique des milieux aquatiques (consommateur primaire). Leur rôle est primordial dans les cycles de dégradation de la matière organique et l'équilibre fonctionnel d'une masse d'eau (Four, 2017). Ce sont également des bioindicateurs pertinents du fait de leur nature (forte diversité d'espèce, nombreuses espèces indicatrices, niches écologiques spécifiques, résilience, présence dans tous type de milieux, valeur patrimoniale de certaines espèces, facilité d'échantillonnage, etc.).

L'étude des règles d'assemblages de ces niches écologiques et des caractéristiques propres des traits bio-écologiques des espèces permet d'en apprendre beaucoup sur le fonctionnement des hydrosystèmes (Usseglio-Polatera et al., 2000 ; Mondy 2012 ; Johnson et Ringler 2014).

En 2000, l'entrée en vigueur de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE), marquait une volonté de développer des pratiques de terrain comparables entre pays européens et de développer, surtout, des indices DCE compatibles. Pour répondre aux besoins et contrer les limites de l'IBG-DCE et plus anciennement de l'IGBN, le développement d'un indice multi-métrique était nécessaire. L'I2M2 a donc été créé pour répondre à ces attentes et est à présent appliqué pour la bioévaluation des cours d'eau (Mondy et al., 2012).

L'I2M2 ou l'IBG-DCE est un indice hydrobiologique permettant d'apprécier la qualité d'un cours d'eau à l'échelle d'une station de mesure via l'étude des macro-invertébrés benthiques. L'I2M2 donne une image plus précise des pressions subies par l'écosystème que l'ancien indice : l'IBGN (Eaufrance, nd).

❖ Méthode

La méthode est encadrée par les normes :

- NF T90-333 (AFNOR, 2016) pour le prélèvement des invertébrés ;
- NF T90-388 (AFNOR, 2020) pour le traitement des échantillons en laboratoire.

Il s'agit dans un premier temps de déterminer les limites amont et aval de la station afin de définir la longueur totale (Lt). Celle-ci est définie en fonction de la largeur plein bord (Lpb) du cours d'eau. En moyenne, la longueur correspond à 18 fois la Lpb (pour les cours d'eau inférieur à 8m). Celle-ci peut être adaptée selon la configuration du site ou les enjeux (12 fois la Lpb si compris entre 8 et 25m ou 6 fois la Lpb si >25m). Il est préférable, en général, d'avoir au moins une séquence de 2 radiers et de 2 mouilles et d'être représentatif du tronçon étudié.

L'étape suivante consiste à l'identification des différents substrats présents dans la station selon leur proportion par rapport à l'ensemble de la superficie mouillée de la station et à réaliser le plan de station et le plan d'échantillonnage en conséquence.

Deux types de substrats sont à différencier selon leur pourcentage de recouvrement : les substrats marginaux dont la superficie maximale est inférieure à 5 %, et les substrats dominants dont la superficie est supérieure à 5%. Le plan d'échantillonnage est le suivant :

- Phase A : 4 prélèvements de substrats marginaux ;
- Phase B : 4 prélèvements de substrats dominants par ordre d'habitabilité ;
- Phase C : 4 prélèvements de substrats dominants au plus majoritaire restant (en suivant la règle des 10%).

Chaque phase (ou bocal) est donc constituée de 4 prélèvements élémentaires, chacun représentatif d'une surface de 1/20m2.

L'opérateur utilise ensuite un échantillonneur Surber (maille 500 µm, longueur 600 mm et ouverture de cadre 250x200 mm). Un tamis (maille 500 µm) permet de transférer le contenu du Surber dans un flacon (1-2 L). L'échantillon ainsi prélevé est ensuite fixé avec de l'éthanol (concentration 95 %) pour un stockage en réfrigérateur.

Figure 70 : Illustration des prélèvements d'invertébré et de la détermination en laboratoire.

Les échantillons sont ensuite analysés en laboratoire dans les locaux de la FDAAPPMA68. Ils sont tout d'abord lavés et élutriés puis placés dans plusieurs tamis en vue d'être triés. Les passages successifs en tamis de diverses mailles (12,5mm, 5mm, 4mm, 2mm, 1mm et 500µm) ou l'usage de bacs quadrillés sont au choix selon le substrat et les préférences de l'opérateur. L'objectif du tri est d'extraire de l'échantillon le maximum de taxons présents. Un certain nombre doit être extrait au minimum selon les familles (effectifs variables selon familles mono ou multi-spécifique, comme précisé dans la norme NF-T90-388).

Par la suite les individus sont dénombrés et déterminés sous stéréo-microscope (loupe binoculaire). Leur identification peut être facilité notamment avec l'usage d'ouvrages de références tels que :

- Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie, écologie ; Tachet et al. 2010 ;
- Waringer et al. 2004 ;
- Nilsson et al. 1996 ;
- Grand et al. 2006 ;
- Avec l'outil proposé par le site PERLA (http://www.perla.developpement-durable.gouv.fr/).

D'une manière générale les taxons sont comptés et identifiés au genre ou à l'espèce si cela est possible.

❖ Analyse

Analyse indicielle

Les indices de Shannon, de Simpson, de Pielou, la richesse spécifique et l'abondance sont des indices couramment utilisés en écologie. Ces indices nous permettent d'avoir une idée de la diversité du peuplement et de sa structure. Le pourcentage de taxon EPT (pour : Ephémère, Plécoptère et Trichoptère) est aussi souvent calculé dans le cadre d'études sur le compartiment macro-invertébré. En effet, il permet d'avoir une idée de la proportion de ces taxons qui sont en général les plus sensibles à la qualité de leur milieu (Usseglio-Polareta et Tachet, 1994 ; Mondy et al., 2012).

Les calculs des divers indices sont réalisés à l'aide d'une macro Excel construit en interne liée au SEEE pour le calcul de l'I2M2 en lui-même (scripts disponibles sur le site http://seee.eaufrance.fr/). Une fois la note et l'EQR calculés, il est possible d'attribuer une

classe de qualité à l'aide des bornes suivant l'arrêté du 27 juillet 2018 (en fonction de l'hydro-écorégion et des variables environnementales locales).

Analyse multivariée

Toujours pour mettre en évidence les différences entre cours d'eau impactés ou non, les analyses multivariées sont un bon outil de statistique descriptive. Une analyse factorielle des correspondances est réalisée avec la liste faunistique obtenue après transformation logarithmique. L'AFC est une méthode de statistique multivariée qui permet de mettre en avant les divergences ou les correspondances entre les différentes variables. Le logiciel R Studio version 4.1.1 (2021-08-10) (RStudio Team, 2021) muni des packages .ade4, FactoMineR et .vegan est utilisé.

Analyse des traits bio-écologiques

Un travail sur les traits bioécologiques a ensuite été réalisé afin d'obtenir les abondances, les biomasses et les proportions pour chacun des traits. C'est 24 variables différentes qui sont ainsi étudiées.

ODinvertébrés

En complément des différentes analyses, l'outil de diagnostic ODinvertébrés a également été utilisé. Ce dernier est un outil de diagnostic (OD) qui permet d'identifier les probabilités d'impact par différentes pressions anthropiques à partir des caractéristiques biologiques des communautés de macro-invertébrés benthiques.
Dix-sept types de pressions liées soit à la qualité de l'eau, soit à la qualité de l'habitat physique au niveau du cours d'eau et de son bassin versant, sont compris dans la réalisation des modèles. Ces modèles ont été créés à partir de la procédure décrite dans (C.Mondy et al, 2017).

d) Volet astacicole

Les zones d'étude comprennent des données historiques concernant la présence de certaines écrevisses autochtones patrimoniales mais aussi d'espèces exotiques. Des suivis (prospections nocturnes) sont réalisés par l'EPAGE Largue et l'OFB selon les secteurs du bassin. Il apparait ainsi pertinent d'inclure ce compartiment biologique au sein de l'étude. De plus la comparaison de ce volet avec le volet ADNe via la recherche de l'écrevisse à pattes blanches permettras de confronter les deux méthodes.

La méthode choisie est le piégeage par engins de pêches passifs (à l'aide de nasses à écrevisses et d'appâts). Pour permettre un comparatif en plus de simples données d'occurrence, la méthode des Captures Par Unités d'Effort (CPUE) est privilégiée. Cette méthode est peu coûteuse et facilement mise en application pour observer l'occurrence et les fluctuations d'une population (Maunder et al., 2006).

Des nasses à écrevisses sont utilisées pour la capture et sont équipées d'une poche pour un appât (ici des sardines). La nasse possède deux entrées en forme d'entonnoir dans lesquelles les écrevisses sont piégées (figure 71).

Les nasses sont posées avec un appât pour une durée déterminée de 48 heures. Lors de la relève les individus sont mesurés (taille corps et pinces) et pesés. L'abondance est calculée en divisant le nombre total d'individus capturés par le nombre de nasses posées.

Selon (Maunder and Punt, 2004), la CPUE peut être calculée de la façon suivante :

$$C = qEN \text{ soit } \frac{C}{E} = qN \text{ et } CPUE = \frac{C}{E} \text{ si } q = 1$$ avec les variables :

- C : Capture (nombre)
- q : Constante de capturabilité
- N : Abondance (nombre)
- E : Effort (heure)
- CPUE : rendement (nombre/heure)

Afin d'éviter les biais avec la capture d'autres espèces que celle visée, il est nécessaire de se concentrer sur un effort de capture monospécifique (Maunder et al., 2006; Verdoit, 2003). D'autres facteurs comme le changement de localisation ou d'appât peuvent également influencer les captures (Maunder et al., 2006). Il est donc nécessaire de réaliser les CPUE sur les mêmes zones avec un équipement similaire dans le temps.

Figure 71 : Illustrations des nasses à écrevisses utilisées (a), d'une station de pose de nasses dans des habitats favorables et à l'ombre (b), captures d'écrevisses à pattes grêles (Astacus leptodactylus) sur Courtavon (c).

5. Résultats par sites pilotes

Les résultats produits lors de chaque volet sont présentés dans l'ordre un site après l'autre et une carte schématique y résume la métrologie employée sur chaque site.

Les résultats globaux sont ensuite présentés à une échelle plus générale en comparants l'ensemble des sites selon divers paramètres.

1. Le site de Courtavon

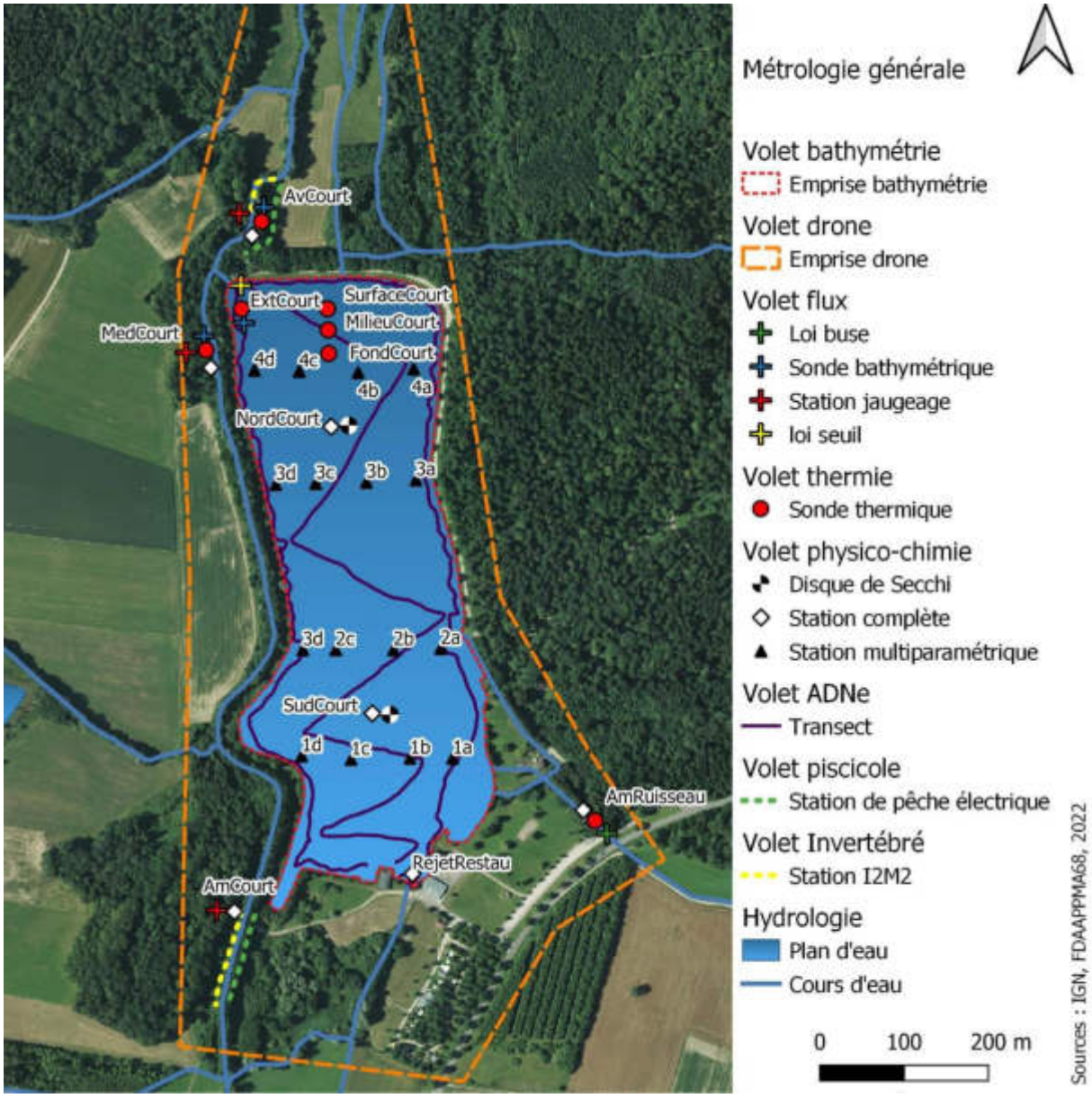
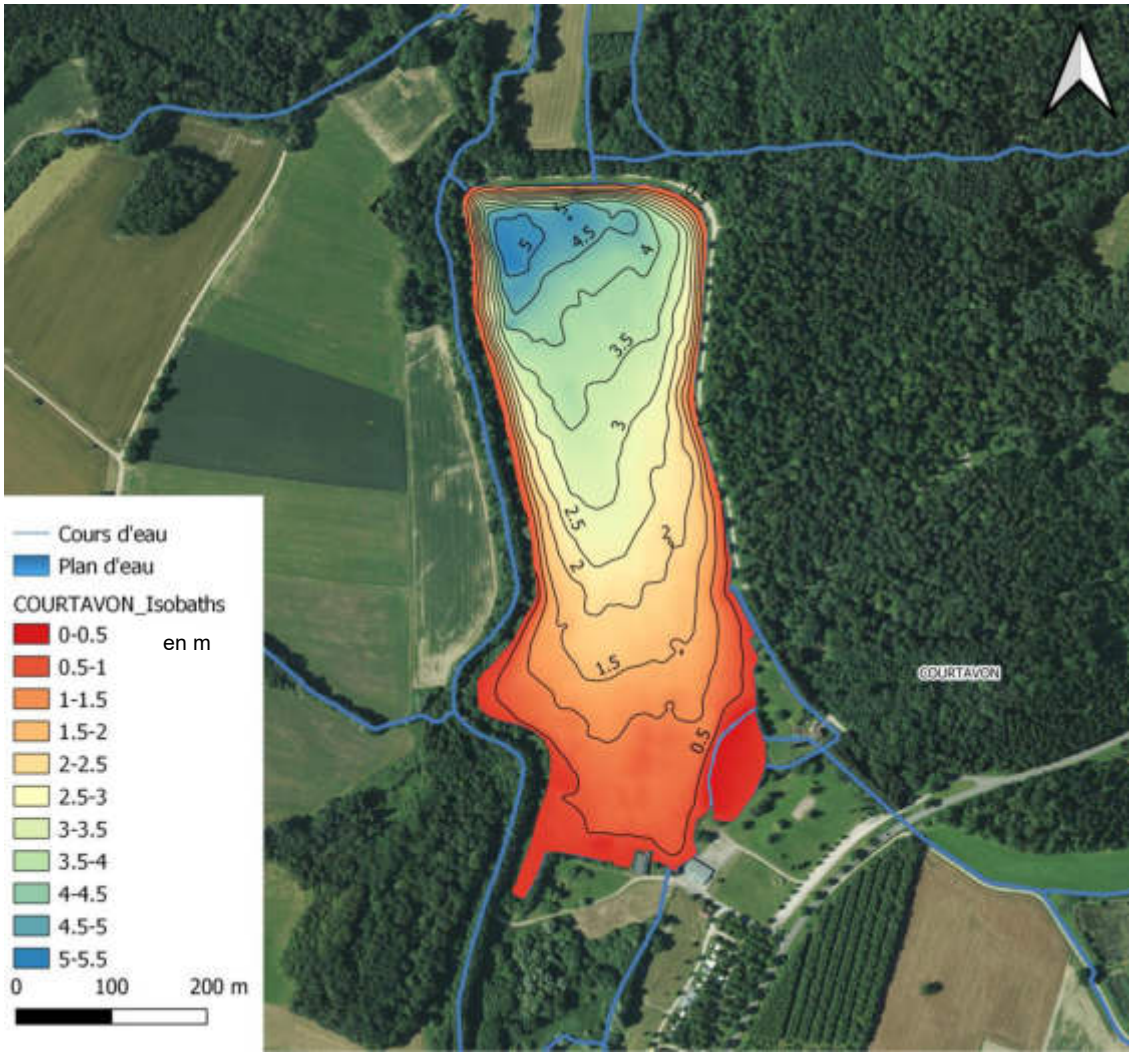
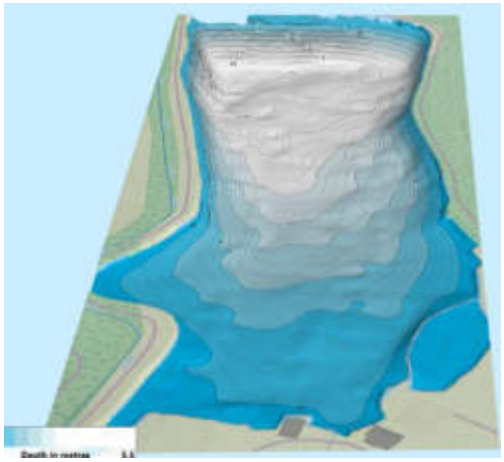


Figure 72 : Cartographie schématique de la métrologie déployée sur le site de Courtavon et noms des stations.

a) Volet bathymétrie





Courtavon : caractéristiques physiques	Valeurs
Surface (m²)	16 0664
Périmètre (m)	2119
Profondeur Max (m)	5,26
Profondeur Min (m)	0,01
Profondeur Moy (m)	2,11
Volume d'eau total (m3)	338 844
Volume de sédiment total (m3)	506 087
Profondeur sédiment Max (m)	6
Profondeur sédiment Min (m)	0,10
Profondeur sédiment Moy (m)	2

Figure 73 : Carte bathymétrique du plan d'eau de Courtavon et caractéristiques associées.

Les relevés bathymétriques ont été réalisés le 12/08/21 et le 30/09/21 dans des conditions hydrologiques stables. La hauteur d'eau mesurée par la sonde bathymétrique du plan d'eau (cf. volet flux) lors des relevés est de 0,67m, permettant ainsi d'estimer les fluctuations saisonnières de volume et de côte d'eau (5,10±0,44m de profondeur moyenne en 2021). Le lac de Courtavon dispose d'une cuvette bien marquée au Nord avec des profondeurs

maximales avoisinant les 5,26m. La forme du lac est globalement asymétrique avec deux grandes zones identifiables (figure 73) :

- Une zone stable et peu profonde au Sud le lac ;
- Une zone à la topographie plus marquée et plus profonde, au Nord du lac.

Les profils généraux n'ont semble-il que peu évolués depuis la construction du plan d'eau. Néanmoins un comblement fort peut être noté (indication historique d'une volonté d'une profondeur maximale de 8m lors de la création du lac en 1979 contre 5m mesuré en 2021). Le plan d'eau de Courtavon est aussi caractérisé par le plus grand volume des sites étudiées (338 844m3). Le site est caractérisé par un volume de sédiment estimé 1,5 fois plus important que son volume d'eau (506 087m3) mettant en avant un envasement très fort entre 1979 et 2021 (figure 73 et 74).

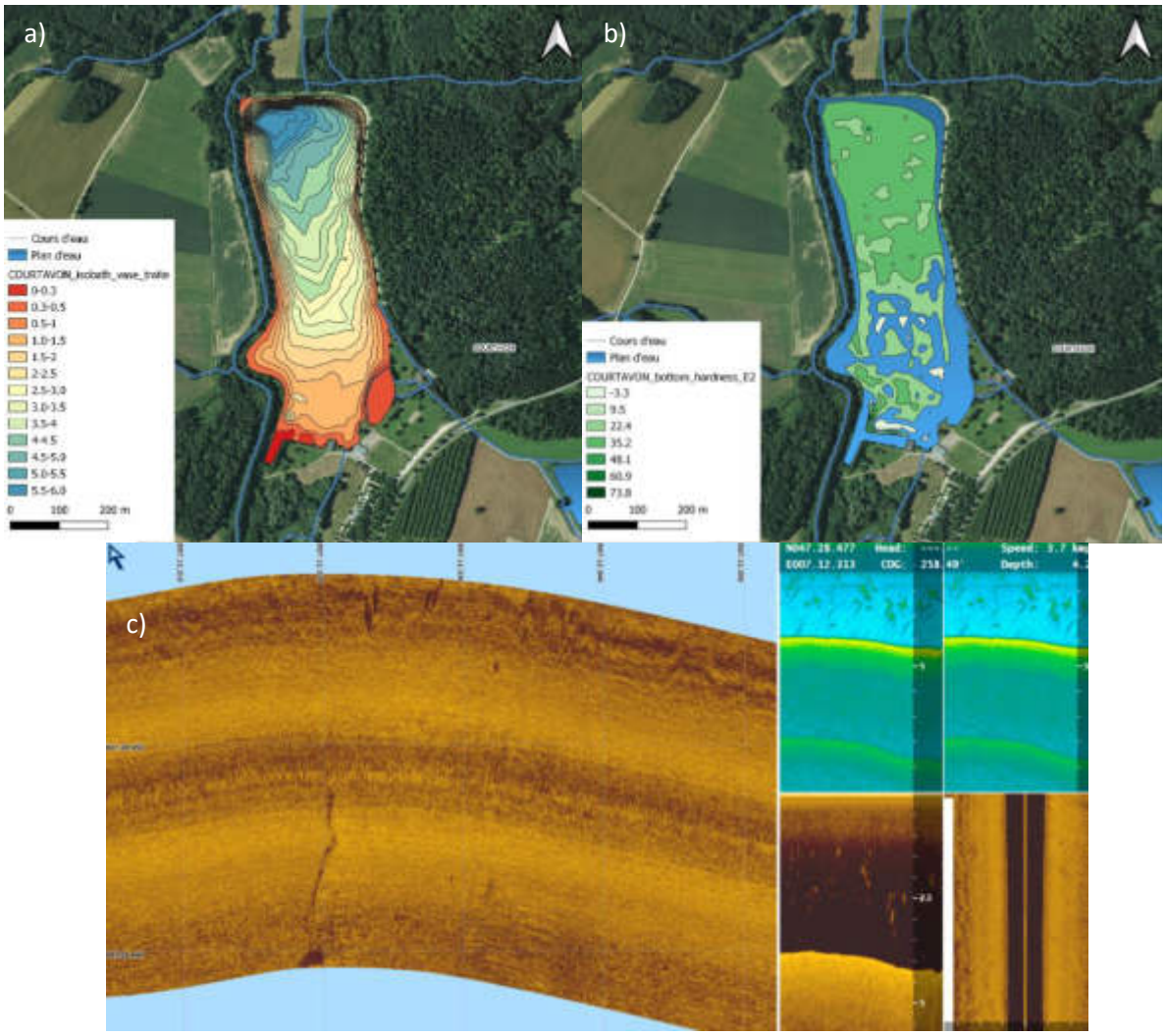


Figure 74 : Carte de la profondeur de vase en m (a), de la nature des fonds en termes de dureté (b) et de la nature des fonds en termes d'habitats (c).

L'analyse de la nature des fonds est permise à l'aide de l'échosondeur. On note ainsi une profondeur de vase très hétérogène mais qui suit les courbes de niveau de profondeur. Un gradient est observé avec des profondeurs de vases globalement faibles à moyennes (entre 0,3 et 1,5m) sur toute la partie Sud du lac et des profondeurs de vases parfois très importantes sur la partie Nord (5m). Un gradient de dépôt est ainsi visible des arrivées d'eau vers l'exutoire. Sous la couche de sédiment fin, la nature du fond présente une dureté et une rugosité plus importante au Nord qu'au Sud (probable socle rocheux sous la vase). Quelques arbres morts

ont été observés en rive ouest (au niveau de la surlargeur), ainsi que quelques herbiers (au niveau de la partie médiane). Mais les habitats benthiques du lac sont très majoritairement caractérisés par des fonds très pauvres en habitats (figure 74). Ces zones benthiques sont ainsi plutôt lisses, caractérisées par des sédiments fins et l'absence d'herbiers ou de structures sous-marines. Enfin, vis-à-vis de la faune piscicole, des grands individus plus isolés sont observés au Sud (Carpes) alors que des bancs de poissons de tailles plus importantes sont observés au Nord. Lors des relevés de fin septembre, l'observations d'un banc très volumineux est permise dans la zone la plus profonde (phénomène de migration saisonnière classiquement observée en lac à l'arrivé de la saison froide).

b) Volet drone

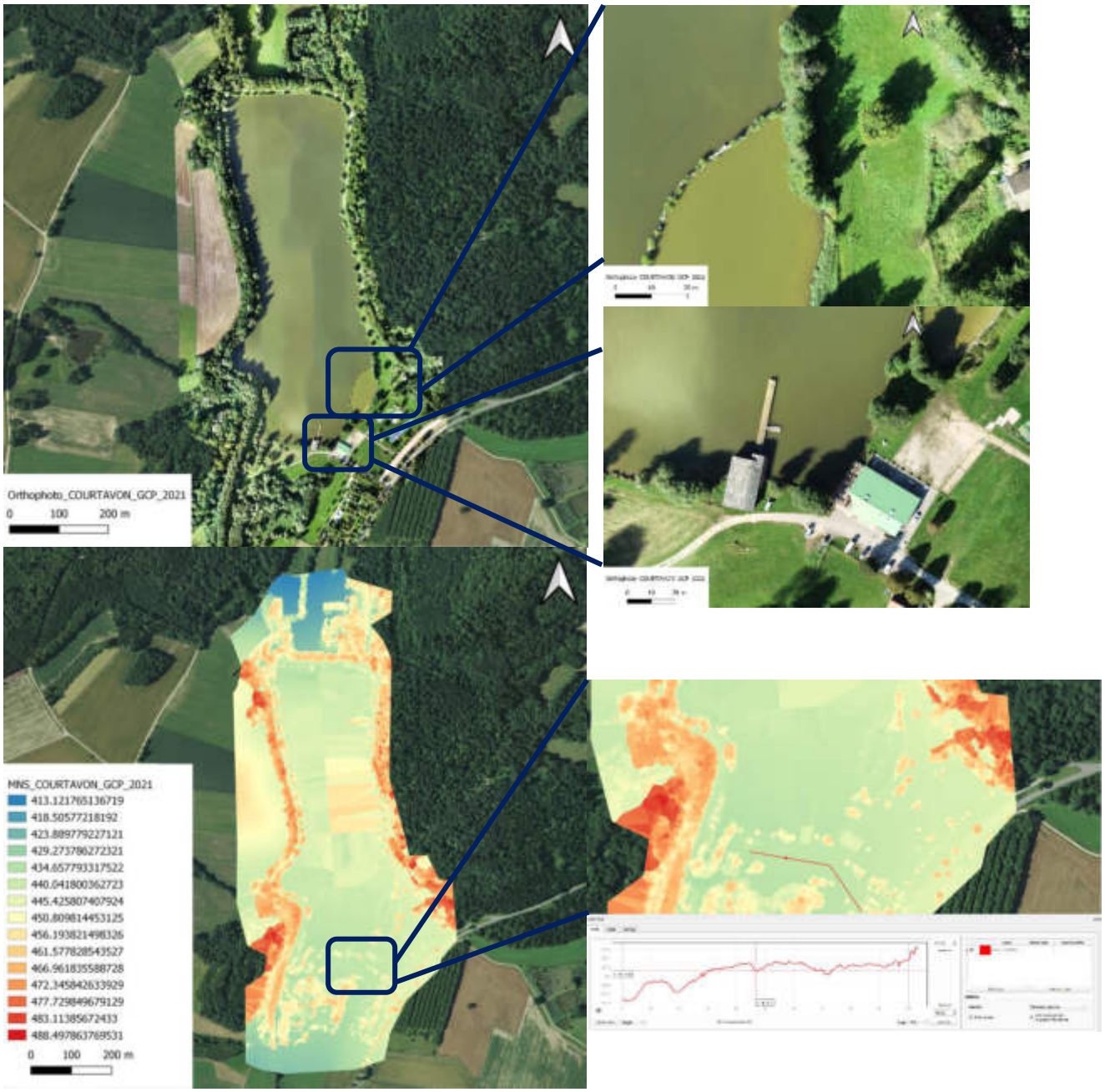


Figure 75 : Orthophotographie de précision (a) et Modèle Numérique de Terrain (b) du site de Courtavon.

c) Volet flux

Afin de suivre les variations hydrologiques de la Largue à Courtavon, les amplitudes de marnage de l'étang et produire un bilan des flux du système, plusieurs approches sont déployées :

- Approche par jaugeage avec trois stations de mesure à l'aide d'un courantomètre en amont éloigné (suffisamment éloigné de la zone d'influence de l'étang et de la digue), en position médiane (juste en amont du déversoir, le long de la digue) et en aval à raison de 6 campagnes ;
- Mesure des variations de hauteur du plan d'eau de Courtavon à l'aide d'une sonde bathymétrique au droit du déversoir ;
- Mesure des variations de hauteur de la Largue en amont et en aval ;
- Estimations des flux sortant des ouvrages par le calcul.

Les jeux de données prennent en compte la période du 10/04/21 au 05/10/21 (et jusqu'au 16/11/21 pour le marnage du plan d'eau).

❖ Régime hydrologique de la Largue

La Largue est caractérisée par un régime hydrologique très variables avec des étiages sévères et des pics de crues importants. L'étude des débits biologiques minimaux réalisée en 2021 a permis d'identifier les débits caractéristiques de la Largue sur 5 secteurs principaux (Skora 2021). La station de Courtavon n'étant plus alimenté en donnée il apparait plus pertinent de se baser sur les caractéristiques des mesures de l'EPAGE Largue (à titre de comparatif).

Tableau 7 : principales caractéristiques morphologiques et hydrologiques de la Largue (source : EPAGE LARGUE – Skora 2021).

	QMNA 1/2 inf (L/s)	QMNA 1/5 inf (l/s)	VCN3 1/5 inf (L/s)	DCEinf (L/s)	Module (L/s)
Courtavon	53	35	23	28	190
Seppois-le-haut	109	51	24	35	360
Friesen	344	279	225	25	1100
Altenach	308	230	155	183	1440
Spechbach	434	325	220	260	2820

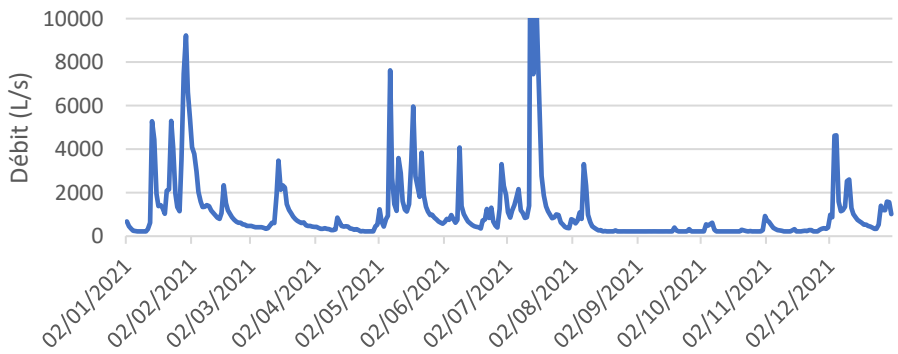


Figure 76 : débit de la Largue en 2021 au niveau de la station de Friesen (sources : hydroportail 2022).

L'année 2021 a été caractérisée par une pluviométrie importante et des crues estivales marquées et régulières (notamment en mai, juillet et aout 2021).

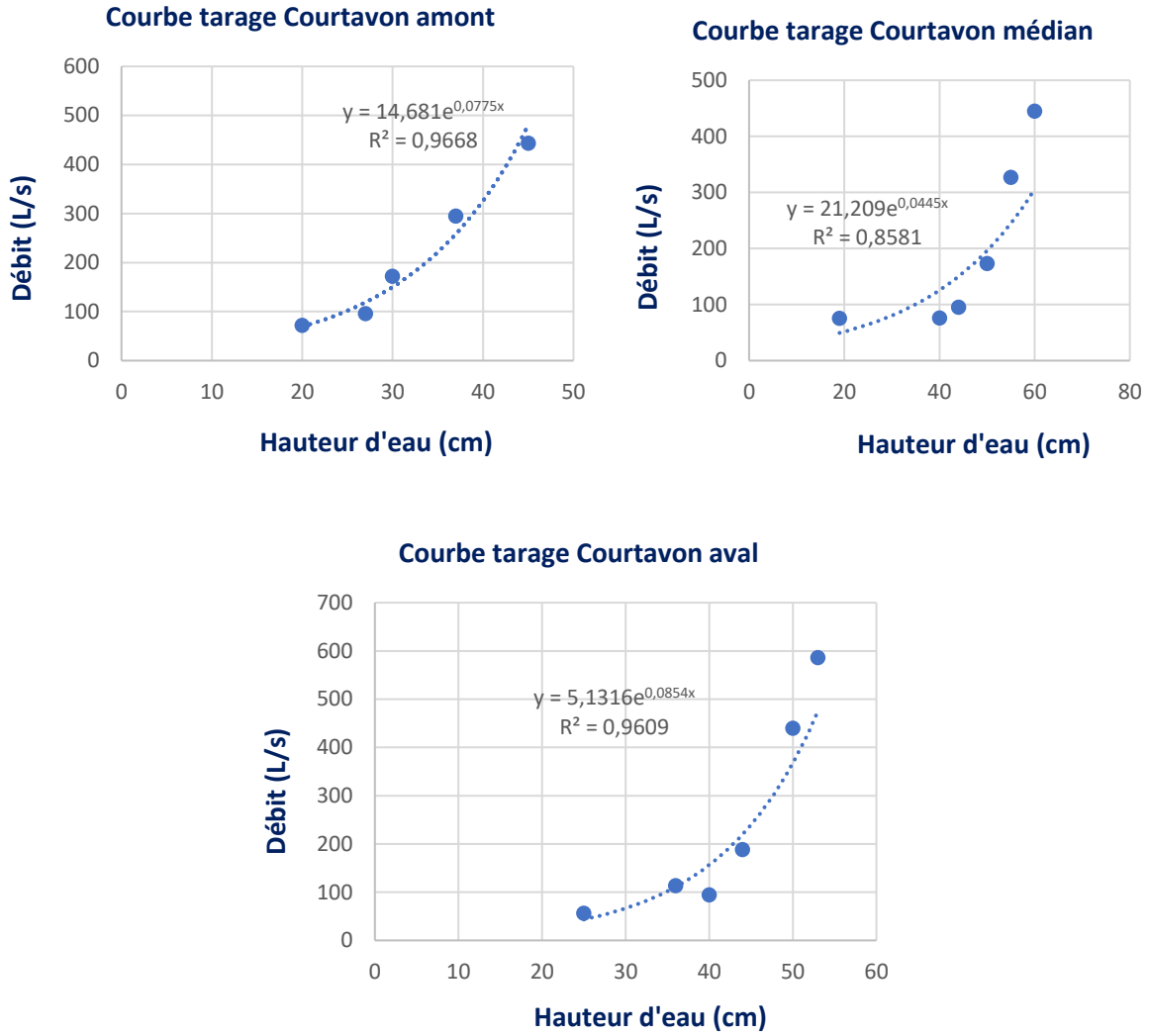


Figure 77 : Courbes de tarages produites sur la Largue à Courtavon.

Les 6 campagnes de jaugeage ont permis de mettre en lumière un régime hydrologique très hétérogène.
Le débit moyen mesuré est de 215L/s en amont, 198L/s en médian et 246L/s en aval (d'avril à septembre 2021). D'importantes variations sont mises en évidences (maximum amont = 443,1/s ; minimum amont = 71,8L/s ; maximum aval = 586,3L/s ; minimum aval = 56L/s).

Si l'hydrologie de l'été 2021 est peu représentative de la norme (année record en termes de pluviométrie) on peut mettre en avant des débits estivaux autours des 160L/s sur la Largue à Courtavon en 2021. A titre de comparatif, le débit mesuré en amont de Courtavon était de 15,3L/s le 27/08/20 et de 45L/s, le 23/09/21. Le module est estimé à 190L/s (source : EPAGE Largue).

Tableau 8 : Résultats des mesures au courantomètre sur les stations de jaugeage en amont, en position médiane et en aval du plan d'eau.

Date	Q_amont (L/s)	H_amont (cm)	Q_median (L/s)	H_median (cm)	Q_aval (L/s)	H_aval (cm)
22/04/2021	/	/	76,03	40,0	113,56	36,0
12/05/2021	443,09	45,0	444,91	60,0	586,30	53,0
04/06/2021	171,75	30,0	172,98	50,0	188,00	44,0
16/06/2021	95,74	27,0	95,13	44,0	94,24	40,0
30/06/2021	294,80	37,0	326,74	55,0	439,88	50,0
31/08/2021	71,67	20,0	74,98	19,0	56,00	25,0

Les mesures sont dans 70% des cas plus élevées en amont et 30% des cas plus élevées en aval (pour juin et aout 2021), mais restent malgré tout très proches. Le débit semble ainsi en général supérieur en aval.

❖ Variations des niveaux d'eau et estimation des débits de la Largue

Les variations des hauteurs d'eau de la Largue en position aval et en position médiane (en aval avec AvCourt et en amont du déversoir du lac avec MedCourt) ont pu être mesurées d'avril 2021 à mars 2022. L'estimation des débits en sortie de déversoir est permise par le calcul (avec PECourt).
Il convient néanmoins de rester prudent quant à l'interprétation des données par leur nature (estimation calculée sur la base de mesures de hauteurs et non de jaugeages précis). Ces estimations sont malgré tout très informatives pour suivre les variations saisonnières. De plus, elles nous renseignent sur l'impact du déversoir.

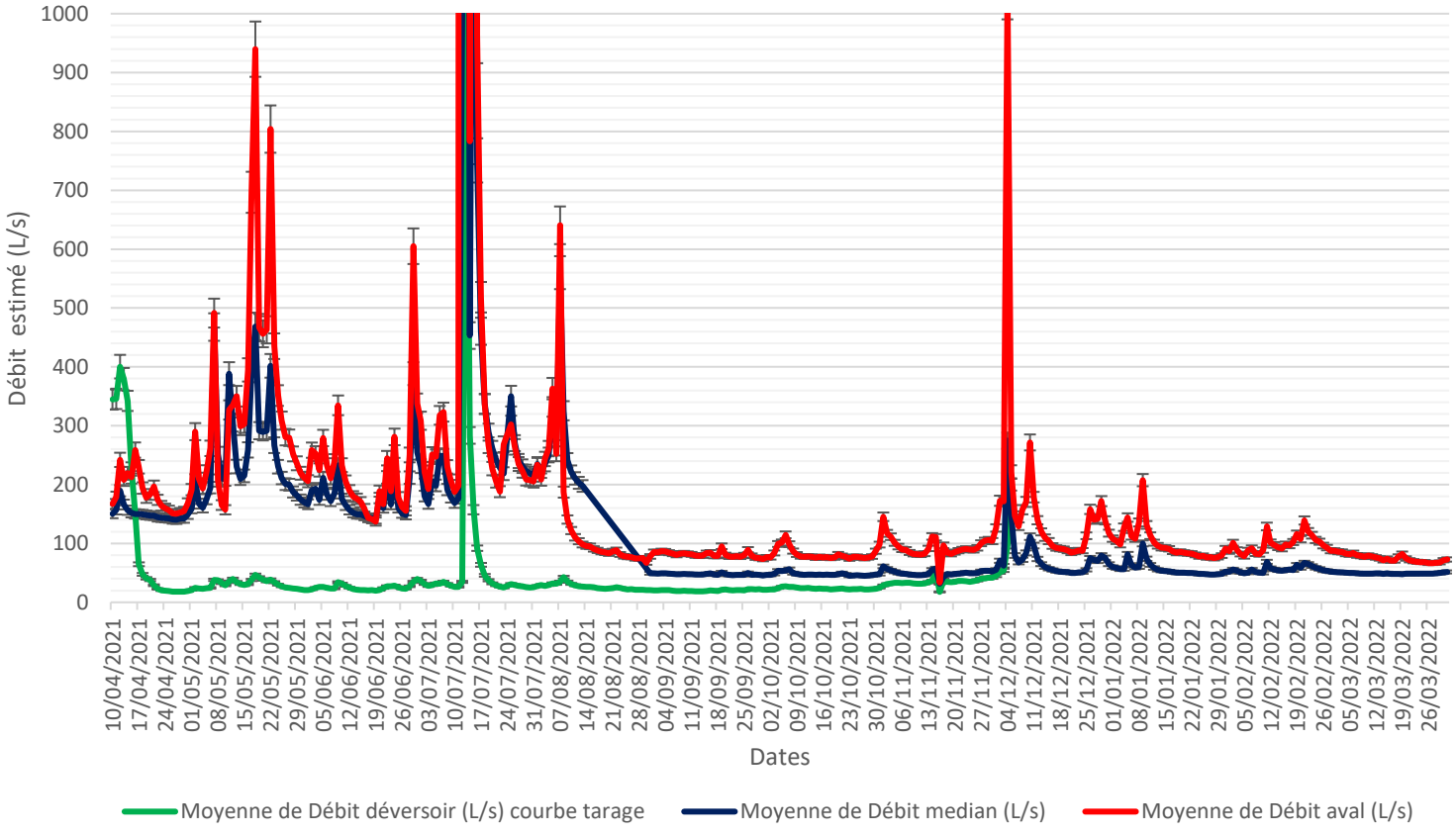


Figure 78 : Débits estimés en position médiane, en aval et au déversoir d'avril 2021 à mars 2022.

Lors de la période étudiée, les estimations présentent des valeurs plus importantes en aval 86,8% du temps. Ces observations mettent en avant un apport d'eau significatif du déversoir du plan d'eau selon les périodes. Les valeurs estimatives concordent avec les valeurs obtenues par jaugeage (70% des valeurs de débit mesurées sont supérieures en amont). Le débit semble ainsi proche des valeurs mesurées même si un estimatif d'incertitude important reste identifié (de 25L/s sur la Largue et de 15L/s sur le déversoir environ).

Les estimations présentent un écart important en 2021 avec des valeurs extrêmes :

- Plus de 20 000L/s au maximum, estimés en aval lors des crues juillet 2021 ;
- Moins de 50L/s au minium en amont et en aval en période d'étiage de septembre à novembre 2021.

Les estimations sont à nuancer lorsque les valeurs de hauteurs sont extrêmes (périodes de crues importantes en mai, juillet notamment). En effet, les intervalles de confiances sont très faibles dans ces cas. De plus, l'année 2021 ayant été particulièrement riche en épisode de forte précipitation, il reste ainsi complexe d'estimer avec précision les débits de crues et les intervalles de confiance en relation. Néanmoins le comparatif avec les valeurs obtenue à l'aval permet de mettre en avant des tendances similaires sur ces épisodes critiques (périodes et ordres de grandeurs).

Tableau 9 : Caractéristiques principales des estimations de débits sur le site de Courtavon sur la période d'avril 2021 à mars 2022 (valeurs aberrantes non prises en compte en gris).

Période du 20 avril au 30 juillet 2021 - Débit Q (L/s)	Moyenne	Ecart type	Max	Min
MedCourt	191,9	114,6	3106,0	44,9
AvCourt	340,0	328,4	21927,2	67,2
PECourt	43,4	32,8	1051,7	17,9

Nombre de jours de mesure	355,0	100,0	%
Nombre de jours de mesure débit MedCourt < AvCourt	308,0	86,8	%
Nombre de jours de mesure débit MedCourt > AvCourt	46,0	13,0	%

	Moyenne PECourt Débit (L/s)	Moyenne de MedCourt Débit (L/s)	Moyenne de AvCourt Débit (L/s)	Moyenne de Ruisseau Court (L/s)
avr	15,2	150,1	185,7	4,8
mai	51,8	250,7	348,3	36,8
juin	28,0	183,3	224,4	10,1
juil	125,2	438,0	4302,4	5,7
août	33,6	214,0	143,4	
sept	7,0	47,8	81,5	
oct	19,5	47,9	82,1	
nov	70,3	49,8	93,7	
déc	498,6	75,3	162,8	
janv	720,1	56,2	99,5	
févr	806,0	55,9	98,7	
mars	500,8	49,3	75,3	

En effet, les résultats mettent en avant la participation des apports en eaux du déversoir du plan d'eau qui sont plus importants au printemps et plus faibles (ou nuls) en été. L'apport du plan d'eau au débit aval est estimé en moyenne à +9,6%. Il est maximum au mois de mai (+14,9%) et minimum au mois de juillet/aout (<3%). Les données calculées après décembre sont supprimées du jeu de données car jugées aberrantes. En effet, une manœuvre de gestion du propriétaire a pu engendrer une modification de la hauteur d'eau (ajout le planches et des grilles, ainsi colmatées par les feuilles mortes de l'automne).

❖ Variation des niveaux d'eau de l'étang

Les variations des hauteurs d'eau de l'étang ont pu être mesurées d'avril 2021 à mars 2022. Globalement, les variations sont homogènes mais le marnage peut être important (52,8cm sur la période d'avril à mars). La hauteur d'eau est maximum avec 552,1cm et la hauteur d'eau minimum est de 499,3cm.

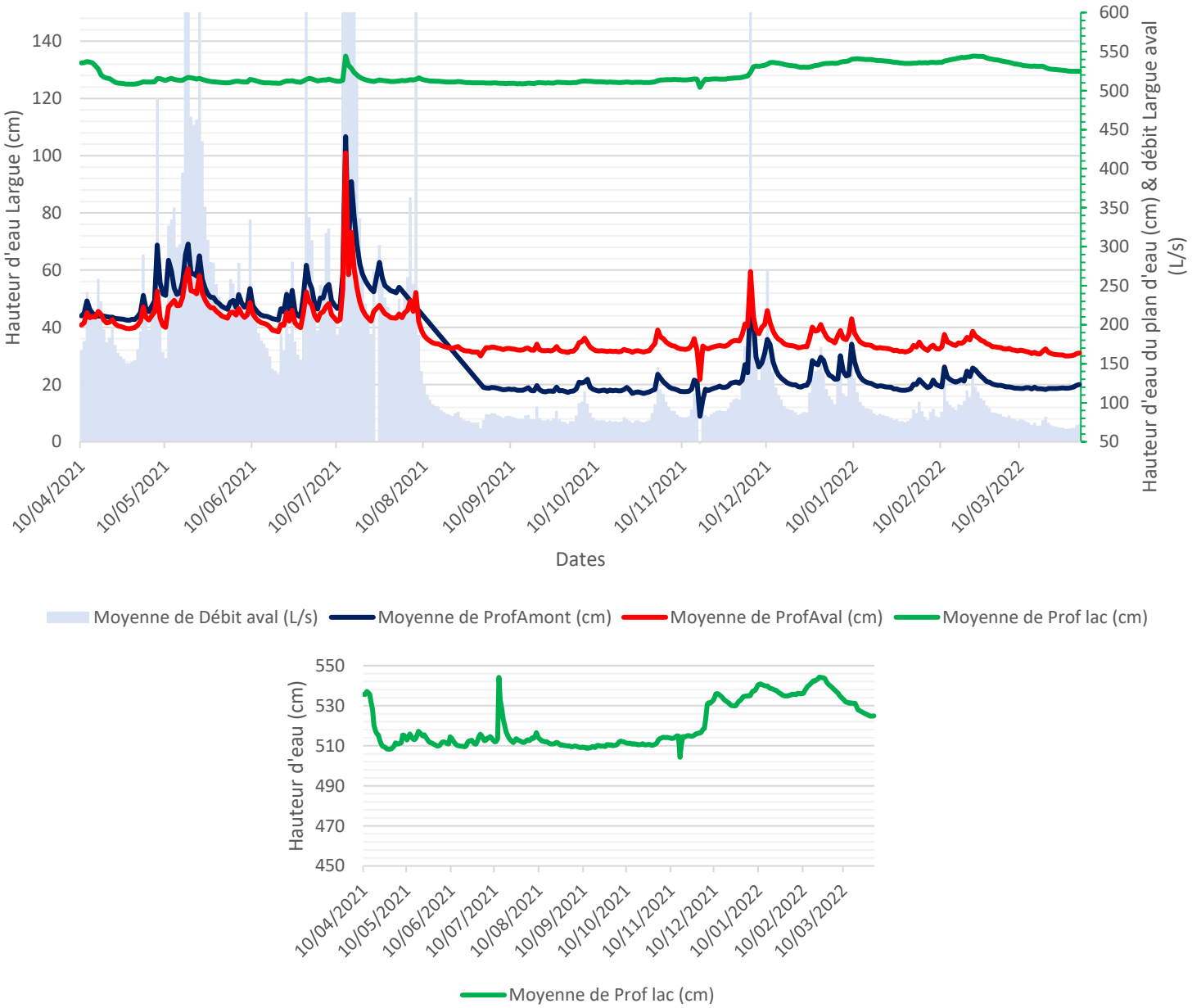


Figure 79 : Hauteur d'eau du plan d'eau de Courtavon, de la Largue et débits estimés en aval d'avril 2021 à mars 2022.

Aux prémices de l'étude, la nécessité de nettoyer le déversoir pour permettre un suivi s'est imposé. Le plan d'eau était ainsi plus haut avant l'étude (de plus de 30cm).

- La hauteur d'eau du plan d'eau est plus faible et stable de juillet à octobre (510cm) ;
- La hauteur d'eau du plan d'eau est variable en fonction des précipitations de mai à juillet (de plus ou moins 10cm) ;
- La crue de juillet 2021 a également impacté la hauteur du plus plan d'eau (544cm)
- Le plan d'eau a été rehaussé de près de 30cm à partir de décembre (en partie à cause d'une manœuvre de gestion du propriétaire et du colmatage des grilles induits par les déchets végétaux de l'automne). Cette augmentation correspond également à une hausse importante des hauteurs d'eau de la Largue.

Une modification du niveau d'eau du plan d'eau de 10cm représente un changement de volume de 16 000m3. Un changement de la lame d'eau de 30cm induit un changement de volume de près de 50 000m3 d'eau. De telle modifications peuvent avoir un impact :

- Sur l'interface berge/eau et la disponibilité en habitats ;
- Sur la stratification thermique, la thermie générale et le réchauffement de l'eau ;
- Sur le temps de résidence et les équilibres physico-chimique.

Il semble ainsi particulièrement pertinent de mettre en avant la nécessité de déployer des manœuvres de gestion concertées et non pas au cas par cas en fonction de besoins ponctuels. C'est particulièrement le cas lors d'épisodes court ou critiques (étiages, crues) appelant parfois à une gestion de crise du lac (et des niveaux d'eau).

❖ Bilan des flux

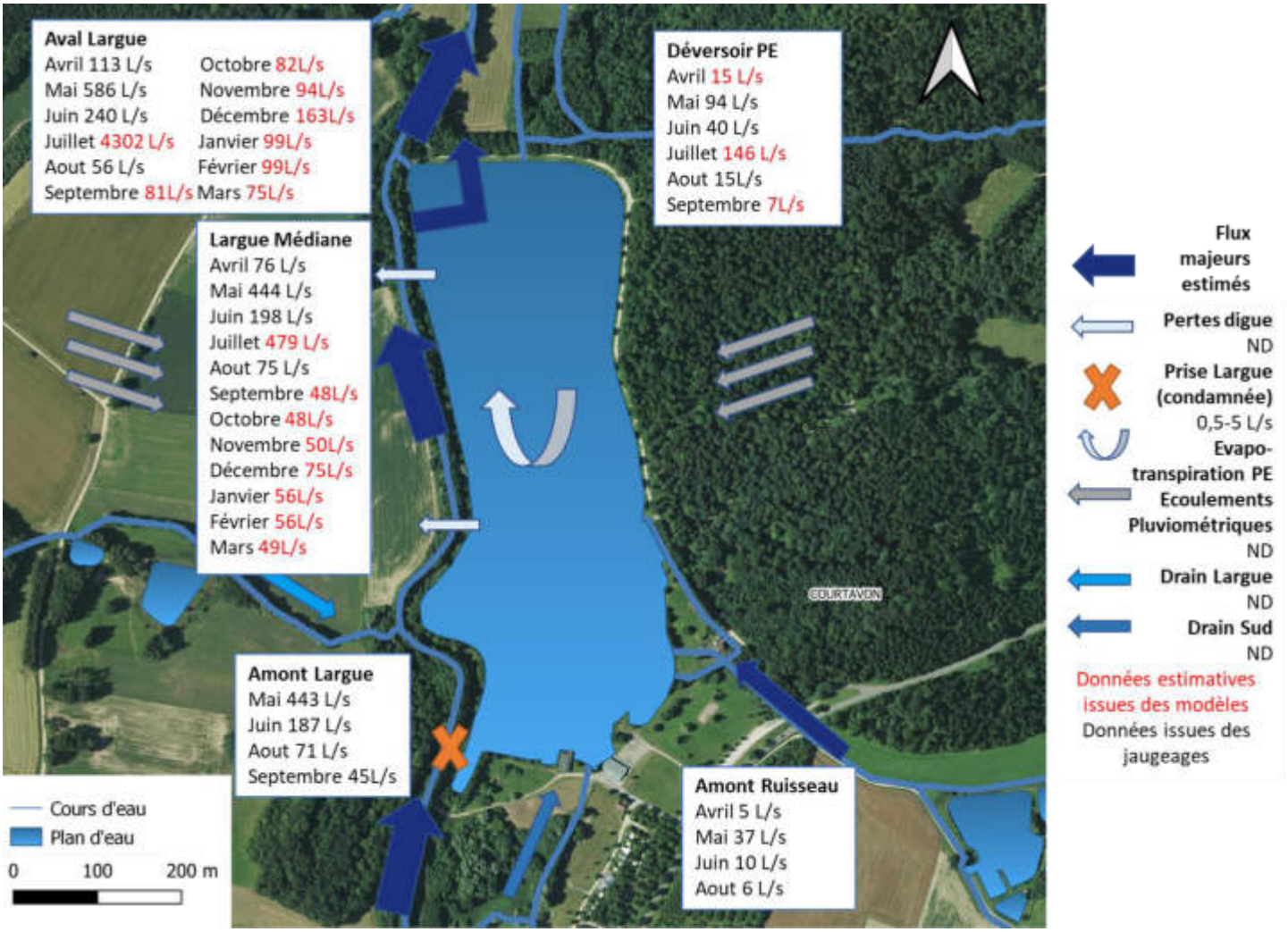


Figure 80 : bilan hydrologique du site de Courtavon.

A titre de comparatif, les données de l'ancienne station de mesure de la Largue à Courtavon sont présentées (période 1976-1981). L'année 2021 est ainsi fortement divergente, notamment par rapport aux moyennes mensuelles. Des crues hivernales ont été observées en juillet et un étiage estival a été observé (en moindre mesure) lors de l'hiver 2021.

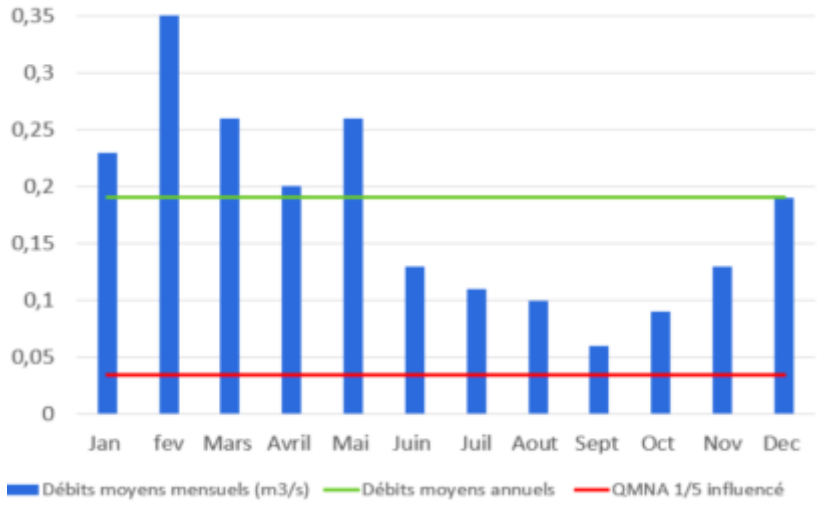


Figure 81 : Débits mensuels de la Largue à Courtavon (sources : hydroportail 2022 et EPAGE Largue).

Les composantes principales du bilan hydrologique sont :

- ➔ L'apport d'eau par le ruisseau à l'est (qui s'écoule totalement dans le plan d'eau) ;
- ➔ Les apports en eau atmosphérique (précipitations) ;
- ➔ Les apports d'eau par ruissellements via les ruissellements forestier ;
- ➔ Les pertes en eaux au niveau de la digue à l'Ouest ;
- ➔ Les pertes en eaux via le déversoir vers l'aval de la Largue.

Le temps de résidence peut s'estimer par extrapolation du débit moyen sortant, lui-même obtenu lors des 12 mois d'étude et des 6 mois de suivi plus robuste du déversoir (40 L/s, soit 0.040 m³/s, débit estimé sans la crue de juillet 2021). La quantité d'eau sortant sur un an est d'environ 1 260 000 m³. Le temps de résidence correspond au volume du réservoir divisé par les flux sortants durant un an. Le temps de résidence est de 0,26 an soit 95 jours.

d) Volet thermie

Afin de suivre les variations thermiques de la Largue et du plan d'eau mais aussi dans le but d'identifier et de quantifier l'impact thermique du plan d'eau, 9 stations ont été suivies du 10/04/21 au 30/03/22 avec :

- L'amont éloigné (AmECourt ou L02) ;
- L'amont en position médiane sur le linéaire étudié (MedCourt) ;
- L'aval immédiat (AvCourt) ;
- L'aval éloigné (AvECourt ou L04) ;
- La surface du plan d'eau à l'ombre, proche de l'exutoire (ExtCourt) ;
- La surface du plan d'eau en plein soleil (SurfaceCourt) ;
- Le milieu du plan d'eau à mi-profondeur (à 2,5m - MilieuCourt)
- Le fond du plan d'eau (à 5m - FondCourt) ;
- Le ruisseau principale affluent (RuisseauCourt).

❖ Températures moyennes journalières

Les profils thermiques généraux de l'ensemble des stations sont caractérisés par deux principaux groupes principaux :

- Les stations situées sur la Largue, avec des amplitudes faibles (13,57 ± 10,71) et des profils homogènes (notamment plus en amont) ;
- Les stations situées au sein du plan d'eau de Courtavon et sur le ruisseau à l'Est, avec des amplitudes importantes durant l'étude (18,44 ± 13,33), des températures globalement plus chaudes et des profils hétérogènes.

C'est particulièrement le cas à la surface du plan d'eau avec 13,6°C d'amplitude thermique entre les valeurs les plus baisses et les plus hautes de la station au soleil (et 18,1°C d'amplitude thermique maximale à l'ombre).

La température la plus faible (entre avril et octobre) est mesurée en amont en avril (6,85°C) et la température instantanée la plus chaude est mesurée sur la surface du plan d'eau (28,8°C le 19/06/21). Si on considère la période étudiée la plus longue avec l'amont, l'aval et le plan d'eau (sur une année complète) : les minimales sont observées en décembre 2021 (1,6°C le 23/12/21) et les maximales toujours en juin. En effet, l'année 2021 a été caractérisée par un été particulièrement pluvieux et clément en termes de température maximales.

Les réchauffements de l'eau les plus importants sont observés : en juin, fin juillet et en aout. L'année 2021 est caractérisé par des températures estivales en juillet-aout plus faibles que les moyennes saisonnières classiques.

Les températures décroissent très rapidement après le mois d'octobre 2021. Elles sont ensuite comprises entre 1,6 et 8,9°C entre octobre et fin février.

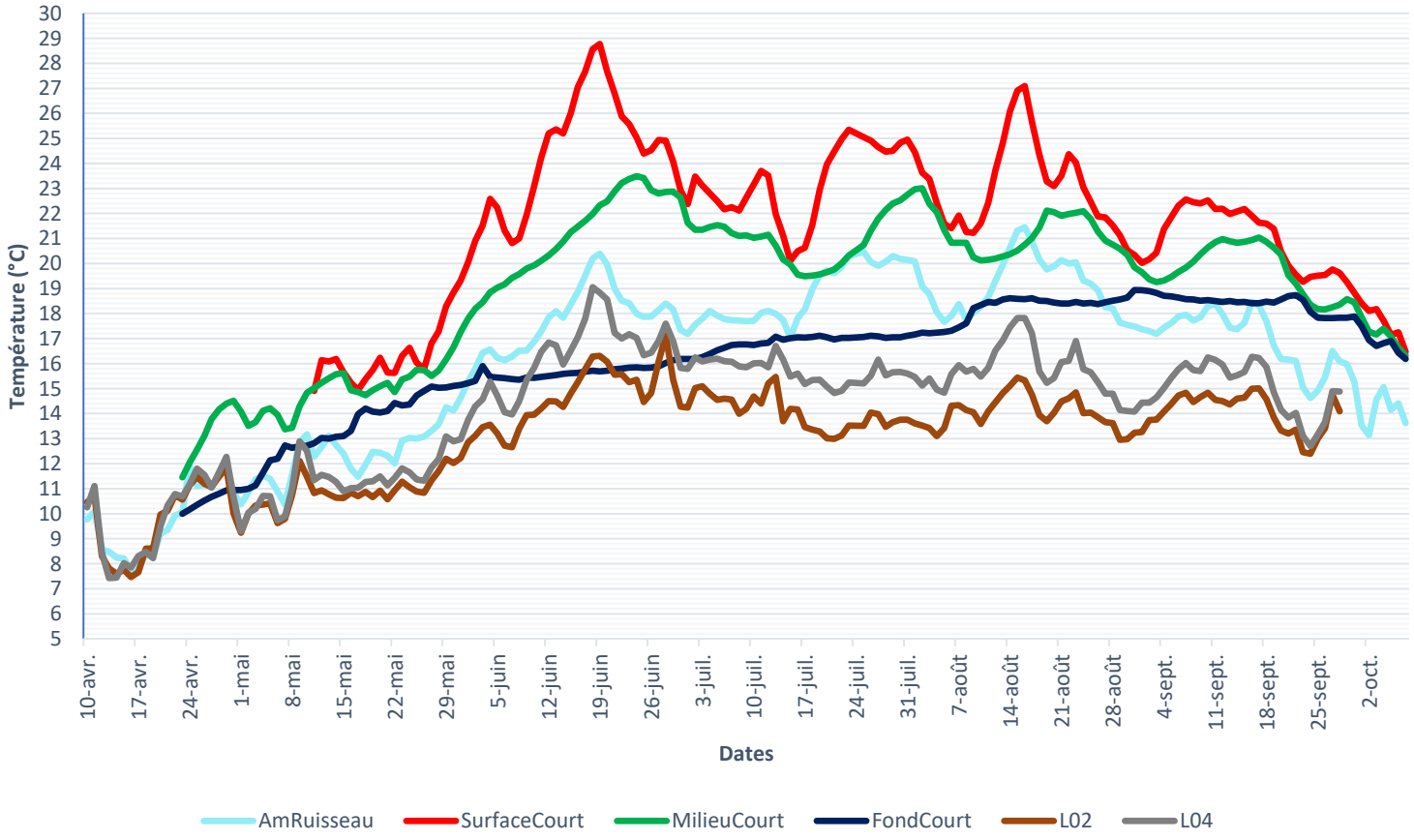


Figure 82 : profils thermiques et températures moyennes journalières des 6 stations annexes du site de Courtavon (plan d'eau, affluent et zones éloignées).

Les profils thermiques de l'amont (MedCourt), l'aval (AvCourt) et de la surface de l'étang (ExtCourt et SurfaceCourt), suivent les mêmes variations liées à la météorologie et aux variations de température atmosphériques. Néanmoins un écart important est visible entre les stations situées sur la Largue (amont et aval) et sur la surface du plan d'eau. Cette observation est particulièrement notable d'avril à novembre.
En effet, l'écart moyen entre la Largue et le plan d'eau est de 6°C (entre avril et septembre), avec parfois des extrêmes importants (comme 11°C de différence entre la Largue amont et la surface du plan d'eau le 19/06/21).
Ensuite, entre novembre et début mars, les profils thermiques de la Largue et du plan d'eau sont proches (avec une amplitude thermique moins marquée pour le plan d'eau lié à son inertie).

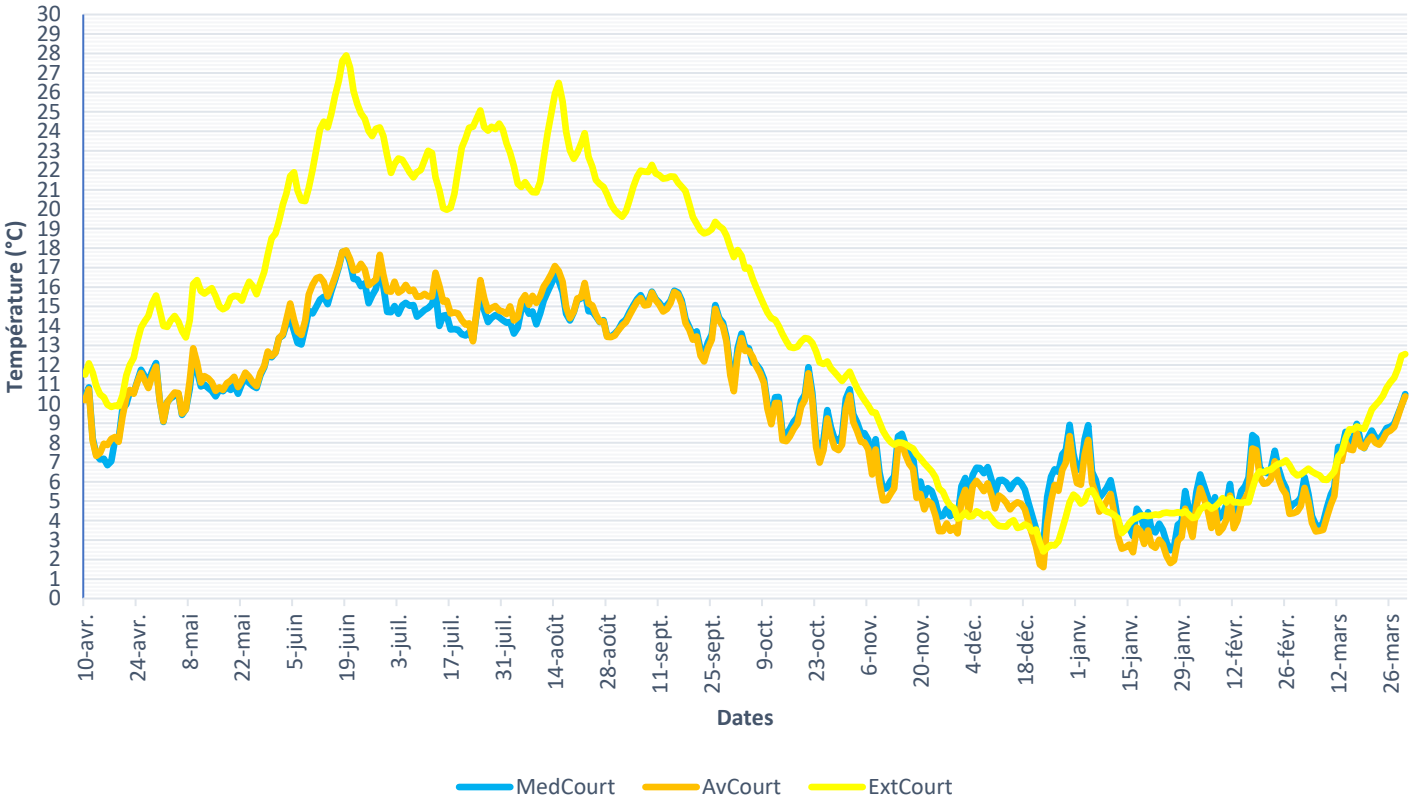


Figure 83 : profil thermique et températures moyennes journalières des 3 stations principales du site de Courtavon (Largue et exutoire).

Le profil thermique du fond (5m) et du milieu du plan d'eau (2,5m) divergent en revanche des autres. En effet, les variations de température sont moins marquées et les amplitudes plus faibles. Le plan d'eau de Courtavon présente une stratification thermique. Avec :

- Le fond du plan d'eau qui présente des températures homogènes et bien plus faibles qu'en surface (15,6°C au mois de juin contre 24,3°C en surface). Les eaux y sont bien plus froides au printemps et en été puis se réchauffent à partir de la fin aout (max : 18,9°C le 31/08/21 – min 10°C le 23/04/21) ;
- Le milieu du plan d'eau avec des variations de températures moins marquées et des amplitudes plus faibles qu'en surface ne dépassant pas 24°C ;
- La surface du plan d'eau avec des amplitudes thermiques fortes et marquées aussi bien à l'ombre qu'au soleil. Des températures maximales de près de 30°C y sont atteintes en été.

On note également des températures importantes dans le ruisseau (affluent à l'est) en inéquation avec ce qui est attention pour cette typologie. Cette observation renseigne d'un impact déjà important de réchauffement de l'eau de ce ruisseau (probablement lié aux étangs situés en amont).

❖ Régime thermique mensuel

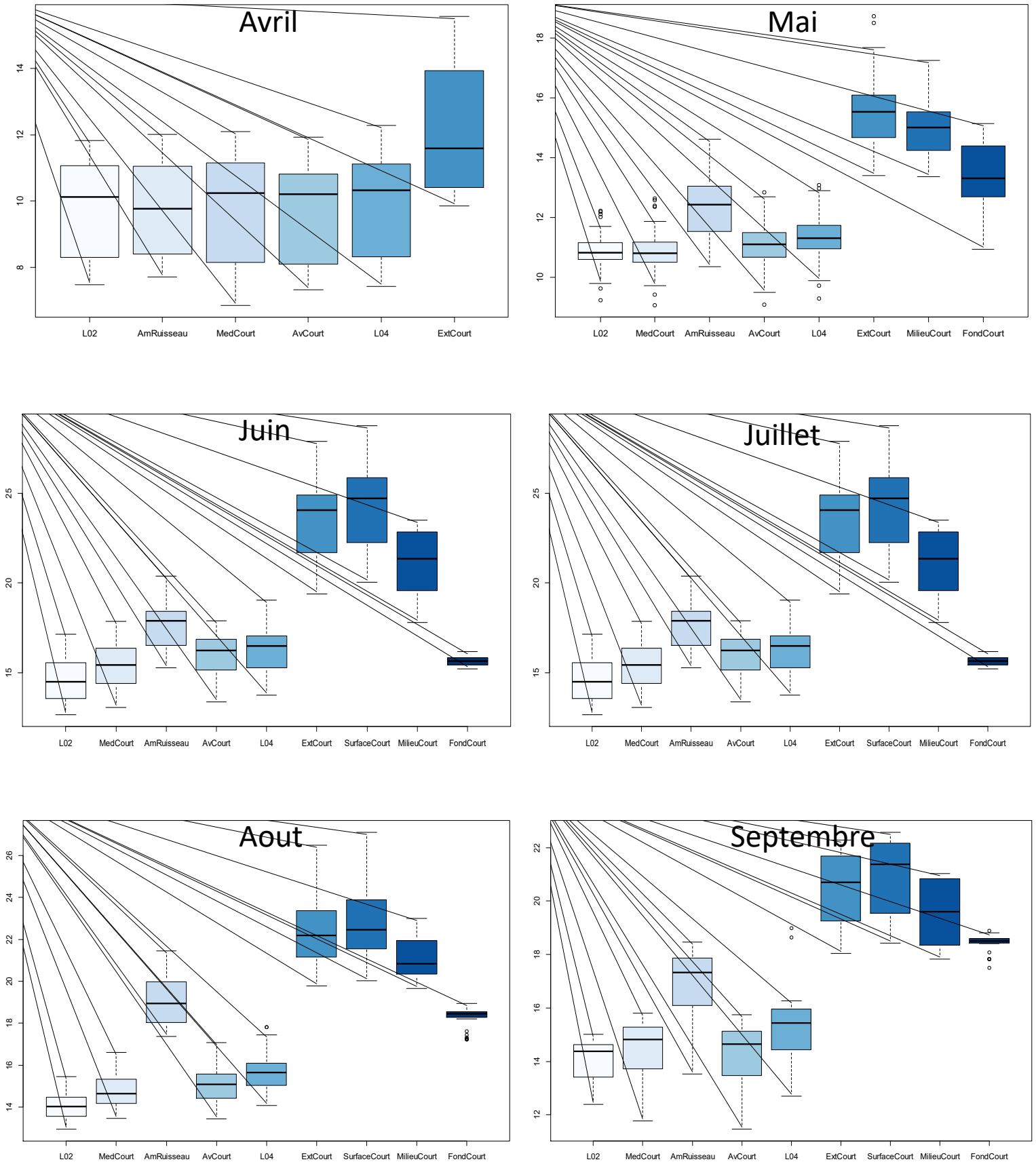


Figure 84 : boxplots des températures moyennes mensuelles des 9 stations du site de Courtavon.

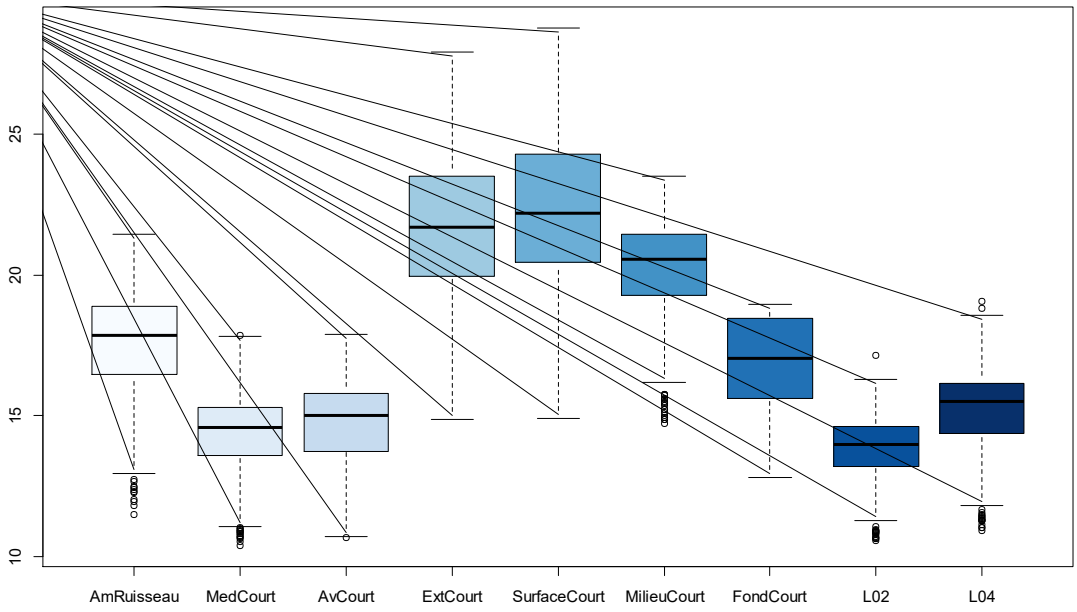


Figure 85 : boxplots des températures journalières moyennes sur 6 mois (fin-avril à début-octobre) des 9 stations du site de Courtavon.

❖ Identification et quantification de l'impact thermique du plan d'eau

Une analyse statistique comparative entre l'amont (AmCourt) et l'aval (AvCourt) est réalisée afin de connaitre la significativité de l'impact du plan d'eau. L'hypothèse est la suivante : est-ce que la thermie est différente en aval du lac ? Le but est de déterminer si la différence entre l'amont et l'aval est significative (potentiellement à cause du lac et du déversoir) et non due au hasard. Le test réalisé est un test de Student apparié avec les hypothèses suivantes :

- H0 = Pas de différence entre l'amont et l'aval, intervention du hasard ;
- H1 = Différence entre l'amont et l'aval, non due au hasard.

Les résultats du test permettent de mettre en avant des différences significatives pour l'ensemble des périodes étudiées entre l'amont et l'aval (Pvalue=2.2e-16<0,05). Les tableaux complets de significativités sont consultables en annexe.

Comparatif Amont / Aval Courtavon

Test Student apparié	Moyennes journalières
Statistique t	-11.421
Dégré de liberté	73
P-valeur	2.2e-16
Intervalle de confiance (95%)	-0.6458515 - 0.4539367
Moyenne de la différence	-0.5498941
Décision	p-valeur<0,05 rejet H0

Les données thermiques ont ensuite été comparées entre les mois au sein d'une même station (comparatif intra-station) et entres stations pour un même mois (comparatif inter-station).

Ainsi :

- À l'amont : un réchauffement important est observé entre mai et juin (avril et mai non significativement différent entre eux). Les mois suivants sont relativement plus homogènes. C'est particulièrement le cas en été avec aucune différence significative entre les mois de juillet, aout et septembre. Avril est le mois le plus frais entre avril et octobre. Sur un cycle d'un an c'est janvier qui présente les moyennes les plus froides (avec quelques températures extrêmes en décembre). Les températures sont plus hétérogènes entre octobre et mars où les écarts les plus importantes sont observés.

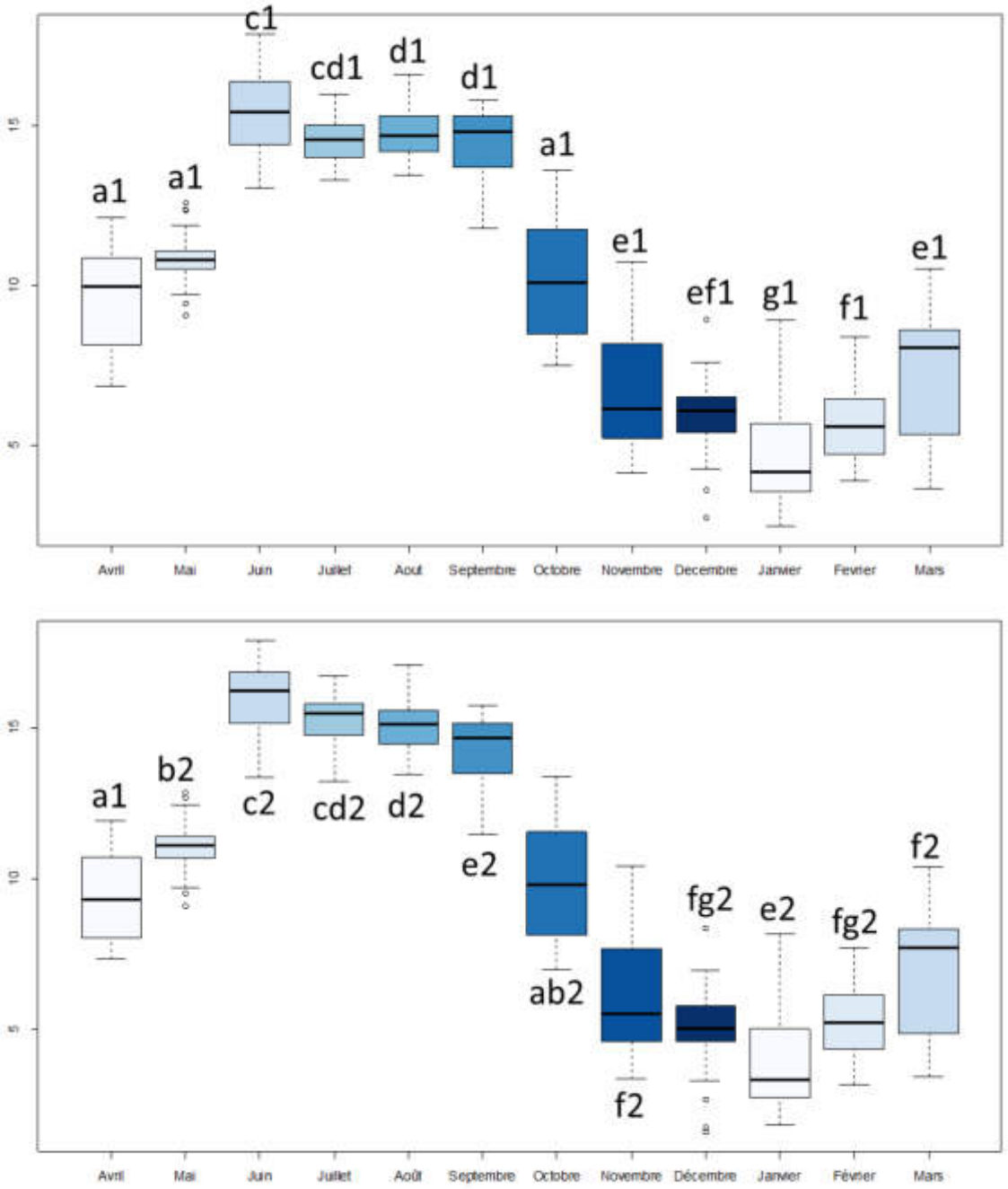


Figure 86 : Boxplots comparatifs des températures moyennes mensuelles entre l'amont (en haut) et l'aval (en bas) du plan d'eau de Courtavon. Les lettres représentent les groupes de significativités issus du comparatif intra-station et les chiffres les groupes issus du comparatif inter-stations.

- A l'aval : un réchauffement important est observé entre mai et juin (avril et mai non significativement différent - Pvalue>0,05). Les mois suivants sont également plus homogènes. En été aucune différence significative n'est démontrée entre les mois de juillet, aout et septembre. Avril est le mois le plus frais entre avril et octobre. Sur un cycle d'un an c'est janvier qui présente les moyennes les plus froides (avec quelques températures extrêmes en décembre). Les températures sont plus hétérogènes entre octobre et mars où les écarts les plus importantes sont observés. Le mois le plus chaud est le moins de juin, ce qui est une particularité de 2021 à cause de la pluviométrie très importante de mai, juillet et aout. Les moyennes de juin, juillet et aout ne sont pas significativement différentes entres elles.
- Si on compare l'amont et l'aval, la plupart des moyennes mensuelles sont significativement différente de mai à octobre (Pvalue<0,05). Les température moyennes d'avril ne sont pas significativement différentes (Pvalue=0,75). Si une divergence légère est validée entre l'amont et l'aval, il convient de la quantifier (tableau 10).

En effet, la température de la Largue est donc globalement :

- ➔ Supérieure en aval de mai à aout (4 mois) ;
- ➔ Inférieure en aval de septembre à mars (7mois)
- ➔ Non significativement différente en avril.

Tableau 10 : Résultats des moyennes mensuelles du site de Courtavon et quantification de l'impact thermique du plan d'eau.

Moyennes mensuelles	Amont Eloigné (L02)	Amont (MedCourt)	Aval (AvCourt)	Aval éloigné (L04)	Réchauffement dû à l'étang Am/Av	EcartType	Réchauffement AmE/Am	EcartType	Réchauffement Av/AvE	EcartType
avr-21	9,74	9,61	9,68	9,86	0,07	0,04	-0,13	0,07	0,18	0,09
mai-21	10,87	10,92	11,13	11,33	0,21	0,10	0,05	0,03	0,20	0,10
juin-21	14,63	15,37	15,94	16,29	0,56	0,28	0,75	0,37	0,35	0,17
juil-21	14,05	14,53	15,27	15,71	0,74	0,37	0,48	0,24	0,44	0,22
août-21	14,04	14,74	15,11	15,70	0,37	0,19	0,70	0,35	0,59	0,30
sept-21	14,51	14,49	14,31	15,37	-0,18	0,09	-0,02	0,01	1,06	0,53
oct-21	12,00	10,16	9,83		-0,32	0,16	-1,84	0,92		
nov-21		6,60	6,01		-0,59	0,30				
déc-21		5,90	5,01		-0,89	0,45				
janv-22		4,69	3,91		-0,78	0,39				
févr-22		5,73	5,12		-0,61	0,30				
mars-22		7,29	6,97		-0,31	0,16				

Le comparatif des écarts thermiques entre l'amont et l'aval permet de quantifier l'impact thermique relatif au plan d'eau. L'impact du plan d'eau de Courtavon sur la Largue est ainsi estimé à +0,47°C sur la période de mai à aout. L'impact thermique est de +0,56°C lors du cœur de la période estivale de juin à aout. Le mois de juillet présente le plus de différentiel avec +0,74°C.

Durant la période d'octobre à mars, la moyenne mensuelle est plus élevée en amont (entre +0,18°C et +0,89°C).

A contrario des comparatifs sont effectués :

- Entre l'amont éloigné (L02) et l'amont (MedCourt), mettant ainsi en évidence des tendances similaires en termes de réchauffement lié à la traversé urbaine et à la traversé des prairies en amont du lac (+0,48 à +0,75°C de juin à aout) ;
- Entre l'aval éloigné (L04) et l'aval (AvCourt), dans la zone en amont du site de Pfetterhouse, mettant en évidence des divergences de plus grandes importances (+0,35 à +1,06°C de juin à aout).

A titre de comparatif les moyennes estivales de réchauffement sont estimées à 3°C (1°C en moyenne annuelle) pour les étangs à moines et sont généralement inférieure à 3°C pour les étangs en dérivation (Touchart et al. 2007).

L'impact thermique du plan d'eau de Courtavon est donc modéré (+0,5°C à +1°C) et concentré sur 4 mois, de mai à aout. Cette période peut être identifiée comme l'intervalle temporel sur lequel centrer une attention plus forte en matière de gestion serait pertinent. L'impact semble plus significatif lors des périodes les plus chaudes.

Dans le cadre du suivi de l'impact du site et afin de permettre d'affiner ces tendances, les dispositifs de mesure sont laissés en place (l'année 2021 étant très divergente par rapport aux températures interannuelles classiques).

❖ <u>Optimum thermique des espèces et 30 jours les plus chaud</u>

La figure 87 permet de rendre compte plus schématiquement de ces observations. En effet, les moyennes des 30jours les plus chauds permettent de mettre en évidence les fait suivants:

- Malgré les quelques étangs répartis sur le cours de la Largue et la traversé urbaine de Courtavon, la Tmoy30J de la station amont éloigné ne dépasse pas 15,1°C en 2021 (la Tmoy30J était de 18°C en 2020) ;

- Les Tmoy30J de la surface du plan d'eau et du fond présentent un écart de 6,1°C. Elle est plus élevée sur la surface au soleil (24,7°C) mais reste proche à l'ombre (24°C) ;

- La Tmoy30J de la station aval est de 16,4°C soit 0,7°C plus élevé qu'à l'amont (15,7°C). En 2020, la TMoy30J de la station amont était de 19°C ;

- La Tmoy30J de la station aval éloigné est de 16,7°C en 2021 (19°C en 2020). Ce secteur est situé à 1,5km plus en aval et semble plus problématique ;

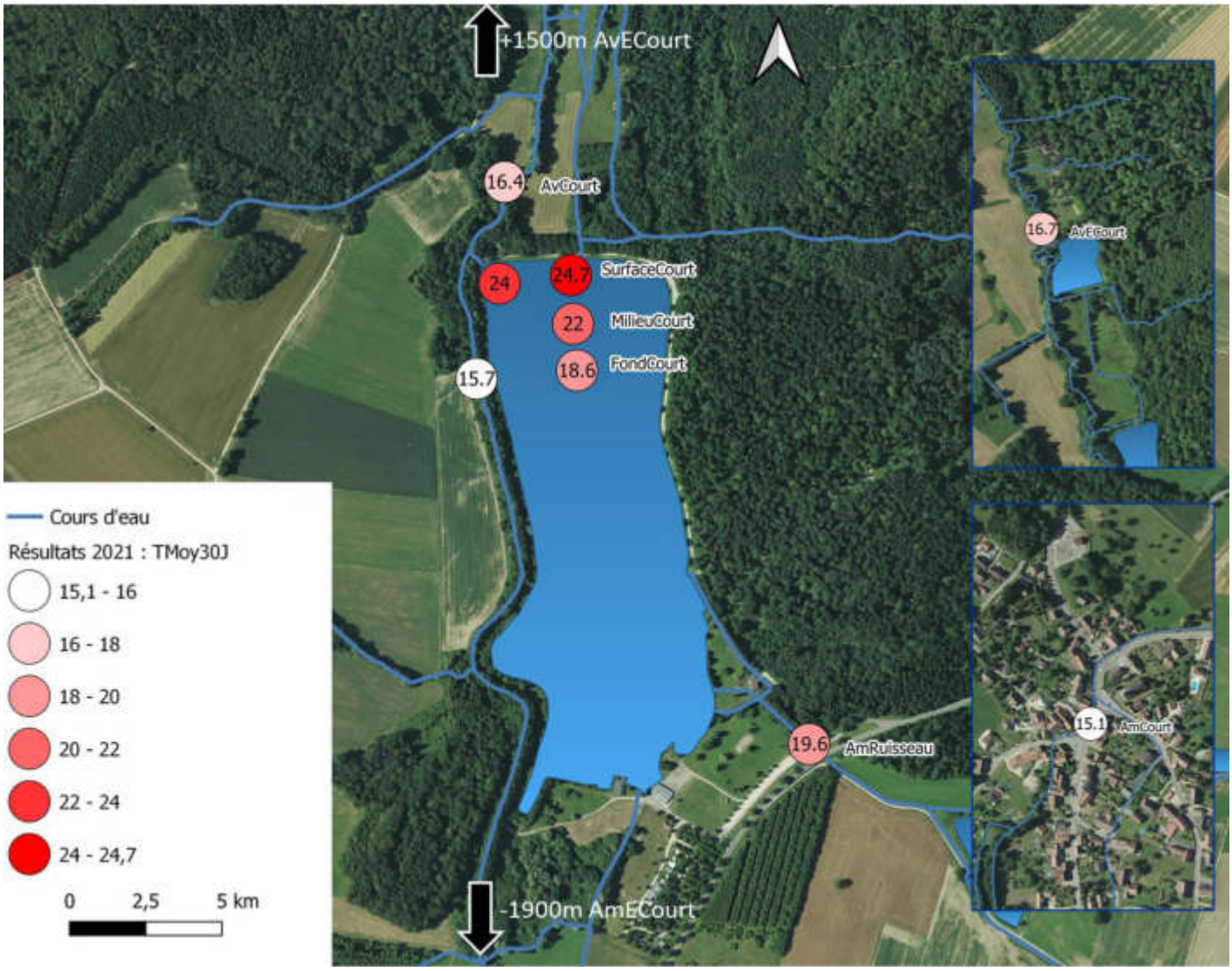
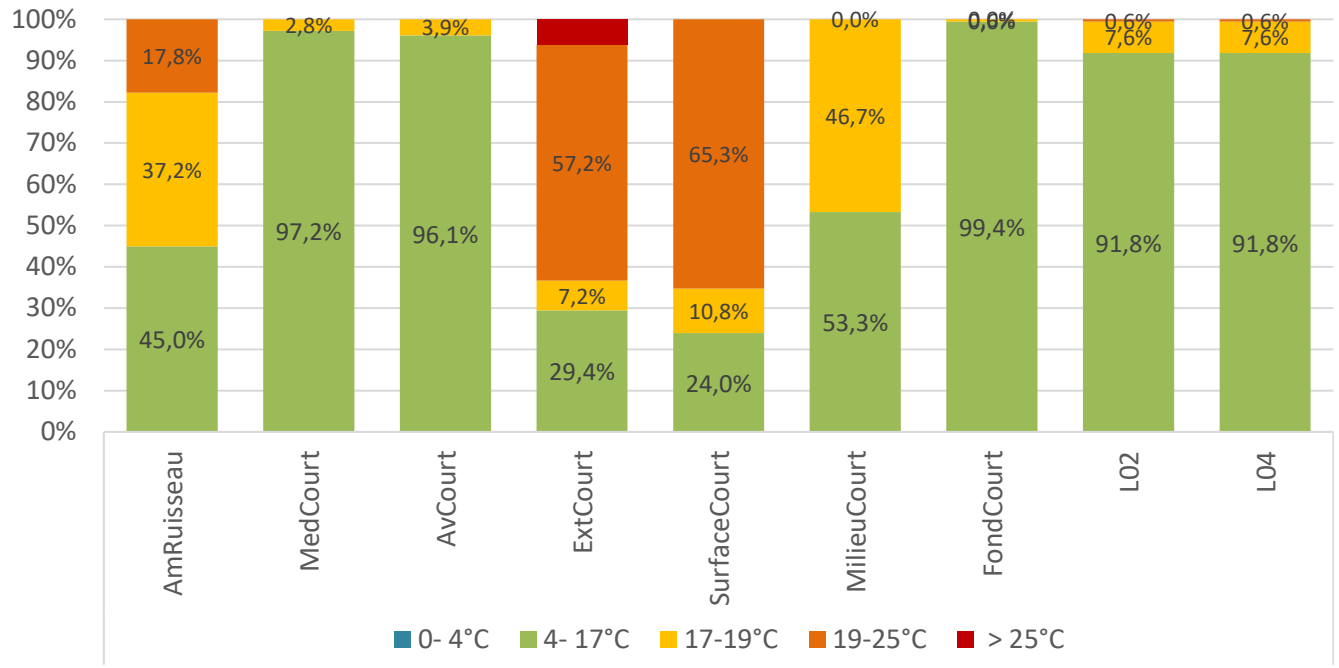


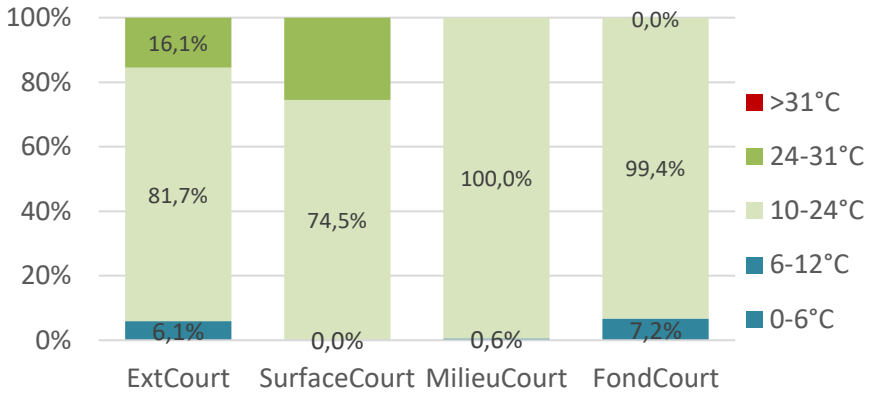
Figure 87 : Résultats des moyennes des 30 jours les plus chauds sur le site de Courtavon.

En termes de préférendum thermique, les stations sur la Largue présente des températures très favorables au développement de la Truite fario en 2021 (MedCourt, AvCourt, L02 et L04). En effet, c'est plus de 90% des moyennes journalières qui sont comprises dans l'optimum thermique de l'espèce (4-17°C).
En revanche les températures mesurées sur la surface du plan d'eau sont incompatibles avec les préférences et les optimums thermique de la Truite. En effet, moins de 30% des valeurs sont inférieures à 17°C et plus de 57% des valeurs sont supérieures à 19°C. Le seul léthal de 25°C est également atteint sur 6,1% des valeurs au niveau de la surface du plan d'eau. Au milieu du plan d'eau le constat est plus contrasté avec la majeure partie des températures restant en dessous de 19°C. Malgré tous, des extrêmes sont atteints.

Les températures mesurées dans le ruisseau (affluent à l'est) sont également particulièrement importantes pour un affluent de ce gabarit. En effet, 45% des valeurs sont comprises entre 4 et 17°C et 17,8% dépassent 19°C.

Les répartitions des températures en fonction de l'optimum du Brochet sont également présentées à titre de comparaison. Dans ce cas, le plan d'eau de Courtavon semble parfaitement compatible avec les préférences de cette espèce (100% des valeurs comprises entre 10 et 24°C au milieu du lac).





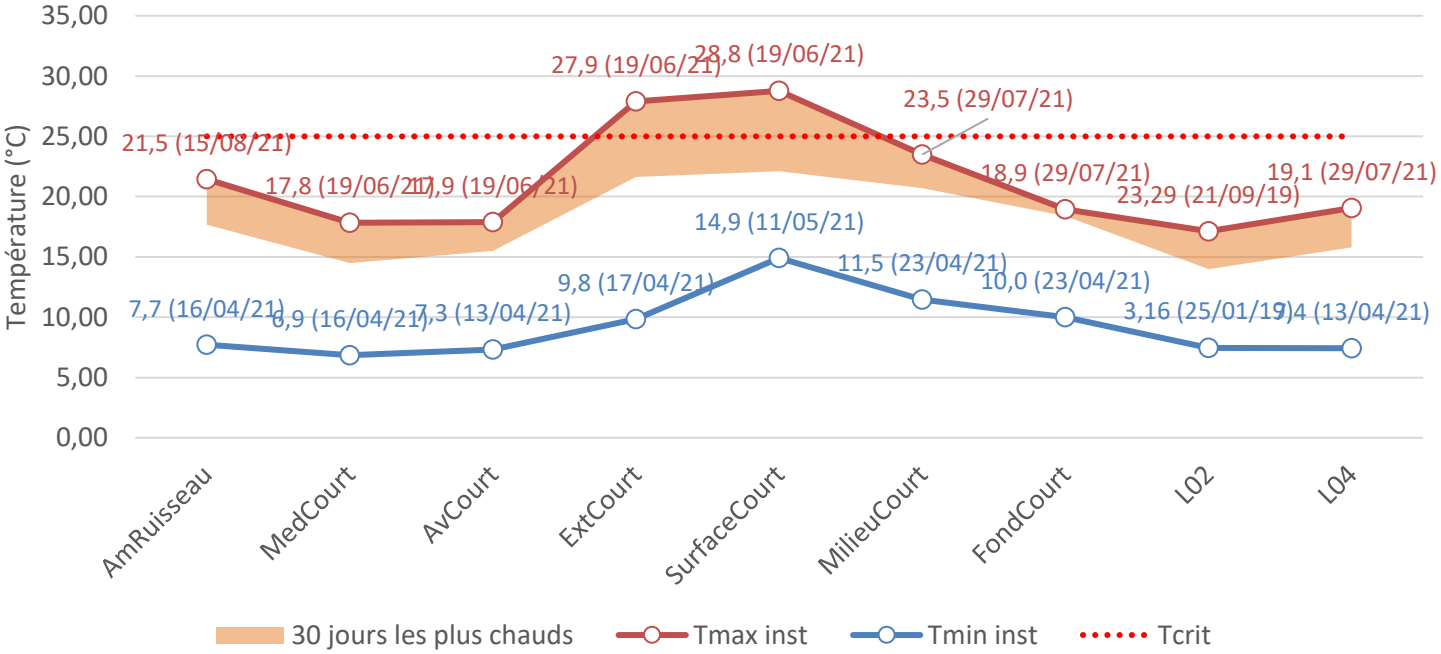


Figure 88 : Résultats des moyennes des 30 jours les plus chauds sur le site de Courtavon et répartition des températures moyennes selon le préférendum thermique de la truite fario et du Brochet.

e) Volet physico-chimique

Lors du volet physico-chimie, c'est 270 mesures qui ont été réalisées d'avril 2021 à octobre 2021. 10 campagnes ont ainsi été réalisées de manière bimensuelles. 3 types de stations différentes sont suivies sur le site avec :

- 11 stations complètes avec la mesure des paramètres suivants : concentration en oxygène dissous, saturation en oxygène, pH, DBO5, conductivité, nitrites, nitrates, ammonium et orthophosphates ;
  - Dont 2 stations lacustres complètes situées : au Nord et au Sud avec pour chacune, 3 prélèvements à plusieurs hauteurs d'eau différentes (soit surface (15cm de la surface), milieu (1/2 de la profondeur mesurée) et fond (15cm du fond mesuré)). Ces stations ont fait l'objet de mesures de la transparence au disque de Secchi ;
- 16 stations multiparamétriques simples avec : sur le plan d'eau, 4 transects de 4 points avec la mesure des paramètres suivants : concentration en oxygène dissous, saturation en oxygène et pH. Ceci, dans le but de mettre en évidence ou de suivre des disparités géographiques sur la surface du lac.

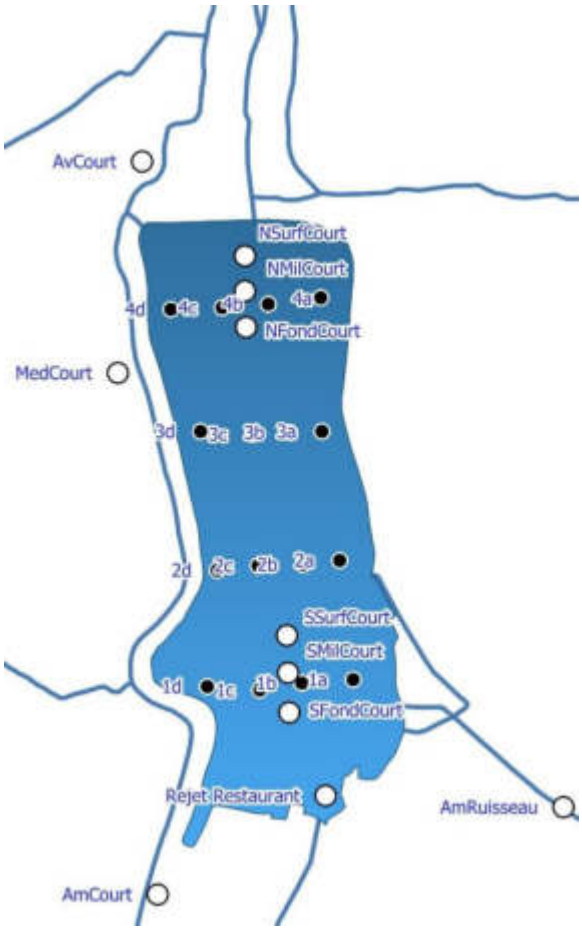


Figure 89 : Schéma simplifié des localisations et noms des diverses stations d'analyses physico-chimiques.

La connaissance de la qualité physico-chimique sous-tendant la biologie a été permise à travers plusieurs approches via :

- L'étude des concentrations moyennes (mesurées d'avril à octobre 2021) ;
- L'études des concentrations maximales (mettant en évidence des épisodes critiques ou des pics de concentrations) ;
- L'étude de la qualité physico-chimique du plan d'eau.

L'évaluation des classes de qualité de ces différents paramètres est réalisée à l'aide de « 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 tableaux complets sont consultables en annexes.

❖ Concentrations moyennes

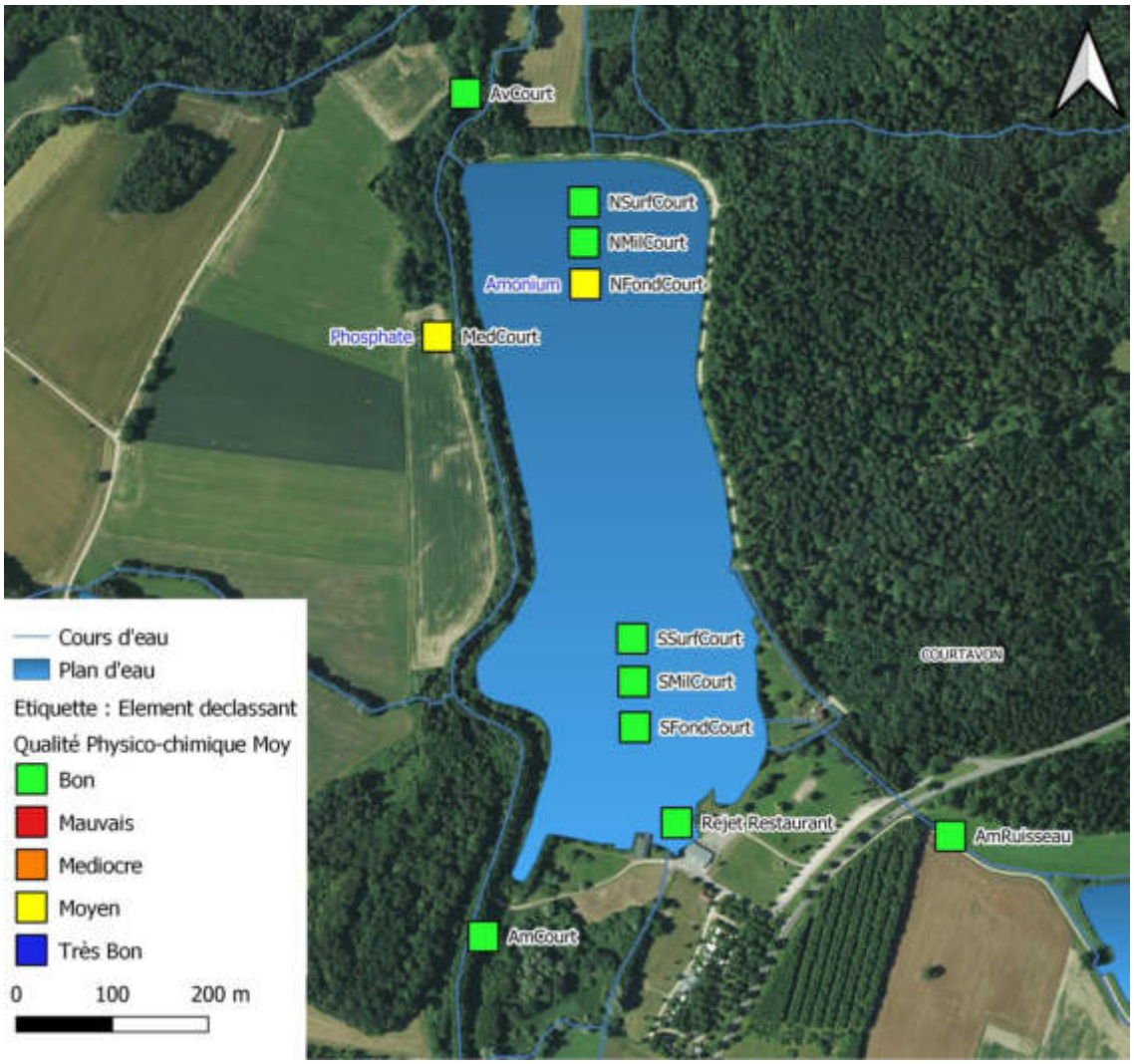


Figure 90 : Qualité physico-chimique sur la base des concentrations moyennes sur le site de Courtavon et paramètres déclassants associés.

Globalement, la qualité physico-chimique sur la base des concentrations moyennes est bonne pour 9 stations sur 11 (figure 90). Néanmoins deux stations se démarquent des autres avec des classes de qualités moyennes :

- Sur la station médiane située sur la Largue : le paramètre déclassant est le Phosphate. Le Phosphore peut être issu de sources variées (érosions des sols, décompositions des feuilles, retombées de poussières, activité agricole, eaux usées, détergents ou déchets alimentaires). Dans ce cas, les concentrations moyennes en Phosphate sont plus faibles (et non déclassantes) en amont ainsi qu'en aval (0,3 mg/L contre 0,5mg/L). Ce résultat ne peut être expliqué que par l'occupation et l'usage du sol des parcelles situées à l'Ouest ou par le drain intermittent situé entre la station amont et la station médiane.
- Sur la station située au fond Nord du lac soit à près de 4,5m de profondeur : le paramètre déclassant est l'Ammonium avec des concentrations dépassants les valeurs seuils. La concentration en azote ammoniacale augmente progressivement dû à des excrétions produites par l'activité zooplanctonique et par les poissons. En effet, dans les eaux les plus profondes du lac (5m), les conditions réductrices induites par l'anoxie engendrent la formation d'azote ammoniacal. Dans le cas du plan d'eau de Courtavon, sa concentration augmente significativement lors de la période estivale. A titre de

comparaison, cette observation n'est pas mise en évidence sur la station située au fond Sud du lac (encore située en zone euphotique à 2m de profondeur maximale).

Le plan d'eau de Courtavon semble ainsi caractérisé par des concentrations en Ammonium importantes au sein des zones profondes du lac. Cette observation peut mettre en évidence une anoxie des couches inférieures et des sédiments du lacs mais aussi une charge importante en matière organique partiellement dégradée et en nutriments d'origines azoté.

❖ Concentrations maximales

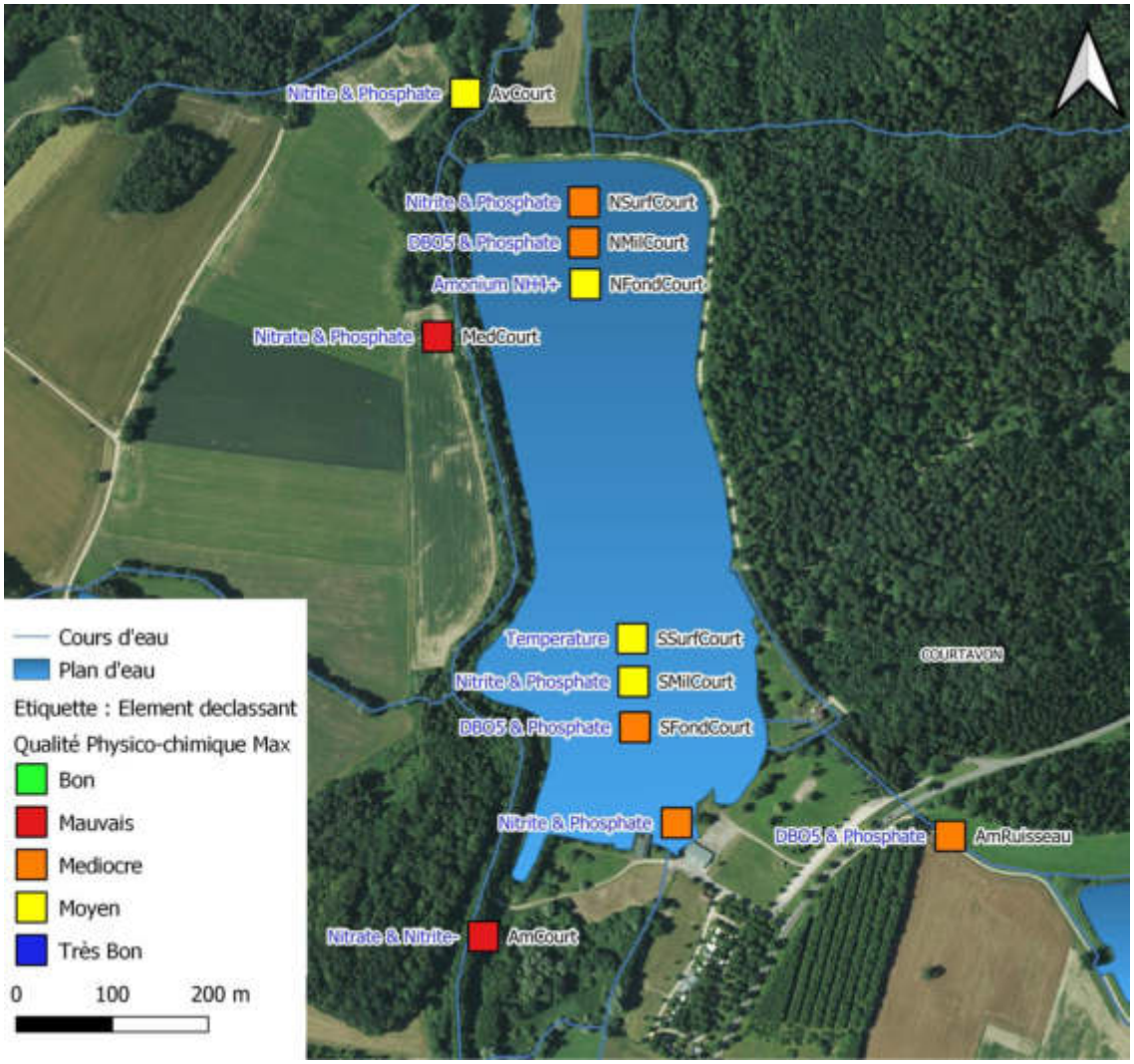


Figure 91 : Qualité physico-chimique sur la base des concentrations maximales sur le site de Courtavon et paramètres déclassants associés.

Sur la base des concentrations maximales, aucune station étudiée n'atteint le bon état physico-chimique. Cette observation est particulièrement alarmante et met en évidence que pour chacune des 11 stations étudiées, au moins un paramètre fut une fois problématique lors de la période d'avril à octobre 2021. Les paramètres les plus déclassants observés sont : les concentrations en matières azotées (nitrites, nitrates et ammonium), le phosphate et dans une moindre mesure la DBO5 et la température (sur le milieu Nord, la surface Nord et le fond Sud du plan d'eau).

Ainsi, 4 stations sont classées en état moyen avec :

- L'aval de la Largue vis-à-vis des nitrites et du phosphate (avec respectivement 0,47mg/L et 0,5mg/L de concentration maximale) ;

- Le fond Nord du lac où la concentration maximale est de 1,2mg/L contre 0,5mg/L pour la concentration moyenne. Cette observation rejoint le constat précédant vis-à-vis de l'Ammonium ;
- La surface Sud du plan d'eau vis-à-vis de la température avec des températures extrêmes observées en été (supérieures à 25,7°C – *cf*. volet thermie) ;
- Le milieu Sud du lac (à 1m de profondeur) où les concentrations en nitrite et en phosphate se sont rapprochées de 0,5mg/L.

5 stations sont classées en qualité médiocre avec :
- Le ruisseau du Sud-Est, le milieu Nord du lac, et le fond Sud du lac vis-à-vis des valeurs de DBO5 et des concentrations en phosphate ;
- La surface Nord du lac et le rejet Sud (drain au Sud du restaurant) avec des concentrations en nitrite et en phosphate trop importantes.

Enfin, 2 stations se démarquent encore des autres avec des classes de qualité mauvaise dont :
- La station située en amont sur la Largue avec des concentrations critiques en nitrate et en nitrite (56mg/L de nitrate le 02/07/21 et 0,5mg/L de nitrite le 16/06/21) ;
- La station située en position médiane sur la Largue avec des concentrations critiques en nitrate (53mg/L le 02/07/21) et en phosphate (2,6mg/L le 13/07/21). On note ces concentrations critiques pour le phosphate sur la Largue uniquement à partir de la station médiane et non pas en amont. Des concentrations moindres sont observées en aval.

Ces résultats, mettent en lumière des pics de concentrations critiques de nutriments (principalement nitrites, nitrates et phosphate) à plusieurs reprises lors du suivi. Ce fut notamment le cas sur la Largue :
- le 02/07/21 (nitrate)
- le 16/06/21 (nitrite)
- le 13/07/21 (phosphate)

On remarque également que les concentrations maximales sont majoritairement plus importantes dans la Largue que dans le plan d'eau (phénomène de dilution et d'abattement). Des apports périodiques proviennent aussi du drain situé au Sud du restaurant (en période de pluviométrie importante) et du ruisseau du Sud-Est se jetant dans le lac.

Les paramètres les plus problématiques semblent donc être :
- ➔ les nitrites et les nitrates dans la Largue (et ce dès la station amont) ;
- ➔ les phosphates sur l'ensemble des stations mais surtout sur la station médiane ;
- ➔ l'ammonium dans les zones profondes du plan d'eau.

❖ <u>Qualité physico-chimique et état trophique du plan d'eau</u>

L'analyse des eaux brutes du plan d'eau lors des différentes campagnes met en évidence une qualité physico-chimique bonne à médiocre selon les paramètres étudiés.

Si les valeurs de phosphore totale et de phosphate sont moins problématiques au regard des autres nutriments (tableau 11), les classes de qualités sont :
- Médiocre vis-à-vis des concentrations d'ammonium (sur la base des concentrations maximale, notamment à cause des concentrations mesurées sur le fond du lac). Si on se base sur les concentration moyennes ou si on supprime des valeurs issues du fond du lac, ce paramètre n'est plus déclassant.
- Bon vis-à-vis de la transparence au disque de Secchi sur la base de la médiane (1,11m). Mais ces valeurs sont tout de même faibles pour ce type de pièce d'eau. C'est surtout le cas en été avec des valeurs de transparence très faibles (minimum 0,53m) ;

- Moyen vis-à-vis des concentration en nitrites (sur la base des concentrations maximales soit 9000 µg/L). La valeur moyenne serait néanmoins plus permissive avec 3862 µg/L.

L'état trophique du plan d'eau de Courtavon vis-à-vis de la classification de l'OCDE (OCDE,1982) peut être permis via l'analyse de 3 paramètres principaux :

- Le phosphore total (estimé en 2021 mais analysé en 2022) ;
- La chlorophylle a (analysée en 2022) ;
- La transparence (analysée en 2021).

Au regard des paramètres étudiées l'état trophique du plan d'eau de Courtavon est classé entre eutrophe (concentration comprise entre 35 et 100µg/L) et hyper-eutrophe (moyenne annuelle de 1,15m soit <1,5m et minimum annuel de 0,53m soit <0,7m).

Tableau 11 : Résultats des analyses physico-chimiques sur eaux brutes du plan d'eau de Courtavon et valeurs seuils calculées pour les paramètres (phosphore, ammonium, transparence et nitrates) au regard de l'arrêté du 27 juillet 2018 (rubrique plan d'eau).

Paramètres physico-chimiques	Unité	Limite	Paramètres de calcul				Calcul		Valeurs	[a*Zmoy^b]	[c*(Zmoy+1)^d]
			a	b	c	d	Z_{moy} = profondeur moyenne (m)				
Phosphore total (médiane)	µg P.L-1	Très bon-Bon	44,174	-0,315	57,744	-0,324	minimum entre [a*Z_{moy}^b] et [c*(Z_{moy}+1)^d]		**34,92**	**34,92**	**39,98**
		Bon-Moyen	61,714	-0,31	95,841	-0,267			**48,96**	**48,96**	**70,79**
		Moyen-Médiocre	86,234	-0,306	159,92	-0,21			**68,62**	**68,62**	**126,02**
		Médiocre-Mauvais	120,63	-0,302	268,66	-0,153			**96,28**	**96,28**	**225,85**
Ammonium (valeur maximale)	µg NH_4.L-1	Très bon-Bon	223,58	-0,248	199,25	-0,223			**154,71**	**185,79**	**154,71**
		Bon-Moyen	290,91	-0,245	283,69	-0,185			**229,98**	**242,28**	**229,98**
		Moyen-Médiocre	378,71	-0,241	404,53	-0,145			**316,34**	**316,34**	**343,16**
		Médiocre-Mauvais	494,03	-0,238	578,19	-0,106			**413,59**	**413,59**	**512,67**
Profondeur du disque de Secchi (médiane)	m	Très bon-Bon	1,1741	0,284	0,9989	0,277	maximum entre [a*Z_{moy}^b] et [c*(Z_{moy}+1)^d]		**1,45**	**1,45**	**1,37**
		Bon-Moyen	0,8703	0,279	0,6492	0,228			**1,07**	**1,07**	**0,84**
		Moyen-Médiocre	0,6447	0,275	0,4208	0,18			**0,79**	**0,79**	**0,52**
		Médiocre-Mauvais	0,4766	0,271	0,2722	0,131			**0,58**	**0,58**	**0,32**
							Z_{moy} < 15	Z_{moy} > 15			
Nitrates (valeur maximale)	µg NO_3.L-1	Très bon-Bon					2200	1200			
		Bon-Moyen					5300	2600			
		Moyen-Médiocre					12600	5600			
		Médiocre-Mauvais					30100	12100			

Courtavon	
Phosphore total (médiane)	20
Ammonium (valeur maximale)	400
Profondeur du disque de Secchi (médiane)	1,1
Nitrates (valeur maximale)	9000

❖ Turbidité

Les résultats des 7 mesures de turbidité ont été obtenus avec le disque de Secchi sur un point Nord (profondeur maximale : 1,8 m) et un point Sud (profondeur maximale : 4,5 m). Seules les mesures du 11/05/2021 et du 7/10/2021 n'ont pas été réalisées avec un ciel ensoleillé.

Les résultats (figure 91 et tableau en annexe) montrent des profondeurs de Secchi proches entre le Nord et le Sud (écart maximum : 0,3 m le 11/05/2021). Néanmoins, la transparence est légèrement supérieure au Nord plutôt qu'au Sud lors du suivi (excepté en octobre et en mai). La transparence dans le plan d'eau de Courtavon est globalement faible à moyenne. Elle est plus importante au début du printemps et plus faible en été. Elle oscille ainsi entre 0,53m (le 2/07/21 au Sud), 0,70m (le 2/07/21 au nord), 1,75m (le 12/05/21 au Sud) et 1,45m (le 12/05/21 au Nord). On observe une tendance à la diminution de la profondeur de Secchi de début mai à la fin du mois de juillet.

L'évolution de la transparence est liée avec la dynamique phytoplanctonique (représentée par la biomasse totale de phytoplancton) dans les couches d'eau superficielles. L'évolution observée est ainsi classique avec une transparence plus forte en hiver et une baisse de la transparence en été avec le développement phytoplanctonique printanier.

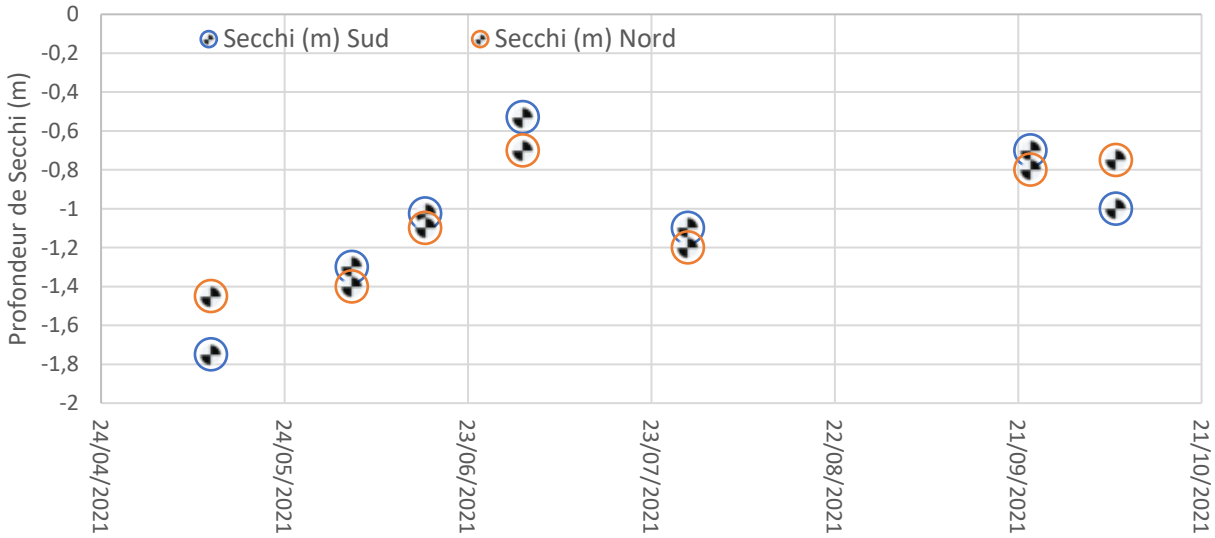


Figure 92 : Profondeur de pénétration de la lumière (turbidité mesurée au disque de Secchi) sur le plan d'eau de Courtavon.

❖ Oxygénation

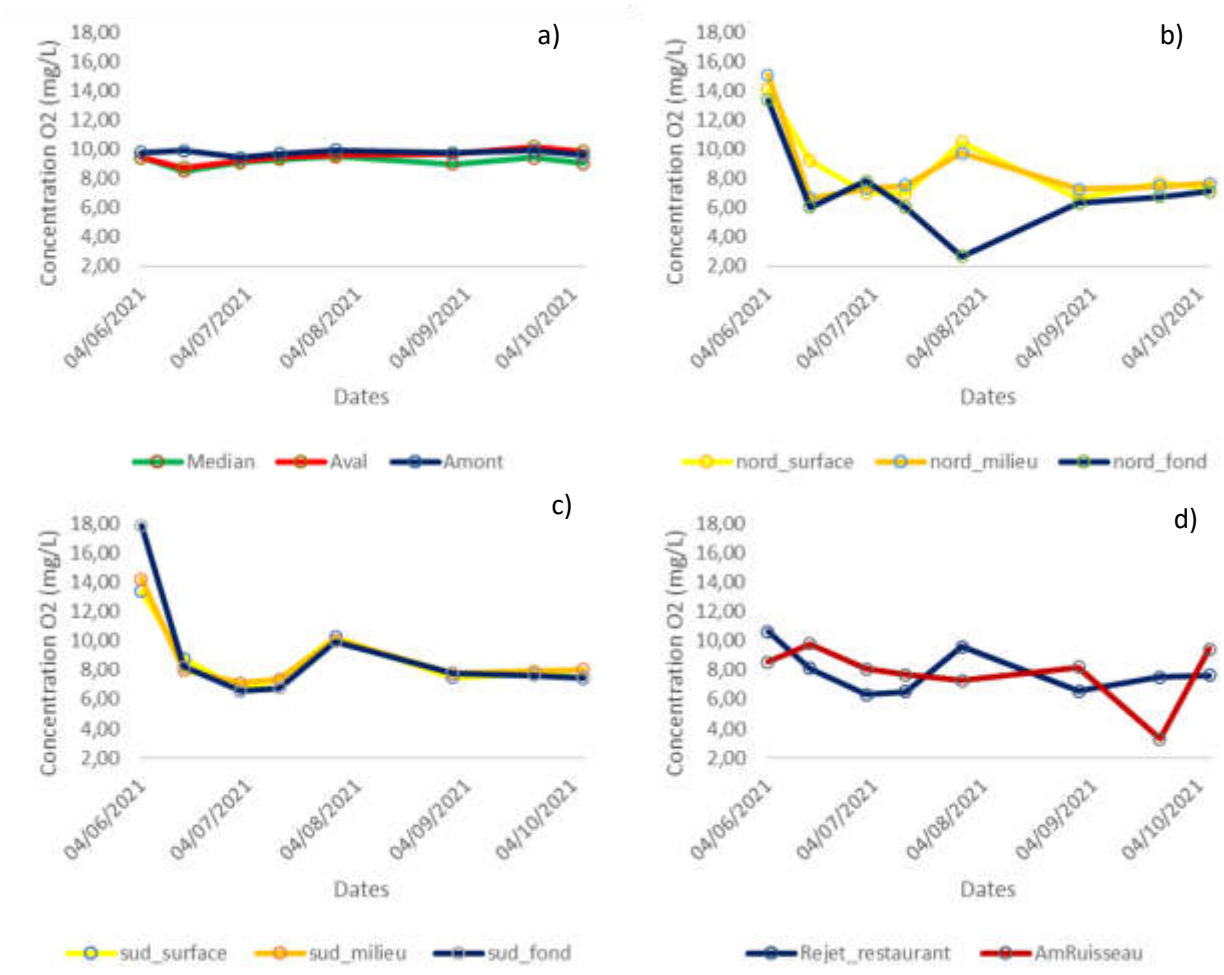


Figure 93 : Evolution temporelle et spatiale de la concentration en oxygène : sur la Largue (a), au Nord du lac (b), au Sud du lac (c) et au Sud-Est avec les affluents (d).

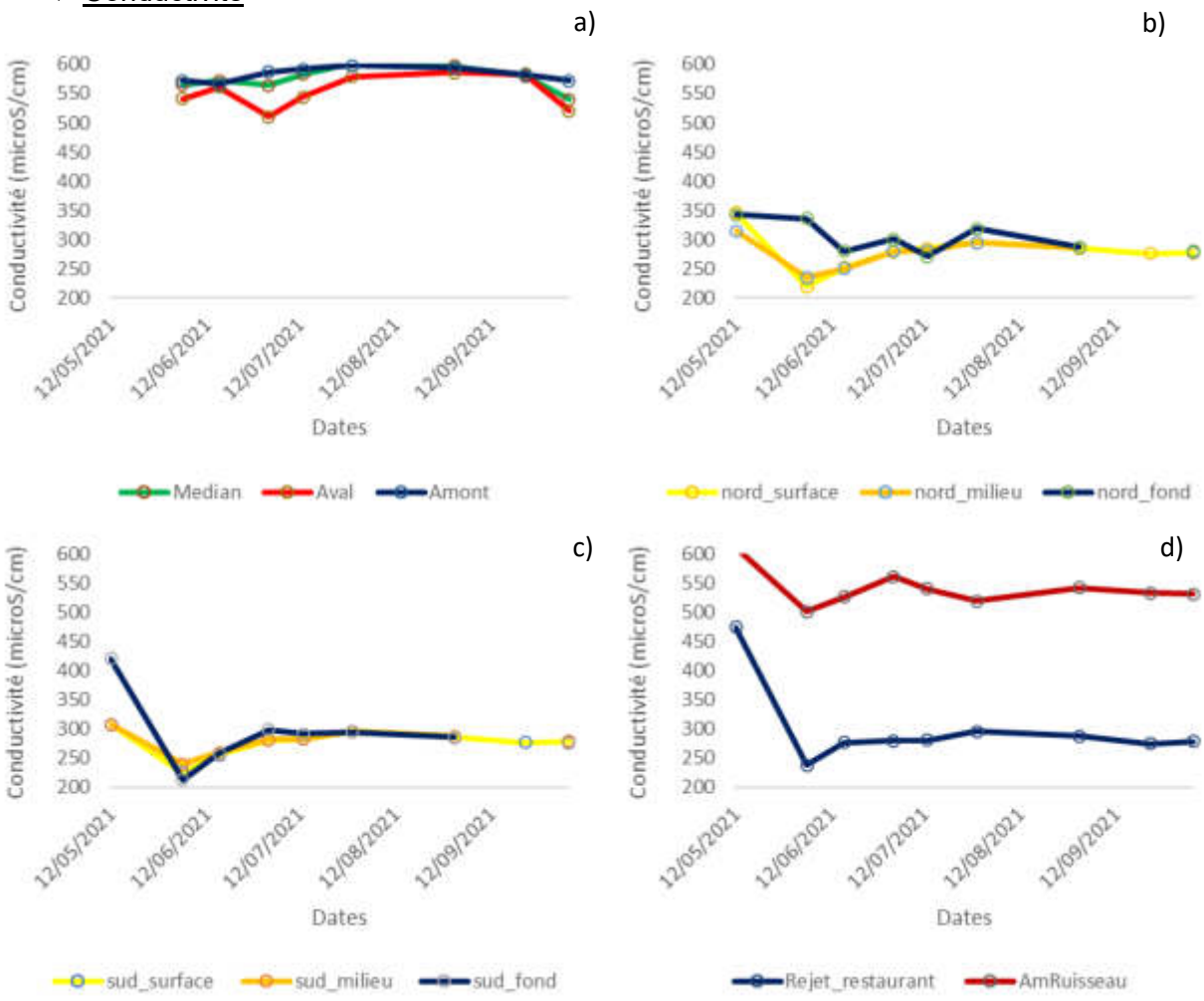
La dynamique des concentrations en Oxygène (tout comme de la saturation en Oxygène) sont dissemblables selon le milieu, qu'on se trouve en plan d'eau ou en rivière avec :

- Dans la Largue (figure 93a) : Des concentrations en O^2 toujours supérieures à 8mg/L (limite du très bon état en cours d'eau). La concentration en O^2 varie légèrement en fonction de l'heure du prélèvement, de la température de l'eau et de la saison. Globalement celle-ci reste proche entre les trois stations situées sur le cours d'eau. En début de saison l'Oxygénation est légèrement plus importante en amont. En cours d'étude, cette variable est légèrement plus importante sur la station amont, puis aval puis médiane.
- Au sein du plan d'eau : les profils étudiés en surface et au milieu du lac sont similaires que l'on se trouve au Nord ou au Sud (figure93 b et c). En effet, la concentration en O^2 est plus importante en début de saison liée à des eaux plus fraiche au printemps, puis baisse au début de l'été pour augmenter lors de la saison estivale à cause du développement phytoplanctonique dans la zone euphotique. Ainsi, la concentration en oxygène dissous et le taux de saturation en oxygène sont plus élevés au début du printemps et en été. En revanche, les niveaux d'oxygène diminuent en été sur le fond Nord du lac (4,5m de profondeur). Les mesures mettent en évidence un milieu anoxique au-delà de 4 m de profondeur entre juillet et septembre. L'oxycline est néanmoins difficilement observable exceptée sur la station fond Nord en été et milieu

Nord au printemps. L'oxycline semble située entre 3,5 et 5m de profondeur. Les fonctions biologiques sont considérées comme perturbées dès que la concentration passe en dessous de 5 mg/l et des mortalités piscicoles sont à redouter en dessous de 3 mg/l. Les mesures indiquent ainsi que les conditions de vie pour la faune piscicole sont difficiles à partir de 4 m de profondeur en été.

- Sur l'affluent et le rejet du plan d'eau, les concentrations en O^2 sont hétérogènes selon les périodes de prélèvements, tantôt plus importantes dans le ruisseau tantôt dans le rejet. Globalement les concentrations restent entre le bon et le très bon état mais restent moindre que dans la Largue surtout entre juin et septembre.

❖ <u>Conductivité</u>



<u>Figure 94 : Evolution temporelle et spatiale de la conductivité : sur la Largue (a), au Nord du lac (b), au Sud du lac (c) et au Sud-Est avec les affluents (d).</u>

Concernant la conductivité, elle est très variable en fonction des saisons, de la localisation et de la profondeur. La conductivité est plus importante dans le cours d'eau de la Largue (entre 500 et 600 µS/cm). On remarque qu'elle est moindre en aval qu'en amont.

Au sein du plan d'eau, nous observons que le milieu est plus minéralisé au printemps avec une conductivité supérieur à 300 µS/cm quel que soit la profondeur. En revanche, lors des autres campagnes, cette conductivité est basse, globalement inférieure à 300 µS/cm, avec quelques variations en fonction de la profondeur. Elle est légèrement plus importante en profondeur.

Pour l'affluent du ruisseau le profil de conductivité est proche de celui observé dans la Largue. En revanche la conductivité du rejet est bien moindre (inférieure à 300 µS/cm excepté en mai).

❖ pH

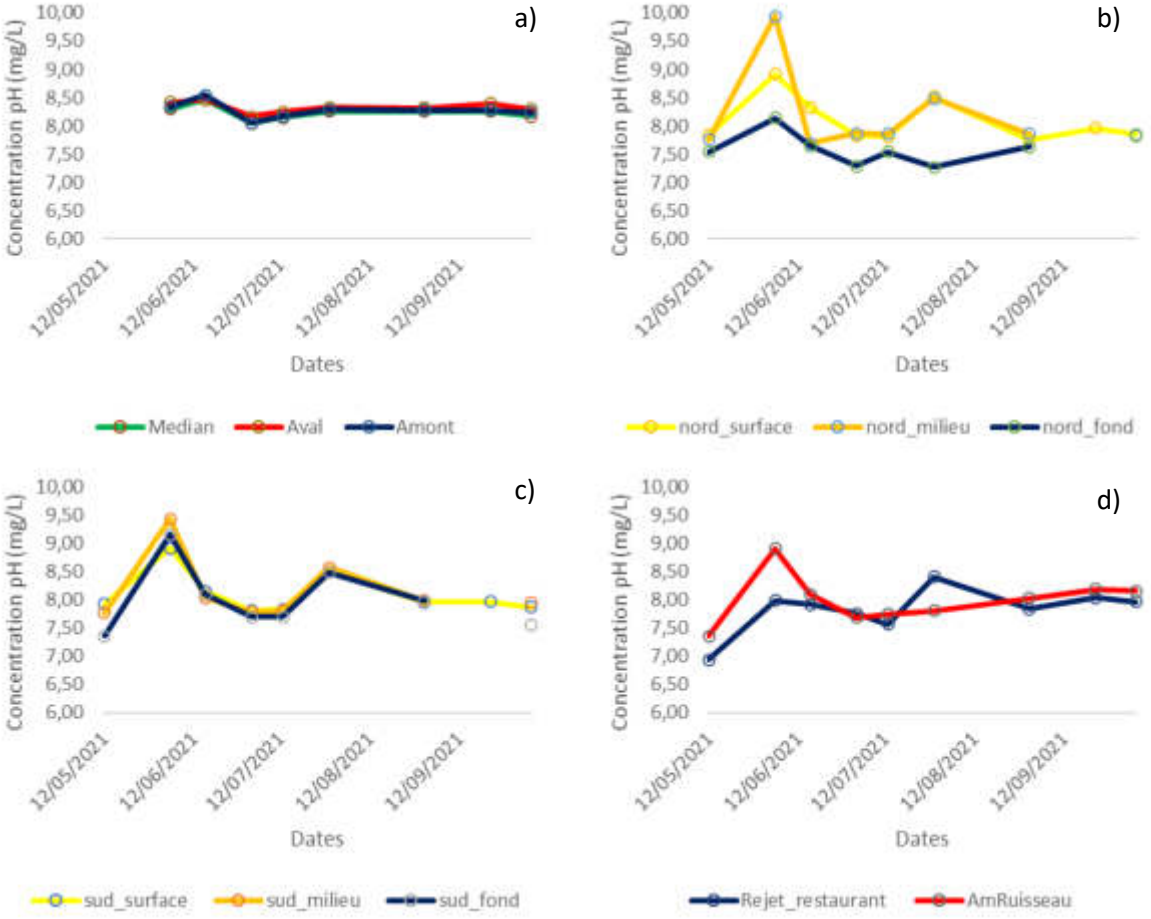


Figure 95 : Evolution temporelle et spatiale du pH : sur la Largue (a), au Nord du lac (b), au Sud du lac (c) et au Sud-Est avec les affluents (d).

Une forte divergence de profils est observée entre les stations situées dans la Largue et les autres. Le pH est compris entre 8 et 8,5 dans la Largue tout au long de l'étude et sans variations notables. En revanche, des variations plus importantes sont observées sur les stations situées en plan d'eau et sur les affluents. Le pH du plan d'eau est proche de la Largue en début de saison, il augmente fortement en juin pour baisser durant l'été et augmenter à nouveau en aout. Les valeurs de pH sont plus faibles au fond du plan d'eau qu'en surface.

❖ Nutriments : les Nitrites

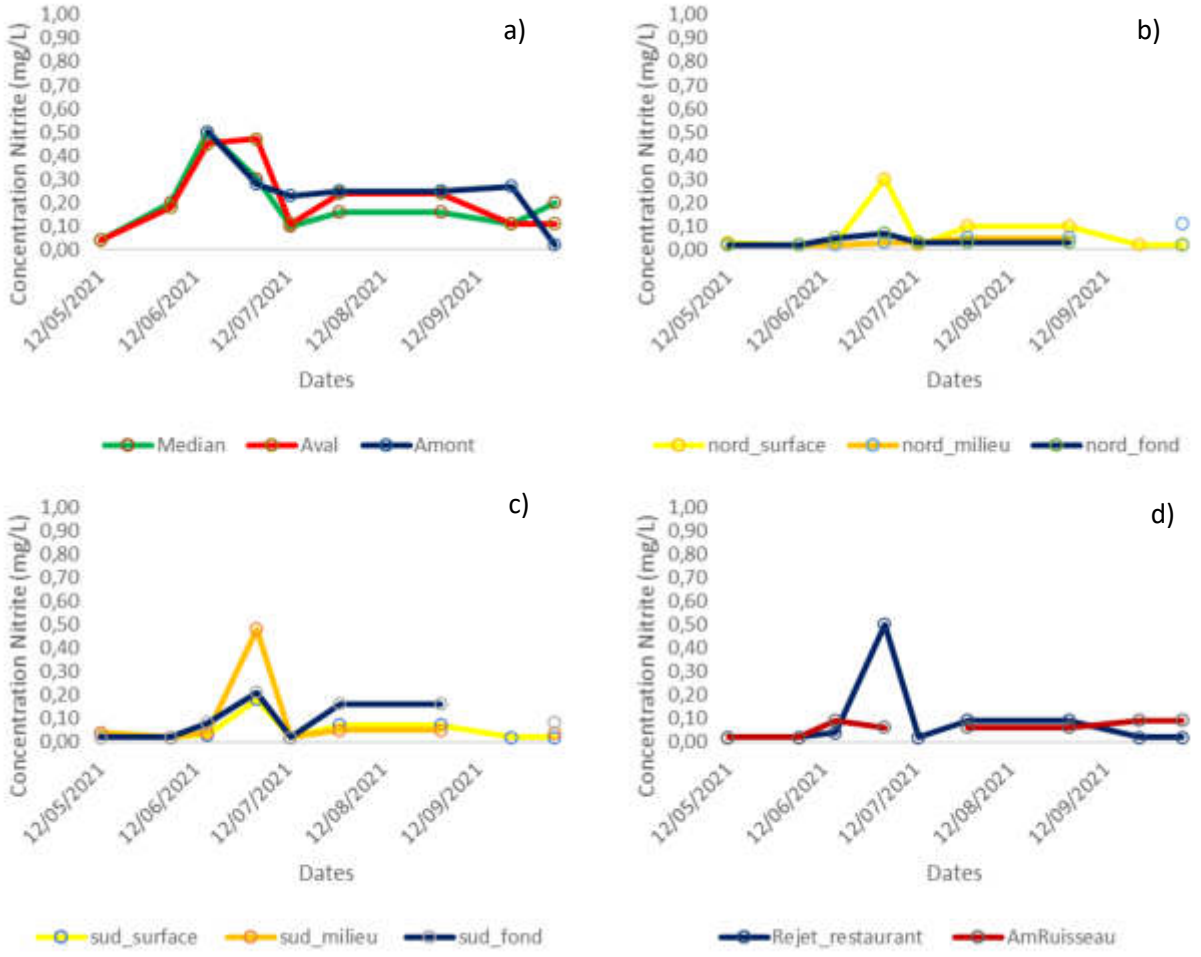


Figure 96 : Evolution temporelle et spatiale de la concentration en Nitrite : sur la Largue (a), au Nord du lac (b), au Sud du lac (c) et au Sud-Est avec les affluents (d).

L'azote est présent dans le plan d'eau et les cours d'eau attenants sous diverses formes (à différents degrés d'oxydations) à travers les nitrites, les nitrates et l'ammonium. La concentration de nitrite (azote nitreux ou NO2-) est en général négligeable par rapport aux concentrations en ammonium (azote ammoniacal ou NH4+) ou en nitrates (azote nitrique ou NO3-). Les nitrites sont en général immédiatement métabolisés dans les écosystèmes naturels fonctionnels. Par conséquent ils sont en général observables qu'en concentrations faibles, notamment à l'échelle de l'étude.
Néanmoins, un pic de concentration est observable au sein du plan d'eau le 02/07/21, notamment à travers le rejet au Sud et sur les stations : surface Sud, milieu Sud et surface Nord. Ce même pic est observable plus tôt sur le cours d'eau de la Largue le 16/06/21. Un croisement avec les données de pluviométrie permet de mettre en avant des pistes de réflexions pour la date du 02/07/21. En effet, d'importantes précipitations sont recensées dans les 3 jours précédents les prélèvements (environs 10mm par jours). Malgré tout, les précipitations n'expliquent pas tout puisque qu'elles furent absentes aux alentours du 16/06/21 et bien plus importantes après le 02/07/21 (notamment à la mi-juillet avec 23mm le 13/07/21). Durant ces périodes, la concentration en nitrite a aussi dépassé sur la plupart des stations la limite entre bon état et état moyen (>0,3mg/L), voir même la limite de l'état médiocre (>0,5mg/L) notamment sur les stations du rejet Sud et sur la Largue.

❖ Nutriments : les Nitrates

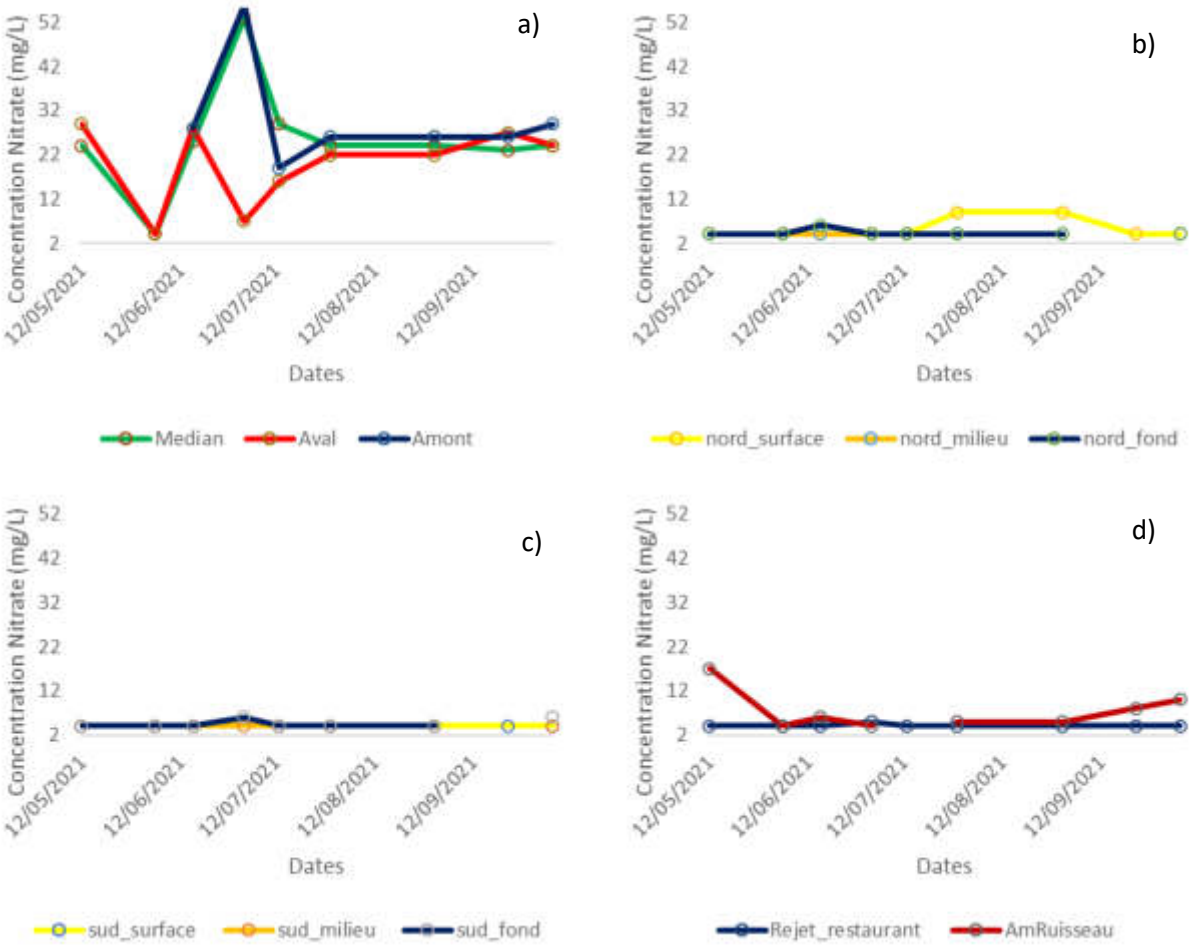


Figure 97 : Evolution temporelle et spatiale de la concentration en Nitrate : sur la Largue (a), au Nord du lac (b), au Sud du lac (c) et au Sud-Est avec les affluents (d).

Globalement, les concentrations en Nitrates furent faibles durant la période étudiée, n'excédant pas le seuil de détection du test (>4mg/L), excepté sur la Largue. En effet, les concentrations les plus importantes sont observées sur la Largue. De plus, les concentrations en nitrates dépassent 20mg/L durant plus de 90% de la période étudiée sur les trois stations situées sur la Largue. Malgré tout la limite de la classe de bon état étant relativement permissive (>50mg/L), elle n'est dépassée que lors du 02/07/21 sur les stations amont et médiane. Enfin, on note que les concentrations observées en aval sont généralement moindres qu'en amont.

La concentration en nitrate est un élément nutritif essentiel pour la croissance végétale. L'abattement important des concentrations de cet élément est cohérent avec la production phytoplanctonique très conséquente dans ce plan d'eau (notamment de juin à octobre), qui l'utilise comme ressource nutritive.

❖ Nutriments : l'Ammonium

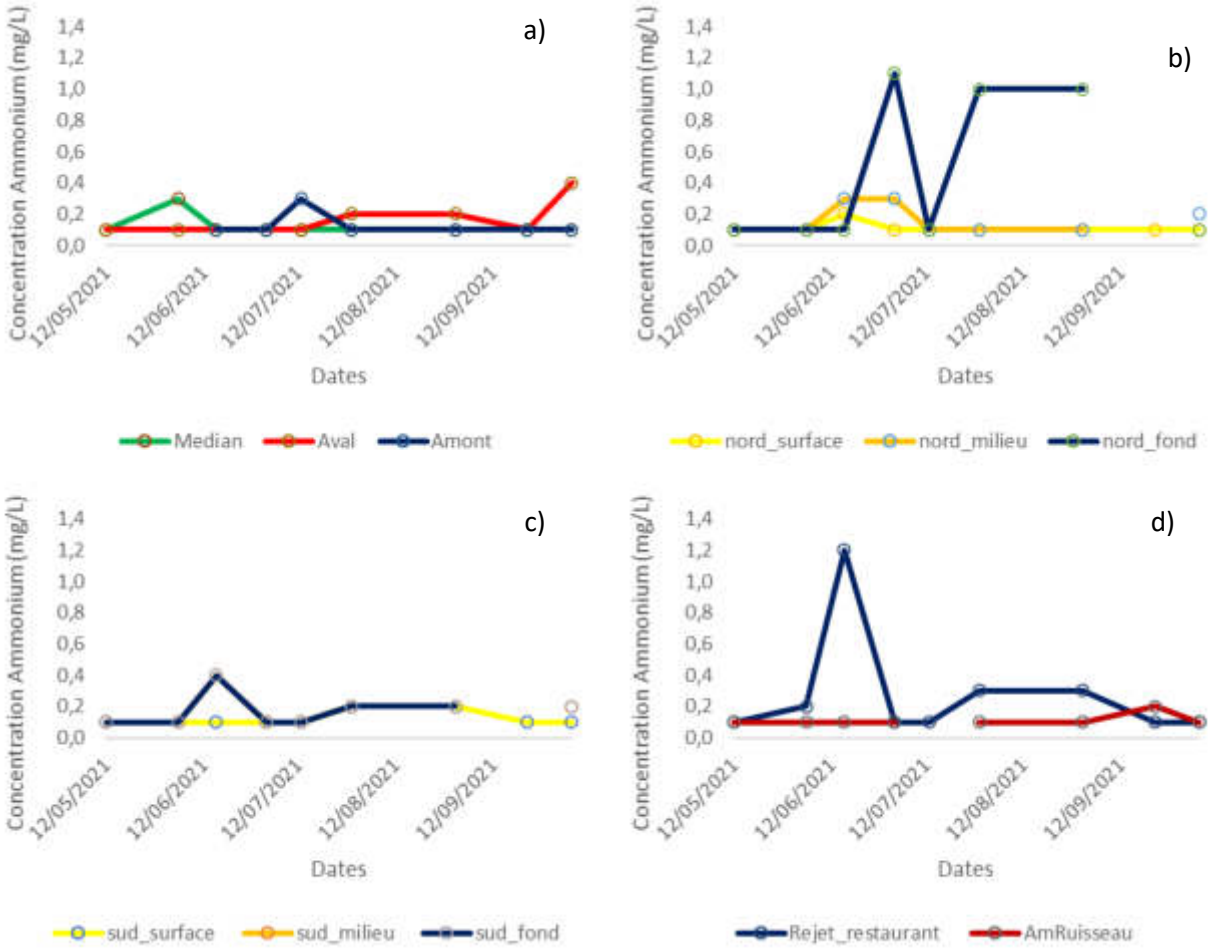


Figure 98 : Evolution temporelle et spatiale de la concentration en Ammonium : sur la Larque (a), au Nord du lac (b), au Sud du lac (c) et au Sud-Est avec les affluents (d).

Globalement la concentration en ammonium est faible et stable sur la période étudiée n'excédant pas la limite du très bon état et la limite de quantification (>0,1mg/L) sauf sur 3 stations :

- Rejet restaurant : avec un important pic de concentration (1,2mg/L) le 16/06/21 et des concentrations de 0,3mg/L entre juillet et aout ;
- Fond Sud : avec un pic modéré le 16/06/2021 de 0,4mg/L ;
- Fond Nord : avec des concentrations importantes en ammonium de juillet à septembre 2021 (autours de 1mg/L).

La présence d'ammonium est en général la résultante d'un processus de dégradation de la matière organique (azotée) incomplète. En effet l'ammonium s'oxyde lentement en nitrate (phénomène de nitrification) par des bactéries aérobies. Ainsi, la dégradation de l'ammonium consomme de l'Oxygène et en condition anoxique, cette réaction ne peut avoir lieu. Voilà pourquoi les profils des courbes des concentrations d'ammonium sont à mettre en relation avec les profils des concentrations en Oxygène (concentration en ammonium inversement proportionnelle aux concentrations en O^2 sur ces stations). Néanmoins des apports d'ammonium peuvent aussi résulter de pollutions organiques. Le NH4+ est un bon indicateur chimique de pollution, fréquemment lié à une pollution via les ruissellements, aux déversoirs d'orages ou aux épandages.

L'ammonium est particulièrement dangereux pour la faune aquatique notamment piscicole. D'une part, il participe à une baisse de l'oxygénation (à travers la prolifération bactérienne qu'il favorise) et d'autre part il peut être toxique notamment après transformation en NH3 gazeux

dès lors que le pH excède 8. Or le pH a dépassé 8 sur plusieurs périodes notamment sur les stations situées au Sud où des concentrations importantes ont été mises en évidences. Il convient ainsi d'être particulièrement vigilant par rapport à l'impact lié au rejet situé au Sud (proche du restaurant).

En parallèle, les concentrations importantes d'ammonium observées au fond Nord du plan d'eau (à 4,5m de profondeur) résultent de l'activité zooplanctonique et piscicole dans les zones profondes. Si la teneur est faible en début de saison, elle est ensuite plus importante en été, période où les conditions réductrices induites par l'anoxie des eaux plus profondes engendrent la formation et l'accumulation de NH4+.

❖ Nutriments : le Phosphate

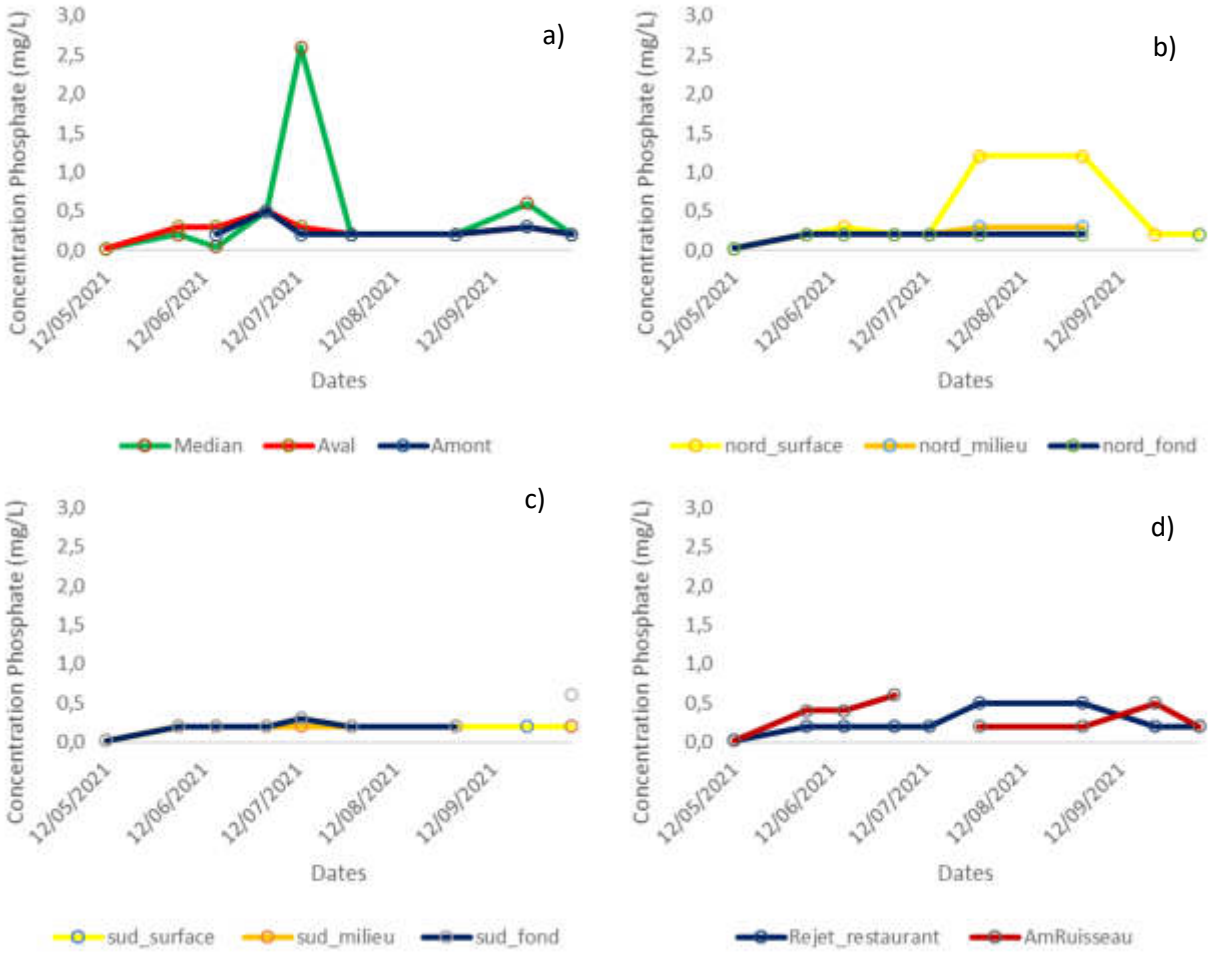


Figure 99 : Evolution temporelle et spatiale de la concentration en Orthophosphate : sur la Larque (a), au Nord du lac (b), au Sud du lac (c) et au Sud-Est avec les affluents (d).

Le phosphore est également présent sous diverse forme dans les plans d'eau et les rivières. Le phosphore réactif (soluble) est représenté par les orthophosphates (PO4 3-). Lors de la période étudiée, les concentrations en phosphates sont globalement proches de 0,2mg/L soit dans la classe du bon état en cours d'eau (la limite du très bon état étant fixée à 0,1mg/L). Des pics de concentrations sont observés à plusieurs périodes comme sur :

- La station médiane sur la Largue le 13/07/21 (2,6mg/L) ou le 23/09/21 (0,6mg/L) ;
- La station surface Nord du plan d'eau du 29/07/21 au 31/08/21 avec 1,2mg/L ;
- Le ruisseau et le rejet à plusieurs périodes avec des concentration allant de 0,2mg/L à 0,6mg/L.

La limite déclassant le bon état à un état moyen étant fixée à 0,5mg/L, ces divers épisodes sont ainsi problématiques et sont à mettre en évidence. En effet, le phosphate participe grandement à la pollution des masses d'eau à travers le phénomène d'eutrophisation.

- Nutriments : le rapport N/P

La valeur du rapport entre l'azote et le phosphore (ratio N/P ou rapport de Redfield) permets de distinguer l'élément nutritif limitant (Redfield, 1985). Le rapport moyen optimal pour la croissance de la plupart des espèces de phytoplancton est de 7/1. Ainsi, lorsque le rapport est supérieur à 7, cela signifie que le phosphore est le principal facteur limitant. A l'inverse si le rapport est inférieur à 7, ce sont les nitrates qui seront le facteur limitant la croissance des algues. Le rapport est réalisé entre la somme de l'azote minéral (NH4+ et NO3- notamment) et les orthophosphates (PO4 3-). Généralement, un rapport inférieur à 7 peut également être relié à un développement de cyanobactéries. En général, le phosphore est le facteur limitant dans les parties amont des bassins, et l'azote devient limitant à l'aval lorsque les divers rejets urbains ont saturés les cours d'eau en phosphore.

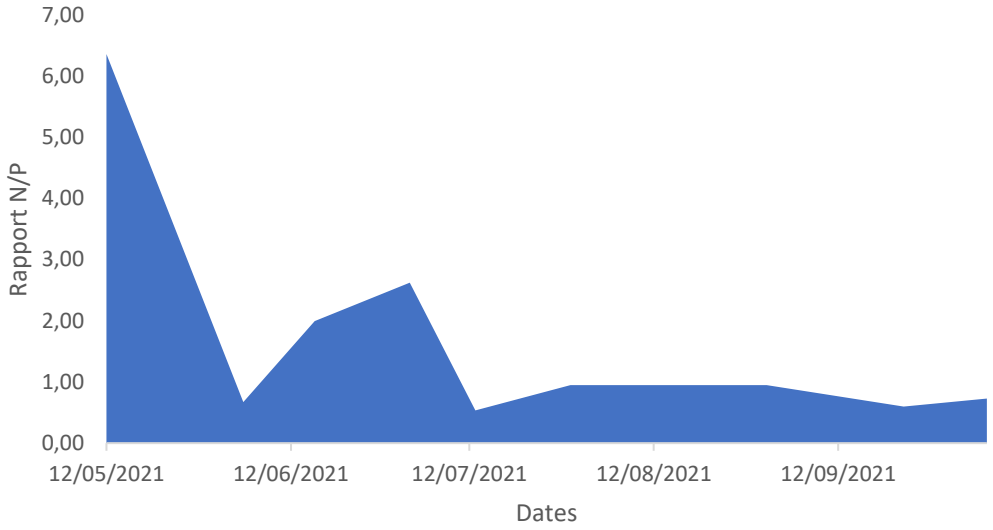


Figure 100 : Rapport azote minéral / orthophosphate dans la couche euphotique (moyenne des concentrations) dans le plan d'eau de Courtavon en 2021.

Dans le cas du plan d'eau de Courtavon, le rapport de Redfield est toujours inférieur à 7 lors de l'étude. Si des variations apparaissent, c'est donc toujours l'azote qui est le facteur limitant. Grâce à ce calcul il est possible de déterminer sur lequel des deux nutriments principaux il vaut mieux axer des efforts pour lutter contre l'eutrophisation (dans ce cas, les nitrates).

Les teneurs en nitrates qui permettent d'éviter l'eutrophisation des cours d'eau sont beaucoup plus basses que les teneurs admissibles pour l'eau de boisson (50mg/L). C'est en effet, dès 1 mg/l de NO3 dans les eaux de rivière ou les lacs que le risque d'eutrophisation peut se déclencher, en commençant par les eaux stagnantes (Marsily et Meybeck, nd).

❖ DBO5

La DBO5 est un paramètre qui indique la quantité d'oxygène indispensable à l'élimination des matières organiques dégradables. Elle est estimée en mg/O² nécessaire pendant 5 jours pour dégrader la matière organique dans un litre d'eau. Lors de l'étude, elle est comprise entre 0 mgO²/L et 12,6 mgO²/L avec une moyenne de 1,5 mgO²/L ce qui reste globalement faible sur l'ensemble des stations et compris dans la classe de très bon état.
La DBO5 représente la part des matières organiques biodégradables naturellement, et donc mobilisant l'oxygène dans l'eau.
Les valeurs les plus importantes sont relevées sur les stations situées aux fonds du lac (Sud et Nord) et au niveau du ruisseau et du rejet.

❖ Mise en relation avec la pluviométrie

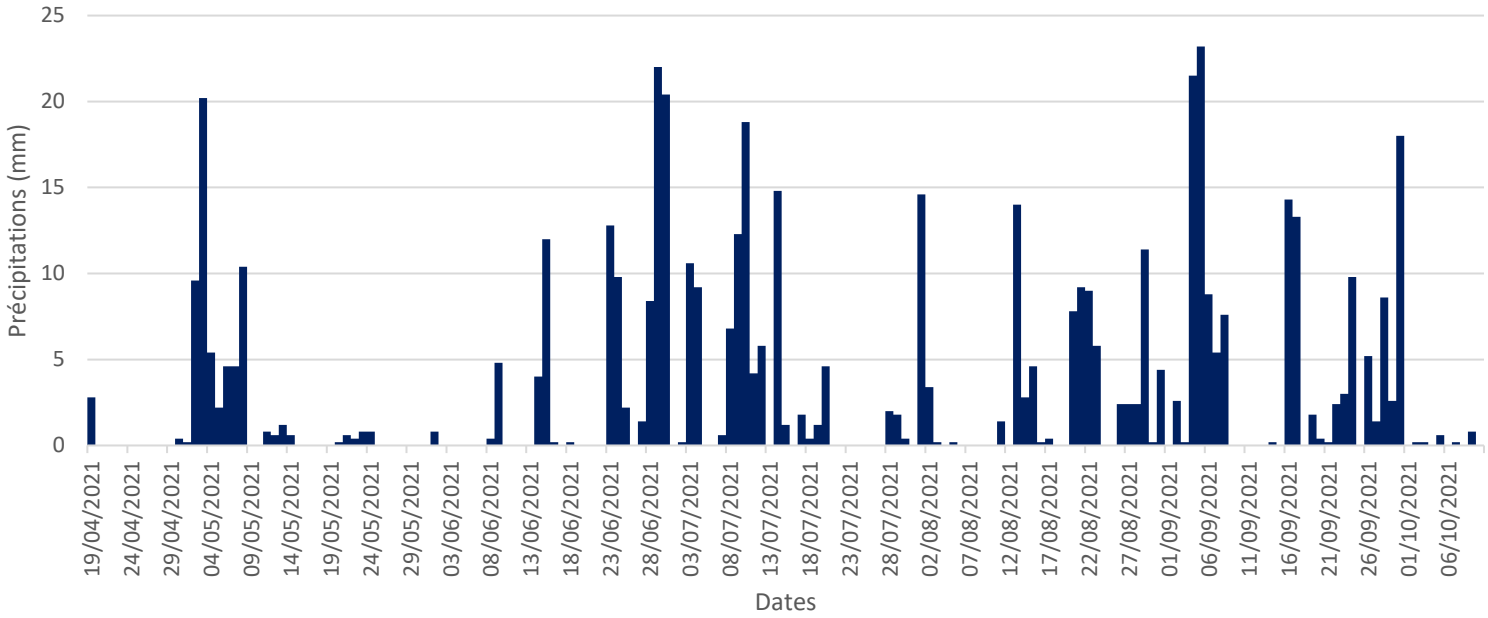


Figure 101 : précipitations mesurées sur la zone d'étude d'avril à octobre 2021 (source : infogeo swiss river 2021).

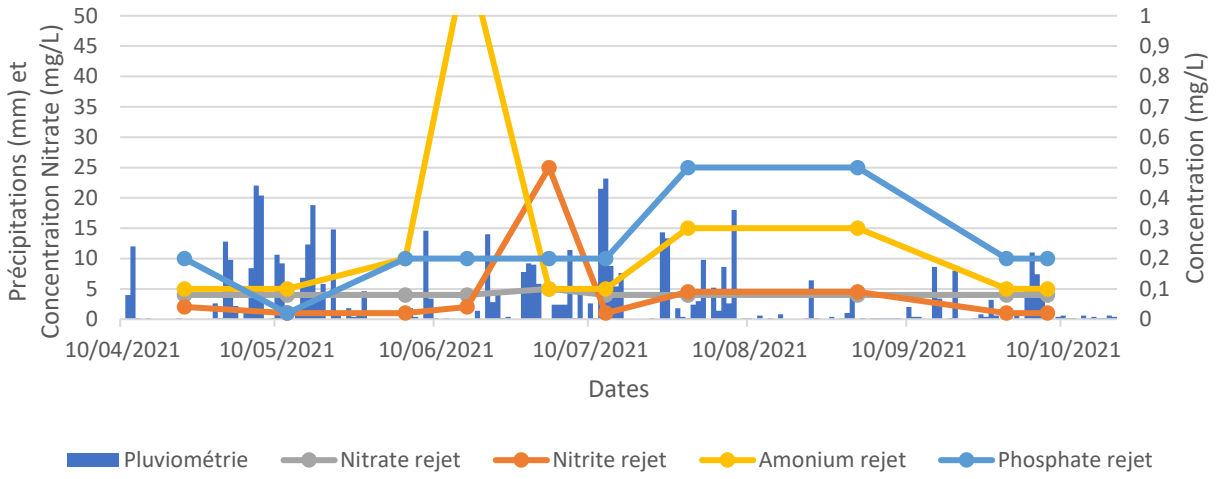
La pluviométrie mesurée sur le bassin versant durant la période étudiée a été mise en relation avec les concentrations en nutriment de la Largue et des affluents. En effet, il est fréquent que ces deux paramètres soient corrélés. Par exemple :

- Des pluies violentes peuvent accentuer l'érosions des sols et *in fine*, augmenter les transferts de flux de nutriment. ;
- Des périodes sèches peuvent affaiblir les débits estivaux et par là, augmenter la part des aquifères plus chargées en nutriments ;
- Le lessivage des sols et des fertilisants comme les épandages ;
- La pluviométrie affecte également la capacité de rétention des sols et des zones humides notamment pour l'azote (Piney et al., 2018).

Les figures 102 et 103 permettent de souligner les pics de certains nutriments avec des phases de précipitations importantes. C'est notamment le cas des :

- Concentration en nitrate et en phosphate sur le secteur amont au printemps ;
- Concentration en nitrate en mai et concentration en nitrate et phosphate en juillet sur le secteur médian (le plus touché par les pics de nutriment) ;
- Concentration en nitrate en mai mais dans une moindre mesure des autres nutriments au long de la période sur le secteur aval ;

Figure 102 : Concentration en nutriments mesurées et pluviométrie sur la Largue.



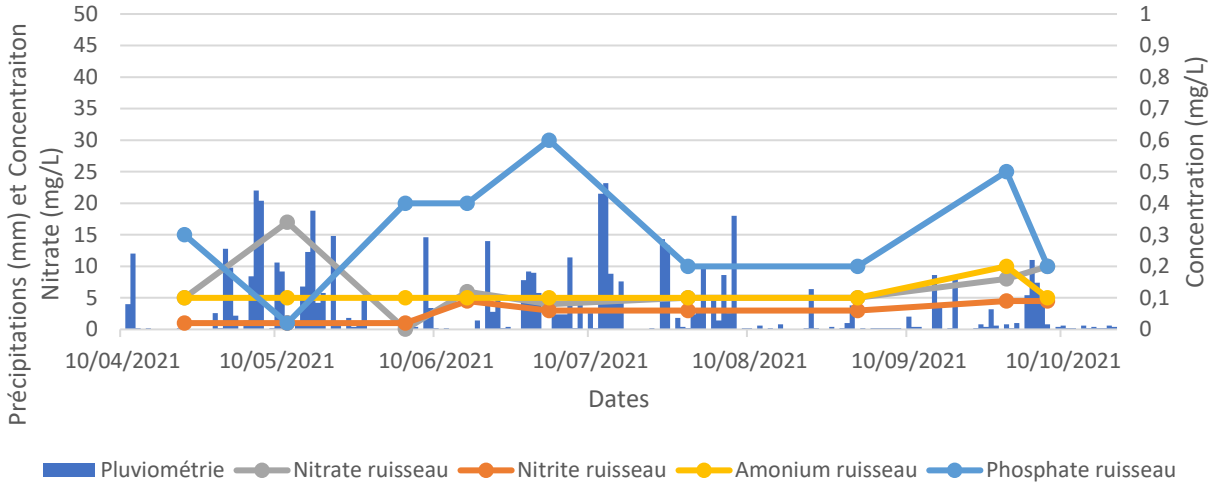


Figure 103 : Concentration en nutriments mesurées et pluviométrie sur les affluents du plan d'eau (rejet au Sud du restaurant et ruisseau au Sud-Est).

Si les flux de de nitrate sont moindre sur les affluents, ce n'est pas le cas de l'ammonium au niveau du rejet mais sans être relié à une période de précipitation particulière. Si une hausse des concentrations en nitrate semble correspondre à une période de précipitation plus importante sur le ruisseau (en mai). Le constat est différent avec les concentrations en phosphates indépendamment plus importantes en période de faible pluviométrie (juin) comme de forte pluviométrie (juillet).

Dans notre cas les relations à l'échelle des alentours du plan d'eau de Courtavon sont ainsi complexes. Les épisodes de pluviométrie plus importantes peuvent aider à l'analyse mais n'expliquent pas l'ensemble des pics de concentrations localisées observées. De plus, l'année 2021 a été caractérisée par une pluviométrie record pour la saison estivale et est, de fait, particulièrement non représentative du régime pluviométrique classique de la région.

Il apparait nécessaire dans le futur d'étudier avec précisions les relations de flux de nutriment à une échelle plus globale comme celle du bassin versant de la Largue amont. En effet, les résultats mettent en avant un secteur particulièrement touché par les dynamiques de flux de nitrates et de phosphates (sur un plan d'eau à eutrophisation rapide et un cours d'eau de tête de bassin versant).

❖ Données multiparamétriques et analyse en composantes principales

D'après les données des transects en largeur, la saturation en oxygène est plus élevée au Nord du plan d'eau. Il y a une légère tendance à la diminution de la conductivité au Nord (272 µS/cm au Sud et 266 µS/cm au Sud). Sur les transects en longueur, il ne semble pas y avoir de tendance entre les paramètres des stations Est et Ouest du plan d'eau.
Une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée dans le but de mettre en évidence les divergences ou les corrélations observées sur les jeux de données multiparamétriques (270 mesures).
Au regard de l'ACP (figure 104), l'axe 1 résume 45,28 % de la variabilité des stations de mesures tandis que l'axe 2 en résume 30,1 %. Au total, le graphique résume 75,38 % de la variabilité. On observe un premier groupe de stations avec des caractéristiques proches (median, aval, amont, et le ruisseau) et un second avec une dispersion plus marquée, comprenant les mesures de VanDorn, le rejet du restaurant et les mesures multiparamétriques en transects. Les variables de pH, de saturation en O² et de concentration en O² sont corrélées. Néanmoins ces variables ne sont pas corrélées avec la conductivité et peu corrélées avec la température. L'axe X (dimension 1) oppose les stations avec un pH, une concentration d'oxygène et une saturation en oxygène plus élevé avec les stations où ce n'est pas le cas. L'axe Y (dimension 2) oppose les stations avec une température élevée et une conductivité faible aux stations avec une température faible et une conductivité élevée.

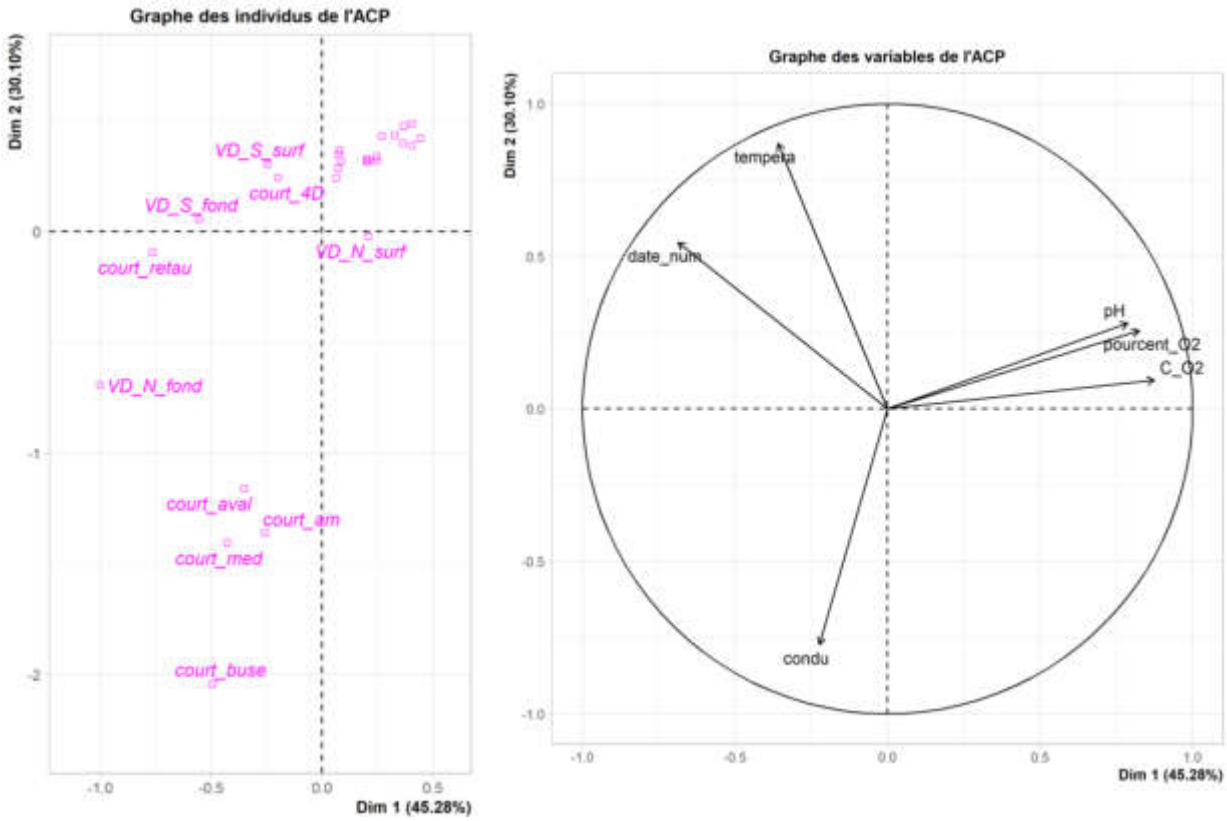


Figure 104 : Graphique des individus de l'ACP (gauche), source : P. Rovere, 2021 et Graphique des variables de l'ACP (droite), source : P. Rovere, 2021

Les stations avec des transects sur le plan d'eau (1a à 4d) présentent des valeurs de pH, de saturation en O² et de concentration d'O² plus importantes que les stations dans la Largue, du rejet et des mesures au fond du plan d'eau. Globalement, les températures dans le plan d'eau sont plus importantes et la conductivité plus faible que dans la Largue et la buse (S-E).

f) Volet hydromorphologie

Afin d'évaluer les impacts éventuels du plan d'eau de Courtavon sur l'hydromorphologie de la Largue, une description du milieu dans son état actuel était indispensable.
La Largue, à proximité du plan d'eau de Courtavon, a ainsi été prospectée à pied le 1er septembre 2021 afin de renseigner son état hydromorphologique. Plusieurs compartiments ont été étudiés :

- **Compartiment physique** : lit, berges et ripisylve et lit majeur ;
- **Compartiment dynamique** : ligne d'eau et continuité écologique.

Le dictionnaire des données renseignées au cours de l'expertise de terrain est disponible sur demande.
Un total de 2.57 km a été parcouru, apportant un point de vue très localisé, et détaillé, de l'état hydromorphologique de la Largue sur ce secteur.

❖ Sectorisation

Après analyse, il apparait que le tronçon étudié peut être découpé en 5 segments homogènes, avec :

- **Segment 1 :** Il s'agit d'un segment mobile dont le fonctionnement hydromorphologique apparait non contraint et naturel. De fait, on observe des zones d'érosions et de dépôts marquées, une alternance de faciès, une alternance de zones profondes et de radiers. Une ripisylve adaptée est présente en berge.
- **Segment 2 :** Ce segment borde la partie aval du plan d'eau de Courtavon. Il est rectiligne, rectifié, avec de fortes contraintes latérales. Plusieurs perturbations impactant le milieu ont été recensées : embâcles, ouvrages, déchets.
- **Segment 3 :** Les contraintes latérales sont adoucies en rive gauche sur ce segment. La Largue dispose ici d'un espace de mobilité modéré. De légères sinuosités sont présentes au sein du lit mineur, témoins de la puissance de la Largue en période de hautes eaux. Une grande partie des racinaires étaient hors d'eau lors des prospections.
- **Segment 4 :** La Largue dispose ici d'un grand espace de mobilité, très fortement limité par les actions anthropiques (ouvrages, protections de berges). Des sinuosités de très faible amplitude se distinguent. La ripisylve est ponctuellement présente à la suite de travaux inadaptés d'entretien.
- **Segment 5 :** Situé en aval de la traversée urbaine de Courtavon, ce segment est rectifié, sous l'influence d'un ouvrage et contraint par une infrastructure en rive droite. La ripisylve n'est présente qu'en rive droite et est peu diversifiée.

Figure 105 : Sectorisation du tronçon prospecté de la Largue à proximité du plan d'eau de Courtavon.

Figure 106 : planche photographique des 5 segments identifiés sur le site de Courtavon

❖ Compartiment lit mineur

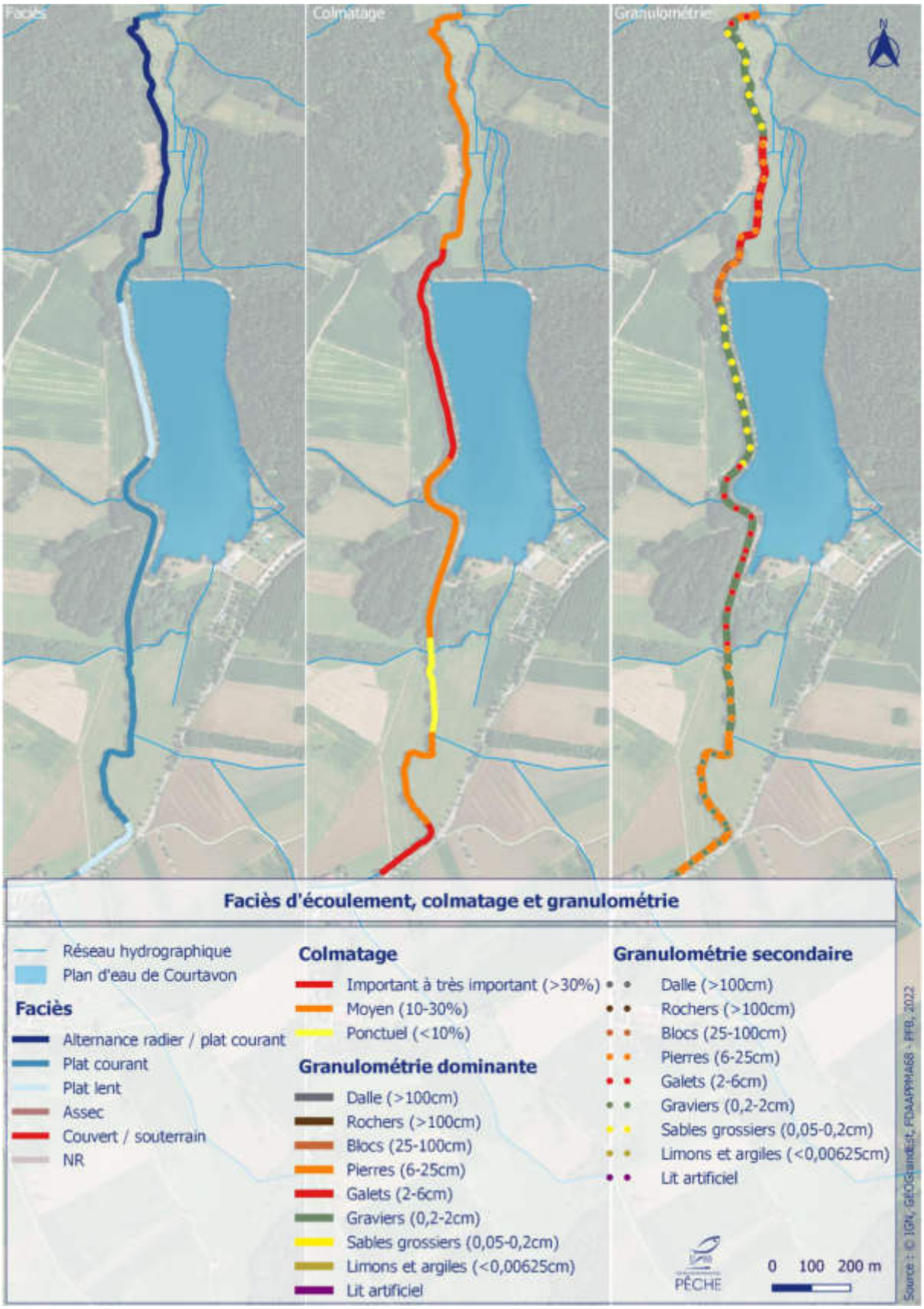


Figure 107 : Faciès d'écoulement, colmatage et granulométrie de la Largue à proximité du plan d'eau de Courtavon

Les faciès et la granulométrie des cours d'eau sont parmi les paramètres les plus pertinents à analyser pour diagnostiquer l'état hydromorphologique d'une rivière.

La diversité des faciès d'écoulement au sein d'une même séquence permet d'apprécier l'hétérogénéité du milieu. Les faciès d'écoulement sont relativement homogènes sur la Largue, à proximité du plan d'eau de Courtavon. Naturellement courants, ils sont lentiques sur les tronçons sous influence d'obstacles aux écoulements : ouvrages, embâcles.

La **granulométrie du substrat** apporte une information importante tant pour les aspects morphodynamiques (rugosité du lit) que biologiques (notion d'habitat, de refuge et d'abri hydraulique). Les couples de granulométrie (granulométrie dominante et granulométrie secondaire) sont ici variables selon les segments et se répartissent en fonction des contraintes en présence. La granulométrie dominante est grossière (graviers à pierres) apportant ainsi une diversité d'habitats.

Lorsque le substrat dominant est grossier, la mise en circulation de particules fines dans l'eau a tendance à combler les interstices entre les éléments grossiers, or ces interstices jouent un rôle fondamental dans l'équilibre d'une rivière (autoépuration, habitats des invertébrés, substrat de reproduction des salmonidés). Le comblement de ces interstices (colmatage) conduit à une forte altération de la qualité des habitats, préjudiciable à l'ensemble de la biodiversité, piscicole notamment.

Le **colmatage** est moyen à très important sur la grande majorité du linéaire prospecté et est d'origine minérale. La composition des berges (granulométrie fine) ainsi que la présence d'ouvrages et d'un tracé rectifié favorisent ce phénomène.

Aucune évaluation de l'impact de l'agriculture sur le phénomène de colmatage n'a été réalisée dans le cadre de cette étude.

Figure 108 : Colmatage observé sur la Largue à proximité du plan d'eau de Courtavon

❖ Profil en long

Bien qu'aucune campagne de mesure n'ait été réalisée pour rendre compte du profil en long de la Largue sur le secteur prospecté, les observations de terrain permettent de mettre en évidence un déséquilibre du fonctionnement hydromorphologique de ce cours d'eau sur ce secteur. De fait, la rectification du tracé imposé par la création du plan d'eau a entrainé une modification du profil en long et de la pente avec des impacts tant sur le compartiment hydromorphologique que biologique. En réponse, des ouvrages de stabilisation ont été mis en place, induisant un profil en long dit « en marche d'escalier ». En aval des points durs observés au droit du déversoir du plan d'eau, on suppose une incision non négligeable du fait d'une probable érosion régressive (recherche d'une pente d'équilibre) impulsée par le tronçon aval (segment 1).

Figure109 : Mise en évidence d'une incision supposée au droit du déversoir (différence d'altitude entre le déversoir et le fond du lit estimée à 2m)

❖ Perturbations ponctuelles du lit mineur

Embâcles

Un embâcle est formé par des objets solides (branches, troncs, accumulations diverses) emportés par les eaux et bloqués dans le lit de la rivière, entrainant une gêne pour le passage de l'eau.

Bien que la présence d'embâcles puisse avoir des effets bénéfiques sur le fonctionnement du milieu aquatique (stabilisation du lit, diversification des habitats et des écoulements, production de nourriture pour la faune aquatique), dans certains cas elle peut induire des perturbations nécessitant d'intervenir. Au même titre que les ouvrages transversaux, les embâcles peuvent être à l'origine d'une **discontinuité hydro-sédimentaire**.

Les embâcles peuvent faire obstacle à l'écoulement provoquant l'augmentation de la ligne d'eau, un ralentissement des écoulements et du colmatage.

Le rôle biogène des embâcles a souvent tendance à être négligé au bénéfice d'une certaine vision de rivière « propre et entretenue ». Ainsi il convient de rappeler ici que le retrait des embâcles ne doit en aucun cas être systématique. Une analyse au cas par cas est nécessaire (des exemples sont présentés ci-après).

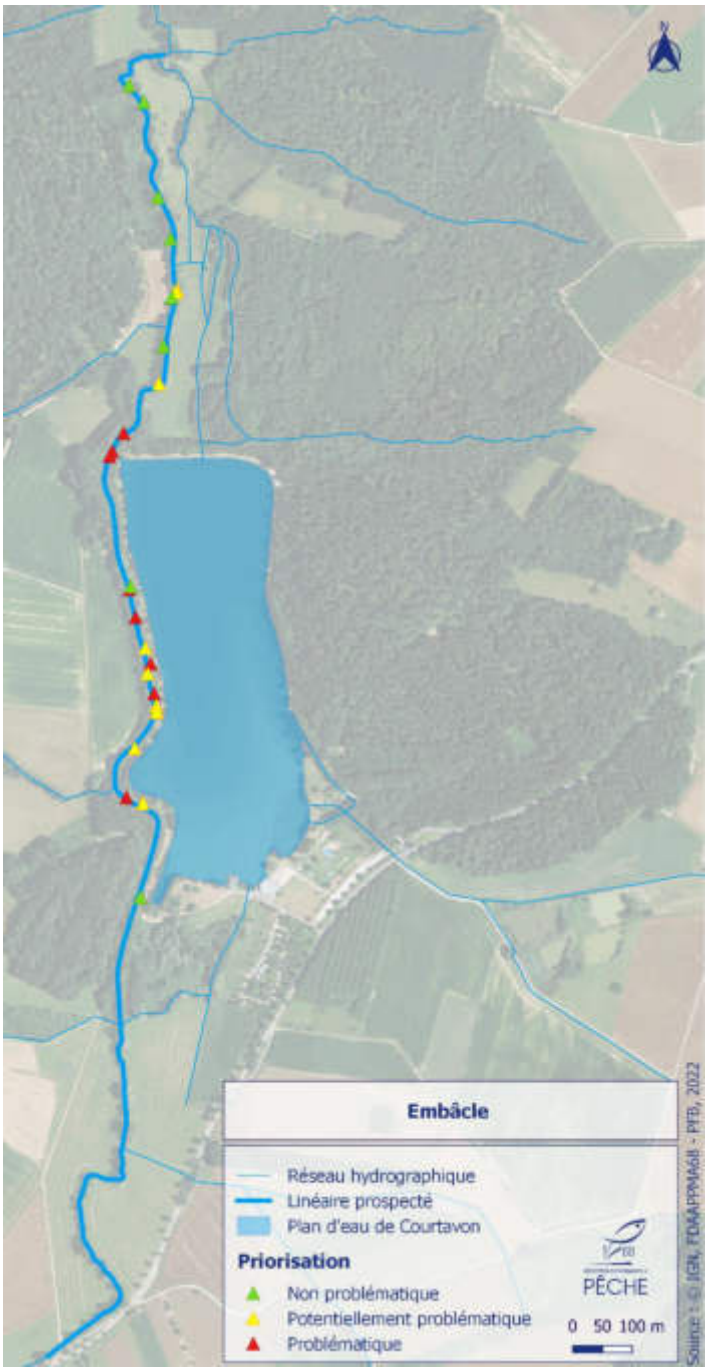
Participe à la diversité et à la richesse écologique (diversification des écoulements, habitats favorables à la faune aquatique) - pas d'enjeu notable à proximité

Potentiellement problématique : l'embâcle peut devenir problématique si un léger entretien n'est pas réalisé.

Problématique pour la continuité écologique et frein aux écoulements en cas de crue

Figure 110 : Illustrations des types d'embâcle observés.

Figure 111 : Embâcles présents au pied du déversoir du plan d'eau de Courtavon



Les embâcles problématiques se concentrent sur le tronçon de la Largue qui longe le plan d'eau de Courtavon.

Le caractère problématique est en lien avec la structuration des embâcles mais également avec les enjeux à proximité. Les embâcles situés en aval du plan d'eau ne sont globalement pas problématiques ; aucun enjeu notable n'a été identifié sur ce secteur.

Lors des prospections, des embâcles accumulés au pied du déversoir du plan d'eau étaient réellement problématiques du fait de leurs dimensions et de leur positionnement dans le lit du cours d'eau

Déchets

Des déchets ont été observés sur l'ensemble du secteur d'étude. Pour autant, la majorité d'entre eux se concentre aux abords du plan d'eau, en berge, du fait de la fréquentation intense du site et du manque d'infrastructures à disposition (poubelle, toilette).

Figure 112 : Embâcles situés à proximité du plan d'eau de Courtavon

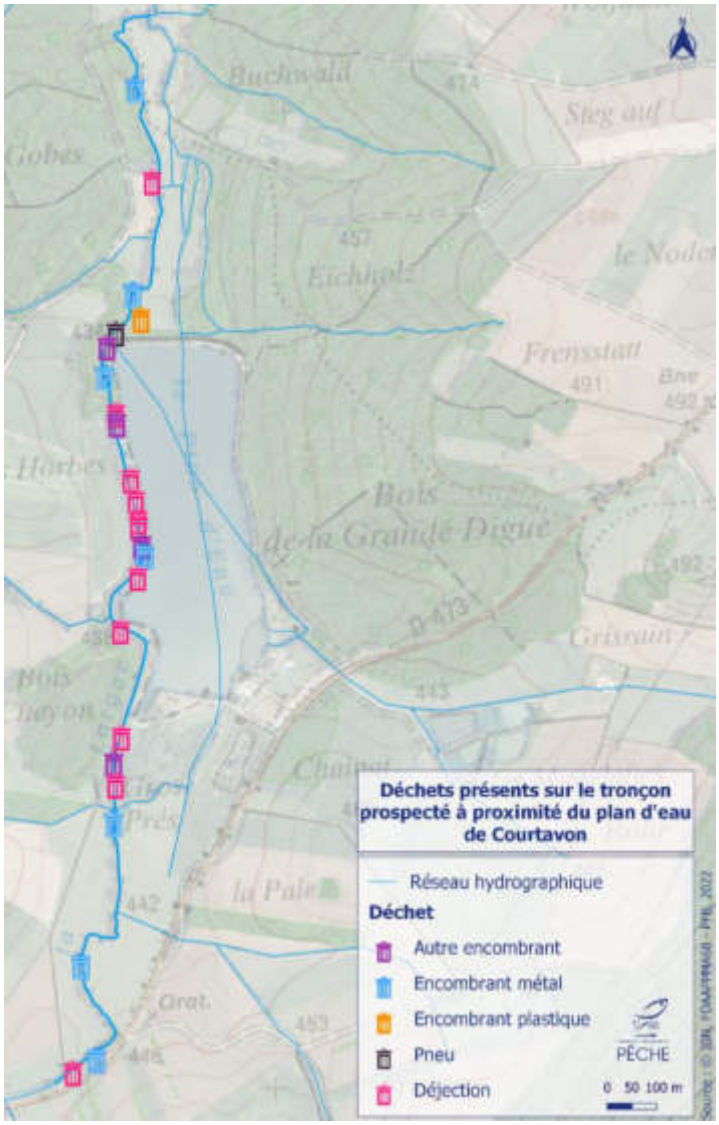


Figure 113 : Exemple de déchets observés sur le secteur d'étude et localisation associées.

❖ Compartiment berges et ripisylve

Le fonctionnement des berges et de la ripisylve étant étroitement liés, ces deux ensembles sont considérés comme une même entité qui constitue une zone tampon entre le cours d'eau et le milieu environnant. Cette zone de transition agit comme un filtre par assimilation et fixation des pollutions, mais contribue également à la diversification des habitats à proximité des cours d'eau en offrant des zones de refuge pour beaucoup d'espèces.

D'autre part, face aux épisodes de crue d'intensité variable, la ripisylve permet de renforcer la stabilité des berges grâce aux systèmes racinaires des différentes espèces. La présence d'une végétation rivulaire permet également de freiner les écoulements de crue et ainsi limiter les débordements à l'aval. Elle permet également de freiner les ruissellements en provenance du versant.

Ripisylve

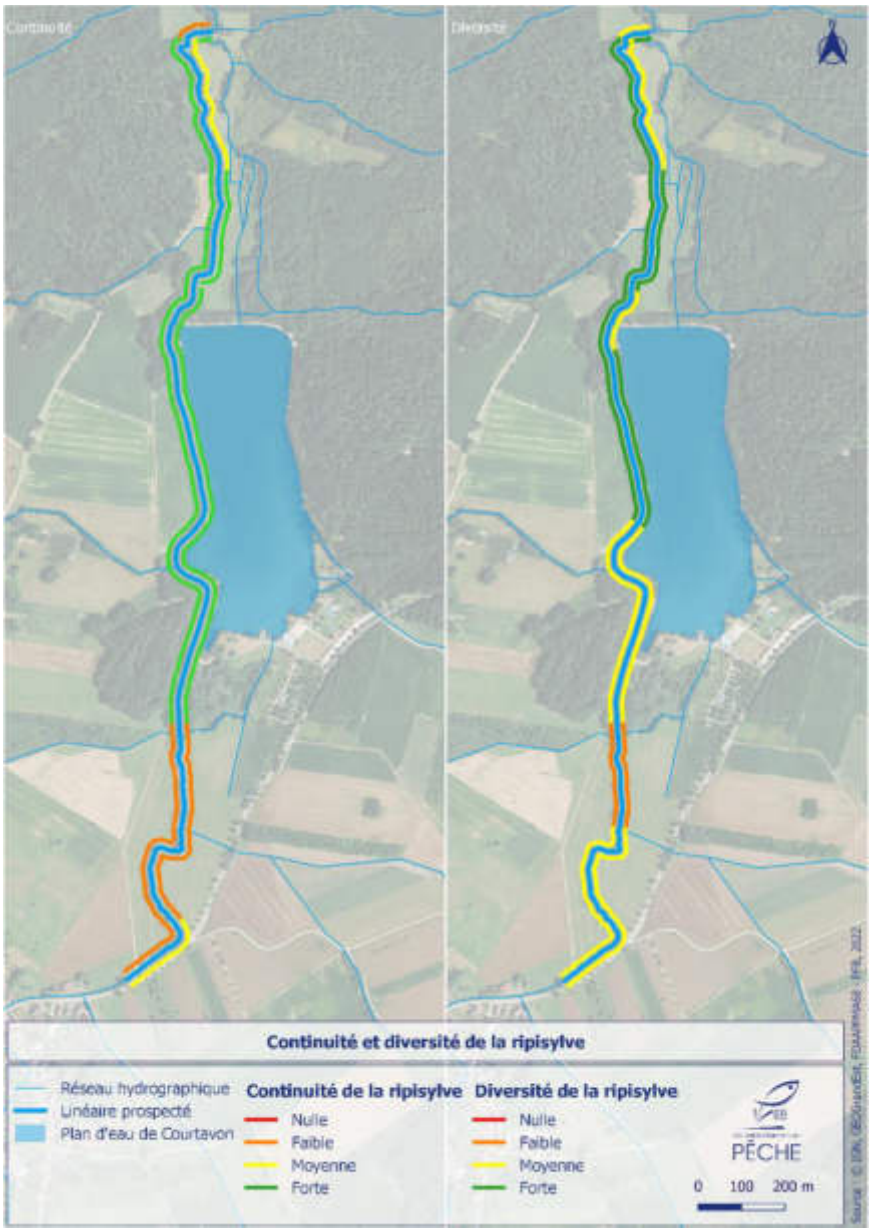


Figure114 : Continuité et diversité de la ripisylve

Au droit du plan d'eau ainsi qu'en aval de celui-ci, la Largue dispose d'une ripisylve intéressante, continue et globalement diversifiée offrant ainsi de multiples avantages à l'écosystème aquatique : ombrage, zones de caches et abris pour la faune aquatique, zones d'alimentation, lieux de reproduction, filtration des polluants, stabilisation des berges, etc.
La ripisylve située sur les parcelles en amont du plan d'eau a quant à elle subi un entretien trop intense (coupes à blanc). De ce fait, la continuité de la ripisylve est globalement faible avec une diversité faible à moyenne. Son rôle écologique est donc fortement mis à mal.
Localement la ripisylve présente est vieillissante entrainant la formation d'embâcles dans le cours d'eau. Lorsqu'elle est présente, elle est toujours constituée d'essences adaptées.

Pour rappel, la présence d'une ripisylve majoritairement continue, diversifiée et en bon état joue un rôle prépondérant en termes de diversification et de bon état des berges, elle fait office de corridor écologique assurant ainsi des connexions entre des réservoirs de biodiversité sur le territoire.

Berges

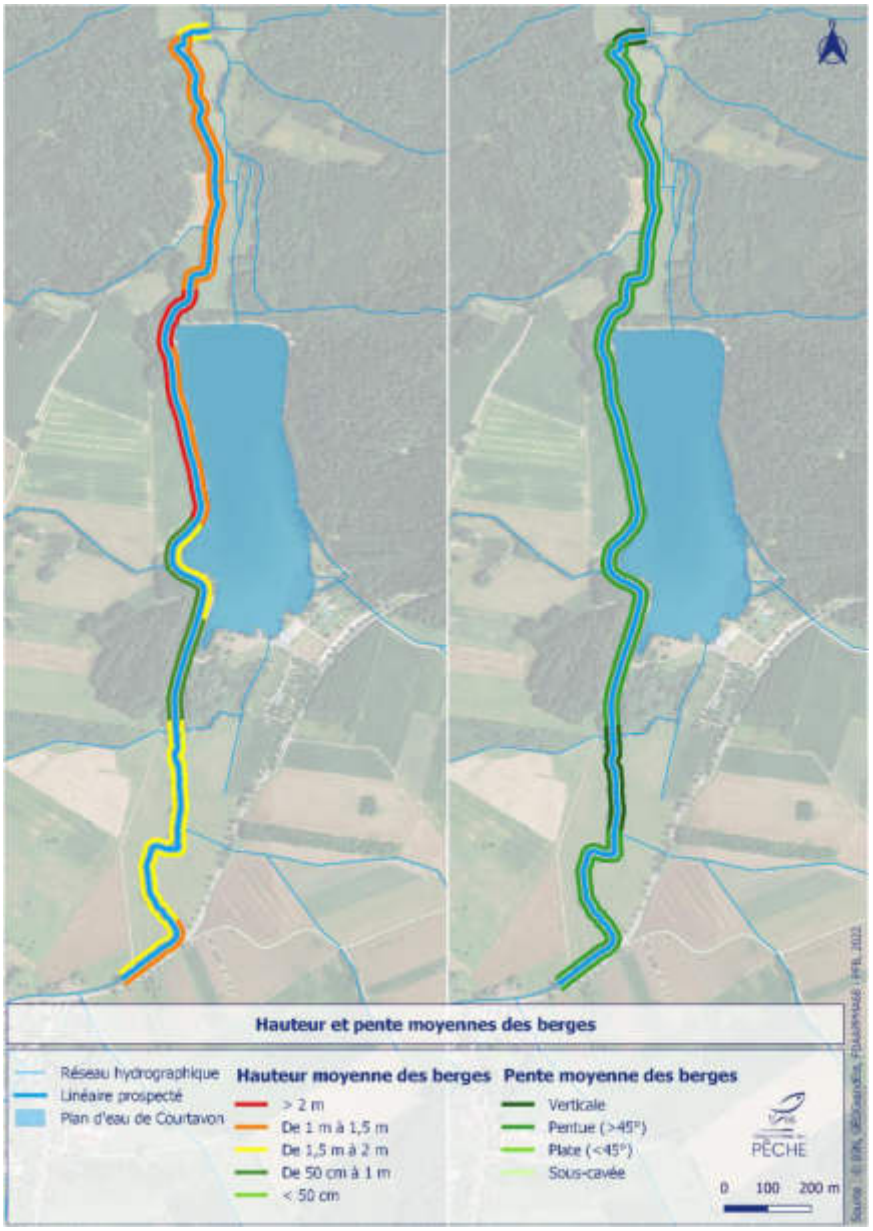


Figure115 : Hauteur et pente moyennes des berges sur le secteur d'étude

Sur le secteur étudié, les berges sont essentiellement **naturelles** en terre végétale ; quelques enrochements ponctuels sont malgré tout à noter.

La **hauteur des berges** augmente globalement selon un gradient amont aval. Seul le segment n°3 ne répond pas à cette logique, probablement du fait d'une diminution de la pente du profil en long influencée par les contraintes imposées à la Largue sur ce secteur. La hauteur des berges est relativement importante sur le linéaire prospecté. Ceci peut traduire une forte variation des débits et/ou un phénomène d'incision. Cela entraine une déconnexion du milieu aquatique et de sa bande riveraine ainsi qu'une déconnexion de la ripisylve avec le cours d'eau hors période de hautes eaux.

La ripisylve est un espace d'échange entre le milieu terrestre et aquatique, appelé écotone. La biodiversité y est généralement très élevée. De fait, par leur grande variabilité de forme et de composition floristique, les boisements rivulaires participent à la création d'une mosaïque d'habitats favorables au maintien d'une grande diversité biologique. La ripisylve abrite classiquement une faune et une flore qui appartiennent à la fois au milieu terrestre et

aquatique, mais surtout des espèces qui vivent uniquement dans ces lieux de transition. D'où l'importance d'observer un lien entre les milieux aquatiques et terrestres.

La **pente** prépondérante **des berges** (verticale et pentue) renseigne sur le fonctionnement hydrodynamique du cours d'eau. En effet, une berge verticale montre une dynamique érosive importante qui peut être le signe d'un déficit sédimentaire à l'échelle du cours d'eau. Des zones d'érosion localisées (encoches) sont des phénomènes normaux qui ne sont pas forcément le signe d'un déséquilibre sédimentaire mais d'une recharge naturelle du cours d'eau en sédiments.

❖ Compartiment continuité écologique

L'évaluation de la franchissabilité des obstacles à l'écoulement est obtenue en comparant les caractéristiques de l'écoulement au droit des ouvrages aux capacités biologiques de chaque espèce (aptitude au saut, possibilité de reptation, endurance, vitesse de nage maximale).
Cette caractérisation est basée sur des constatations visuelles (configuration de l'ouvrage, type de chute) et des mesures sommaires des différents types d'ouvrage permettant d'émettre un premier avis en termes d'impact sur la continuité écologique.
La franchissabilité des obstacles à l'écoulement a été évaluée pour l'espèce cible du secteur :

➔ La **Truite fario**.

Figure 116: Franchissabilité des obstacles à l'écoulements pour la Truite fario

Les obstacles à l'écoulements présents sur la Largue à proximité du plan d'eau de Courtavon se concentrent en amont du plan d'eau, sur le secteur 4, ainsi qu'à proximité du déversoir du plan d'eau. Ce volet a ainsi permis de mettre en évidence plusieurs points :

- 11 obstacles aux écoulements ont été identifiés ;
- 7 ouvrages constituent un obstacle à la continuité de la Truite fario ;
- La hauteur de chute cumulée est de **4.4m ;**
- La densité d'ouvrage entrainant une rupture des continuités sédimentaires et piscicoles est importante : **4.2 OH/km.**

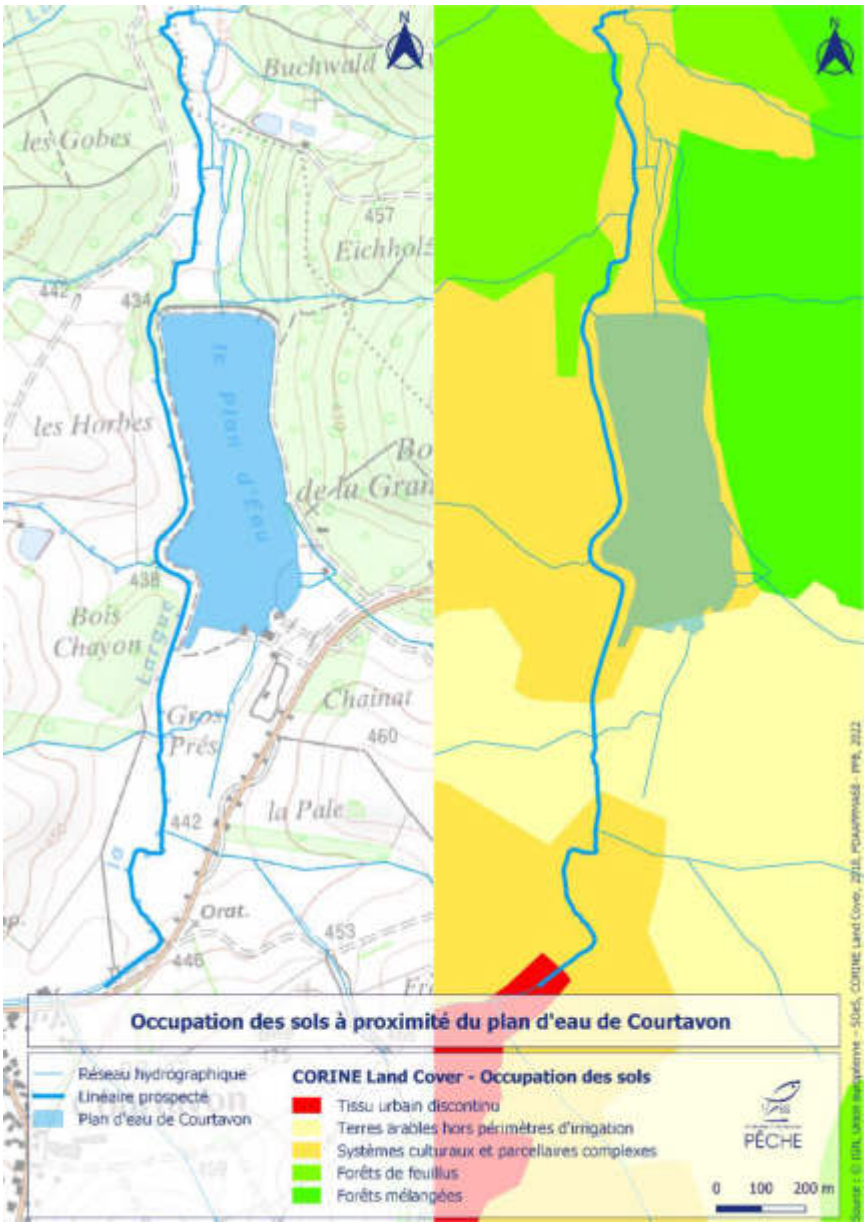
Figure117 : Ouvrages problématiques pour la continuité écologique situés sur le tronçon prospecté de la Largue

Les ouvrages présents en amont du plan d'eau de Courtavon sont des vestiges et ne semblent plus avoir d'usage aujourd'hui. Leur maintien ne semble pas donc pas justifié.

Les ouvrages situés à proximité du déversoir stabilisent le profil en long de la Largue sur le tronçon contraint par la présence du plan d'eau en fond de vallée. Pour autant, ces ouvrages ne semblent pas indispensables en l'état. Des aménagements peuvent être envisagés pour rétablir une continuité piscicole et sédimentaire sur ce secteur (suppression partielle, échancrure).

❖ <u>Compartiment lit majeur</u>

Afin de mieux appréhender la Largue sur le secteur du plan d'eau de Courtavon, il est utile de prendre connaissance du relief et de la structuration des paysages.



<u>Figure118 : Occupation des sols à proximité du plan d'eau de Courtavon</u>

En aval du plan d'eau, la Largue dispose d'un espace de liberté important qui lui permet d'exprimer ses différentes variables. Ce fond de vallée est occupé par des « systèmes culturaux et parcellaires complexes ». Lors des prospections, des bovins pâturaient en rive droite. Ponctuellement, des enrochements ont été mis en place en rive droite afin de limiter l'érosion de la berge. Les premières lignes de niveaux situées en rive droite et en rive gauche rencontrent des forêts de feuillus et des forêts mélangées.

Le plan d'eau de Courtavon est situé en fond de vallée et borde les premières courbes de niveau tant en rive droite qu'en rive gauche. La Largue, circule en rive gauche du plan d'eau et se trouve contrainte sur ce secteur, lui imposant un tracé rectifié, rectiligne.

Figure119 : Tronçon aval du tronçon prospecté de la Largue (à gauche), enrochements disposés en rive droits (à droite)

En rive droite, la digue du plan d'eau ne permet pas à la Largue d'évoluer « librement ». Cette digue est aujourd'hui un chemin carrossable, utilisé tant par les promeneurs que les pêcheurs. En rive gauche, la Largue est contrainte par une berge naturellement abrupte. Aucun espace de liberté n'est disponible. La bande riveraine est majoritairement constituée de « systèmes culturaux et parcellaires complexes » en rive gauche tandis qu'en rive droite, se trouve le plan d'eau de Courtavon.

Figure120 : La Largue au droit du plan d'eau de Courtavon

En amont du plan d'eau, la Largue circule au sein de « systèmes culturaux et parcellaires complexes » et de « terres arables hors périmètre d'irrigation » (segment 4 et 5) et dispose d'un espace de liberté important. Pour autant, son tracé a été historiquement contraint, notamment du fait de la présence d'ouvrages. Des vestiges de protections de berges ainsi que des enrochements, dont l'objectif est de limiter la dynamique latérale de la Largue, ont été observés sur le segment 4.

Figure121 : Vestiges de protection de berge en rive gauche (à gauche) et enrochements en rive droite (à droite)

g) Volet ADNe

❖ Echantillonnage

La période pressentie pour la réalisation des prélèvements doit tenir compte de plusieurs facteurs comme l'évitement de la période de fraie principale des cyprinidés qui peuvent saturer les échantillons ou à l'inverse la recherche des périodes de reproduction des amphibiens pour améliorer leur détection. Un compromis a été trouvé avec la réalisation des échantillonnages lors du 20/04/21. Les résultats des prélèvements sont en général obtenus auprès du laboratoire après 3 à 4 mois. 3 transects ont été réalisés sur le plan d'eau de Courtavon selon un protocole précis élaboré en concertation avec le laboratoire Spygen.

❖ Prérequis

Lors de l'analyse des résultats, il faut garder à l'esprit plusieurs prérequis :

- L'ADN possède une durée de vie dans le milieu aqueux d'environ 15 jours (en fonction de divers facteurs : espèces, UV, T°…) ;
- Des pollutions génétiques sont possibles et peuvent mener à des résultats aberrants, par exemple en aval d'une station d'épuration (Saumon et Truite notamment) ;
- Certains taxons ne peuvent actuellement qu'être décrits au niveau du genre ou de la Famille à l'aide de l'étude de l'ADNe (Tableau 11). Il est toutefois possible de déduire l'espèce présente en fonction des connaissances du milieux, des données historiques d'autres sources et des connaissances de répartition des espèces ;
- Il faut rester prudent quant à l'interprétation des proportions de nombres de séquence (information semi-quantitative pouvant par exemple résulter d'un grand nombre de petits individus ou d'un faible nombre de grands individus, etc.).

Tableau 11 : Liste des principaux taxons uniquement identifiable au genre ou à la famille par l'expertise ADNe (tableau complet consultable en annexe).

Certains taxons sont identifiés au genre ou à la famille :
Carassius sp. : *Carassius auratus, Carassius carassius* ou *Carassius gibelio*
Cottus sp. : *Cottus aturi, Cottus duranii, Cottus gobio, Cottus hispaniolensis, Cottus perifretum* ou *Cottus petiti*
Cyprinidae - Complexe 1 : *Chondrostoma nasus & Parachondrostoma toxostoma & Telestes souffia*
Cyprinidae* - Complexe 2 *: *Ctenopharyngodon idella* ou *Hypophthalmichthys molitrix*
Cyprinidae - Complexe 3 : *Abramis brama ou Blicca bjoerkna*
Gobio sp. : *Gobio gobio, Gobio lozanoi* ou *Gobio occitaniae*
Lampetra sp. : *Lampetra fluviatilis ou Lampetra planeri*
Leuciscus sp. : *Leuciscus idus* ou *Leuciscus leuciscus*
Coregonus sp. : *Coregonus lavaretus ou Coregonus oxyrinchus*
Phoxinus sp. : *Phoxinus bigerri, Phoxinus phoxinus ou Phoxinus septimaniae*

Dans la suite de l'analyse, sur chaque site, un nombre de réplicas et de séquences sont identifiés. Les réplicas sont au nombre de 12 afin de garantir une certitude quant à la présence

d'une espèce. Le nombre de réplicas positif (par exemple 8/12) correspond au nombre de réplicas différents où la présence de l'espèce a été effectivement validée au-delà d'un seuil significatif. Le nombre de séquences quant à lui représente le nombre de séquences ADN correspondant aux amorces utilisées qui ont pu être retrouvées dans l'échantillon. Ces deux indicateurs peuvent nous renseigner sur l'aspect semi-quantitatif de la présence d'un taxon.
On rappelle que les résultats de l'analyse du compartiment ichtyologique et des amphibiens ont été obtenus avec l'approche multi-spécifique (VigiDNA® M). En plus de cela, une analyse mono-spécifique (VigiDNA® S) a été réalisée sur l'Ecrevisse à pattes blanches (*Austropotamobius pallipes*).

❖ Résultats de l'approche mono-spécifique sur l'écrevisse à pattes blanches

L'intégralité des transects réalisés au sein du plan d'eau de Courtavon présentent des résultats négatifs quant à la détection d'ADN d'écrevisse à pattes blanches (*Austropotamobius pallipes*).

❖ Résultats généraux de l'approche multi-spécifique sur les poissons

Le plan d'eau de Courtavon présente une diversité spécifique de 19 taxons confirmés. Si on prend en compte le vairon (détecté à l'état de traces non significatives), cela porte la somme à 20 espèces de poissons différentes. La présence de cette espèce ne serait néanmoins pas aberrante puisqu'elle est bien présente dans la Largue.

Le peuplement du plan d'eau est donc particulièrement diversifié par rapport à la Largue mais aussi par rapport aux autres plans d'eau de l'étude (moyenne 13,6).

Tableau 12 : Résultats généraux des analyses ADNe sur les 3 transects du plan d'eau de Courtavon.

	Courtavon Milieux		Courtavon Est		Courtavon Ouest	
Diversité	13		16		17	
Taxon le plus représenté (réplicas positifs/nbre de séquences)	Brème commune	(9/55917)	Carpe commune	(12/39673)	Carpe argenté & Amour blanc	(12/56751)
Taxon le moins représenté (réplicas positifs/nbre de séquences)	Goujon asiatique	(1/1714)	Aspe	(1/396)	Goujon asiatique	(2/89)
Espèces d'intérêt patrimoniales	VAI		BRO, ASP, VAI		BRO, TRF	

Les taxons les plus représentés au sein du plan d'eau en termes de nombres de séquences sont la grémille (16,86%), l'amour blanc (16,70%), la carpe commune (14,59%), la perche fluviatile (13,83%), et la brème commune (11,87%). Le Sandre (8,68%), le silure (7,72%), le gardon (2,89%) et la perche soleil (1,81%) sont également présent dans une moindre mesure. Il est fréquent dans certains plans d'eau qu'une espèce domine fortement le peuplement, ce qui ne semble pas le cas ici avec 19 espèces représentées en proportions très variables. Les espèces les moins représentées sont l'Aspe, le *Pseudorasbora* et la Truite fario. Il est envisageable que la très faible représentativité en nombre de séquence de la truite fario et de la loche franche provienne (dans l'ensemble ou en partie) des apports d'eau du ruisseau à l'Est ou de la Largue.

Des disparités importantes en termes de proportions d'espèces existent entre les trois transects. C'est notamment deux fois plus de séquences qui ont été dénombrées au milieu du plan d'eau et à l'Ouest par rapport à l'Est du plan d'eau.

			Courtavon Milieux			Courtavon Est			Courtavon Ouest		
Nom scientifique	**CODE taxon**	**Nom vernaculaire**	**Nombre de réplicats positifs (/12)**	**Nombre de séquences ADN**	**Proportion**	**Nombre de réplicats positifs (/12)**	**Nombre de séquences ADN**	**Proportion**	**Nombre de réplicats positifs (/12)**	**Nombre de séquences ADN**	**Proportion**
Cyprinidae - Complexe 2 (Ctenopharyngodon idella & Hypophthalmichthys molitrix)	CAR & CTI	Carpe argenté & Amour blanc	9	40528	15,0	12	4839	4,0	12	56751	25,8
Perca fluviatilis	PER	Perche fluviatile	10	21987	8,2	12	14202	11,6	12	48356	22,0
Gymnocephalus cernua	GRE	Grémille	11	44906	16,7	12	22062	18,1	12	36307	16,5
Silurus glanis	SIL	Silure	5	9123	3,4	12	14133	11,6	12	23949	10,9
Cyprinus carpio	CCO	Carpe commune	12	28912	10,7	12	39673	32,5	12	20621	9,4
Sander lucioperca	SAN	Sandre	11	36688	13,6	12	5744	4,7	12	10648	4,8
Abramis brama	BRE	Brème commune	9	55917	20,8	11	7005	5,7	11	9668	4,4
Cyprinidae - Complexe 4 (Alburnus alburnus ou Scardinius erythrophthalmus)	ABL & ROT	Ablette & Rotengle				5	634	0,5	12	5729	2,6
Carassius gibelio	CAA	Carrassin argenté	6	4367	1,6	7	709	0,6	10	1778	0,8
Rutilus rutilus	GAR	Gardon	5	14152	5,3	9	1877	1,5	6	1648	0,7
Lepomis gibbosus	PES	Perche soleil	3	4268	1,6	10	5287	4,3	6	1515	0,7
Esox lucius	BRO	Brochet				6	2903	2,4	3	1210	0,5
Alburnus alburnus	ABL	Ablette				3	361	0,3	2	633	0,3
Scardinius erythrophthalmus	ROT	Rotengle				6	1518	1,2	1	584	0,3
Barbatula barbatula	LOF	Loche franche							3	474	0,2
Salmo trutta	TRF	Truite fario							1	94	0,0
Pseudorasbora parva	PSR	Goujon asiatique	1	1714	0,6	9	633	0,5	2	89	0,0
Leuciscus aspius	ASP	Aspe				1	396	0,3			
Cyprinidae - Complexe 3 (Abramis brama ou Blicca bjoerkna)	BRE & BRB	Brème commune & Brème borde	2	6829	2,5						
Phoxinus sp.	VAI	Vairon		*			*				

* : Quantité d'ADN insuffisante pour certifier la détection du taxon dans l'échantillon.

Figure122 : Résultats par transects des échantillonnages d'ADNe sur le plan d'eau de Courtavon.

Ainsi :

- La brème commune (20,8%), la gremille (16,7%), l'amour blanc (15%), le sandre (13,6%) et la carpe commune (10,7%) sont majoritairement représentés au milieu du lac ;
- La carpe commune (32,5%), la gremille (18,1%), la perche fluviatile (11,6%), le silure (11,6%) et la brème commune (5,7%) sont majoritairement représentés à l'Est du lac ;
- L'amour blanc (25,8%), la perche fluviatile (22%), la grémille (16,5%), le silure (10,9%) et la carpe commune (9,4%) sont majoritairement représentés à l'Ouest du lac.

Ces résultats sont particulièrement intéressant pour comprendre la répartition des espèces au printemps. Mais d'importantes migrations saisonnières sont toutefois possibles. En effet, des déplacements d'espèces sont classiquement observés en plan d'eau, notamment lors des périodes de brassages des eaux en automne et au printemps (regroupement des cyprinidés en hiver par exemple).

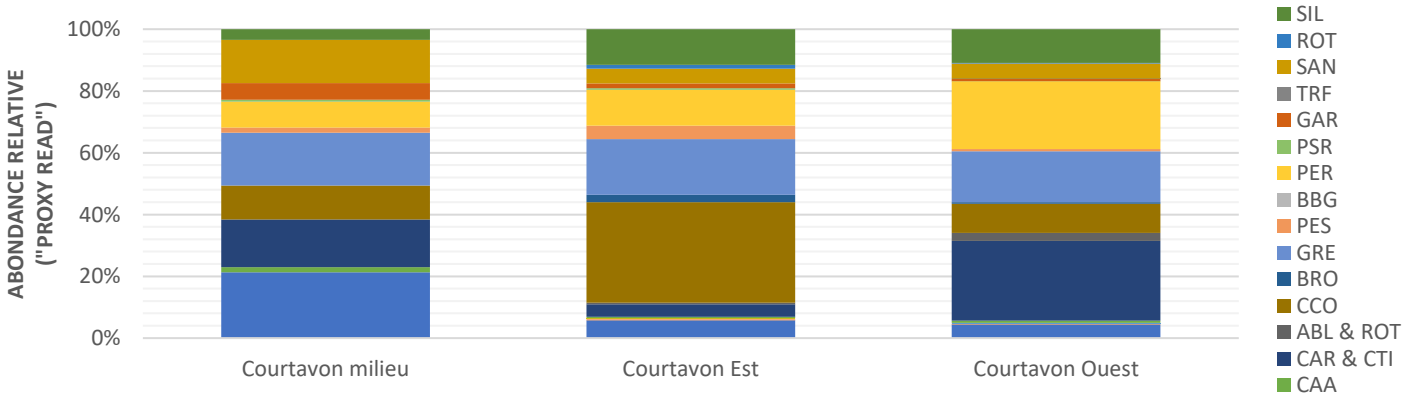


Figure123 : Proportions d'abondances relatives des taxons sur le plan d'eau de Courtavon.

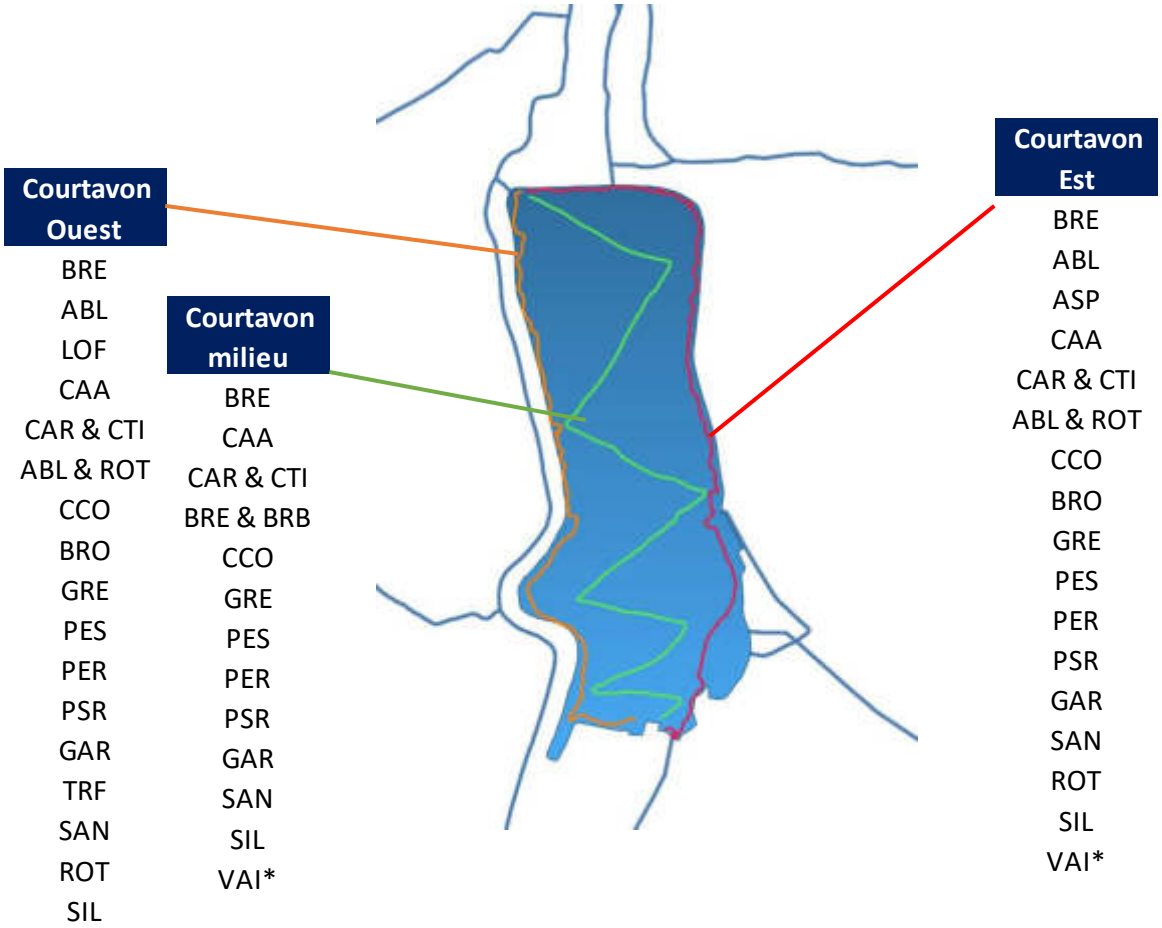


Figure124 : Occurrence et répartition des différentes espèces détectées par ADNe sur le plan d'eau de Courtavon.

❖ Espèces patrimoniales

Tableau : liste des espèces patrimoniales détectées sur le plan d'eau de Courtavon.

Nom scientifique	Nom vernaculaire	Statuts UICN
Leuciscus aspius	Aspe	**NA (Alsace) ; LC (Monde)**
Esox lucius	Brochet	**VU**
Rhodeus amarus	Bouvière	**LC ; Annexe II DHFF ; Annexe II CB**
Salmo trutta	Truite Fario	**LC ; Annexe II DHFF**
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.*

4 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).

❖ Espèces exotiques

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 appliquée 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 du plan d'eau de Courtavon, c'est 7 espèces exotiques qui sont recensées. Il s'agit de : la perche soleil, du sandre, du silure, de l'aspe, du *Pseudorasbora*, de l'amour blanc et du carassin argenté.

Parmi elles, seuls la perche soleil et le *Pseudorasbora* sont listées règlementairement en tant qu'espèces susceptibles de causer des déséquilibres biologiques. En parallèle, l'introduction de l'amour blanc est règlementé et soumis à autorisation.

Figure 125 : Illustration du Pseudorasbora parva ou goujon asiatique (source : observatoire des poissons de seine-Normandie).

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 au sein du plan d'eau est alarmante.

Figure 126 : Illustration de l'amour blanc, Ctenopharyngodon idella (source : observatoire des poissons de seine-Normandie).

L'analyse de l'ADNe (Cyprinidae - Complexe 2) ne parviens pas à faire la distinction entre l'Amour blanc (*Ctenopharyngodon idella*) et la Carpe argentée (*Hypophthalmichthys molitrix*). Mais des données historiques permette de valider la présence de l'amour blanc. En effet, la carpe à grosse tête (*Hypophthalmichthys nobilis*) a été vue dans les années 1980 lors de la vidange du lac (probablement à la place *d'Hypophthalmichthys molitrix*) mais les données sont anciennes. En revanche des amours blanc ont été introduit dans les années 2010-2015 à raison d'une trentaine de kg. Cette espèce, à la croissance rapide, a une espérance de vie de près de 30 ans. Elle est ainsi vraisemblablement bien implantée dans le plan d'eau depuis lors. Originaire d'Asie orientale, l'espèce a été introduite à de multiples endroits dans le monde et en France dans le but de lutter contre la prolifération végétale en plan d'eau (notamment en eaux closes). L'espèce a été initialement commercialisée à cause de son régime phytophage important (elle peut consommer quotidiennement 120% de son poids en végétation de manière journalière au-dessus de 15°C). Néanmoins il est admis que l'amour blanc cible préférentiellement les hydrophytes supérieures (myriophylles, potamots, élodées, nénuphars, etc.) et délaisse les algues filamenteuses de grande taille. L'espèce présente ainsi un rôle important dans la destruction de frayère. En plan d'eau, la carpe herbivore peut dégrader la qualité de l'eau (Dibble et Kovalenko, 2009) via la remise en suspension des sédiments lors de l'alimentation et la décomposition des fèces induisant une augmentation des concentrations en nitrite, nitrate et phosphate puis une diminution de l'oxygène dissous, souvent suivis de blooms algaux. L'amour blanc peut ainsi induire des altérations dans le cycle trophique, induire des changements parfois persistants et induire un déséquilibre sur les communautés de plantes aquatiques, de poissons et d'invertébrés (GT IBMA, 2016).
S'il convient de rester vigilant quant au développement de l'espèce, les cas de reproductions de l'amour blanc en France restent anecdotiques voire inexistant. En effet, l'espèce nécessite des conditions particulières pour la réalisation de son cycle de reproduction. Conditions qu'elle ne peut naturellement retrouver en plan d'eau (reproduction entre 20 et 25°C dans des grands fleuves à très fort courant et aux variations de niveaux d'eau rapides).

- ❖ Résultats de l'approche multi-spécifique sur les amphibiens

Seuls deux espèces ont été détectées sur les rives du plan d'eau de Courtavon. Il s'agit de :
- *Bufo sp.* ou le crapeau commun ;
- *Rana temporaria* ou la grenouille rousse.

h) Volet piscicole

Deux pêches électriques complètes à plusieurs passages ont été réalisées en amont et en aval du plan d'eau de Courtavon. Les résultats à l'échelle de la station sont présentés sous forme de fiche de synthèse.

Analyse piscicole - PES - Courtavon - AM - 2021

Caractéristiques de la station

Code opération :	PE_Etude_PES	Nom station :	Courtavon_amont
Code station :	Am_court	Cours d'eau :	Largue
Date échantillonnage :	23/07/2021	Commune :	Courtavon

Localisation

Latitude (X):
1016504,15

Longitude (Y):
6716055,52

Projection :
RGF93-

Données environnementales

Régime hydrologique :	reg_pf	Largeur moy. en eau (m):	2,8
Superficie bassin :	91	Pente du cours d'eau (‰):	5,17
Géologie dominante :	s	Stratégie échantillonnage :	COMP
Surface échantillonnée(m²):	168	Bassin hydrologique :	H1
Distance à la source (km):	7,747	Temp. Moy. bassin (C°):	9,75
Pronfondeur moyenne (m):	0,24	Précip. moy. bassin (mm):	1170,44
Altitude (m):	439	Temp. Ampli. station (C°):	17,56
Temp. Moy. janvier (C°):	0,747	Temp. Moy. station (C°):	10,37
Temp. Moy. juillet (C°):	19,167	Catégorie piscicole :	1er catégorie
Niveau typologique :	B3+	Zonation de Huet :	Truite
Station hydro proche :	Largue à Friesen	Débit (QMM en m3/s) :	NR
Module interan. (en m3/s) :	1,09	Débit (QjM en m3/s) :	NR

Renseignements généraux sur la pêche

Hydrologie :	Moyenne eaux	Heure début opération :	13:45:00
Turbidité :	Moyenne	Heure fin opération :	15:00:00
Tendance du débit :	En baisse	Durée du chantier :	01:15:00
Longueur station (m):	60	Nombre participants :	9
Météorologie :	Ensoleillé	Chef de chantier :	YN

Renseignements mise en œuvre matériel

Nombre passage (si D.Lury):	2	Protocole de pêche :	De Lury
Nombre de points (si EPA) :	/	Tension (U en V) :	300
Nombre anode :	1	Intensité (I en A) :	2
Nombre épuissettes :	2	Puissance (W = AxV) :	600
Moyen de prospection :	A pied	Isolement amont :	Filet
Matériel utilisé :	Portatif	Isolement aval :	Filet
Modèle du matériel :	EFKO FEG 1700	Efficacité de pêche :	76,74

Commentaires sur le chantier

Difficulté maintien filet amont (mais seuil difficilement franchissable) - Elargissement post-crue

Mesures physico-chimiques basiques

Conductivité (µs/cm) :	592		Saturation O^2 (%) :	100,8
pH :	8,292	*	Concentration O^2 (mg/l) :	9,62
Température eau (C°) :	15,4			

Mesures physico-chimiques complémentaires (si réalisées)

Nitrites (NO2-mg/l) :	0,15		Phosphore total (P mg/l) :	NR
Nitrates (NO3-mg/l) :	29	*	PO4 3- (mg/l) :	< 0,2
Ammonium (NH4+mg/l) :	< 0,1		Sulfate (SO4-mg/l) :	< 20

Rappel des codes couleurs des classes de qualités associées :

Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais

** classes de qualité suivant l'arrêté du 27 juillet 2018 pour les paramètres référencés sinon SEQ-eau V2*

Caractéristiques hydromorphologiques

Type d'écoulement	Proportion (%)	Profondeur moy. (m)	Granulométrie* du substrat	Colmatage* du fond	Végétation* aquatique dominante	
					Dominante	Recouvre.
Courant	30	20	5 - Cailloux	1 - Pas de colm	0 - Aucune	0
Plat	70	25	5 - Cailloux	1 - Pas de colm	0 - Aucune	0
Profond	0	0	0	0	0	0

***Granulométrie** : 1-argile 2-limon 3-sable 4-gravier 5-caillou 6-pierre 7-blocs 8-dalles*

***Colmatage** : 1-pas de colmatage 2-sable 3-vase 4-fines 5-recouv. bio. 6-débris vgtx 7-litière*

***Végétation** : 1-bactéries/champ. 2-microphytes 3-algues fila. 4-bryophytes 5-hydrophytes 6-hélophytes*

Caractéristiques habitats (classes d'abondances)

Sinuosité	Ombrage	Trous, fosses	Sous-berges	Abris rocheux	Embâcles, souches	Végétation aquatique
Nul	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Nul	Nul

Lit majeur :	Forestier	Ripisylve RD :	Arboricole	Ripisylve RG :	Arboricole

Halieutisme

AAPPMA si droit de pêche :	NR	Féquentation :	NR

Autres informations et/ou schéma de la station

Analyse piscicole - PES - Courtavon - AM - 2021

Résultats globaux				
Effectifs totaux :	172		Densité par hectares :	10238,1
Richesse spécifique :	6		Densité par 100m² :	102,4
Diversité (Shannon) :	1,5		Biomasse par hectares :	110178,6
Equitabilité (Pielou) :	0,8		Biomasse par 100m² :	1101,8
Taxon majoritaire (%) :	VAI		Taxon minoritaire (%) :	PSR
IPR			**IPR+**	
Valeur de l'IPR :	19,32		EQR indice :	0,83
Classe de qualité :	Moyen	*	EQR indice eq. type:	0,15
			Classe de qualité :	Bon

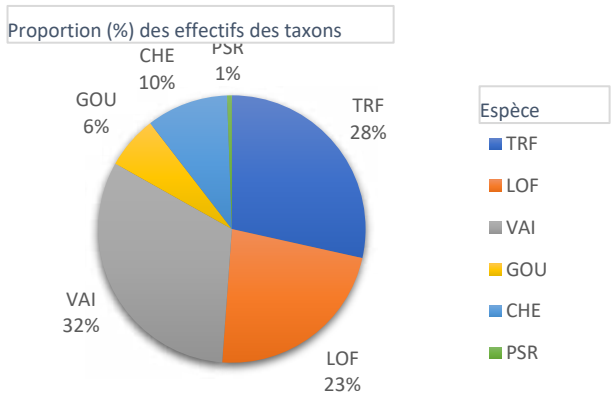
** classes de qualité suivant l'arrêté du 27 juillet 2018 pour l'Alsace*

***sinon NA pour Non Applicable*

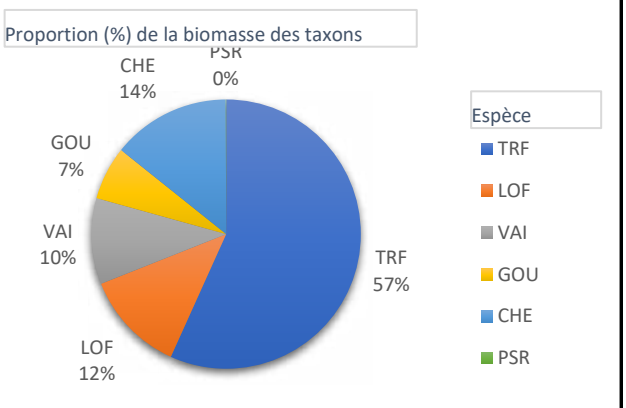
Résultats et données brutes

Code :	Nom sci. :	Nom vern. :	Effectif :	Densité (nb/ha) :	Biomasse(g):	Biomasse (g/ha) :
CHE	*Leuciscus cephalus*	Chevaine	17	1011,9	263,0	15654,8
GOU	*Gobio gobio*	Goujon	11	654,8	119,0	7083,3
LOF	*Barbatula barbatula/N mach*	Loche franche	39	2321,4	226,5	13482,1
PSR	*Pseudorasbora parva*	Goujon asiatique	1	59,5	1,0	59,5
TRF	*Salmo trutta fario*	Truite fario	49	2916,7	1050,5	62529,8
VAI	*Phoxinus phoxinus*	Vairon	55	3273,8	191,0	11369,0

Proportion des effectifs (%)



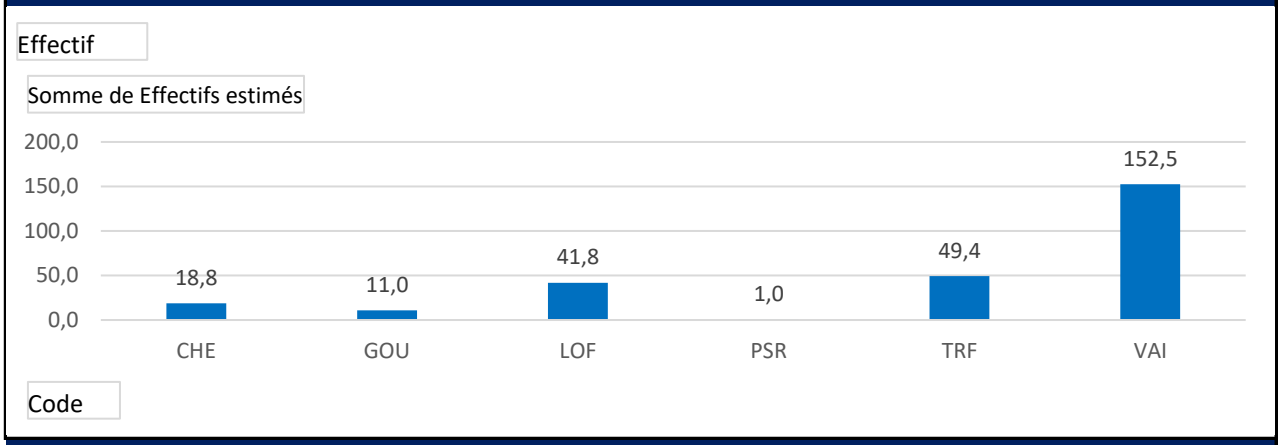
Proportion des biomasses (%)



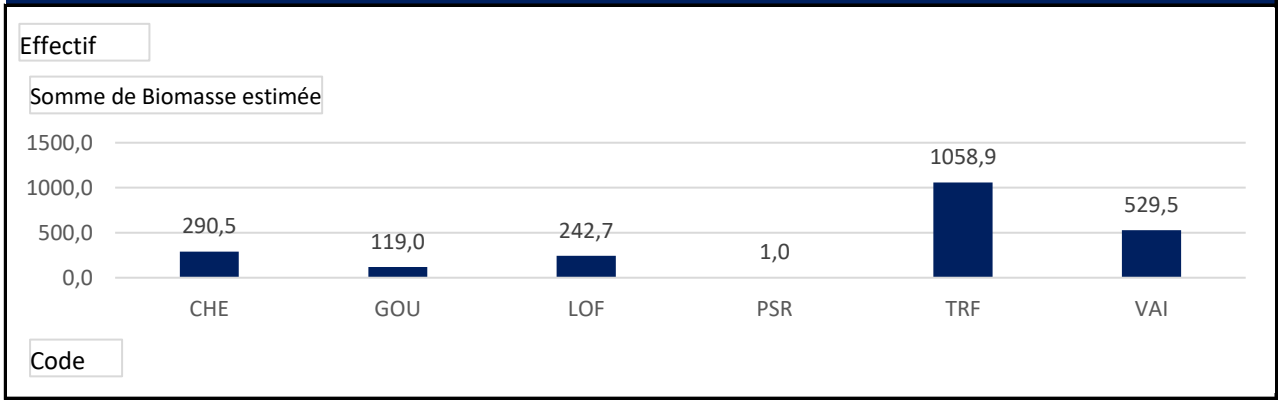
Analyse piscicole - PES - Courtavon - AM - 2021

Résultats et données estimées (De Lury - Carle & Strub)								
Code :	P1	P2	Efficacité de pêche	Cond. Seber-Lecren	Effectif estimé :	Densité (nb/ha):	Biomasse estimée (g) :	Biomasse (g/ha):
CHE	13	4	69%	*Validées*	18,8	1117,7	172,9	17291,9
GOU	6	5	17%	*non valid*	11,0	654,8	70,8	7083,3
LOF	31	8	74%	*Validées*	41,8	2487,1	144,4	14444,1
PSR	1	0	100%	*validées*	1,0	59,5	0,6	59,5
TRF	45	4	91%	*Validées*	49,4	2939,9	630,3	63027,8
VAI	36	19	47%	*Validées*	76,2	4537,8	157,6	15758,6

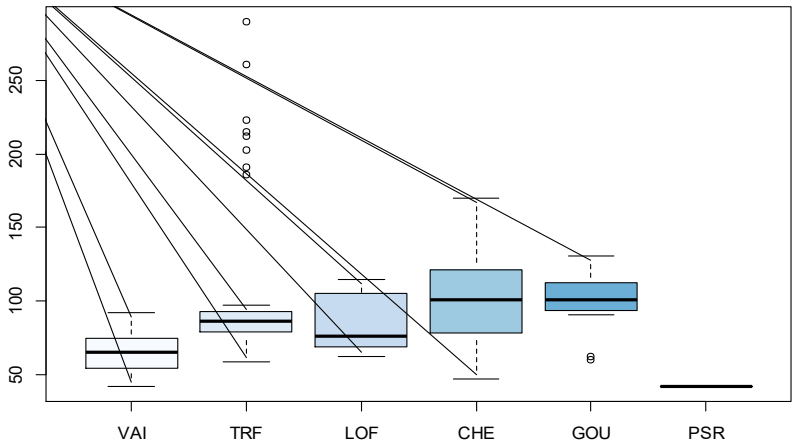
Effectifs estimés



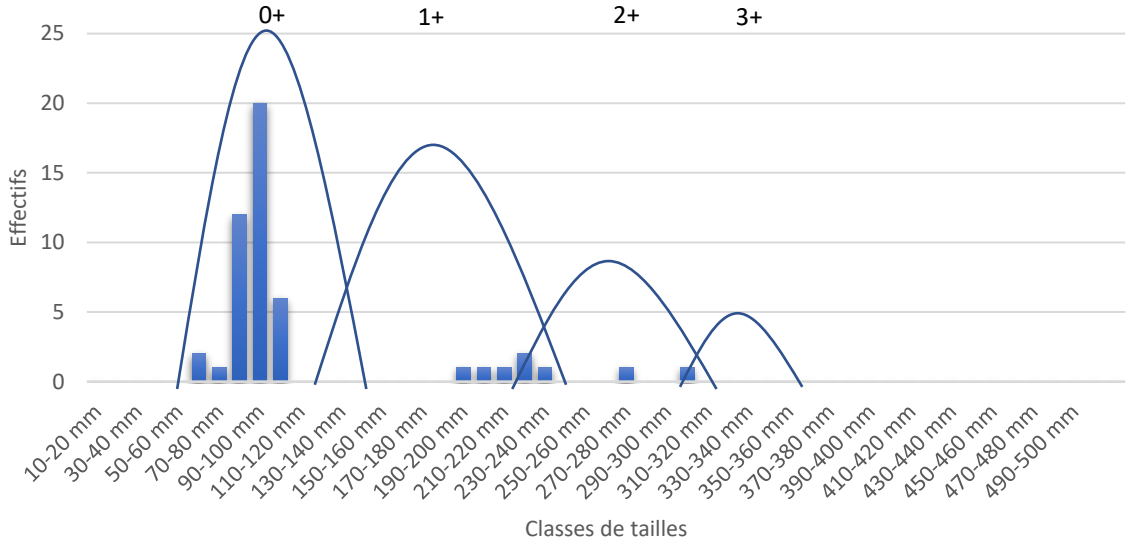
Biomasses estimées



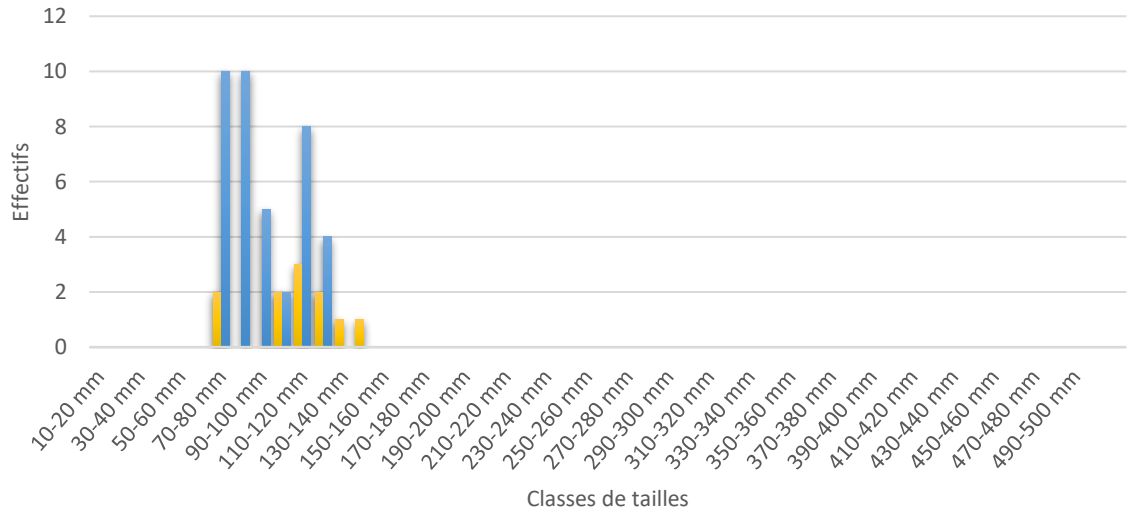
Analyse classe de tailles (boxplot global)



Analyse classe de tailles (TRF)

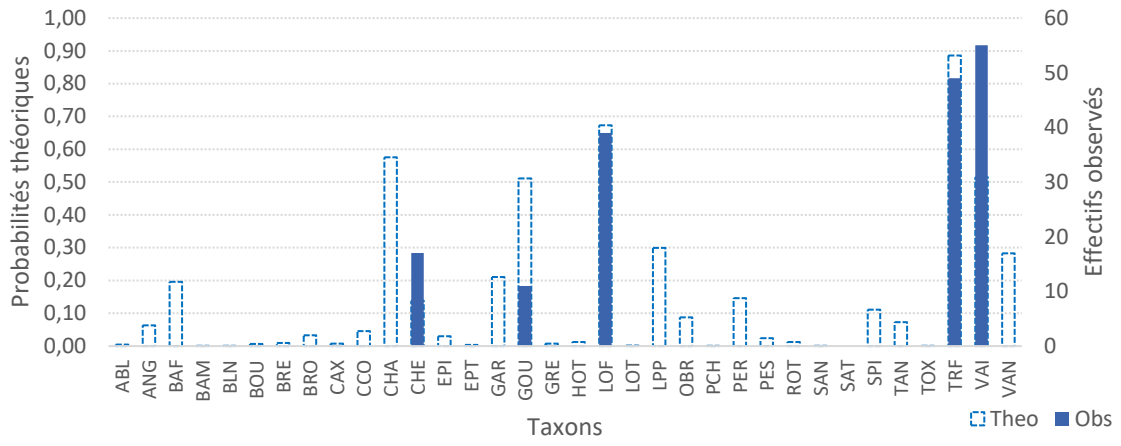


Analyse classe de tailles (LOF et GOU)

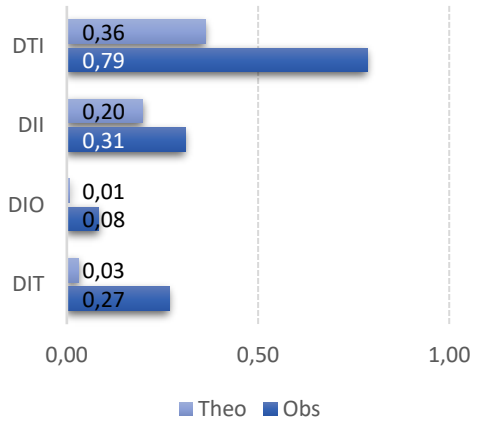


Analyse piscicole - PES - Courtavon - AM - 2021

Comparatif des probabilités de présence théoriques et des effectifs observés

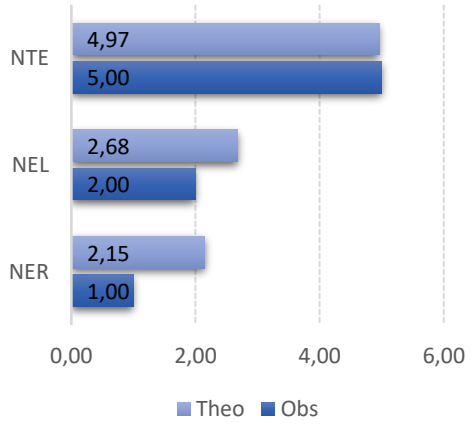


Métriques d'abondance IPR



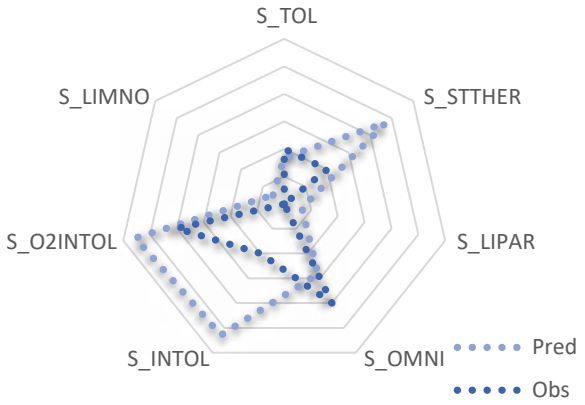
*Densité totale d'individus (DTI)
*Densité d'individus invertivores (DII)
*Densité d'individus omnivores (DIO)
*Densité d'individus tolérants (DIT)

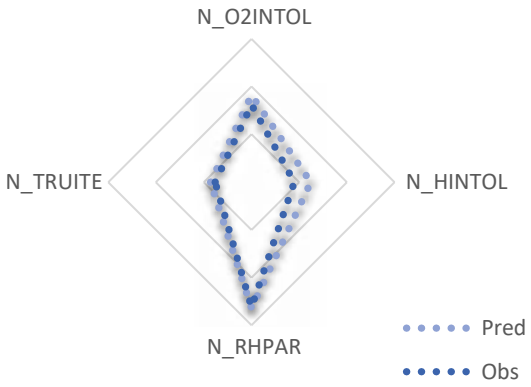
Métriques d'occurrence IPR



*Nombre total d'espèces (NTE)
*Nombre d'espèces lithophiles (NEL)
*Nombre d'espèces rhéophiles (NER)

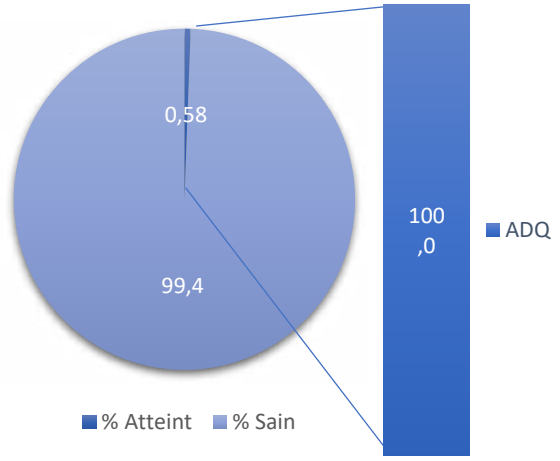
Métriques observées et prédites IPR+





S_TOL (Métrique de richesse de tolérance à la qualité générale de l'eau)
S_STTHER (Métrique de richesse de tolérance à de faible variation de température)
S_LIPAR (Métrique de richesse de lieu de ponte préférentiellement en eaux stagnantes)
S_OMNI (Métrique de richesse de régime alimentaire généraliste)
S_INTOL (Métrique de richesse d'intolérance à la qualité générale de l'eau)
S_O2INTOL (Métrique de richesse d'intolérance à de basse concentration en oxygène)
S_LIMNO (Métrique de richesse du lieu de vie préférentiellement en eaux calmes voir stagnantes)
N_O2INTOL (Métrique d'abondance d'intolérance à de basse concentration en oxygène)
N_HINTOL (Métrique d'abondance d'intolérance à la dégradation de l'habitat)
N_RHPAR (Métrique d'abondance de lieu de ponte préférentiellement en eaux courantes)

Pathologies observées



Résultats indice pathologique

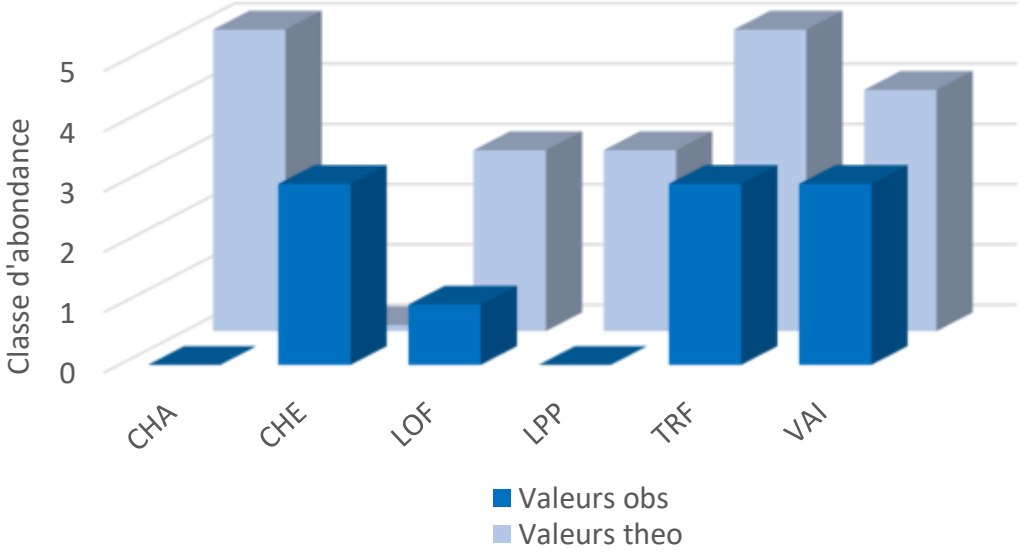
IpG :	0,0058
% atteint :	0,5814

Rappel des classes de qualités IpG et condition des poissons

0-0,04	Excellente
0,05-0,20	Bonne
0,21-0,80	Précaire
0,81-1,40	Dégradée
1,41-4,00	Mauvaise

Comparaison entre le Niveau Typologique Théorique et le peuplement observé

NTT	3,86	Dénomination NTT	B3+



Commentaires

La station située en amont du plan d'eau de Courtavon sur la Largue présente un linéaire échantillonné de 60m pour une surface de 168m² et une largeur moyenne de 2,8m. La station est proche de la source de la Largue (7,5km) et est donc située en première catégorie piscicole et en zone à truite. La station présente des habitats diversifiés notamment des chevelus racinaires en grands nombres mais présente des faciès peu diversifiés et une sinuosité nulle. L'ombrage est fort à cause du couvert arbustif et arboré de la zone, sur les deux rives. Le substrat est à dominance pierre-galets et n'est que peu ou pas colmaté.
L'efficacité de pêche fut globalement bonne. 6 espèces différentes ont été dénombrées sur la station. Le peuplement est ainsi moyennement diversifié et équilibré avec 5 taxons plus représentés en termes de proportions : le vairon (32%), la truite fario (28%), la loche franche (23%), le chevesne (10%) et le goujon (6%). L'effectif estimé total est de 198 individus pour une densité de 103 ind/100m² et une densité pondérale de 1101 g/100m².
L'effectif estimé de truite fario via la méthode de Carl et Strub est de 50 individus pour une densité de 2940 individus par hectares. C'est une densité moyenne, plus faible qu'attendue pour cette typologie de milieu (classe 3 contre une classe 5 attendue au regard du NTT). A titre de comparaison, les inventaires piscicoles de 2020 ont mis en évidence une densité de 8479 ind/ha 4 km en amont au niveau d'Oberlarg. L'analyse des classes des tailles nous permets de mettre en évidence une structure polymodale déficitaire. En effet, très peu d'individus de l'année antérieure (1+) et de deux ans (2+) ont été dénombrés. En revanche les individus issus des reproductions de l'année (0+) sont très fortement majoritaires et bien représentés (41/50 soit 82% du peuplement). Le plus grand individu mesurant 290mm. Ces résultats mettent en évidence un fort recrutement en juvénile de truite en 2021. L'échantillonnage ayant eu lieu en juillet, une mortalité des juvéniles peut-être observée à la fin de l'été. En 2021, la saison estivale ayant été particulièrement clémente, il est possible que le recrutement de cette année soit maintenu. Si le vairon est très présent et dominant sur la station, la truite fario domine le peuplement en termes de biomasse (630,3g pour 63027kg/ha). L'analyse des classes de tailles des autres espèces permets également de mettre en évidence un bon recrutement pour le chevesne, le vairon et la loche franche.
Un seul individu de Pseudorasbora a été dénombré (une espèce exotique envahissante), ce qui est relativement étonnant et inquiétant au regard de l'absence de plans d'eau situés en amont et aux ouvrages infranchissables situées en aval. Il a été détruit sur place.
Concernant l'approche indicielle, la Largue à l'amont de Courtavon est classée en état moyen au regard de l'IPR et en bon état au regard de l'IPR+. La qualification moyenne de l'IPR est principalement induite par :
- La présence du chevesne qui est particulièrement déclassante aussi haut sur le bassin
- L'absence du chabot, qui peut sous-entendre certaines problématiques ;

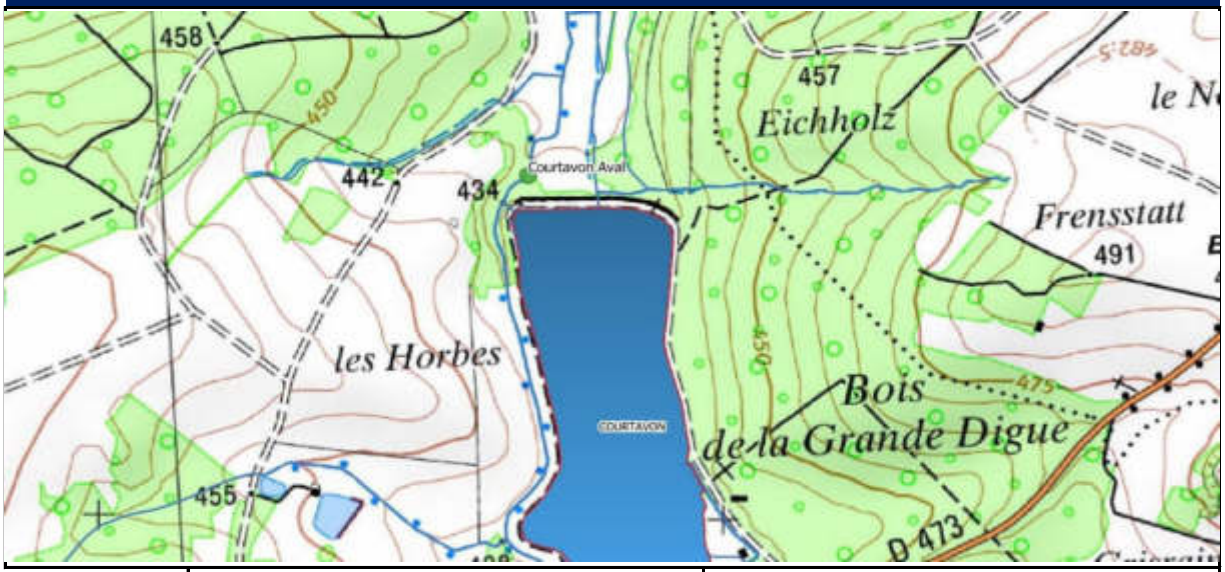
En effet, si les principales espèces attendues sont présentes (truite, vairon et loche franche), l'occurrence du chabot était attendue (0,60 de probabilité) ainsi que la lamproie de planer (0,30). Au regard des indices produits, l'IPR est déclassant à travers la densité totale d'individus, la densité d'individu omnivore et tolérant qui sont plus importantes qu'escomptées. Concernant les métriques d'occurrence, elles restent proches entre théoriques et observées. Vis-à-vis de l'IPR+ (moins déclassant car moins sensible et plus intégrateur en tête de bassin versant et avec des diversités spécifiques faibles), les indices sont proches exceptés : la métrique de richesse de tolérance à de faible variation de température, d'intolérance à de basse concentration en O^2 et à la qualité de l'eau (lié à la présence du chevesne moins sensible à la thermie et à la qualité de l'eau). En termes de densité, l'étude des NTT permets de mettre en évidence : l'absence du chabot, l'absence de la lamproie de planer, la présence du chevesne et les plus faibles densités de truite et de vairon qu'attendues. En définitive la Largue en amont du plan d'eau de Courtavon est caractérisée par un fort potentiel de recrutement pour la truite fario mais aussi par des problématiques dans ce secteur (eutrophisation, qualité des habitats, franchissabilité, thermie). Une divergence forte est observée en termes de qualité de peuplement sur seulement 4km avec la traversée de la commune de Courtavon et de la prairie en amont. Il conviendrait de cibler des actions sur ce tronçon (notamment sur l'ombrage en amont). L'état sanitaire est excellent.

Analyse piscicole - PES - Courtavon - AV - 2021

Caractéristiques de la station

Code opération :	PE_Etude_PES	Nom station :	Courtavon_aval
Code station :	L3	Cours d'eau :	Largue
Date échantillonnage :	23/07/2021	Commune :	Courtavon

Localisation



Latitude (X):
1016518,39

Longitude (Y):
6716900,76

Projection :
RGF93-

Données environnementales

Régime hydrologique :	reg_pf	Largeur moy. en eau (m):	3,9
Superficie bassin :	91	Pente du cours d'eau (‰):	10,77
Géologie dominante :	s	Stratégie échantillonnage :	COMP
Surface échantillonnée(m²):	304,2	Bassin hydrologique :	H1
Distance à la source (km):	8,716	Temp. Moy. bassin (C°):	9,75
Pronfondeur moyenne (m):	0,27	Précip. moy. bassin (mm):	1170,44
Altitude (m):	429	Temp. Ampli. station (C°):	17,56
Temp. Moy. janvier (C°):	0,802	Temp. Moy. station (C°):	10,37
Temp. Moy. juillet (C°):	19,222	Catégorie piscicole :	1er catégorie
Niveau typologique :	B3+	Zonation de Huet :	Truite
Station hydro proche :	Largue à Friesen	Débit (QMM en m3/s) :	NR
Module interan. (en m3/s) :	1,09	Débit (QjM en m3/s) :	NR

Renseignements généraux sur la pêche

Hydrologie :	Moyenne eaux	Heure début opération :	0,39583333
Turbidité :	Moyenne	Heure fin opération :	0,47916667
Tendance du débit :	En baisse	Durée du chantier :	0,08333333
Longueur station (m):	78	Nombre participants :	9
Météorologie :	Ensoleillé	Chef de chantier :	YN

Analyse piscicole - PES - Courtavon - AV - 2021

Renseignements mise en œuvre matériel

Nombre passage (si D.Lury):	3	Protocole de pêche :	De Lury
Nombre de points (si EPA) :	/	Tension (U en V) :	300
Nombre anode :	1	Intensité (I en A) :	2
Nombre épuissettes :	2	Puissance (W = AxV) :	600
Moyen de prospection :	A pied	Isolement amont :	Filet
Matériel utilisé :	Portatif	Isolement aval :	Filet
Modèle du matériel :	EFKO FEG 1700	Efficacité de pêche :	53,93

Commentaires sur le chantier

Difficulté maintien filet amont (mais seuil difficilement franchissable) - Elargissement post-crue

Mesures physico-chimiques basiques

Conductivité (µs/cm) :	586		Saturation O^2 (%) :	99,8
pH :	8,38	*	Concentration O^2 (mg/l) :	10,07
Température eau (C°) :	12,8			

Mesures physico-chimiques complémentaires (si réalisées)

Nitrites (NO2-mg/l) :	0,11		Phosphore total (P mg/l) :	NR
Nitrates (NO3-mg/l) :	30	*	PO4 3- (mg/l) :	0,25
Ammonium (NH4+mg/l) :	0,1		Sulfate (SO4-mg/l) :	< 20

Rappel des codes couleurs des classes de qualités associées :

Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais

** classes de qualité suivant l'arrêté du 27 juillet 2018 pour les paramètres référencés sinon SEQ-eau V2*

Caractéristiques hydromorphologiques

Type d'écoulement	Proportion (%)	Profondeur moy. (m)	Granulométrie* du substrat	Colmatage* du fond	Végétation* aquatique dominante	
					Dominante	Recouvre.
Courant	10	10	5 - Cailloux	2 - Sable	0 - Aucune	0
Plat	80	50	5 - Cailloux	2 - Sable	0 - Aucune	0
Profond	10	80	5 - Cailloux	2 - Sable	0 - Aucune	0

***Granulométrie** : 1-argile 2-limon 3-sable 4-gravier 5-caillou 6-pierre 7-blocs 8-dalles*

***Colmatage** : 1-pas de colmatage 2-sable 3-vase 4-fines 5-recouv. bio. 6-débris vgtx 7-litière*

***Végétation** : 1-bactéries/champ. 2-microphytes 3-algues fila. 4-bryophytes 5-hydrophytes 6-hélophytes*

Caractéristiques habitats (classes d'abondances)

Sinuosité	Ombrage	Trous, fosses	Sous-berges	Abris rocheux	Embâcles, souches	Végétation aquatique
Faible	Fort	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible

Lit majeur :	Prairial	Ripisylve RD :	Arbustive	Ripisylve RG :	Arbustive

Halieutisme

AAPPMA si droit de pêche :	NR	Féquentation :	NR

Autres informations et/ou schéma de la station

Analyse piscicole - PES - Courtavon - AV - 2021

Résultats globaux				
Effectifs totaux :	178		Densité par hectares :	5851,4
Richesse spécifique :	9		Densité par 100m² :	58,5
Diversité (Shannon) :	1,6		Biomasse par hectares :	259217,6
Equitabilité (Pielou) :	0,7		Biomasse par 100m² :	2592,2
Taxon majoritaire (%) :	CHA		Taxon minoritaire (%) :	GAR
IPR			**IPR+**	
Valeur de l'IPR :	17,19		EQR indice :	0,53
Classe de qualité :	Moyen	*	EQR indice eq. type:	0,14
			Classe de qualité :	Moyen

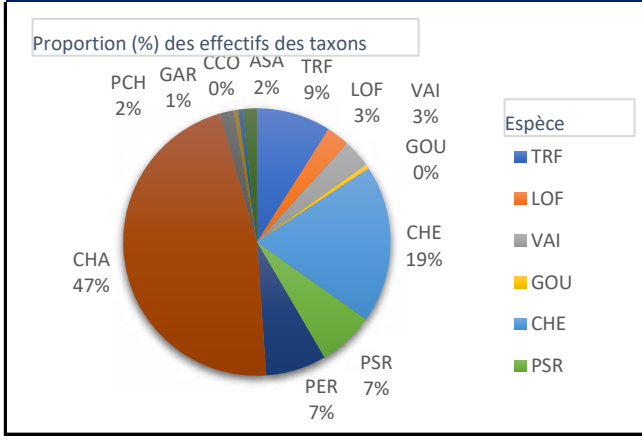
** classes de qualité suivant l'arrêté du 27 juillet 2018 pour l'Alsace*

***sinon NA pour Non Applicable*

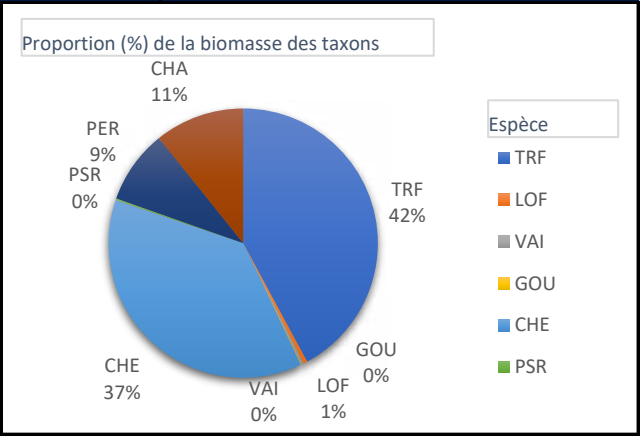
Résultats et données brutes

Code :	Nom sci. :	Nom vern. :	Effectif :	Densité (nb/ha) :	Biomasse(g):	Biomasse (g/ha) :
ASA	*Astacus astacus*	Ecre. pattes rouges	3	98,6	140,0	4602,2
CCO	*Cyprinus carpio*	Carpe commune	1	32,9	87,0	2860,0
CHA	*Cottus sp.*	Chabot	83	2728,5	806,9	26525,3
CHE	*Leuciscus cephalus*	Chevaine	34	1117,7	2790,0	91716,0
GAR	*Rutilus rutilus*	Gardon	1	32,9	80,0	2629,8
GOU	*Gobio gobio*	Goujon	1	32,9	5,5	180,8
LOF	*Barbatula barbatula/N mach*	Loche franche	5	164,4	36,0	1183,4
PCH	*Ictalurus melas*	Poisson-chat	3	98,6	81,0	2662,7
PER	*Perca fluviatilis*	Perche	13	427,4	663,5	21811,3
PSR	*Pseudorasbora parva*	Goujon asiatique	12	394,5	15,0	493,1
TRF	*Salmo trutta fario*	Truite fario	16	526,0	3158,5	103829,7
VAI	*Phoxinus phoxinus*	Vairon	6	197,2	22,0	723,2

Proportion des effectifs (%)



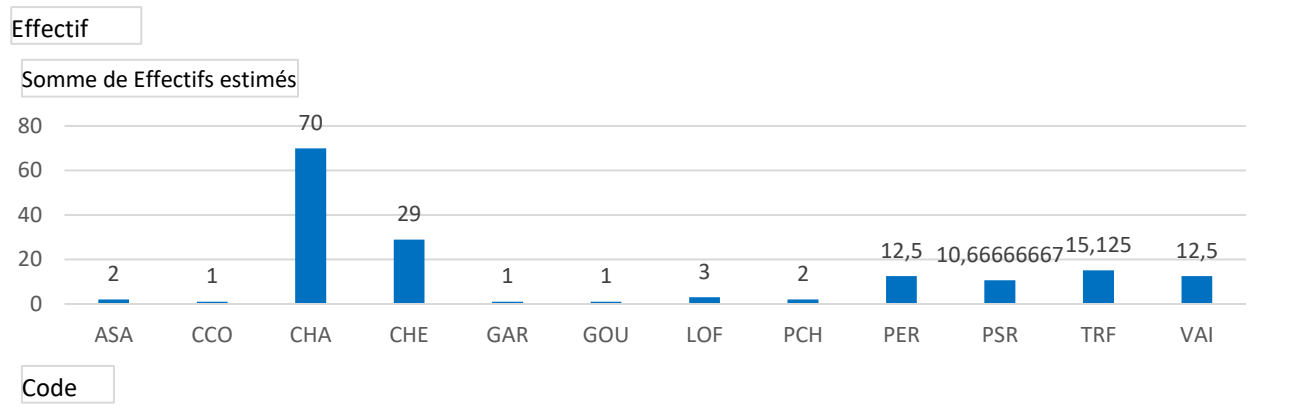
Proportion des biomasses (%)



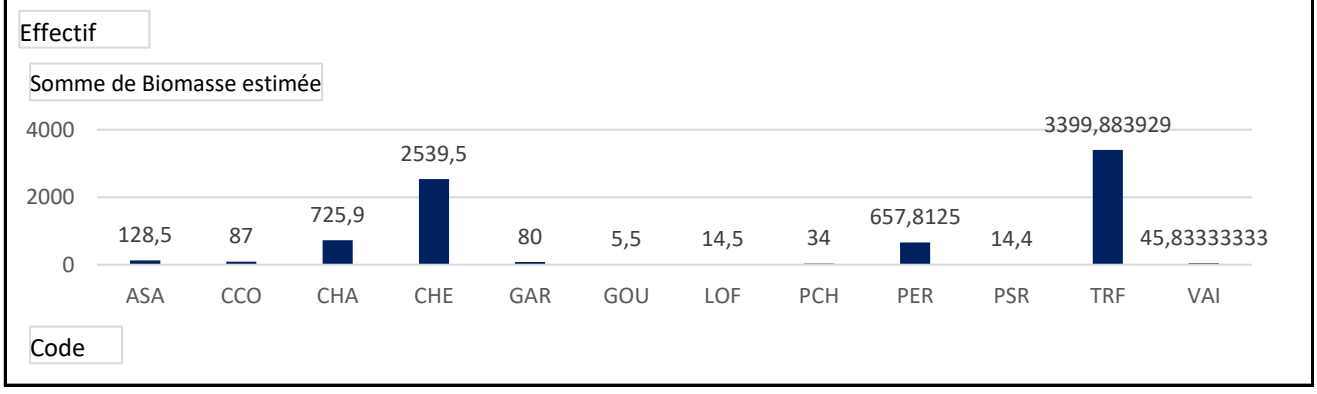
Analyse piscicole - PES - Courtavon - AV - 2021

Résultats et données estimées (De Lury - Carle & Strub)								
Code :	P1	P2	Efficacité de pêche	Cond. Seber-Lecren	Effectif estimé :	Densité (nb/ha):	Biomasse estimée (g) :	Biomasse (g/ha):
ASA	0	2		*0*	2,0	65,7	42,2	4224,2
CCO	1	0	100%	*validées*	1,0	32,9	28,6	2860,0
CHA	39	31	21%	*non valid*	70,0	2301,1	238,6	23862,6
CHE	17	12	29%	*non valid*	29,0	953,3	834,8	83481,3
GAR	1	0	100%	*validées*	1,0	32,9	26,3	2629,8
GOU	0	1		*0*	1,0	32,9	1,8	180,8
LOF	2	1	50%	*non valid*	3,0	98,6	4,8	476,7
PCH	2	0	100%	*validées*	2,0	65,7	11,2	1117,7
PER	10	2	80%	*Validées*	12,5	410,9	216,2	21624,3
PSR	8	2	75%	*Validées*	10,7	350,6	4,7	473,4
TRF	11	3	73%	*Validées*	15,1	497,2	1117,6	111764,8
VAI	5	1	80%	*Validées*	6,3	205,5	7,5	753,3

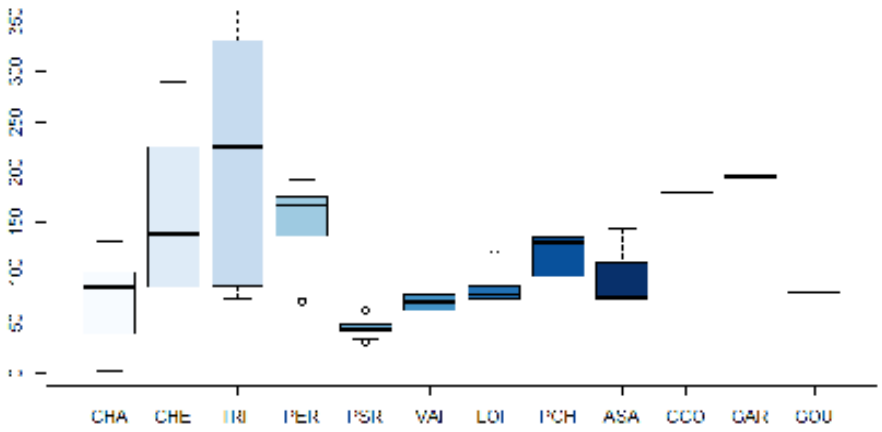
Effectifs estimés



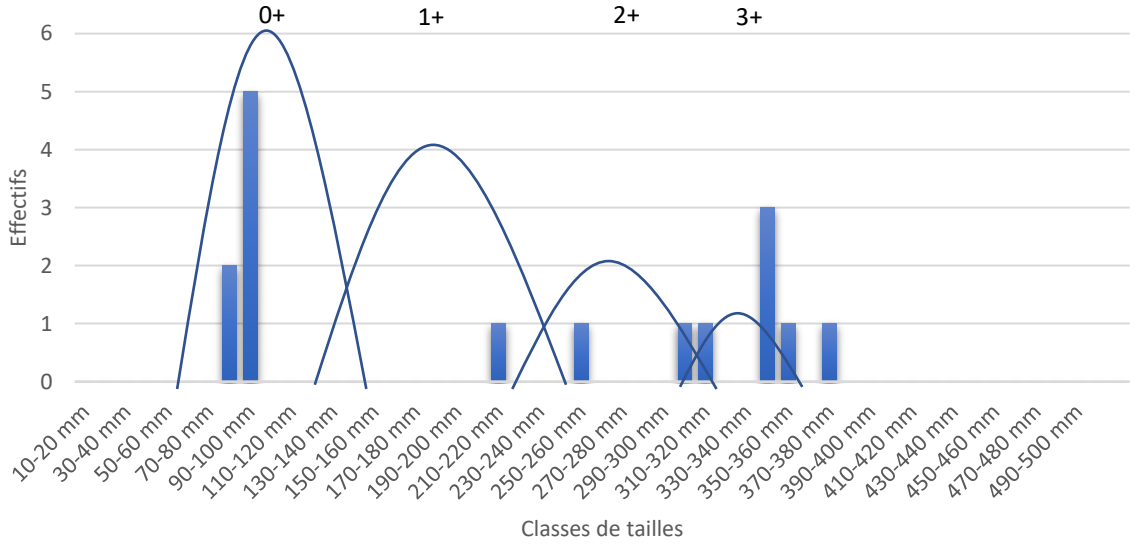
Biomasses estimées



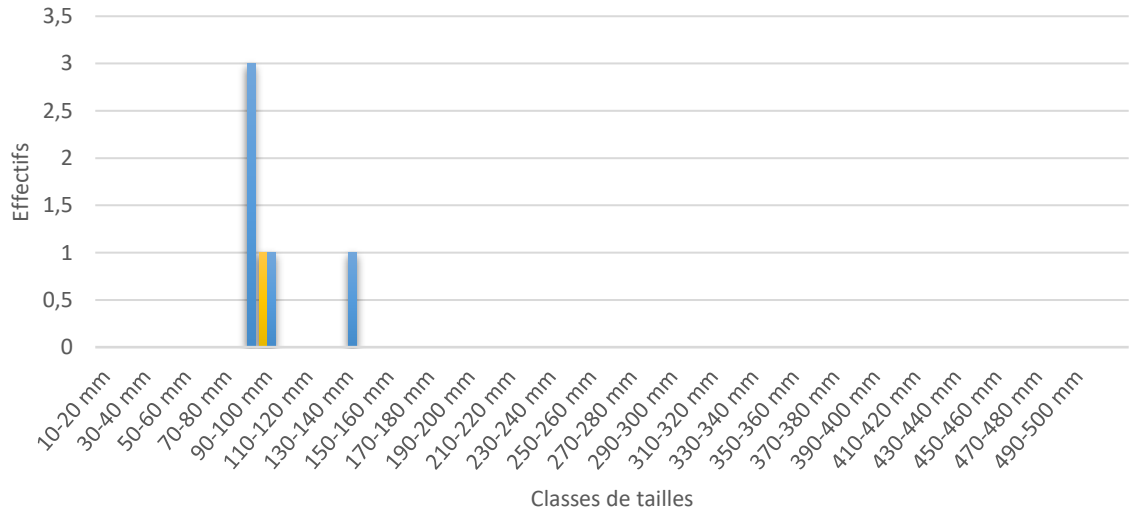
Analyse classe de tailles (boxplot global)



Analyse classe de tailles (TRF)

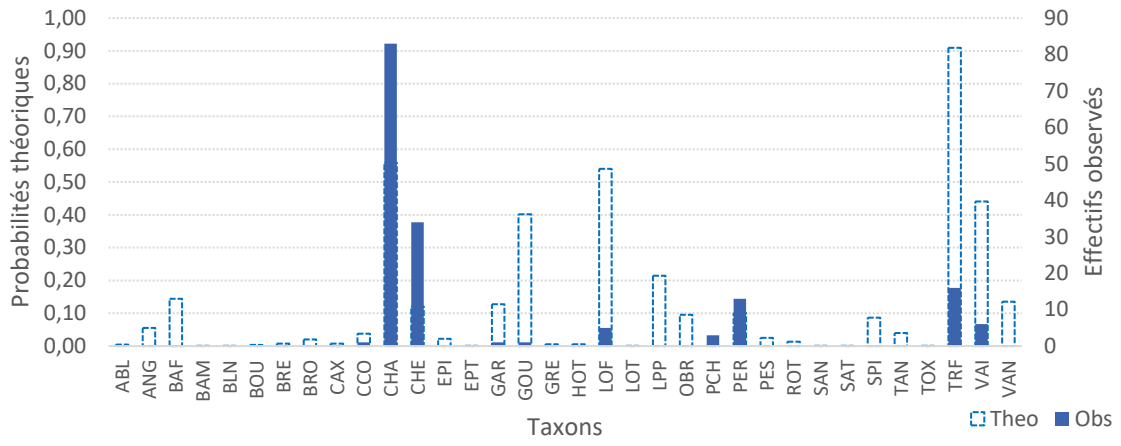


Analyse classe de tailles (LOF et GOU)

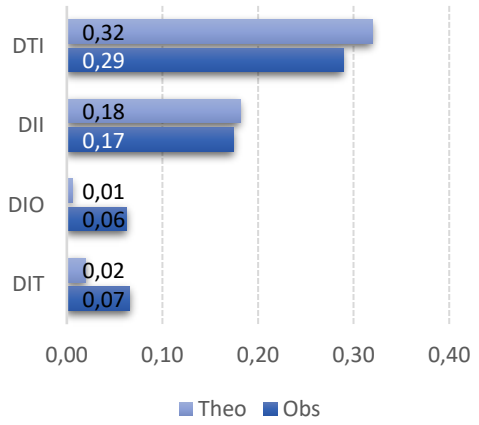


Analyse piscicole - PES - Courtavon - AV - 2021

Comparatif des probabilités de présence théoriques et des effectifs observés

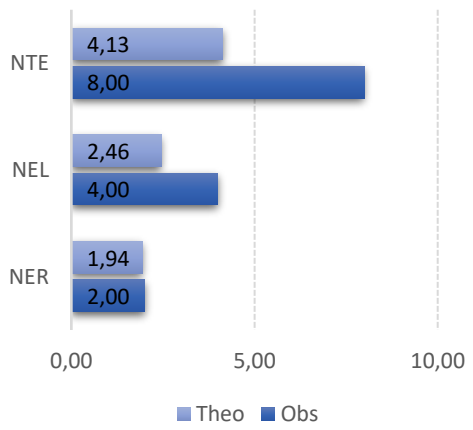


Métriques d'abondance IPR



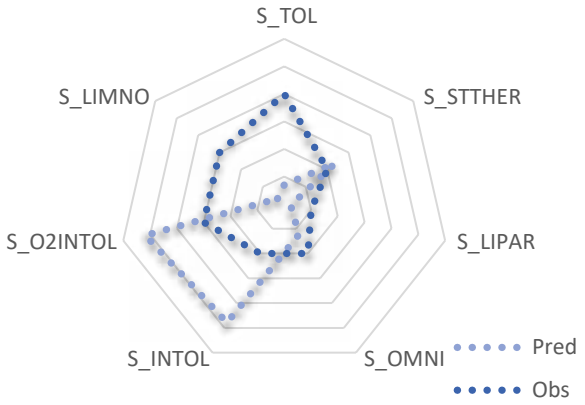
*Densité totale d'individus (DTI)
*Densité d'individus invertivores (DII)
*Densité d'individus omnivores (DIO)
*Densité d'individus tolérants (DIT)

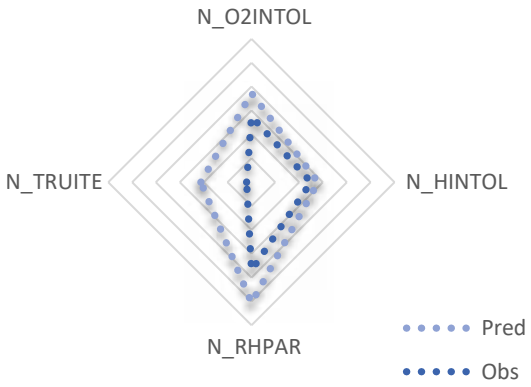
Métriques d'occurrence IPR



*Nombre total d'espèces (NTE)
*Nombre d'espèces lithophiles (NEL)
*Nombre d'espèces rhéophiles (NER)

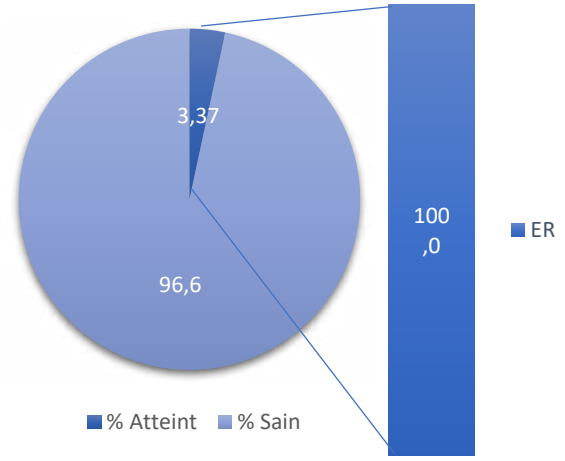
Métriques observées et prédites IPR+





S_TOL (Métrique de richesse de tolérance à la qualité générale de l'eau)
S_STTHER (Métrique de richesse de tolérance à de faible variation de température)
S_LIPAR (Métrique de richesse de lieu de ponte préférentiellement en eaux stagnantes)
S_OMNI (Métrique de richesse de régime alimentaire généraliste)
S_INTOL (Métrique de richesse d'intolérance à la qualité générale de l'eau)
S_O2INTOL (Métrique de richesse d'intolérance à de basse concentration en oxygène)
S_LIMNO (Métrique de richesse du lieu de vie préférentiellement en eaux calmes voir stagnantes)
N_O2INTOL (Métrique d'abondance d'intolérance à de basse concentration en oxygène)
N_HINTOL (Métrique d'abondance d'intolérance à la dégradation de l'habitat)
N_RHPAR (Métrique d'abondance de lieu de ponte préférentiellement en eaux courantes)

Pathologies observées



Résultats indice pathologique

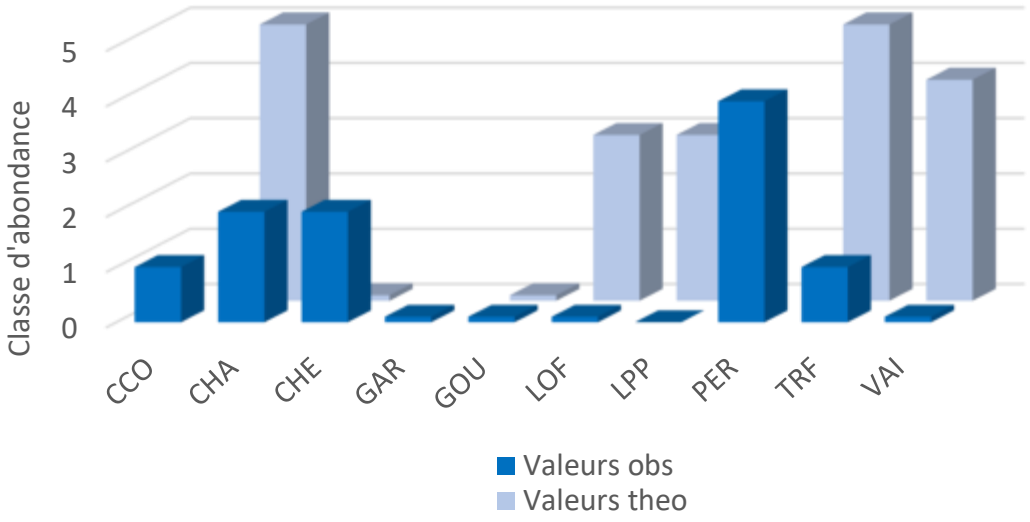
IpG :	0,2697
% atteint :	3,3708

Rappel des classes de qualités IpG et condition des poissons

0-0,04	Excellente
0,05-0,20	Bonne
0,21-0,80	Précaire
0,81-1,40	Dégradée
1,41-4,00	Mauvaise

Comparaison entre le Niveau Typologique Théorique et le peuplement observé

NTT	3,86	Dénomination NTT	B3+



Commentaires
La station située en aval du plan d'eau de Courtavon sur la Largue présente un linéaire échantillonné de 78m pour une surface de 304m² et une largeur moyenne de 3,9m. La station est située à environ 1km en aval de la station amont et d'environ 80m en aval du déversoir de plan d'eau. La station présente des habitats diversifiés (chevelus racinaires, blocs, troncs), des substrats variés (sable, pierre-galets et blocs) et des alternances de radiers/mouilles. La sinuosité est faible à moyenne. L'ombrage est fort à cause du couvert arbustif et arboré de la zone, sur les deux rives. Une zone de prairie est située en rive gauche en aval de la station. Un colmatage léger est néanmoins observé. L'efficacité de pêche fut mauvaise lors des deux premiers passages, un troisième passage fut ainsi réalisé (difficulté d'échantillonnage liée à un élargissement post-crue de l'amont de la station ayant généré une grande sous-berge). 8 espèces différentes de poissons ont été observées sur la station. On note également la présence de l'écrevisse à pattes rouges (Astacus astacus). Le peuplement est ainsi très diversifié (pour cette typologie de milieu). Il est peu équilibré (0,7) avec la dominance forte de 3 taxons majoritaires qui sont : le chabot (47%), le chevesne (28%) et la truite fario (9%). La perche fluviatile et le Pseudorasbora sont également bien présents (7%). L'effectif total est de 178 individus pour une densité de 58,5 ind/100m² et une densité pondérale de 2592 g/100m². La biomasse est dominée par la truite fario (42%) et le chevesne (37%). Des plus grands individus ayant été capturés (notamment plusieurs truites de plus de 35cm). Au niveau de la truite fario (espèce repère du contexte), la densité est d'environ 500 ind/ha, ce qui est relativement faible. Le chevesne est ainsi bien présent en aval avec une densité d'environ 1000ind/ha soit deux fois plus. Le chabot est en revanche bien représenté. L'analyse des classes de tailles permets de mettre en lumière des problèmes structurels. En effet, ce sont les individus les plus âgés et de plus grandes tailles qui domine de peuplement (3+). De plus on déplore l'absence complète de la cohorte de l'an passé (1+). Quelques individus issus des reproductions de l'année sont néanmoins représentés (0+). Plusieurs hypothèses peuvent expliquer ce résultat comme : une mortalité juvénile importante en 2020 (assec/sécheresse), une prédation des grandes classes de tailles sur les petites classes de tailles ou une saturation des habitats plus favorables aux plus grandes classes de tailles (manque de niches écologiques favorables et compétition intraspécifique induisant une mortalité ou une dévalaison des 1+). De nombreuses espèces exotiques ont été capturées en aval dont : la carpe commune (1 individu de petite taille), le poisson chat, la perche soleil et le Pseudorasbora. De plus le peuplement est à tendance limnophile, ce qui est illogique au regard de la typologie de milieux observé. Ces espèces sont sans aucun doute issues des plans d'eau attenants et vraisemblablement majoritairement du plan d'eau de Courtavon (échappement via le déversoir). La forte proportion d'espèces exotiques (notamment envahissantes) est alarmante. Si la plupart des espèces citées sont présent en faible nombre et ne sont que peu capable de se maintenir dans la rivière (poisson chat notamment), le Pseudorasbora est quant à lui bien représenté (12 individus). Les perches soleil, poissons chats et goujons asiatiques ont été détruits sur place. Concernant l'approche indicielle, la Largue à l'amont de Courtavon est classée en état moyen au regard de l'IPR et de l'IPR+. Les EQR sont plus faible qu'en aval notamment à cause de : La présence du chevesne qui est particulièrement déclassante aussi haut sur le bassin - La présence de la carpe commune, du poisson chat, de la perche soleil et de la perche fluviatile qui n'étaient pas attendus - La faible densité de truites. Au regard des indices, l'IPR est très déclassant vis-à-vis de la densité d'individus tolérants et omnivores ainsi que du nombre total d'espèce, bien plus importants qu'escompté. Il en est de même pour l'IPR+ avec une divergence forte entre métriques théoriques et observées, notamment des métriques d'intolérance à de faible concentration en O^2, d'intolérance à la qualité de l'eau et au nombre de truites juvéniles. Au niveau du NTT, le constat est similaire avec des peuplements éloignés de la typologie théorique et à dominance limnophile et peu sensibles à la qualité de l'eau et à la thermie. Les densités de chabots, de truite et de vairon sont également faibles au regard du NTT B3+. Enfin, l'état pathologique des peuplements est précaire (érosions) ce qui met en avant des problématiques supplémentaires. En définitive la Largue en aval du plan d'eau de Courtavon est caractérisée par un fort potentiel en termes d'habitats (notamment de truite adultes) mais surtout par des déséquilibres en termes de population piscicole. En effet, le plan d'eau semble avoir un impact notamment à travers l'introduction d'espèces exotiques et non attendues pouvant induire des déséquilibres dans les populations de la Largue.

❖ Analyse à l'échelle de la station amont du plan d'eau de Courtavon

La station située en amont du plan d'eau de Courtavon sur la Largue présente un linéaire échantillonné de 60m pour une surface de 168m² et une largeur moyenne de 2,8m. La station est proche de la source de la Largue (7,5km) et est donc située en première catégorie piscicole et en zone à truite. La station présente des habitats diversifiés notamment des chevelus racinaires en grands nombres mais présente des faciès peu diversifiés et une sinuosité nulle. L'ombrage est fort à cause du couvert arbustif et arboré de la zone, sur les deux rives. Le substrat est à dominance pierre-galets et n'est que peu ou pas colmaté.

Les deux espèces majoritaires à l'amont (Vairon à gauche et Truite fario à droite) (source : observatoire des poissons de seine-Normandie).

L'efficacité de pêche fut globalement bonne. 6 espèces différentes ont été dénombrées sur la station. Le peuplement est ainsi moyennement diversifié et équilibré avec 5 taxons plus représentés en termes de proportions : le vairon (32%), la truite fario (28%), la loche franche (23%), le chevesne (10%) et le goujon (6%). L'effectif estimé total est de 198 individus pour une densité de 103 ind/100m² et une densité pondérale de 1101 g/100m².

L'effectif estimé de truite fario via la méthode de Carl et Strub est de 50 individus pour une densité de 2940 individus par hectares. C'est une densité moyenne, plus faible qu'attendue pour cette typologie de milieu (classe 3 contre une classe 5 attendue au regard du NTT). A titre de comparaison, les inventaires piscicoles de 2020 ont mis en évidence une densité de 8479 ind/ha 4 km en amont au niveau d'Oberlarg. L'analyse des classes des tailles nous permets de mettre en évidence une structure polymodale déficitaire. En effet, très peu d'individus de l'année antérieure (1+) et de deux ans (2+) ont été dénombrés. En revanche les individus issus des reproductions de l'année (0+) sont très fortement majoritaires et bien représentés (41/50 soit 82% du peuplement). Le plus grand individu mesurant 290mm. Ces résultats mettent en évidence un fort recrutement en juvénile de truite en 2021. L'échantillonnage ayant eu lieu en juillet, une mortalité des juvéniles peut-être observée à la fin de l'été. En 2021, la saison estivale ayant été particulièrement clémente, il est possible que le recrutement de cette année soit maintenu. Si le vairon est très présent et dominant sur la station, la truite fario domine le peuplement en termes de biomasse (630,3g pour 63027kg/ha). L'analyse des classes de tailles des autres espèces permets également de mettre en évidence un bon recrutement pour le chevesne, le vairon et la loche franche.

Un seul individu de *Pseudorasbora* a été dénombré (une espèce exotique envahissante), ce qui est relativement étonnant et inquiétant au regard de l'absence de plans d'eau situés en amont et aux ouvrages infranchissables situées en aval. Il a été détruit sur place.

Concernant l'approche indicielle, la Largue à l'amont de Courtavon est classée en état moyen au regard de l'IPR et en bon état au regard de l'IPR+. La qualification moyenne de l'IPR est principalement induite par :

- ➔ La présence du chevesne qui est particulièrement déclassante aussi haut sur le bassin ;
- ➔ L'absence du chabot, qui peut sous-entendre certaines problématiques.

En effet, si les principales espèces attendues sont présentes (truite, vairon et loche franche), l'occurrence du chabot était attendue (0,60 de probabilité) ainsi que la lamproie de planer (0,30). Au regard des indices produits, l'IPR est déclassant à travers la densité totale d'individus, la densité d'individu omnivore et tolérant qui sont plus importantes qu'escomptées.

Concernant les métriques d'occurrence, elles restent proches entre théoriques et observées. Vis-à-vis de l'IPR+ (moins déclassant car moins sensible et plus intégrateur en tête de bassin versant et avec des diversités spécifiques faibles), les indices sont proches. Exceptés pour la métrique de richesse de tolérance à de faible variation de température, d'intolérance à de basse concentration en O^2 et à la qualité de l'eau (lié à la présence du chevesne moins sensible à la thermie et à la qualité de l'eau).
En termes de densité, l'étude des NTT permets de mettre en évidence : l'absence du chabot, l'absence de la lamproie de planer, la présence du chevesne et de plus faibles densités de truite et de vairon qu'attendues.

En définitive la Largue en amont du plan d'eau de Courtavon est caractérisée par un fort potentiel de recrutement pour la truite fario mais aussi par des problématiques dans ce secteur (eutrophisation, qualité des habitats, franchissabilité, thermie).

Une divergence forte est observée en termes de qualité de peuplement sur seulement 4km avec la traversée de la commune de Courtavon et de la prairie en amont. Il conviendrait de cibler des actions sur ce tronçon (notamment sur l'ombrage en amont).
L'état sanitaire des populations est excellent.

- Analyse à l'échelle de la station aval du plan d'eau de Courtavon

La station située en aval du plan d'eau de Courtavon sur la Largue présente un linéaire échantillonné de 78m pour une surface de 304m² et une largeur moyenne de 3,9m. La station est située à environ 1km en aval de la station amont et d'environ 80m en aval du déversoir de plan d'eau. La station présente des habitats diversifiés (chevelus racinaires, blocs, troncs), des substrats variés (sable, pierre-galets et blocs) et des alternances de radiers/mouilles. La sinuosité est faible à moyenne. L'ombrage est fort à cause du couvert arbustif et arboré de la zone, sur les deux rives. Une zone de prairie est située en rive gauche en aval de la station. Un colmatage léger est néanmoins observé. L'efficacité de pêche fut mauvaise lors des deux premiers passages, un troisième passage fut ainsi réalisé (difficulté d'échantillonnage liée à un élargissement post-crue de l'amont de la station ayant généré une grande sous-berge).

8 espèces différentes de poissons ont été observées sur la station. On note également la présence de l'écrevisse à pattes rouges (*Astacus astacus*).

Les deux espèces majoritaires à l'aval (Chabot fluviatile à gauche et Chevesne à droite) (source : observatoire des poissons de seine-Normandie).

Le peuplement est ainsi très diversifié (pour cette typologie de milieu). Il est peu équilibré (0,7) avec la dominance forte de 3 taxons majoritaires qui sont : le chabot (47%), le chevesne (28%) et la truite fario (9%). La perche fluviatile et le *Pseudorasbora* sont également bien présents (7%). L'effectif total est de 178 individus pour une densité de 58,5 ind/100m² et une densité pondérale de 2592 g/100m². La biomasse est dominée par la truite fario (42%) et le chevesne (37%). Des plus grands individus ayant été capturés (notamment plusieurs truites de plus de 35cm).

Vis à vis de la Truite fario (espèce repère du contexte), la densité est d'environ 500 ind/ha, ce qui est relativement faible.

Le chevesne est ainsi bien présent en aval avec une densité d'environ 1000ind/ha soit deux fois plus. Le chabot est en revanche bien représenté.

L'analyse des classes de tailles permets de mettre en lumière des problèmes structurels. En effet, ce sont les individus les plus âgés et de plus grandes tailles qui domine de peuplement (3+). De plus on déplore l'absence complète de la cohorte de l'an passé (1+). Quelques individus issus des reproductions de l'année sont néanmoins représentés (0+).
Plusieurs hypothèses peuvent expliquer ce résultat comme : une mortalité juvénile importante en 2020 (assec/sécheresse), une prédation des grandes classes de tailles sur les petites classes de tailles ou une saturation des habitats plus favorables aux plus grandes classes de tailles (manque de niches écologiques favorables et compétition intraspécifique induisant une mortalité ou une dévalaison des 1+).

De nombreuses espèces exotiques ont été capturées en aval dont : la carpe commune (1 individu de petite taille), le poisson chat, la perche soleil et le *Pseudorasbora.* De plus le peuplement est à tendance limnophile, ce qui est illogique au regard de la typologie de milieux observé. Ces espèces sont sans aucun doute issues des plans d'eau attenants et vraisemblablement majoritairement du plan d'eau de Courtavon (échappement via le déversoir). La forte proportion d'espèces exotiques (notamment envahissantes) est alarmante. Si la plupart des espèces citées sont présent en faible nombre et ne sont que peu capable de se maintenir dans la rivière (poisson chat notamment), le *Pseudorasbora* est quant à lui bien représenté (12 individus). Les perches soleil, poissons chats et goujons asiatiques ont été détruits sur place.

Concernant l'approche indicielle, la Largue à l'amont de Courtavon est classée en état moyen au regard de l'IPR et de l'IPR+. Les EQR sont plus faible qu'en aval notamment à cause de :

- ➔ La présence du Chevesne qui est particulièrement déclassante aussi haut sur le bassin ;
- ➔ La présence de la Carpe commune, du poisson chat, de la perche soleil et de la perche fluviatile qui n'étaient pas attendus ;
- ➔ La faible densité de truites.

Au regard des indices, l'IPR est très déclassant vis-à-vis de la densité d'individus tolérants et omnivores ainsi que du nombre total d'espèce, bien plus importants qu'escompté.

Il en est de même pour l'IPR+ avec une divergence forte entre métriques théoriques et observées, notamment des métriques d'intolérance à de faible concentration en O^2, d'intolérance à la qualité de l'eau et aussi au nombre de truites juvéniles. Au niveau du NTT, le constat est similaire avec des peuplements éloignés de la typologie théorique et à dominance limnophile et peu sensibles à la qualité de l'eau et à la thermie. Les densités de chabots, de truite et de vairon sont également faibles au regard du NTT (B3+).

Enfin, l'état pathologique des peuplements est précaire (érosions) ce qui met en avant des problématiques supplémentaires.

En définitive la Largue en aval du plan d'eau de Courtavon est caractérisée par un fort potentiel en termes d'habitats (notamment de truite adultes) mais surtout par des déséquilibres importants en termes de population piscicole.

En effet, le plan d'eau semble avoir un impact notamment à travers l'introduction d'espèces exotiques et non attendues pouvant induire des déséquilibres dans les populations de la Largue.

❖ Analyse à l'échelle globale

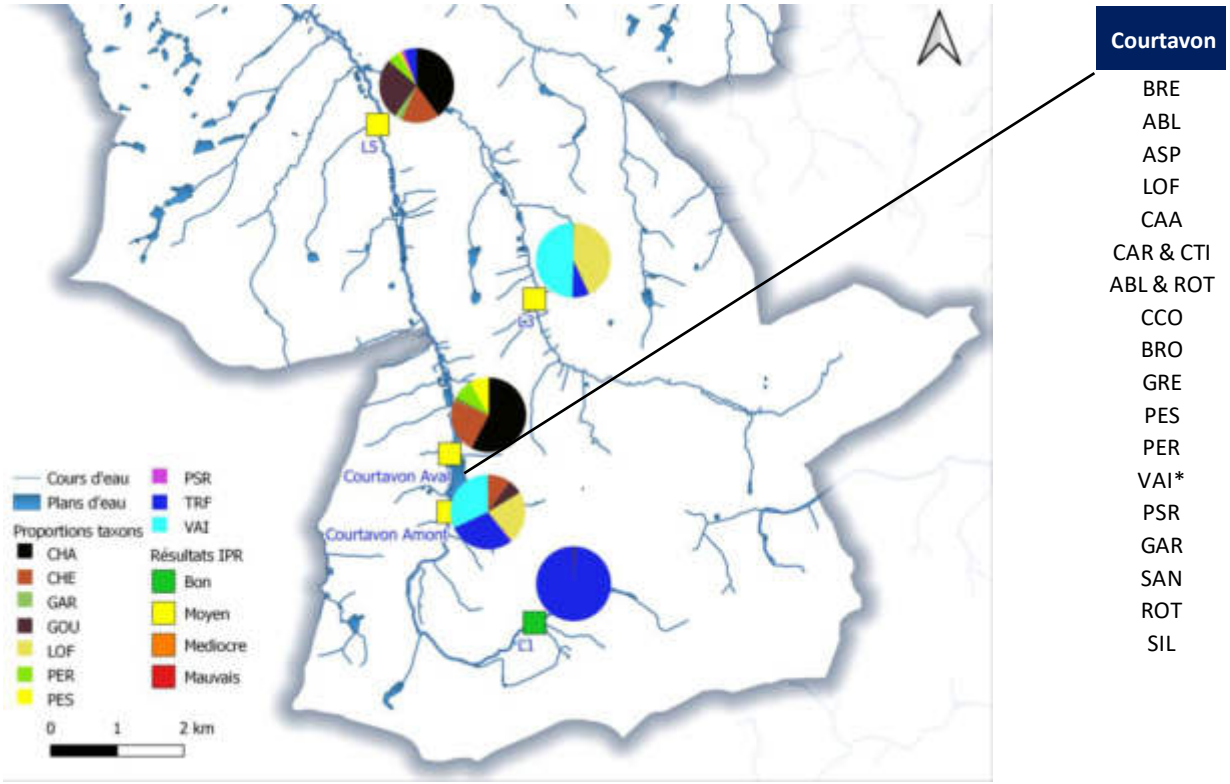


Figure 127 : Résultats IPR à l'échelle du bassin (données 2020-2021) et proportions d'espèces de poisson.

La comparaison entre les résultats obtenus à l'amont et à l'aval du plan d'eau de Courtavon, les résultats ADNe sur le lac et les données historiques met en évidence plusieurs points :

- Baisse de la qualité biologique de l'amont vers l'aval (l'IPR+ passe de bon à moyen et si les classes sont les mêmes pour l'IPR, les EQR sont toutefois plus faible à l'aval) ;
- 2 espèces de plus sont retrouvées à l'aval dont 5 espèces non attendues dont des espèces typiques de plan d'eau et des espèces exotiques. Les peuplements à l'aval sont déséquilibrés par l'introduction d'espèces issues du lac ;
- 5 juvéniles de truite sont comptabilisés en aval contre 41 en amont. Vis-à-vis de la truite, l'aval est dominé par des individus de grandes tailles et âgés alors que l'amont est dominé par des juvéniles de l'année ;
- Le potentiel de fonctionnalité est très fort pour la truite fario 4km en amont et décroit déjà fortement dès l'amont du plan d'eau. Des problématiques supplémentaires sont ainsi mises en évidence dès l'amont (non en relation avec le plan d'eau) ;
- Le chabot est absent en amont alors qu'il est bien présent en aval. Cette observation met directement en évidence un problème de franchissabilité et de recolonisation entre ses deux stations. De plus l'espèce est bien présente en aval éloigné (Seppois-le-haut) et sur le Grumbach (affluent en rive droite de la Largue). Le chabot est aussi absent en amont éloigné (à Oberlarg) ;
- L'ADNe n'a pas mis en évidence le poisson chat dans le plan d'eau alors qu'un individu a été capturé en aval. On peut penser que l'espèce est présente très ponctuellement dans le secteur ;

- L'ADNe a mis en évidence la perche soleil, la carpe commune, la perche fluviatile, le *Pseudorasbora* et le gardon. Ses espèces, échantillonnées en aval, sont donc vraisemblablement issu du plan d'eau ;
- L'ADNe n'a pas mis en évidence le chevesne or il est bien implanté dans la Largue (amont et aval). Cette espèce a donc naturellement colonisé la Largue via son cours principal, y trouvant des conditions de développement favorables. Son caractère rhéophile mais surtout plus ubiquiste et moins sensible aux écarts thermiques que la truite met en évidence des problèmes de qualité d'eau et de thermie déjà très en amont sur le bassin versant. L'espèce est absente 4km en amont ;
- Les données de 2009 n'ont pas mis en évidence le Chevesne et le *Pseudorasbora* en amont, ce qui montre déjà une évolution des peuplements en 11ans ;
- 6 (amont) et 8 taxons (aval) sont observés dans la Largue contre 19 dans le plan d'eau (ADNe).

	Courtavon aval éloigné	Courtavon aval	Courtavon amont	Courtavon amont éloigné
SPI	40,2	0,0	0,0	0,0
CHA	24,0	50,0	0,0	0,0
GOU	16,0	0,6	6,4	1,0
CHE	9,9	20,5	9,9	0,0
PER	3,1	7,8	0,0	0,0
TRF	3,1	9,6	28,5	99,0
GAR	1,9	0,6	0,0	0,0
PSR	1,0	7,2	0,6	0,0
PES	0,7	0,0	0,0	0,0
LOF	0,0	0,0	22,7	0,0
VAI	0,0	3,6	32,0	0,0

Figure 127bis : comparatif en termes de proportions d'espèces présentes sur les deux stations étudiées (en 2021) ainsi que les stations situées en amont éloigné et en aval éloigné (résultats de 2020).

En conclusion, les résultats du volet piscicole mettent en évidence :

➔ Un impact du plan d'eau sur la Largue qui consiste principalement à l'introduction d'espèces exotiques ou limnophile déséquilibrant par-là les peuplements en place. Ce qui met en avant la nécessité d'agir (entre autres) sur les fuites d'espèces.

Mais surtout :

➔ Des pressions déjà présentes dès l'amont du plan d'eau de Courtavon. Mettant en avant la nécessité d'agir sur la qualité biologique, la morphologique et la physico-chimie de la Largue entre Oberlarg et le plan d'eau ;

➔ Des problématiques de franchissabilités piscicoles (classes de tailles des truites, habitats, absence du chabot en amont) entre les deux stations (*cf.* volet hydromorphologie).

i) Volet invertébré

c)

a)

	Amont Courtavon		Aval Courtavon	
Nombre de taxons :	31		24	
Classe de variété :	9		7	
Groupe Faunistique Indicateur (/9) :	7		6	
Taxon Indicateur :	*Goeridae*		*Ephemeridae*	
Equivalent I.B.G.N. / 20 :	**15**		**12**	
Taille du cours d'eau /HER /EQR	MP18	0,93	MP18	0,73
Qualité biologique *IBG-DCE	**Très bon**		**Moyen**	
EQR I2M2	0.947		0.8556	
Qualité biologique *I2M2	**Très bon**		**Très bon**	

** suivant l'arrêté du 28 juillet 2018*

b)

Indices complémentaires	Amont Courtavon		Aval Courtavon	
Robustesse (/20) :	14		10	
Equitabilité (max. 1) :	0,63		0,62	
Indice de Shannon : Diversité	3,38		3,08	
Diversité maximale	5,39		5,00	
Taxons dominants	*Chironomidae*	31,58%	*Elmidae*	29,02%
	Gammaridae	21,92%	*Chironomidae*	27,41%
EPT (nb à la famille/%)	12	18,22%	8	16,95%
EPT (diversité au genre)	12		8	
Densité (ind/m²)	5503		3205	

Figure 128 : Résultats généraux du volet invertébré sur la Largue à Courtavon (a), résultats complémentaires (b) et illustrations des groupes indicateurs (c).

❖ Analyse station amont

La station de la Largue à l'amont du plan d'eau de Courtavon obtient une note de 15/20 au regard de l'IBGN, un EQR de 0,93 au regard de l'IBG-DCE et un EQR de 0,947 au regard de l'I2M2. La qualité biologique de cours d'eau est donc qualifiée de très bonne. Le groupe indicateur (G.I.) est représenté par les *Goeridae*, des tricoptères à fourreaux polluosensibles (GI 7/9) préférant les zones oxygénées. La diversité est élevée avec 31 taxons différents. La robustesse est bonne puisque que la note ne perd qu'un point après la suppression du groupe indicateur. Le taxon indicateur de robustesse est *Ephemera*, un éphémère relativement

pollusensible (GI 6/9) de grande taille privilégiant des zones sableuses. Dans l'ensemble la communauté est diversifiée et moyennement équilibrée (0,63).
Les taxons les plus polluosensibles (Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères) sont représentés par 18,2% du peuplement avec 12 taxons sur les 31. Les *Chironomidae* sont la famille dominante (31,6%), ce sont des petits diptères très commun, ubiquiste et peu sensibles. Les crustacés *Gammaridae* sont également très représentés (21,9%) suivi par les *Elmidae*, des coléoptères très commun (16,6%).
On note également la présence de *Potamopyrgus antipodarium*, un mollusque exotique invasif polluorésistant appréciant les milieux riches en nutriments (76 individus soit 2,72% du peuplement).

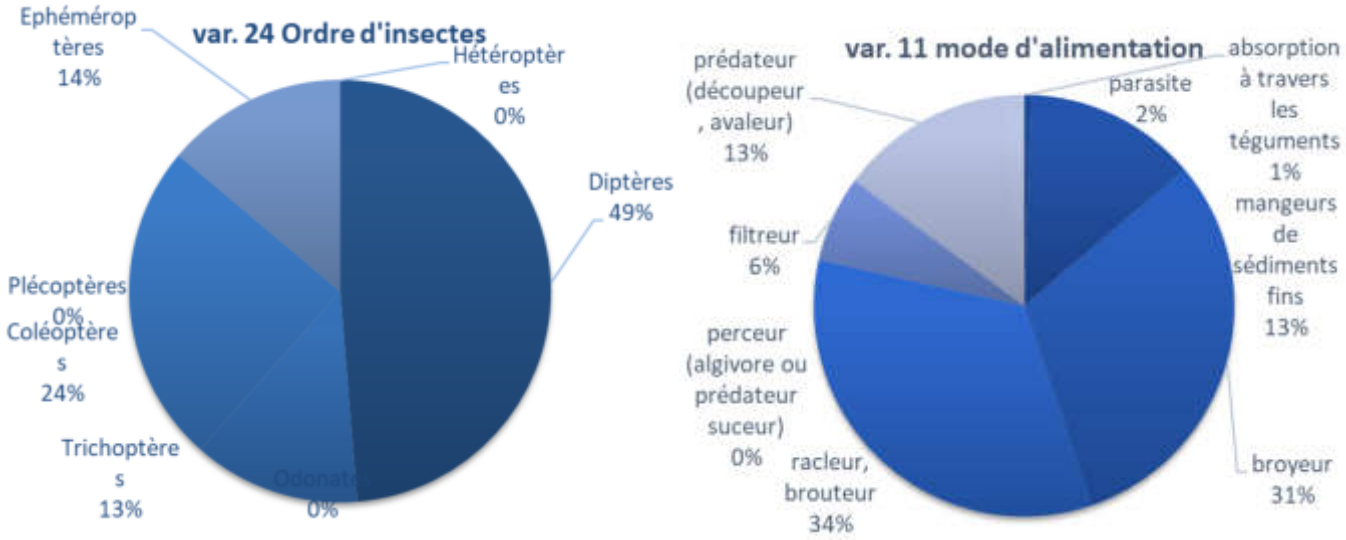


Figure 129 : diagramme des proportions des variables 24 (ordres d'insectes) et 11 (modes d'alimentation).

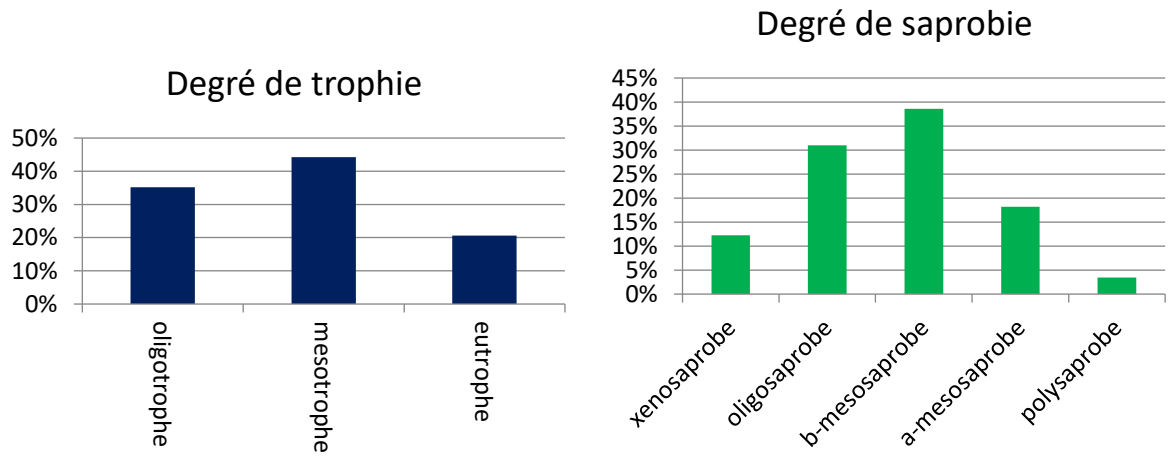


Figure130 : histogramme des degrés de trophie et de saprobie (amont Courtavon).

Les graphiques semblent indiquer un milieu mésotrophe à oligotrophe et une communauté plutôt b-mésosaprobe à oligosaprobe, ce qui met en évidence une charge modéré en nutriment et en matière organique dans le cours d'eau.
Les broyeurs et les racleurs/brouteurs sont les plus nombreux (tous deux représentés principalement par les *Chironomidae* et les *Gammarus*, très présent sur la station). Ces deux catégories représentent 65% de la répartition trophique. Celle-ci correspond habituellement à

celle d'un cours d'eau situé en partie amont du bassin avec une plus grande part de broyeur qu'attendus (face aux collecteurs).

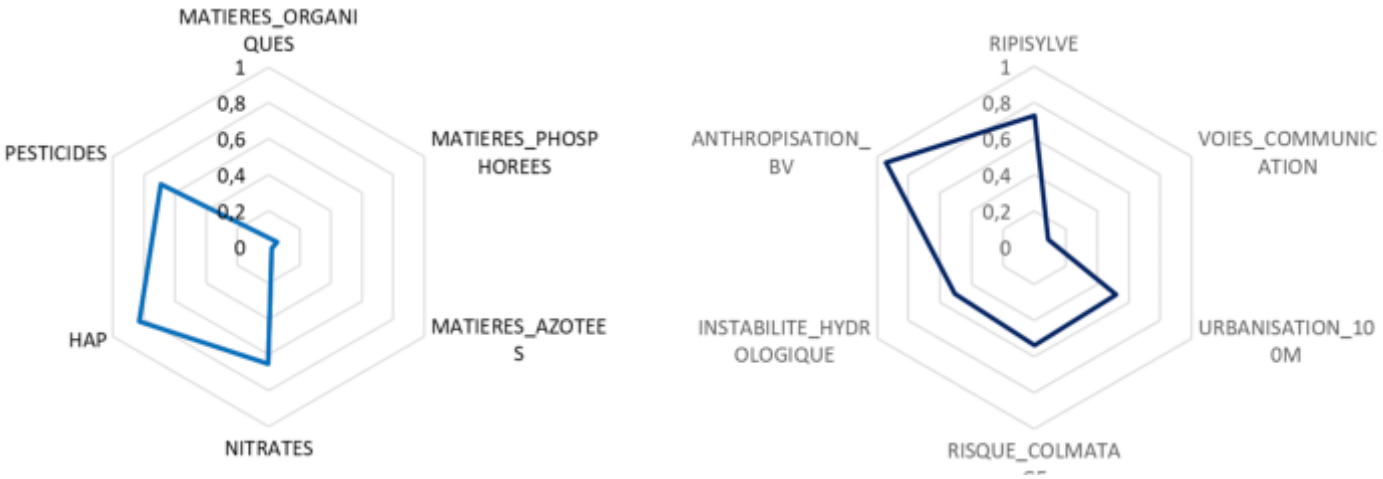


Figure131 : Résultats de l'outil de diagnostic ODInvertebres sur la station amont Courtavon.

L'outil de diagnostic « ODInvertebres » permets de mettre en évidence des probabilités associées à chaque type d'altération (6 pour la qualité physico-chimique de l'eau : matières organiques, matières phosphorées, matières azotées (hors nitrates), nitrates, HAP, pesticides et 6 relatives à l'hydromorphologie ou à l'utilisation de l'espace dans le bassin versant : ripisylve, voies de communication, urbanisation, colmatage, instabilité hydrologique, anthropisation du bassin versant).
Dans le cas de la station située en amont du plan d'eau, les pressions sont multiples et concernent principalement :

- Les Pesticides ;
- Les HAP ;
- Les Nitrates dans une moindre mesure ;
- L'anthropisation du bassin versant (bassin versant peu habité en réalité, ce qui met en avant des pressions fortes pour un bassin peu densément peuplé) ;
- Des problématiques concernant la ripisylve (pouvant être mises en relation avec l'ouverture du milieu dans la prairie en amont de la station) ;
- Dans une moindre mesure avec un colmatage et une instabilité hydrologique modérée.

❖ Analyse station aval

La station de la Largue à l'aval du plan d'eau de Courtavon obtient une note de 12/20 au regard de l'IBGN, un EQR de 0,73 au regard de l'IBG-DCE et un EQR de 0, 855 au regard de l'I2M2. La qualité biologique de cours d'eau est donc qualifiée de très bonne vis-à-vis de l'I2M2. Malgré tout, des divergences sont mises en évidence avec l'amont puisque la qualité associée à l'IBG-DCE n'est que moyenne. Cette différence est principalement liée au fait que l'IBG-DCE ne prend en compte que les prélèvements A et B. Il aurait par exemple fallu retrouver un seul individu de la famille la plus polluosensible des *Goeridae* pour passer en qualité bonne au regard de l'IBG-DCE avec un EQR supérieur à 0,8. En effet, les *Goeridae* (GI 7/9) sont présent sur la station à raison de deux individus (3 sont nécessaires pour la validation du GI). Néanmoins, c'est l'I2M2 qui s'applique depuis 2018 pour l'attribution d'une classe de qualité valide au regard de l'arrêté du 28 juillet 2018. Mais même si la classe de qualité est la même entre l'amont et l'aval, de nombreuses différences peuvent être observées.
Le groupe indicateur (G.I.) est donc représenté par les *Ephemeridae*, des éphémères relativement pollusensible (GI 6/9) de grande taille.
La diversité est moindre de 7 taxons par rapport à l'amont avec 24 taxons différents dénombrés à l'aval. La diversité est ainsi moyenne. Les peuplements sont moyennement équilibrés (0,62).

La robustesse est de 10/20 (soit une perte de deux points) avec le taxon indicateur de robustesse des *Rhyacophilidae* (GI 4/9), un tricoptère sans fourreau moyennement sensible et très commun.
Les taxons les plus polluosensibles (Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères) sont représentés par 16,9% du peuplement avec 8 taxons sur les 24. En termes de proportion, les *Elmidae* dominent le peuplement à hauteur de 29%, suivi par les *Chironomidae* (27,4%), et par les *Gammaridae* (15,4%).
Si on note également la présence de *Potamopyrgus antipodarium*, il est présent dans une bien moindre mesure (2 individus).

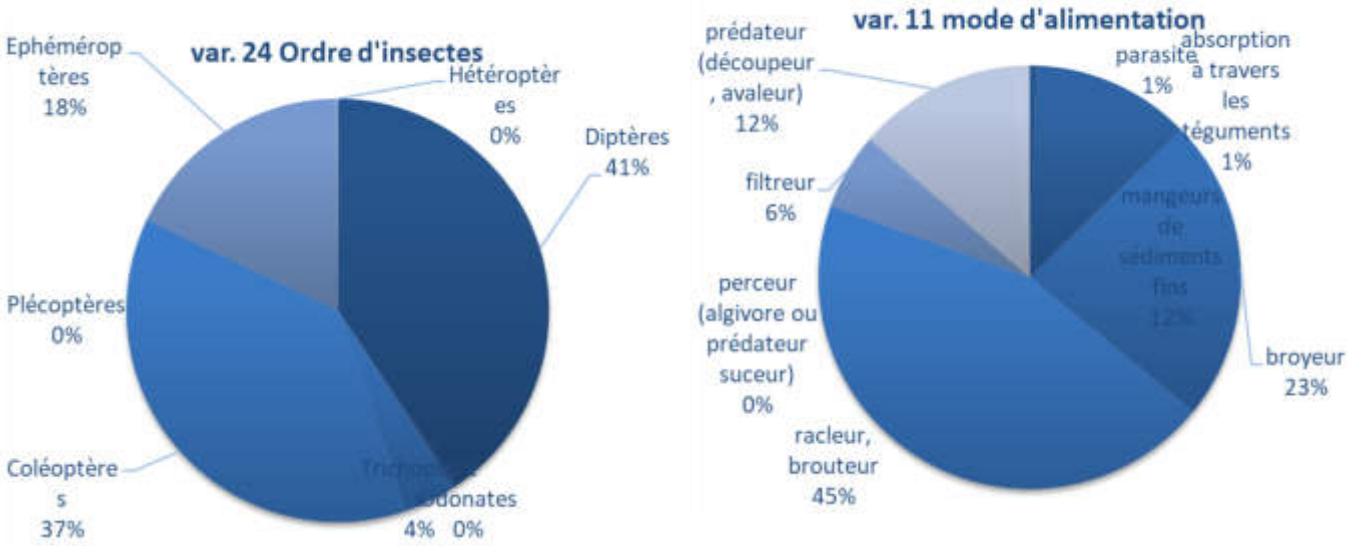


Figure 132 : diagramme des proportions des variables 24 (ordres d'insectes) et 11 (modes d'alimentation).

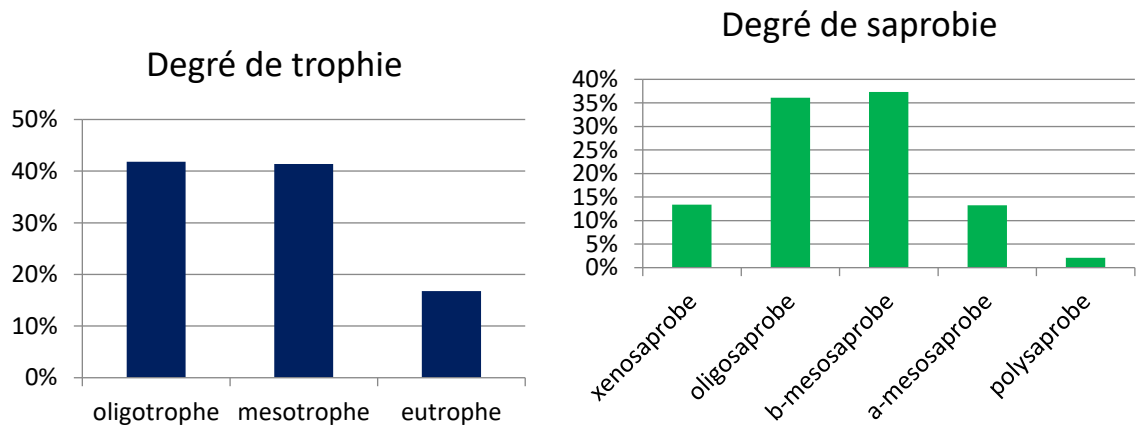
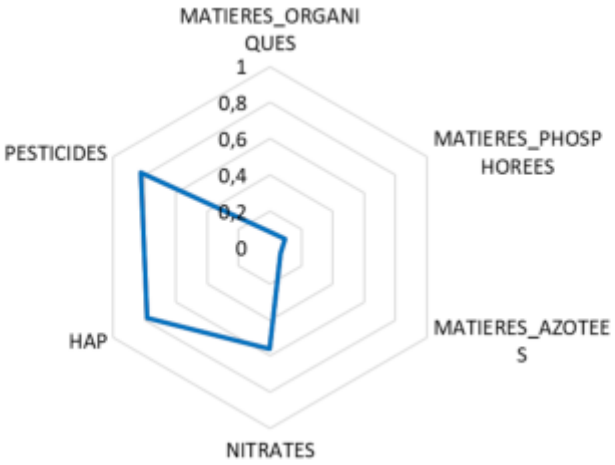


Figure 133: histogramme des degrés de trophie et de saprobie en (aval Courtavon).

Les graphiques semblent indiquer un milieu à dominance mésotrophe et oligotrophe et une communauté plutôt b-mésosaprobe à oligosaprobe.
Les broyeurs et les racleurs/brouteurs sont les plus nombreux (tous deux représentés principalement par les *Chironomidae* et les *Gammarus*, très présent sur la station). Ces deux catégories représentent 68% de la répartition trophique.



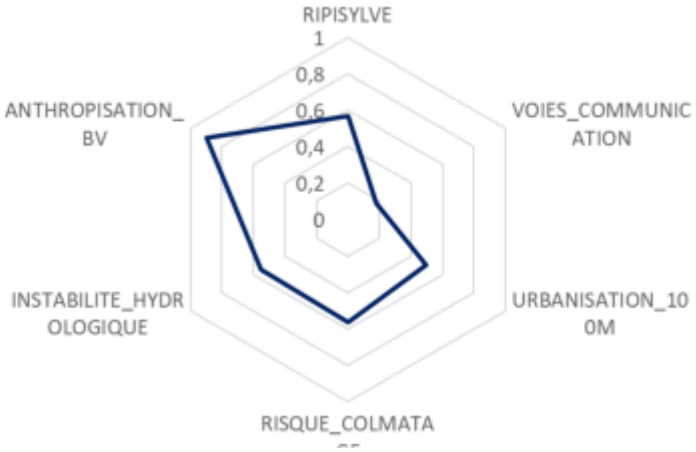


Figure 134: Résultats de l'outil de diagnostic ODInvertebres sur la station aval Courtavon.

L'outil de diagnostic « ODInvertebres » permets de mettre en évidence des typologies de pression similaire à l'amont avec :

- Les pesticides ;
- Les HAP ;
- L'anthropisation du bassin ;
- Et dans une moindre mesure : des nitrates, de la ripisylve, du colmatage et de l'instabilité hydrologique.

❖ Analyse globale

La comparaison entre les résultats obtenus à l'amont et à l'aval du plan d'eau de Courtavon, met en évidence plusieurs points :

➔ Si aucune différence n'est observée au niveau des classes de qualités (très bonne dans les deux cas), d'importantes divergences sont observées à l'échelle des indices produits avec :
  - Une perte de diversité (des taxons absents en aval) ;
  - Une légère baisse de l'EQR ;
  - Une baisse du groupe indicateur mais la présence malgré tout de *Goeridae* en aval (2 contre 5) ;
  - Une évolution des traits vers une tendance majoritaire des invertébrés de type « racleur/brouteur » ce qui met en évidence un changement probable de ressource trophique principale (élément grossier comme des feuilles mortes en amont et élément de type biofilm ou algues en aval) ;
  - Pas d'impact significatif au niveau de la trophie entre l'amont et l'aval (oligo-mesotrophe) ;

➔ Si une bonne fonctionnalité est identifiée avec certains groupes d'invertébrés polluosensibles ce sont surtout des pressions multiples dès l'amont du bassin qui ont été mises en évidences comme :
  - Les Pesticides ;
  - Les HAP ;
  - Les Nitrates ;

j) Volet astacicole

Tableau 135: résultats du volet astacicole sur le site de Courtavon.

Nasse	Plan eau	Période	Type nasse	Localisation	Appât	Prise	Espèce	Total (U)	Durée (h)
1	Courtavon	48H 16-18/06 (11-12h)	bourriche	enrochement Sud	sardine	4	grêle	16	48
2	Courtavon	48H 16-18/06 (11-12h)	bourriche	enrochement Nord	sardine	0	/		
3	Courtavon	48H 16-18/06 (11-12h)	métal	Sud-Ouest	sardine	0	/	Taille moyenne (cm)	Rendement (U/h)
4	Courtavon	48H 16-18/06 (11-12h)	métal	Nord-Est	sardine	3	grêle		
5	Courtavon	48H 16-18/06 (11-12h)	bourriche	Nord-Ouest	sardine	9	grêle	8,26	0,33
6	Courtavon	48H 16-18/06 (11-12h)	bourriche	Nord-Ouest	sardine	0	/		
Nasse	**Plan eau**	**Période**	**Type nasse**	**Localisation**	**Appât**	**Prise**	**Type**	**Total (U)**	**Durée (h)**
1	Courtavon	48H 30/06-02/06 (12h)	bourriche	enrochement Sud	sardine	2	grêle	15	48
2	Courtavon	48H 30/06-02/06 (12h)	bourriche	enrochement Nord	sardine	3	grêle		
3	Courtavon	48H 30/06-02/06 (12h)	métal	Sud-Ouest	sardine	0	/	Taille moyenne (cm)	Rendement (U/h)
4	Courtavon	48H 30/06-02/06 (12h)	métal	Nord-Est	sardine	9	grêle		
5	Courtavon	48H 30/06-02/06 (12h)	bourriche	Nord-Ouest	sardine	0	/	8,39	0,31
6	Courtavon	48H 30/06-02/06 (12h)	bourriche	Nord-Ouest	sardine	1	grêle		

Deux campagnes principales de piégeages par nasses ont été réalisées sur le plan d'eau de Courtavon, à l'aide de 6 nasses disposées sur l'ensemble du plan d'eau. Les localisations ont été choisies en fonction de l'ombrage, des habitats (blocs, substrats) et de leurs représentativités. La majeure partie des captures ont été réalisées au niveau des enrochements au Sud et au Nord-Ouest.

C'est ainsi une seule espèce d'écrevisse qui a été capturée dans le plan d'eau : l'écrevisse à pattes grêles (*Astacus leptodactylus)*. Cette espèce est exotique (introduite depuis le XXe siècle dans des lots d'opérations de repeuplement d'écrevisses à pattes rouges destinés à la consommation). Malgré tout, peu ou pas de pressions sur le milieu similaires aux autres écrevisses exotiques (agressivité, creusement des berges, prolifération, porteur sein de la peste de l'écrevisse), ne sont documentées. De plus, l'écrevisse à pattes grêle est également sensible à la peste de l'écrevisse.
Sur la Largue en aval de Courtavon, des écrevisses à pattes rouges ont été mises en évidences (*Astacus astacus*).

Figure136 : Illustration des deux espèces d'écrevisses capturées à Courtavon avec : l'écrevisse à pattes grêles (Astacus leptodactylus) dans le plan d'eau à gauche et l'écrevisse à pattes rouges dans la Largue aval (Astacus astacus) à droite.

L'occurrence de ses deux espèces est déjà documentée au sein des données historiques (données issues de l'OFB, de l'EPAGE Largue et du MNHN).

Ce qu'il faut retenir : Courtavon

Approche physique

- De fortes variation saisonnière sont identifiées en termes de **niveau et de débit** estimé sur la Largue mais aussi de l'exutoire de Courtavon ;
- Le plan d'eau présente un **impact thermique** modéré sur la Largue (entre +0,5°C et +1°C en période estivale) ;
- Des **températures extrêmes** sont mesurées en surface du plan d'eau en été (près de 30°C) ;
- Des enjeux de protection de la **ripisylve** (ombrage) sont identifiés, dès l'amont ;
- Le volet drone a permis de produire des **cartographies aériennes** qui seront utilisées en 2022 pour la réalisation de cartographies d'habitats et l'application du protocole de Charli-Albert. Ce volet permet également un état initial précis avant l'application de mesure de gestion test ou d'un plan d'aménagement ;
- Les **paramètres physico-chimiques** les plus problématiques sont les nitrites et les nitrates dans la Largue (et ce dès la station amont), les phosphates sur l'ensemble des stations mais surtout sur la station médiane et l'ammonium dans les zones profondes du plan d'eau (anoxie des couches profondes en été) ;
- Des **pics de concentrations critiques en nutriment** sont mis en évidence au long de l'étude et sur toutes les stations selon les paramètres étudiées ;
- Un apport de nutriment important est observé via le rejet au Sud et par l'affluent du ruisseau à l'Est ;
- **Le plan d'eau est eutrophe** à hypereutrophe mais ne semble pas avoir un impact fort sur la physico-chimie en aval (phénomène de dilution et d'abattement des charges en nutriment) ;
- Le rapport de Redfield met en évidence la nécessité **d'agir sur les nitrates** (facteur limitant) ;
- Les écoulements de la Largue sont majoritairement courants et faiblement à moyennement diversifiés. Des **pressions sur le compartiment hydromorphologique** ont été identifiées (rupture de continuité avec 4.2 OH/km, contraintes latérales, coupe à blanc, déchets, etc.). **5 tronçons différents sont identifiés** ;
- Une problématique de **gestion des embâcles et des habitats** sur le cours de la Largue est identifiée

Approche biologique

- Le volet ADNe a mis en évidence **19 espèces de poissons dans le plan d'eau de Courtavon** dont 4 espèces patrimoniales et 7 espèces exotiques ;
- Deux espèces d'amphibiens sont identifiées sur les berges ;
- Deux espèces d'écrevisses sont présentes dans le secteur (écrevisse à pattes grêles dans le lac et écrevisse à pattes rouges dans la Largue) ;
- Le volet piscicole a mis en lumière un impact du plan d'eau principalement via l'**apport d'espèces exotiques dans la Largue** mais surtout **des pressions identifiées dès l'amont** et une problématique de fanchissabilité piscicole ;
- L'étude des invertébrés a mis en évidence des **différences identifiées entre l'amont et l'aval** au niveau des indices avec une perte de diversité et une altération des communautés **mais surtout des pressions multiples (HAP, pesticides, nutriments, instabilité hydrologique) dès l'amont** ;

Perspectives

- Des **compléments de diagnostics** seront réalisé en 2022 ;
- Des pressions sont donc identifiées dès l'amont du plan d'eau de Courtavon. Mettant en avant la nécessité d'agir sur la qualité biologique, la morphologique et la physico-chimie de la Largue entre Oberlarg et le plan d'eau ;
- Des impacts diversifiés du plan d'eau sont identifiés et leur qualification et quantification devrait permettre de proposer des **préconisations de gestion ou d'aménagement adaptées** ;
- La phase de diagnostic doit être suivi par l'émergence d'un **plan de gestion complet** et concerté ainsi qu'**un plan d'aménagement**.

2. Le site de Chavannes

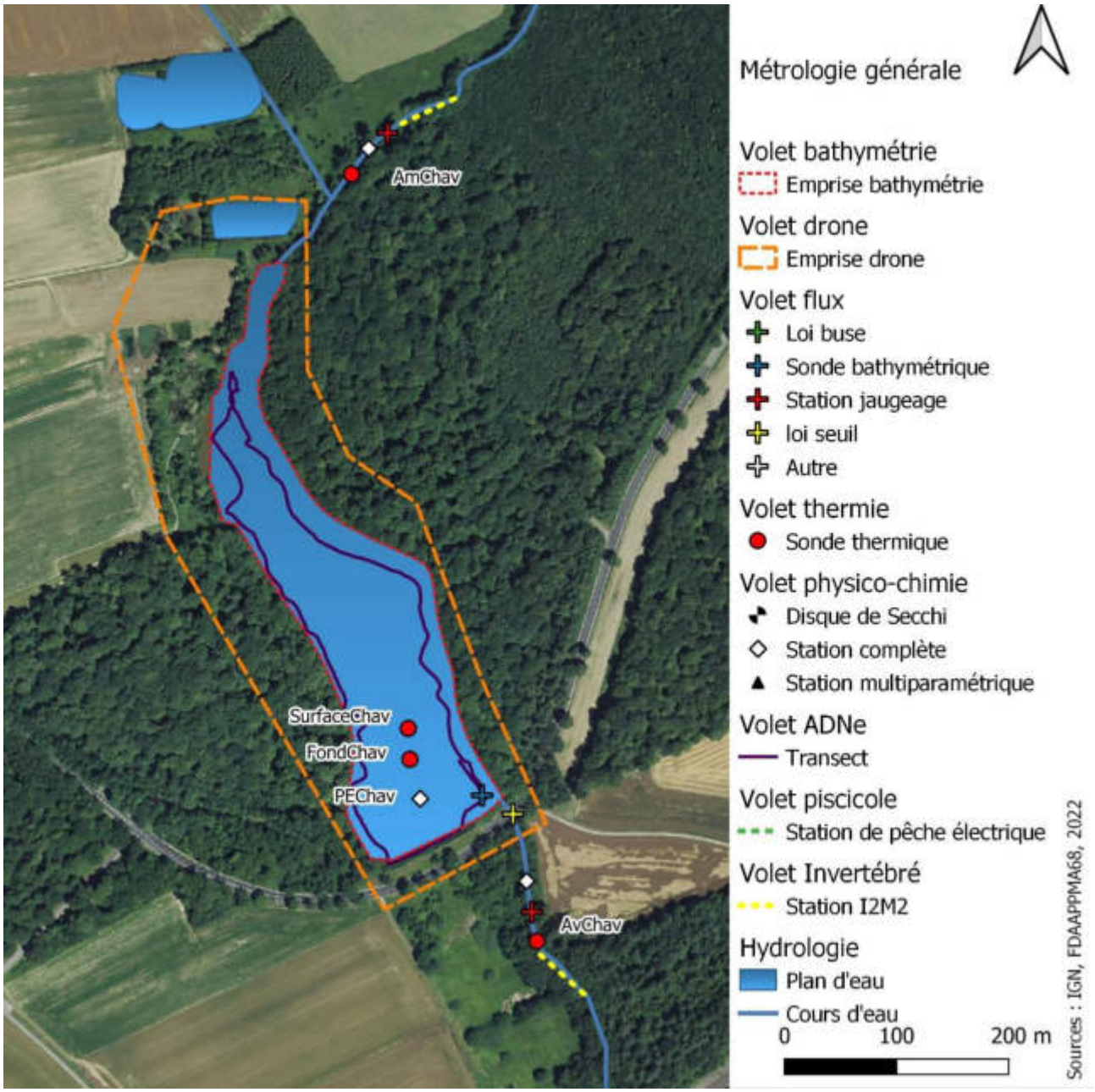
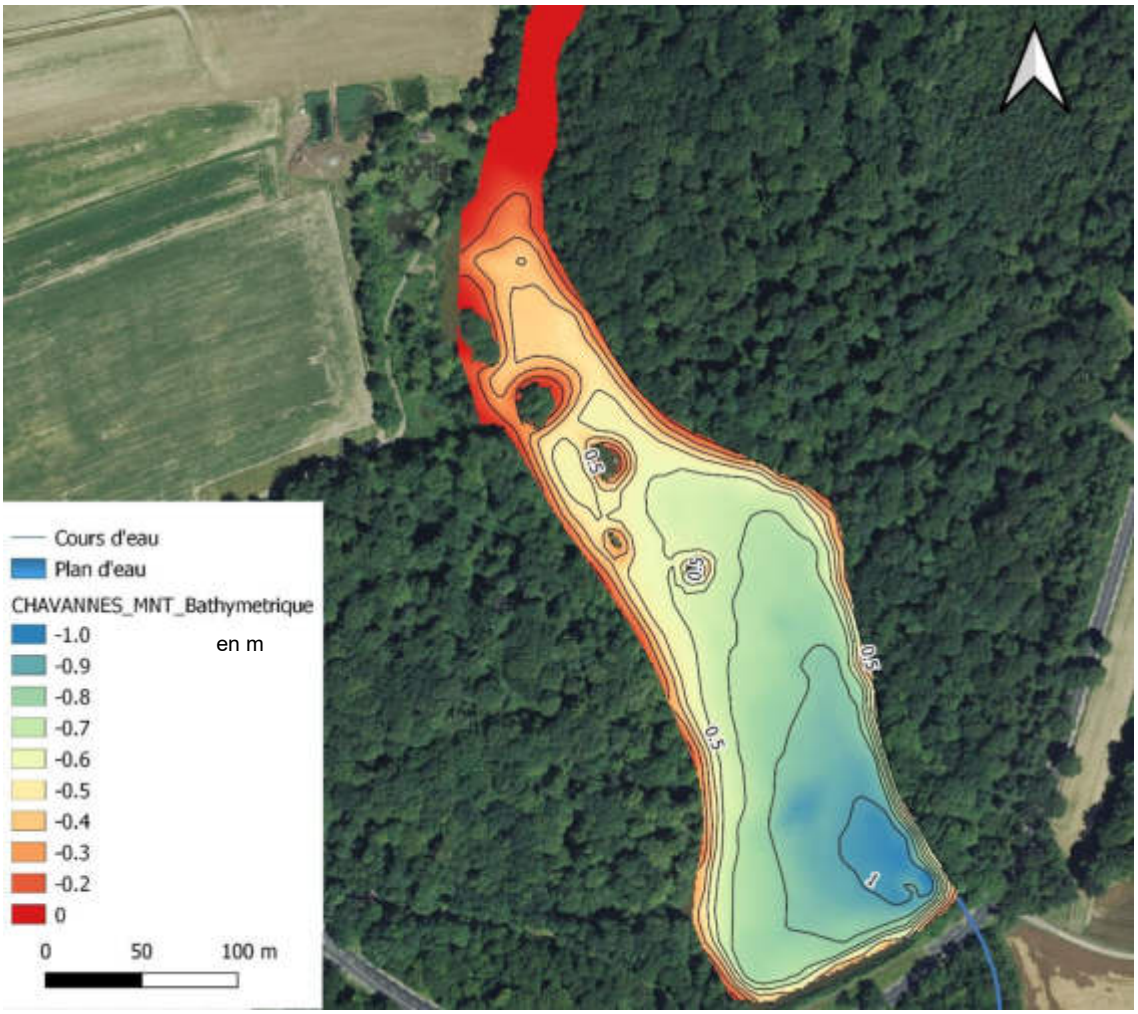


Figure 137 : Cartographie schématique de la métrologie déployée sur le site de Chavannes-sur-l'étang et noms des stations.

a) Volet bathymétrie



Chavannes : caractéristiques physiques	Valeurs
Surface (m²)	44 363
Périmètre (m)	1250
Profondeur Max (m)	1,15
Profondeur Min (m)	0,01
Profondeur Moy (m)	0,58
Volume d'eau total (m3)	25 653
Volume de sédiment total (m3)	23 101
Profondeur sédiment Max (m)	1,5
Profondeur sédiment Min (m)	0,20
Profondeur sédiment Moy (m)	0,5

Figure 138 : Carte bathymétrique du plan d'eau de Chavannes-sur l'étang et caractéristiques associées.

Les relevés bathymétriques ont été réalisés le 17/11/21 dans des conditions hydrologiques stables. La hauteur d'eau mesurée par la sonde bathymétrique du plan d'eau (*cf.* volet flux) lors des relevés est de 1,11m, permettant ainsi d'estimer les fluctuations saisonnières de volume et de côte d'eau (114,5±0,18m de profondeur moyenne en 2021). L'étang de Chavannes est ainsi caractérisé par des hauteurs d'eau très stables en 2021. Il dispose d'une zone plus profonde très sectorisée au Sud-Est avec des profondeurs maximales de 1 à 1,20m

environs. La profondeur moyenne du plan d'eau est de 0,58m. L'étang est donc caractérisé par des profondeurs faibles et uniforme. La tête de l'étang au Nord est particulièrement peu profonde et envasé (10cm à 30cm d'eau maximum). Plusieurs ilots sont présents au centre et au Nord-Est de l'étang.

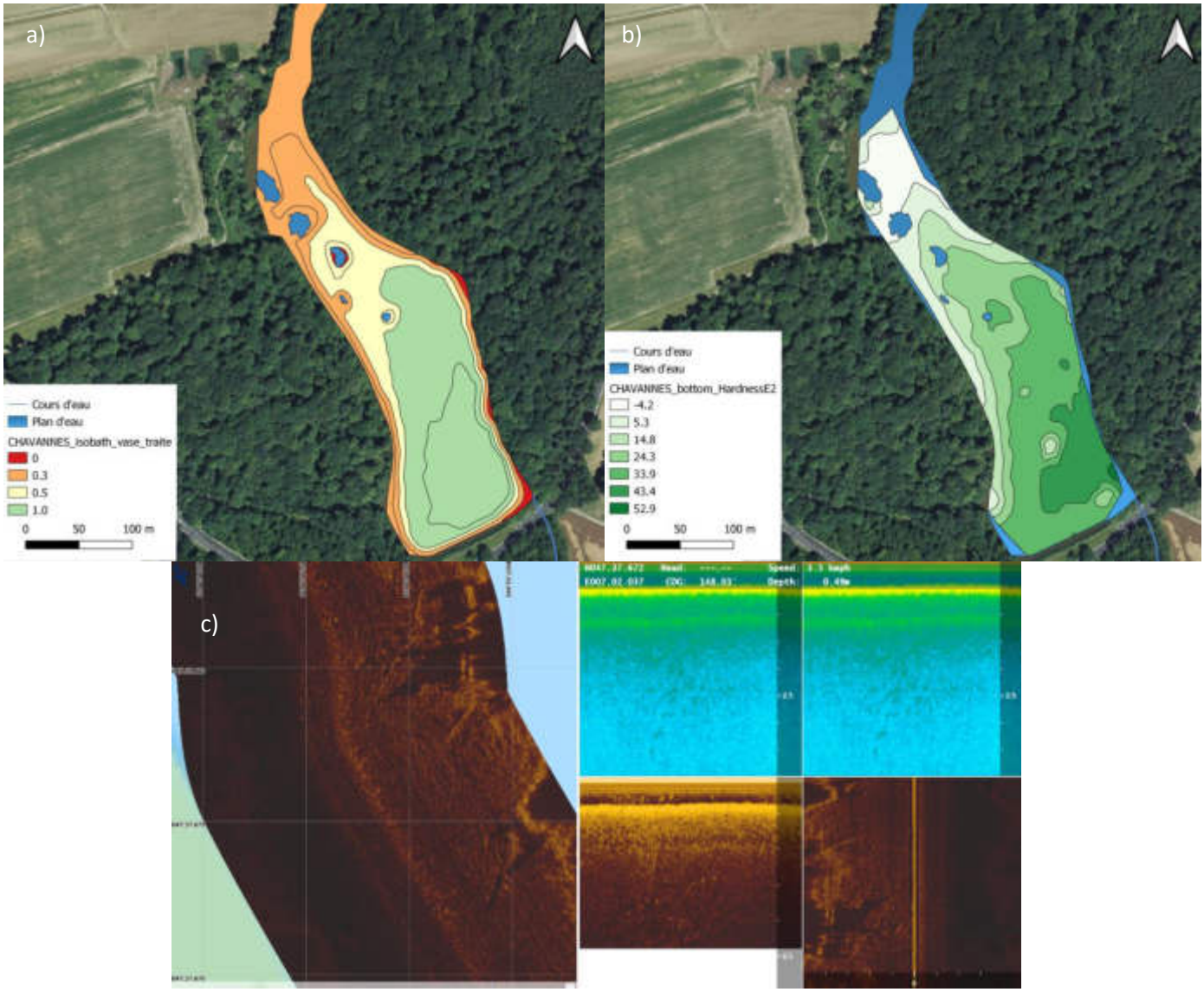


Figure 139 : Carte de la profondeur de vase en m (a), de la nature des fonds en termes de dureté (b) et de la nature des fonds en termes d'habitats (c).

L'analyse de la nature des fonds est permise à l'aide de l'échosondeur. On note ainsi une profondeur de vase très hétérogène mais qui suit les courbes de niveau de profondeur. Deux principales zones sont observées avec :

- La zone plus profonde (en termes de hauteur d'eau et de hauteur de vase) proche du déversoir au Sud-Est (1m) ;
- Le reste du plan d'eau qui est majoritairement très peu profond et relativement peu envasé (0,30 à 0,50m).

Le site est caractérisé par un relatif faible envasement (notamment de la zone médiane), surtout au regard de sa nature de plan d'eau en barrage (directement implanté sur le cours de la Gruebaine). La nature des fonds est très homogène en termes de dureté. Les zones benthiques sont très riches en habitats, surtout en bois mort (figure149) et dans une moindre mesure en herbier aquatique.

b) Volet drone

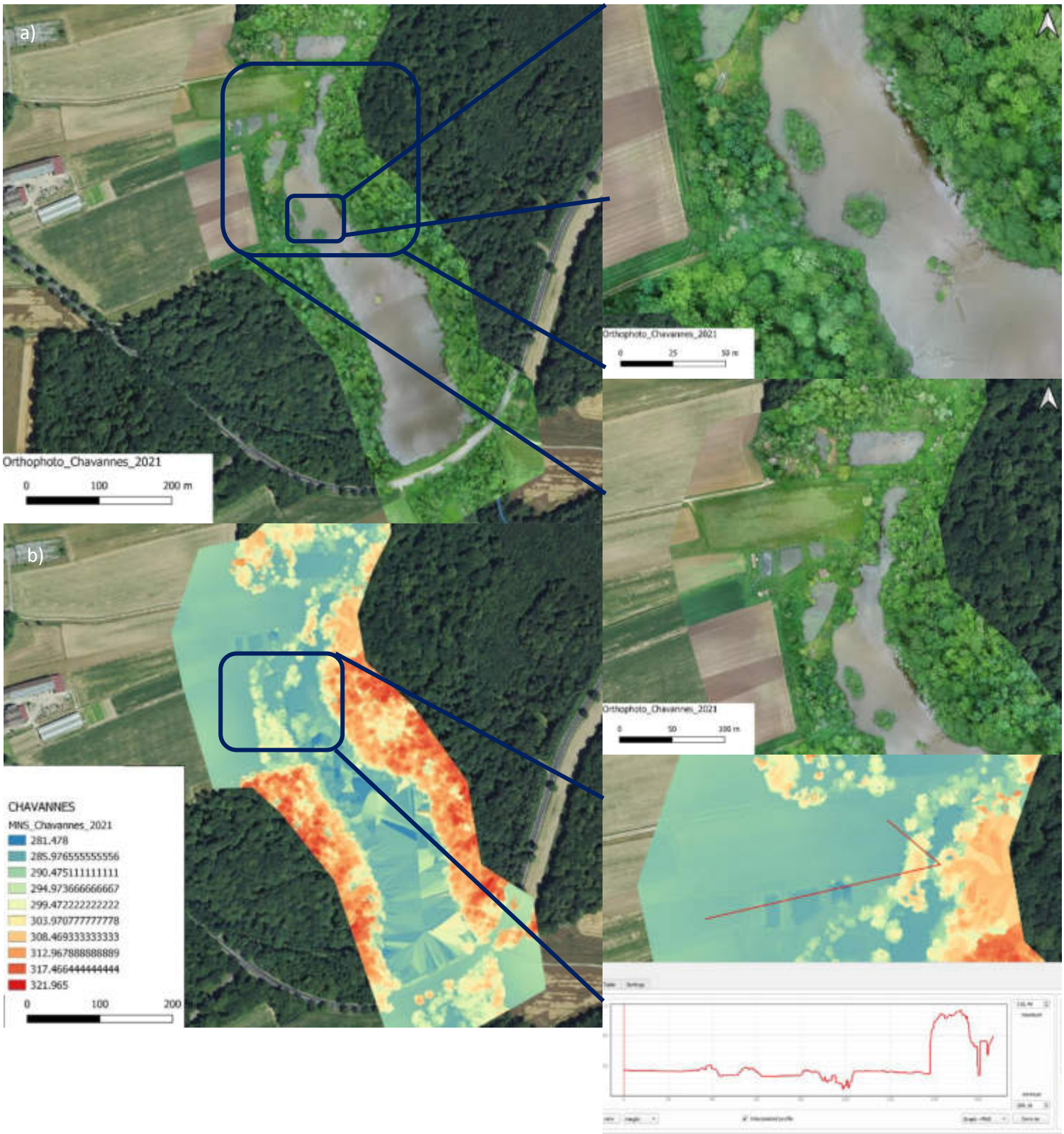


Figure 140 : Orthophotographie de précision (a) et Modèle Numérique de Terrain (b) du site de Chavannes.

c) Volet flux

Afin de suivre les variations hydrologiques de la Gruebaine, les amplitudes de marnage de l'étang et produire un bilan des flux du système, plusieurs approches sont déployées :

- Approche par jaugeage avec deux stations de mesure à l'aide d'un courantomètre en amont (suffisamment éloigné de la zone d'influence de l'étang) et en aval à raison de 5 campagnes ;
- Mesure des variations de hauteur de l'étang de Chavannes à l'aide d'une sonde bathymétrique ;
- Estimations des flux sortant par le calcul.

Les jeux de données prennent en compte la période du 10/04/21 au 30/07/21.

❖ Régime hydrologique de la Gruebaine

La Gruebaine est caractérisée par un régime intermittent avec des crues importantes en période de hautes eaux et des étiages très sévères, ainsi qu'une puissance spécifique faible. L'étude du fonctionnement alluvial de la Gruebaine à Chavannes-sur-l'Étang (Fluvial.IS - CEN Alsace, 2021) a permis de mettre en avant diverses caractéristiques au niveau du bassin versant, notamment des estimations des débits (Q) de crues.

Tableau 13 : principales caractéristiques morphologiques et hydrologiques de la Gruebaine (source : Fluvial.IS et CEN Alsace 2020).

Variables morphologiques	Valeurs	Variables hydrologiques	Valeurs
Largeur moyenne à pleins bords (Lpb)	4 m	Estimation Q2	4,2 m3
Section mouillée à pleins bords (S)	3,75 m²	Estimation Q5	6,1m3
Tirant d'eau à pleins bords (H)	1 m	Q dominant = 0,8Q2 Amont bassin	1.9 m3/s
Périmètre mouillé	5 m	Q dominant = 0,8Q2 Médian bassin	2.8 m3/s
Rugosité (Coef. Strickler K)	20	Q dominant = 0,8Q2 Aval bassin	3.4 m3/s
Pente du lit (S)	0.002 m/m	Puissance fluviale spécifique	< 15

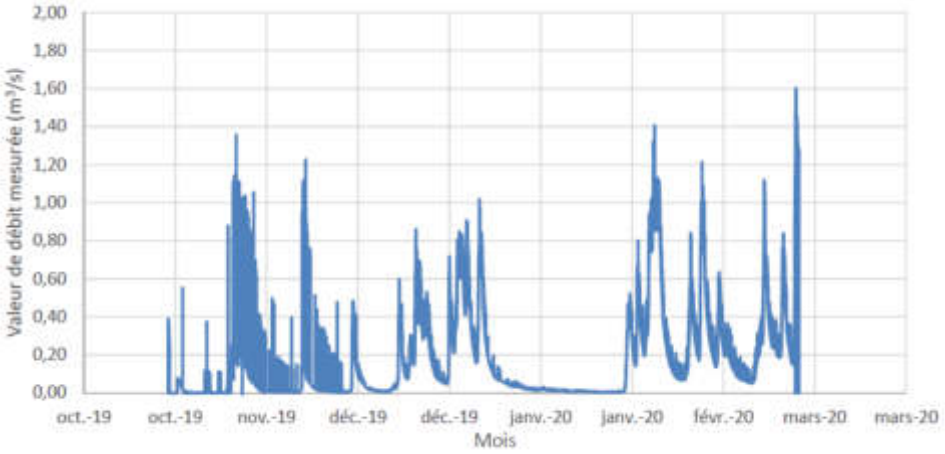


Figure141 : débit de la Gruebaine en 2019-2020 au niveau de l'exutoire du bassin (sources : VNF et CEN Alsace).

Le site étudié est situé en aval du bassin et le plan d'eau suivi est le dernier étang situé sur le cours de la Gruebaine. La période étudiée permet de compléter les données produites par le CEN Alsace en 2020 avec l'étude des débits d'étiages en période estivale plutôt que les débits de crues.

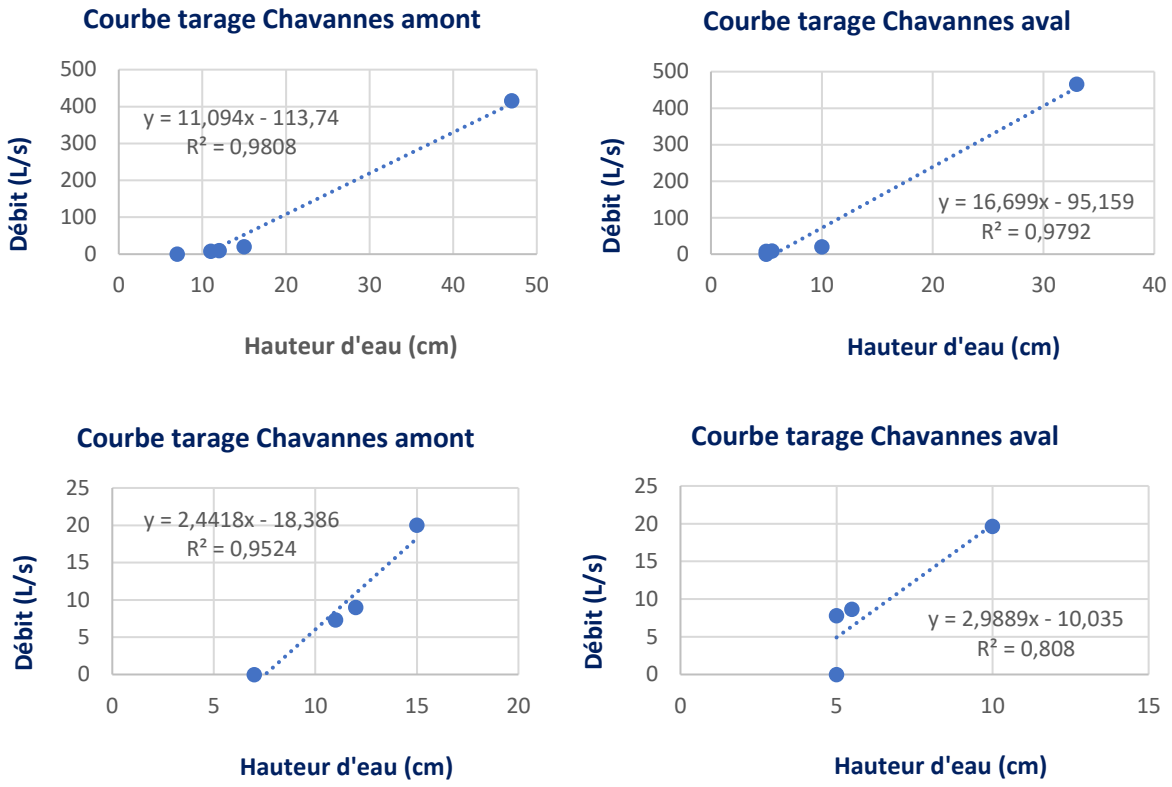


Figure142 : Courbes de tarages produites sur la Gruebaine, à l'amont du plan d'eau (à gauche) et à l'aval (à droite). Les figures du bas présentes les résultats après la suppression de l'unique valeur plus élevée.

Les 5 campagnes de jaugeage ont permis de mettre en lumière un régime hydrologique très hétérogène. En effet, si le débit moyen mesuré est de 90L/s en amont et 100L/s en aval (d'avril à aout 2021), d'importante variations sont mises en évidences (maximum amont = 415L/s ; minimum amont = 0L/s ; maximum aval = 465L/s ; minimum aval = 0L/s). Si l'hydrologie de l'été 2021 est peu représentative de la norme (année record en termes de pluviométrie) on peut mettre en avant des débits estivaux autours des 11L/s en amont et de 12L/s en aval (si on supprime la valeur la plus haute et la plus basse).

Figure143 : Résultats des mesures au courantomètre sur les stations de jaugeage en amont et en aval du plan d'eau.

Date	Q_amont (L/s)	H_amont (cm)
21/04/2021	7,31	11,0
12/05/2021	415,60	47,0
02/06/2021	9,02	12,0
02/07/2021	20,01	15,0
30/08/2021	0,00	7,0

Date	Q_aval (L/s)	H_aval (cm)
21/04/2021	8,65	5,5
12/05/2021	465,01	33,0
02/06/2021	7,80	5,0
02/07/2021	19,63	10,0
30/08/2021	0,00	5,0

Les mesures sont dans 50% des cas plus élevées en amont (d'avril à mai) et 50% des cas plus élevé en aval (de juin à juillet), mais restent malgré tout très proches. Le débit semble ainsi en général supérieur en amont au printemps puis inférieur en été.

❖ Variation des niveaux d'eau de l'étang

Les variations des hauteurs d'eau de l'étang ont pu être mesurées d'avril à fin juillet. Globalement, les variations sont moyennes avec un marnage de 18,6cm sur la période (hauteur d'eau maximum = 129,9cm ; hauteur d'eau minimum = 111,2cm). Cela représente une variation d'environ 8200m3 d'eau entre le volume estimé maximum (33 982m3) et le volume estimé minimum (25 653m3).

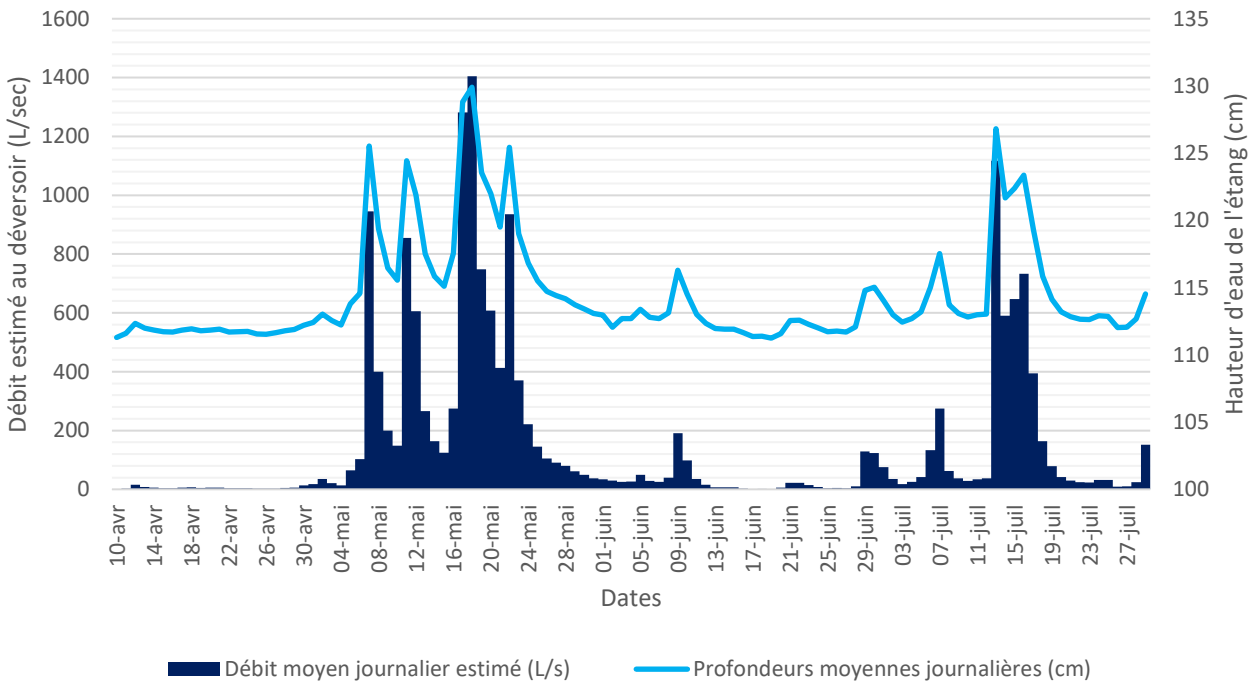


Figure144 : Hauteur d'eau du plan d'eau et débits estimés au déversoir d'avril à juillet 2021.

Les variations des débits estimés sortant sont aussi hétérogènes que les valeurs mesurées sur la Gruebaine avec des réponses rapides directement en relation aux évènements pluviométriques. Le débit sortant est pratiquement nul sur près de 20% des données (notamment en avril et en juin). La majeure partie des données sont comprises entre 10 et 50L/s (36%) et environ 10% des valeurs se rapprochent des pics de crues (>500L/s). 70% des valeurs sont inférieures à 100L/s. Il convient néanmoins de rester prudent quant à l'interprétation des données de par leur nature (estimation calculée sur la base de mesures de hauteurs et non de jaugeages précis). Ces estimations sont malgré tout très informatives pour suivre les variations saisonnières.

Tableau 14 : Moyennes mensuelles des débits estimés au droit du déversoir du plan d'eau.

Mois	Profondeur de l'étang	Hauteur d'eau déversoir	Moyenne de Débit estimé (L/s)
Avril	111,78	0,38	5,27
Mai	117,80	6,36	348,01
Juin	112,60	1,22	32,43
Juillet	115,07	3,64	172,77

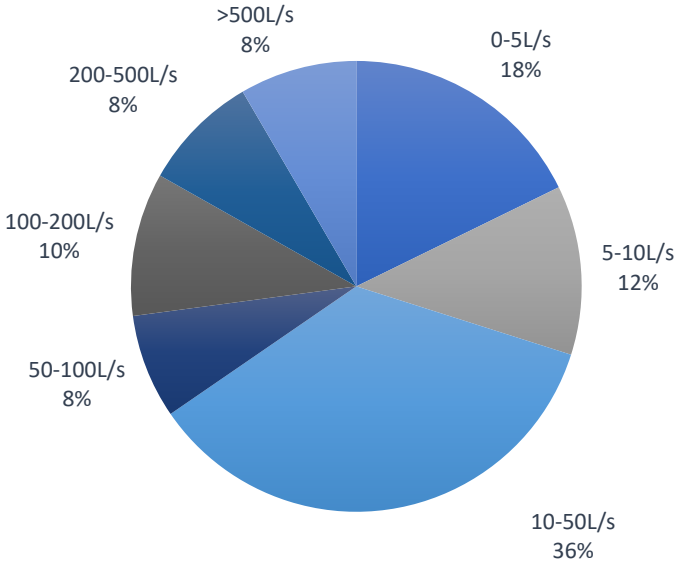


Figure145 : proportion des diverses gammes de débits estimés à l'exutoire du plan d'eau de Chavannes entre avril et juillet 2021.

❖ Bilan des flux

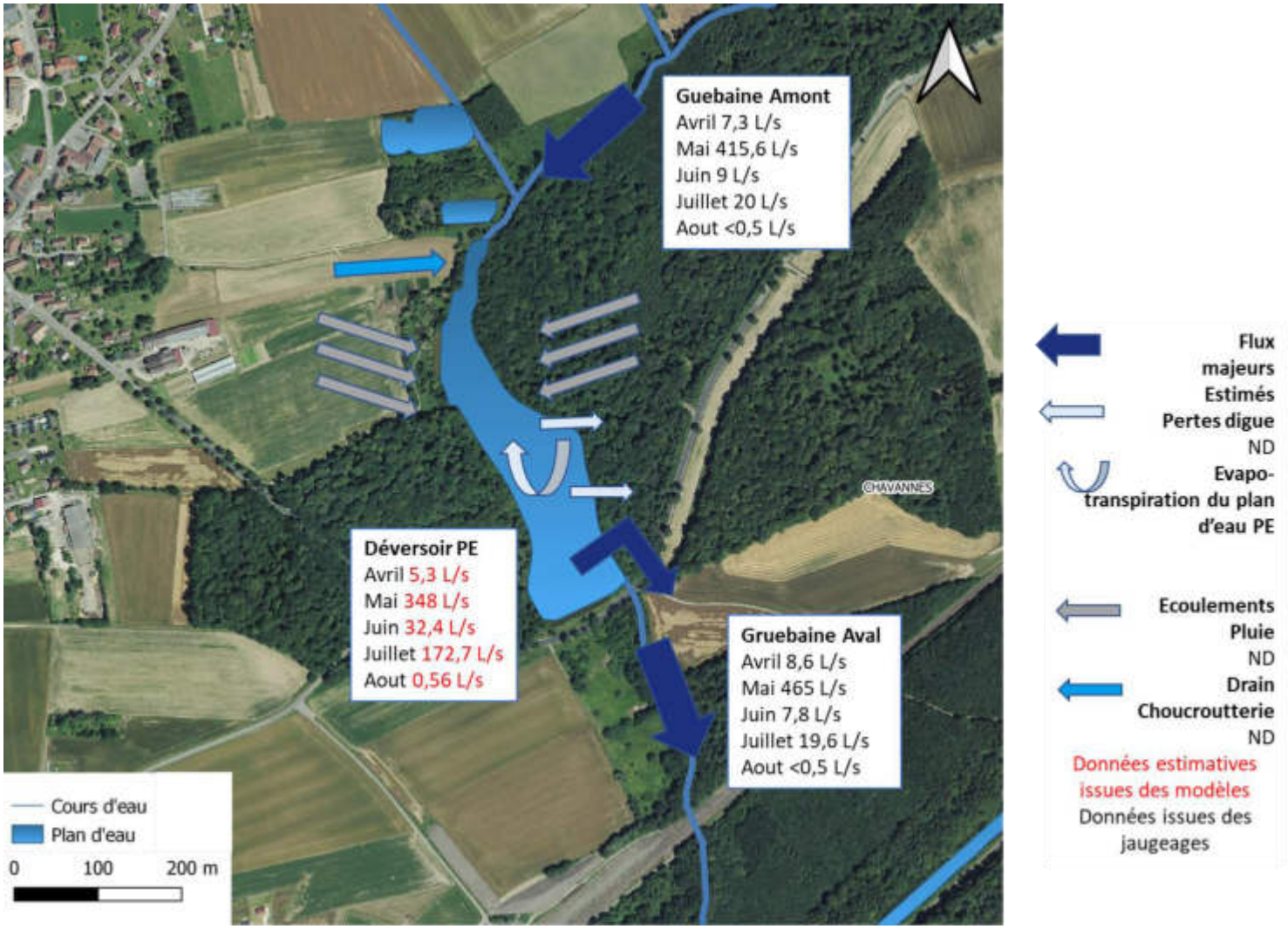


Figure146 : Bilan des flux sur le site de Chavannes.

Si ce travail n'a pas été réalisé dans ce cas, il est tout à fait possible d'estimer les quantités d'eau perdue par évaporation (formule de Penman-Monteih, formule de Thornwaite, etc.) afin de produire un bilan hydrologique complet (équation d'équilibre de l'eau d'un bassin : $\Delta S = P-ET-Q-D$). A titre de comparatif le débit moyen évaporé sur le bassin versant de la Gruebaine par les étangs est estimé à 4,16 L/s (Fluvial.IS - CEN Alsace, 2021).

Les composantes principales du bilan hydrologique sont :

- ➔ L'apport d'eau par la Gruebaine (en barrage) via le Nord de l'étang ;
- ➔ Les apports en eau atmosphérique (précipitations) ;
- ➔ Les apports d'eau par ruissellements via les ruissellements forestier et le drain situé à l'Ouest ;
- ➔ Les pertes en eaux au niveau de la digue à l'Est (fuites de digue observées) ;
- ➔ Les pertes en eaux via le déversoir du plan d'eau vers l'aval de la Gruebaine.

Les estimations des débits sortant du déversoir sont moindres que le débit mesuré sur la Gruebaine aval. Il est possible de mettre en avant une implication plus ou moins importante des pertes en eaux de la digue. Le débit moyen mensuel semble plus important en amont en période estival (juin-aout).

Le temps de résidence peut s'estimer par extrapolation du débit moyen sortant, lui-même obtenu lors des 5 mois d'étude (50 L/s, soit 0.051 m³/s, débit estimé sans la crue de juillet et de mai 2021).
La quantité d'eau sortant sur un an est d'environ 1 608 000 m³. Le temps de résidence correspond au volume du réservoir divisé par les flux sortants durant un an. Le temps de résidence est de 0,02 an soit environ 7 jours.

d) Volet thermie

Afin de suivre les variations thermiques de la Gruebaine et de l'étang, dans le but d'identifier et quantifier l'impact thermique du plan d'eau, 4 stations ont été suivies du 10/04/21 au 06/10/21 avec :

- L'amont (suffisamment éloigné de la zone d'influence de l'étang) ;
- L'aval ;
- La surface du plan d'eau (à l'ombre) ;
- Le fond du plan d'eau (à 1,10m).

❖ Températures moyennes journalières

Les profils thermiques généraux de l'ensemble des stations sont caractérisés par des amplitudes thermiques fortes. C'est particulièrement le cas à la surface du plan d'eau avec 19°C de différence entre les valeurs les plus baisses et les plus hautes de la station. La température la plus faible est mesurée à l'amont en avril (5,50°C) et la température instantanée la plus chaude est mesurée sur la surface du plan d'eau (29°C le 15/08/21).
Des divergences importantes au niveau des profils sont également mises en évidences sur :

- L'amont : avec des amplitudes thermiques journalières plus importantes, un profil plus homogène mais aussi des écarts entre les valeurs extrêmes plus faibles par rapport aux autres stations ;
- L'aval : avec des amplitudes thermiques journalières modérées, une évolution saisonnière marquée et un profil général proche de la surface du plan d'eau ;
- La surface et le fond de l'étang : aucune stratification thermique marquée n'est identifiée et les profils thermiques de la surface et du fond sont relativement semblables (le réchauffement du fond étant juste plus lent et moins extrême qu'à la surface). Ce phénomène peut être mis en parallèle avec les observations similaires (Touchart 2007) : les étangs d'un mètre de profondeur ou moins présentent bien souvent des

stratifications de type saut thermique éphémères ou de métastagnion (dans le cas de durée plus longue), selon le vent, la superficie et la profondeur de l'étang. L'étang réduit également les sauts brutaux de températures journalières (inertie thermique plus forte).

Si on compare les valeurs obtenues tout au long du suivi (moyennes des 6 mois), l'ensemble des stations sont significativement différentes entres elles. De plus, l'amont se démarque encore avec des moyennes plus faibles.

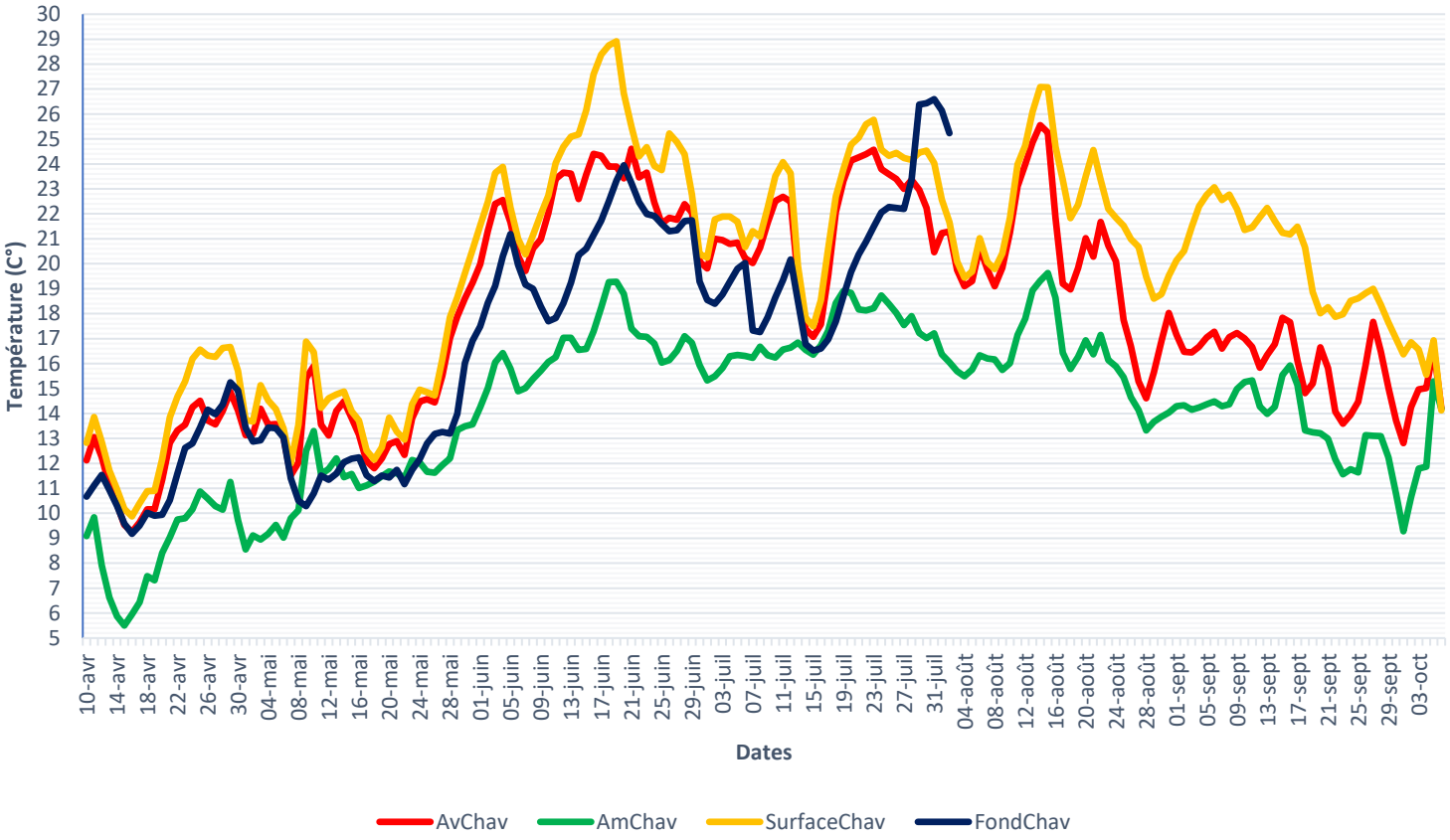


Figure147 : profil thermique et températures moyennes journalières des 4 stations du site de Chavannnes.

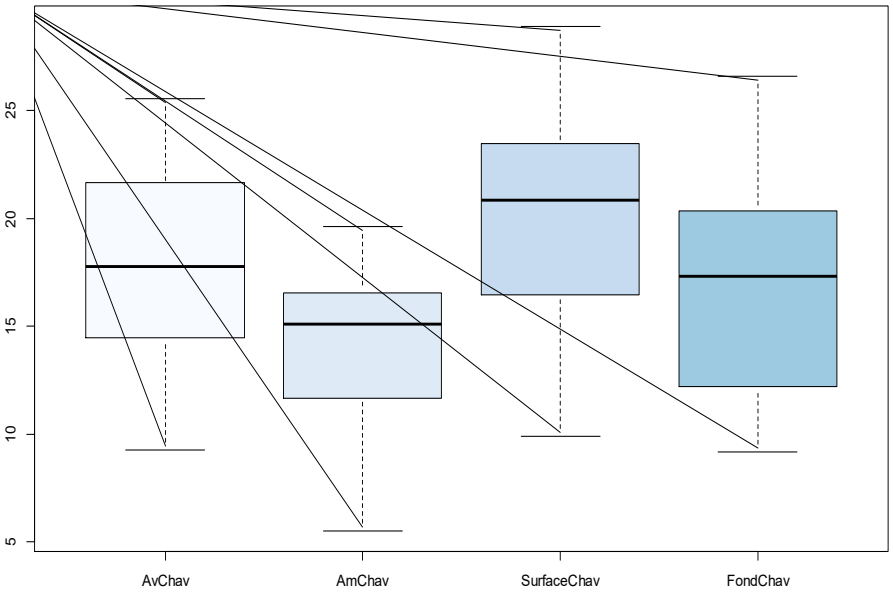


Figure148 : boxplots des températures moyennes sur 6 mois des 4 stations du site de Chavannnes.

❖ Régimes thermiques mensuels

On note en effet, une démarcation forte des moyennes mensuelles de la station AmChav, qui présente toujours les températures les plus basses. Les moyennes mensuelles de AvChav sont proches de la surface du plan d'eau tout au long du suivi. Une évolution rapide des températures est observée à partir de juin.

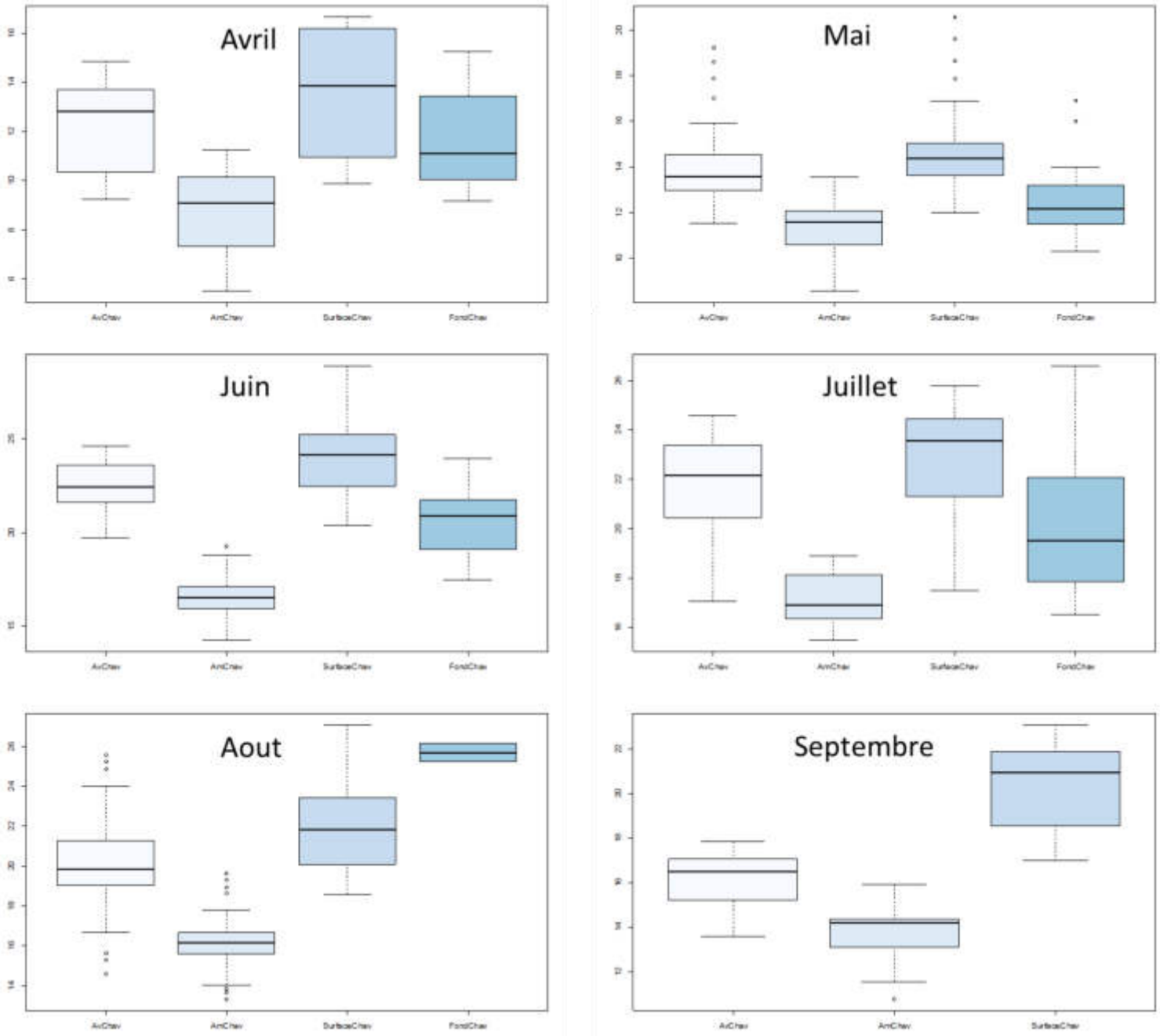


Figure149 : boxplots des températures moyennes mensuelles des 4 stations du site de Chavannnes.

❖ Identification et quantification de l'impact thermique du plan d'eau

Une analyse statistique comparative entre AmChav et AvCha est réalisée afin de connaitre la significativité de l'impact du plan d'eau. L'hypothèse est la suivante : est-ce que la thermie est différente en aval de l'étang ? Le but est de déterminer si la différence entre l'amont et l'aval est significative (potentiellement à cause du lac et du déversoir) et non due au hasard. Le test est un test de Student apparié avec les hypothèses suivantes :

- H0 = Pas de différence entre l'amont et l'aval, intervention du hasard
- H1 = Différence entre l'amont et l'aval, non due au hasard

Les résultats du test permettent de mettre en avant des différences significatives pour l'ensemble des périodes étudiées entre l'amont et l'aval (Pvalue=2.2e-16). Ainsi les moyennes de températures sont significativement plus élevées en aval du plan d'eau qu'en amont (tableau de significativité consultable en annexe).

Tableau 15 : résultats du test statistiques de comparaison entre l'amont et aval

Comparatif Amont / Aval Chavannes	
Test Student apparié	Moyennes journalières
Statistique t	-30.875
Dégré de liberté	173
P-valeur	2.2e-16
Intervalle de confiance (95%)	-4.096517 -3.604223
Moyenne de la différence	-3.85037
Décision	p-valeur<0,05 rejet H0

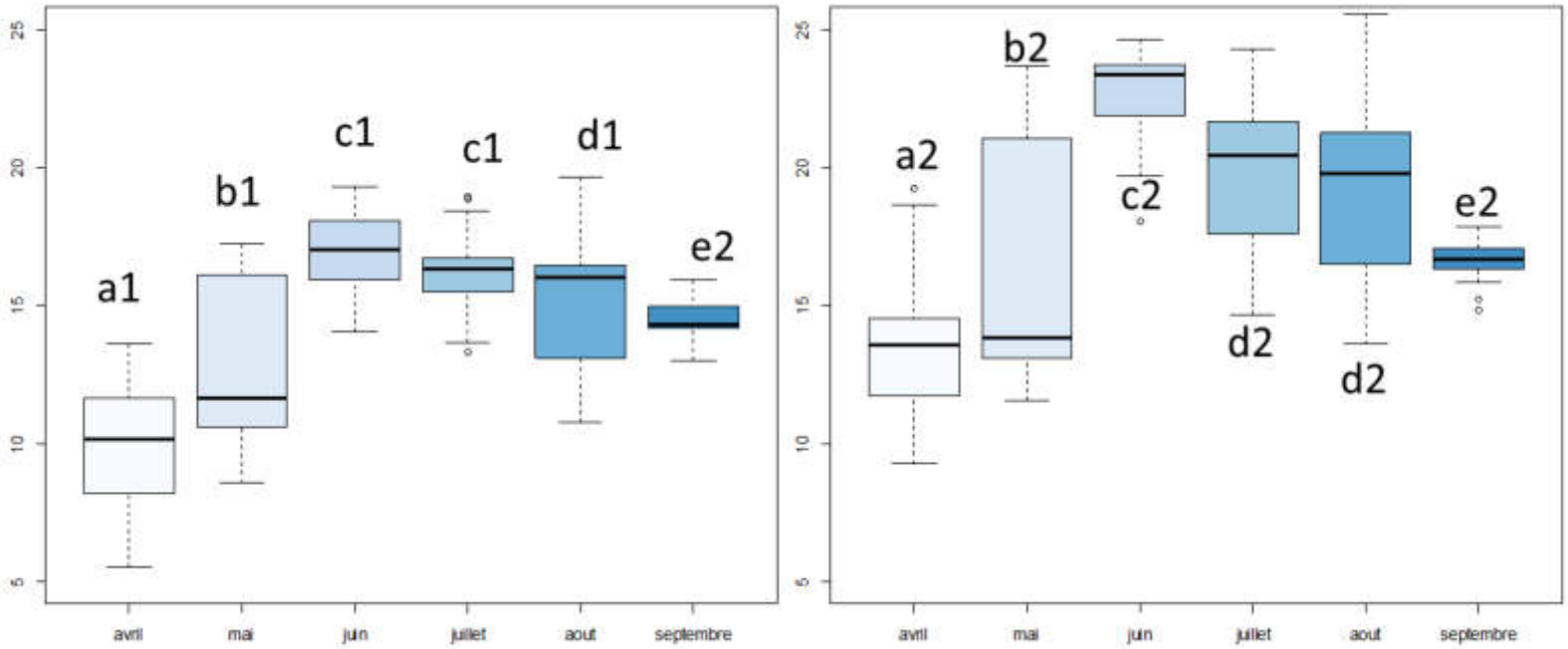


Figure 150: Boxplots comparatif des températures moyennes mensuelles entre l'amont (gauche) et l'aval (droite) du plan d'eau de Chavannes. Les lettres représentent les groupes de significativités issus du comparatif intra-station et les chiffres les groupes issus du comparatif inter-stations.

Les données thermiques ont été comparées entre les mois au sein d'une même station et entres stations pour un même mois. Ainsi :

- À l'amont : un réchauffement important est observé entre avril et mai. Les mois suivants sont relativement plus homogènes. Les moyennes de température de juin et juillet ne

sont pas significativement différentes (Pvalue=0,084). Les écarts les plus importants sont observés au printemps ;
- A l'aval : un réchauffement plus marqué est observé entre mai et juin. Le mois le plus chaud est le moins de juin, ce qui est une particularité de 2021 à cause de la pluviométrie très importante de mai et de juillet. Les moyennes de juillet et aout ne sont pas significativement différentes entres elles (Pvalue=0,98) ;
- Si on compare l'amont et l'aval, chacune des moyennes mensuelles est significativement différente dès avril et pour l'ensemble du suivi. Si l'impact entre l'amont et l'aval est bien validé il convient de le quantifier (tableau16).

Tableau 16 : Résultats des moyennes mensuelles du site de Chavannes et quantification de l'impact thermique de l'étang.

Moyennes mensuelles	AvChav	AmChav	SurfaceChav	FondChav	Effet étang	Ecart Type	Différence Surf/Fond
avr-21	12,27	8,67	13,56	11,73	3,60	0,56	1,83
mai-21	14,11	11,30	14,81	12,42	2,81	1,49	2,39
juin-21	22,41	16,60	24,21	20,54	5,81	0,83	3,67
juil-21	21,62	17,12	22,61	20,04	4,49	1,62	2,57
août-21	20,08	16,17	22,03	20,00	3,91	1,37	2,03
sept-21	16,12	13,71	20,33	NR	2,40	0,71	NR
oct-21	14,65	12,17	16,07	NR	2,47	1,46	NR

Le comparatif des écarts thermiques entre l'amont et l'aval de l'étang permet de quantifier l'impact thermique relatif du plan d'eau. L'impact du plan d'eau de Chavannes sur la Gruebaine est ainsi estimé à +3,64°C sur la période étudiée (avril-octobre).

L'impact thermique est de +4,74°C lors de la période estivale de juin à aout. Le différentiel est donc plus marqué en début de saison mais surtout en juin, juillet et aout. Le mois présentant le différentiel le plus important est le mois de juin 2021 (+5,81°C). Des extrêmes sont également observés en juin comme lors de la journée du 11/06/21 avec une augmentation de +7°C.

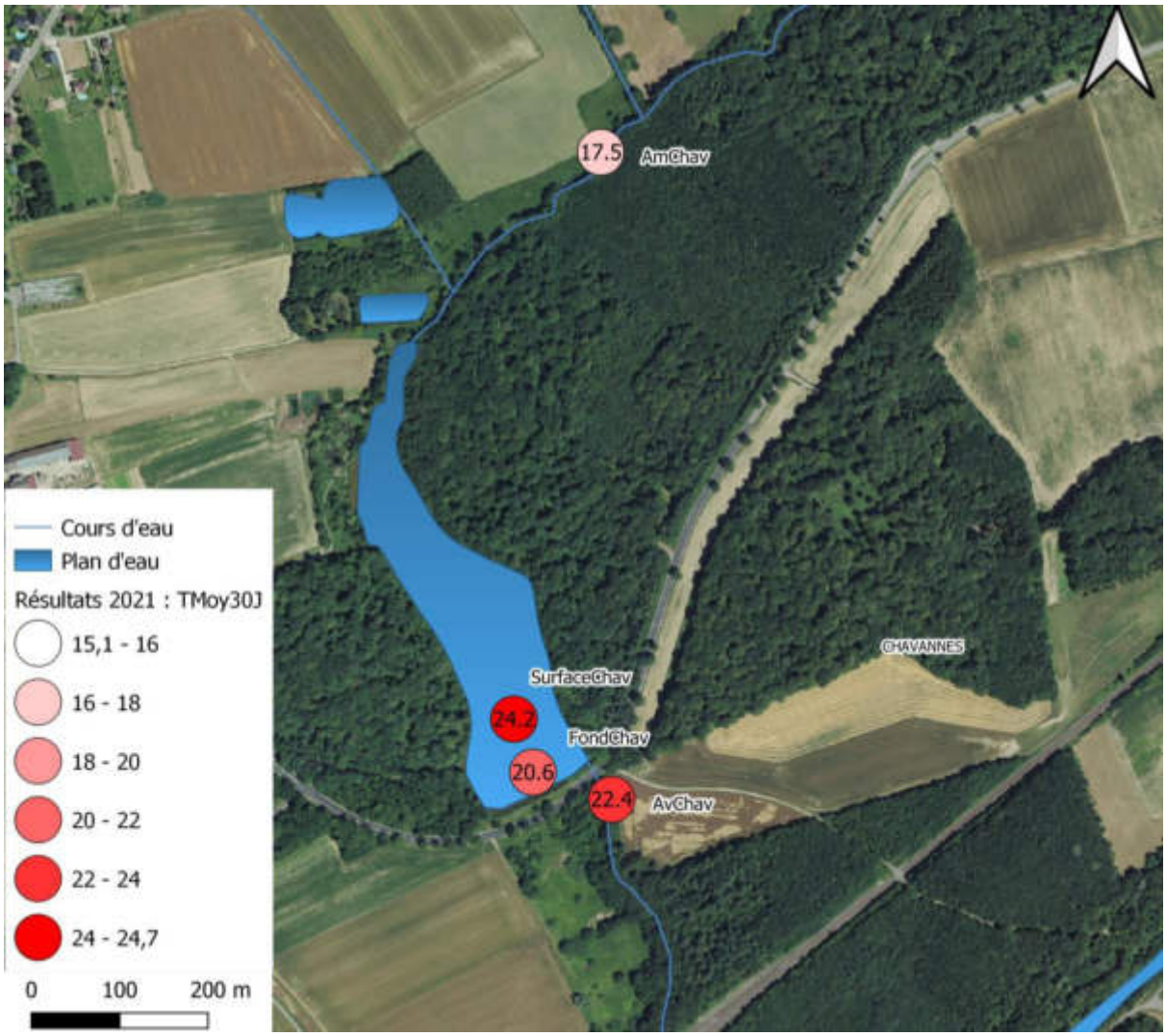
Si ces données sont en adéquation au regard de la bibliographie, elles restent relativement hautes. En effet, les étangs en barrage à déversoir exercent une influence thermique annuelle moyenne de +2°C et une influence de +4°C en période estivale (Touchart 2007) mais certains écarts peuvent aller jusqu'à 7°C (Touchart and Bartout, 2011) ce qui correspond au maximum observé lors de la période étudiée. A titre de comparatif les moyennes estivales de réchauffement sont estimées à 3°C (1°C en moyenne annuelle) pour les étangs à moines et sont généralement inférieure à 3°C pour les étangs en dérivation.

Le plan d'eau de Chavannes influence ainsi la température de la rivière qui le traverse de manière significative.

❖ Optimum thermique des espèces et 30 jours les plus chaud

La figure151 permet de rendre compte plus schématiquement de ces observations. En effet, les moyennes des 30jours les plus chauds permettent de mettre en évidence les fait suivants:
- Malgré les nombreux étangs répartis sur le cours de la Gruebaine, la Tmoy30J de la station amont ne dépasse pas 17,5°C en 2021 ;
- Les Tmoy30J de la surface du plan d'eau et du fond présentent un écart de 3,6°C. Elle est particulièrement élevée sur la surface malgré l'ombrage (24,2°C) ;

- La Tmoy30J de la station aval est de 22,4°C soit 4,9°C plus élevé qu'à l'amont.



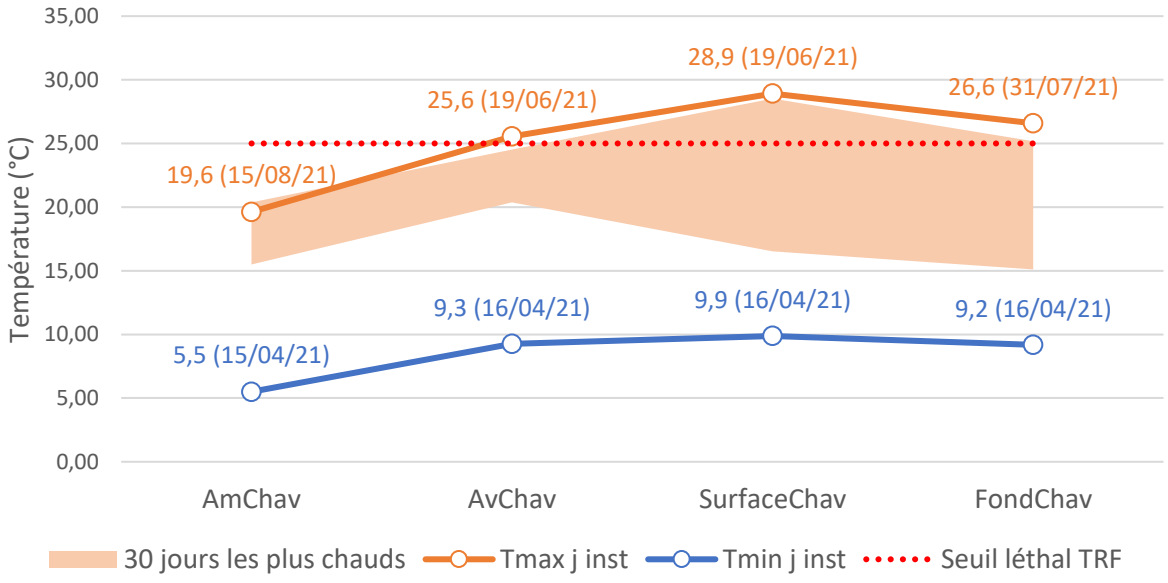


Figure 151: Résultats des moyennes des 30 jours les plus chauds sur le site de Chavannes.

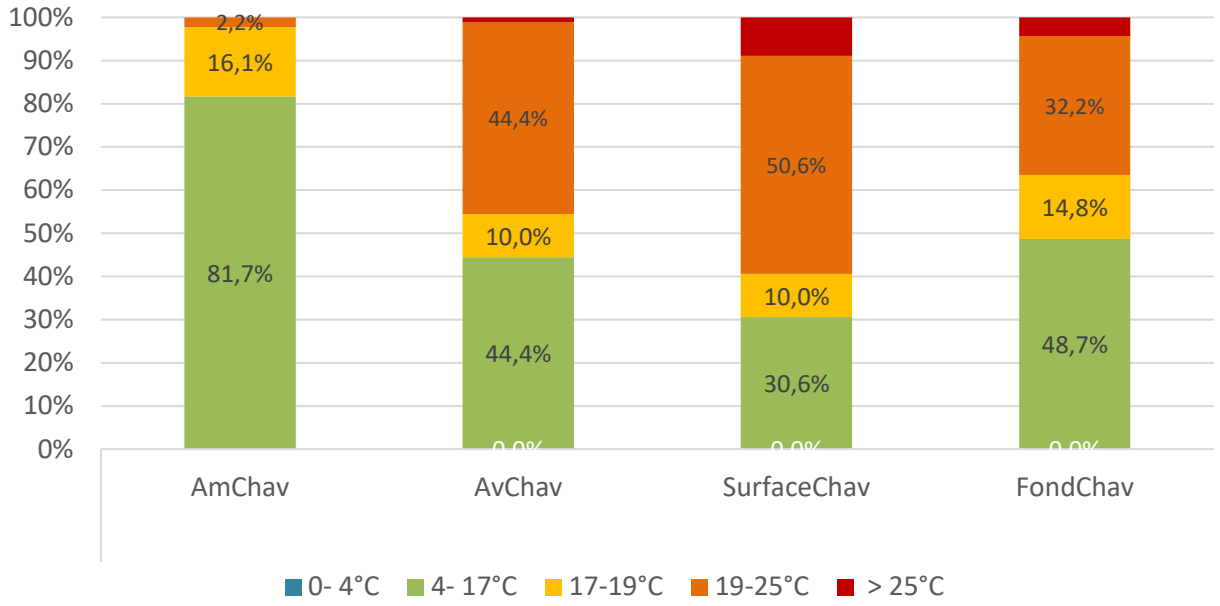


Figure 152: Répartition des températures moyennes selon le préférendum thermique de la truite fario sur Chavannes.

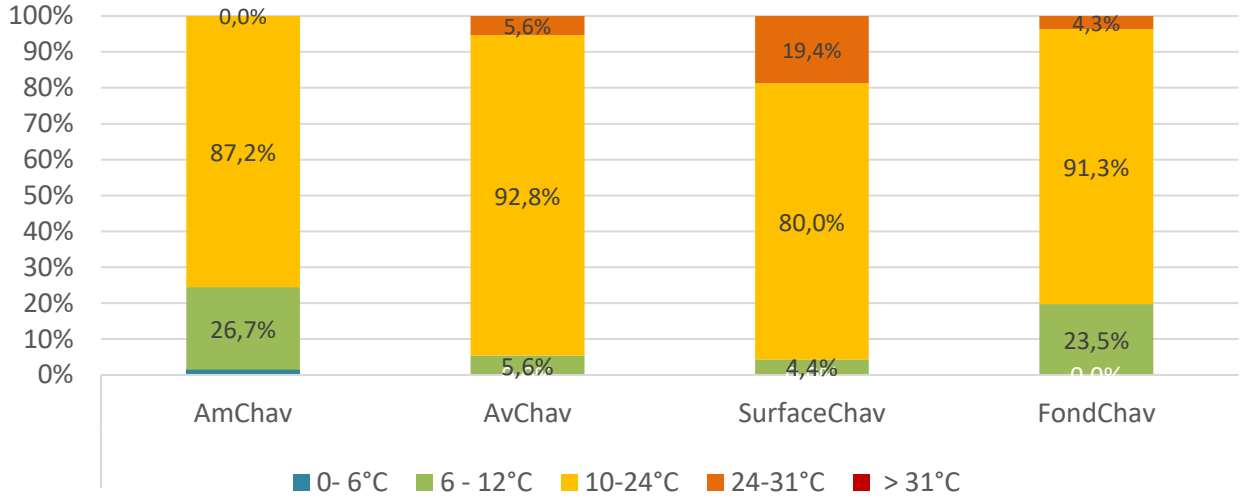


Figure153 : Répartition des températures moyennes selon le préférendum thermique du brochet sur Chavannes.

La majorité des stations présentent, des températures incompatibles aux Salmonidés hormis l'amont du plan d'eau (81,7% des valeurs comprises entre 4 et 17°C). En revanche la Gruebaine est classée en seconde catégorie piscicole et les températures semblent globalement plus compatible au Brochet mais surtout aux Cyprinidés (Carpes, Gardons, etc.). La grande majorité des valeurs restant comprises entre 10 et 24°C.

De plus la limite de classe de très bonne/bonne qualité vis-à-vis de la température est fixée à 24°C et bonne/moyenne à 25,5°C en eaux cyprinicole. Ces valeurs ne sont dépassées qu'à l'aval sur une courte période et sur la surface du plan d'eau.

e) Volet physico-chimie

Lors du volet physico-chimie, c'est 18 mesures qui ont été réalisées d'avril 2021 à octobre 2021. 6 campagnes ont ainsi été réalisées de manière mensuelles sur 3 stations :

- Amont ;
- Plan d'eau ;
- Aval.

La connaissance de la qualité physico-chimique sous-tendant la biologie a été permise à travers plusieurs approches via :

- L'étude des concentrations moyennes (mesurées d'avril à octobre 2021) ;
- L'études des concentrations maximales (mettant en évidence des épisodes critiques ou des pics de concentrations) ;
- L'étude de la qualité physico-chimique du plan d'eau.

L'évaluation des classes de qualité de ces différents paramètres est réalisée à l'aide de « 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 tableaux complets sont consultables en annexes.

❖ Concentrations moyennes

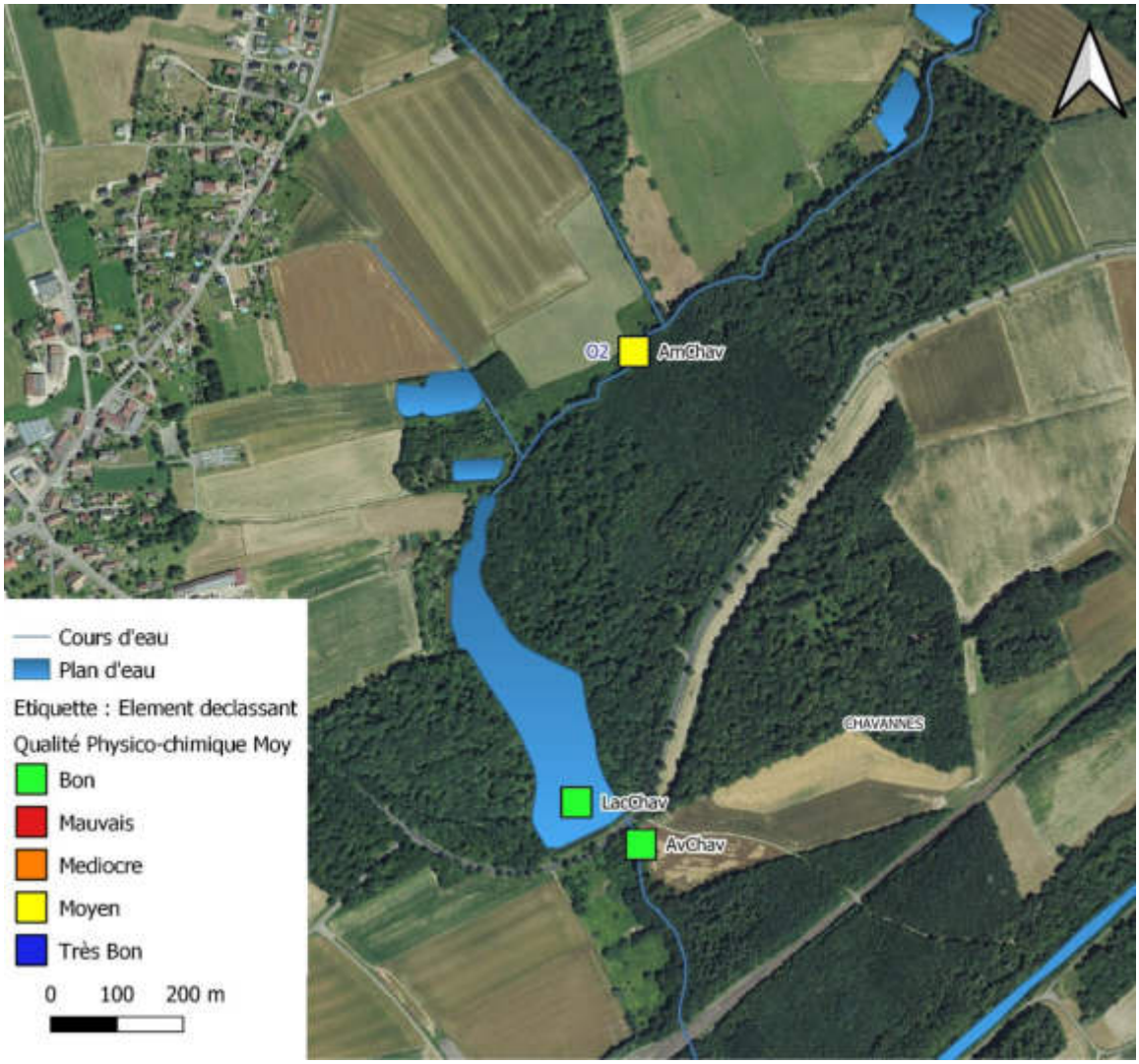


Figure154 : Qualité physico-chimique sur la base des concentrations moyennes sur le site de Chavannes et paramètres déclassants associés.

Globalement, la qualité physico-chimique sur la base des concentrations moyennes est bonne sur l'ensemble des stations. Néanmoins les concentrations en Oxygène mesurées en amont sont particulièrement faibles.

❖ Concentrations maximales

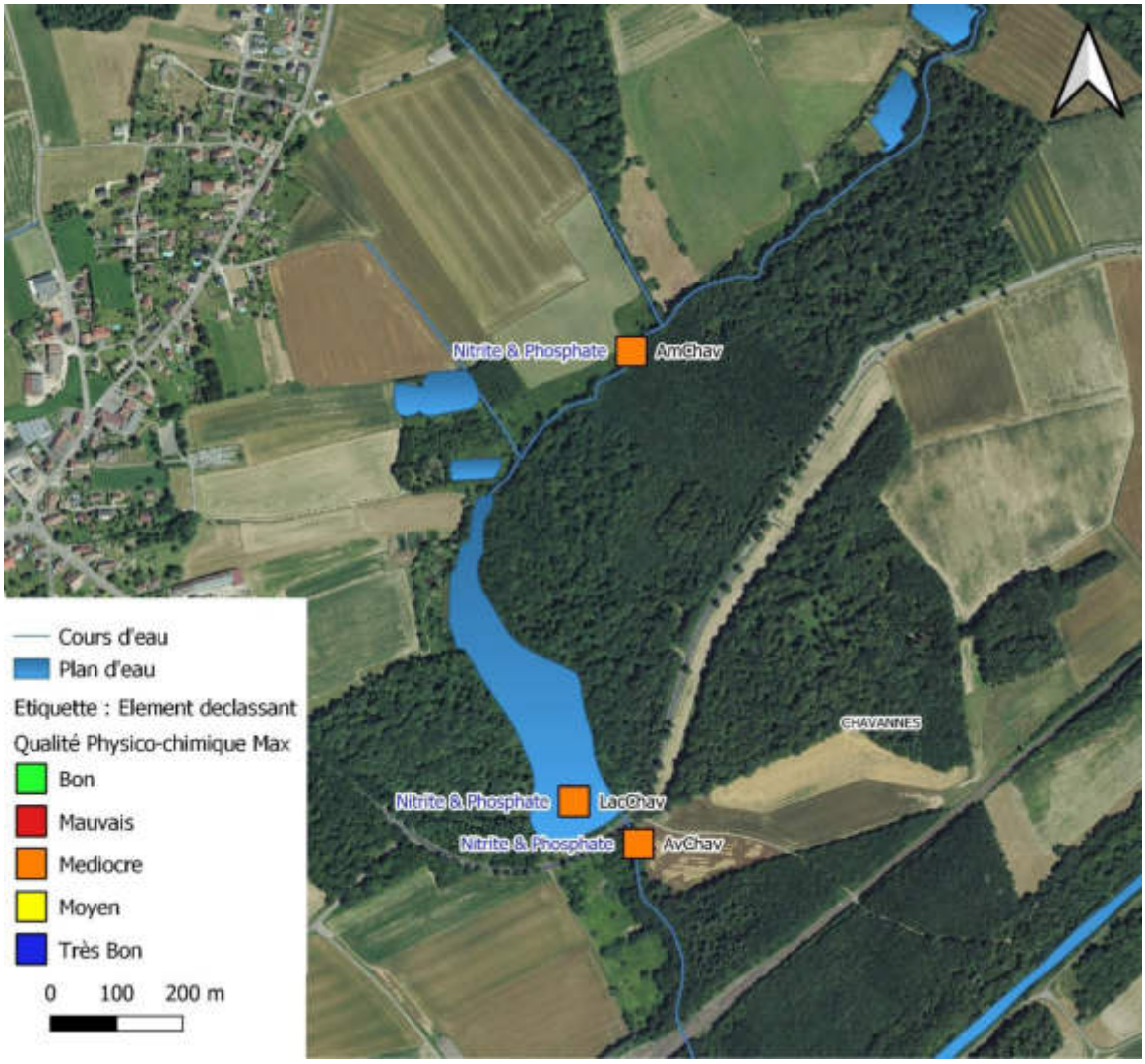


Figure 155: Qualité physico-chimique sur la base des concentrations maximales sur le site de Chavannes paramètres déclassants associés.

Sur la base des concentration maximales, aucune station étudiée n'atteint le bon état physico-chimique. L'ensemble des stations est en état médiocre. Cette observation est particulièrement alarmante et met en évidence que pour chacune des 3 stations étudiées, au moins un paramètre fut une fois problématique lors de la période d'avril à octobre 2021.
Les paramètres les plus déclassants observés sont les mêmes sur toutes les stations, à savoir :

- Les nitrites avec : 0,5mg/L en amont le 02/07/21 et 0,5mg/L le 28/07/21 à l'aval ainsi que dans le plan d'eau ;
- Le phosphate avec : 0,5mg/L en amont le 21/04/21, 0,5mg/L en aval le 02/07/21 et 0,7mg/L dans le plan d'eau le 02/07/21 également.

L'amont et l'aval semble touchés de la même manière et à des périodes proches par des phénomènes de pics de concentration en nitrites et en phosphate.

❖ Qualité physico-chimique et état trophique du plan d'eau

L'analyse des eaux brutes du plan d'eau lors des différentes campagnes met en évidence une qualité physico-chimique mauvaise à médiocre selon les paramètres étudiés. Si les valeurs de phosphore totale et d'orthophosphate sont moins problématiques au regard des autres nutriments (tableau17), les classes de qualités sont :

- Mauvais vis-à-vis des concentrations d'ammonium (sur la base des concentrations maximale). Si on se base sur les concentration moyennes ce paramètre reste déclassant.
- Médiocre vis-à-vis des concentrations en nitrates (sur la base des concentrations maximales soit 21000 µg/L). La valeur moyenne n'est pas pour autant plus permissive avec 6830 µg/L (état moyen).

Tableau 17 : Résultats des analyses physico-chimiques sur eaux brutes du plan d'eau de Chavannes et valeurs seuils calculées pour les paramètres (phosphore, ammonium, transparence et nitrates) au regard de l'arrêté du 27 juillet 2018 (rubrique plan d'eau).

Paramètres physico-chimiques	Unité	Limite	Paramètres de calcul				Calcul		Valeurs	[a*Zmoy^b]	[c*(Zmoy+1)^d]
			a	b	c	d	Z_{moy} = profondeur moyenne (m)				
Phosphore total (médiane)	µg P.L-1	Très bon-Bon	44,174	-0,315	57,744	-0,324	minimum entre [a*Z_{moy}^b] et [c*(Z_{moy}+1)^d]		**49,79**	**52,44**	**49,79**
		Bon-Moyen	61,714	-0,31	95,841	-0,267			**73,07**	**73,07**	**84,82**
		Moyen-Médiocre	86,234	-0,306	159,92	-0,21			**101,88**	**101,88**	**145,27**
		Médiocre-Mauvais	120,63	-0,302	268,66	-0,153			**142,20**	**142,20**	**250,50**
Ammonium (valeur maximale)	µg NH4.L-1	Très bon-Bon	223,58	-0,248	199,25	-0,223			**179,93**	**255,92**	**179,93**
		Bon-Moyen	290,91	-0,245	283,69	-0,185			**260,67**	**332,44**	**260,67**
		Moyen-Médiocre	378,71	-0,241	404,53	-0,145			**378,57**	**431,84**	**378,57**
		Médiocre-Mauvais	494,03	-0,238	578,19	-0,106			**550,82**	**562,42**	**550,82**
Profondeur du disque de Secchi (médiane)	m	Très bon-Bon	1,1741	0,284	0,9989	0,277	maximum entre [a*Z_{moy}^b] et [c*(Z_{moy}+1)^d]		**1,13**	**1,01**	**1,13**
		Bon-Moyen	0,8703	0,279	0,6492	0,228			**0,75**	**0,75**	**0,72**
		Moyen-Médiocre	0,6447	0,275	0,4208	0,18			**0,56**	**0,56**	**0,46**
		Médiocre-Mauvais	0,4766	0,271	0,2722	0,131			**0,41**	**0,41**	**0,29**
							Z_{moy} < 15	Z_{moy} > 15			
Nitrates (valeur maximale)	µg NO3.L-1	Très bon-Bon					2200	1200			
		Bon-Moyen					5300	2600			
		Moyen-Médiocre					12600	5600			
		Médiocre-Mauvais					30100	12100			

Chavannes sur l'étang	
Phosphore total (médiane)	20 µg P.L-1
Ammonium (valeur maximale)	1200 µg NH4.L-1
Nitrates (valeur maximale)	21000 µg NO3.L-1

❖ Paramètres physico-chimiques

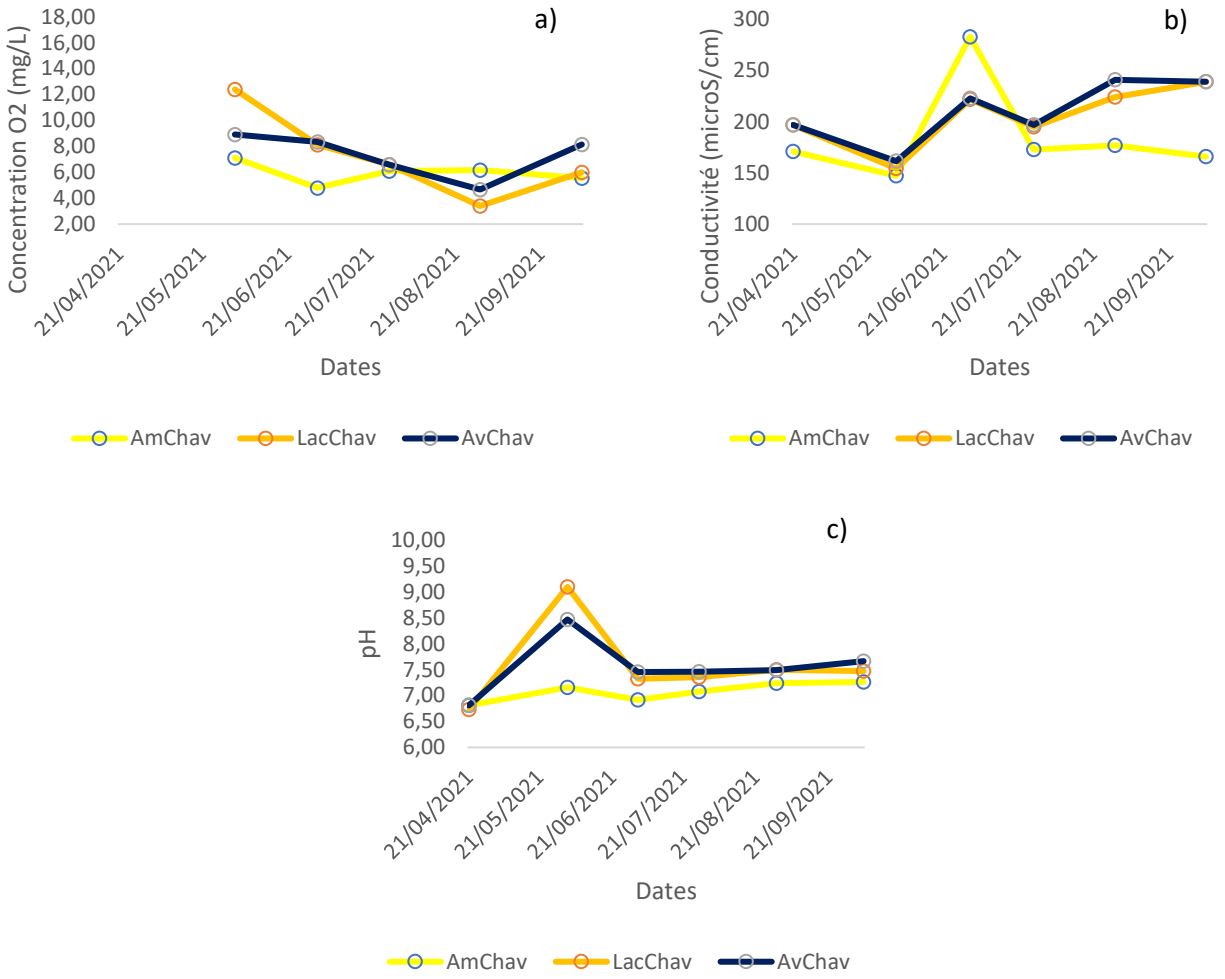


Figure156 : Evolution temporelle et spatiale de la concentration en oxygène (a), la conductivité (b) et le pH (c) sur la Gruebaine amont, sur le plan d'eau et sur la Gruebaine aval.

Les concentrations en Oxygène sont relativement faibles, sur l'ensemble des stations (figure156a). En effet, la moyenne de concentration toutes stations et valeurs confondues est de 6,86mg/L et elles n'excèdent que rarement 8mg/L. La concentration (et la saturation) en O^2 est par ailleurs, particulièrement faible à l'amont du plan d'eau (AmChav). La concentration en O^2 est plus élevé en début de saison dans le lacs mais décroit rapidement. Les fonctions biologiques sont considérées comme perturbées dès que la concentration passe en dessous de 5 mg/l (léthal à 3mg/L).

La conductivité est globalement moyenne à faible (150 à 300 µS). Elle est plus importante dans l'étang et à l'aval excepté le 02/07/21 à l'amont (pic de 147µS à 283µS). La conductivité augmente au cours de la saison dans le plan d'eau et l'aval.

Le pH est globalement proche de 7 au long du suivi et peu différent entre les stations. Une hausse importante des valeurs est néanmoins observée dans le plan d'eau et à l'aval le 02/06/21. La valeur de pH doit être mise en relation avec la conductivité (pic aux même période) mais aussi la concentration d'ammonium. En effet, la toxicité de l'ammoniac est directement liée au pH de l'eau et est beaucoup plus toxique si le pH de l'eau est de 8,5. Ce qui fut le cas au mois de juin.

❖ Nutriments

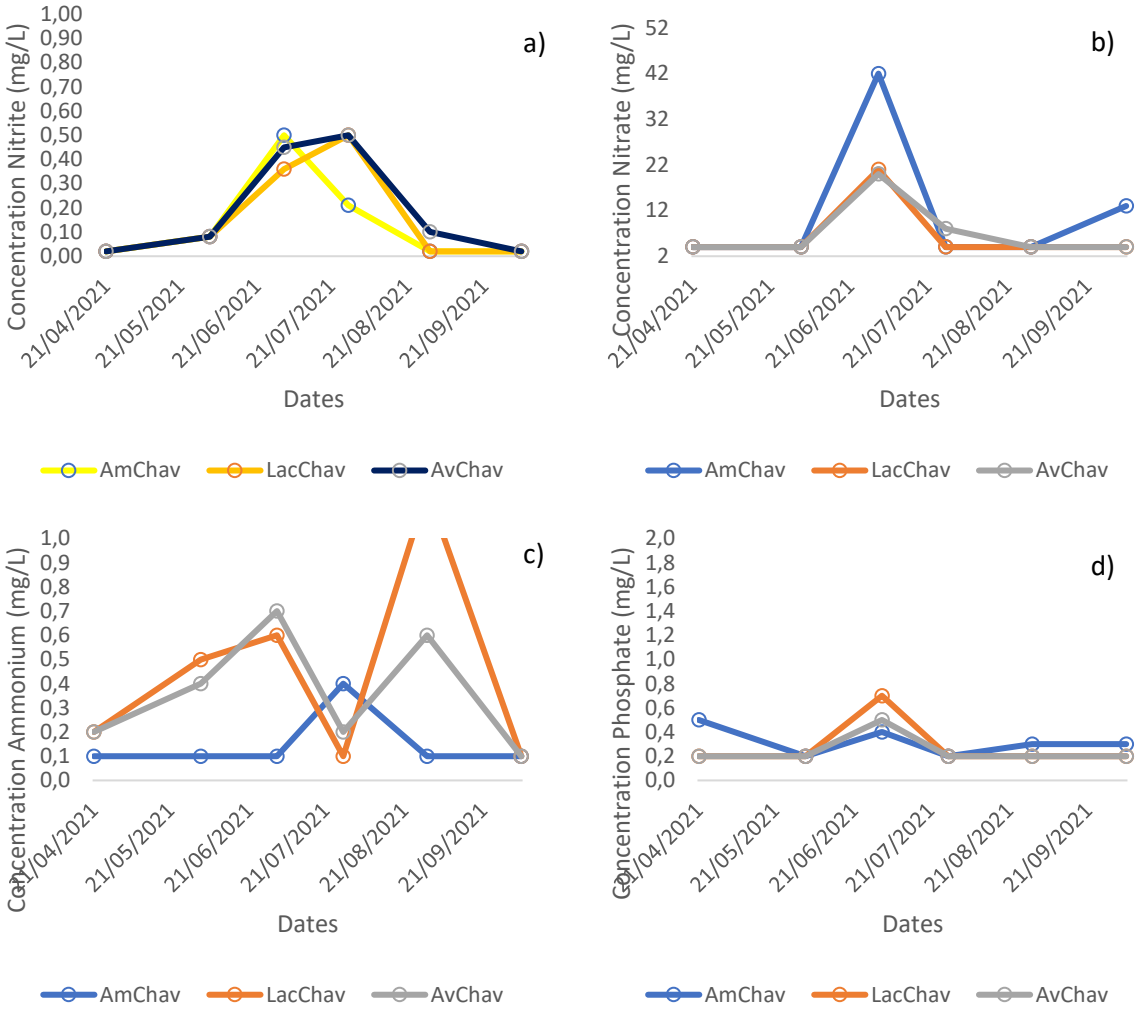


Figure157 : Evolution temporelle et spatiale de la concentration en nitrite (a), en nitrate (b), en amonium (c) et en phosphate (d) sur : l'amont de la Gruebaine, le plan d'eau et l'aval.

Tout comme les variables physico-chimiques plus classiques, les concentrations en nutriment sont très variables sur le secteur étudié. D'importants pics de concentration en matières azotées ont été observées durant l'étude.

Pour les nitrites, les concentrations et les pics sont similaires (près de 0,50mg/L sur l'ensemble des stations le 02/07/21). Mais décroissent plus vite dans le cours d'eau à l'amont (0,21mg/L le 28/07/21 contre encore 0,5mg/L sur les autres stations). Il est généralement admis que le nitrite s'oxyde facilement en nitrate et qu'en conséquence, en étant transitoire, il se retrouve rarement en concentration importante dans les eaux naturelles (Corriveau, 2009). De telles concentrations, mêmes sur un pas de temps court, peuvent être préjudiciables pour la vie aquatiques (0,5mg/L est la limite entre l'état moyen et l'état physico-chimique médiocre).

Pour les nitrates, le constat est similaire avec un pic observé le 02/07/21 et sur un temps plus court. On note des concentrations plus importantes en amont du plan d'eau (42mg/L le 02/07/21) qu'à l'aval et dans l'étang (21 et 20mg/L).

Les concentrations d'ammonium sont plus faibles en amont que sur les autres stations. Elles sont néanmoins très importantes dans l'étang et à l'aval à deux périodes :

- Le 02/07/21 avec 0,7mg/L en aval et 0,6mg/L dans l'étang ;

- Le 28/07/21 avec 1,2mg/L dans l'étang et 0,6mg/L en aval.

Si ces substances azotées sont indispensables à l'équilibre des hydrosystèmes (notamment au développement végétal), de telles écarts de concentration ne sont pas cohérent et provienne sans doute, de sources exogènes. Ces pics peuvent également être mis en relation avec la pluviométrie (8,9mm 3jours avant, 5,8mm 2 jours avant mais 0mm le jour avant et le jour même).

Vis-à-vis du phosphate, les concentrations sont globalement faibles mais un pic le 02/07/21 a été observé sur chaque station avec des concentration plus élevées dans l'étang (0,7mg/L).

Le bassin de la Gruebaine semble ainsi particulièrement sujet à des périodes de pics d'importantes concentrations en matières azotées.

❖ Le rapport N/P

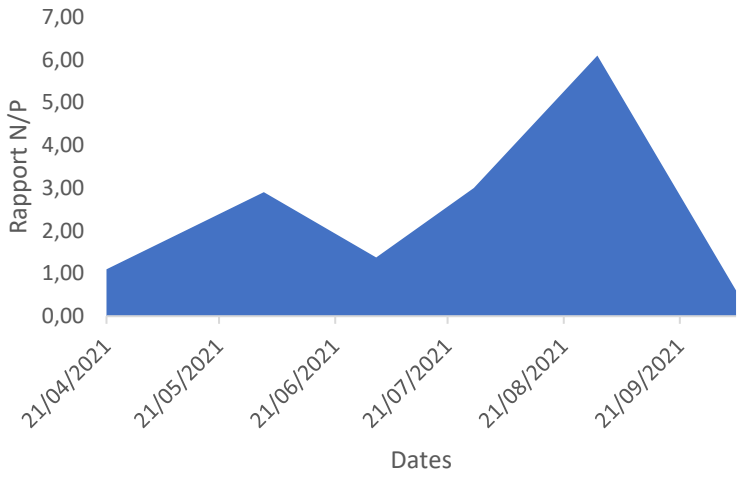


Figure158 : Rapport azote minéral / orthophosphate dans la couche euphotique (moyenne des concentrations) dans le plan d'eau de Courtavon en 2021.

La valeur du rapport entre l'azote et le phosphore (ratio N/P ou rapport de Redfield) permets de distinguer l'élément nutritif limitant (Redfield, 1985). Le rapport moyen optimal pour la croissance de la plupart des espèces de phytoplancton est de 7/1. Ainsi, lorsque le rapport est supérieur à 7, cela signifie que le phosphore est le principal facteur limitant. A l'inverse si le rapport est inférieur à 7, ce sont les nitrates qui seront le facteur limitant la croissance des algues. Le rapport est réalisé entre la somme de l'azote minéral (NH4+ et NO3- notamment) et les orthophosphates (PO4 3-).

Dans le cas du plan d'eau de Chavannes sur l'étang, le rapport de Redfield est toujours inférieur à 7 lors de l'étude. Si des variations apparaissent (comme en fin de saison), c'est donc toujours l'azote qui est le facteur limitant. Grâce à ce calcul il est possible de déterminer sur lequel des deux nutriments principaux il vaut mieux axer des efforts pour lutter contre l'eutrophisation (dans ce cas, les nitrites et les nitrates).

f) Volet ADNe

❖ Echantillonnage

Les prélèvements ont été réalisés le 21/04/21 sur l'ensemble du pourtour du plan d'eau.

❖ Résultats généraux de l'approche multi-spécifique sur les poissons

Diversité	10	
Taxon le plus représenté (réplicas positifs/nbre de séquences)	Goujon asiatique	(12/98349)
Taxon le moins représenté (réplicas positifs/nbre de séquences)	Tanche	(2/116)
Espèces d'intérêt patrimoniales	/	

Chavannes les étangs

Nom scientifique	CODE taxon	Nom vernaculaire	Nombre de réplicats positifs (/12)	Nombre de séquences ADN	Proportion
Pseudorasbora parva	PSR	Goujon asiatique	12	98 349	49,9
Rutilus rutilus	GAR	Gardon	12	44 335	22,5
Ameiurus melas	PCH	Poisson chat	12	18 516	9,4
Lepomis gibbosus	PES	Perche soleil	12	15 938	8,1
Cyprinus carpio	CCO	Carpe commune	12	6 967	3,5
Carassius gibelio	CAA	Carrassin argenté	12	6 815	3,5
Cyprinidae - Complexe 4 (Alburnus alburnus ou Scardinius erythrophthalmus)	ABL & ROT	Ablette & Rotengle	11	4 549	2,3
Alburnus alburnus	ABL	Ablette	5	819	0,4
Scardinius erythrophthalmus	ROT	Rotengle	6	733	0,4
Tinca tinca	TAN	Tanche	2	116	0,1

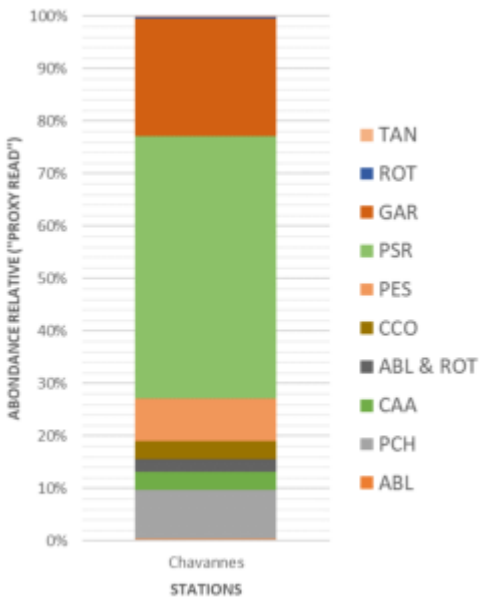


Figure 159: Résultats des analyses ADNe sur le site de Chavannes sur l'étang.

Le plan d'eau de Chavannes sur l'étang présente une diversité spécifique de 9 taxons confirmés. En effet, le groupe « Ablette et Rotengle » concerne des espèces déjà déterminée individuellement. Le peuplement du plan d'eau est donc moyennement diversifié par rapport aux autres plans d'eau de l'étude (moyenne 13,6).

Les taxons les plus représentés au sein du plan d'eau en termes de nombres de séquences sont :

- *Pseudorasbora parva* (ou « goujon asiatique »), qui domine fortement les proportions à près de 50% ;
- Le Gardon (22,5%) ;
- Le Poisson chat (9,4%) ;
- La Perche soleil (8,1%) ;
- La Carpe commune et le Carrassin argenté (3,5% chacun).

L'Ablette, le Rotengle et la Tanche sont minoritaires en termes de proportions de séquence ADNe (<1%).

Des disparités importantes en termes de proportions d'espèces existent donc avec la forte dominance du goujon asiatique. Le peuplement du plan d'eau est intégralement caractérisé par des espèces ubiquiste et typique de milieux stagnant (carpe, gardon, rotengle, perche soleil, carassin, etc.).

❖ Espèces patrimoniales

Aucune espèce patrimoniale n'a été détectées.

❖ Espèces exotiques

Dans le cas du plan d'eau de Chavannes, c'est 5 espèces exotiques qui sont recensées (soit la moitié). Il s'agit de : la Perche soleil, de la Carpe, du *Pseudorasbora*, du Poisson-chat et du carassin argenté. Pamis elles, 3 espèces sont qualifiées d'espèces exotiques envahissantes susceptibles de causer des déséquilibres biologiques :

- Le poissons-chat ;
- La perche soleil ;
- Le *Pseudorasbora*, particulièrement dominant sur la Gruebaine et dans les plans d'eau.

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). Sa présence, en effectif important dans la Gruebaine et en proportion de séquence ADNe au sein du plan d'eau est alarmante.

❖ Comparatifs avec les inventaires piscicoles de la Gruebaine

En 2021, deux pêches électriques ont été réalisées sur le cours de la Gruebaine dans le cadre d'une convention partenariale avec le CEN Alsace. Ces inventaires piscicoles ont ainsi mis en évidence des peuplements perturbés sur la Gruebaine, riches en espèces exotiques et déterminés par les nombreux étangs alentours (peuplements à dominance limnophile dans le cours d'eau).

Figure 160 : Illustration de la station d'inventaire piscicole située en amont et des espèces majoritairement échantillonnées (Pseudorasbora en haut et perche soleil en bas à droite).

Ces inventaires mettent en exergue un impact particulièrement structurant des étangs sur les populations piscicoles au sein de ce cours d'eau intermittent. En effet, les résultats mettent en évidence :

- Sur la station située 200m en amont du plan d'eau : 5 espèces différentes sont dénombrées (gardon, goujon, poisson-chat, perche soleil, goujon asiatique et rotengle). Le peuplement est dominé par le gardon, la perche soleil et le goujon

asiatique (environ 30% chacun). L'IPR est mauvais et l'indice pathologique présente un peuplement dégradé.
- Sur la station située environ 2,5km en amont : seules 2 espèces sont observées (le rotengle et le goujon asiatique qui domine le peuplement à 84%).

Le peuplement piscicole de la Gruebaine est très éloigné du peuplement théorique attendu pour un cours d'eau de la biotypologie de la Gruebaine. Cette divergence peut s'expliquer par l'hydrologie et la morphologie globale du cours d'eau (cours d'eau intermittent et aux amplitudes fortes entre étiage et crues) mais surtout par **l'impact structurant des nombreux plans d'eau du secteur, induisant un réchauffement des eaux, l'introduction d'espèces exotiques envahissantes et d'espèces limnophiles ou encore un potentiel colmatage.**

Toutefois, même s'ils semblent inquiétants, il serait plus prudent de prendre un certain recul vis-à-vis des résultats obtenus. En effet, la Gruebaine est un cours d'eau de seconde catégorie piscicole et est intégralement conditionné par sa confluence avec le canal du Rhône au Rhin et par les plans d'eau à proximité. De par sa nature elle ne semble donc pas ou peu propice à un accueillir un potentiel piscicole important.

Enfin, au sein de ce peuplement piscicole, il apparait nécessaire de rester attentif au développement et à la répartition des espèces exotiques envahissantes capturées pour limiter au mieux les conséquences biologiques liées à leur présence.

❖ Résultats de l'approche multi-spécifique sur les amphibiens

Trois espèces ont été détectées sur les rives du plan d'eau de Chavannes. Il s'agit de :
- *Bufo sp.* ou le crapeau commun ;
- *Rana temporaria* ou la grenouille rousse ;
- *Pelophylax – Complexe 2* ou « les grenouilles vertes (Lessona, berger et verte).

g) Volet invertébré

c)

a)

	Amont Chavannes		Aval Chavannes	
Nombre de taxons :	12		12	
Classe de variété :	4		4	
Groupe Faunistique Indicateur (/9) :	7		2	
Taxon Indicateur :	*Leptophlebiidae*		*MOLLUSQUES*	
Equivalent I.B.G.N. / 20 :	**10**		**5**	
Taille du cours d'eau /HER /EQR	MP18	0,60	MP18	0,27
Qualité biologique *IBG-DCE	**Moyen**		**Mauvais**	
EQR I2M2	0.0717		0.0177	
Qualité biologique *I2M2	**Mauvais**		**Mauvais**	

** suivant l'arrêté du 28 juillet 2018*

b)

Indices complémentaires	Amont Chavannes		Aval Chavannes	
Robustesse (/20) :	5		4	
Equitabilité (max. 1) :	0,55		0,46	
Indice de Shannon : Diversité	2,16		1,85	
Diversité maximale	3,91		4,00	
Taxons dominants	*OLIGOCHETES*	44,08%	*OLIGOCHETES*	42,93%
	Gammaridae	28,47%	*Chironomidae*	30,22%
EPT (nb à la famille/%)	2	1,20%	1	0,02%
EPT (diversité au genre)	2		1	
Densité (ind/m²)	972		8642	

Figure161 : Résultats généraux du volet invertébré sur la Gruebaine à Chavannes sur l'étang (a), résultats complémentaires (b) et illustrations des groupes indicateurs (c).

❖ Analyse station amont

La station de la Gruebaine à l'amont du plan d'eau de Chavannes obtient une note de 10/20 au regard de l'IBGN, un EQR de 0,60 au regard de l'IBG-DCE et un EQR de 0,0717 au regard de l'I2M2. La qualité biologique du cours d'eau est donc qualifiée de mauvaise. Le groupe indicateur (G.I.) est représenté par les *Leptophlebiidae*, des Ephémères polluosensibles (GI 7/9) préférant les zones préservées. Au regard des nombreuses pressions, perturbations et à la mauvaise qualité biologique, il est particulièrement intéressant d'observer cette espèce à l'amont. Ce fait peut mettre en lumière un certain potentiel de résilience pour ce cours d'eau. La diversité est très faible avec 12 taxons différents. La robustesse est mauvaise puisque que la note perd 5 points après la suppression du groupe indicateur. Le taxon indicateur de robustesse est la famille des Gammaridés (des Crustacées peu polluosensibles).

Les taxons les plus polluosensibles (Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères) sont peu représentés. En effet, ils représentent en termes de proportion 1,2% du peuplement avec uniquement 2 espèces.
Les *Oligochètes* sont le taxon dominant (31,6%), ce sont des vers aquatiques.
Les crustacés *Gammaridae* sont également très représentés (28,47%) suivi par les *Asselidae*, des crustacés appréciant une forte charge en matière organique (14,07%).
On note également la présence d'Odonates dans la Gruebaine avec le genre *Aeshna.*
Le genre *Sialis* est également retrouvé dans les échantillons, c'est un mégaloptère prédateur de grande taille, particulièrement adapté aux zones à forte charge en matière organique et peu polluosensible.

Les insectes représentent 12% du peuplement et parmi eux les Diptères sont majoritaires (85%).

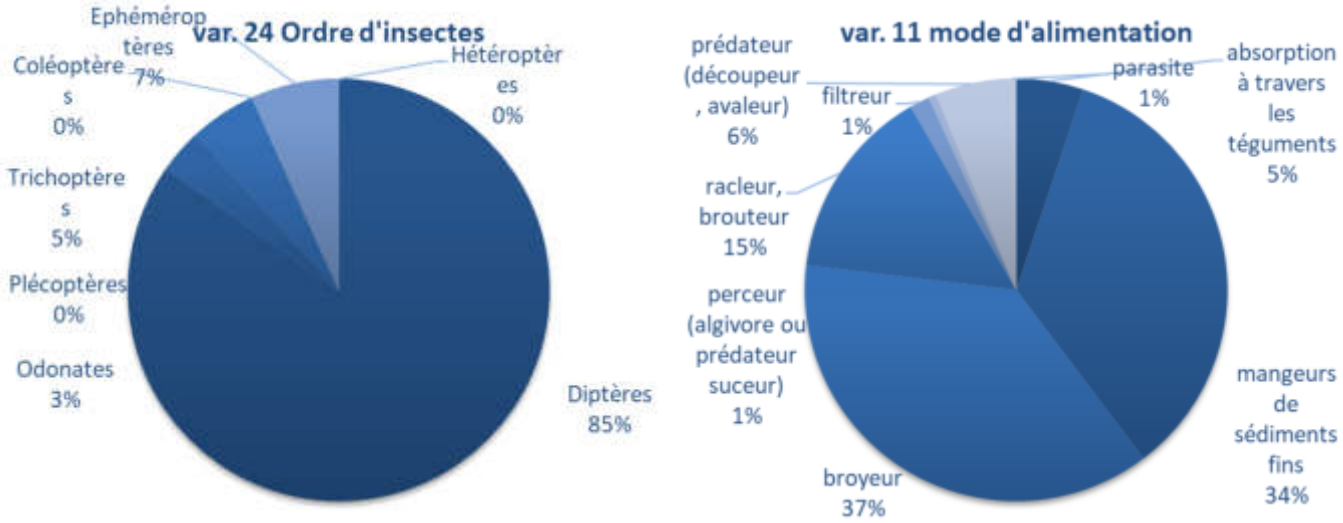


Figure 162: diagramme des proportions des variables 24 (ordres d'insectes) et 11 (modes d'alimentation).

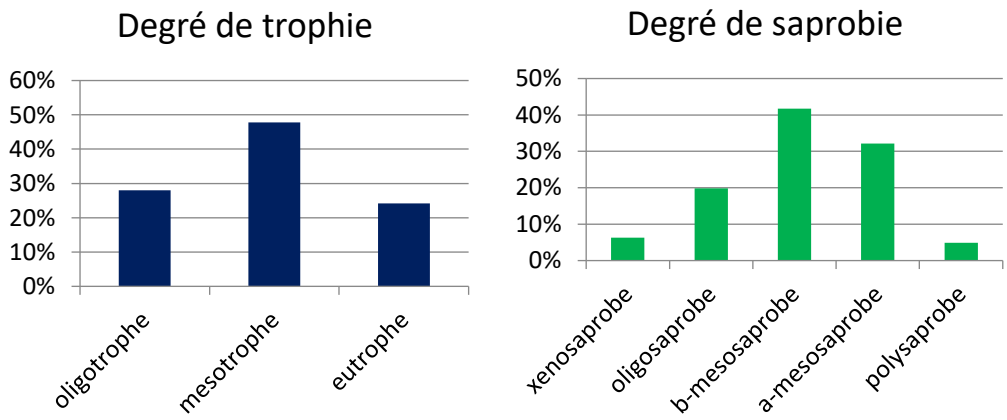
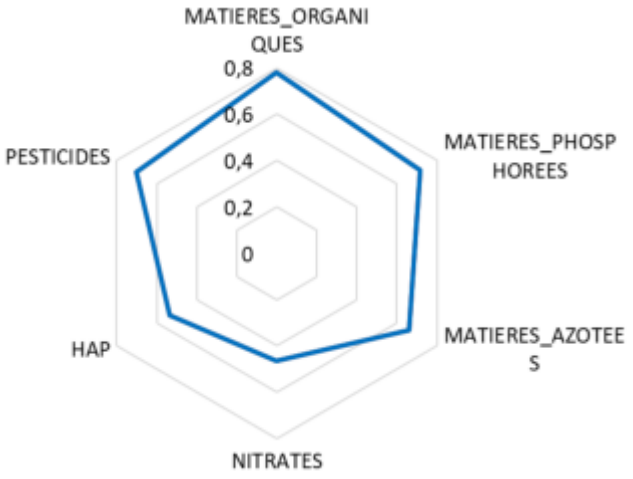


Figure 163: histogramme des degrés de trophie et de saprobie (amont Chavannes).

Les graphiques indiquent une station à dominance mesotrophe plutôt b-mésosaprobe ce qui met en évidence une charge en nutriment et en matière organique dans le cours d'eau.
Les broyeurs et les mangeurs de sédiments fins sont les plus nombreux. Ces deux catégories représentent 71% de la répartition trophique. Si l'importante proportion de broyeur met en exergue un milieu plutôt de type petit cours d'eau forestier, la grande proportion de mangeurs

de sédiment fins n'est pas attendue pour ce type de typologie. Cette observation met en évidence la probable dominance de sédiment très fins dans le lit de la Gruebaine (sable, limon ou vase) concentrant la majeure partie des ressources utilisées.



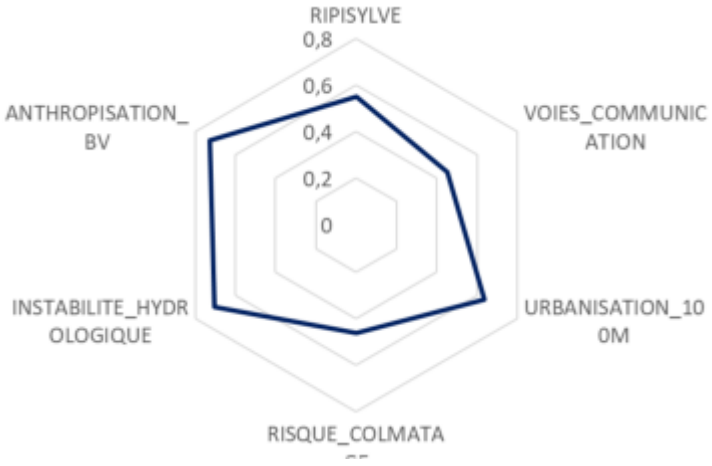


Figure164 : Résultats de l'outil de diagnostic ODInvertebres sur la station amont Chavannes.

L'outil de diagnostic « ODInvertebres » permets de mettre en évidence des probabilités associées à chaque type d'altération (6 pour la qualité physico-chimique de l'eau : matières organiques, matières phosphorées, matières azotées (hors nitrates), nitrates, HAP, pesticides et 6 relatives à l'hydromorphologie ou à l'utilisation de l'espace dans le bassin versant : ripisylve, voies de communication, urbanisation, colmatage, instabilité hydrologique, anthropisation du bassin versant).
Dans le cas de la station située en amont du plan d'eau, les pressions sont multiples, particulièrement marquées et concernent principalement :

- Les matières organiques ;
- Les pesticides ;
- Les matières azotées ;
- Les matières phosphorées ;
- Les HAP et les Nitrates dans une moindre mesure ;
- L'anthropisation du bassin versant (bassin versant peu habité en réalité, ce qui met en avant des pressions fortes pour un bassin peu densément peuplé) ;
- Des problématiques concernant la ripisylve ;
- Des effets d'une instabilité hydrologique forte. C'est en effet, une observation connue et documentée sur ce cours d'eau.

❖ Analyse station aval

La station de la Gruebaine à l'aval du plan d'eau de Chavannes obtient une note de 5/20 au regard de l'IBGN, un EQR de 0,27 au regard de l'IBG-DCE et un EQR de 0,017 au regard de l'I2M2.
La qualité biologique de cours d'eau est donc qualifiée de mauvaise vis-à-vis de l'I2M2. Les EQR et les indices sont particulièrement mauvais sur cette station.
Le groupe indicateur (G.I.) est, de fait, très faible (peu pollusensible) et est représenté par les *Mollusques*, (GI 2/9) avec notamment les genres *Pisidium* et *Sphaerium* (des bivalves filtreurs) ainsi que *Radix* et *Physella* (des gastéropodes).
La diversité est la même qu'en amont mais certains taxons ont disparu (les Odonates, les Ephémères) au profit de Coléoptères et d'autres genres plus ubiquistes (notamment des Mollusques).

Les peuplements sont moyennement équilibrés (0,42). La robustesse est de 4/20 (soit une perte d'un point) avec le taxon indicateur de robustesse des *Chironomidae* (GI 1/9), une famille de Diptères peu sensible et très commune (des « moucherons »).
Les taxons les plus polluosensibles (Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères) sont représentés par un seul genre de Coléoptère (*Dryops*) et un seul genre de Tricoptère (*Limnephilidae*) pour 0,02% du peuplement. En termes de proportion, les Oligochètes (42,9%) et les *Chironomidae* (30,2%) dominent largement le peuplement. Les diptères représentent plus de 99,9% des insectes présent. En effet seul 1 coléoptère et 1 tricoptère sont comptés.

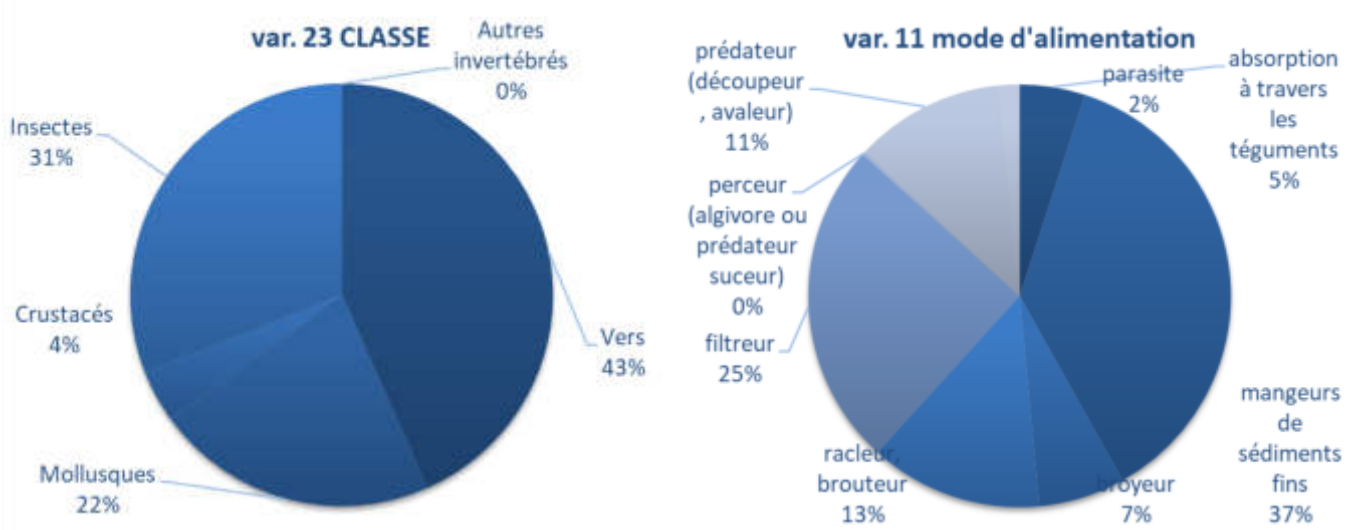


Figure165 : diagramme des proportions des variables 23 (classes) et 11 (modes d'alimentation).

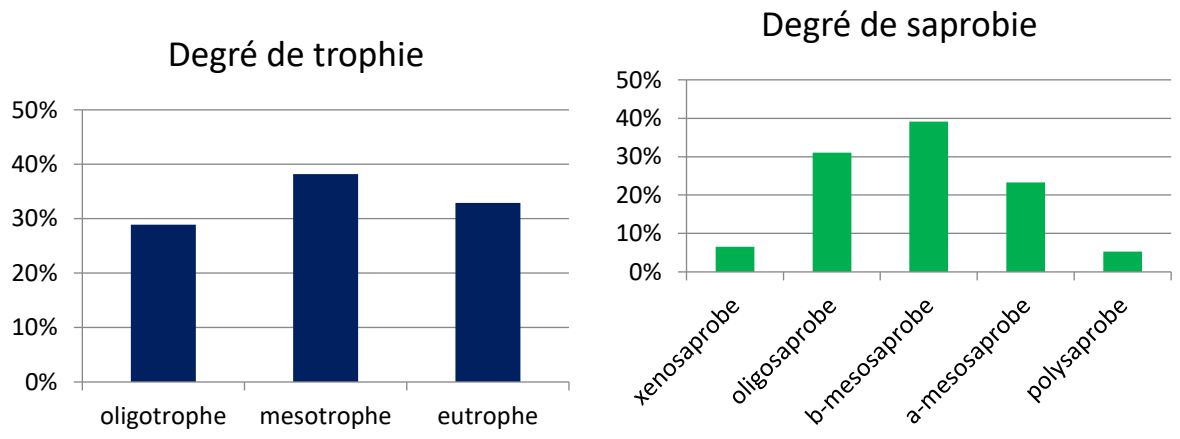
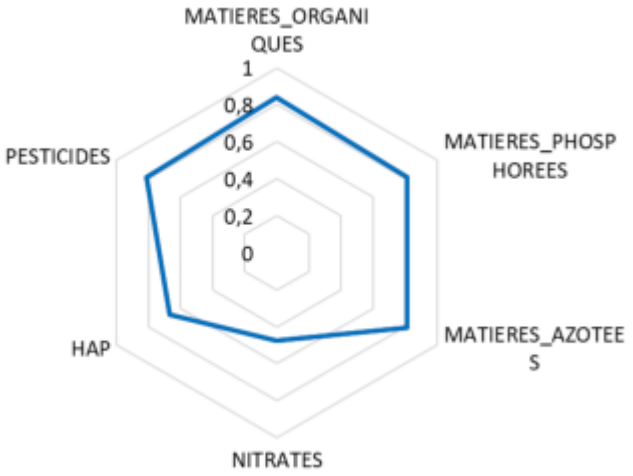


Figure 166 : histogramme des degrés de trophie et de saprobie en (aval Chavannes).

Les graphiques indiquent un milieu mesotrophe à eutrophe et des communautés plutôt b-mésosaprobe ce qui met en évidence une charge en nutriment et en matière organique forte le cours d'eau. L'étang semble ici présenter un impact notable en termes d'eutrophisation à l'aval.

Les filtreurs et les mangeurs de sédiments fins sont les plus représentés. Ces deux catégories représentent 62% de la répartition trophique. Cette grande proportion de taxons filtreurs par rapport à l'amont témoigne d'un effet notable de l'étang dans un changement des communautés et des relations trophiques du cours d'eau.



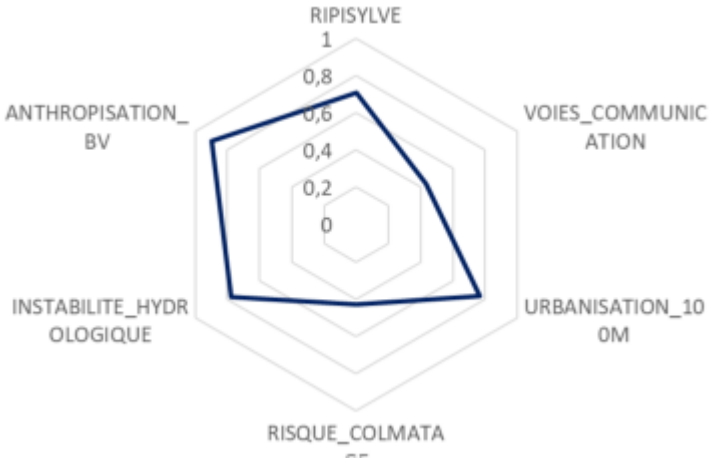


Figure 167: Résultats de l'outil de diagnostic ODInvertebres sur la station aval Chavannes.

L'outil de diagnostic « ODInvertebres » permets de mettre en évidence des typologies de pression similaire à l'amont avec :

- Les matières organiques ;
- Les pesticides ;
- Les matières azotées ;
- Les matières phosphorées ;
- Les HAP dans une moindre mesure ;
- L'anthropisation du bassin versant ;
- La ripisylve ;
- Des effets d'une instabilité hydrologique.

Néanmoins on note que les indices des pressions « matières organiques », « pesticides » et « matières phosphorées » sont légèrement moins important qu'à l'amont.

❖ Analyse globale

La comparaison entre les résultats obtenus à l'amont et à l'aval du plan d'eau de Chavannes, permet de mettre en évidence plusieurs points :

➔ Si aucune différence n'est observée au niveau des classes de qualités (mauvaise dans les deux cas), d'importantes divergences sont observées à l'échelle des indices produits avec une disparition de certains groupes plus polluosensibles en aval ;
➔ Les peuplements sont globalement très altérés dès l'amont. Le cours d'eau est très perturbé et appauvri ;
➔ Un grand nombre de pressions diverses sont recensées mettant en avant une fragilité forte de la Gruebaine (pesticides, nitrates, phosphates, matières organiques et instabilité hydrologique notamment) ;
➔ Un effet de l'étang quant à l'eutrophisation du milieu en aval et l'altération des peuplements d'invertébrés (mais qui sont déjà très impactées dès l'amont).

h) Volet astacicole

Plusieurs campagnes de piégeage à l'aide de 4 nasses réparties sur le plan d'eau ont été réalisées. Mais aucune écrevisse n'a été capturé durant le suivi.

Ce qu'il faut retenir : Chavannes sur l'étang

Approche physique

- **La Gruebaine est caractérisée par une importante instabilité hydrologique** avec des étiages et des assecs sévères en été et des périodes de crues majeures, en relation avec la pluviométrie ;
- **Les flux d'eau en aval sont intégralement conditionnés par la hauteur d'eau de l'étang en amont** ;
- **Le plan d'eau présente un impact thermique fort sur la Gruebaine** (+5°C en période estivale) ;
- Le plan d'eau est caractérisé par une **forte densité d'habitats aquatique et rivulaire** (iles, hauts fond, herbiers, bois morts, etc.) particulièrement intéressants ;
- L'étang est très peu profond et ne présente pas de stratification thermique marquée ;
- De nombreux paramètres sont très problématiques en termes de **physico-chimie** comme les nitrites, les nitrates, l'ammonium et les phosphates dans la Gruebaine (et ce dès la station amont) mais aussi dans le plan d'eau ;
- **Des pics de concentrations critiques en nutriment sont mis en évidence** au long de l'étude et sur toutes les stations selon les paramètres étudiées ;
- Le rapport de Redfield met en évidence la nécessité d'agir sur les **nitrates** (facteur limitant) ;

Approche biologique

- Le volet ADNe a mis en évidence **9 espèces de poissons dans le plan d'eau de Chavannes** dont aucune espèce patrimoniale et 3 **espèces exotiques envahissantes en grande proportion**. Les enjeux piscicoles sont limités ;
- **Les étangs et la Gruebaine sont en inter-relation étroites en termes de population piscicole**. Les peuplements sont caractérisés par des proportions très importantes en espèces exotiques envahissantes, fait particulièrement alarmant ;
- Trois espèces d'amphibiens sont identifiées sur les berges ;
- L'étude des invertébrés a mis en évidence des **peuplements particulièrement altérés et ce dès l'amont**. Mais des différences sont aussi identifiées entre l'amont et l'aval au niveau des indices avec une perte de polluosensibilité, une eutrophisation et une altération des communautés.
- Les outils de diagnostics liés à l'étude des invertébrés mettent en lumière un **grand nombre de pressions.** La Gruebaine est particulièrement touchée par : les pesticides, les nutriments, l'eutrophisation, l'instabilité hydrologique et la charge en matière organique dès l'amont ;

Perspectives

- **Des pressions multiples et importantes sont identifiées dès l'amont du plan d'eau** de Chavannes. Mettant en avant la nécessité d'agir sur la qualité biologique, la morphologique et la physico-chimie de la Gruebaine qui est particulièrement altérée ;
- Des impacts diversifiés du plan d'eau sont identifiés et leur qualification et quantification devrait permettre de proposer des préconisations de gestion ou d'aménagement adaptées notamment au niveau de l'impact :
  - Thermique ;
  - Physico-chimique (eutrophisation) ;
  - L'altération des peuplement (poissons et invertébrés).
- Des perspectives d'émergence de projets de restauration devraient être engagées par l'EPAGE (à travers la sensibilisation des propriétaires).

3. Les sites de Montreux-Vieux

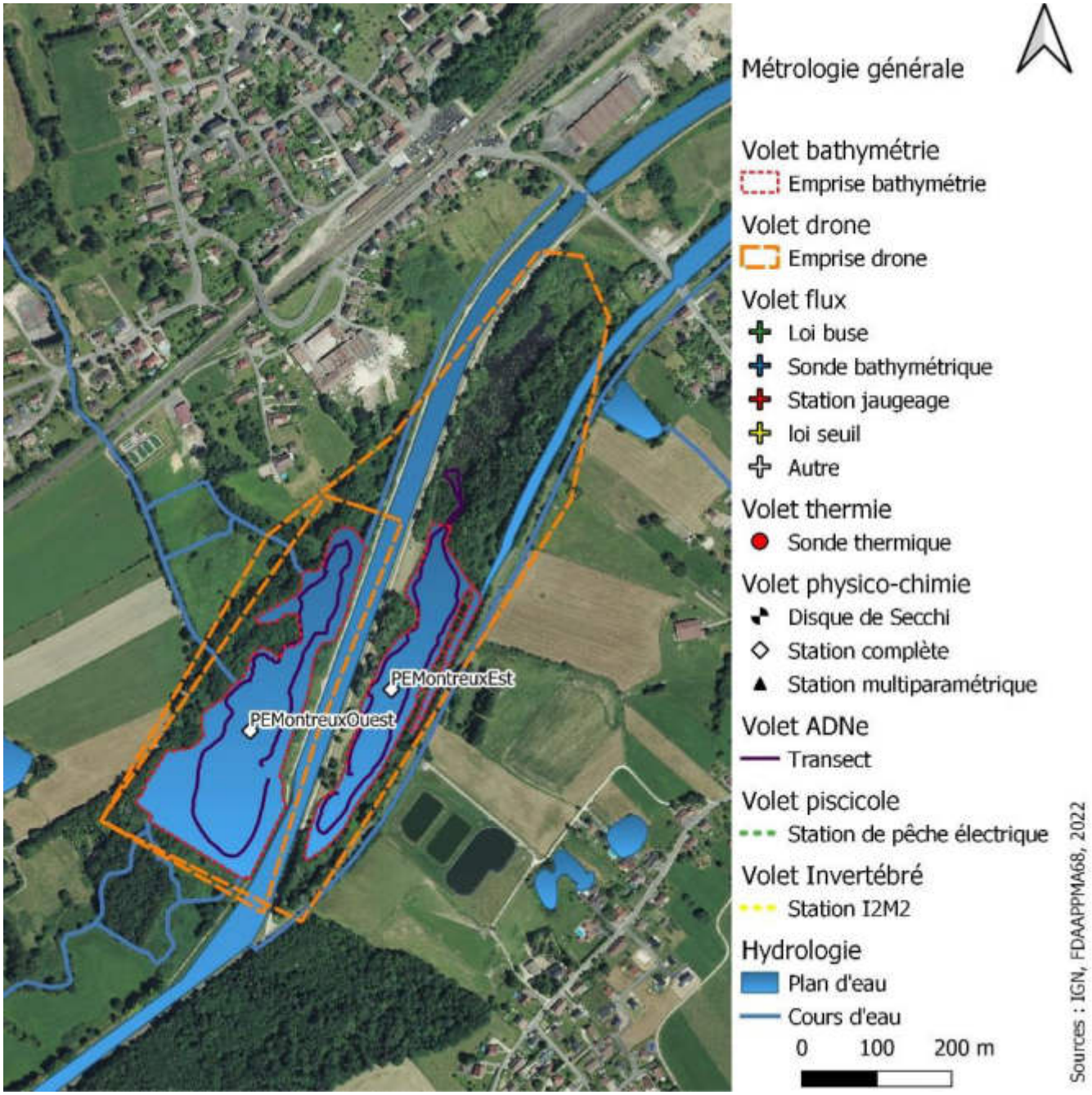
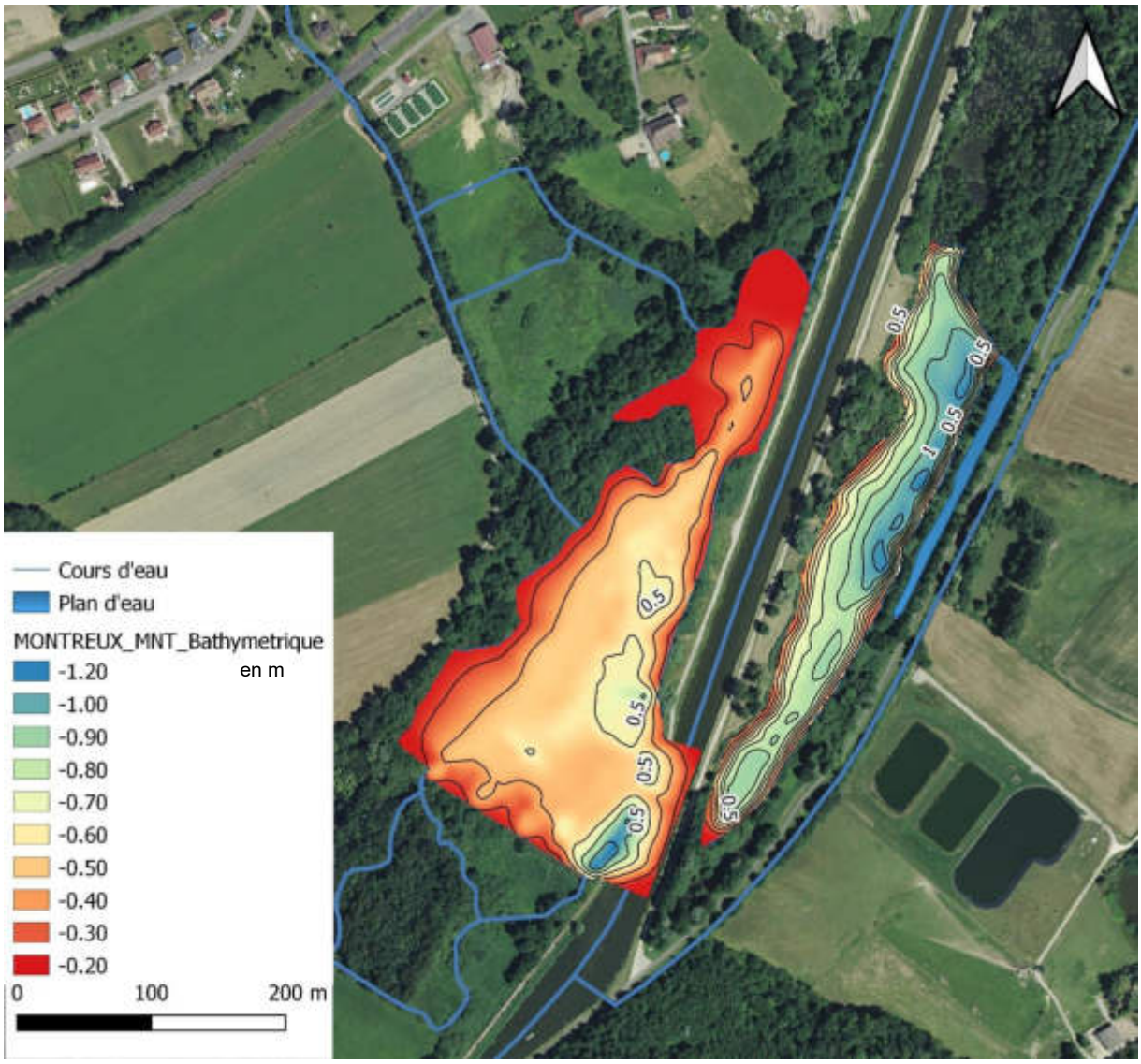
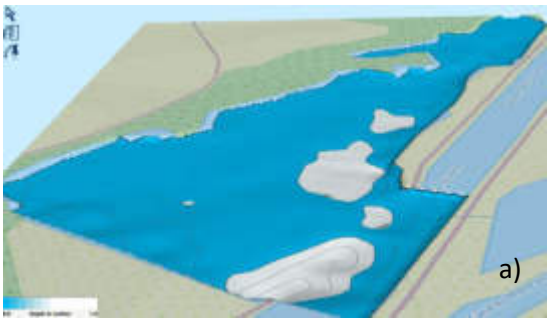
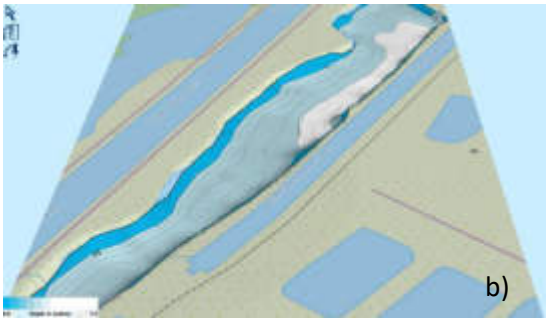


Figure 168 : Cartographie schématique de la métrologie déployée sur les sites de Montreux-Vieux et noms des stations.

a) Volet bathymétrie







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

Figure169 : 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.).

Les relevés bathymétriques ont été réalisés le 18/11/21 dans des conditions hydrologiques stables. Le terrain a été réalisé plus tard dans la saison pour éviter la gêne en navigation lié au développement végétal important dans ces secteurs.

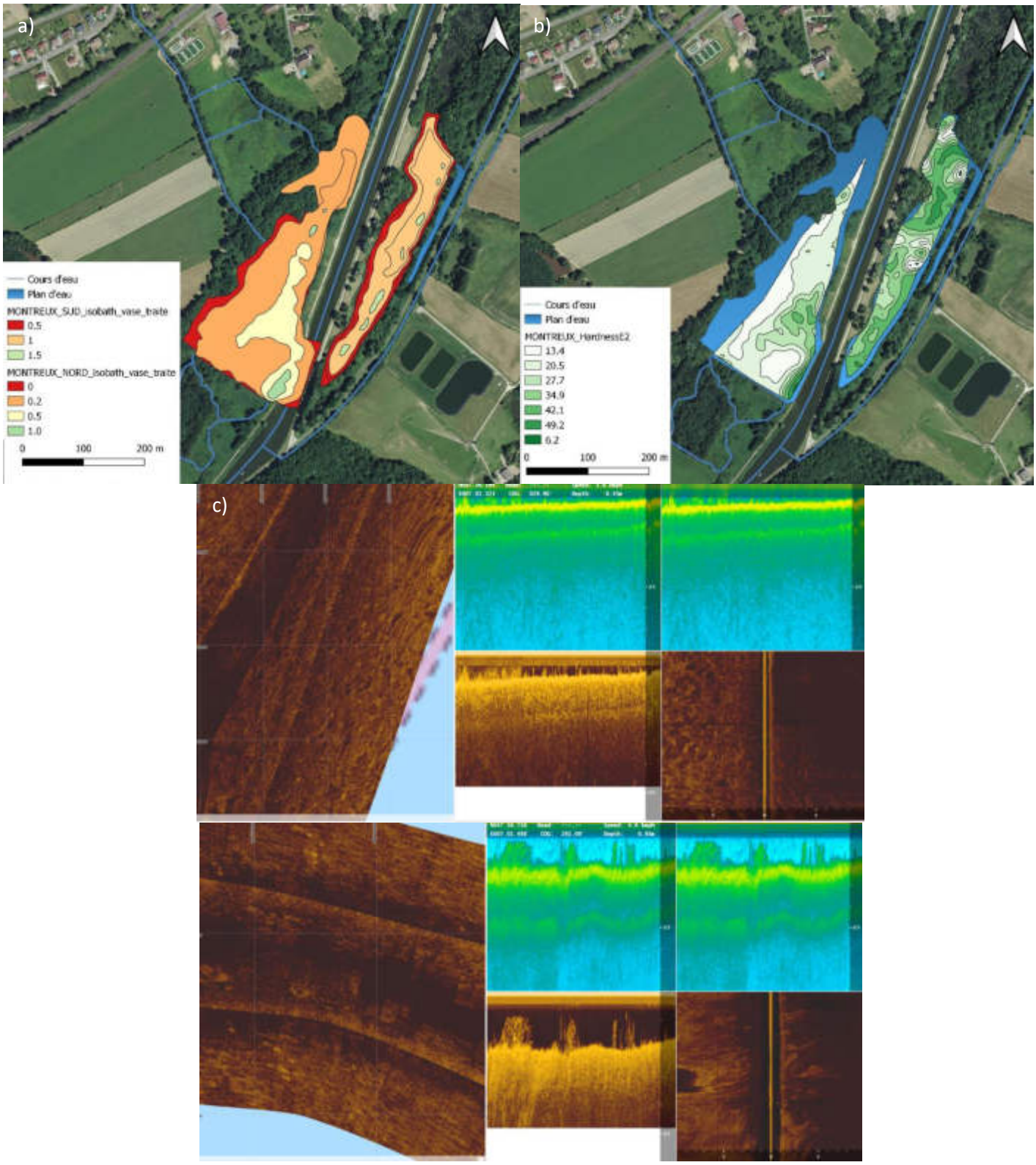


Figure170 : Carte de la profondeur de vase en m (a), de la nature des fonds en termes de dureté (b) et de la nature des fonds en termes d'habitats (c avec « Montreux Ouest » en haut et » Montreux Est » en bas).

L'étang de Montreux Ouest 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 de Montreux Est 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 (fortement végétalisé et en « réserve de pêche ») n'a pas été inventorié à cause d'un manque d'accessibilité avec le matériel utilisé.
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. L'observation d'importants bancs de poissons ainsi que quelques grands individus plus isolés a été permise au plus proches des structures sous-marines notamment au Nord-Est de la pièce d'eau (validant ainsi l'attraits de la faune pour ces structures).

A titre de comparaison, le volume de sédiment est près de 2 fois plus important sur le plan d'eau Ouest que le plan d'eau Est pour un volume d'eau proche.

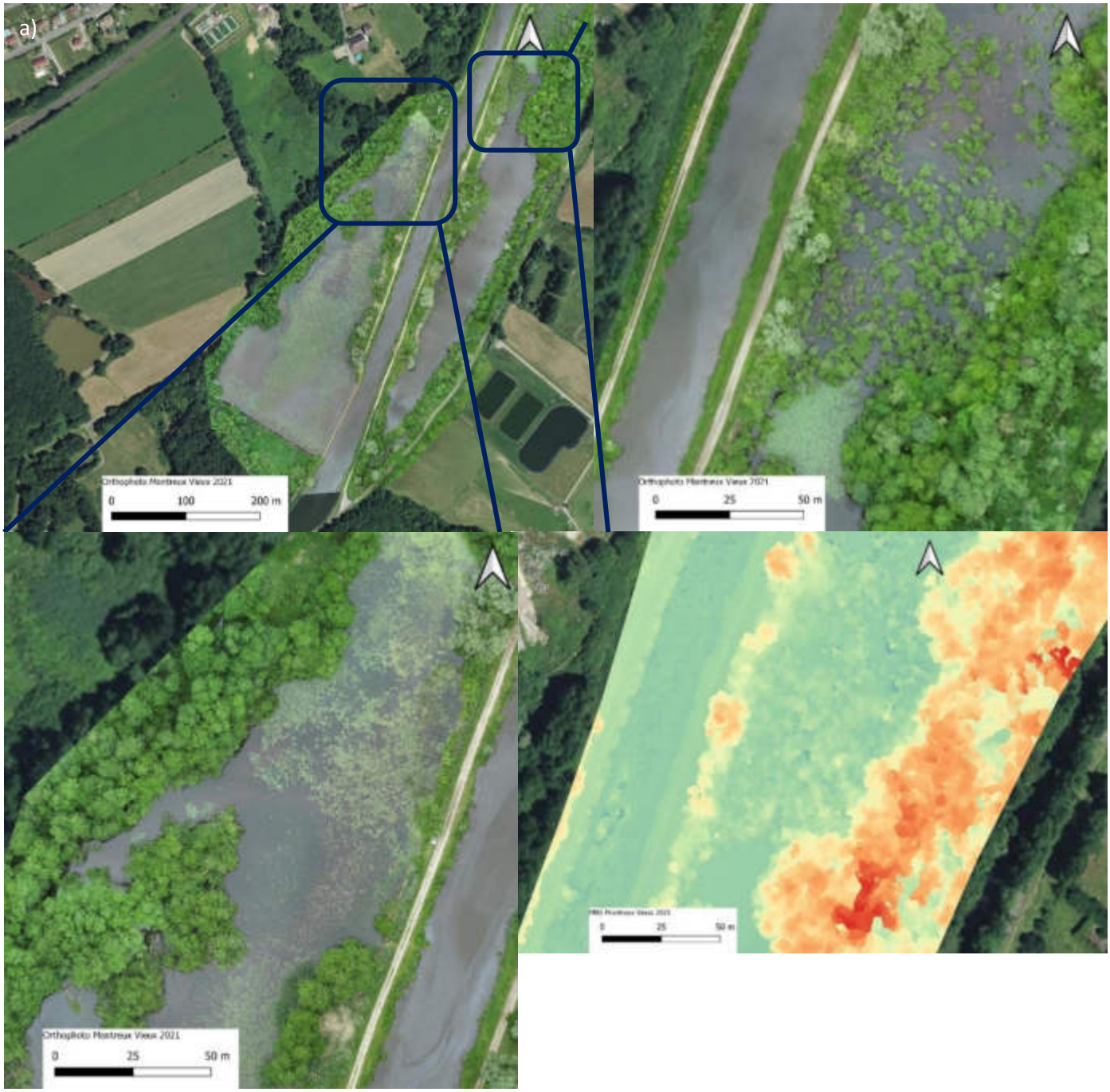


Figure 171 : Orthophotographie de précision (a) et Modèle Numérique de Terrain (b) des sites de Montreux-Vieux.

b) Volet physico-chimie

Lors du volet physico-chimie, c'est 12 mesures qui ont été réalisées d'avril 2021 à octobre 2021. 6 campagnes ont ainsi été réalisées de manière mensuelles sur 2 stations :

- Montreux Ouest (NMont) ;
- Montreux Est (SMont).

La connaissance de la qualité physico-chimique sous-tendant la biologie a été permise à travers plusieurs approches via :

- L'étude des concentrations moyennes (mesurées d'avril à octobre 2021) ;
- L'études des concentrations maximales (mettant en évidence des épisodes critiques ou des pics de concentrations) ;
- L'étude de la qualité physico-chimique du plan d'eau.

L'évaluation des classes de qualité de ces différents paramètres est réalisée à l'aide de « 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 tableaux complets sont consultables en annexes.

❖ Concentrations moyennes

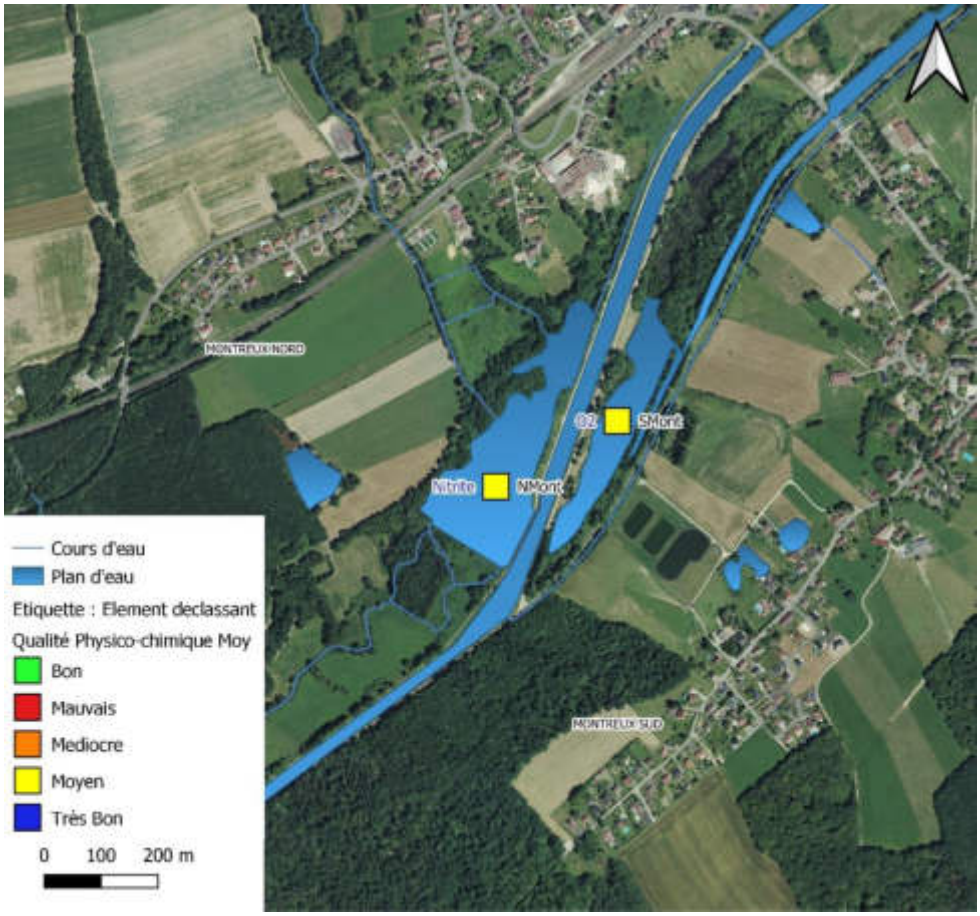


Figure 172 : Qualité physico-chimique sur la base des concentrations moyennes sur les sites de Montreux-Vieux et paramètres déclassants associés.

Globalement, la qualité physico-chimique sur la base des concentrations moyennes est moyenne sur les deux stations. Les concentrations en Oxygène mesurées à l'Est sont particulièrement faibles durant l'été ce qui fait passer la moyenne en dessous de 6mg/L. De plus la moyenne des concentrations en nitrite est élevée à l'Ouest avec 0,30mg/L.

❖ Concentrations maximales

Sur la base des concentration maximales, une importante différence est observée entre les deux sites. En effet, le site de Montreux Est est en bon état alors que plusieurs paramètres sont problématiques à l'Ouest comme :

- Les nitrites avec des concentrations maximales de 0,50mg/L notamment lors des campagnes du 30/08/21 et du 06/10/31 ;
- Le phosphate avec des concentrations maximales de 0,90mg/L notamment lors de la campagne du 02/06/21 ;
- L'ammonium avec des concentrations maximales de 1mg/L le 06/10/21.

Une différence de sensibilité aux nutriments est ainsi observée notamment lors de l'été entre le plan d'eau à l'Ouest et le plan d'eau à l'Est.

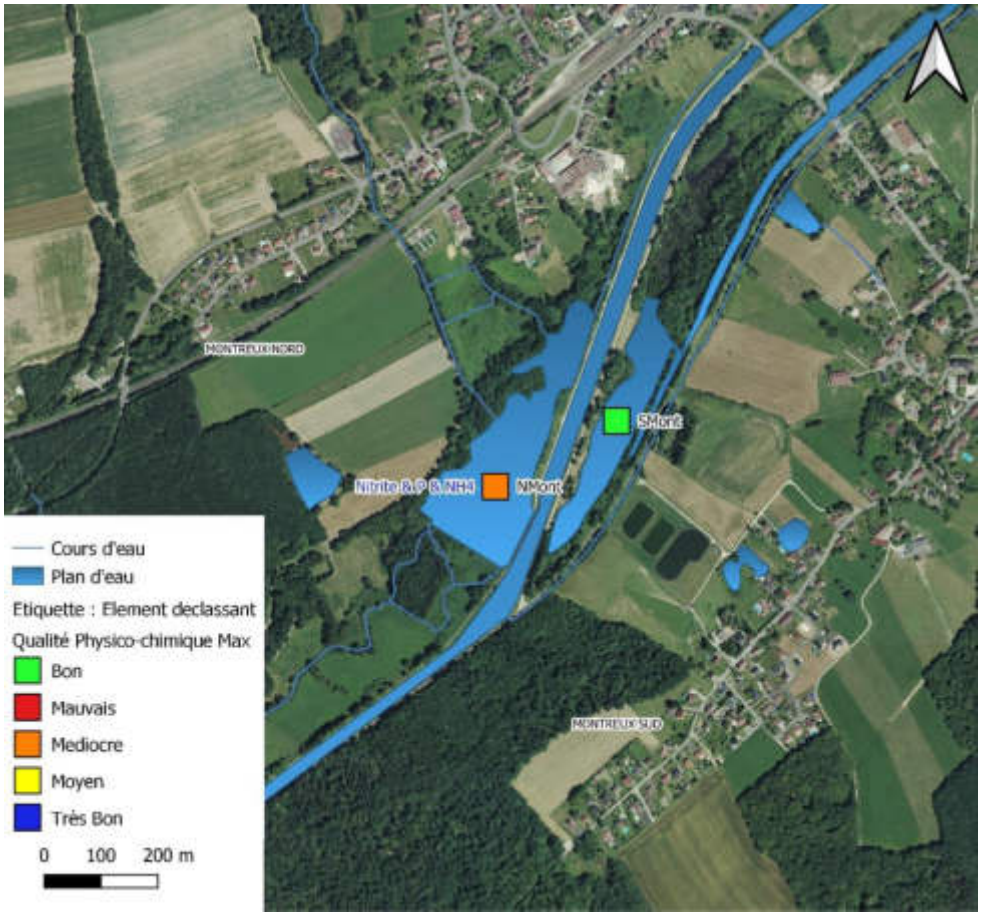


Figure 173 : Qualité physico-chimique sur la base des concentrations maximales sur les sites de Montreux-Vieux et paramètres déclassants associés.

❖ Qualité physico-chimique et état trophique du plan d'eau

L'analyse des eaux brutes des plan d'eau lors des différentes campagnes met en évidence une qualité physico-chimique mauvaise à médiocre selon les paramètres étudiés sur Montreux Ouest. Les paramètres les plus problématiques sont :

- Les concentrations d'ammonium (sur la base des concentrations maximale). Si on se base sur les concentration moyennes ce paramètre reste déclassant.
- Les concentrations de nitrates (sur la base des concentrations maximale). Si on se base sur les concentration moyennes ce paramètre reste déclassant (en limite du Bon/Moyen).

Tableau 18 : Résultats des analyses physico-chimiques sur eaux brutes des plans d'eau de Montreux-Vieux et valeurs seuils calculées pour les paramètres (phosphore, ammonium, transparence et nitrates) au regard de l'arrêté du 27 juillet 2018 (rubrique plan d'eau).

Paramètres physico-chimiques	Unité	Limite	Paramètres de calcul				Calcul		Valeurs	[a*Zmoy^b]	[c*(Zmoy+1)^d]
			a	b	c	d	Zmoy = profondeur moyenne (m)				
Phosphore total (médiane)	µg P.L-1	Très bon-Bon	44,174	-0,315	57,744	-0,324	minimum entre [**a***Zmoy^**b**] et [**c***(Zmoy+1)^**d**]		**52,13**	**60,42**	**52,13**
		Bon-Moyen	61,714	-0,31	95,841	-0,267			**83,99**	**83,99**	**88,10**
		Moyen-Médiocre	86,234	-0,306	159,92	-0,21			**116,90**	**116,90**	**149,67**
		Médiocre-Mauvais	120,63	-0,302	268,66	-0,153			**162,88**	**162,88**	**256,00**
Ammonium (valeur maximale)	µg NH4.L-1	Très bon-Bon	223,58	-0,248	199,25	-0,223			**185,71**	**286,10**	**185,71**
		Bon-Moyen	290,91	-0,245	283,69	-0,185			**267,60**	**371,15**	**267,60**
		Moyen-Médiocre	378,71	-0,241	404,53	-0,145			**386,44**	**481,25**	**386,44**
		Médiocre-Mauvais	494,03	-0,238	578,19	-0,106			**559,17**	**625,92**	**559,17**
Profondeur du disque de Secchi (médiane)	m	Très bon-Bon	1,1741	0,284	0,9989	0,277	maximum entre [**a***Zmoy^**b**] et [**c***(Zmoy+1)^**d**]		**1,09**	**0,89**	**1,09**
		Bon-Moyen	0,8703	0,279	0,6492	0,228			**0,70**	**0,66**	**0,70**
		Moyen-Médiocre	0,6447	0,275	0,4208	0,18			**0,49**	**0,49**	**0,45**
		Médiocre-Mauvais	0,4766	0,271	0,2722	0,131			**0,36**	**0,36**	**0,28**
							Zmoy < 15	Zmoy > 15			
Nitrates (valeur maximale)	µg NO3.L-1	Très bon-Bon					2200	1200			
		Bon-Moyen					5300	2600			
		Moyen-Médiocre					12600	5600			
		Médiocre-Mauvais					30100	12100			

Montreux Ouest	
Ammonium (valeur maximale)	1000
Nitrates (valeur maximale)	29000

Paramètres physico-chimiques	Unité	Limite	Paramètres de calcul				Calcul		Valeurs	[a*Zmoy^b]	[c*(Zmoy+1)^d]
			a	b	c	d	Zmoy = profondeur moyenne (m)				
Phosphore total (médiane)	µg P.L-1	Très bon-Bon	44,174	-0,315	57,744	-0,324	minimum entre [**a***Zmoy^**b**] et [**c***(Zmoy+1)^**d**]		**48,17**	**48,36**	**48,17**
		Bon-Moyen	61,714	-0,31	95,841	-0,267			**67,47**	**67,47**	**82,54**
		Moyen-Médiocre	86,234	-0,306	159,92	-0,21			**94,17**	**94,17**	**142,19**
		Médiocre-Mauvais	120,63	-0,302	268,66	-0,153			**131,58**	**131,58**	**246,61**
Ammonium (valeur maximale)	µg NH4.L-1	Très bon-Bon	223,58	-0,248	199,25	-0,223			**175,87**	**240,11**	**175,87**
		Bon-Moyen	290,91	-0,245	283,69	-0,185			**255,79**	**312,15**	**255,79**
		Moyen-Médiocre	378,71	-0,241	404,53	-0,145			**373,00**	**405,90**	**373,00**
		Médiocre-Mauvais	494,03	-0,238	578,19	-0,106			**529,04**	**529,04**	**544,89**
Profondeur du disque de Secchi (médiane)	m	Très bon-Bon	1,1741	0,284	0,9989	0,277	maximum entre [**a***Zmoy^**b**] et [**c***(Zmoy+1)^**d**]		**1,17**	**1,08**	**1,17**
		Bon-Moyen	0,8703	0,279	0,6492	0,228			**0,80**	**0,80**	**0,74**
		Moyen-Médiocre	0,6447	0,275	0,4208	0,18			**0,60**	**0,60**	**0,47**
		Médiocre-Mauvais	0,4766	0,271	0,2722	0,131			**0,44**	**0,44**	**0,29**
							Zmoy < 15	Zmoy > 15			
Nitrates (valeur maximale)	µg NO3.L-1	Très bon-Bon					2200	1200			
		Bon-Moyen					5300	2600			
		Moyen-Médiocre					12600	5600			
		Médiocre-Mauvais					30100	12100			

Montreux Est	
Ammonium (valeur maximale)	**300**
Nitrates (valeur maximale)	**7000**

Vis-à-vis de Montreux Est, les classes de concentrations sont meilleures mais restent malgré tout en état moyen pour les paramètres de l'ammonium et des nitrates (sur la base des concentration maximales).

❖ Paramètres physico-chimiques

Les concentrations en Oxygène sont relativement faibles, sur l'ensemble des stations (figure 174a). En effet, la moyenne de concentration toutes stations et valeurs confondues est de 5mg/L et elle n'excède que rarement 8mg/L. La concentration en O^2 est plus importantes en début de saison (avec le début du développement végétal) pour décroitre au cours de l'été. C'est particulièrement le cas sur Montreux-Ouest, dans le cadre d'un développement massif d'hydrophyte de surface, qui bloquent ainsi la lumière rapidement dans la colonne d'eau.

La conductivité est globalement moyenne et assez homogène au long du suivi (de 220 à 320 µS/cm). Elle est légèrement plus importante dans le plan d'eau Ouest à certains périodes.

Le pH est globalement proche de 7 au long du suivi et peu différent entre les stations (moyenne 7,63 à l'ouest et 7,77 à l'Est). Une baisse importante des valeurs est néanmoins observée dans les plans d'eau après le mois de juin.

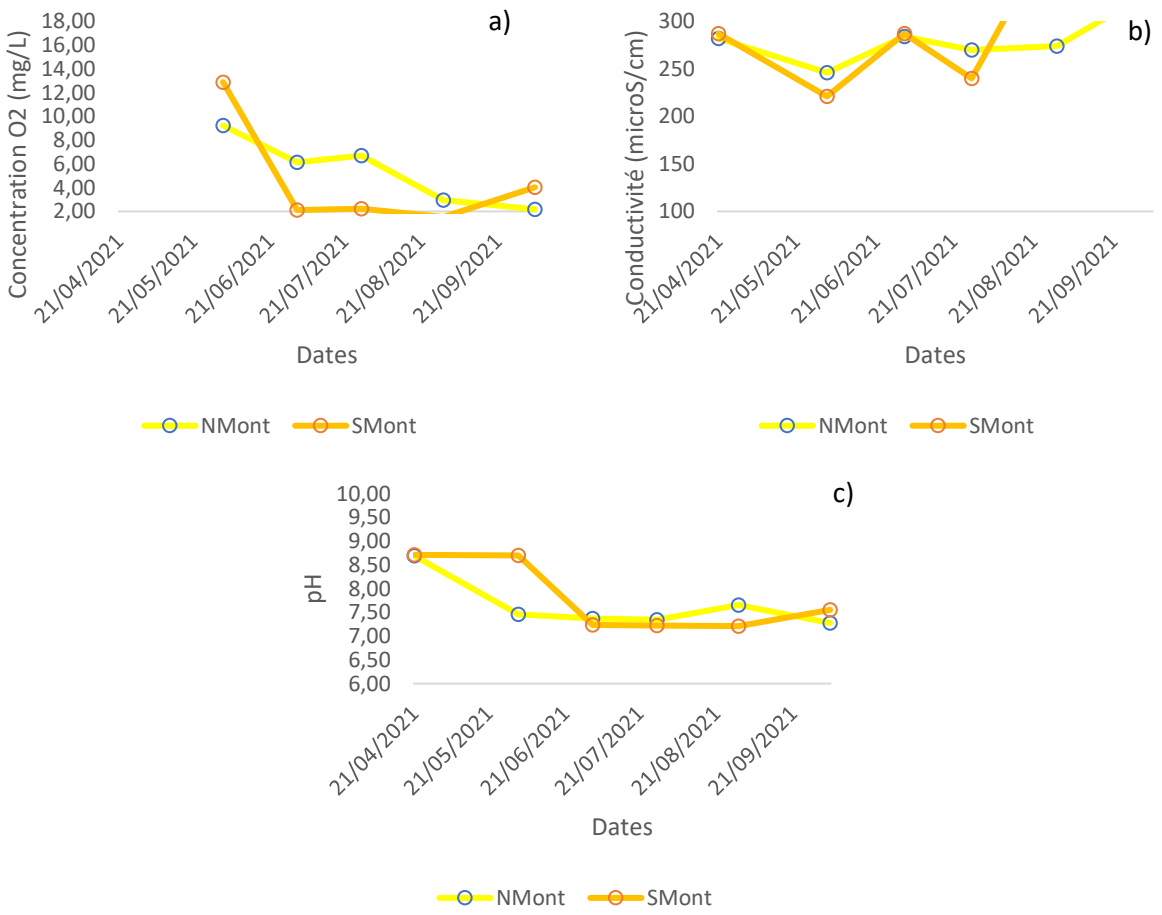


Figure174 : Evolution temporelle et spatiale de la concentration en oxygène (a), la conductivité (b) et le pH (c) sur les plans d'eau de Montreux Vieux (NMont pour Montreux-Ouest et SMont pour Montreux Est).

❖ Nutriments

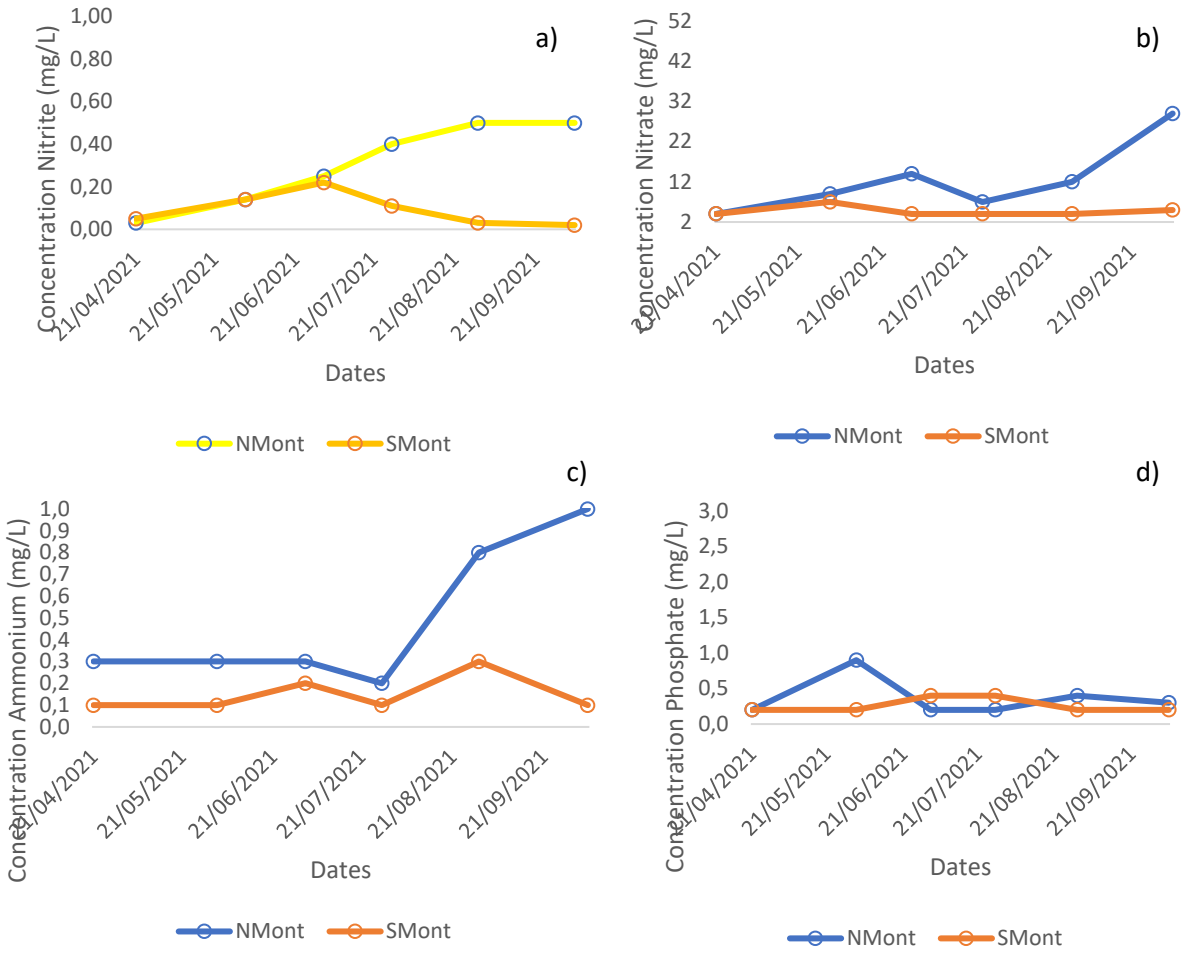


Figure 175 : Evolution temporelle et spatiale de la concentration en nitrite (a), en nitrate (b), en amonium (c) et en phosphate (d) sur les plans d'eau de Montreux Vieux (NMont pour Montreux-Ouest et SMont pour Montreux Est).

Tout comme les variables physico-chimiques classiques, les concentrations en nutriment sont relativement variables au cours du suivis sur le secteur étudié. On observe notamment d'importants pics de concentrations en matières azotées à partir de début juillet.

Pour les nitrites, les concentrations et les pics sont différents entre les deux sites :

- Une hausse des concentrations est observée sur les deux sites lors du 02/07/21 (0,25mg/L à l'Ouest et 0,22mg/L à l'Est) ;
- Mais une augmentation croissante de juillet à la fin d'été est observée sur le site de Montreux-Ouest.

Pour les nitrates les concentrations et les pics sont également différent entre les deux sites :

- Sur Montreux-Est, les concentrations en nitrates restent faibles et stables ;
- Sur Montreux-Ouest, des hausses de concentration sont observées le 02/07/21 et en fin de saison le 06/10/21 (avec 29mg/L).

Pour l'ammonium :

- Sur Montreux-Est, les concentrations en ammonium restent faibles et stables (hormis le 30/08/21 avec 0,3mg/L) ;
- Sur Montreux-Ouest, des hausses de concentrations massives sont observées à partir d'aout jusqu'à la fin de saison avec 0,8mg/L le 30/08/21 et 1mg/L le 06/10/21. Ces

concentrations extrêmes en ammonium sont vraisemblablement la résultante de la dégradation d'une quantité importante de matière organique d'origine végétale. On peut retrouver en effet à la fin de l'été une biomasse végétale importante (châtaigne d'eau notamment) qui tend ensuite à se dégrader sur le fond du plan d'eau.

Le site de Montreux-Ouest étant directement en relation avec les eaux du canal Rhône-Rhin, on peut estimer que la qualité physico-chimique du plan d'eau reflète celle du canal attenant.

Si ce secteur est moins touché par les altérations physico-chimiques notamment en termes de nutriment que les autres plans d'eau de l'étude, il n'en reste pas moins impacté (notamment le site de Montreux-Ouest dit du « réservoir »).

❖ Le rapport N/P

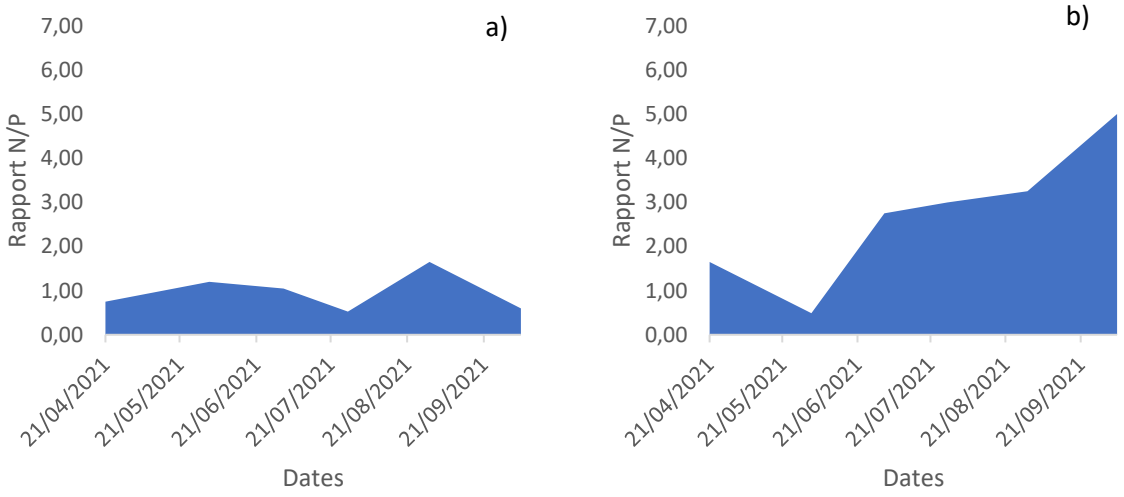


Figure 176 : Rapport azote minéral / orthophosphate dans la couche euphotique (moyenne des concentrations) dans le plan d'eau de Montreux Ouest (a) et Montreux Est (b) en 2021.

La valeur du rapport entre l'azote et le phosphore (ratio N/P ou rapport de Redfield) permets de distinguer l'élément nutritif limitant (Redfield, 1985). Le rapport moyen optimal pour la croissance de la plupart des espèces de phytoplancton est de 7/1. Ainsi, lorsque le rapport est supérieur à 7, cela signifie que le phosphore est le principal facteur limitant. A l'inverse si le rapport est inférieur à 7, ce sont les nitrates qui seront le facteur limitant la croissance des algues. Le rapport est réalisé entre la somme de l'azote minéral (NH4+ et NO3- notamment) et les orthophosphates (PO4 3-).

Dans le cas des plans d'eau de Montreux-Vieux, le rapport de Redfield est toujours inférieur à 7 lors de l'étude. Si des variations apparaissent (comme en fin de saison sur Montreux-Est), c'est donc toujours l'azote qui est le facteur limitant. Grâce à ce calcul il est possible de déterminer sur lequel des deux nutriments principaux il vaut mieux axer des efforts pour lutter contre l'eutrophisation (dans ce cas, les nitrites et les nitrates).

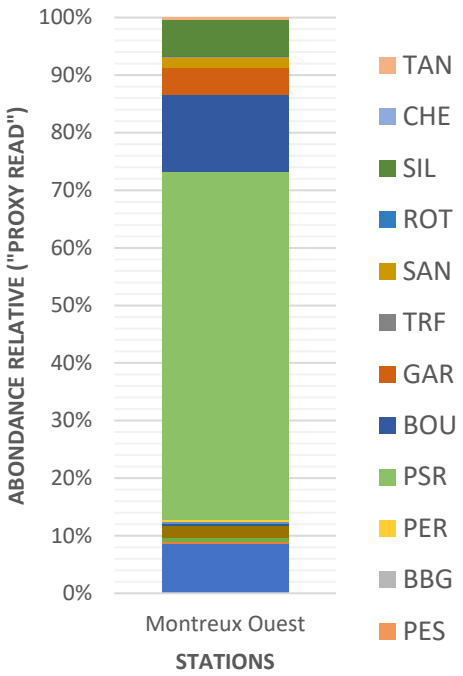
c) Volet ADNe et piscicole

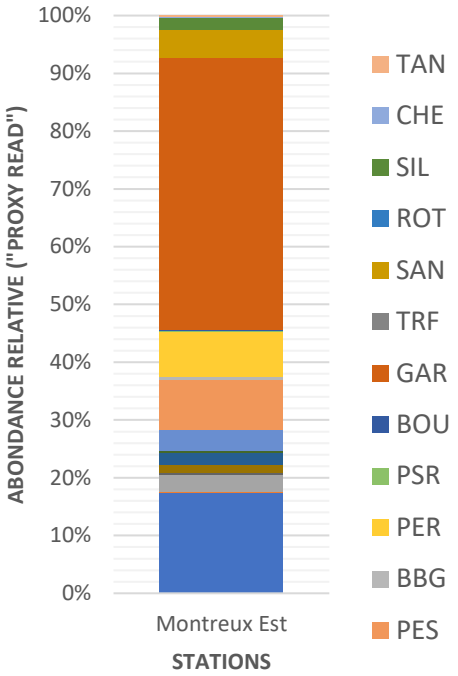
❖ Résultats généraux de l'approche multi-spécifique sur les poissons

			Montreux Ouest			Montreux Est		
Nom scientifique	CODE taxon	Nom vernaculaire	Nombre de réplicats positifs (/12)	Nombre de séquences ADN	Proportion	Nombre de réplicats positifs (/12)	Nombre de séquences ADN	Proportion
Pseudorasbora parva	PSR	Goujon asiatique	12	71 053	60,5	7	386	0,1
Rhodeus amarus	BOU	Bouvière	12	15 605	13,3	4	340	0,1
Abramis brama	BRE	Brème commune	12	10 004	8,5	12	47 810	17,3
Silurus glanis	SIL	Silure	12	7 305	6,2	12	5 457	2,0
Rutilus rutilus	GAR	Gardon	12	5 522	4,7	12	129 978	47,1
Cyprinus carpio	CCO	Carpe commune	12	2 473	2,1	12	3 812	1,4
Sander lucioperca	SAN	Sandre	12	2 362	2,0	12	13 257	4,8
Carassius gibelio	CAA	Carrassin argenté	10	745	0,6			
Esox lucius	BRO	Brochet	3	457	0,4	12	5 894	2,1
Tinca tinca	TAN	Tanche	5	435	0,4	9	811	0,3
Perca fluviatilis	PER	Perche fluviatile	7	412	0,4	12	21 831	7,9
Alburnus alburnus	ABL	Ablette	6	363	0,3	8	768	0,3
Gymnocephalus cernua	GRE	Grémille	7	276	0,2	12	10 265	3,7
Ameiurus melas	PCH	Poisson chat	3	230	0,2	12	7 861	2,9
Scardinius erythrophthalmus	ROT	Rotengle	6	188	0,2	5	254	0,1
Micropterus salmoides	BBG	Achigan à grande bouche	1	39	0,0	10	1 501	0,5
Cyprinidae - Complexe 4 (Alburnus alburnus ou Scardinius erythrophthalmus)	ABL & ROT	Ablette & Rotengle	2	33	0,0	9	1 062	0,4
Gobio sp.	GOU	Goujon			0,0	7	642	0,2
Squalius cephalus	CHE	Chevesne			0,0	5	288	0,1
Lepomis gibbosus	PES	Perche soleil				12	23 452	8,5
Leuciscus aspius	ASP	Aspe				3	113	0,0

	Montreux Ouest		Montreux Est	
Diversité	16		19	
Taxon le plus représenté (réplicas positifs/nbre de séquences)	Goujon asiatique	(12/71053)	Gardon	(12/129978)
Taxon le moins représenté (réplicas positifs/nbre de séquences)	BlackBass	(1/39)	Aspe	(3/113)
Espèces d'intérêt patrimoniales	BRO, BOU		BRO, BOU, ASP	

Figure177 : Résultats des analyses ADNe sur les sites de Montreux-Vieux





Les prélèvements ont été réalisés le 21/04/21 sur l'ensemble du pourtour de chacun des deux plans d'eau.

Le plan d'eau de Montreux-Ouest présente une diversité spécifique de 16 espèces de poissons. En effet, le groupe ablette et rotengle concerne des espèces déjà déterminées individuellement. Le peuplement du plan d'eau est donc très diversifié par rapport aux autres plans d'eau de l'étude (moyenne 13,6).

Les taxons les plus représentés au sein du plan d'eau en termes de proportion de séquences sont :

- *Pseudorasbora parva* (ou « goujon asiatique »), qui domine très fortement les proportions à plus de 60% ;
- La bouvière (11,3%) ;
- La brème commune (8,5%) ;
- Le silure (6,2%) ;
- Le gardon (4,7%).

L'achigan à grande bouche, le rotangle, le poisson chat, la gremille, l'ablette, la perche fluviatile, la tanche, le brochet et le carrassin sont minoritaire à raison de moins de 1% chacun.

Le plan d'eau de Montreux-Est présente une diversité spécifique de 19 espèces de poissons. En effet, le groupe ablette et rotengle concerne des espèces déjà déterminées individuellement. Le peuplement du plan d'eau est donc très diversifié par rapport aux autres plans d'eau de l'étude (moyenne 13,6). C'est le plan d'eau avec la diversité spécifique la plus élevé de l'étude (avec le plan d'eau de Courtavon).

Les taxons les plus représentés au sein du plan d'eau en termes de proportions de séquences sont :

- Le gardon qui domine le peuplement (47,1%) ;
- La brème commune (17,3%)
- La perche soleil (8,5%) ;
- La perche fluviatile (7,9%) ;
- Le sandre (4,8%).

L'aspe, le rotengle, le chevesne, la bouvière, le goujon asiatique, le goujon, l'ablette, la tanche et l'achigan à grande bouche (0,5%), sont minoritaire en termes de proportions de séquence ADNe à raison de moins de 1% chacun.

Des disparités importantes en termes de proportions d'espèces existent donc entre les deux sites avec la forte dominance du goujon asiatique (*Pseudorasbora parva*) sur Montreux Ouest et du gardon (*Rutilus rutilus*) sur Montreux Est.

Les peuplements des plans d'eau sont donc globalement caractérisés par des espèces typiques de milieux lentiques.

❖ Espèces patrimoniales

Tableau 19 : liste des espèces patrimoniales détectées sur les plans d'eau de Montreux-Vieux.

Nom scientifique	Nom vernaculaire	Statuts UICN
Leuciscus aspius	Aspe	**NA (Alsace) ; LC (Monde)**
Esox lucius	Brochet	**VU**
Rhodeus amarus	Bouvière	**LC ; Annexe II DHFF ; Annexe II CB**

***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.*

3 espèces 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.

❖ Espèces exotiques

Les plans d'eau de Montreux-Vieux sont également caractérisés par une forte implantation des espèces exotiques. C'est notamment le cas sur Montreux Ouest de 6 espèces dont :

- Perche soleil
- Sandre
- Poisson chat
- Silure
- Achigan à grande bouche
- Goujon asiatique

Dans le cas du plan d'eau de Montreux-Est, c'est 7 espèces exotiques qui sont recensées. Il s'agit de :

- Perche soleil
- Sandre
- Poisson chat
- Silure
- Achigan à grande bouche
- Goujon asiatique
- Aspe

Pamis elles, 3 espèces sont qualifiées d'espèces exotiques envahissantes susceptibles de causer des déséquilibres biologiques :

- Le poissons-chat ;
- La perche soleil ;
- Le *Pseudorasbora*, particulièrement dominant sur le site de Montreux-Ouest.

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). Sa présence, en proportion de séquence ADNe au sein du plan d'eau est problématique. L'espèce rentre également en compétition pour les ressources avec d'autres poissons autochtones et exerce une prédation importante sur les juvéniles de populations autochtones.

La perche soleil est également très présente sur le site de Montreux Est.

On note également la présence de l'Achigan à grande bouche aussi appelé « blackbass » (*Micropterus salmoides*) sur les deux sites à raison de :

- 0,03% sur Montreux Ouest, permettant d'estimer que l'espèce est bien présente sur le site et également sur le canal ;
- 0,5% sur le site de Montreux-Est, zone où il a été implanté originellement.

En effet, l'espèce fait l'objet de déversements réguliers sur le site dans un but halieutique et récréatif. Cette espèce est couramment introduite dans de nombreuses régions du monde pour la pêche de loisir. Les impacts du Black-bass ont été très peu étudiés en France. L'espèce peu néanmoins exercer une pression de prédation importante sur les poissons de petite taille (Keith et Allardi, 1998). De plus, le blackbass est également vecteur de nombreuses maladies et parasites, dont la septicémie hémorragique virale (Pascal et al., 2006), et le trématode *Crepidostomum cornutum* (CABI, 2016).

L'introduction de l'espèce (à l'instar d'autres espèces introduites comme le sandre) font débat notamment à travers la faible diversité piscicole des eaux continentales d'Europe centrale. En effet, les écosystèmes aquatiques et les espèces de poissons d'Europe occidentale se sont réduits à travers les différentes périodes de glaciation. Nombres de niches écologiques semblent ainsi vacantes et certaines espèces les ont comblées par la suite. L'exemple du silure est fréquemment cité, car plus documenté, avec sa présence avérée avant les 3 dernières glaciations. Il a notamment pu recoloniser certaines zones géographiques au début de l'holocène avant de régresser à la fin du moyen-âge. Actuellement l'espèce est en cours d'expansion (Schlumberger et al. 2000). Néanmoins la plupart de ces espèces exotiques (sandre, poisson-chat, perche soleil, blackbass, carrassin, etc.) ne font pas l'objet de mesure de gestion et les impacts de ces espèces sont peu ou pas documentées (CDREEE 2022).

Il pourrait être intéressant de suivre les interrelations écosystémiques que peuvent avoir ces espèces de manière plus complète dans le futur. A titre de comparatif entre les deux plans d'eau, le *Pseudorasbora* est très implanté à l'Ouest et peu implanté à l'Est (où le blackbass et les percidés sont plus présents).

- ❖ <u>Comparatifs avec les inventaires piscicoles réalisées dans le cadre de l'étude des annexes hydraulique de la plaine d'Alsace</u>

En 2021, la FDAAPPMA68 a réalisé une étude parallèle sur les annexes hydrauliques de la plaine d'Alsace. Le site de Montreux-Vieux de par sa nature et sa connectivité au canal du Rhône au Rhin a été inclus dans les 78 sites recensé et les 54 sites analysés. En effet, les annexes hydrauliques sont des milieux remarquables et offrent des zones de transition, de vie, ou de reproduction pour de nombreuses espèces animales et végétales. La FDAAPPMA68 met en place depuis 2019 des actions de suivis scientifiques sur l'Ill et sur ses annexes hydrauliques en vue de faire émerger des actions de restauration. Le Brochet, en tant qu'espèce repère du contexte est choisi comme la cible privilégiée des projets. En effet, une reproduction efficace du Brochet nécessite de nombreux facteurs environnementaux et hydrauliques que les activités anthropiques et les travaux réalisés contre les inondations notamment ont fortement réduit.

Le diagnostic se fonde sur un système de notations établi à partir de critères multiples (végétation, connexion avec le cours d'eau, pente des berges, ripisylve, etc.). L'analyse des résultats a permis l'identification de zones vulnérables prioritaires. L'année 2021 fait office de bilan, notamment à travers l'application d'un volet biologique sur le terrain (campagnes de pêches électriques à l'aide du protocole d'Indice d'Abondance des Brochetons afin de mettre en évidence la réussite ou non de la reproduction du Brochet sur ces sites). L'effort de pêche électrique effective est de 5 minutes (notion de « Captures Par Unité d'Effort » (CPUE) pour être traduit en nombre d'individus/5 min) et est localisé le long des habitats favorables à la reproduction et au développement des juvéniles de brochet. Les inventaires ont été réalisés à la mi-mai, lorsque les juvéniles sont sédentaires, proches des lieux d'éclosion et mesurent moins de 10cm (peu avant le stade de brocheton migrant où les individus vont se répartir dans le cours d'eau principal).

C'est ainsi 11 stations qui ont été échantillonnées sur les deux plans d'eau de Montreux-Vieux à raison de :

- 4 stations IAB sur le site de Montreux-Est ;
- 5 stations IAB sur le site de Montreux-Ouest.

Les échantillonnages ont eu lieu le 21/05/21.
Les résultats sont les suivants (espèces échantillonnées et occurrence) :

- Sur **Montreux-Ouest** : *Pseudorasbora* (5/5), Bouvière (5/5), Gardon (4/5), Brème commune (2/5), Perche fluviatile (2/5), Rotengle (4/5), Carassin (2/5) ;
- Sur **Montreux Est** : *Pseudorasbora* (1/4), Gardon (4/4), Blackbass (4/4), Poisson-chat (1/4), Perche fluviatile (2/4), Rotengle (1/4), Silure (1/4).

Montreux Ouest (code et occurrence)	Montreux Est (code et occurrence)
PSR (5/5)	PSR (1/4)
BOU (5/5)	BBG (4/4)
GAR (4/5)	GAR (4/4)
BRE (2/5)	PCH (1/4)
PER (2/5)	PER (2/4)
ROT (4/5)	ROT (1/4)
CAS (2/5)	SIL (1/4)

L'ensemble des espèces observées lors des pêches électriques ont également été détectées par ADNe. Les occurrences et dénombrements sur le terrain correspondent également avec les proportions de séquence observées avec l'ADNe.

En effet :

- ➔ Une grande quantité de *Pseudorasbora* ont été observées sur Montreux-Ouest et très peu sur Montreux-Est ;
- ➔ Une grande quantité de Bouvière ont été observées sur Montreux-Ouest ;
- ➔ Une grande quantité de Gardon ont été observées sur Montreux-Est et Montreux-Ouest ;
- ➔ Le Blackbass a été échantillonné sur toutes les stations de Montreux-Est en termes d'occurrence.

En revanche :

- ➔ Le Brochet (espèce cible de l'étude) n'a pas été mis en évidence au mois de mai alors qu'il avait été détecté par ADNe au mois d'avril sur les deux sites ;
- ➔ 6 espèces ont été dénombrées sur chaque sites par pêches électriques contre 16 et 19 par ADNe (respectivement à l'Ouest et à l'Est).

Ces observations (même si elles restent non quantitatives, pour l'ADNe ou les IAB) tendent ainsi vers les mêmes observations.

❖ Résultats de l'approche multi-spécifique sur les amphibiens

Deux espèces différentes ont été détectées sur les rives des plans d'eau étudiés, avec :

➔ Sur le site de Montreux-Ouest :
- *Pelophylax* – Complexe 2 ou « les grenouilles vertes (Lessona, berger et verte).

➔ Sur le site de Montreux-Est :
- *Rana temporaria* ou la grenouille rousse ;
- *Pelophylax* – Complexe 2 ou « les grenouilles vertes (Lessona, berger et verte).

d) Volet astacicole

Plusieurs campagnes de piégeage à l'aide de 4 nasses réparties sur chacun des plans d'eau ont été réalisées. Mais aucune écrevisse n'a été capturé durant le suivi. En revanche plusieurs espèces de poissons ont été capturées (perche soleil et *Pseudorasbora*) sur les deux sites.

Ce qu'il faut retenir : Montreux-Vieux

Approche physique

- Le Canal du Rhône au Rhin et les deux plans d'eau sont caractérisés par une relative **stabilité hydrologique et thermique** ;
- **L'étang du Pendu (Montreux-Est) est caractérisé par une très forte diversité et densité d'habitats aquatique et rivulaire** (roselières, hauts fond, herbiers, bois morts, etc.) particulièrement intéressants. **La zone située au Nord est particulièrement biogène et attractive** (zone de réserve de pêche) ;
- **Le plan d'eau du réservoir (Montreux-Ouest) est caractérisé par une densité d'habitats aquatique et rivulaire importante** (roselières, hauts fond, herbiers, bois morts, etc.) particulièrement intéressants, mais également par une **prolifération importante de *Trapa Natans* qui semble structurer le site** (physico-chimie, habitats, croissance et décomposition, lumière, etc.) ;
- Plusieurs paramètres sont problématiques en termes de **physico-chimie** comme les nitrites et l'ammonium dans le plan d'eau Réservoir (Montreux-Ouest). Mais globalement la qualité physico-chimique semble plutôt bonne ;
- Le rapport de Redfield met en évidence la nécessité d'agir sur les **nitrates et les nitrites** (facteur limitant) ;

Approche biologique

- Le volet ADNe a mis en évidence **16 espèces de poissons dans le plan d'eau de Montreux-Ouest et 19 sur Montreux- l'Est.** La diversité retrouvée est ainsi parmi la plus importantes des sites étudiés (notamment sur l'étang du Pendu – Montreux-Est) ;
- 3 espèces patrimoniales sont observées (Bouvière, Brochet et Aspe) mais c'est aussi 7 espèces exotiques dont **3 espèces exotiques envahissantes qui sont également observées**. C'est notamment le cas de la perche soleil (en grande proportion à l'Est) et du *Pseudorasbora* (en grande proportion à l'Ouest) ;
- Le Brochet (espèce cible) n'a pas été mis en évidence au mois de mai lors des inventaires par pêches électriques alors qu'il avait été détecté par ADNe au mois d'avril sur les deux sites ;
- La technique de l'ADNe a permis d'identifier une dizaine d'espèce de poisson de plus que les pêches électriques (+10 à l'Ouest et +13 à l'Est), confirmant par là l'intérêt de la méthode sur le type de milieu ;
- Les plans d'eau sont vraisemblablement en **interrelation étroite** en termes de population piscicole avec le canal du Rhône au Rhin, le canal déclassé et la Suarcine ;
- Deux espèces d'amphibiens sont identifiées sur les berges ;

Perspectives

- Des **pressions et des enjeux multiples** sont donc identifiées pour ces plans d'eau et les hydrosystèmes attenants ;
- Ces deux sites sont inclus dans **l'études des annexes de la plaine d'Alsace** comme site à enjeux. Ils feront l'objet d'un diagnostic complémentaire pour l'émergence d'action dans le cadre de cette étude ;
- La nécessité de **concilier les volontés locales** (entretien, loisir, accessibilité) **avec les enjeux de biodiversité** observés à travers l'étude est une problématique majeure (zones à restaurer, zones à protéger, zone à maintenir). En effet, les sites semblent très biogènes et diversifiés justement lié à leur manque historique d'entretien.

4. Le site de Guershwiller

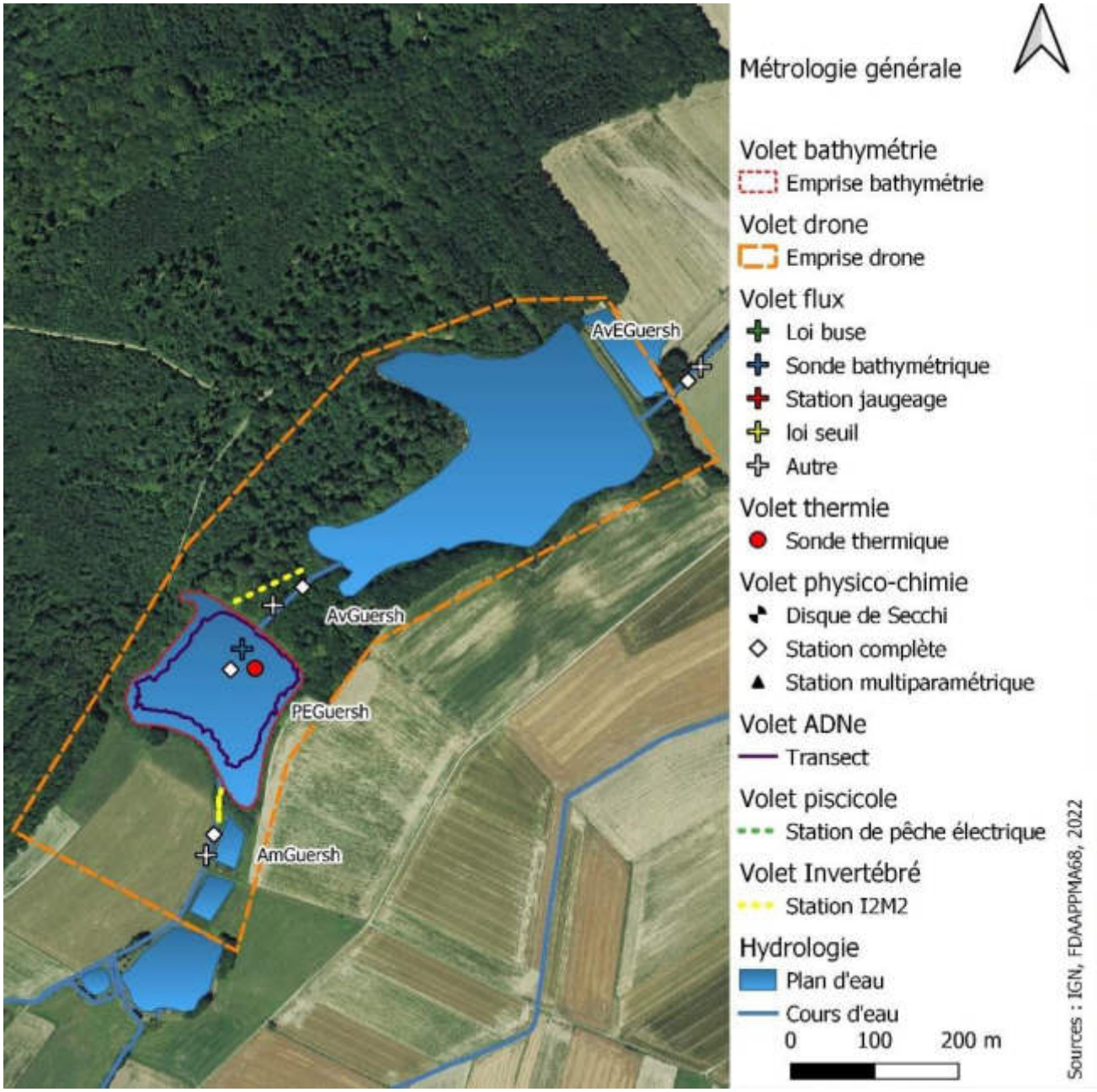
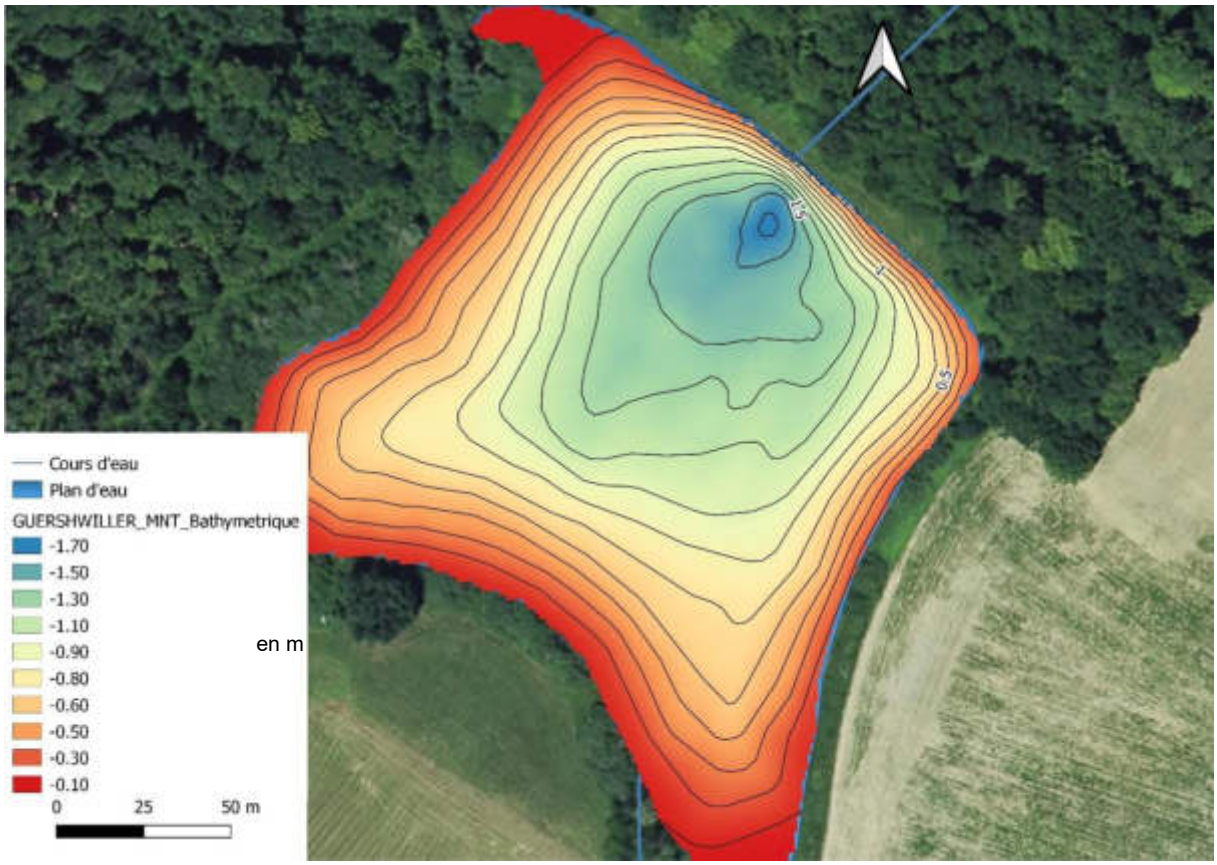
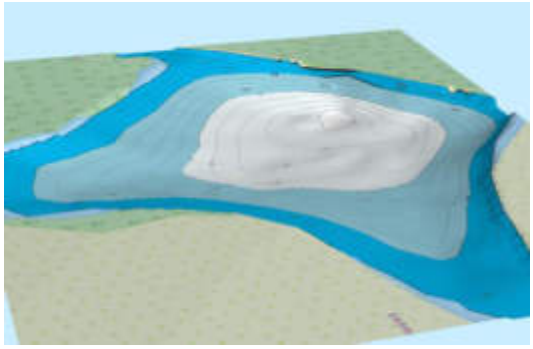


Figure 178 : Cartographie schématique de la métrologie déployée sur le site de Guershwiller (sur la commune de Pfetterhouse) et noms des stations.

a) Volet bathymétrie





Guershwiller : caractéristiques physiques	Valeurs
Surface (m²)	26957
Périmètre (m)	745
Profondeur Max (m)	1.70
Profondeur Min (m)	0.10
Profondeur Moy (m)	0.75
Volume d'eau total (m3)	20287
Volume de sédiment total (m3)	25000
Profondeur sédiment Max (m)	2
Profondeur sédiment Min (m)	0,2
Profondeur sédiment Moy (m)	1

Figure 179 : Carte bathymétrique du plan d'eau de Guershwiller et caractéristiques associées.

Les relevés bathymétriques ont été réalisés le 15/11/21 dans des conditions hydrologiques stables. La hauteur d'eau mesurée par la sonde bathymétrique du plan d'eau (*cf.* volet flux) lors des relevés est de 1,67m, permettant ainsi d'estimer les fluctuations saisonnières de volume et de côte d'eau (165,5±33,3m de profondeur moyenne en 2021).

L'étang de Guershwiller est ainsi caractérisé par des hauteurs variables en 2021. Il dispose d'une zone plus profonde très sectorisée au Nord-Est avec des profondeurs maximales de 1,30 à 1,70 environs. La profondeur moyenne du plan d'eau est de 0,75m. L'étang est donc caractérisé par des profondeurs faibles et uniformes. La forme de cuvette de l'étang est plus profonde au milieu et au Nord-Estr au droit des anciens ouvrages de gestion. Les trois extrémités au Sud-Ouest, Sud-Est et Nord-Ouest, sont particulièrement peu profonde mais

peu envasées (en moyenne entre 30 et 50cm de vases sur les bordures). Le centre du plan d'eau est plus envasé.

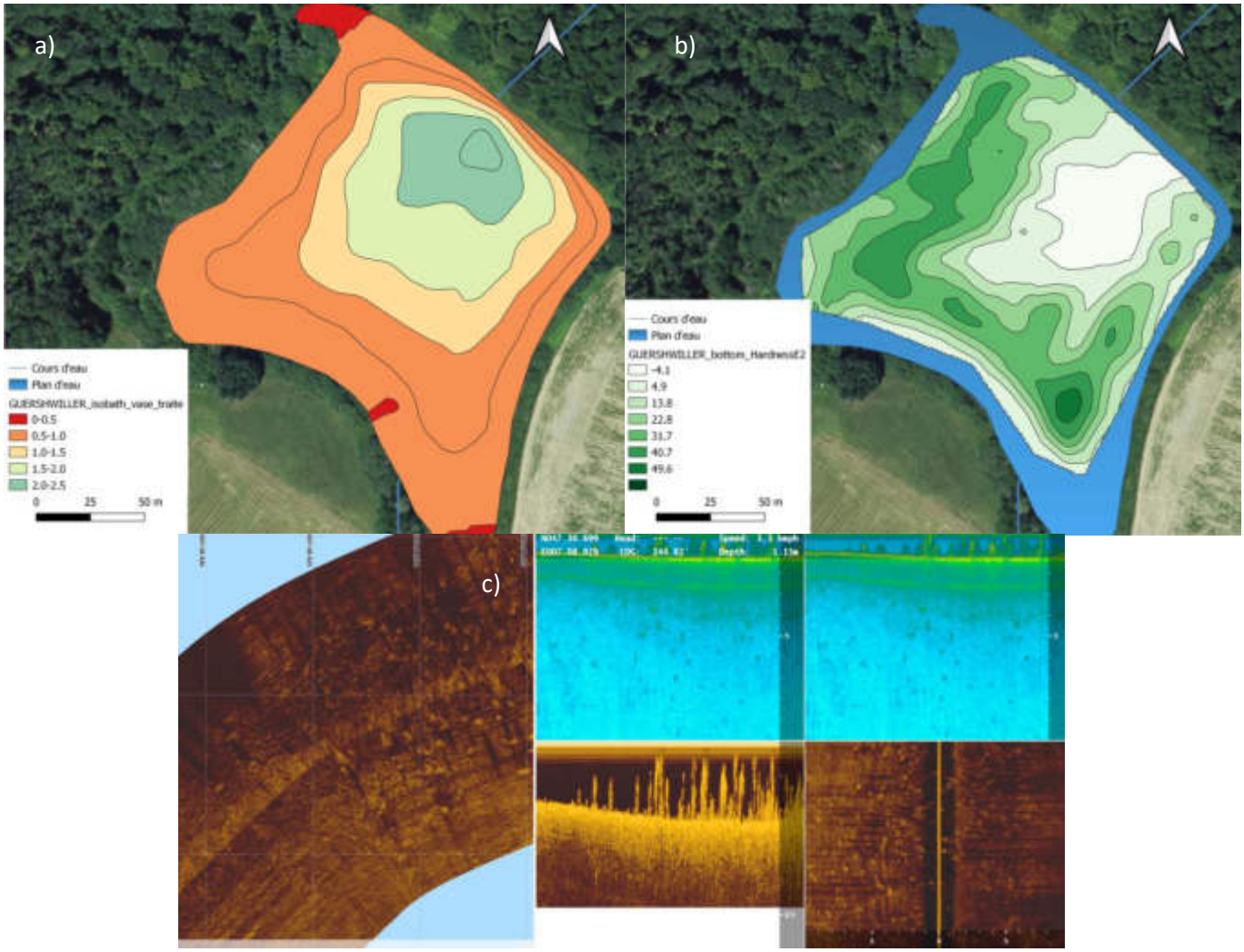


Figure 180 : Carte de la profondeur de vase en m (a), de la nature des fonds en termes de dureté (b) et de la nature des fonds en termes d'habitats (c).

L'analyse de la nature des fonds est permise à l'aide de l'échosondeur. On note ainsi une profondeur de vase homogène qui suit les courbes de niveau de profondeur. Deux principales zones sont observées avec :

- La zone plus profonde (en termes de hauteur d'eau et de hauteur de vase) proche du moine au Nord-Est (1,70m) et au centre (1m) ;
- Les extrémités du reste du plan d'eau qui sont majoritairement très peu profondes et relativement peu envasées (0,30 à 0,50m).

La nature des fonds est très homogène en termes de dureté avec un socle plus important sur les extrémités et un fond plus meuble au centre et au droit des ouvrages de gestion.

Les zones benthiques sont très riches en habitats, surtout en herbiers aquatiques (hydrophytes). En effet, la densité et la biomasse d'hydrophyte est particulièrement importante, surtout au centre du plan d'eau dans les zones plus profondes (1m à 1,5m). Les herbiers étaient visibles sur l'ensemble de la colonne d'eau lors de l'inventaire (figure 180c).

b) Volet drone

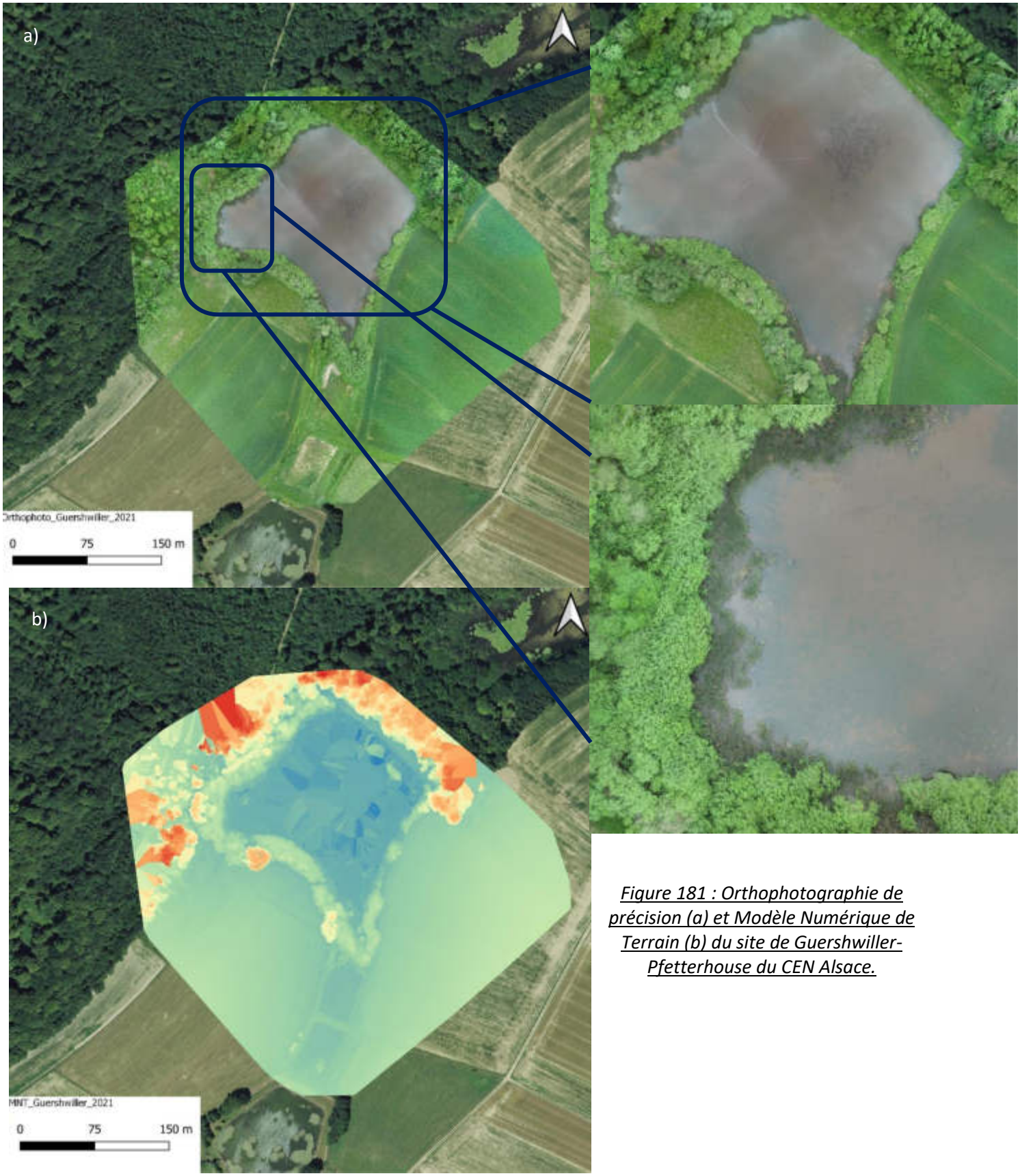


Figure 181 : Orthophotographie de précision (a) et Modèle Numérique de Terrain (b) du site de Guershwiller-Pfetterhouse du CEN Alsace.

c) Volet flux

❖ Régime hydrologique du ruisseau

Les 6 campagnes de jaugeage ont permis de mettre en lumière un régime hydrologique très hétérogène. En effet, si le débit moyen mesuré est de 8,89L/s en amont, 4,21L/s en aval et de 8,05L/s en aval éloigné (d'avril à octobre 2021), d'importantes variations sont mises en évidences (maximum amont = 17,4L/s ; minimum amont = 1,5L/s ; maximum aval = 14,1L/s ; minimum aval = 0L/s). Si l'hydrologie de l'été 2021 est peu représentative de la norme (année record en termes de pluviométrie) on peut mettre en avant des débits estivaux autours des 4,5L/s en amont et de 3L/s en aval (si on supprime les valeurs les plus hautes).

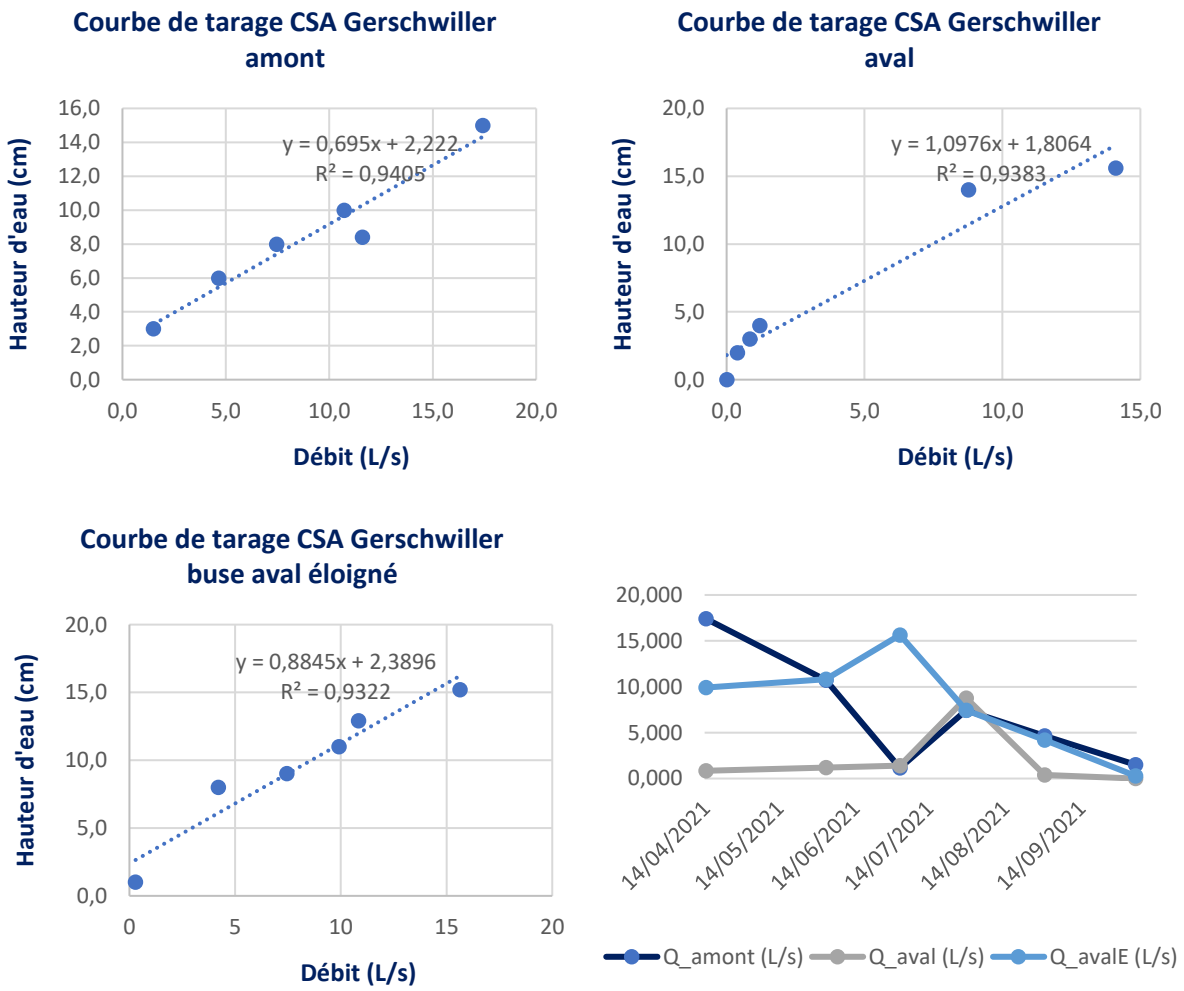
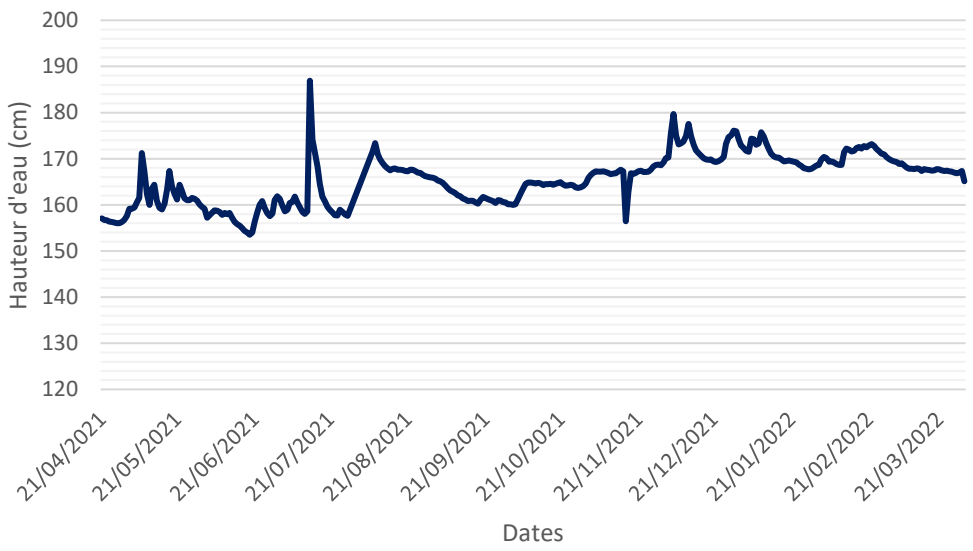


Figure 182 : Courbes de tarages produites sur le site de Guershwiller, à l'amont du plan d'eau (a) , à l'aval (b) , à l'aval éloigné (c) et variations des débits (d).

Les valeurs présentées restent néanmoins à nuancer de par la nature du faible gabarit du ruisseau. En effet, il est complexe dans la configuration du site de définir des mesures précises avec des intervalles de confiances forts. Ces résultats restent malgré tout informatifs pour mieux connaitre les variations saisonnières et avoir une estimation du régime du ruisseau (très dépendant des écoulements des plans d'eau et du ruissellement).
Les estimations sont dans 70% des cas plus élevées en amont qu'en aval. Les débits estimés en aval éloigné (en aval du second grand étang privé) sont pratiquement toujours supérieurs à l'ensembles des sites. D'un point de vue temporel, les flux sont plus importants en début de saison pour décroitre au cours de l'été.

❖ Variation du niveau d'eau de l'étang



	Moyenne mensuelle Hauteur d'eau (cm)
janv	170,7
févr	171,1
mars	167,8
avr	156,4
mai	161,9
juin	157,6
juil	161,8
août	168,0
sept	161,9
oct	163,8
nov	166,7
déc	172,6

Figure183 : Hauteur d'eau du plan d'eau d'avril 2021 à mars2022 et moyennes mensuelles.

Un des objectifs du projet de restauration étudié est de faciliter un marnage naturel fort sur l'étang pour favoriser le développement de communauté végétales spécifiques rares.
En 2021, le marnage de l'étang est déjà relativement important avec 34cm d'amplitude mesurée (entre avril et mars). La majeure partie de l'eau de l'étang semble issu du ruissellement. Le ruisseau en amont présente lui-même des débits faibles en relation avec le ruissellement et la pluviométrie. Les hauteurs d'eau les plus importantes sont mesurées au mois de juillet (période de précipitation intense en 2021), et les niveaux d'eau les plus bas en avril et en juin 2021.

d) Volet physico-chimie

Lors du volet physico-chimie, c'est 23 mesures qui ont été réalisées d'avril 2021 à octobre 2021. 6 campagnes ont ainsi été réalisées de manière mensuelles sur 3 stations :

- Amont ;
- Plan d'eau ;
- Aval ;
- Aval éloigné.

La connaissance de la qualité physico-chimique sous-tendant la biologie a été permise à travers plusieurs approches via :

- L'étude des concentrations moyennes (mesurées d'avril à octobre 2021) ;
- L'études des concentrations maximales (mettant en évidence des épisodes critiques ou des pics de concentrations) ;
- L'étude des variations de concentrations au cours du temps.

L'évaluation des classes de qualité de ces différents paramètres est réalisée à l'aide de « 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 tableaux complets sont consultables en annexes.

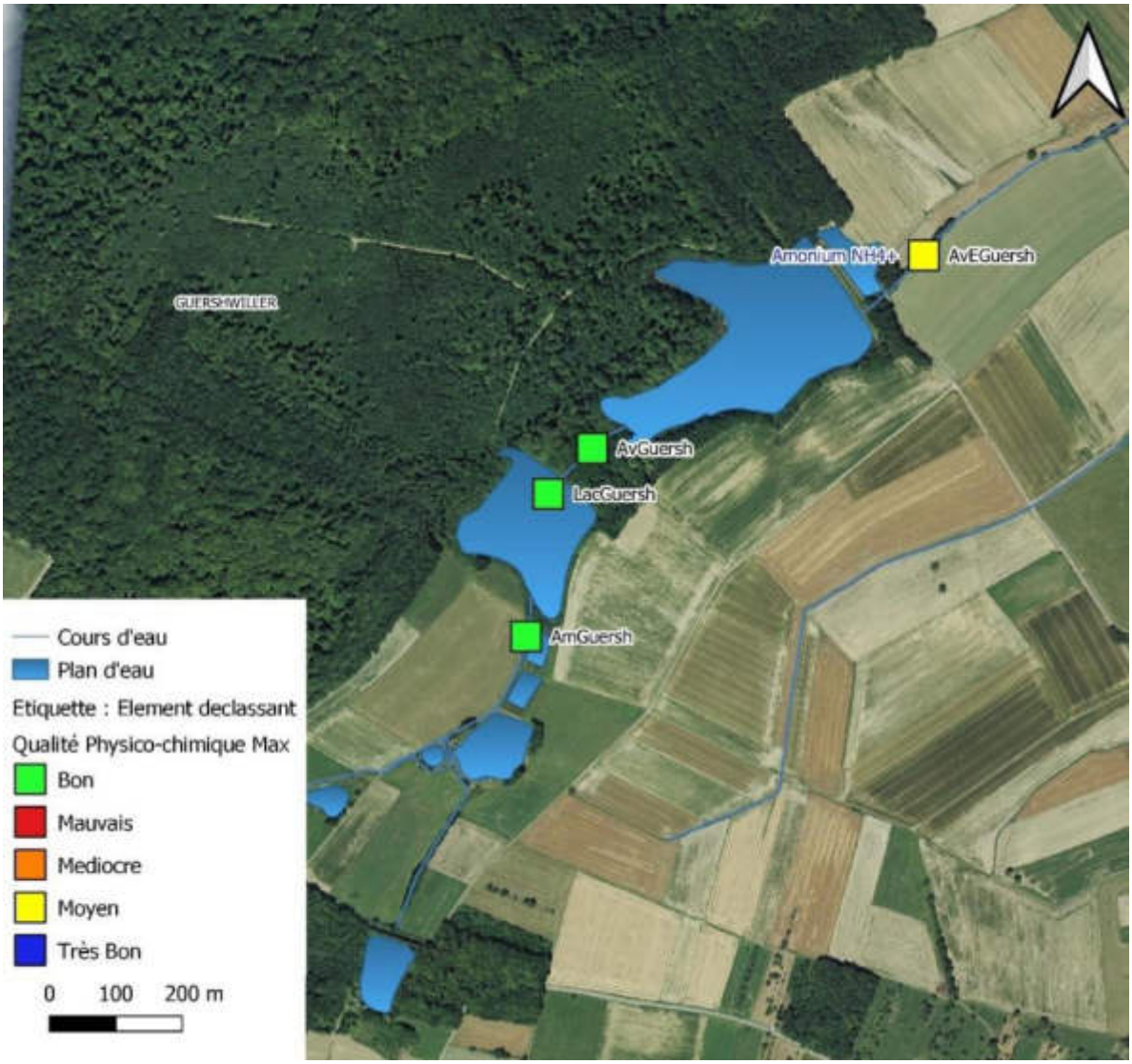


Figure 184 : Qualité physico-chimique sur la base des concentrations moyennes sur le site de Guershwiller et paramètres déclassants associés.

Au regard des concentration moyennes, trois stations sur quatre sont classées en bonne qualité ce qui est une observation positive.

En revanche, la qualité physico-chimique est moyenne en aval éloignée au regard des concentrations moyennes en ammonium qui sont déclassantes. En effet, d'importantes concentrations en NH4+ sont mesurées sur cette station mais uniquement lors du 06/10/21 à hauteur de 3mg/L ce qui fait passer la moyenne au-delà de la limite de classe. Si cette valeur est retirée du jeu de donnée la classe serait bonne.

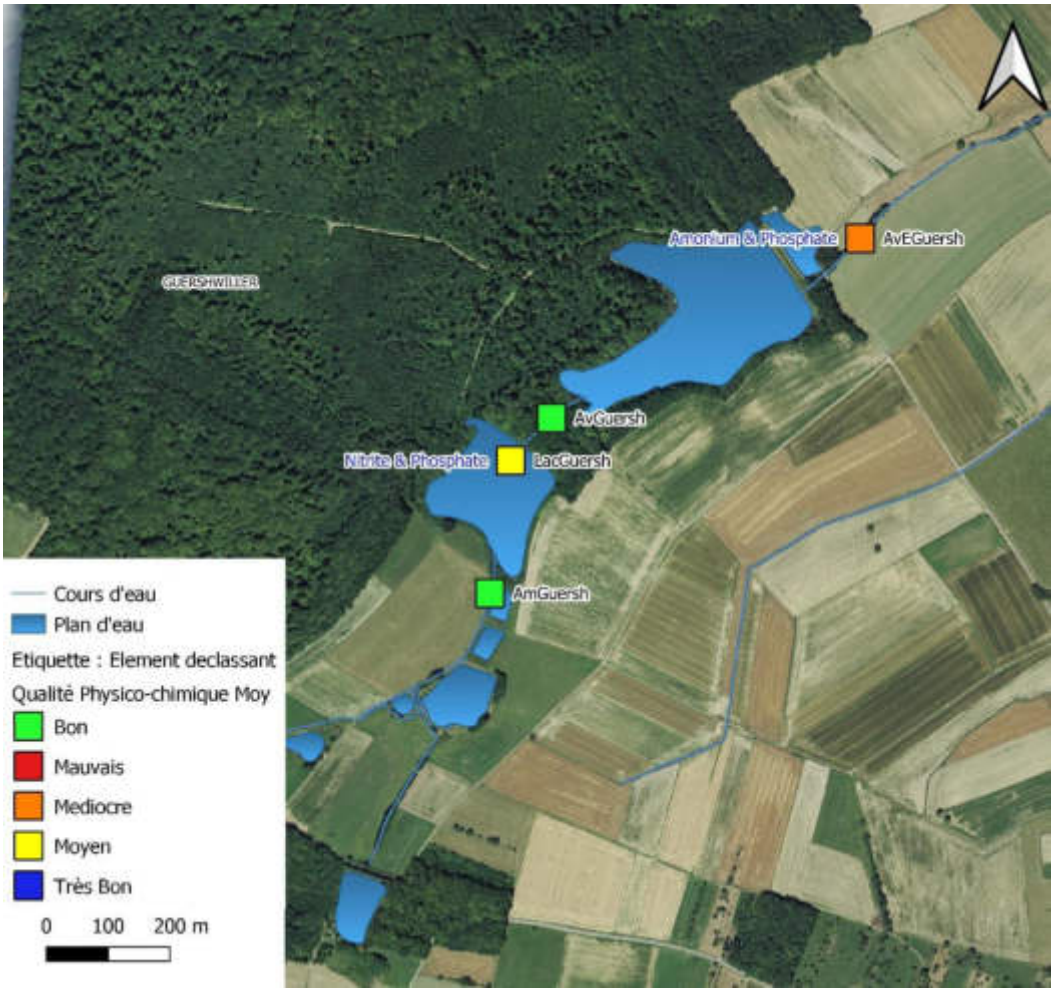


Figure 185: Qualité physico-chimique sur la base des concentrations maximales sur le site de Guershwiller paramètres déclassants associés.

Sur la base des concentration maximales, deux stations sur les quatre étudiées n'atteignent plus le bon état physico-chimique. En revanche, l'amont et l'aval de l'étang du CEN Alsace restent en bon état ce qui est une observation positive.

La station du plan d'eau du CEN Alsace présente des concentrations maximales déclassantes problématiques pour :

- Les nitrites avec plusieurs valeurs élevées lors du suivi comme le 02/07/21 (0,32mg/L) ;
- Le phosphate avec plusieurs valeurs élevées lors du suivi comme le 30/08/21 (0,7mg/L).

La station en aval éloignée après le second plan d'eau présente des concentrations maximales problématiques pour :

- Le phosphate avec plusieurs valeurs élevées lors du suivi comme le 06/10/21 (1,5mg/L), ce qui est particulièrement élevé. De plus à cette date les concentrations en phosphates ne sont pas alarmantes sur les autres stations ce qui laisse en suspens une possibilité de pollution très localisée ;
- L'ammonium avec des concentrations importantes (3,0mg/L) mesurées le 06/10/21 également. Deux possibilités peuvent expliquer ce phénomène dont :
    - Une anoxie de fond de plan d'eau et une forte concentration en matière organique en fin de saison engendrant une accumulation d'azote ammoniacal en profondeur. Le rejet du second plan étant réalisé par un tuyau en profondeur, ce sont des donc des eaux issues du fond de l'étang qui sont relargué en aval éloigné ;

- Une pollution organique massive en aval éloigné ou dans l'étang.

On remarque ainsi que la zone d'étude est moyennement impactée par des altérations physico-chimiques (notamment des stations situées en zone arborée dense). Malgré tout, les altérations sont observées localement et à certaines périodes vis-à-vis des nitrites, de l'ammonium et du phosphate (dans l'étang et en aval éloigné).

❖ Paramètres physico-chimiques

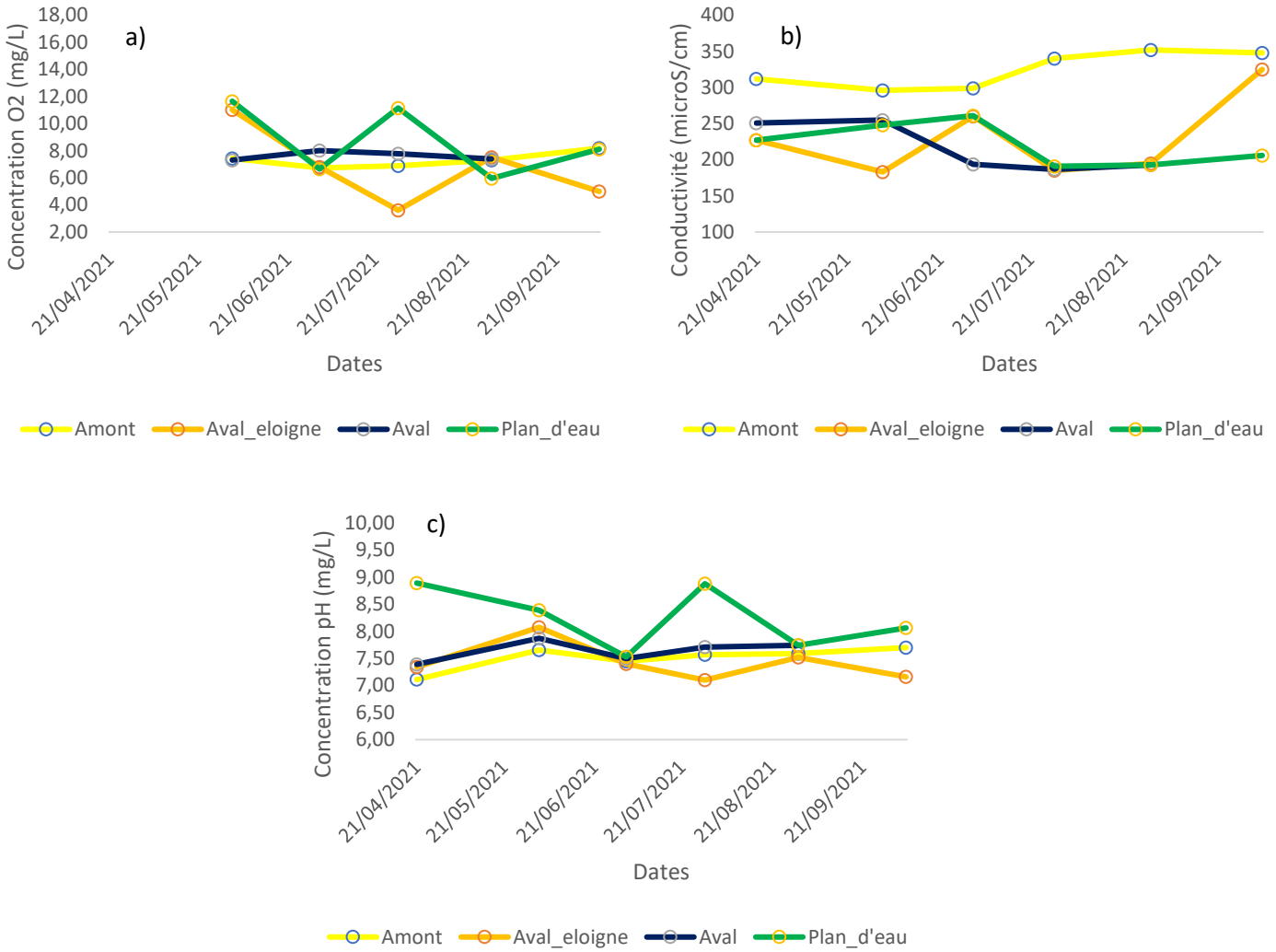


Figure186 : Evolution temporelle et spatiale de la concentration en oxygène (a), la conductivité (b) et le pH (c) sur les stations du site de Guershwiller.

Les concentrations en Oxygène sont moyennes (7,60mg/L en concentration moyenne toutes données confondues). La concentration en O^2 est plus importante au sein du plan d'eau que sur les autres stations (lié au fort développement végétal). Si les concentrations sont stables au long du suivi sur le ruisseau (7,31mg/L en moyenne en amont et 7,62mg/L en aval), elles sont plus variables dans le plan d'eau et en aval éloigné.

La conductivité est relativement stable selon les stations au cours du suivi (entre 200 et 300 µS/cm). Des différences plus marquées apparaissent en revanche entre les stations avec :

- L'amont du ruisseau qui présente une conductivité plus importante que les autres stations (324 µS/cm) ;

- L'aval et le plan d'eau du CEN Alsace avec des valeurs plus réduites mais stables (215 µS/cm en aval et 221 µS/cm dans le plan d'eau) ;
- L'aval éloigné avec des valeurs plus fluctuantes (229 ± 141 µS/cm).

Le pH est globalement proche de 7,5 au long du suivi et peu différent entre les stations exceptées au sein du plan d'eau ou des variations sont observées et où le pH est plus basique.

❖ Nutriments

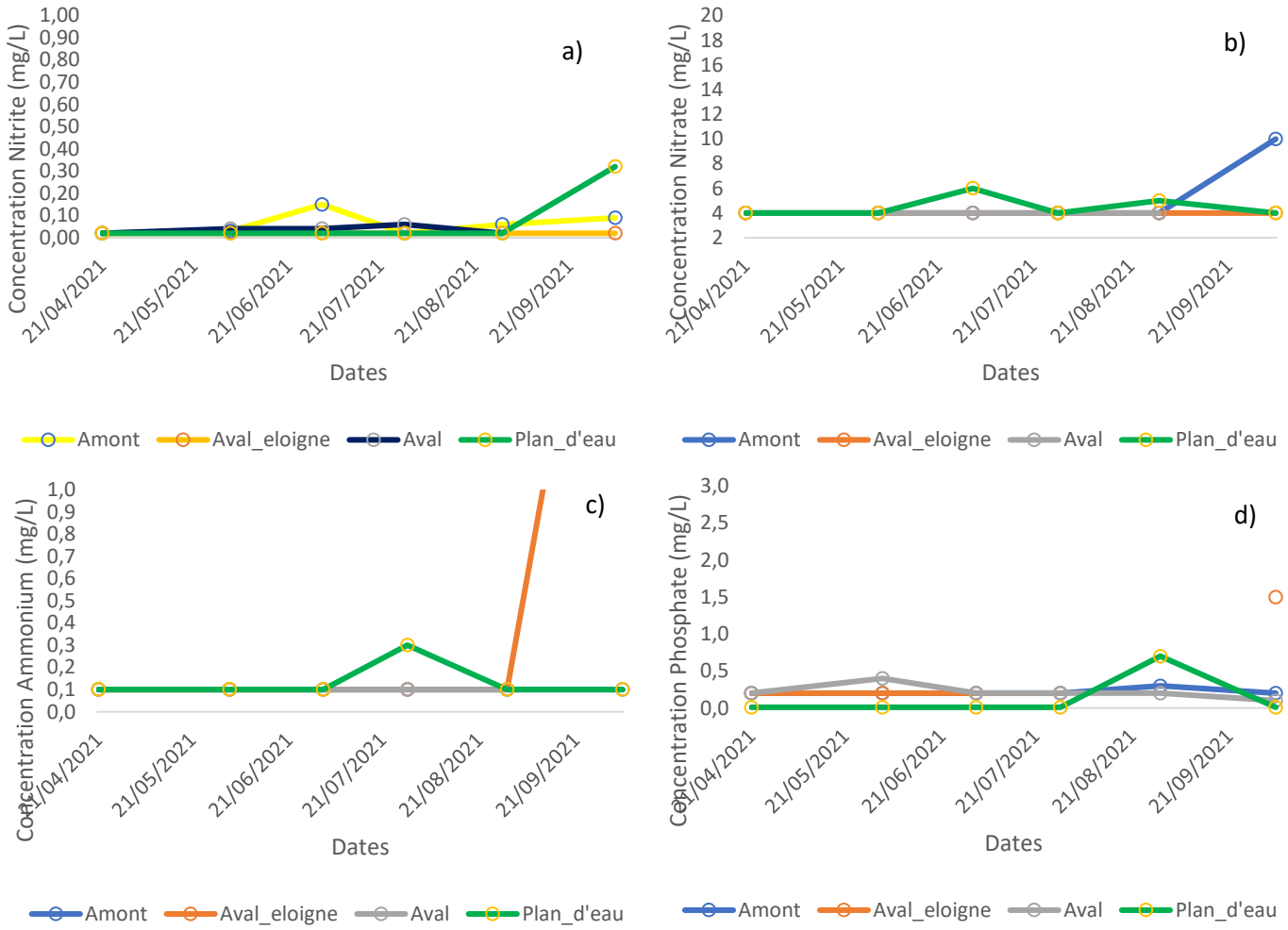


Figure 187 : Evolution temporelle et spatiale de la concentration en nitrite (a), en nitrate (b), en amonium (c) et en phosphate (d) sur : l'amont de la Gruebaine, le plan d'eau et l'aval

Tout comme les variables physico-chimiques plus classiques, les concentrations en nutriment sont très stables sur le secteur étudié. Mais quelques pics de concentration ponctuels sont observés durant l'étude.

Pour les nitrites, les concentrations sont globalement faibles et stables (<0,05mg/L la majeure partie du suivi), excepté en amont et dans le plan d'eau :

- 0,15mg/L de concentration en nitrite est mesurée en amont le 02/07/21 ;
- 0,32mg/L de concentration en nitrite est mesurée le 06/10/21 dans le plan d'eau.

Pour les nitrates, les concentrations sont également faibles et stables (<0,5mg/L la majeure partie du suivi). Un pic de concentration est observé le 06/10/21 en amont.

Pour l'ammonium, l'ensemble des mesures présente une concentration inférieure à 0,1mg/L ce qui est très positif sauf dans le cas de l'aval éloigné. En effet, des concentrations importantes (3,0mg/L) sont mesurées le 06/10/21 en aval éloigné. Cette observation peut être la résultante d'une anoxie de la zone profonde du second plan d'eau ou d'une accumulation de matière organique.

Vis-à-vis du phosphate, les concentrations sont globalement faibles mais un pic le 06/10/21 a été observé en aval éloigné (1,5mg/L).

Le site de Guershwiller semble donc moins impacté que les autres sites vis-à-vis des divers paramètres physico-chimiques. Quelques épisodes de pics de concentration en nutriment sont malgré tout observés (surtout en aval, zone la plus problématique). L'étang semble également jouer un rôle bénéfique d'abattement des charges en nutriment (car très fortement végétalisé).

❖ Rapport N/P

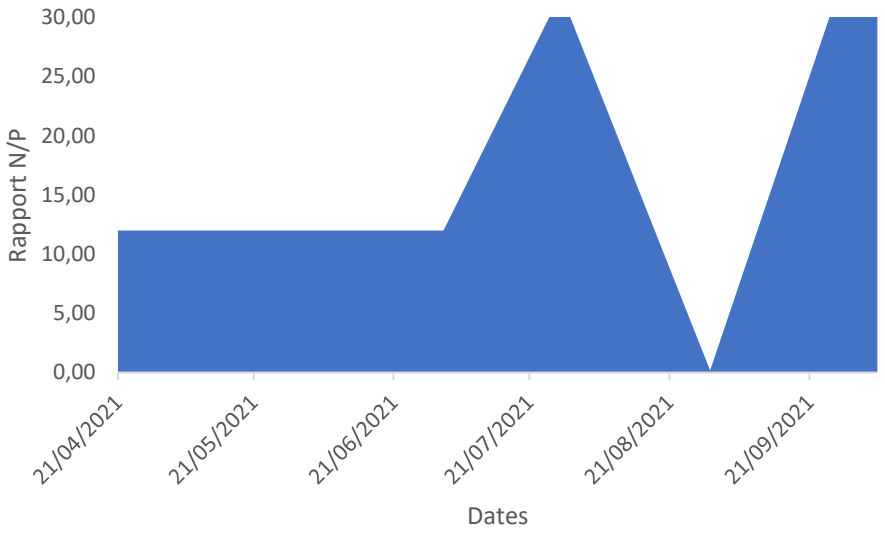


Figure188 : Rapport azote minéral / orthophosphate dans la couche euphotique (moyenne des concentrations) dans le plan d'eau de Guershwiller en 2021.

La valeur du rapport entre l'azote et le phosphore (ratio N/P ou rapport de Redfield) permets de distinguer l'élément nutritif limitant (Redfield, 1985). Le rapport moyen optimal pour la croissance de la plupart des espèces de phytoplancton est de 7/1. Ainsi, lorsque le rapport est supérieur à 7, cela signifie que le phosphore est le principal facteur limitant. A l'inverse si le rapport est inférieur à 7, ce sont les nitrates qui seront le facteur limitant la croissance des algues. Le rapport est réalisé entre la somme de l'azote minéral (NH4+ et NO3- notamment) et les orthophosphates (PO4 3-).

Dans le cas du plan d'eau de Guershwiller, le rapport de Redfield est toujours supérieur à 7 lors de l'étude (à l'inverses des autres plans d'eau). Si des variations apparaissent (comme en été), c'est donc toujours le phosphate qui est le facteur limitant. Seul une période (30/08/21) se détache du reste à cause d'une mesure de forte concentration en orthophosphate à cette période précise dans le plan d'eau (0,7mg/L).

e) Volet ADNe

❖ Résultats généraux de l'approche multi-spécifique sur les poissons

Diversité	3	
Taxon le plus représenté (réplicas positifs/nbre de séquences)	Perche soleil	(8/347903)
Taxon le moins représenté (réplicas positifs/nbre de séquences)	Carpe commune	(10/6064)
Espèces d'intérêt patrimoniales	BRO	

Guershwiller

Nom scientifique	CODE taxon	Nom vernaculaire	Nombre de réplicats positifs (/12)	Nombre de séquences ADN	Proportion
Lepomis gibbosus	PES	Perche soleil	8	347 903	57,8
Esox lucius	BRO	Brochet	10	247 833	41,2
Cyprinus carpio	CCO	Carpe commune	10	6 043	1,0

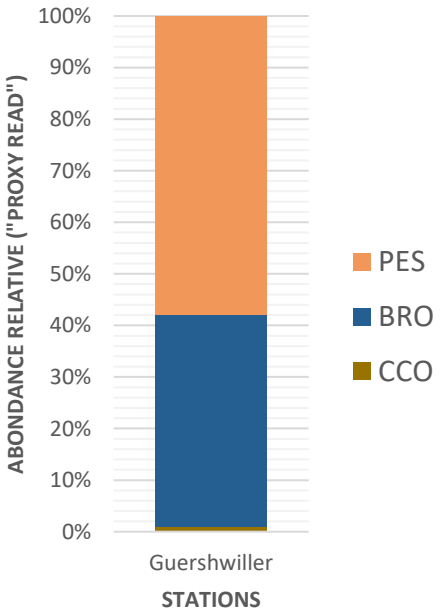


Figure 189 : Résultats des analyses ADNe sur le site de Guershwiller.

L'échantillonnage d'ADNe a eu lieu le 20/04/21 sur le pourtour du plan d'eau.

Le plan d'eau de Guershwiller, situé sur la commune de Pfetterhouse, présente une diversité spécifique de 3 espèces. C'est la plus faible diversité par rapports aux autres sites. Uniquement 3 espèces de poissons sont identifiées avec :

- La Perche soleil (57,8%) ;
- Le Brochet (41,2%) ;
- La carpe commune (1%).

À la suite d'un acte de vandalisme, l'étang de Guershwiller a été totalement mis à sec le 14/03/2019. Ces faits ont pu entraîner des conséquences écologiques graves en pleine période de reproduction des amphibiens. Si le site a par la suite été remis en eau, il est également possible que les espèces piscicoles présentes aient pu pâtir de cet évènement. La zone ne présente néanmoins plus aucun enjeu pêche depuis de longues années et aucune gestion particulière n'a été réalisée sur ce compartiment biologique. Posséder ainsi d'une liste faunistique à jour est utile dans le cadre des travaux de restauration écologique envisagés. Ces trois espèces peuvent ainsi potentiellement provenir de sources externes.

En termes de nombres de séquence, un nombre important de séquence peut être relié à :

- Un faible nombre d'individus mais des individus de grandes tailles ;
- Un nombre important d'individus de petite taille.

Le nombre de séquence ADN est ici dominé en termes de proportion par la Perche soleil (espèce exotique envahissante ubiquiste et opportuniste qui a pu se développer sans pressions de prédation particulière). Concernant la carpe commune, l'espèce semble très fortement minoritaire. En revanche le Brochet semble bien représenté sur le site. Lors des inventaires en date du 20/04/21, un individu de grande taille (70-80cm) a été aperçu lors des prélèvements réalisés en bateau le long des berges. Ces observations étaient peu attendues (notamment à cause de la mise à sec de 2019).

❖ Espèces patrimoniales

Tableau 19 : liste des espèces patrimoniales détectées sur les plans d'eau de Guershwiller.

Nom scientifique	Nom vernaculaire	Statuts UICN
Esox lucius	Brochet	**VU**

***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.*

Seul le Brochet a été détecté sur le plan d'eau en tant qu'espèce patrimoniale à enjeu.

❖ Espèces exotiques

Seul la perche soleil a été détecté sur le plan d'eau en tant qu'espèce exotique à enjeu. Cette espèce est inscrite sur la liste des espèces exotiques envahissantes préoccupantes pour l'Union Européenne, en application du règlement européen n°1143/2014 ainsi que dans l'Arrêté du 10 mars 2020 portant mise à jour de la liste des espèces animales et végétales exotiques envahissantes sur le territoire métropolitain. L'espèce ne fait pas l'objet de mesures de gestion en France actuellement, mais des protocoles pour sa gestion (nasses/verveux) sont en cours d'étude notamment dans des zones de marais comme le marais du Trait (PNR des Boucles de la Seine normande). Peu d'étude ont été menées sur le sujet mais l'espèce peut exercer une prédation sur les œufs de poissons autochtone ou sur les petites espèces (invertébrés, mollusques, etc.).

L'espèce est thermophile, grégaire, territoriale et supporte des eaux légèrement salées. C'est une espèce vorace qui consomme des larves d'insectes, des crustacés, des vers et des petits mollusques ainsi que des œufs et alevins de poisson. L'espèce se reproduit en période estivale à travers la construction de nids gardés par les adultes très territoriaux (reproduction multiples).

Figure190 : Illustrations d'une capture de Perche soleil.

❖ Résultats de l'approche multi-spécifique sur les amphibiens

Deux espèces ont été détectées sur les rives du plan d'eau de Guershwiller. Il s'agit de :
- *Bufo sp.* ou le crapeau commun ;
- *Rana temporaria* ou la grenouille rousse ;
- La rainette est présente sur le site mais n'a pas été détecté par ADNe.

f) Volet invertébré

c)

a)

	Amont Guershwiller		Aval Guershwiller	
Nombre de taxons :	15		14	
Classe de variété :	5		5	
Groupe Faunistique Indicateur (/9):	7		3	
Taxon Indicateur :	*Leptophlebiidae*		*Limnephilidae*	
Equivalent I.B.G.N. / 20 :	**11**		**7**	
Taille du cours d'eau /HER /EQR	TP18	0,67	TP18	0,40
Qualité biologique *IBG-DCE	**Moyen**		**Médiocre**	
EQR I2M2	0.2703		0.2595	
Qualité biologique *I2M2	**Médiocre**		**Médiocre**	

** suivant l'arrêté du 28 juillet 2018*

b)

Indices complémentaires	Amont Guershwiller		Aval Guershwiller	
Robustesse (/20) :	7		6	
Equitabilité (max. 1) :	0,50		0,38	
Indice de Shannon : Diversité	2,02		1,53	
Diversité maximale	4,09		4,00	
Taxons dominants	*OLIGOCHETES*	44,44%	*Sphaeriidae*	67,92%
	Sphaeriidae	36,73%	*Simuliidae*	17,27%
EPT (nb à la famille/%)	3	2,01%	2	1,01%
EPT (diversité au genre)	3		2	
Densité (ind/m²)	2895		3465	

Figure191 : Résultats généraux du volet invertébré sur le site de Guershwiller (a), résultats complémentaires (b) et illustrations des groupes indicateurs (c).

❖ Analyse station amont

La station de Guershwiller amont (en amont du plan d'eau du CEN Alsace sur le ruisseau), obtient une note de 11/20 au regard de l'IBGN, un EQR de 0,67 au regard de l'IBG-DCE et un EQR de 0,2703 au regard de l'I2M2. La qualité biologique du cours d'eau est donc qualifiée de Médiocre.
Le groupe indicateur (G.I.) est représenté par les *Leptophlebiidae*, des Ephémères polluosensibles (GI 7/9) préférant les zones préservées. Au regard des nombreuses pressions, perturbations et à la mauvaise qualité biologique, il est particulièrement intéressant d'observer cette espèce à l'amont. Ce fait peut mettre en lumière un certain potentiel de résilience pour ce ruisseau.
La diversité est faible avec 15 taxons différents. La robustesse est mauvaise puisque que la note perd 8 points après la suppression du groupe indicateur. Le taxon indicateur de robustesse est la famille des Limnephilidae (des Trichoptères à fourreaux, bien représentés en zone boisée et peu polluosensibles GI 3/9).

Les taxons les plus polluosensibles (Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères) sont peu représentés. En effet, ils représentent en termes de proportion 2% du peuplement avec uniquement 3 espèces.
Les *Oligochètes* sont le taxon dominant (44,4%), ce sont des vers aquatiques. Le mollusque bivalve filateur du genre *Pisidium* est également très représenté (36,7%). Le troisième taxon dominant est le Diptère de la famille des *Simulidae* (5,41%). Les autres taxons sont faiblement représentés ce que met en avant un déséquilibre avec une forte dominance du peuplement par peu de taxons et par là, une équitabilité faible (0,5).
On note la présence de *Bythinella*, un petit gastéropode spécifique des zones de sources. Certaines espèces de ce genre peuvent être localement rare.
Les insectes représentent 15% du peuplement et parmi eux les Diptères sont majoritaires (85%).

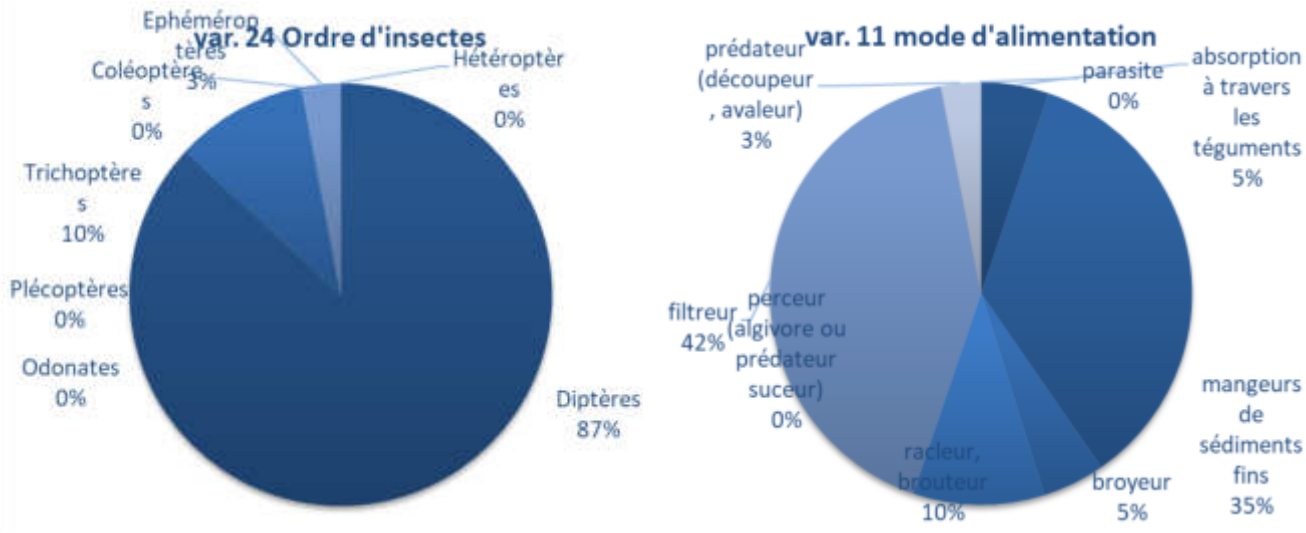


Figure192 : diagramme des proportions des variables 24 (ordres d'insectes) et 11 (modes d'alimentation).

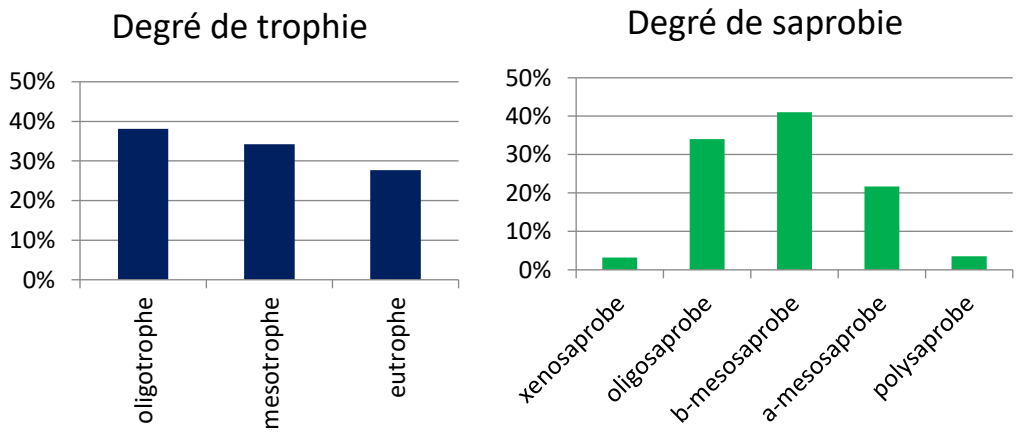
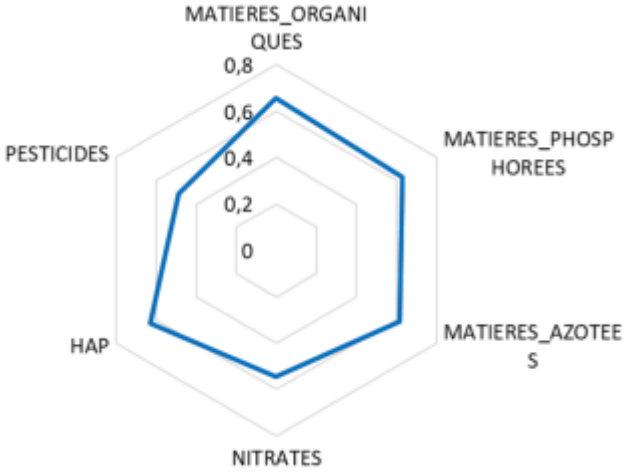


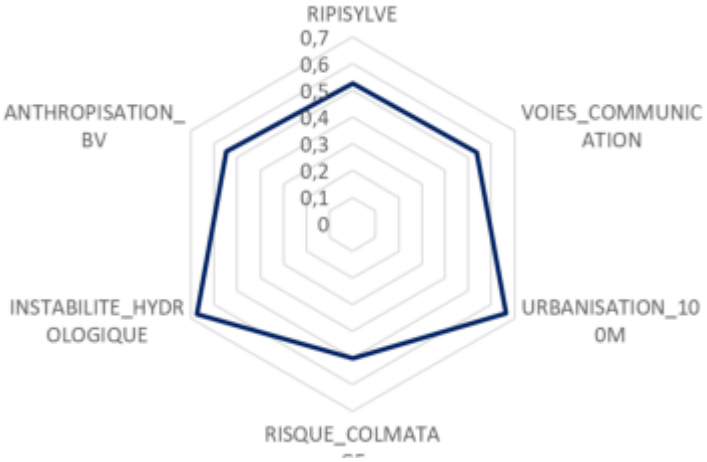
Figure193 : histogramme des degrés de trophie et de saprobie (amont Guerswiller).

Les graphiques indiquent une station à dominance oligotrophe et plutôt b-mésosaprobe à oligosaprobe ce qui met en évidence un ruisseau relativement pauvre en nutriment et en matière organique.

Les filtreurs (42%) et les mangeurs de sédiment fin (35%) sont fortement majoritaires.

Ces deux catégories représentent 77% de la répartition trophique. Cette importante proportion de ces grouppes trophiques met en exergue un milieu riche en sédiment fin et des communauté adapté à se nourrir de particules fines en suspension (notamment issu des étangs ou du ruissellement). Cet agencement trophique est ainsi très particulier et non représentatif de milieux classiques de type ruisseau de tête de bassin ou d'affluent de petit gabarit. Les communautés et le réseau trophique associé, sont donc très structurées par les étangs du bassin eux-mêmes.





la majeure partie des ressources utilisées.

Figure194 : Résultats de l'outil de diagnostic ODInvertebres sur la station amont Guershwiller.

L'outil de diagnostic « ODInvertebres » permets de mettre en évidence des probabilités associées à chaque type d'altération (6 pour la qualité physico-chimique de l'eau : matières organiques, matières phosphorées, matières azotées (hors nitrates), nitrates, HAP, pesticides et 6 relatives à l'hydromorphologie ou à l'utilisation de l'espace dans le bassin versant : ripisylve, voies de communication, urbanisation, colmatage, instabilité hydrologique, anthropisation du bassin versant).
Dans le cas de la station située en amont du plan d'eau, les pressions sont multiples, particulièrement marquées et concernent principalement :

- Les matières organiques ;
- Les matières azotées ;
- Les matières phosphorées ;
- Les HAP ;
- L'anthropisation du bassin versant (bassin versant peu habité en réalité, ce qui met en avant des pressions fortes pour un bassin peu densément peuplé) ;
- Des problématiques concernant la ripisylve ;
- Des effets d'une instabilité hydrologique forte.

❖ Analyse station aval

La station à l'aval du plan d'eau de Guershwiller obtient une note de 7/20 au regard de l'IBGN, un EQR de 0,40 au regard de l'IBG-DCE et un EQR de 0,2595 au regard de l'I2M2.
La qualité biologique de cours d'eau est donc qualifiée de médiocre vis-à-vis de l'I2M2.

Les EQR et les indices sont particulièrement mauvais sur cette station.
Le groupe indicateur (G.I.) est, de fait, très faible (peu pollusensible) et est représenté par les *Limnephilinae*, (GI 3/9) des Trichoptères à fourreaux.
La diversité est moindre qu'en amont avec 14 taxons.
Les peuplements sont très déséquilibrés (0,38). La robustesse est de 6/20 (soit une perte de 8 points) avec le taxon indicateur de robustesse des Mollusques (GI 2/9).

Les taxons les plus polluosensibles (Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères) sont représentés par un seul genre d'Ephémère (*Baetis*) et un seul genre de Tricoptère (*Limnephilidae*) pour 1,01%% du peuplement. En termes de proportion, les bivalves du genre *Pisidium* (67,9%), les Diptères des familles des *Simulidae* (17,2%) et des *Chironomidae* (7,17%) dominent largement le peuplement. Les Diptères représentent ainsi l'ordre des insectes de manière largement majoritaire, à hauteur de 96% sur la station.

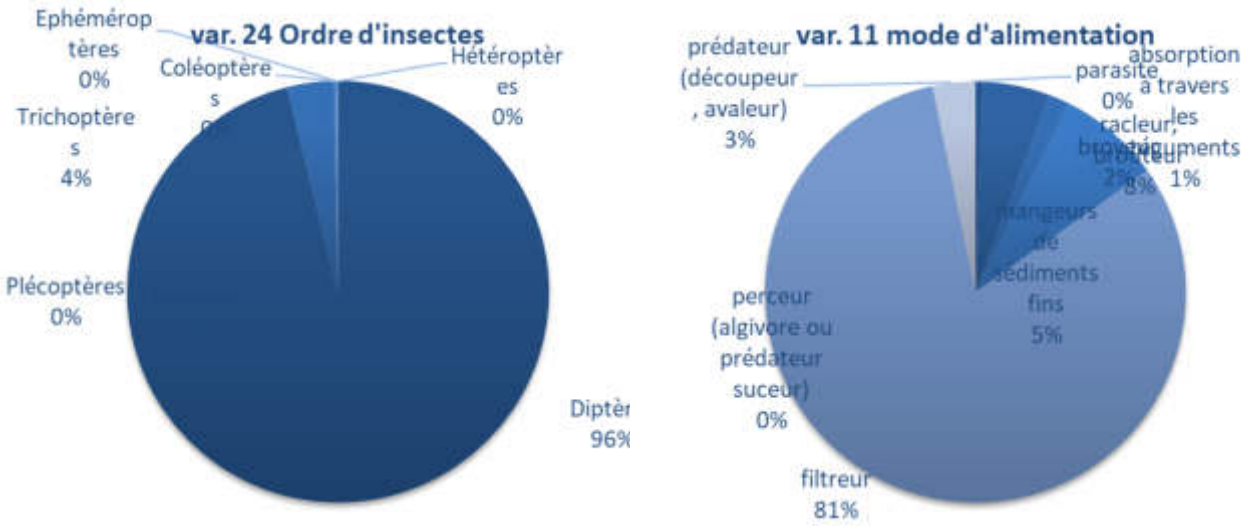


Figure195 : diagramme des proportions des variables 23 (classes) et 11 (modes d'alimentation).

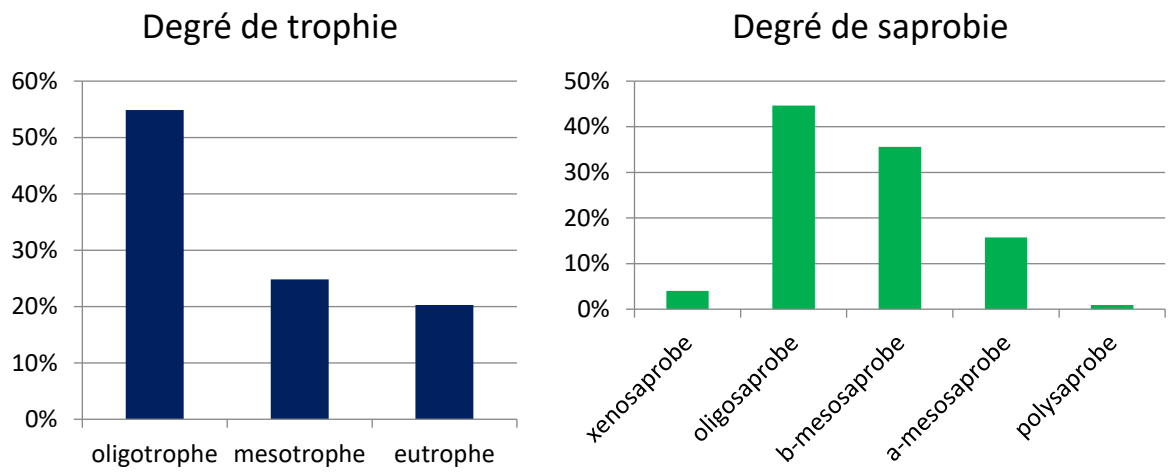
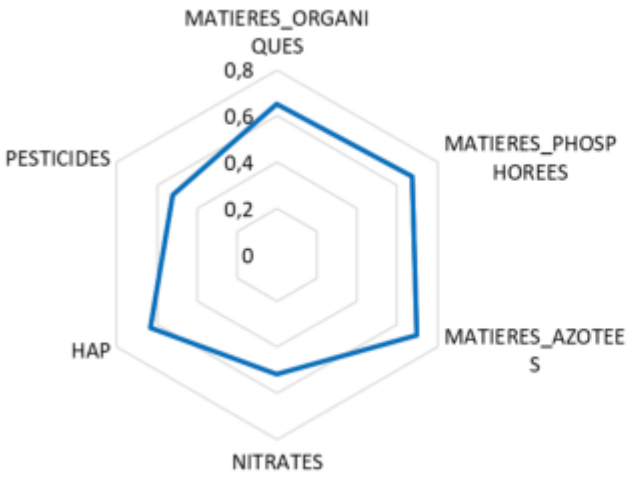


Figure 196 : histogramme des degrés de trophie et de saprobie (aval Guershwiller).

Les graphiques indiquent un milieu oligotrophe et des communautés plutôt oligosaprobe à b-mésosaprobe. Ces indicateurs témoignent ainsi de milieux pauvres en nutriments. Néanmoins il est possible de nuancer ces observations simplement à cause de la très faible diversité et des faibles effectifs comptabilisé sur les deux stations.

Les filtreurs (81%) et les racleur (8%) sont les plus représentés. Ces deux catégories représentent 89% de la répartition trophique. Cette grande proportion de taxons filtreurs par rapport à l'amont témoigne d'un profond déséquilibre des communautés et de leur spécialisation pour l'utilisation des matières fines en suspension (et des dépôts ou biofilm pour les racleurs). L'étang semble donc profondément modifier la ressource alimentaire utilisable en aval et par là, les guildes trophiques implantées dans le ruisseau (individus filtreurs à 81%).



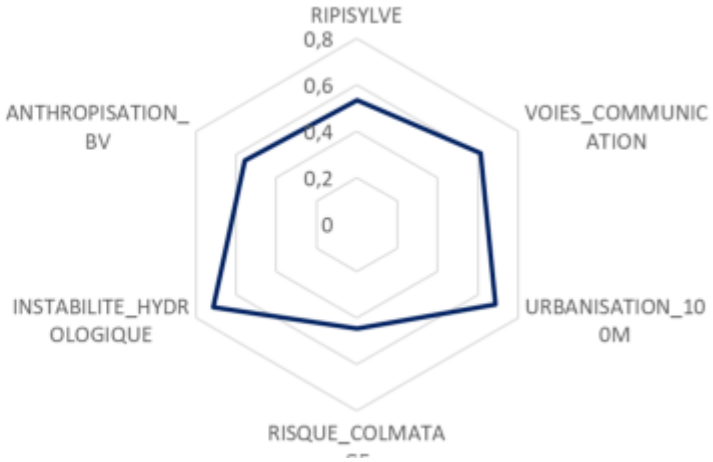


Figure197 : Résultats de l'outil de diagnostic ODInvertebres sur la station aval Guershwiller.

L'outil de diagnostic « ODInvertebres » permets de mettre en évidence des typologies de pression similaire à l'amont avec :

- Les matières organiques ;
- Les HAP
- Les matières azotées ;
- Les matières phosphorées ;
- Des effets d'une instabilité hydrologique ;
- L'urbanisation des rives (ce qui met en avant un profond déséquilibre) ;
- Les pesticides et le colmatage dans une moindre mesure ;

Néanmoins on note que les indices des pressions « colmatage » et « anthropisation » sont légèrement moins important qu'à l'amont.

❖ Analyse globale

La comparaison entre les résultats obtenus à l'amont et à l'aval du plan d'eau de Chavannes, permet de mettre en évidence plusieurs points :

➔ Si aucune différence n'est observée au niveau des classes de qualités (médiocre dans les deux cas), des divergences légères sont observées à l'échelle des indices produits avec une disparition de certains groupes plus polluosensibles en aval ;

➔ Les peuplements sont globalement très altérés dès l'amont. Le cours d'eau est très perturbé et appauvri en termes de :
  - Densité faible ;
  - Diversité faible ;
  - Peuplement majoritairement polluorésistant ;
  - Déséquilibre trophique ou non concordance des traits biologiques par rapport à ce qui est attendu pour une typologie de petit ruisseau.

➔ Un grand nombre de pressions diverses sont recensées mettant en avant une fragilité forte du ruisseau de Guershwiler (HAP, matière azotées, matières phosphorées, matières organiques et instabilité hydrologique notamment) ;

➔ Un milieu plus oligotrophe en aval mettant en avant un éventuelle rôle « tampon » de l'étang.

g) Volet astacicole

Plusieurs campagnes de piégeage à l'aide de 4 nasses réparties sur chacune des rives du plan d'eau ont été réalisées. Mais aucune écrevisse n'a été capturé durant le suivi. En revanche des perches soleil ont été capturées.

Ce qu'il faut retenir : Guerschwiller

Approche physique

- Le ruisseau de Guershwiller est caractérisé par une importante **instabilité hydrologique**, des débits faibles et un environnement naturel forestier ;
- Le plan d'eau possède un **marnage saisonnier naturel** de plus de 30cm en 2021, sa hauteur est directement reliée aux épisodes de ruissellement ;
- Le plan d'eau est caractérisé par une **forte densité d'habitats aquatique et rivulaire** (herbiers, bois morts, roselière, etc.) et une **turbidité faible** ;
- Plusieurs paramètres peuvent être problématiques en termes de **physico-chimie** comme les nitrites, l'ammonium et les phosphates. Les concentrations les plus importantes sont mesurées dans le plan d'eau et en aval éloigné mais pas dans le ruisseau. Le plan d'eau semble avoir un effet tampon ou **d'abattement des concentrations sur les nutriments** ;
- Le rapport de Redfield met en évidence la nécessité d'agir sur les phosphates (facteur limitant) ;

Approche biologique

- Le volet ADNe a mis en évidence **3 espèces de poissons dans le plan d'eau de Guershwiller** dont une espèce patrimoniale et une espèce exotique envahissante en grande proportion. Les enjeux piscicoles sont très limités ;
- Deux espèces d'amphibiens sont identifiées sur les berges ;
- L'étude des invertébrés a mis en évidence des **peuplements particulièrement altérés et ce dès l'amont.** Mais des différences sont aussi identifiées entre l'amont et l'aval au niveau des indices avec une **perte du groupe indicateur et une altération forte des communautés** (l'étang impacte la ressource alimentaire disponible en aval et à travers cela, les guildes trophiques) ;
- L'étude des traits biologiques croisée avec l'étude des nutriments met en évidence un milieu **oligotrophe**, moins impacté par les nutriments que l'ensemble des autres sites étudiés ;
- Les outils de diagnostics liés à l'étude des invertébrés mettent en lumière un **grand nombre de pressions**. Le ruisseau est particulièrement touché par : HAP, matière azotées, matières phosphorées, matières organiques et instabilité hydrologique, notamment dès l'amont ;

Perspectives

- Des **pressions multiples** et importantes sont identifiées dès l'amont du plan d'eau de Guershwiller. Mettant en avant la nécessité d'agir sur la qualité biologique, la morphologique et la physico-chimie du ruisseau ;
- Une **forte résilience et un bon potentiel** sont néanmoins identifiés sur le ruisseau (invertébré, oligotrophie, amphibien, etc.)
- **Les impacts du plan d'eau semblent limités mais l'intérêt de l'amélioration des caractéristiques du ruisseau est mis en avant**. Les thèmes principaux à apporter une attention particulière sont :
  - Régime hydrologique du ruisseau ;
  - Marnage du plan d'eau ;
  - Caractéristiques du plan d'eau (riche en habitats dont herbiers) ;
  - Nature oligotrophe du ruisseau et du plan d'eau ;
  - Physico-chimie à suivre après une éventuelle déconnexion du plan d'eau (« effet tampon » sur les nutriments du plan d'eau) ;
  - L'altération des peuplements par l'étang (invertébrés) et la potentielle résilience des communautés en amont.

- Une étude d'avant-projet parallèle est réalisée par le CEN Alsace et FluvialIS en 2022/2023 pour l'émergence de travaux de restauration sur le site à court terme.

5. Le site de Pfetterhouse

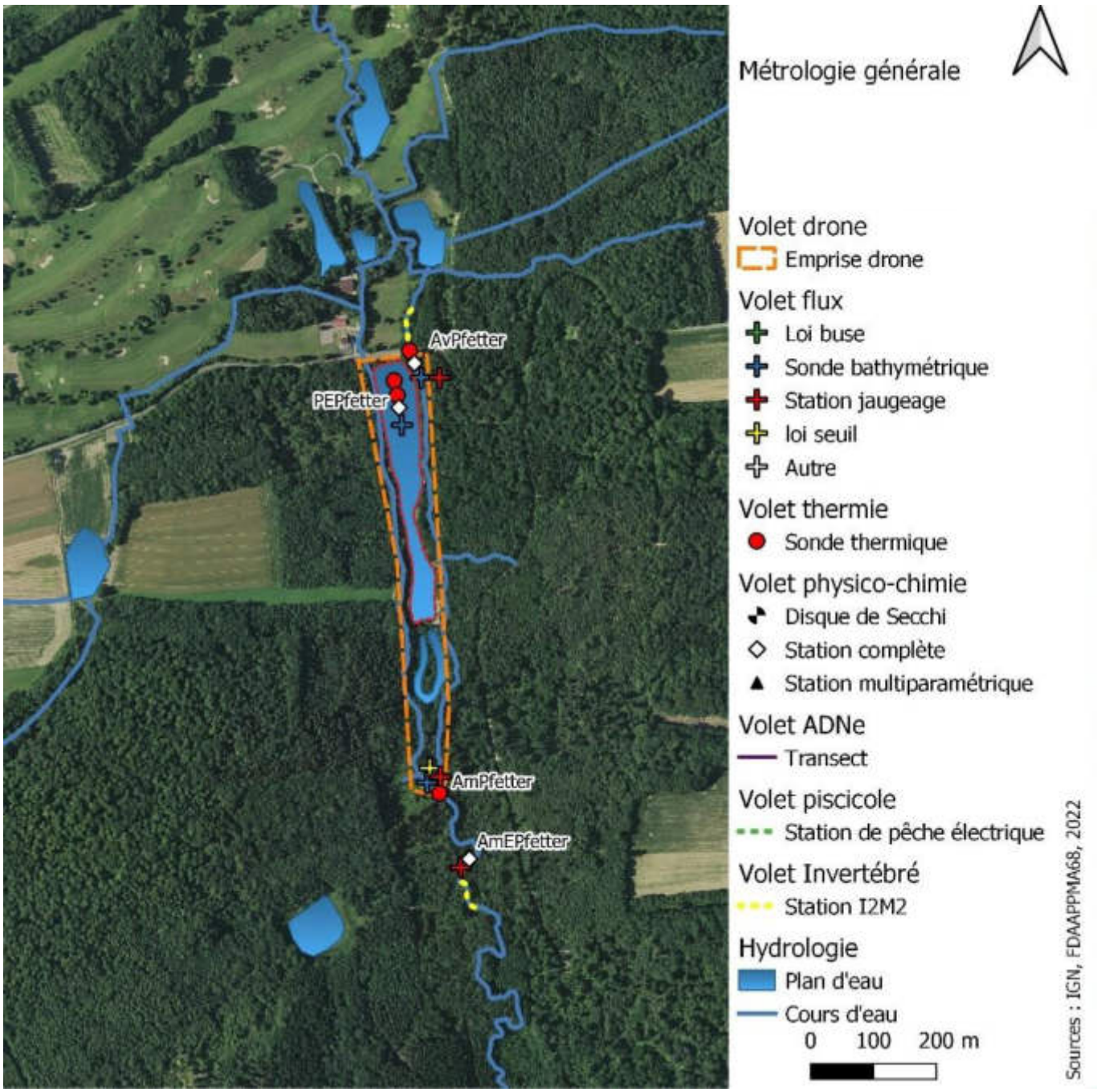


Figure 198 : Cartographie schématique de la métrologie déployée sur le site de Pfetterhouse et noms des stations.

a) Volet drone

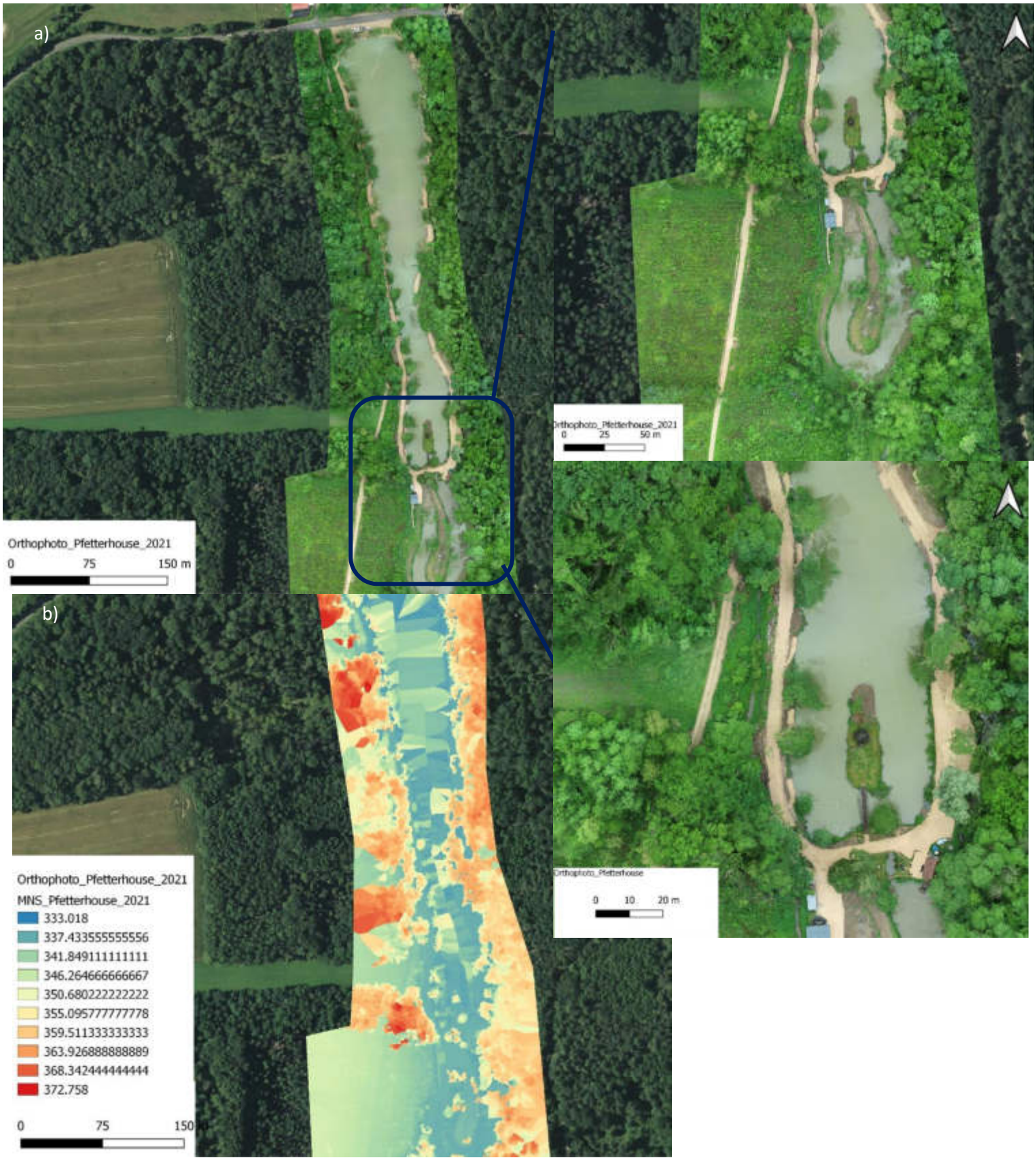


Figure 199 : Orthophotographie de précision (a) et Modèle Numérique de Terrain (b) du site de Pfetterhouse.

b) Volet flux

Afin de suivre les variations hydrologiques de la Largue à Pfetterhouse, les amplitudes de marnage de l'étang et produire un bilan des flux du système, plusieurs approches sont déployées :

- Approche par jaugeage avec trois stations de mesure à l'aide d'un courantomètre en amont éloigné (suffisamment éloigné de la zone d'influence de l'étang), en position médiane (juste en aval des ouvrages situés au Sud) et en aval (proche du pont au Nord) à raison de 5 campagnes ;
- Mesure des variations de hauteur de l'étang de Chavannes à l'aide d'une sonde bathymétrique ;
- Mesure des variations de hauteur de la Largue en amont (au droit des ouvrages) et en aval ;
- Estimations des flux sortants des ouvrages par le calcul.

Les jeux de données prennent en compte la période du 10/04/21 au 05/10/21 (et jusqu'au 16/11/21 pour le marnage du plan d'eau).

❖ Régime hydrologique de la Largue

La Largue est caractérisée par un régime hydrologique très variables avec des étiages sévères et des pics de crues importants. L'étude des débits biologiques minimaux réalisée en 2021 a permis d'identifier les débits caractéristiques de la Largue sur 5 secteurs principaux (Skora 2021). La station de Friesen étant localisée près de 4km en aval du site étudié, il apparait plus pertinent de se baser sur les caractéristiques des mesures de l'EPAGE Largue à Seppois-le-haut.

Tableau 20 : principales caractéristiques morphologiques et hydrologiques de la Largue (source : EPAGE LARGUE – Skora 2021).

	QMNA 1/2 inf (L/s)	QMNA 1/5 inf (l/s)	VCN3 1/5 inf (L/s)	DCEinf (L/s)	Module (L/s)
Courtavon	53	35	23	28	190
Seppois-le-haut	109	51	24	35	360
Friesen	344	279	225	25	1100
Altenach	308	230	155	183	1440
Spechbach	434	325	220	260	2820

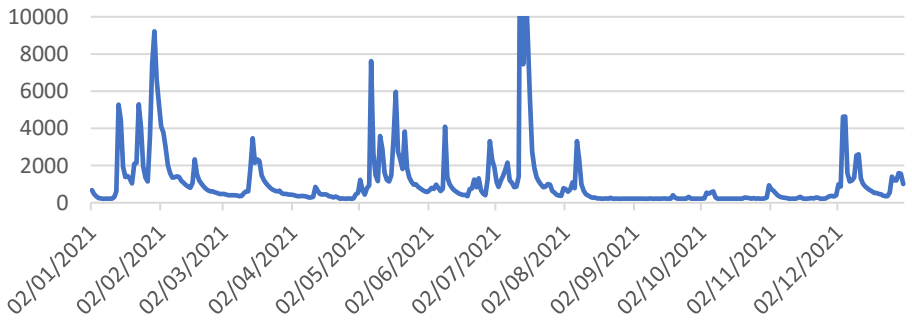


Figure 200 : débit de la Largue en 2021 au niveau de la station de Friesen (sources : hydroportail 2022).

L'année 2021 a été caractérisée par une pluviométrie importante et des crues estivales marquées et régulières (notamment en mai, juillet et aout 2021).

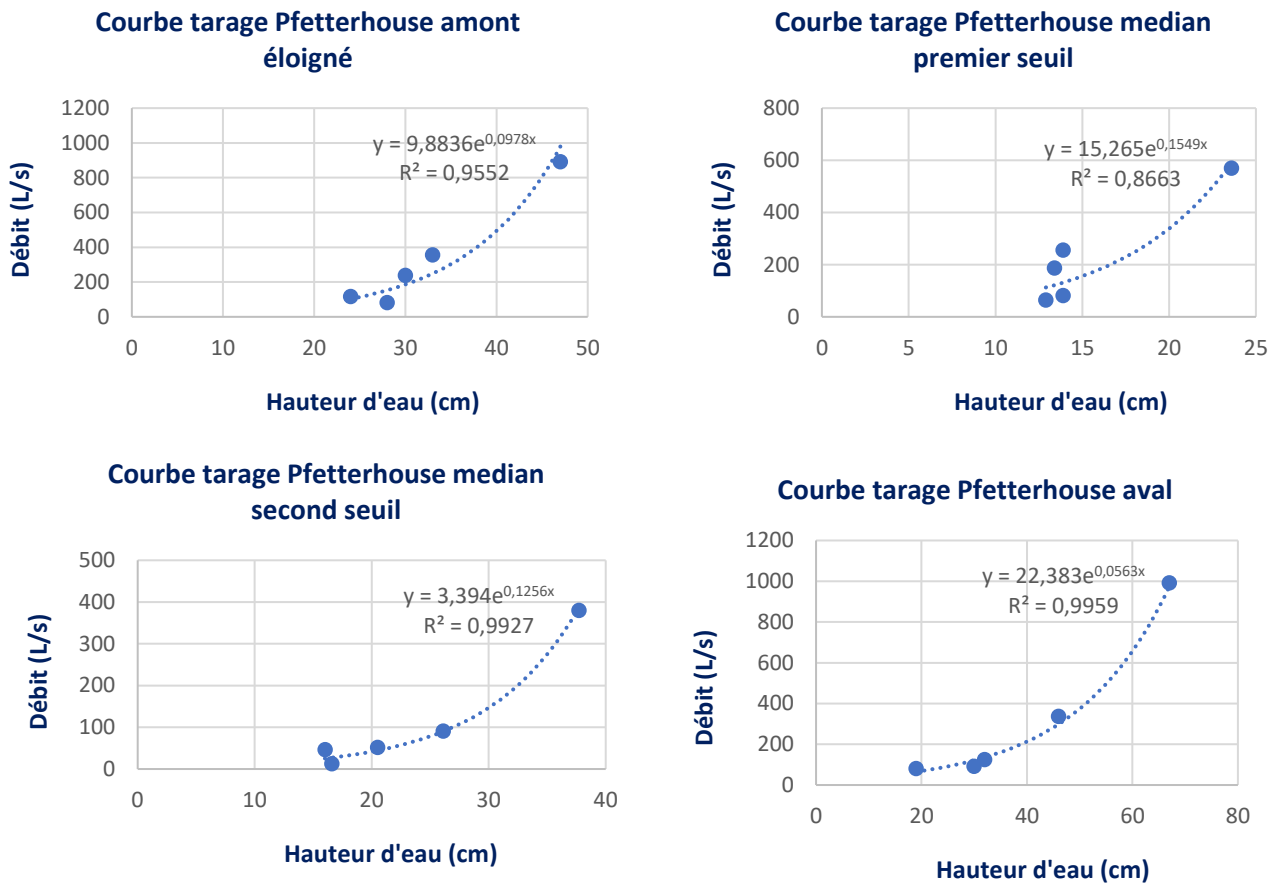


Figure201 : Courbes de tarages produites sur la Largue à Pfetterhouse.

Les 5 campagnes de jaugeage ont permis de mettre en lumière un régime hydrologique très hétérogène.

En effet, si le débit moyen mesuré est de 336L/s en amont et 325L/s en aval (d'avril à octobre 2021), d'importante variations sont mises en évidences (maximum amont = 890L/s ; minimum amont = 81L/s ; maximum aval = 991L/s ; minimum aval = 81L/s). Si l'hydrologie de l'été 2021 est peu représentative de la norme (année record en termes de pluviométrie) on peut mettre en avant des débits estivaux autours des 200L/s.

Tableau 21 : Résultats des mesures au courantomètre sur les stations de jaugeage en amont et en aval du plan d'eau.

Date	Q_amont (L/s)	H_amont (cm)
23/04/2021	116,33	24,0
12/05/2021	890,94	47,0
03/06/2021	237,86	30,0
02/07/2021	355,29	33,0
30/08/2021	81,64	28,0

Date	Q_aval (L/s)	H_aval (cm)
23/04/2021	92,30	30,0
12/05/2021	991,42	67,0
03/06/2021	124,43	32,0
02/07/2021	337,52	46,0
30/08/2021	81,34	19,0

Date	Q_seuil_1 (L/s)	H_seuil_1 (cm)
23/04/2021	81,18	13,9
12/05/2021	569,67	23,6
03/06/2021	186,00	13,4
02/07/2021	254,60	13,9
30/08/2021	63,92	12,9

Date	Q_seuil_2 (L/s)	H_seuil_2 (cm)
23/04/2021	46,71	16,0
12/05/2021	380,15	37,7
03/06/2021	51,80	20,5
02/07/2021	90,90	26,1
30/08/2021	12,77	16,6

Les mesures sont dans 80% des cas plus élevées en amont (d'avril à octobre) et 20% des cas plus élevées en aval (uniquement pour mai 2021), mais restent malgré tout très proches. Le débit semble ainsi en général supérieur en amont en été mais supérieur en aval au printemps.

❖ Variations des niveaux d'eau et estimation des débits de la Largue

Les variations des hauteurs d'eau de la Largue en position aval et en position médiane (au droit des ouvrages de prise d'eau et des seuils) ont pu être mesurées d'avril à octobre 2021. L'estimation des débits en position amont et aval est permise par le calcul.
Il convient néanmoins de rester prudent quant à l'interprétation des données par leur nature (estimation calculée sur la base de mesures de hauteurs et non de jaugeages précis). Ces estimations sont malgré tout très informatives pour suivre les variations saisonnières. De plus, elles nous renseignent sur l'impact de la prise d'eau située en position médiane.

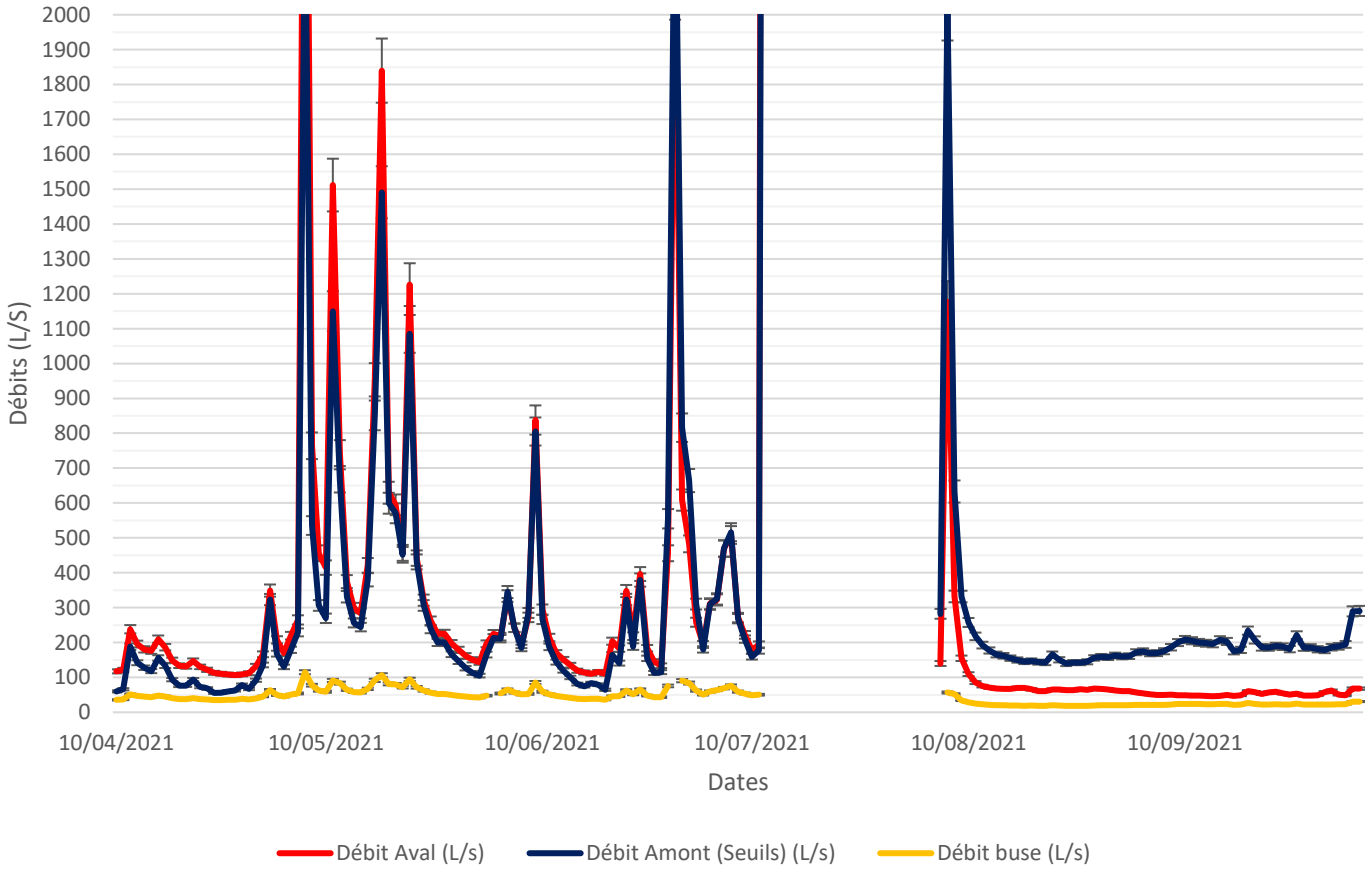


Figure202 : Débits estimés en amont, en aval et prélevés d'avril à octobre 2021.

Lors de la période étudiée, les estimations présentent des valeurs plus importantes en amont 45,8% du temps. Ces observations mettent en avant un prélèvement significatif qui concorde avec les valeurs obtenues par jaugeage (80% des valeurs de débit mesurées sont supérieures en amont). Le débit semble ainsi en général inférieur en amont au printemps mais supérieur en amont en été à partir de juillet.
Les estimations présentent un écart important en 2021 avec des valeurs extrêmes :

- Près de 10 000L/s au maximum, estimés en aval en juillet ;
- Moins de 50L/s au minium en amont et en aval en période d'étiage en septembre.

Les estimations sont à nuancer lorsque les valeurs de hauteurs sont extrêmes (périodes de crues importantes en mai et juillet notamment). En effet, les intervalles de confiances sont très faibles dans ces cas. De plus, l'année 2021 ayant été particulièrement riche en épisode de forte précipitation, il reste ainsi complexe d'estimer avec précision les débits de crues et les intervalles de confiance en relation. Néanmoins le comparatif avec les valeurs obtenue à Friesen permet de mettre en avant des tendances similaires sur ces épisodes critiques (périodes et ordre de grandeurs).

Tableau 22 : Caractéristiques principales des estimations de débits sur le site de Pfetterhouse sur la période d'avril à octobre 2021.

Période du 10 avril au 10 octobre 2021 - Débit Q (L/s)	Moyenne	Ecart type	Max	Min
Seuil 1	175,4	86,4	756,2	30,5
Seuil 2	164,2	202,2	7190,7	24,4
Am Pfetter S1+S2	339,6	278,6	7493,5	55,5
Av Pfetter	312,8	4332,9	9825,9	45,9
Buse	42,5	17,0	114,8	18,3
Frisen	1167,0	1046,5	22352,7	220,0
Am Pfetter	381,8	289,7	7607,5	90,3

	Moyenne Débit (L/s) S1	Moyenne de Débit (L/s) S2	Moyenne de Débit (L/s) AmPfetter	Moyenne Débit (L/s) AvPfetter	Moyenne Débit (L/s) Prise d'eau	Proportion prlvt (%)
avr	58,7	33,8	132,5	144,2	39,9	30,2
mai	254,8	216,3	537,1	577,1	66,1	12,3
juin	160,3	145,8	359,6	305,3	52,1	14,5
juil	256,9	788,0	1096,9	26562,5	61,5	5,6
août	171,3	92,2	286,2	127,8	23,6	8,2
sept	156,1	32,7	211,3	51,9	22,5	10,7
oct	188,9	41,0	255,8	59,3	25,9	10,1

	Période du 10 avril au 10 octobre			Période du 10 avril au 10 juillet		
Nombre de jours de mesure	155,0	100,0	%	94,0	100,0	%
Nombre de jours de mesure débit AmPfetter < AvPfetter	84,0	54,2	%	84,0	89,4	%
Nombre de jours de mesure débit AmPfetter > AvPfetter	71,0	45,8	%	10,0	10,6	%

En effet, les résultats mettent en avant 5,6 à 30,2% de prélèvement du débit estimé de la Largue amont vers le ruisseau du moulin alimentant les divers plans d'eau au Nord (dont le site étudié). Le tronçon étudié entre la station amont et le golf de Mooslargue (confluence) peut être affilié en termes de fonctionnalité à un tronçon court-circuité. Les débits estimés prélevés via la buse sont très variables. De plus, aucune possibilité de réelle gestion des niveaux d'eau, du débit sortant ou entrant n'est actuellement permise par l'exploitant. Il serait particulièrement pertinent au vu des enjeux que le propriétaire entreprenne la mise en place d'un système de manœuvre sur les ouvrages. Lors des investigations de terrain des échanges ont pu être réalisés auprès du propriétaire pour le sensibiliser sur 4 axes dont :

- ➔ Rénovation des ouvrages et réflexion sur une réelle possibilité de manœuvre et de gestion des niveaux d'eau (et des débits) ;
- ➔ Possibilité de réduire au minimum les prélèvements de l'étang (voir de les stopper en période d'étiage) ;
- ➔ Réflexion sur la franchissabilité des deux ouvrages de rehausse de côte d'eau (particulièrement structurant et infranchissable pour la faune piscicole) ;
- ➔ Réflexion sur la pertinence du classement cours d'eau du ruisseau du moulin (alimenté par la buse) qui alimente les étangs.

❖ Variation des niveaux d'eau de l'étang

Les variations des hauteurs d'eau de l'étang ont pu être mesurées d'avril à novembre. Globalement, les variations sont très faibles avec un marnage de 21,4cm sur la période d'avril à septembre (hauteur d'eau maximum = 266,7cm ; hauteur d'eau minimum = 245,3cm). En revanche l'analyse des données a également permis de mettre en évidence une baisse importante du niveau du plan d'eau entre le 01/11/21 et le 10/11/21. Cette baisse correspond donc à une importante vidange observée sur un temps court de moins de 10 jours. Les variations des niveaux du plan d'eau ne sont pas corrélées avec les variations de débits. Les variations de débits entrant et sortant sont plus la résultante des manœuvres de gestion. De plus durant la période étudiée, le propriétaire a mis en avant ses besoins de préserver une eau réchauffée et de limiter aussi bien les sorties d'eaux que les entrés d'eaux dans son étang. La très grande majorité du débit transitant par la buse et le ruisseau semble donc être destiné à l'aval (plutôt qu'au plan d'eau étudié).

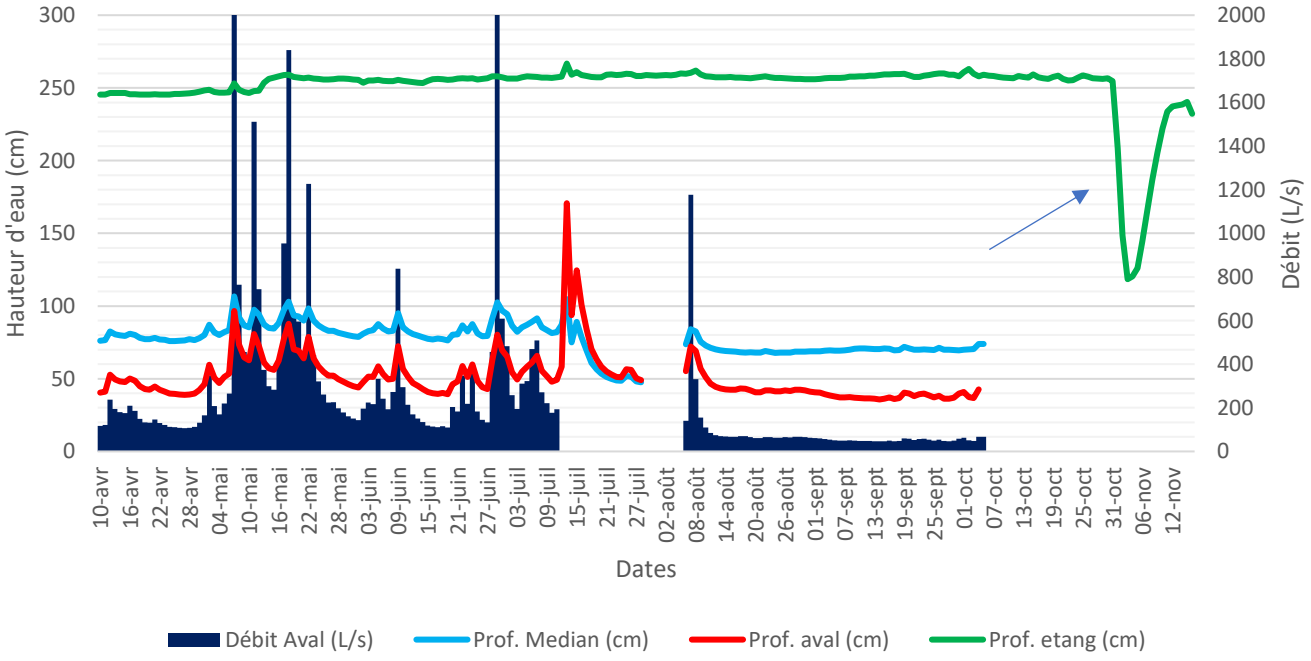


Figure203 : Hauteur d'eau du plan d'eau de Pfetterhouse, de la Largue et débits estimés en aval d'avril à novembre 2021.

Une attention particulière doit aussi être apporter aux pratiques de gestions et à la sensibilisation de l'exploitant. En effet, la vidange mis en exergue par la sonde a été réalisé hors période autorisé (flèche figure203). Pour rappel : « Si les eaux de vidange s'écoulent directement, ou par l'intermédiaire d'un fossé ou exutoire, dans un cours d'eau de première catégorie piscicole, la vidange d'un plan d'eau est interdite pendant la période du 1er novembre au 31 mars » (Art.17 de 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).

- Bilan des flux

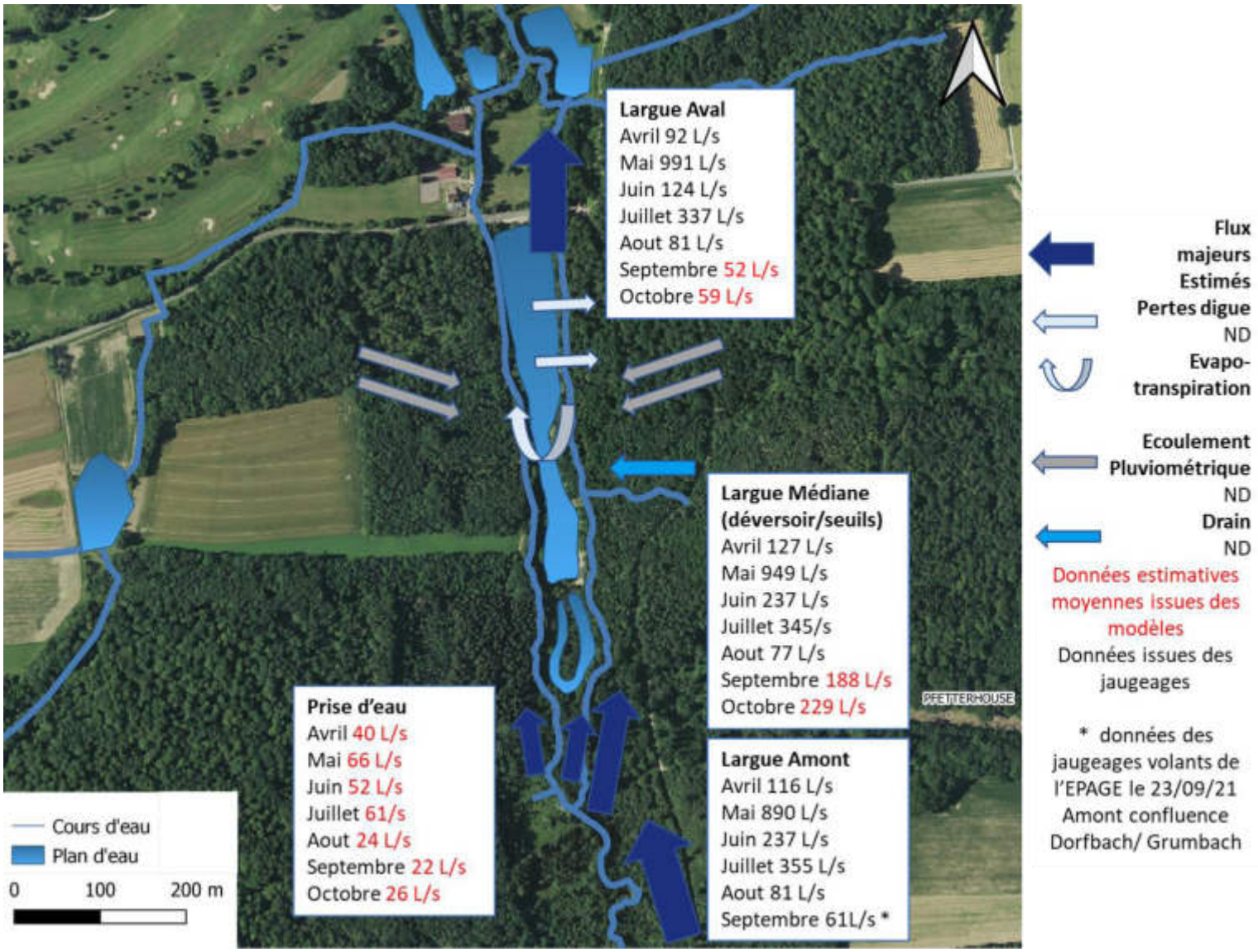


Figure204 : Bilan des flux sur le site de Pfetterhouse.

Les composantes principales du bilan hydrologique sont :

- ➔ L'apport d'eau par le ruisseau du moulin (en dérivation de la Largue) via le Sud de l'étang ;
- ➔ Les apports en eau atmosphérique (précipitations) ;
- ➔ Les apports d'eau par ruissellements via les ruissellements forestier ;
- ➔ Les pertes en eaux au niveau de la digue à l'Est ;
- ➔ Les pertes en eaux via le déversoir et le moine du plan d'eau vers l'aval de la Largue.

c) Volet thermie

Afin de suivre les variations thermiques de la Largue et de l'étang et dans le but d'identifier et de quantifier l'impact thermique du plan d'eau, 4 stations ont été suivies du 10/04/21 au 12/11/21 avec :

- L'amont (AmPfetter) ;
- L'aval (AvPfetter) ;
- La surface du plan d'eau (SurfacePfetter) ;
- Le fond du plan d'eau (à 2,50m - FondPfetter) ;
- La station LG04 qui correspond à la stations « Pfetterhouse la charbonnière » incluse dans l'étude thermique départementale de la FDAAPPMA68 et présentée à titre comparatif. Cette station est située en amont éloigné à 1,8km environ.

❖ Températures moyennes journalières

Les profils thermiques généraux de l'ensemble des stations sont caractérisés par des amplitudes thermiques relativement importante entre avril et septembre.

C'est particulièrement le cas à la surface du plan d'eau avec 16,9°C de différence entre les valeurs les plus baisses et les plus hautes de la station. La température la plus faible est mesurée à l'aval en avril (6,19°C) et la température instantanée la plus chaude est mesurée sur la surface du plan d'eau (26,6°C le 19/06/21). Les réchauffements de l'eau les plus importants sont observés : en juin, fin juillet et en aout. L'année 2021 est caractérisé par des températures estivales en juillet-aout plus faibles que les moyennes saisonnières classiques.

Les profils thermiques de l'amont, l'aval et à la surface de l'étang, suivent les mêmes variations liées à la météorologie et aux variations de température atmosphériques.

Néanmoins un écart important est visible entre les stations situées sur la Largue (amont et aval) et celle de la surface du plan d'eau. Cette observation est valable pour l'ensemble de l'étude (écart réduit en avril mais très important en été avec par exemple 7,3°C de différence le 20/06/21).

Le profil thermique du fond du plan d'eau diverge en revanche des autres. En effet, les variations de température sont moins marquées et les amplitudes plus faibles. Le plan d'eau de Pfetterhouse semble présenter une stratification thermique modérée (ou partielle). Avec :

- Au printemps des amplitudes plus importantes ;
- En été des amplitudes thermiques très faibles et une température homogène (entre 18 et 20°C).

Enfin, les profils thermiques de l'amont et de l'aval de la Largue sont pratiquement superposés tout au long de l'étude (aussi bien en termes de profil que de médiane cf. figure205, lignes bleu et rouge et boxplots figure 206).

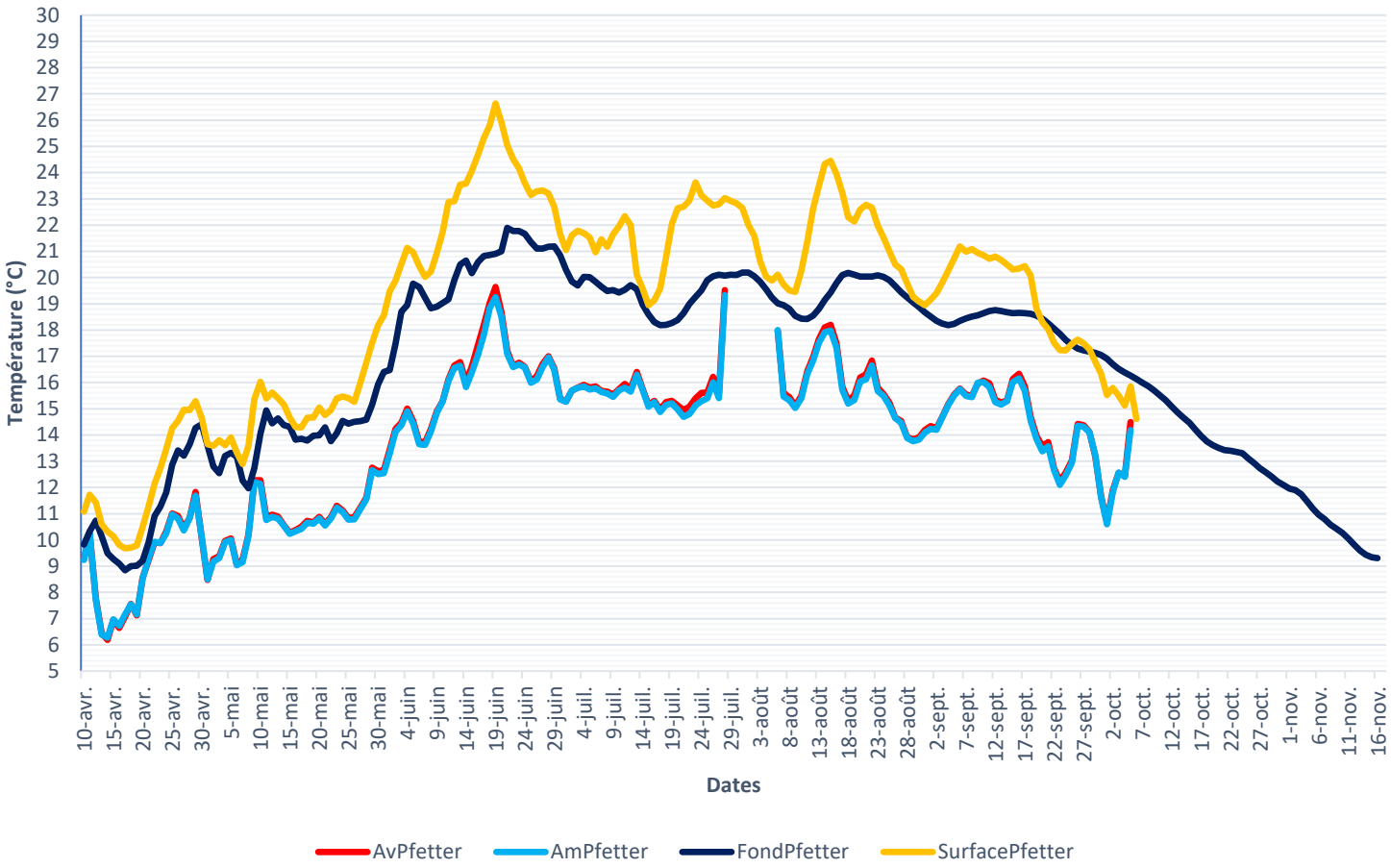


Figure 205 : profil thermique et températures moyennes journalières des 4 stations du site de Pfetterhouse.

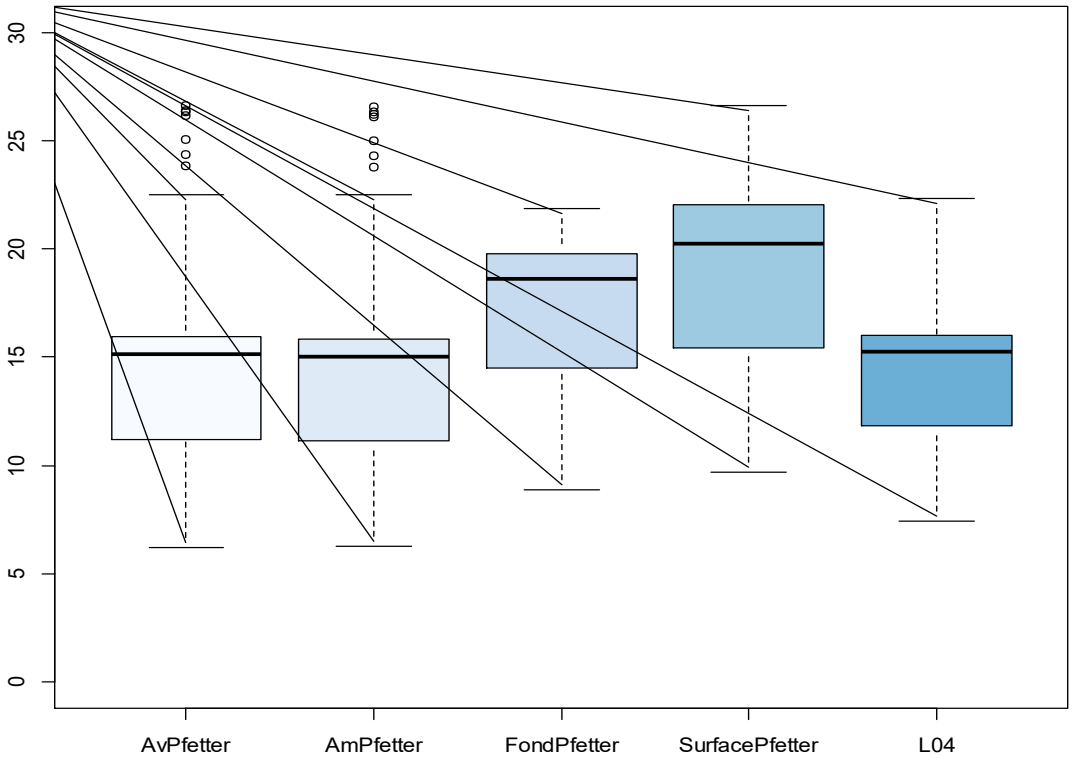


Figure 206 : boxplots des températures moyennes sur 6 mois des 4 stations du site de Pfetterhouse.

❖ Régimes thermiques mensuels

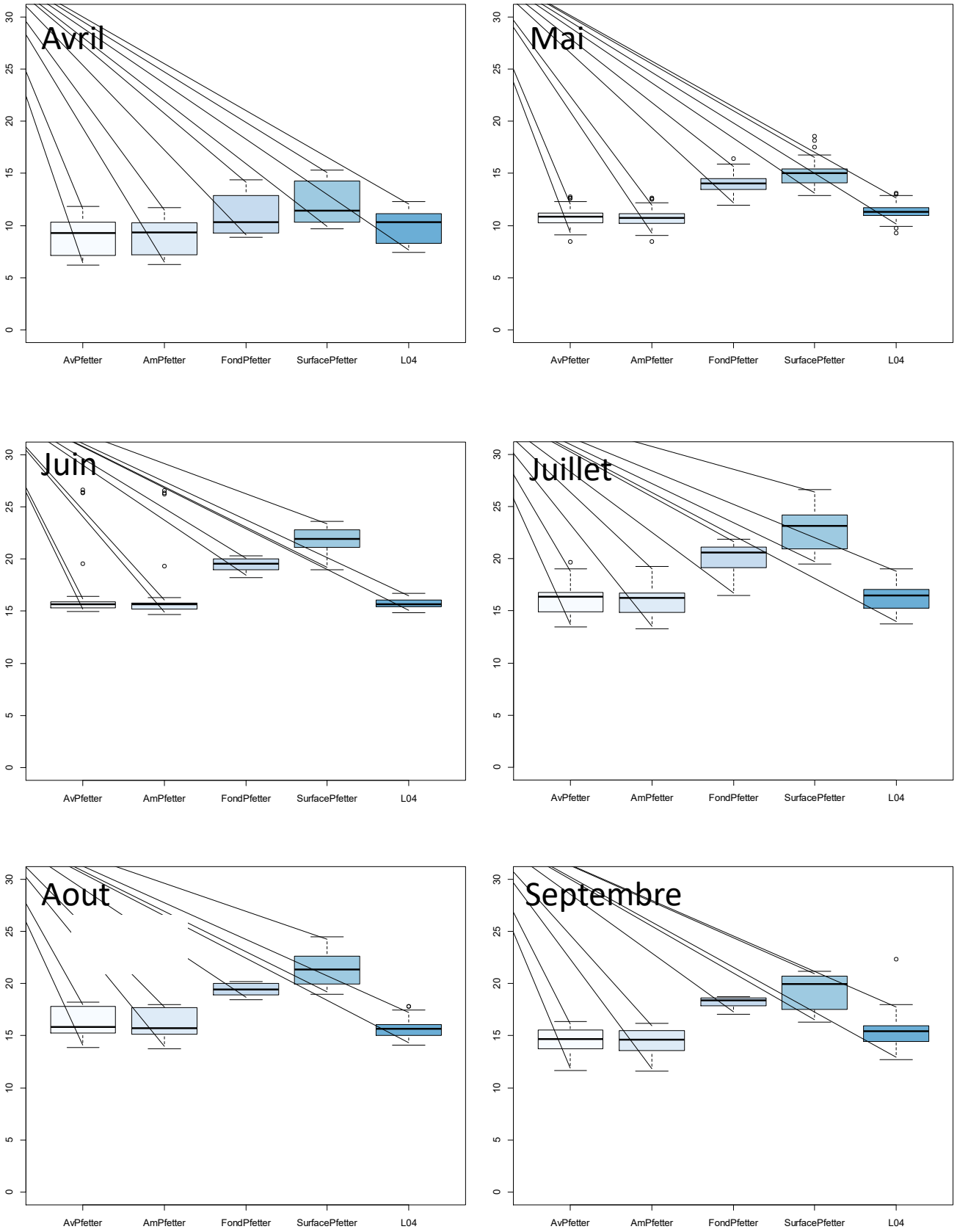


Figure 207 : boxplots des températures moyennes mensuelles des 5 stations du site de Pfetterhouse.

❖ Identification et quantification de l'impact thermique du plan d'eau

Une analyse statistique comparative entre l'amont (AmPfetter) et l'aval (AvPfetter) est réalisée afin de connaitre la significativité de l'impact du plan d'eau. L'hypothèse est la suivante : est-ce que la thermie est différente en aval de l'étang ? Le but est de déterminer si la différence entre l'amont et l'aval est significative (potentiellement à cause du plan d'eau) et non due au hasard. Le test est un test de Student apparié avec les hypothèses suivantes :

- H0 = Pas de différence entre l'amont et l'aval, intervention du hasard
- H1 = Différence entre l'amont et l'aval, non due au hasard

Les résultats du test permettent de mettre en avant des différences non-significatives pour l'ensemble des périodes étudiées entre l'amont et l'aval (Pvalue=0,83>0,05). Ainsi les moyennes de températures ne sont pas plus élevées en aval du plan d'eau qu'en amont (tableau de significativité consultable en annexe).

Comparatif Amont / Aval Pfetterhouse

Test Student apparié	Moyennes journalières
Statistique t	0.2142
Dégré de liberté	343.98
P-valeur	0.8305
Intervalle de confiance (95%)	-0.7068612 0.8796397
Moyenne de la différence	14.36062 14.27423
Décision	p-valeur>0,05 accept H0

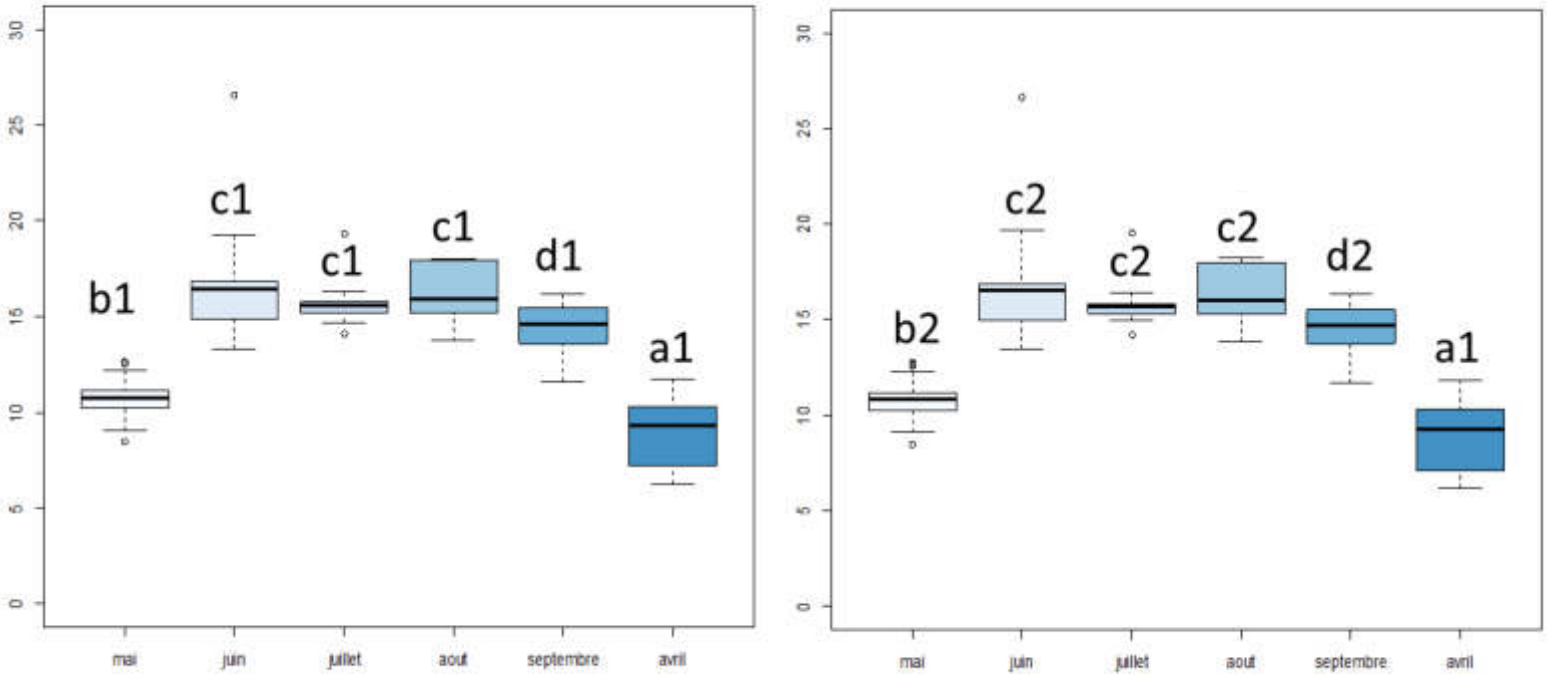


Figure 208 : Boxplots comparatifs des températures moyennes mensuelles entre l'amont (gauche) et l'aval (droite) du plan d'eau de Pfetterhouse. Les lettres représentent les groupes de significativités issus du comparatif intra-station et les chiffres les groupes issus du comparatif inter-stations.

Les données thermiques ont été comparées entre les mois au sein d'une même station (comparatif intra-station) et entres stations pour un même mois (comparatif inter-station). Ainsi :

- À l'amont : un réchauffement important est observé entre mai et juin. Les mois suivants sont relativement plus homogènes. Avril est le mois le plus frais Les moyennes de température de juin, juillet et aout ne sont pas significativement différentes (Pvalue=0,065). Les écarts les plus importants sont observés au printemps.
- A l'aval : un réchauffement plus marqué est observé entre mai et juin. Le mois le plus chaud est le moins de juin, ce qui est une particularité de 2021 à cause de la pluviométrie très importante de mai, juillet et aout. Les moyennes de juin, juillet et aout ne sont pas significativement différentes entres elles (Pvalue>0,05).
- Si on compare l'amont et l'aval, la plupart des moyennes mensuelles est significativement différente de mai à aout (Pvalue<0,05). Les température moyennes d'avril ne sont pas significativement différentes (Pvalue=0,778). Si une divergence légère est validée entre l'amont et l'aval, il convient de la quantifier (tableau 23).

Tableau 23 : Résultats des moyennes mensuelles du site de Chavannes et quantification de l'impact thermique de l'étang.

Moyennes mensuelles	AvPfetter	AmPfetter	FondPfetter	SurfacePfetter	Effet étang	Ecart Type	Différence Surf/Fond
avr-21	8,97	8,96	10,99	12,05	0,01	0,06	1,07
mai-21	10,75	10,69	14,00	15,07	0,07	0,03	1,07
juin-21	16,13	16,00	20,18	22,84	0,13	0,10	2,66
juil-21	16,75	16,63	19,43	21,75	0,12	0,09	2,32
août-21	17,23	17,13	19,43	21,34	0,10	0,06	1,91
sept-21	14,58	14,50	18,19	19,28	0,08	0,06	1,09
oct-21	13,24	13,14	16,48	15,40	0,10	0,11	-1,08

Le comparatif des écarts thermiques entre l'amont et l'aval de l'étang permet de quantifier l'impact thermique relatif au plan d'eau. L'impact du plan d'eau de Pfetterhouse sur la Largue est ainsi estimé à +0,08°C sur la période étudiée (avril-octobre). L'impact thermique est de +0,11°C lors de la période estivale de juin à aout.

Le différentiel est donc peu marqué en début de saison et maximum en juin, juillet et aout. Le mois présentant le différentiel le plus important est le mois de juin 2021 (+0,13°C).
Néanmoins ces différences observées semblent faibles voir négligeables (au regard de comparatifs avec la bibliographie et des comparatifs statistiques). Cet impact quasi-nul peut être la résultante :

- Des pratiques de gestion : le propriétaire ayant fait le choix de réduire les entrées et les sorties d'eau au minimum dans son système ;
- De la nature des organes de sorties d'eau à travers un moine qui relargue des eaux du fond du plan d'eau.

A titre de comparatif les moyennes estivales de réchauffement sont estimées à 3°C (1°C en moyenne annuelle) pour les étangs à moines et sont généralement inférieure à 3°C pour les étangs en dérivation (Touchart et al. 2007).

Le plan d'eau de Pfetterhouse n'influence pas ou peu la température de la Largue. De plus l'environnement forestier peut encore tendre à modérer le réchauffement de l'eau. Sur le

secteur étudié, un impact potentiellement plus important peut être retrouvé en aval avec la traversé du golf de Mooslarge par exemple.

❖ Optimum thermique des espèces et 30 jours les plus chaud

La figure209 permet de rendre compte plus schématiquement de ces observations. En effet, les moyennes des 30jours les plus chauds permettent de mettre en évidence les fait suivants:

- Malgré les nombreux étangs répartis sur le cours de la Largue, la Tmoy30J de la station amont ne dépasse pas 16,5°C en 2021 (la Tmoy30J était de 19°C en 2020) ;
- Les Tmoy30J de la surface du plan d'eau et du fond présentent un écart de 2,6°C. Elle est élevée sur la surface (23,2°C) mais moins que sur les autres sites malgré l'ensoleillement ;
- La Tmoy30J de la station aval est de 16,6°C soit 0,1°C plus élevé qu'à l'amont ;
- La Tmoy30J de la station amont éloigné (LG04) est de 16,7°C en 2021. Ce secteur situé à 1,3km plus en amont semble plus critique ;
- Plus en amont encore, à 3km, la Tmoy30J est de 16,4°C en aval immédiat du plan d'eau de Courtavon.

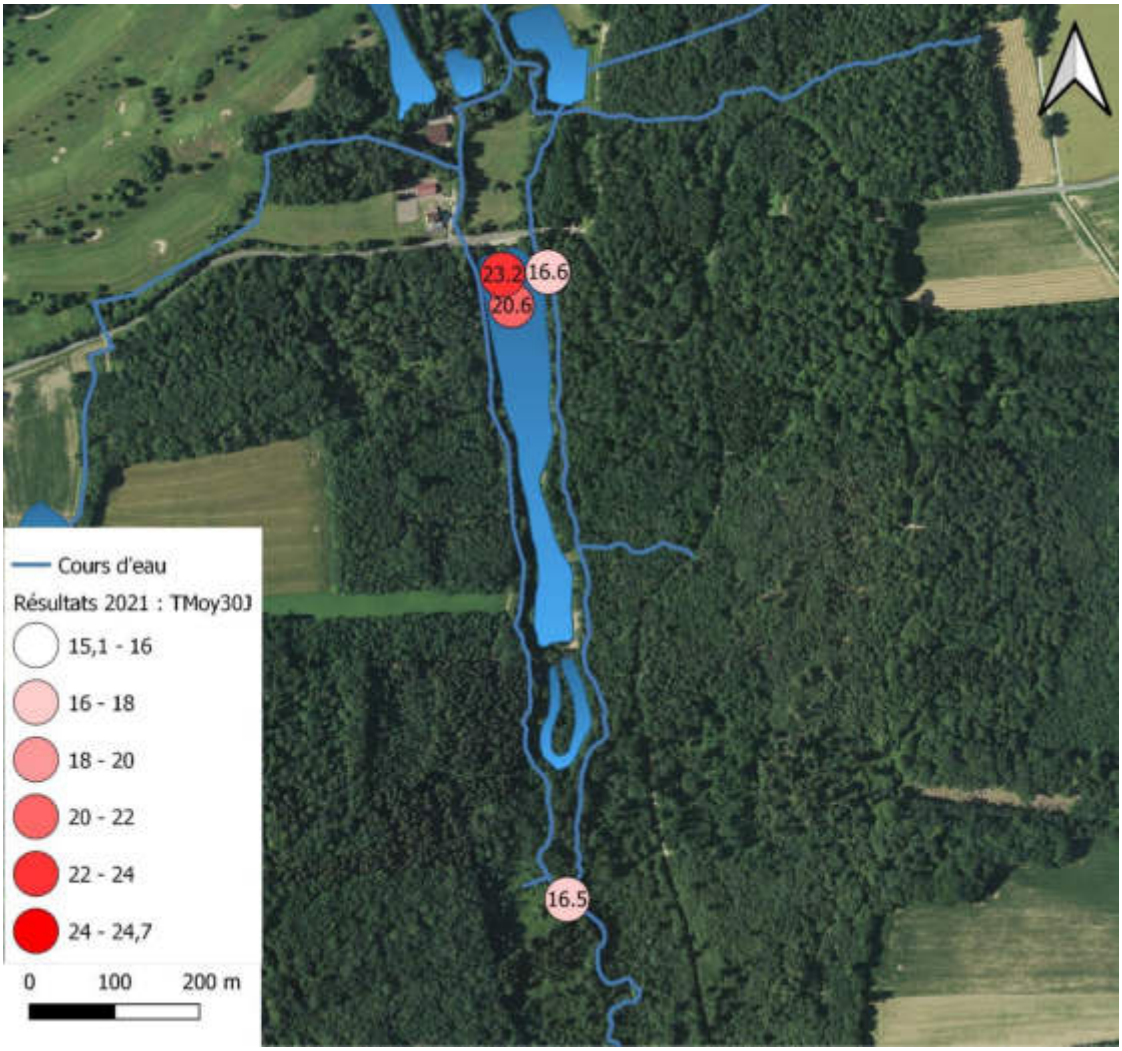


Figure 209 : Résultats des moyennes des 30 jours les plus chauds sur le site de Pfetterhouse.

En termes de préférendum thermique, les stations sur la Largue présente des températures très favorables au développement de la Truite fario en 2021.

Les températures sont en effet comprises à 94,1% entre 4 et 17°C sur la Largue (aussi bien en amont qu'en aval). En revanche les températures mesurées sur le plan d'eau (aussi bien en surface qu'au fond) sont incompatibles avec les préférences et les optimums thermique de la Truite. En effet, moins de 45% des valeurs sont inférieures à 17°C et 30 à 50% des valeurs sont supérieures à 19°C. Le seul léthal de 25°C est également atteint sur 2,8% des valeurs au niveau de la surface du plan d'eau. L'objectif de l'exploitant du site étant centré sur le développement et le maintien de carpes communes, le site est géré de manière à favoriser des températures de l'eau plus favorables à cette espèce (supérieures à 10°C et proches de 20°C). Une attention particulière doit donc être apportée au rejet et au trop-plein de l'eau de l'étang (qui est en moyenne 4°C plus élevé).

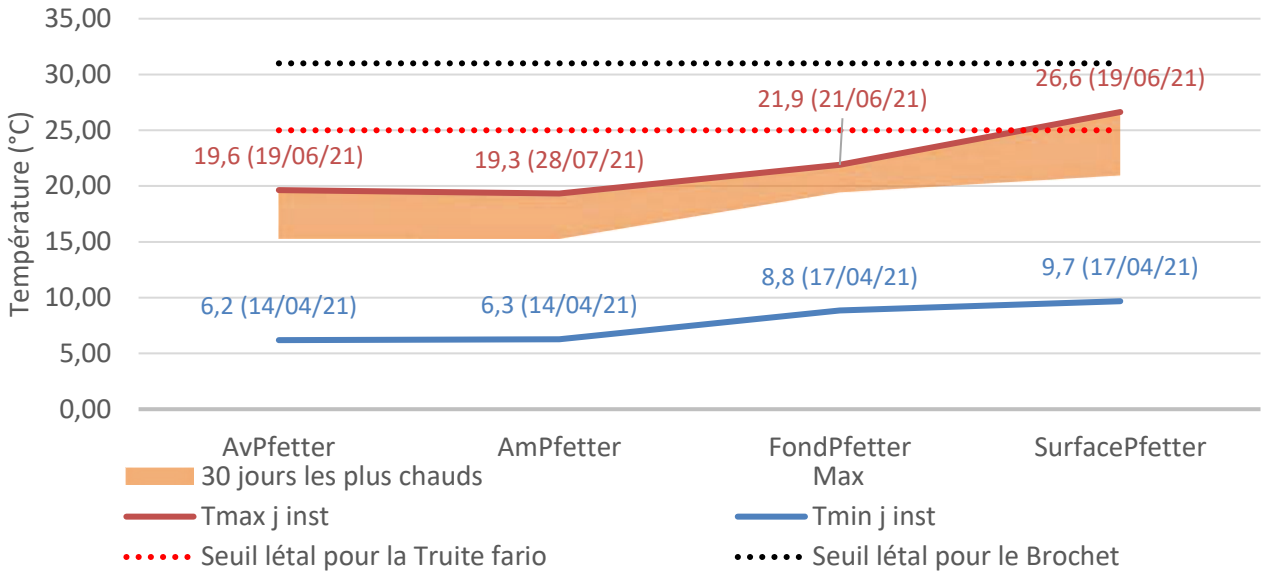


Figure 210 : Résultats des moyennes des 30 jours les plus chauds sur le site de Pfetterhouse.

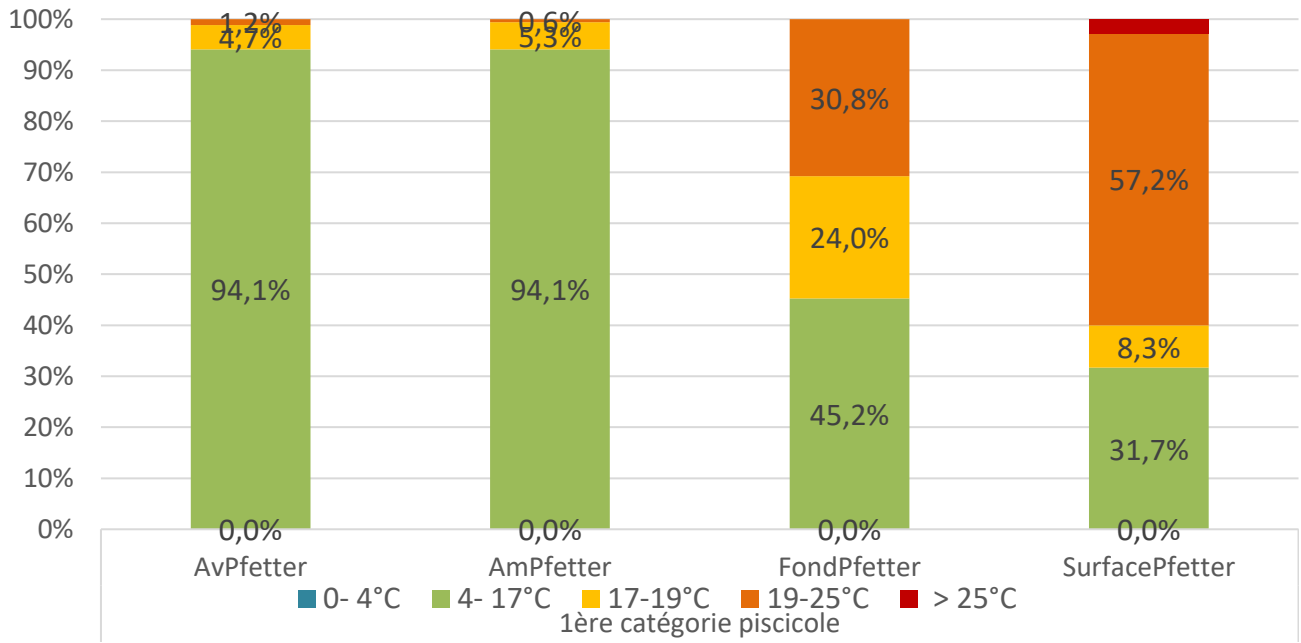


Figure 211 : Répartition des températures moyennes selon le préférendum thermique de la truite fario sur Pfetterhouse.

d) Volet physico-chimie

Lors du volet physico-chimie, c'est 24 mesures qui ont été réalisées d'avril 2021 à octobre 2021. 6 campagnes ont ainsi été réalisées de manière mensuelles sur 4 stations :

- Amont éloigné (AmEPfetter) ;
- Amont (AmPfetter) ;
- Plan d'eau (LacPfetter) ;
- Aval (AvPfetter).

La connaissance de la qualité physico-chimique sous-tendant la biologie a été permise à travers plusieurs approches via :

- L'étude des concentrations moyennes (mesurées d'avril à octobre 2021) ;
- L'études des concentrations maximales (mettant en évidence des épisodes critiques ou des pics de concentrations) ;

L'évaluation des classes de qualité de ces différents paramètres est réalisée à l'aide de « 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 tableaux complets sont consultables en annexes.

❖ Concentrations moyennes

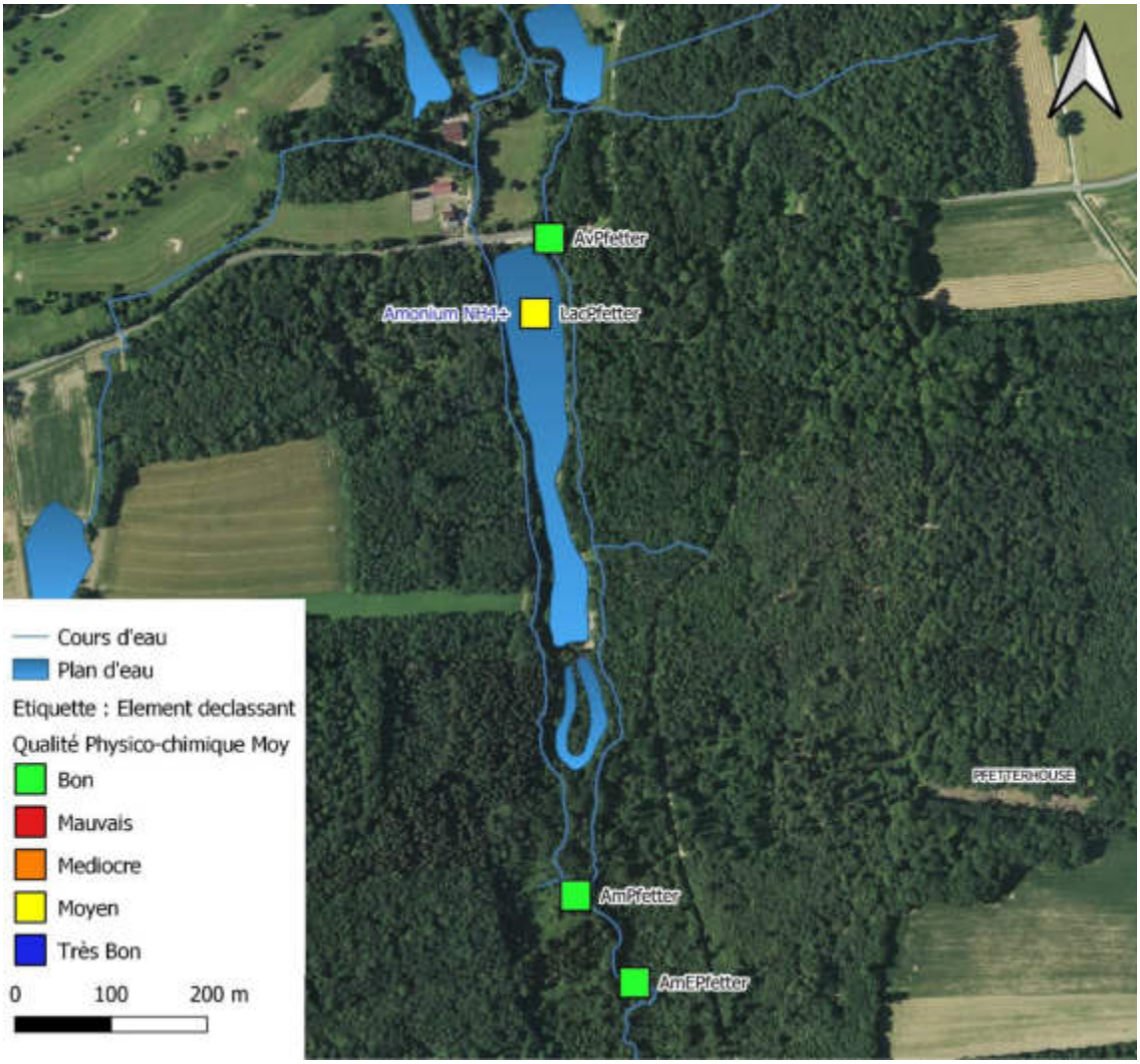


Figure 212 : Qualité physico-chimique sur la base des concentrations moyennes sur le site de Pfetterhouse et paramètres déclassants associés.

Globalement, la qualité physico-chimique sur la base des concentrations moyennes est bonne sur l'ensemble des stations.

Néanmoins des concentrations en Ammonium importantes sont mesurées au sein du plan d'eau. Les prélèvements étant réalisés proche de la surface et non au fond (comme l'exemple de Courtavon), des concentrations importantes en NH4+ sont donc présentes au sein même de la colonne d'eau. Cette observation peut témoigner :

- D'une importante pollution en matière organique (lié à la gestion surdensitaire en carpe du plan d'eau ainsi qu'à l'introduction massive de nourriture) ;
- D'un milieu instable vis-à-vis du cycle de l'azote lié aux travaux et à la jeunesse du site. Les fonds du plan d'eau ayant été retravaillées ils sont exempts de toutes plantes aquatiques et déséquilibrés (vis-à-vis des bactéries *Nitrosoma* et *Nitrobacter* par exemple).

❖ Concentrations maximales

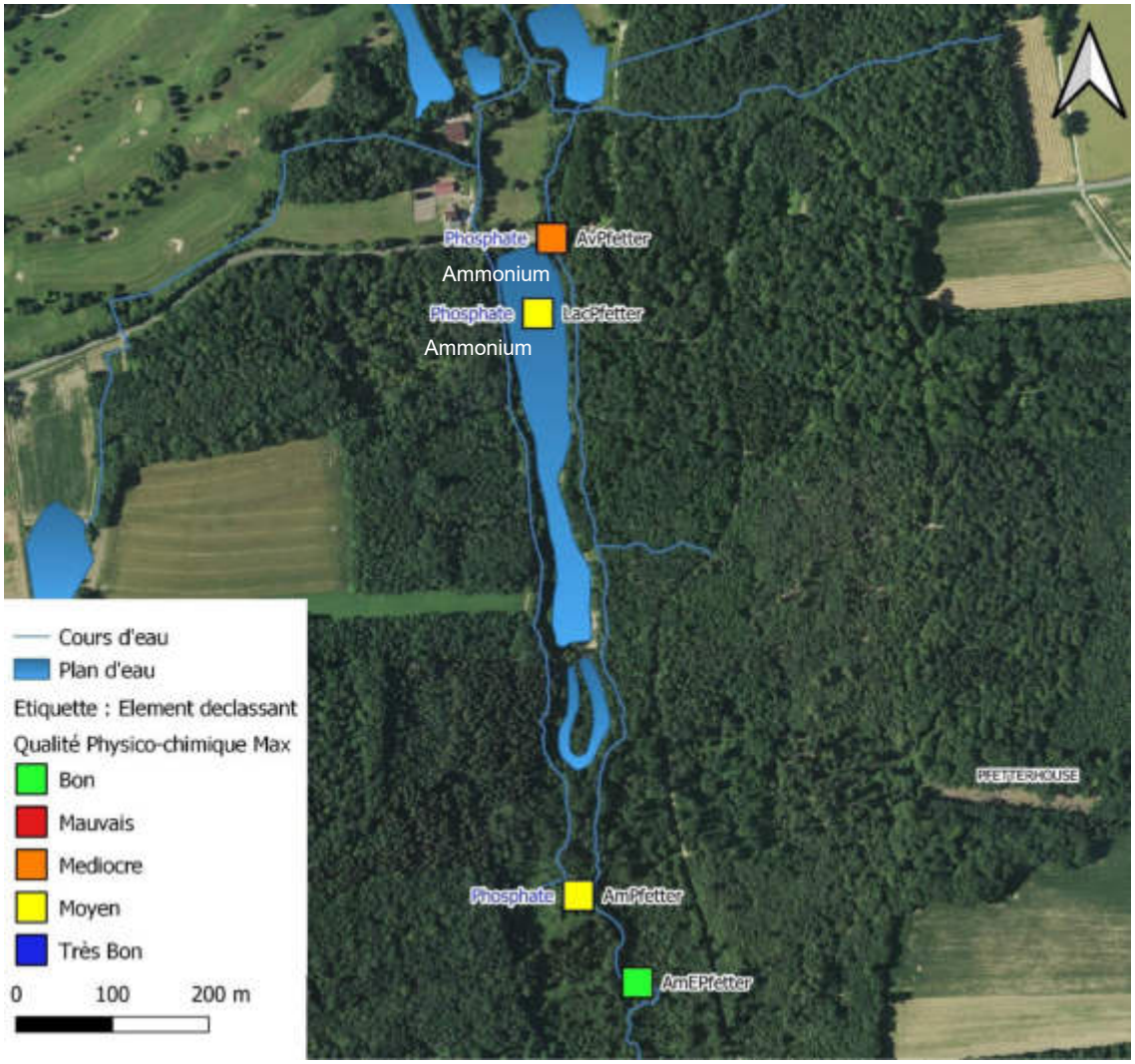


Figure213 : Qualité physico-chimique sur la base des concentrations maximales sur le site de Pfetterhouse paramètres déclassants associés.

Sur la base des concentration maximales, aucune station étudiée n'atteint le bon état physico-chimique excepté la station située en amont éloigné hors de l'influence du site (secteur préservé, également de bonne qualité hydromorphologique, aux écoulement diversifiés).

A partir de la station amont (AmPfetter), ce sont principalement les concentrations en phosphates qui sont problématiques avec des périodicités différentes dont :

- 0,5mg/L en amont le 06/10/21
- 0,7mg/L dans le plan d'eau le 30/08/21
- 1,4mg/L en aval le 03/06/21

Ces différents pics de concentration en phosphate ne semblent pas concorder entre les stations, l'hypothèse de hausses de concentrations localisées peut être privilégiée.

Les concentrations maximales en ammonium sont aussi déclassantes et problématiques sur deux stations :

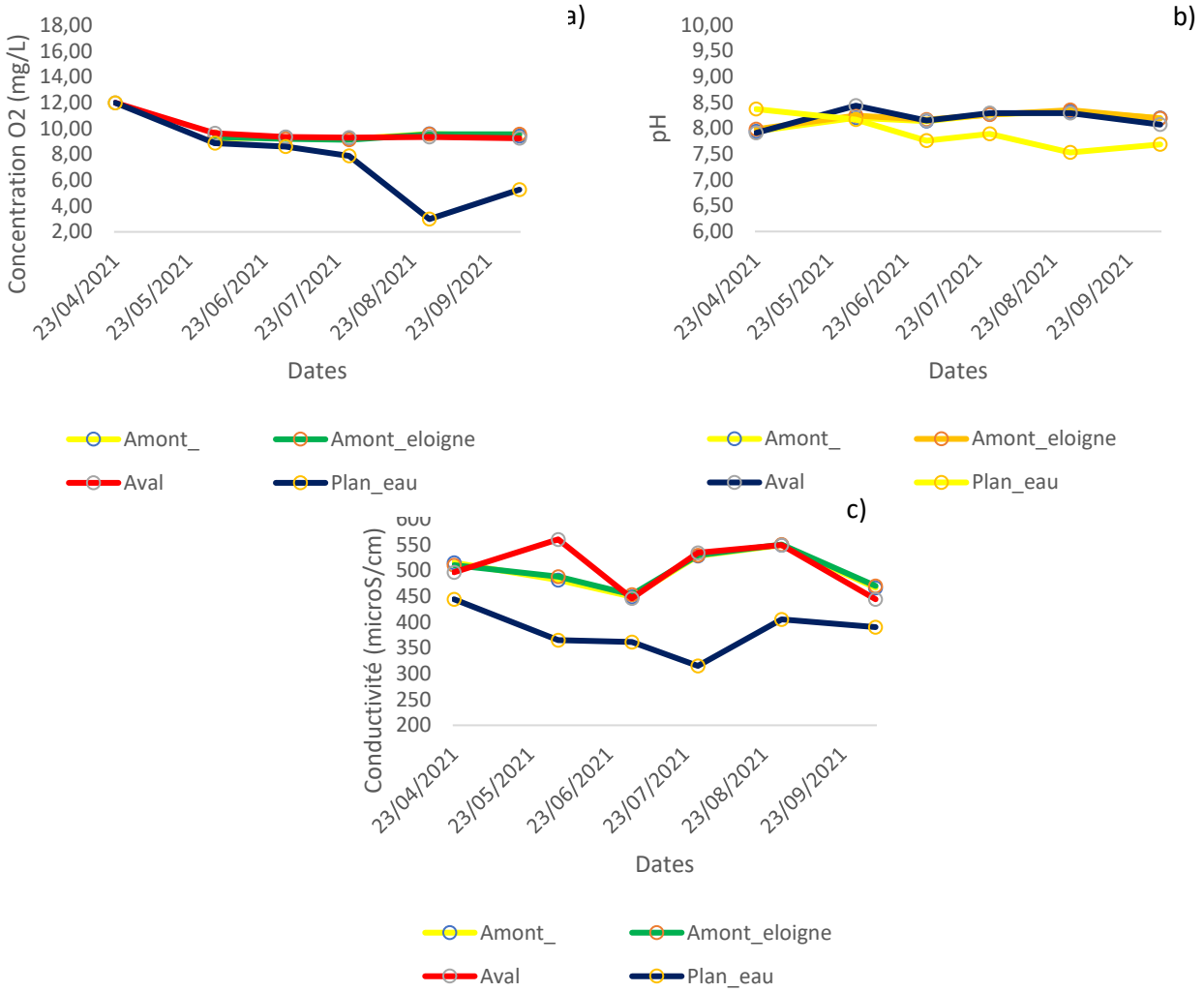
- En aval immédiat du plan d'eau avec 1,1mg/L le 23/04/21 ;
- Au sein du plan d'eau avec 1,0mg/L le 03/06/21.

Ces concentrations mesurées en aval peuvent être mise en relation avec les concentrations mesurées dans le plan d'eau puisque :

- Les concentrations en ammonium restent faibles en amont ;
- Les concentrations en ammonium restent importantes au sein du plan d'eau (avec 0,6mg/L le 23/04/21).

Ces observations rejoignent les pistes de réflexions énoncées plus haut à travers les concentrations moyennes (gestion et cycle de l'azote).

❖ <u>Paramètres physico-chimiques</u>



<u>Figure214 : Evolution temporelle et spatiale de la concentration en oxygène (a), la conductivité (b) et le pH (c) sur Pfetterhouse.</u>

Les concentrations en Oxygène sont bonnes et stables dans la rivière, toutes stations confondues (9,53±2,87mg/L).

En revanche une importante baisse de l'oxygénation est observée dans le plan d'eau au cours de l'étude notamment entre juillet et septembre (<6mg/L). Ces observations sont alarmantes avec un passage en dessous de 3mg/L le 30/08/21. En effet, les fonctions biologiques sont considérées comme perturbées dès que la concentration en Dioxygène passe en dessous de 5 mg/l et est léthale en dessous de 3mg/L.

Ces faibles concentrations en Oxygène peuvent potentiellement être mises en relations avec :

- Les importantes concentrations en ammonium observées dans le plan d'eau (la transformation de l'ammonium en nitrite et des nitrites en nitrates nécessite du Dioxygène) ;
- L'absence quasi-totale d'hydrophytes pouvant produire de l'O2 et les récents travaux d'aménagements du site ;
- Les flux entrant et sortant réduits au minimum ;
- La surdensité importante en poissons (carpes communes) pouvant également consommer l'O2.

Le pH est globalement proche de 8,1 au long du suivi et peu différent entre les stations exceptées dans le plan d'eau où le pH est légèrement plus neutre en été.

La valeur de pH doit être mise en relation avec la conductivité mais aussi la concentration d'ammonium. En effet, la toxicité de l'ammoniac est directement liée au pH de l'eau et est beaucoup plus toxique si le pH de l'eau est de 8,5. Ce qui fut le cas au mois de juin en aval.

La conductivité est moyenne à élevée par rapport aux autres sites étudiés (350 à 550 µS). Elle est plus faible dans l'étang. La conductivité augmente au cours du printemps pour baisser début juillet et augmenter à nouveau au moins d'aout.

❖ <u>Nutriments</u>

Pour les nitrites, les concentrations et les pics sont variables mais ne dépassent jamais 0,3mg/L sur l'ensemble des stations. Quelques pics sont mis en évidence comme :

- 0,25 et 0,28mg/L le 03/06/21 et le 28/07/21 en amont ;
- 0,26mg/L le 03/06/21 en amont éloigné ;
- 0,17mg/L le 23/04/21 en aval ;
- 0,17mg/L le 02/07/21 dans le plan d'eau.

Ces concentrations ne sont pas déclassantes et sont toujours observées sur une courte période. En effet, Il est généralement admis que le nitrite s'oxyde facilement en nitrate et qu'en conséquence, en étant transitoire, il se retrouve rarement en concentration importante dans les eaux naturelles (Corriveau, 2009).

Pour les nitrates, le constat est différent avec :

- Des concentrations plus importantes (>20mg/L) dans la Largue qui augmentent à partir de juin et restent stables ;
- Des concentration faibles (<5mg/L) et homogène dans le plan d'eau.

Ces substances azotées sont des éléments essentiels à l'équilibre des hydrosystèmes (notamment au développement végétale) et les concentrations observées ici semblent moins importantes et stables par rapport aux autres sites étudiés.

Les concentrations d'ammonium sont plus faibles en amont que sur les autres stations. La courbe des concentrations de la station amont est superposée avec la courbe des concentrations amont éloigné. Une hausse y est uniquement observée le 03/06/21.

Les concentrations en NH4+ sont néanmoins très importantes dans l'étang et à l'aval à trois périodes :

- Le 23/04/21 avec 1,1mg/L en aval et 0,6mg/L dans l'étang ;
- Le 03/06/21 avec 1,0mg/L dans l'étang ;
- Le 30/08/21 avec 0,6mg/L dans l'étang.

Si une hausse de concentration coïncide entre l'amont et le plan d'eau le 03/06/21, un tel écart de concentration n'est pas cohérent et est sans doute plutôt indépendant (provenant de sources exogènes en amont et endogènes pour le plan d'eau à travers les raisons énoncées plus haut). Ces pics ne peuvent également pas être mis en relation avec la pluviométrie (0mm le jour d'avant et le jour même).

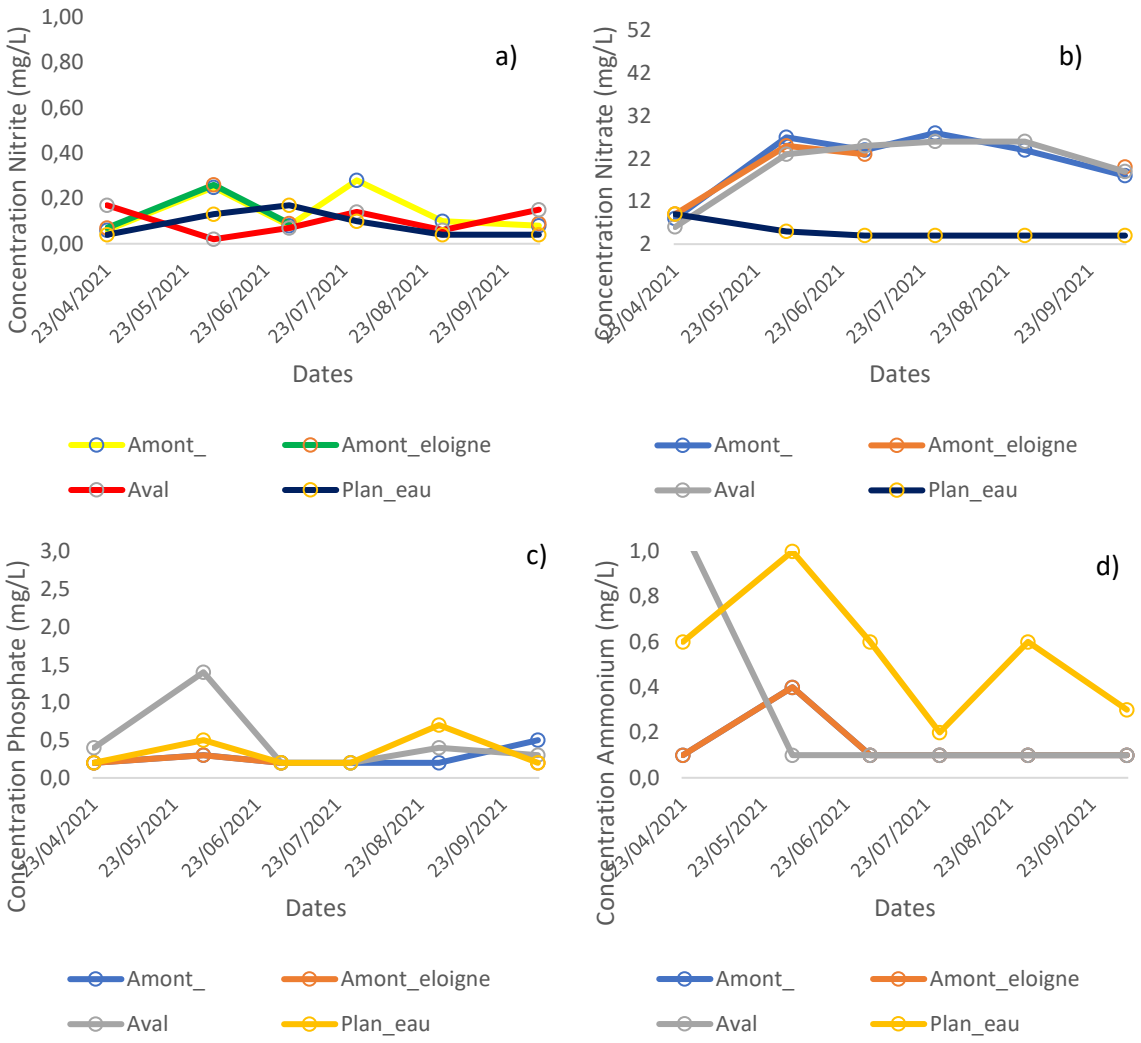


Figure215 : Evolution temporelle et spatiale de la concentration en nitrite (a), en nitrate (b), en amonium (c) et en phosphate (d) sur : l'amont de la Largue, le plan d'eau et l'aval.

Vis-à-vis du phosphate, les concentrations sont globalement faibles mais un pic a été observé en aval le 03/06/21 avec 1,4mg/L et uniquement sur cette station.

La Largue semble ainsi moins touchée par des périodes d'importantes concentrations en matières azotées dans cette zone forestière qu'en amont (Courtavon). Néanmoins le plan d'eau, présente un impact physico-chimique sur le milieu récepteur (ammonium), directement en lien avec la gestion du site et/ou des sorties d'eau.

❖ Le rapport N/P

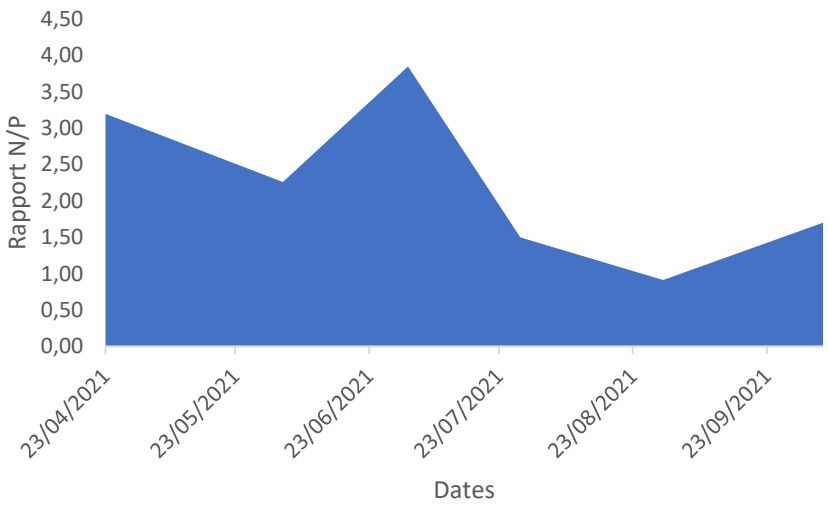


Figure 216 : Rapport azote minéral / orthophosphate dans la couche euphotique (moyenne des concentrations) dans le plan d'eau de Courtavon en 2021.

La valeur du rapport entre l'azote et le phosphore (ratio N/P ou rapport de Redfield) permets de distinguer l'élément nutritif limitant (Redfield, 1985). Le rapport moyen optimal pour la croissance de la plupart des espèces de phytoplancton est de 7/1. Ainsi, lorsque le rapport est supérieur à 7, cela signifie que le phosphore est le principal facteur limitant. A l'inverse si le rapport est inférieur à 7, ce sont les nitrates qui seront le facteur limitant la croissance des algues. Le rapport est réalisé entre la somme de l'azote minéral (NH4+ et NO3- notamment) et les orthophosphates (PO4 3-).

Dans le cas du plan d'eau de Pfetterhouse, le rapport de Redfield est toujours inférieur à 7 lors de l'étude. Si des variations apparaissent (comme en juin), c'est donc toujours l'azote qui est le facteur limitant. Grâce à ce calcul il est possible de déterminer sur lequel des deux nutriments principaux il vaut mieux axer des efforts pour lutter contre l'eutrophisation (dans ce cas, les nitrites et les nitrates mais aussi l'ammonium).

e) Volet piscicole

Le plan d'eau est monospécifique avec la Carpe commune (issu de pisciculture).

f) Volet invertébré

c)

a)

	Amont Pfetterhouse		Aval Pfetterhouse	
Nombre de taxons :	26		23	
Classe de variété :	8		7	
Groupe Faunistique Indicateur (/9) :	7		7	
Taxon Indicateur :	*Goeridae*		*Leptophlebiidae*	
Equivalent I.B.G.N. / 20 :	**14**		**13**	
Taille du cours d'eau /HER /EQR	MP18	0,87	MP18	0,80
Qualité biologique *IBG-DCE	**Bon**		**Bon**	
EQR I2M2	0.9115		0.9157	
Qualité biologique *I2M2	**Très bon**		**Très bon**	

** suivant l'arrêté du 28 juillet 2018*

b)

Indices complémentaires	Amont Pfetterhouse		Aval Pfetterhouse	
Robustesse (/20) :	13		12	
Equitabilité (max. 1) :	0,61		0,64	
Indice de Shannon : Diversité	3,08		3,25	
Diversité maximale	5,09		5,04	
Taxons dominants	*Gammaridae*	36,76%	*Chironomidae*	26,75%
	Chironomidae	16,90%	*Gammaridae*	25,83%
EPT (nb à la famille/%)	13	22,06%	9	21,79%
EPT (diversité au genre)	14		10	
Densité (ind/m²)	4230		2517	

Figure 217 : Résultats généraux du volet invertébré sur la Largue à Pfetterhouse (a), résultats complémentaires (b) et illustrations des groupes indicateurs (c).

❖ Analyse station amont

La station de la Largue à l'amont du plan d'eau de Pfetterhouse obtient une note de 14/20 au regard de l'IBGN, un EQR de 0,87 au regard de l'IBG-DCE et un EQR de 0,9115 au regard de l'I2M2. La qualité biologique du cours d'eau est donc qualifiée de très bonne.

Le groupe indicateur (G.I.) est représenté par les *Goeridae*, des tricoptères à fourreaux polluosensibles (GI 7/9) préférant les zones oxygénées. La diversité est élevée avec 26 taxons différents. La robustesse est bonne puisque que la note ne perd qu'un point après la suppression du groupe indicateur. Le taxon indicateur de robustesse est *Ephemera*, un

éphémère relativement pollusensible (GI 6/9) de grande taille privilégiant des zones sableuses. Dans l'ensemble la communauté est diversifiée et moyennement équilibrée (0,61). Les taxons les plus polluosensibles (Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères) sont représentés par 22,06% du peuplement avec 14 taxons sur les 26. Ce sont les Ephémères et les coléoptères qui sont les plus présent.
Les *Gammaridae* sont la famille dominante (36,76%). Les *Chironomidae* sont également très présent (16,9%) ainsi que les *Elmidae* (15,21%), une famille de petits coléoptères aquatiques représentées par plusieurs genres différents.
On note également la présence de *Potamopyrgus antipodarium*, un mollusque exotique invasif polluorésistant appréciant les milieux riches en nutriments. Néanmoins cette espèce n'est représentées que par deux individus (soit 0,08% du peuplement mais elle est plus présente sur Courtavon). Les Diptères sont les insectes qui dominent le peuplements (avec les *Chironomidae*).

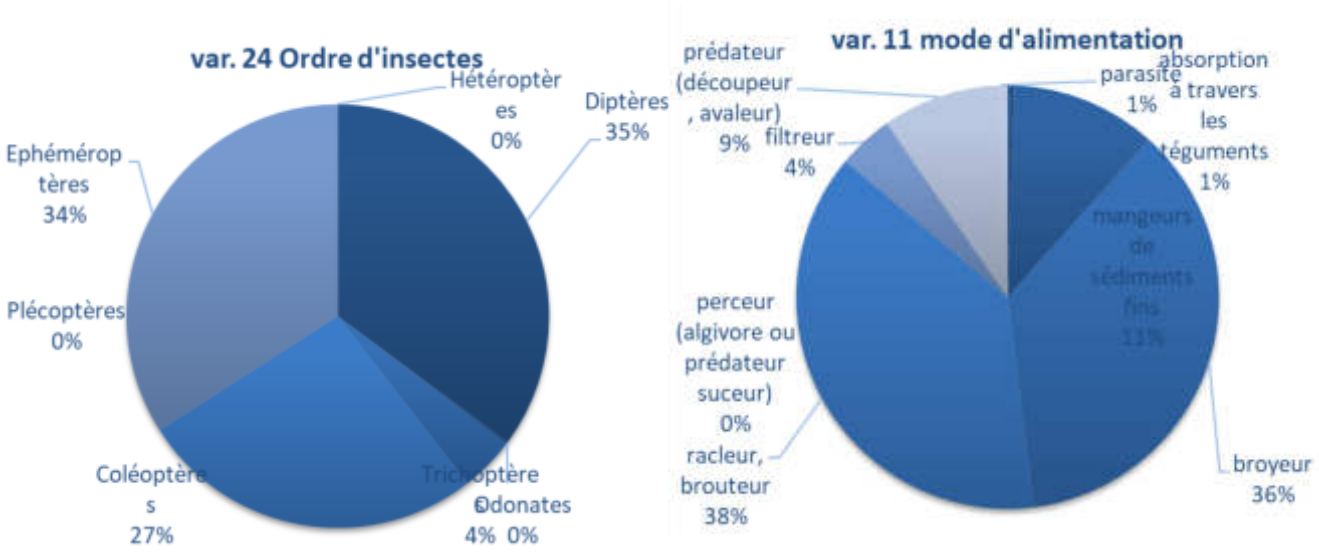


Figure 218 : diagramme des proportions des variables 24 (ordres d'insectes) et 11 (modes d'alimentation).

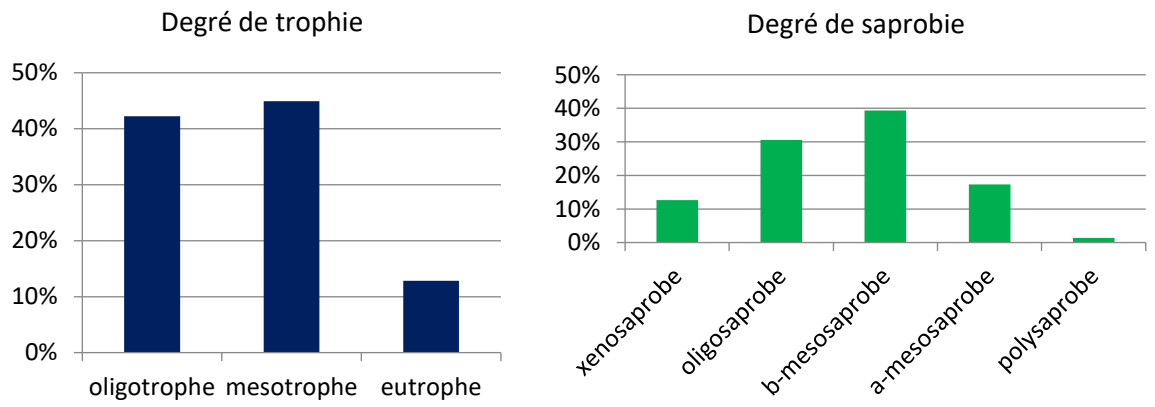


Figure 219 : histogramme des degrés de trophie et de saprobie (amont Pfetterhouse).

Les graphiques semblent indiquer un milieu mésotrophe à oligotrophe et une communauté plutôt b-mésosaprobe à oligosaprobe, ce qui met en évidence une charge modéré en nutriment et en matière organique dans le cours d'eau.
Les broyeurs (36%) et les racleurs/brouteurs (38%) sont les plus nombreux (tous deux représentés principalement par les *Chironomidae* et les *Gammarus*, très présent sur la station). Ces deux catégories représentent 74% de la répartition trophique. Celle-ci correspond

habituellement à celle d'un cours d'eau situé en partie amont du bassin avec une plus grande part de broyeur qu'attendus (face aux collecteurs). Ce résultat est cohérant avec la dominance forestière des abords du cours d'eau.

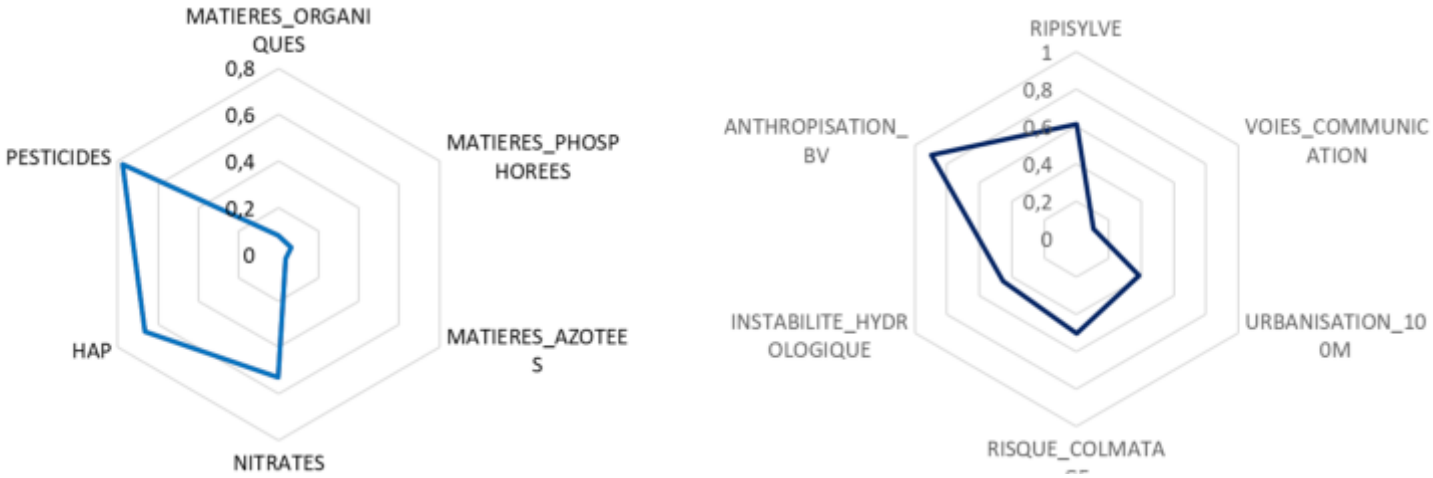


Figure 220 : Résultats de l'outil de diagnostic ODInvertebres sur la station amont Pfetterhouse.

L'outil de diagnostic « ODInvertebres » permets de mettre en évidence des probabilités associées à chaque type d'altération.

Dans le cas de la station située en amont du plan d'eau, les pressions sont multiples et concernent principalement :

- Les Pesticides ;
- Les HAP ;
- Les Nitrates dans une moindre mesure ;
- L'anthropisation du bassin versant (bassin versant peu habité en réalité, ce qui met en avant des pressions fortes pour un bassin peu densément peuplé).

❖ Analyse station aval

La station de la Largue à l'aval du plan d'eau de Pfetterhouse obtient une note de 13/20 au regard de l'IBGN, un EQR de 0,80 au regard de l'IBG-DCE et un EQR de 0,9157 au regard de l'I2M2.
La qualité biologique de cours d'eau est donc qualifiée de très bonne vis-à-vis de l'I2M2.

Malgré tout, des divergences légères sont mises en évidence avec l'amont avec une baisse des EQR et de la diversité spécifique (de 3 taxons). Cette différence est néanmoins mineure et peut difficilement être imputé à un impact des seuils ou du plan d'eau compte tenu de la variabilité géographique ou annuelles des stations.
Si le groupe indicateur reste 7/9, les *Goeridae* disparaissent au profit des *Leptophlebiidae* (avec *Habrophlebia*, un éphémère polluosensible).

La diversité est moindre de 3 taxons par rapport à l'amont avec 23 taxons différents dénombrés à l'aval. La diversité est ainsi moyenne. Les peuplements sont plutôt équilibrés (0,64).

La robustesse est de 12/20 (soit une perte d'un point) avec le taxon indicateur de robustesse *Ephemera*, un éphémère relativement pollusensible (GI 6/9) de grande taille privilégiant des zones sableuses (communément surnommé « mouche de mai »).

Les taxons les plus polluosensibles (Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères) sont représentés par 21,79% du peuplement avec 10 taxons sur les 23.

En termes de proportion, les *Chironomidae* dominent le peuplement à hauteur de 26,75%, suivi par les *Gammaridae* (25,83%), et par les *Elmidae* (14,97%).

Ce sont les insectes qui dominent le peuplement (66%) avec notamment les Diptères (44%).

On note également la présence de *Potamopyrgus antipodarium* en plus grand nombre qu'à l'amont (18 individus).

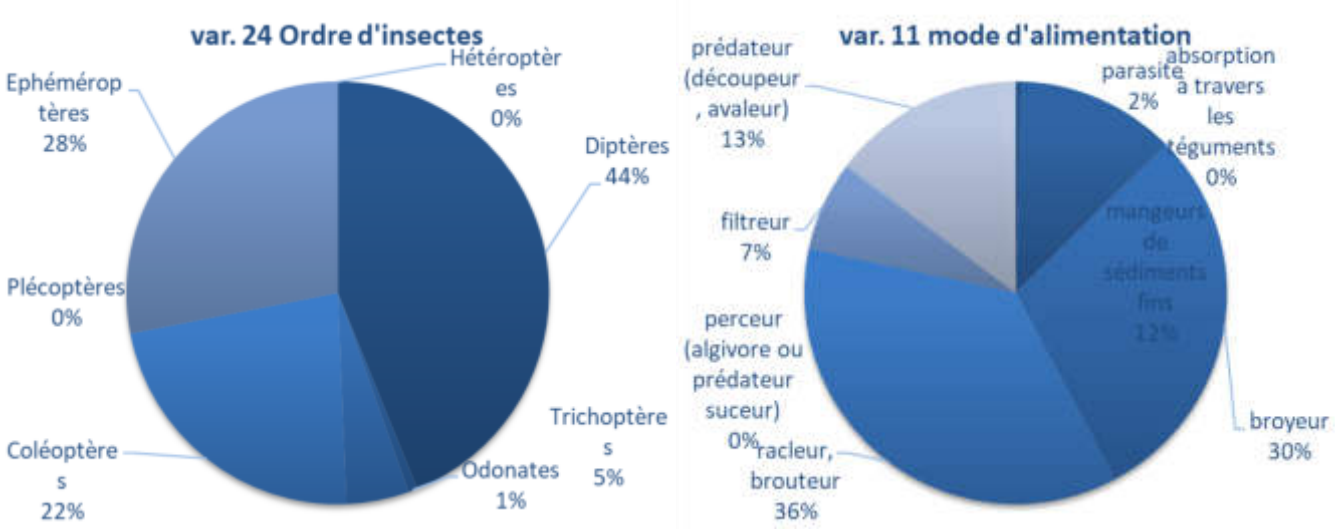


Figure 221: diagramme des proportions des variables 24 (ordres d'insectes) et 11 (modes d'alimentation).

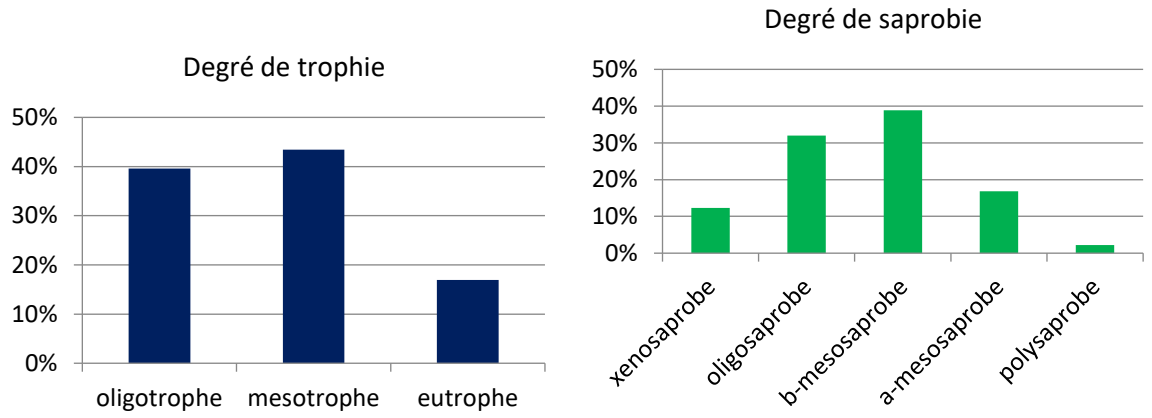


Figure222 : histogramme des degrés de trophie et de saprobien (aval Pfetterhouse).

Les graphiques semblent indiquer un milieu à dominance mésotrophe et oligotrophe et une communauté plutôt b-mésosaprobe à oligosaprobe.

Les broyeurs et les racleurs/brouteurs sont les plus nombreux (tous deux représentés principalement par les *Chironomidae* et les *Gammarus*, très présent sur la station). Ces deux catégories représentent 66% de la répartition trophique.

Figure223 : Résultats de l'outil de diagnostic ODInvertebres sur la station aval Pfetterhouse.

L'outil de diagnostic « ODInvertebres » permets de mettre en évidence des probabilités associées à chaque type d'altération.

Dans le cas de la station située en amont du plan d'eau, les pressions sont multiples et concernent principalement :

- Les Pesticides ;
- Les HAP ;
- Les Nitrates dans une moindre mesure ;
- L'anthropisation du bassin versant (bassin versant peu habité en réalité, ce qui met en avant des pressions fortes pour un bassin peu densément peuplé).

❖ Analyse globale

La comparaison entre les résultats obtenus à l'amont et à l'aval du plan d'eau de Pfetterhouse, met en évidence plusieurs points :

➔ Aucune différence significative n'est observée au niveau des classes de qualités (très bonne dans les deux cas).

➔ Les observations principales sont :
  - Une légère perte de diversité (des taxons absents en aval) ;
  - Une baisse minime de l'EQR en aval ;
  - Le même groupe indicateur mais représenté par deux espèces différentes entre l'amont et l'aval ;
  - Aucune évolution des traits biologiques, très similaires entre l'amont et l'aval et caractéristiques de cette typologie de cours d'eau en environnement forestier ;
  - Pas d'impact significatif au niveau de la trophie entre l'amont et l'aval (oligo-mesotrophe) ;

➔ Si une bonne fonctionnalité est identifiée avec certains groupes d'invertébrés polluosensibles ce sont surtout des pressions multiples dès l'amont du bassin qui ont été mises en évidences comme :
  - Les Pesticides ;
  - Les HAP ;
  - Les Nitrates ;

Ce qu'il faut retenir : Pfetterhouse

Approche physique

- La Largue est caractérisée par un **environnement forestier** sur ce secteur ainsi que par une hydromorphologie très intéressante en amont éloigné, un contexte géologique des cailloutis du Sundgau et une présence significative de plans d'eau. Ce secteur situé entre Courtavon et Seppois-le-haut est identifié comme un **secteur à enjeu fort en termes de biodiversité** ;
- Un important **ouvrage infranchissable en amont** du plan d'eau induit un large effet bief (faisant office d'ouvrage de rehausse de la côte d'eau pour la prise d'eau du ruisseau du Moulin) ;
- Le plan d'eau présente un **impact thermique faible à nul sur la Largue** (+0,1°C en période estivale);
- Le plan d'eau est caractérisé par une **absence totale d'habitats aquatiques et rivulaires** (travaux récents) et est particulièrement peu biogène ;
- L'étang présente une **stratification thermique modérée** ;
- Plusieurs paramètres **physico-chimiques** sont problématiques dont principalement l'**ammonium** présent en concentration importante dans l'étang lié à la gestion surdensitaire et aux travaux récents ;
- Des **pics de concentrations** sont mis en évidence sur la Largue pour le phosphate et l'ammonium notamment ;
- Le rapport de Redfield met en évidence la nécessité d'agir sur les nitrates (facteur limitant) ;

Approche biologique

- L'étude des invertébrés a mis en évidence une **qualité biologique très bonne** sur les deux stations ;
- Des légères différences sont aussi identifiées entre l'amont et l'aval au niveau des indices mais **sans mettre en évidence un impact significatif** ;
- Les outils de diagnostics liés à l'étude des invertébrés mettent en lumière **3 pressions principales qui pèsent sur le tronçon étudié** : les pesticides, les HAP et les nitrates (dès l'amont éloigné).

Perspectives

- Des **pressions multiples sont identifiées** dès l'amont du plan d'eau de Pfetterhouse mais ce **secteur semble être le plus préservé des 6 sites étudiés** (avec le site de Levoncourt).
- Ces observations mettent donc en évidence un **secteur à enjeu de protection** mais aussi la nécessité **d'agir sur plusieurs axes** dont : la franchissabilité piscicole, les bonnes pratiques de gestion, la morphologie et la physico-chimie de la Largue ;
- Des impacts diversifiés du plan d'eau sont identifiés mais ils sont modérés par la réduction au minimum des flux d'eau entrant et sortant par le propriétaire. Leur qualification et quantification devrait permettre de proposer des **préconisations de gestion ou d'aménagement adaptées** notamment au niveau de l'impact :
    - Physico-chimique (eutrophisation, concentration d'ammonium, pollution aux matières organiques) ;
    - L'altération des peuplement (fuites de carpes en zone à truite) ;
    - Ouvrage infranchissable situé en amont et induisant un effet bief nécessitant une réflexion sur l'aspect règlementaire et technique permettant d'améliorer cette situation ;
    - Attention particulière à apporter aux mesures de gestion à la sensibilisation du gestionnaire/propriétaire (réduction des flux d'eau, surveillance accrue de la physico-chimie du plan d'eau et de la température et attention à apporter aux manœuvres de vidanges).

6. Le site de Levoncourt

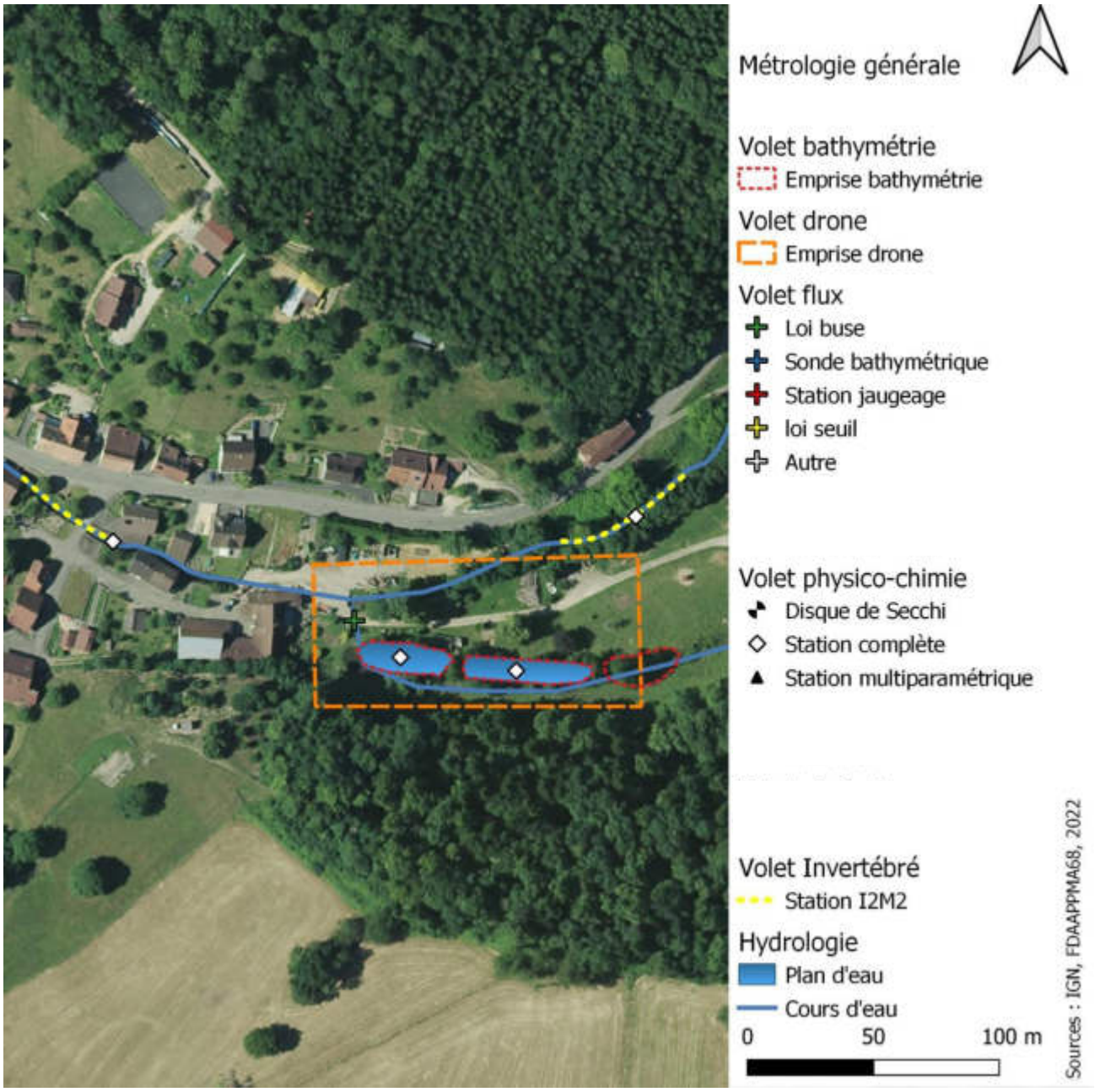


Figure 224 : Cartographie schématique de la métrologie déployée sur le site de Levoncourt et noms des stations.

a) Volet bathymétrie

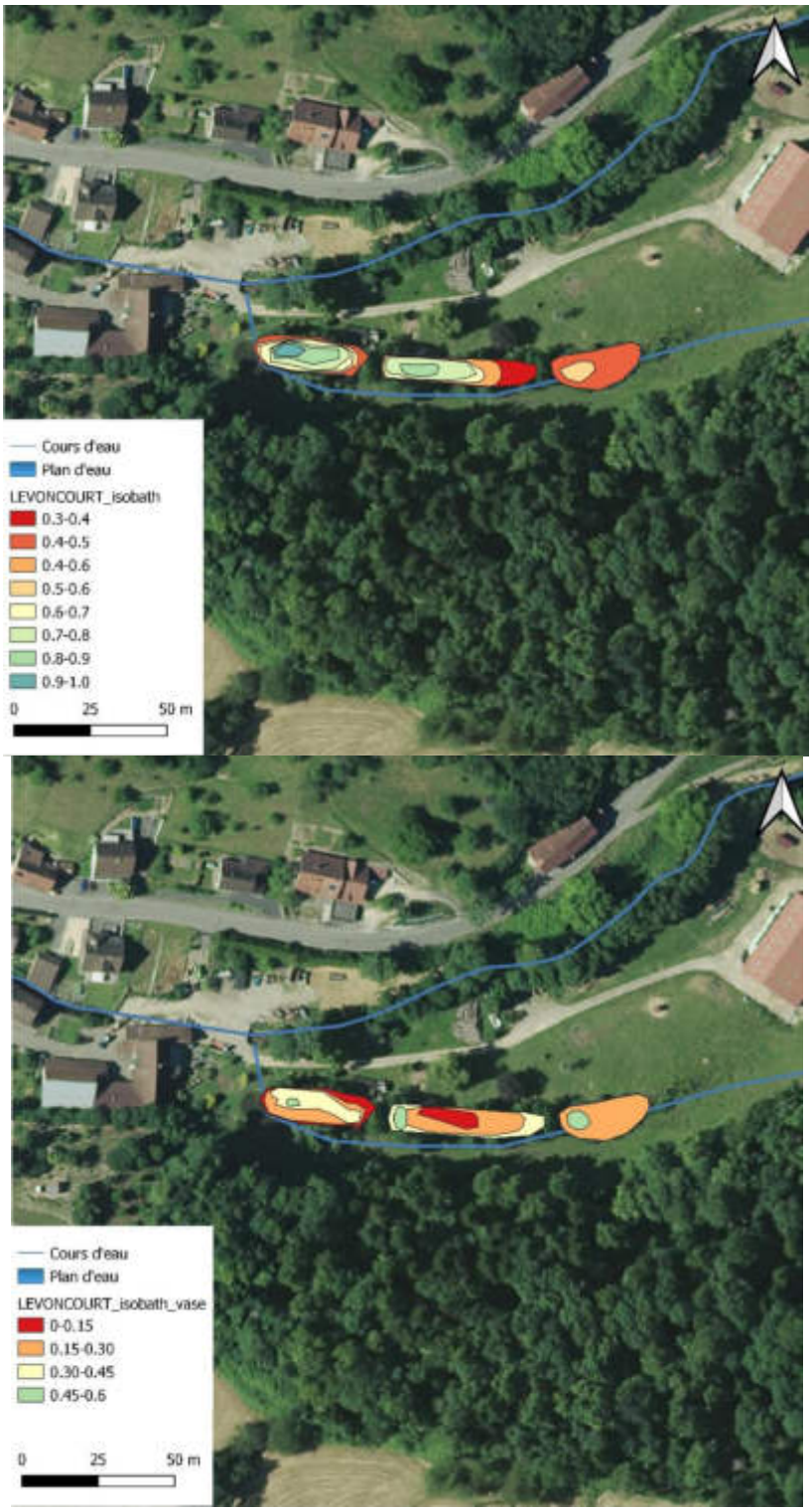


Figure225 : Carte bathymétrique des plans d'eau de Levoncourt (en haut) et profondeur de vase (en bas).

Les relevés bathymétriques ont été réalisés le 12/08/21 dans des conditions hydrologiques stables. La configuration du site ne permettant pas l'utilisation d'un échosondeur. Les mesures de profondeur et de hauteur de vase ont donc été réalisé manuellement à l'aide d'une perche graduée. La profondeur maximale est de 1m. La profondeur moyenne est de 0,60m. Les trois

plans d'eau sont reliés en série avec en amont une zone humide drainé à l'Est et en aval une buse l'écoulant dans la Largue à l'Ouest. Le volume d'eau total est estimé à 188m3. Le centre des structures est rapidement plus profond et les berges sont abruptes. Les structures sont très homogènes aussi bien en termes de fond (sédiment fin) que de dimension. Seule la mare située en amont est différente et présente des dimensions plus réduites. La hauteur de sédiment est comprise entre 0,15m (proche des berges) et 0,60m (au centre des pièces d'eau).

b) Volet drone

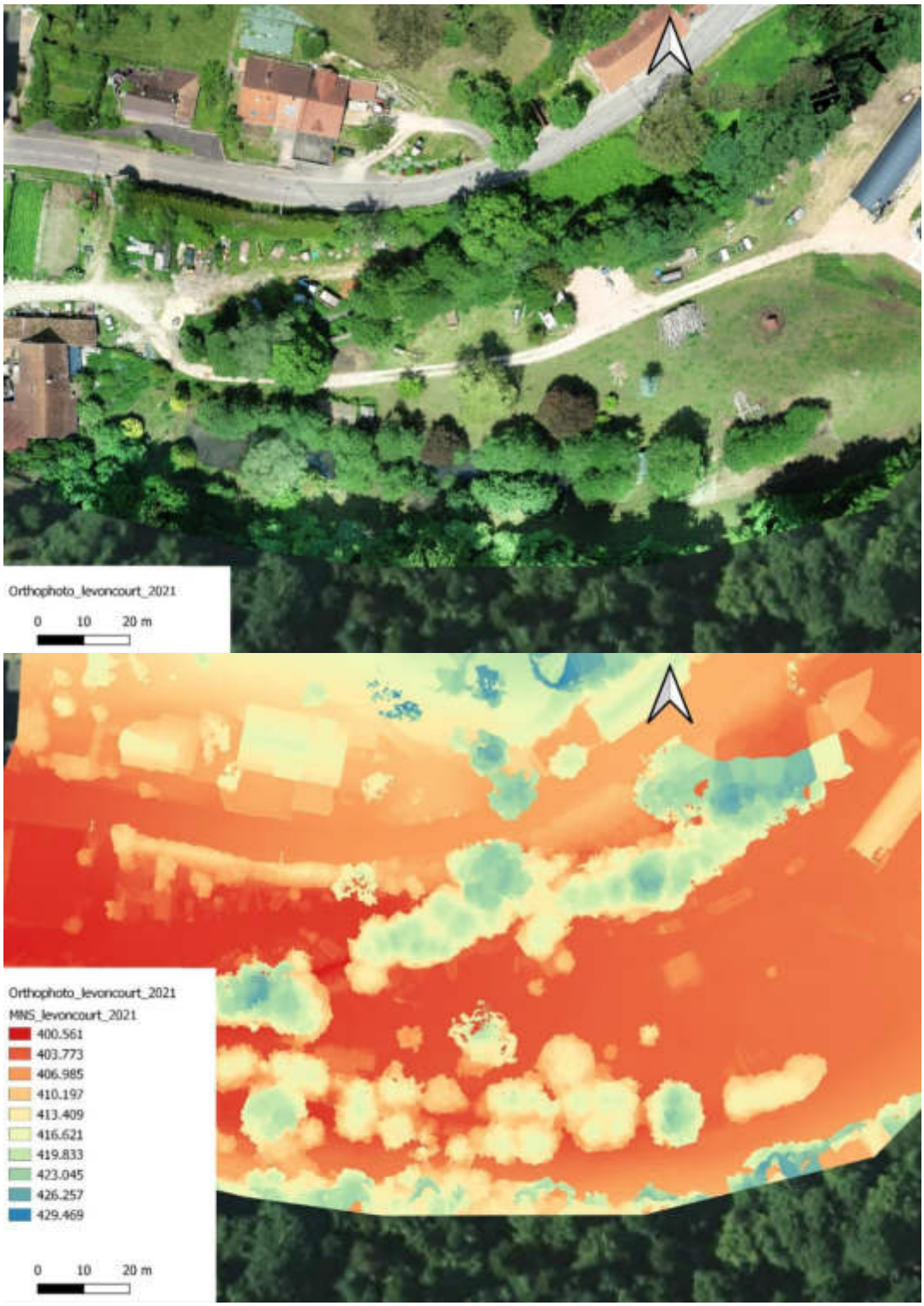


Figure 226 : Orthophotographie de précision (a) et Modèle Numérique de Terrain (b) du site de Levoncourt.

c) Volet physico-chimie

Lors du volet physico-chimie, c'est 21 mesures qui ont été réalisées d'avril 2021 à octobre 2021. 6 campagnes ont ainsi été réalisées de manière mensuelles sur 3 stations :

- Largue amont ;
- Plan d'eau médian ;
- Plan d'eau aval ;
- Largue Aval.

La connaissance de la qualité physico-chimique sous-tendant la biologie a été permise à travers plusieurs approches via :

- L'étude des concentrations moyennes (mesurées d'avril à octobre 2021) ;
- L'études des concentrations maximales (mettant en évidence des épisodes critiques ou des pics de concentrations) ;

L'évaluation des classes de qualité de ces différents paramètres est réalisée à l'aide de « 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 tableaux complets sont consultables en annexes.

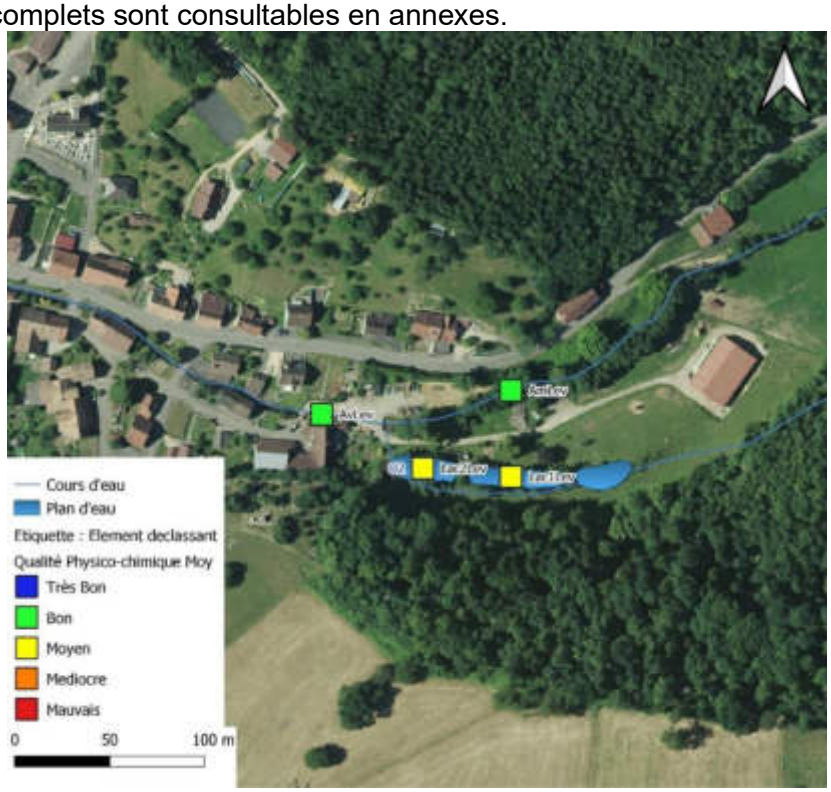


Figure 227 : Qualité physico-chimique sur la base des concentrations moyennes sur le site de Levoncourt et paramètres déclassants associés.

Au regard des concentration moyennes, les deux stations situées sur la Largue sont en bon état. En revanche les concentrations moyennes en O^2 sont faibles dans les pièces d'eau.

Sur la base des concentration maximales, une station sur les quatre n'atteignent plus le bon état physico-chimique. En effet, des concentrations très importantes en nitrites, nitrates et phosphates sont observées en aval à plusieurs périodes dont :

- Le 02/07/21 avec 0,9mg/L de nitrite, ce composé est extrêmement toxique pour la faune aquatique (induisant une détresse respiratoire et des mortalités aigues sur les poissons notamment). La concentration ne devrait jamais excéder 0,2mg/L en eau douce ;

- 60mg/L de nitrate à la même date ;
- 0,2mg/L de NH4+ à la même date.

Cet épisode critique peut vraisemblablement être dû au ruissellement d'un dépôts de fumier observé en rive gauche dans un jardin privé (sur du béton en bordure de cours d'eau). En effet, une pluviométrie importante a été observée les quelques jours précédant les prélèvements.

En revanche, l'amont et les mares restent en bon état ce qui est une observation positive.

Figure 228 : Qualité physico-chimique sur la base des concentrations maximales sur le site de Levoncourt paramètres déclassants associés.

❖ Paramètres physico-chimiques

Les concentrations en Oxygène sont bonnes dans la Largue (9,42mg/L en moyenne) mais elles sont basses dans les plans d'eau (<7mg/L). Ces concentrations n'évoluent que très peu au cours de la saison. Elles restent en effet hautes et homogènes dans la Largue (cours d'eau de tête de bassin bien oxygéné dans cette zone), et basses dans les plans d'eau.

La conductivité est importante pour une zone en tête de bassin versant (>500 µS/cm). Elle reste plus élevée en aval (599 ± 88 µS/cm) et plus basse dans les pièces d'eau (525±64 µS/cm).

Le pH est globalement proche de 8 sur la Largue et plus proche de 7,2 dans les plans d'eau. Peu de variations sont observées.

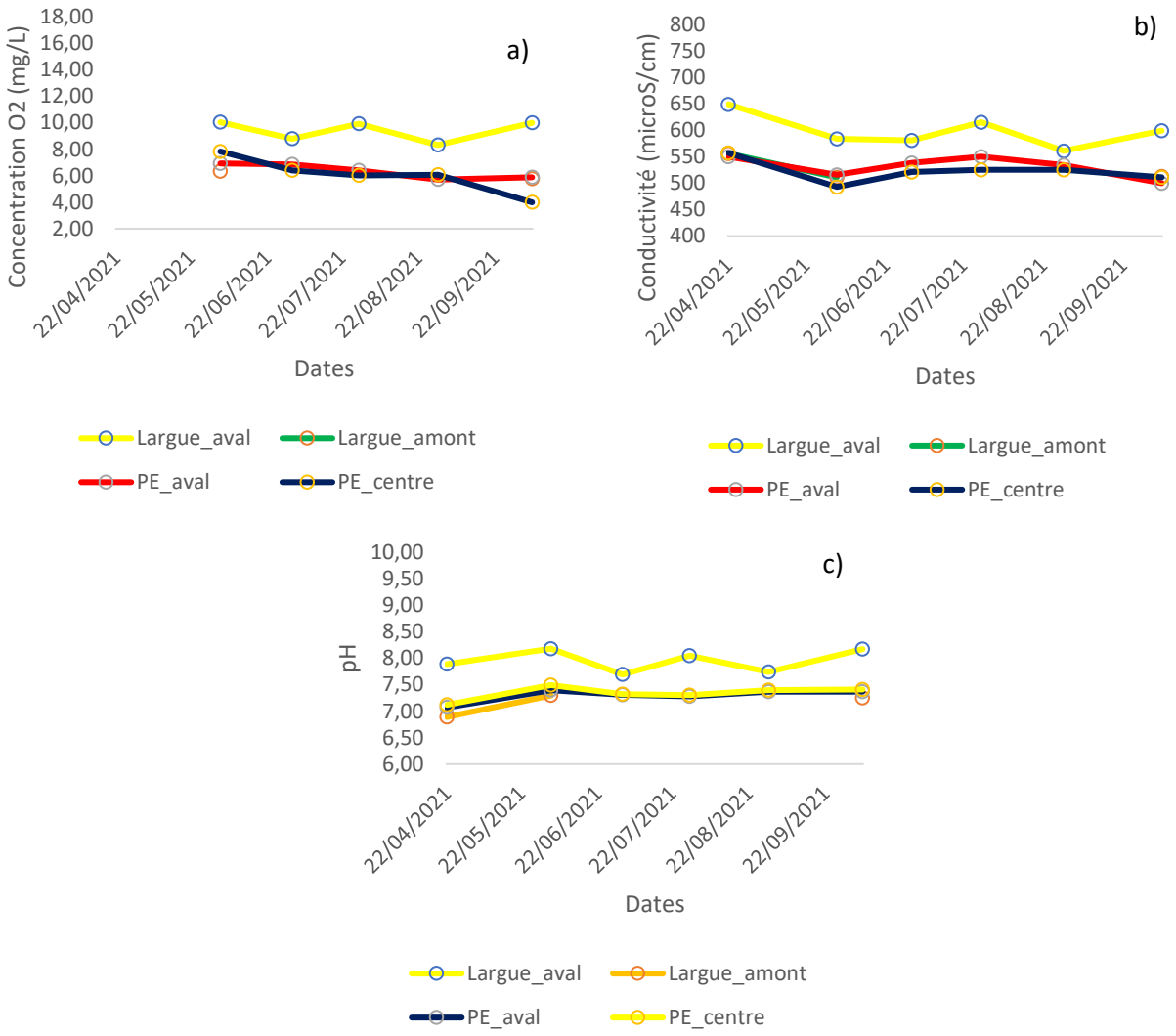


Figure 229 : Evolution temporelle et spatiale de la concentration en oxygène (a), la conductivité (b) et le pH (c) sur les stations du site de Levoncourt.

❖ Nutriments

A l'inverse des variables physico-chimiques les concentrations en nutriment sont fluctuantes sur le secteur étudié. Plusieurs pics de concentration ponctuels sont observés durant l'étude, notamment vis-à-vis des matières azotées.

Pour les nitrites, les concentrations sont globalement faibles et stables (<0,05mg/L la majeure partie du suivi), excepté en aval avec :

- 0,9mg/L de concentration en nitrite mesurée en aval le 02/07/21.

Pour les nitrates, les concentrations sont plus fluctuantes (fréquemment >20mg/L la majeure partie du suivi), avec :

- 60mg/L de concentration en nitrate mesurée en aval le 02/07/21. La concentration est aussi de 30mg/L avant (03/06/21) et après (29/07/21). Ces mesurent mette en avant une réelle problématique de pollution au nitrate sur la Largue aval ;
- Des fluctuations autours de 20mg/L pour les autres stations (notamment le plan d'eau aval) mais sans jamais atteindre les ordres de grandeurs de la station aval.

Pour l'ammonium, l'ensemble des mesures présente une concentration inférieure à 0,1mg/L ce qui est très positif sauf dans le cas de l'aval le 02/07/21 avec 0,2mg/L.

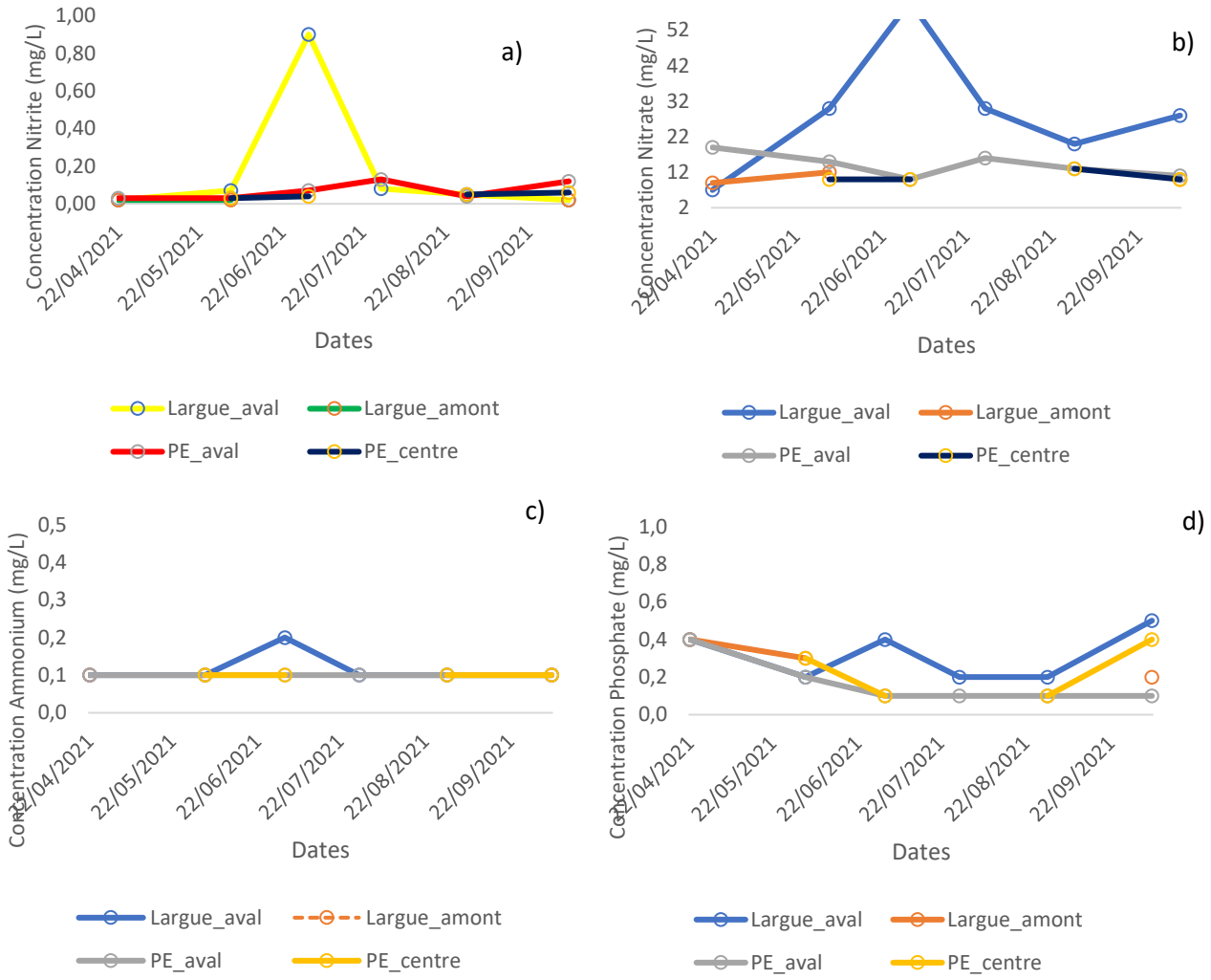


Figure 230 : Evolution temporelle et spatiale de la concentration en nitrite (a), en nitrate (b), en amonium (c) et en phosphate (d) sur Levoncourt.

Vis-à-vis du phosphate, les concentrations sont globalement faibles mais un pic est observé le 02/07/21. Il a été observé en aval (0,4mg/L) ainsi qu'en début et en fin de suivi sur l'ensemble des stations.

La plupart des pics de concentrations correspondent à des épisodes pluvieux, ce qui peut expliquer une partie des résultats avec un impact important des ruissellements dans la commune de Levoncourt.

La Largue est ainsi particulièrement en bon état au sein de la commune de Levoncourt. Elle présente réellement des enjeux fort sur ce secteur (largeur moyenne de 3m, richesse en substrats favorables à la reproduction de la Truite fario, oxygénation et thermie favorable, etc.).

Mais ce secteur semble également faire face à des perturbations aigües et récurrentes notamment vis-à-vis des concentrations en matières azotées. La surveillance accrue des sources potentielles de ces nutriments est particulièrement pertinente.

❖ Rapport N/P

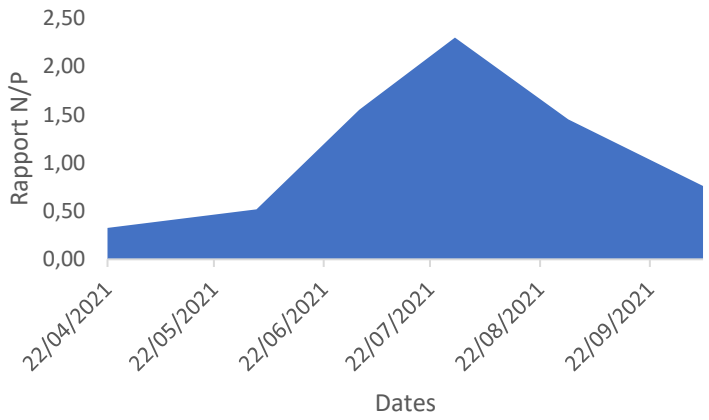


Figure 231 : Rapport azote minéral / orthophosphate dans la couche euphotique (moyenne des concentrations) dans le plan d'eau de Guershwiller en 2021.

La valeur du rapport entre l'azote et le phosphore (ratio N/P ou rapport de Redfield) permets de distinguer l'élément nutritif limitant (Redfield, 1985). Le rapport moyen optimal pour la croissance de la plupart des espèces de phytoplancton est de 7/1. Ainsi, lorsque le rapport est supérieur à 7, cela signifie que le phosphore est le principal facteur limitant. A l'inverse si le rapport est inférieur à 7, ce sont les nitrates qui seront le facteur limitant la croissance des algues. Le rapport est réalisé entre la somme de l'azote minéral (NH4+ et NO3- notamment) et les orthophosphates (PO4 3-).

Dans le cas des mares de Levoncourt, le rapport de Redfield est très fluctuant lors de l'étude mais particulièrement bas (à l'inverses des autres plans d'eau).

Des variations apparaissent (comme en été et en début de saison), mais c'est donc majoritairement l'azote qui est le facteur limitant. Les résultats se détachent des autres sites à cause concentration en orthophosphate restant relativement importante tout au long du suivi (0,2mg/L en moyenne).

En général, le phosphore est le facteur limitant dans les parties amont des bassins, et l'azote devient limitant à l'aval lorsque les divers rejets urbains ont saturé les cours d'eau en phosphore. Il peut donc apparaitre pertinent de cibler les sources de phosphore aussi haut sur le bassin aussi bien que les sources de matières azotés (importantes sur le cours de la Largue).

d) Volet invertébré

c)

a)

	Amont Levoncourt		Aval Levoncourt	
Nombre de taxons :	22		22	
Classe de variété :	7		7	
Groupe Faunistique Indicateur (/9) :	8		8	
Taxon Indicateur :	*Odontoceridae*		*Odontoceridae*	
Equivalent I.B.G.N. / 20 :	**14**		**14**	
Taille du cours d'eau /HER /EQR	MP18	0,87	MP18	0,86
Qualité biologique *IBG-DCE	**Bon**		**Bon**	
EQR I2M2	0.7458		0.8967	
Qualité biologique *I2M2	**Très bon**		**Très bon**	

** suivant l'arrêté du 28 juillet 2018*

b)

Indices complémentaires	Amont Levoncourt		Aval Levoncourt	
Robustesse (/20) :	12		11	
Equitabilité (max. 1) :	0,46		0,57	
Indice de Shannon : Diversité	2,24		2,91	
Diversité maximale	4,91		5,09	
Taxons dominants	*Gammaridae*	63,74%	*Simuliidae*	28,33%
	Chironomidae	8,65%	*Baetidae*	27,79%
EPT (nb à la famille/%)	10	14,07%	8	39,74%
EPT (diversité au genre)	11		8	
Densité (ind/m²)	4027		11797	

Figure232 : Résultats généraux du volet invertébré sur le site de Levoncourt (a), résultats complémentaires (b) et illustrations des groupes indicateurs (c).

❖ Analyse station amont

La station de la Largue à l'amont des plans d'eau de Levoncourt obtient une note de 14/20 au regard de l'IBGN, un EQR de 0,87 au regard de l'IBG-DCE et un EQR de 0,7458 au regard de l'I2M2. La qualité biologique de cours d'eau est donc qualifiée de très bonne.

Le groupe indicateur (G.I.) est représenté par les *Odontoceridae*, des tricoptères à fourreaux particulièrement polluosensibles (GI 8/9) préférant les zones oxygénées et diversifiées.

La présence du genre *Odontocerum* est particulièrement notable (en amont comme en aval). En effet, il s'agit d'un Tricoptère très sensible, spécifique et relativement rare sur le territoire national. Cette donnée sur le bassin de la Largue est unique et nouvelle. L'espèce a pour le

moment uniquement été notifié (au plus proche) dans le territoire du PNR du ballons des Vosges et au Sud de Besançon dans le Jura. Cette espèce est en générale plus affiliée à des milieux préservés de moyenne montagne ou de zone forestière (Ardennes, Jura, Massif central et Vosges – source : SINP).

La diversité est moyenne avec 22 taxons différents. La robustesse est bonne puisque que la note ne perd que 2 points après la suppression du groupe indicateur. Le taxon indicateur de robustesse est *Ephemera*, un éphémère relativement pollusensible (GI 6/9). Dans l'ensemble la communauté est diversifiée mais moyennement à faiblement équilibrée (0,46).

Les taxons les plus polluosensibles (Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères) sont représentés par 14,1% du peuplement avec 11 taxons sur les 22. Ils sont le plus représenté par les Coléoptère *Elmidae* et par les *Baetidae* (notamment *Baetis*).

Sur la Largue amont, ce sont les Crustacées qui dominent très fortement le peuplement (64%) avec notamment la famille des crustacés *Gammaridae* (63,7%). Les autres taxons les plus présent sont les *Chironomidae* (8,65%), et les *Elmidae*, (8,15%). Les insectes représentent 34% du peuplement, témoignant par-là de la très forte dominance en termes de proportion des Crustacés. Parmi les insectes, les diptères dominent le peuplement mais les Ephéméroptères et les Coléoptères sont aussi bien représentés sur cette station.

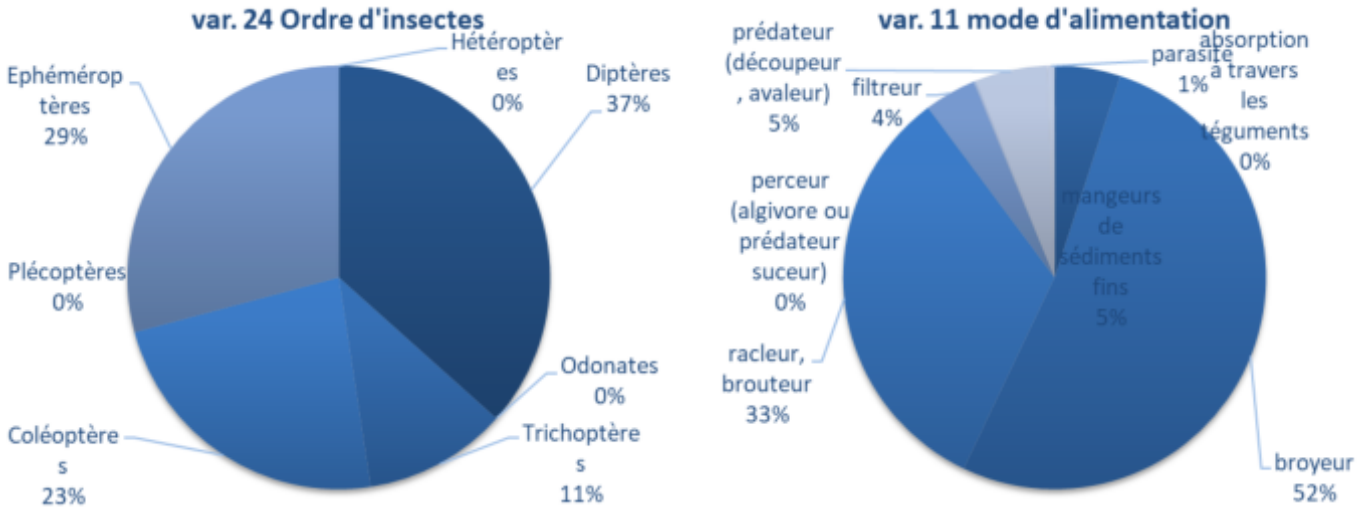


Figure233 : diagramme des proportions des variables 24 (ordres d'insectes) et 11 (modes d'alimentation).

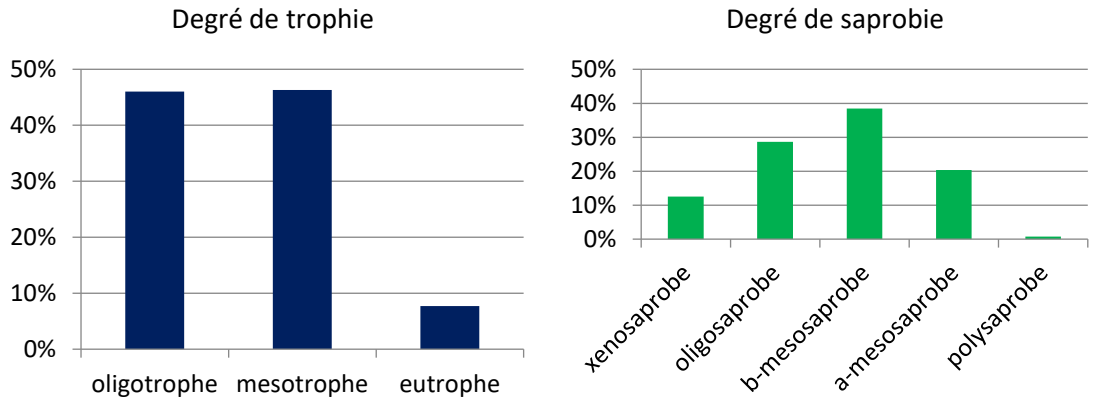


Figure234 : histogramme des degrés de trophie et de saprobie (amont Levoncourt).

Les graphiques semblent indiquer un milieu oligotrophe à mésotrophe et une communauté plutôt b-mésosaprobe à oligosaprobe, ce qui met en évidence un enrichissement modéré en nutriment dans le cours d'eau.
Les broyeurs (52%) et les racleurs/brouteurs (33%) sont les plus nombreux (tous deux principalement représentés par les *Chironomidae* et les *Gammarus*, très présent sur la station). Ces deux catégories représentent 85% de la répartition trophique. Celle-ci correspond habituellement à celle d'un cours d'eau situé en partie amont du bassin avec une plus grande part de broyeur qu'attendus.

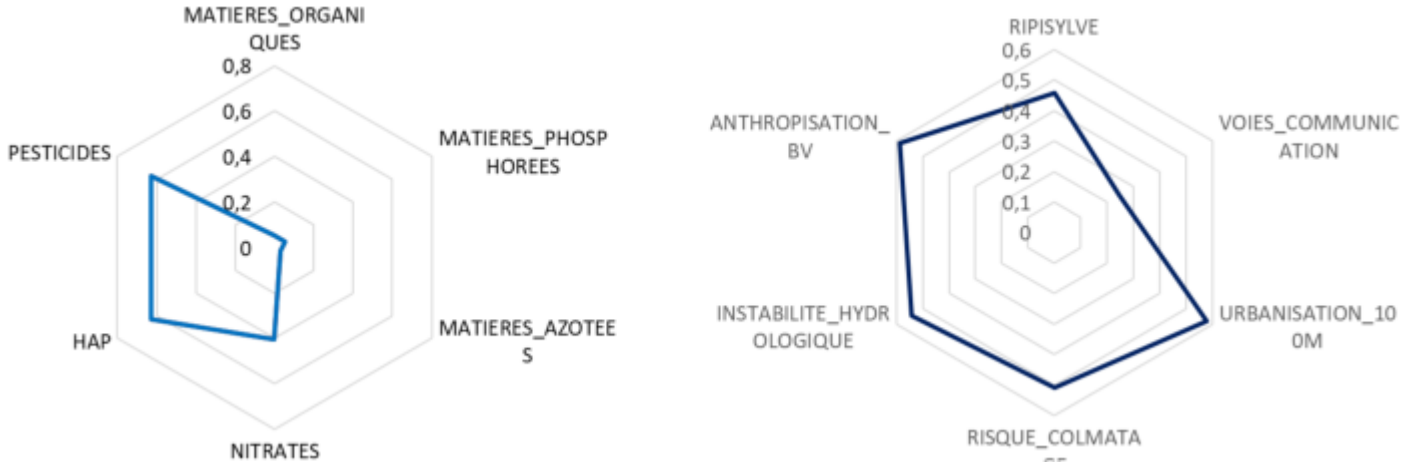


Figure235 : Résultats de l'outil de diagnostic ODInvertebres sur la station amont Levoncourt.

L'outil de diagnostic « ODInvertebres » permets de mettre en évidence des probabilités associées à chaque type d'altération.

Dans le cas de la station située en amont du plan d'eau, les pressions sont multiples et concernent principalement :

- Les Pesticides ;
- Les HAP ;
- Les Nitrates dans une moindre mesure ;
- L'anthropisation du bassin versant et l'urbanisation entre 0 et 10m (cohérente avec la traversé urbaine, la Largue qui est contrainte entre deux murs de rive) ;
- Des problématiques concernant la ripisylve (pouvant être mises en relation avec les coupes observées en amont ou les matières de remblais utilisées en défense de berge) ;
- Un risque de Colmatage et une instabilité hydrologique.

❖ Analyse station aval

La station de la Largue à l'aval du plan d'eau de Courtavon obtient également une note de 14/20 au regard de l'IBGN, un EQR de 0,86 au regard de l'IBG-DCE et un EQR de 0,8967 au regard de l'I2M2.
La qualité biologique de cours d'eau est donc qualifiée de très bonne vis-à-vis de l'I2M2. L'EQR est même meilleur en aval qu'en amont. Pratiquement aucune divergence n'est observée avec une diversité identique (22 taxons) et des indices proches.

Le groupe indicateur (G.I.) est également représenté par genre *Odontocerum* (GI8/9). Les peuplements sont moyennement équilibrés (0,57). La robustesse est de 11/20 (soit une perte de trois points) avec le taxon indicateur de robustesse des *Heptageniidae* (GI 5/9), avec le

genre *Rhintrogena* un Ephéméroptère moyennement sensible et plus commun en tête de bassin versant (parfois surnommé « brune de mars »).

Les taxons les plus polluosensibles (Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères) sont représentés par 39,74% du peuplement avec 8 taxons sur les 22. Si les EPT sont représentés par moins d'espèce, ils sont bien plus présents en aval qu'en amont. Les insectes sont dominants (86%) à l'inverse des Crustacés sur la station amont.

En termes de proportion générale, ce sont les *Simulidae (*des petits Diptères filtreurs dont la larve possède une ventouse*)* qui dominent le peuplement à hauteur de 28,3%, suivi par les *Baetidae* (27,8%), et par les *Ephemerellidae* (24,9%).

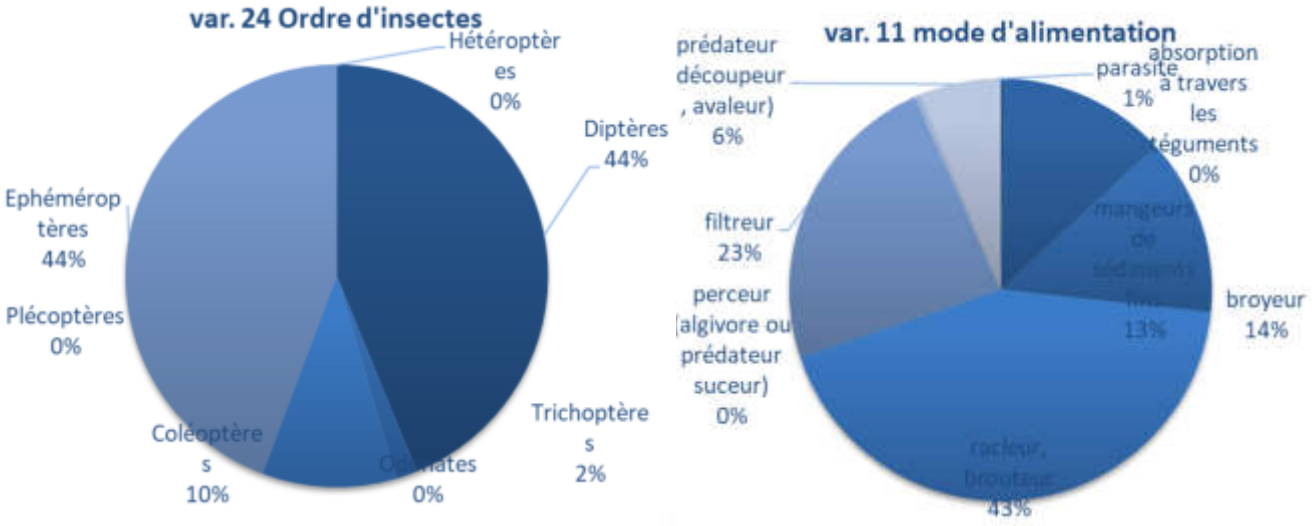


Figure236 : diagramme des proportions des variables 24 (ordres d'insectes) et 11 (modes d'alimentation).

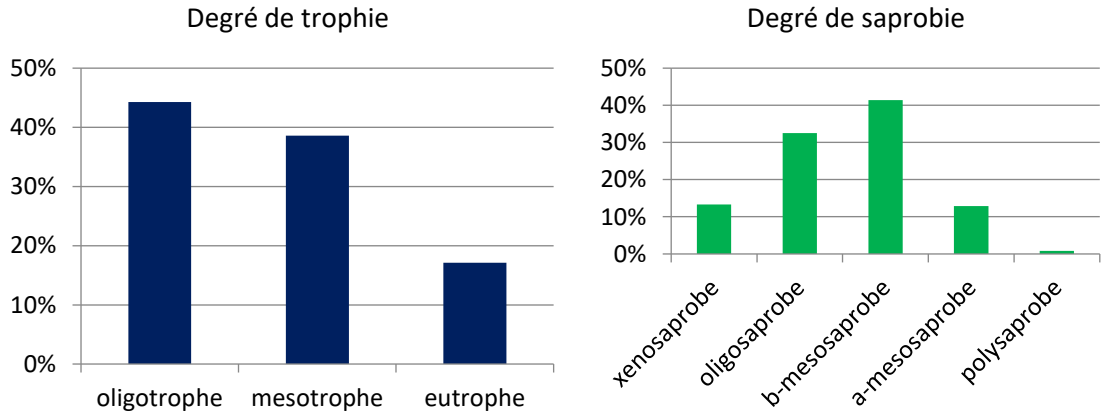
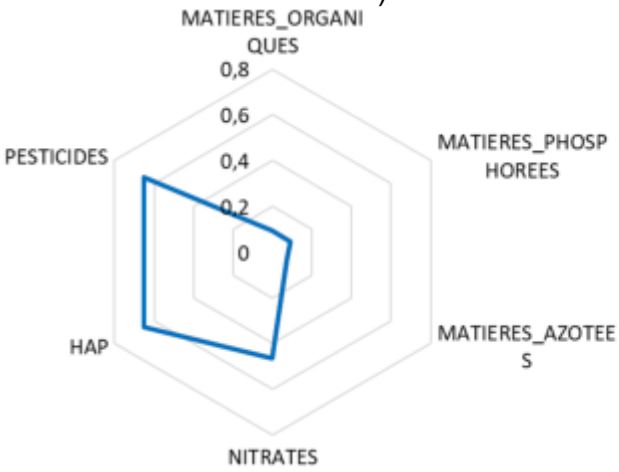


Figure237 : histogramme des degrés de trophie et de saprobie (aval Levoncourt).

Les graphiques semblent indiquer un milieu oligotrophe à mésotrophe et une communauté plutôt b-mésosaprobe à oligosaprobe, ce qui met en évidence un enrichissement modéré en nutriment dans le cours d'eau. La stations aval semble donc plus oligotrophe que la station amont. Ces observations sont divergences des conclusions du volet physico-chimie.
Néanmoins, si ces résultats mettent en avant un milieu plus oligotrophe et plus résilient à la matière organique et aux nutriments, c'est sans doute parce que les pics de pollution azotés ne sont normalement pas si communs au long de l'année.

Les broyeurs (14%) et les racleurs/brouteurs (43%) sont les plus nombreux (avec les filtreurs représentés par les nombreux *Simulidae* avec 13%). Ces proportions sont très différentes de l'amont, probablement à cause du changement des habitats et de l'environnement à l'aval. En effet, la station amont traverse une zone ombragée et arborée alors que la station aval présente des habitats riches en herbiers, en sédiment plus fin et une ripisylve très éparse (en traversé de la commune).



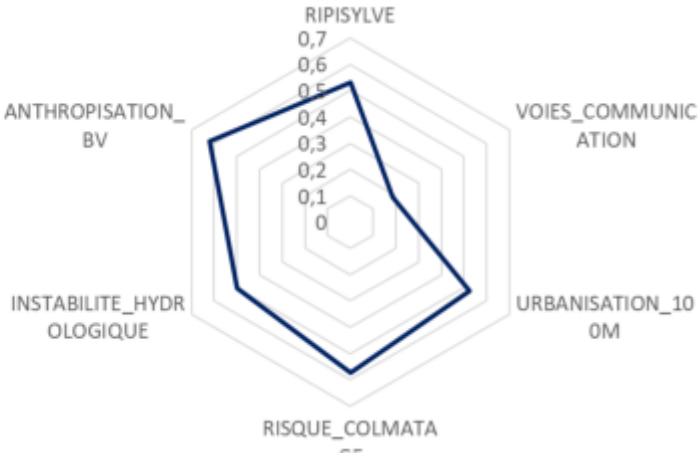


Figure238 : Résultats de l'outil de diagnostic ODInvertebres sur la station aval Levoncourt.

L'outil de diagnostic « ODInvertebres » permets de mettre en évidence des typologies de pression similaire à l'amont (mais plus modérées) avec :

- Les pesticides ;
- Les HAP ;
- Les nitrates dans une moindres mesure ;
- L'anthropisation du bassin, l'urbanisation, le risque de colmatage et dans une moindre mesure l'instabilité hydrologique.

❖ Analyse globale

La comparaison entre les résultats obtenus à l'amont et à l'aval de Levoncourt, met en évidence plusieurs points :

➔ Aucune différence significative n'est observée au niveau des classes de qualités (très bonne dans les deux cas).

➔ Les observations principales sont :
  - Une diversité identique ;
  - Une hausse minime de l'EQR en aval ;
  - Le même groupe indicateur mais représenté par une espèce rare ;
  - Une importante évolution des traits biologiques entre l'amont et l'aval (caractéristique d'environnement forestier en amont et de milieu plus ouvert en aval).
  - Pas d'impact significatif au niveau de la trophie entre l'amont et l'aval (oligo-mesotrophe) ;

➔ Si une bonne fonctionnalité est identifiée avec certains groupes d'invertébrés polluosensibles ce sont surtout des pressions multiples dès l'amont du bassin qui ont été mises en évidences comme :
  - Les pesticides, les HAP, les nitrates ;
  - Mais aussi des problématiques structurantes avec : l'anthropisation, l'urbanisation, le colmatage et la ripisylve.

e) Volet astacicole

Plusieurs campagnes de piégeage à l'aide de 4 nasses réparties sur les pièces d'eau ont été réalisées. Seule une espèce a été capturé sur le site, il s'agit de l'écrevisse à pattes blanches (*Austropotamobius pallipes*). La présence de l'espèce induit des enjeux fort (liste rouge mondiale des espèces menacées, en annexe III de la convention de Berne, en annexe V et II de la DHFF).

Ce qu'il faut retenir : Levoncourt

Approche physique

- La Largue est **caractérisée par un environnement prairial et forestier** sur le secteur amont. La zone présente des **enjeux fort mais également des pressions avec la traversé urbaine** de la commune de Levoncourt (piétinement, remblais, lit mineur contraint par deux murs, petits seuils, passage sous-terrain…) ;
- Les plans d'eau sont caractérisés par une petite taille contrairement aux autres sites étudiés ;
- Les plans d'eau sont caractérisés par des **eaux de sources froides**, peu d'habitats et une oxygénation réduite ;
- Le **secteur d'étude est relativement préservé** vis-à-vis des perturbations liées à de fortes concentrations en nutriment. **Mais plusieurs paramètres physico-chimiques sont problématiques** dont principalement les nitrites, les nitrates et le phosphates à plusieurs périodes ;
- Des **pics de concentrations en matières azotés** sont mis en évidence en aval lié au ruissellement ;
- Le rapport de Redfield met en évidence la nécessité d'agir sur les **nitrates** (facteur limitant) ;

Approche biologique

- L'étude des invertébrés a mis en évidence une **qualité biologique très bonne sur les deux stations** ;
- **Aucune différence significative n'est identifiée entre l'amont et l'aval** au niveau des indices (parfois meilleurs en aval) ;
- Une **espèce rare de Tricoptère** est identifiée ainsi que **l'écrevisse à pattes blanches ;**
- Les outils de diagnostics liés à l'étude des invertébrés mettent en lumière **3 pressions principales** qui pèsent sur le tronçon étudié : les pesticides, les HAP et les nitrates (dès l'amont éloigné)
- Les outils de diagnostics mettent également en évidence un **impact important de la traversé urbaine** avec l'anthropisation, l'urbanisation des rives, le colmatage et la ripisylve ;

Perspectives

- **Des pressions multiples sont identifiées dès l'amont mais ce secteur semble être le plus préservé des 6 sites étudiés**
- Ces observations mettent donc en évidence un secteur à **enjeu de protection** mais aussi la nécessité **d'agir sur deux axes principaux** : l'hydromorphologie (rive et ripisylve) et la surveillance des pollutions en matières azotés ;
- Le cortège de plan d'eau ne semble donc pas avoir d'impact identifié sur la Largue et il peut apparaitre plus **pertinent d'axer des efforts directement sur le cours principal ;**
- Au regard des enjeux de perturbation en **matières azotés**, il serait pertinent de sensibiliser l'exploitant ou encore de cibler des zones de clôture et/ou des zones d'abreuvement pour limiter le piétinement et la dégradation de la **qualité de l'eau** ;
- Le site présente une complexité particulière avec la présence de l'écrevisse à pattes blanches. En effet, une réflexion sur l'intérêt de modifier le site ou non doit être apporté au regard de la présence de l'espèce qui semble s'y être implantée.

6. Approche globale et perspectives

1. Des impacts identifiés et quantifiés, aussi diversifié que les typologies étudiées

a) Le cas de l'ADNe

L'ensemble des stations ont présenté des résultats positifs quant à la détection d'ADN de plusieurs espèces de poissons. Nous avons ainsi pu détecter au total **26 espèces différentes dans l'ensemble du Sundgau** à l'aide de la technique de l'ADNe.

La richesse spécifique moyenne retrouvée sur les 4 sites étudiés est de 13,6 taxons différents avec 3 espèces détectées au minimum (Guershwiller) et 20 au maximum (Courtavon et Montreux-Est). A l'aide des deux indicateurs que sont le nombre de séquences de gènes et de réplicas positifs, il est possible d'avoir une idée de la proportion (semi-quantitative) des diverses espèces détectées par rapport aux autres.
Les 5 espèces les plus communément retrouvées dans le Sundgau sont ; la Perche soleil (*Lepomis gibbosus* - 22%), le Brochet (*Esox lucius* - 14%), le Gardon (*Rutilus rutilus* - 11%), le Goujon asiatique (*Pseudorasbora parva* - 9%) et la Brème commune (*Abramis brama* – 7%).
Les espèces les moins représentées sont la Truite fario, le Chevesne et le Vairon.
Plusieurs espèces ont été détecté sur l'ensemble des sites (ou presque) comme : la Carpe commune (7/7), la Perche soleil (6/7), le Gardon (6/7) et le Goujon asiatique (6/7).

Diversité totale détectée :	**26**	
Richesse moyenne	13,6	
Richesse minimum par station	3 (Guershwiller)	
Richesse maximum par station	20 (Montreux Est & ensemble de Courtavon)	
Taxons les plus représentées (occurrence/séquences totales)	**CCO** (7/108501)	**PES** (6/398363)
Taxons les moins représentées (occurrence/séquences totales)	**EPI** (1/136)	**SIL** (1/136)
Espèces patrimoniales dénombrées	**5**	
Espèces exotiques dénombrées	**9**	
Espèces exotiques détectées	PES, SAN, BBG, SIL, PSC, ASP, PSR, CAR&CTI, CAA	
Espèces patrimoniales détectées	ASP, BRO, BOU, TRF, VAI	

5 espèces les plus communes	CCO, PES, GAR, PSR, BRO
5 espèces les plus représentées	PER, BRO, GAR, PSR, BRE
5 espèces les moins représentées	VAI, TRF, CHE, LOF, ASP

Nom scientifique	Nom vernaculaire	Statuts UICN
Leuciscus aspius	Aspe	**NA (Alsace) ; LC (Monde)**
Esox lucius	Brochet	**VU**
Rhodeus amarus	Bouvière	**LC ; Annexe II DHFF ; Annexe II CB**
Salmo trutta	Truite Fario	**LC ; Annexe II DHFF**
Phoxinus phoxinus	Vairon	**LC**

5 espèces patrimoniales sont retrouvées dans le Sundgau avec l'Aspe, le Brochet, la Bouvière, la Truite fario et de Vairon.

Mais 9 espèces exotiques sont dénombrées dont 3 espèces exotiques envahissantes avec le Goujon asiatique, le poisson chat et la Perche soleil.

Globalement les peuplements des plans d'eau du Sundgau sont ainsi caractérisés par une dominance forte des espèces spécifiques de milieux stagnant mais aussi par des proportions importantes en espèces exotiques.

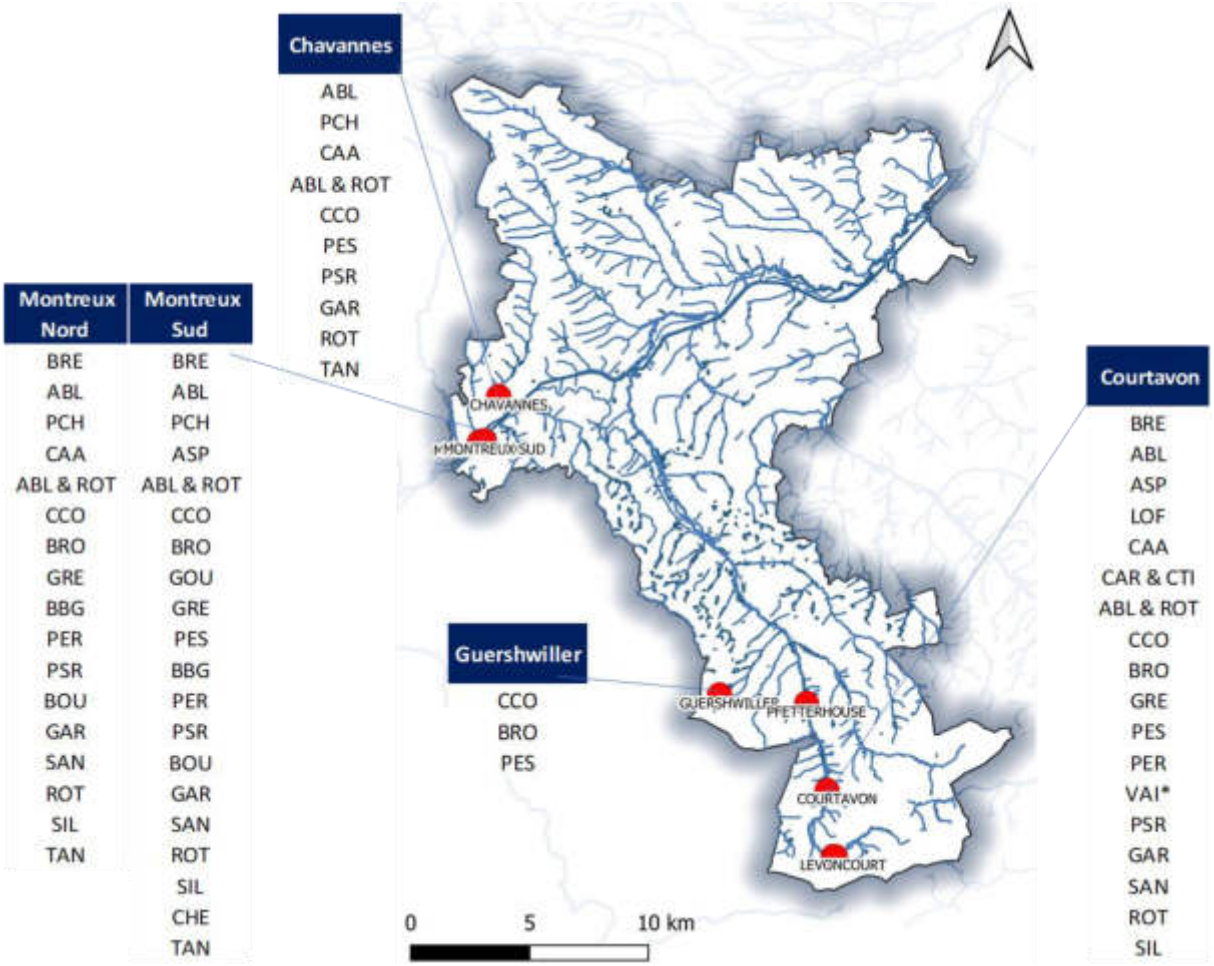


Figure 239 : Répartition générale des espèces de poissons détectées grâce à l'ADNe dans le Sundgau (codes espèces en annexe ou sur .

b) Le cas des invertébrés benthiques

L'analyse des communautés d'invertébrés benthiques (à travers l'I2M2 et l'analyse des traits bioécologiques) a permis de mettre en lumière un certain nombre de points sur les 5 sites étudiés lors de ce volet.

Pour aller plus loin, il est pertinent de comparer les résultats entres eux. Ce travail est facilité via l'analyse factorielle des correspondances. Il s'agit d'une technique d'analyse statistique descriptive visant à résumer l'information contenue dans un grand nombre de variables afin de faciliter leur interprétation. On cherche à savoir quelles sont les modalités corrélées entre elles et en l'occurrence, si les 5 populations d'invertébrés sont dissemblables et en quoi.

L'analyse porte ici sur 10 stations (30 échantillons et 66 taxons différents, les données sont log-transformées et les taxons rares supprimés). 54.9 % de variance est expliquée dès les 2 premiers axes et 85,9% sur les 5 premiers axes. Le modèle est ainsi particulièrement robuste. Ainsi :

- ➔ Guershwiller et Chavannes sont quant à eux proches (et très différenciés des autres stations) ;
- ➔ Amont Pfetterhouse, aval Pfetterhouse et aval Courtavon sont également proches entre eux mais sont différenciés de l'amont de Courtavon qui est plus isolé ;
- ➔ Levoncourt est séparé des autres groupes par les deux axes factoriels et présente plusieurs taxons qui ne sont pas présent dans les autres stations ou ne sont pas corrélés avec d'autres (comme *Ondotocerum* un Trichoptère rare et polluo-sensible).
- ➔ Guershwiller et Chavannes (groupement des « affluents perturbés ») présentent des taxons très différents des autres stations comme de nombreux diptères (*Dixidae*, *Anthomyidae*) et des taxons particulièrement polluotolérant (notamment à la pollution organique) comme *Sialis* et *Asellidae* ;
- ➔ Certains taxons remarquables comme les *Goeridae* sont affilié à la Largue médiane (de Pfetterhouse à Courtavon). *Odontocerum* est retrouvé uniquement sur la Largue amont (Levoncourt). *Leptophlebia* (un Ephéméroptère très sensible) est enfin quant à lui, trouvé uniquement sur l'amont des deux « ruisseaux perturbés » (Guershwiller et Chavannes).

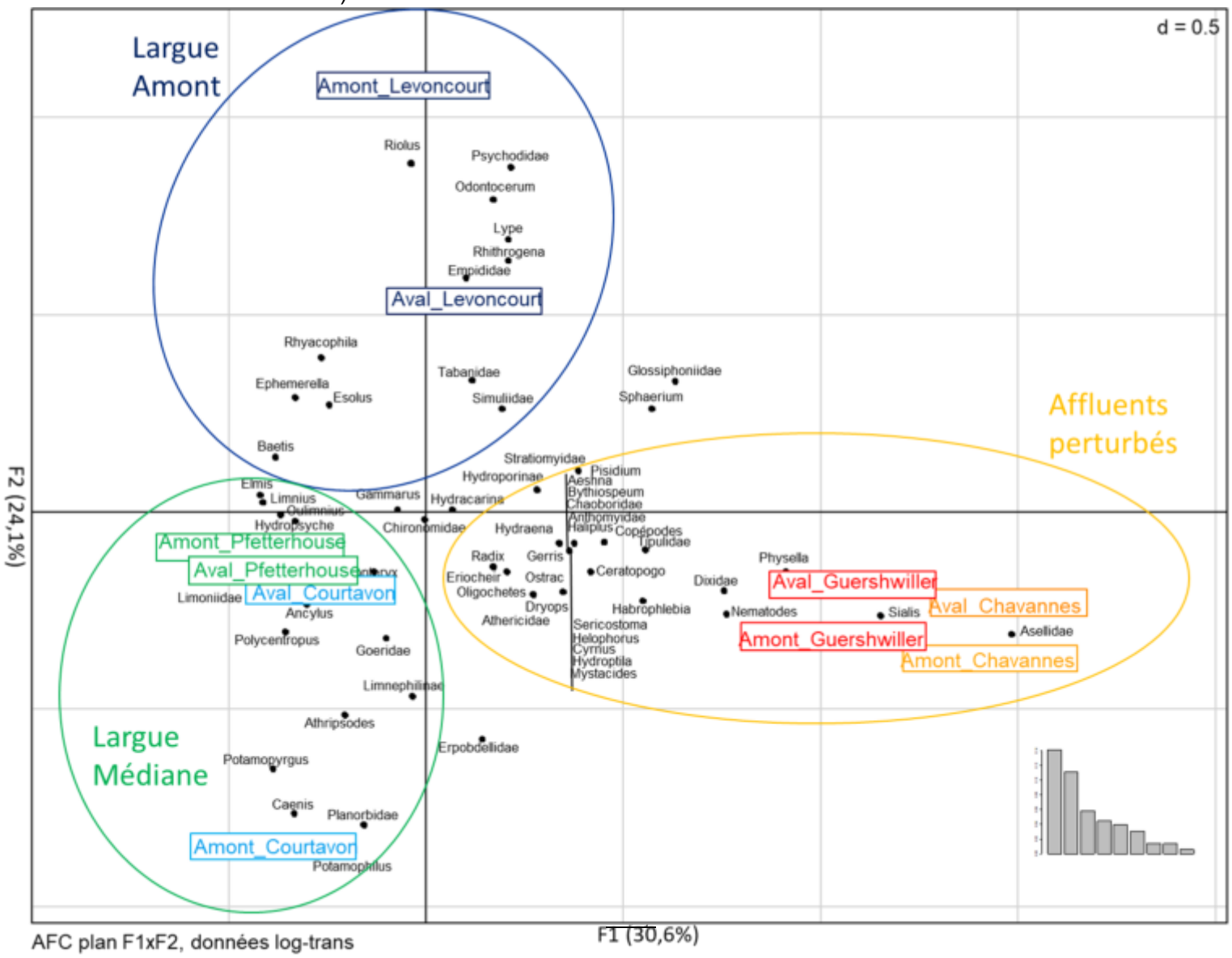


Figure 240 : Analyse factorielle des correspondances sur les listes faunistiques obtenues sur les 10 inventaires I2M2 du Sundgau (données log-transformées). [Total inertia 0.70 ; Projected inertia Ax1 30.60% Ax2 24.10% Ax3 15

C'est ainsi **3 groupes principaux** qui sont générés par ce comparatif global avec :

- Le cluster « **Largue amont** » avec les deux stations de Levoncourt. Ce groupe est caractérisé par des espèces spécifiques et polluo-sensibles ;
- Le cluster « **Largue médiane** » avec les 4 stations de Pfetterhouse à Courtavon. Ce groupe est caractérisé par des espèces spécifiques du secteur médian, des communautés diversifiée et polluo-sensibles à moyennement polluosensibles ;
- Le cluster « **affluents perturbés** » avec les 4 stations des secteurs de Guershwiller et de Chavannes sur l'étang. Ce groupe est caractérisé par les communautés particulièrement perturbées, très polluotolérantes.

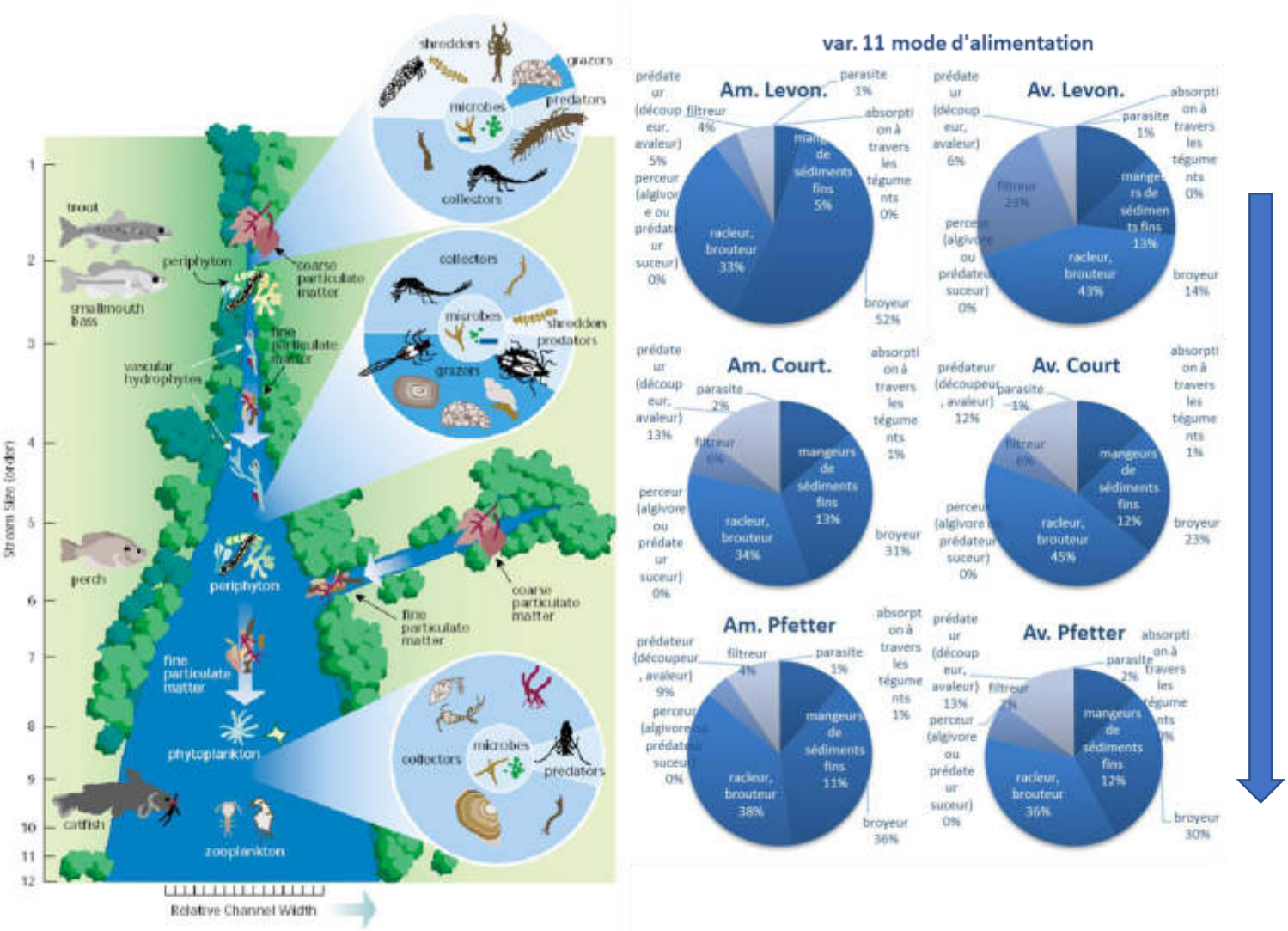
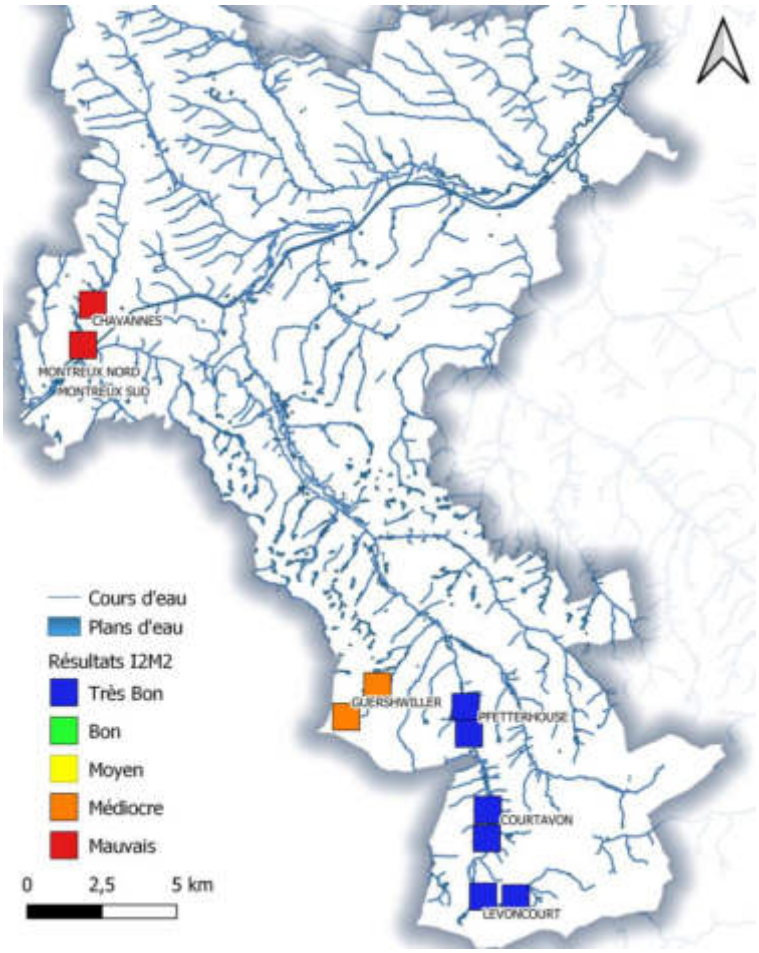


Figure241 : comparatif du trait bioécologique « mode d'alimentation » entre les stations de la Largue.

Si on considère plus spécifiquement les stations situées sur le cours de la Largue, il est possible d'aisément observer un gradient amont-aval en termes de groupement de communautés. En effet, plus classiquement, une dominance des taxons déchiqueteurs et collecteurs est attendue en amont, puis collecteur et brouteur en position médiane, puis une dominance des colleteurs en aval. Dans le cas de la Largue, la dominance des sources de matières allochtones liée à une tête de bassin plus forestière est mise en avant avec une dominance des broyeurs en amont. Mais c'est aussi le cas d'une proportion importante de taxons racleurs et filtreurs observés haut sur le bassin, mettant en avant l'importance de la matière organique particulaire fine ou du biofilm. Rapidement des proportions de mangeurs de sédiments fins sont en effet observés dès la position médiane.

Ainsi, les impacts des plans d'eau sur les communautés d'invertébrés benthiques peuvent être observés et quantifiés, ils sont globalement :

- ➔ Faible à nulle entre l'amont et l'aval de Levoncourt mais aussi de Pfetterhouse ;
- ➔ Faible à moyenne entre l'amont et l'aval de Courtavon ;
- ➔ Moyenne à fort entre l'amont et l'aval des sites de Guershwiller et de Chavannes sur l'étang.



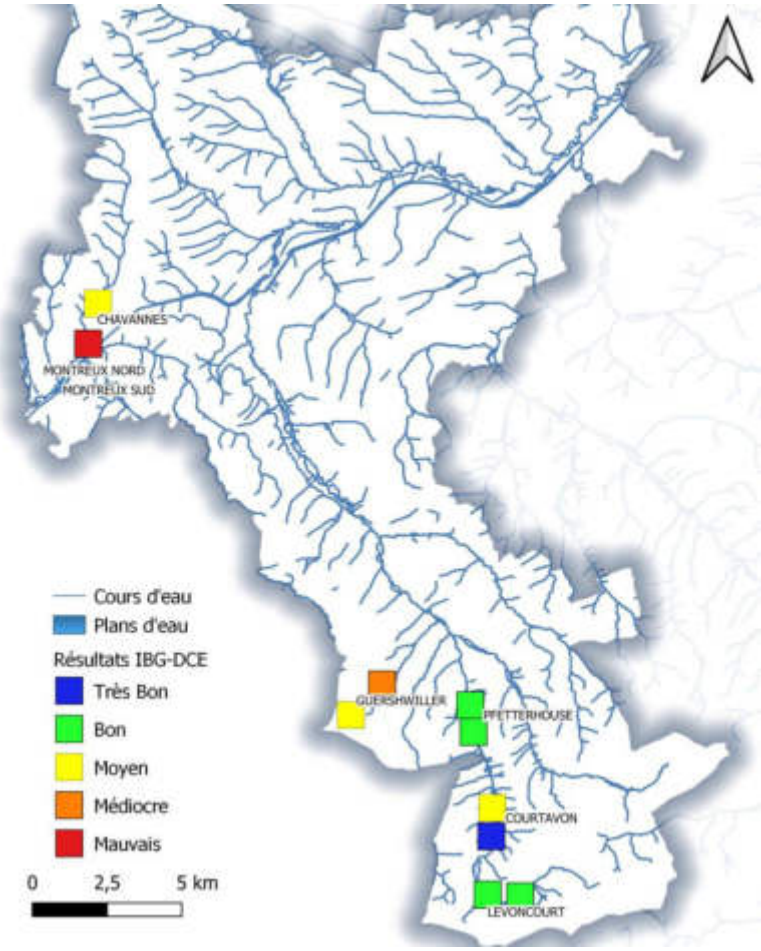


Figure 242 : Illustration des classes de qualité biologiques calculés sur les 10 stations à l'aide des résultats de l'I2M2 (à gauche) ou de l'IBG-DCE (à droite).

Néanmoins, ce volet a surtout également permis de mettre en avant des pressions diffuses importantes sur la Largue, et ce dès l'amont (à travers l'outil ODInvertébré). Avec :

- ➔ Impact des pesticides, nitrate, HAP, anthropisation et dans une moindre mesure du colmatage en amont ;
- ➔ Impact fort de l'instabilité hydrologique sur les communautés des deux affluents perturbés mais aussi matière azoté, matière phosphoré, anthropisation, pesticides, HAP et matière organique.

Sur la Largue, si des plans d'eau peuvent présenter un impact sur les communautés locale, il semble que c'est avant tout les pressions globales observées dès l'amont qui peuvent être problématiques et qui doivent également être prises en compte.

Les communautés d'invertébrés du Sundgau sont à découper en plusieurs groupes et semblent donc particulièrement conditionnées par :

- **Les effets cumulatifs des étangs qui structurent fortement les interrelations systémiques dans le Sundgau (réseau trophique) ;**
- **Par l'occupation du sol et les pratiques de gestions locales ;**
- **Mais aussi par un ensemble de pressions diffuse, identifiées dès l'amont.**

c) Le cas de la thermie

Les résultats produits lors du volet thermie ont permis de mettre en avant **3 grandes typologies d'impacts en relation avec la nature de chaque site**. Ainsi :

- ➔ Un **effet non significatif à faible** avec le site de Pfetterhouse (l'eau est rejetée à la Largue par un moine de fond, les échanges sont réduits au minimum et le plan d'eau est en dérivation) ;
- ➔ Un **effet faible à modéré** avec le site de Courtavon et concentré de mai à aout (l'eau est rejetée par un déversoir de surface dans une zone boisée et le plan d'eau est en dérivation) ;
- ➔ Un **effet fort** avec le site de Chavannes (l'eau est rejetée par un déversoir de surface dans une zone peu boisée et le plan d'eau est en barrage).

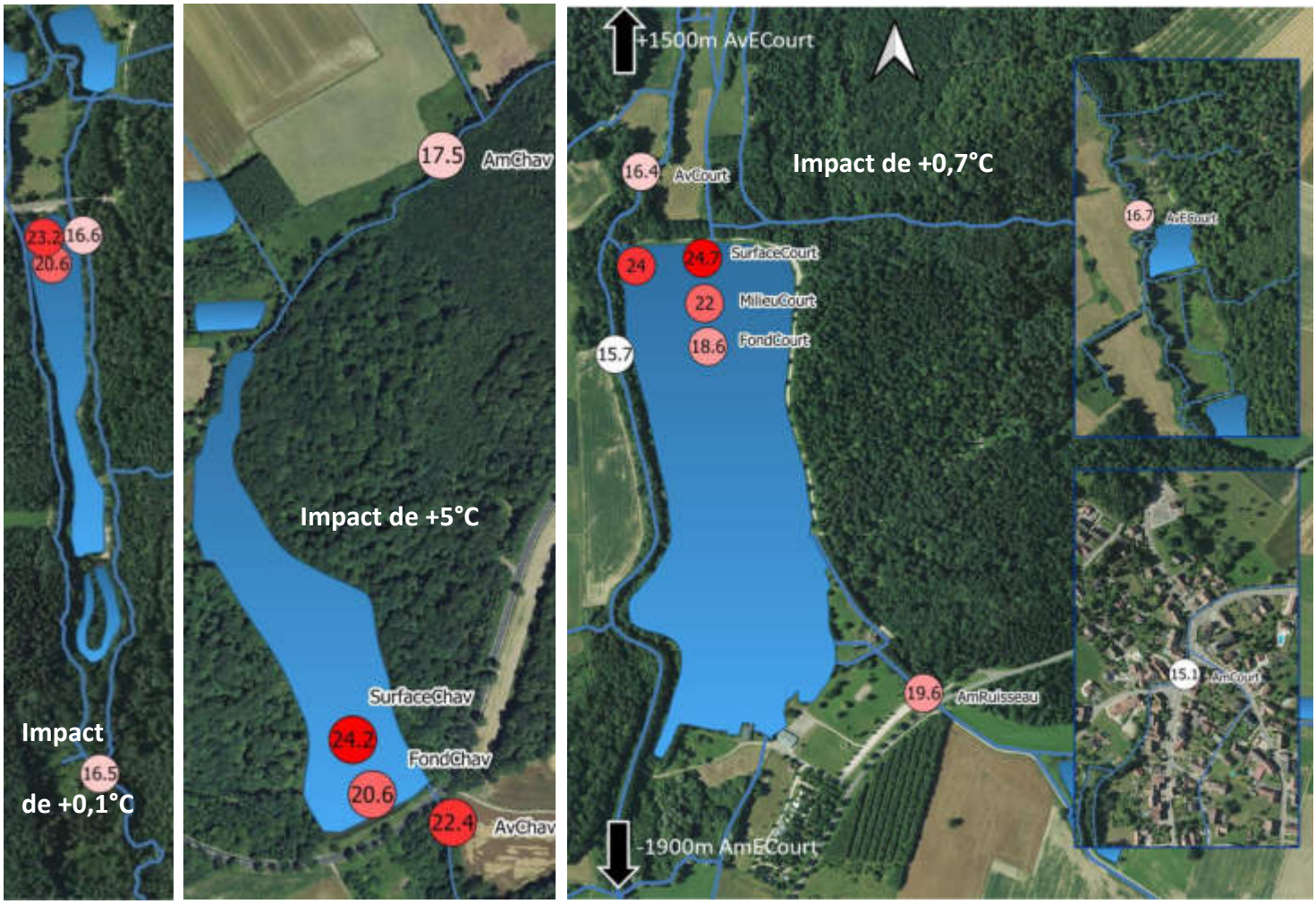


Figure243 : Schéma des températures moyennes des 30jours les plus chauds des 3 sites principaux : Pfetterhouse, Chavannes et Courtavon.

Ainsi, l'effet immédiat de l'étang dépend de son équipement hydraulique et sa nature : déversoir, moine ou dérivation, ombrage, etc. avec un effet maximisé en saison estivale.

Ces résultats rejoignent d'autres comparatifs bibliographiques comme l'étude de Touchart et al. dans les ensembles d'étangs du Limousin (Touchart et al. 2007). On estime en moyenne le réchauffement annuel dû à un étang à déversoir de surface de 2 °C (et 4°C en été), contre 1,2 °C pour un étang à moine (entre 1°C et 3°C en été) et de quelques dixièmes pour un étang à dérivation (inférieur à 3°C en été).

En termes de préconisations il est possible de mettre en avant plusieurs typologies d'actions en fonction des résultats telles que :

- ➔ Pour les étangs de moins d'1m de profondeur : dérivation uniquement (la nature de la sortie d'eau importe peu car la température est homogène en fonction de la profondeur) ;
- ➔ Pour les étangs compris entre 1 et 4m de profondeur : le moine fournit généralement une eau sans saute thermique, n'excluant pas de forts réchauffements lors de temps perturbés et orageux ;
- ➔ Pour les étangs entre 3 et 6m de profondeur : l'eau soutirée est peu réchauffée par rapport à celle d'entrée et les écarts thermiques sont écrasés. Mais le risque de manque d'oxygène est grand ;
- ➔ Dans les 3 cas l'ombrage et la qualité de la ripisylve sont des éléments prépondérants.

2. Agir, préserver et restaurer

a) Perspectives globales

L'étude des plans d'eau Sundgauviens a permis de suivre sur 6 à 12 mois 7 sites pilotes de typologies variées et représentatives du maillage dense de plus de 1000 plans d'eau de cette zone géographique particulière. D'une manière générale, les plans d'eau présentent des communautés biologiques (invertébré et poisson) divergentes entre l'amont et l'aval. Mais l'analyse des communautés biologiques et des indicateurs physiques permet surtout de nous renseigner sur un grand nombre de pressions diffuses. Ces pressions sont observées dès l'amont du bassin.
Le volet invertébré permis notamment de mettre exergues **3 groupes de communauté différentes** avec : la Largue amont, la Largue médiane et les affluents perturbés.
Globalement la typologie des impacts identifiés et quantifiés sur les divers sites est variée. Elle est bien souvent directement en relation avec la typologie des hydrosystèmes étudiés.
Plusieurs familles d'impacts sont donc identifiées à travers l'étude grâce aux volets biologiques et aux volets physiques : comme Faible – Modéré – Fort.

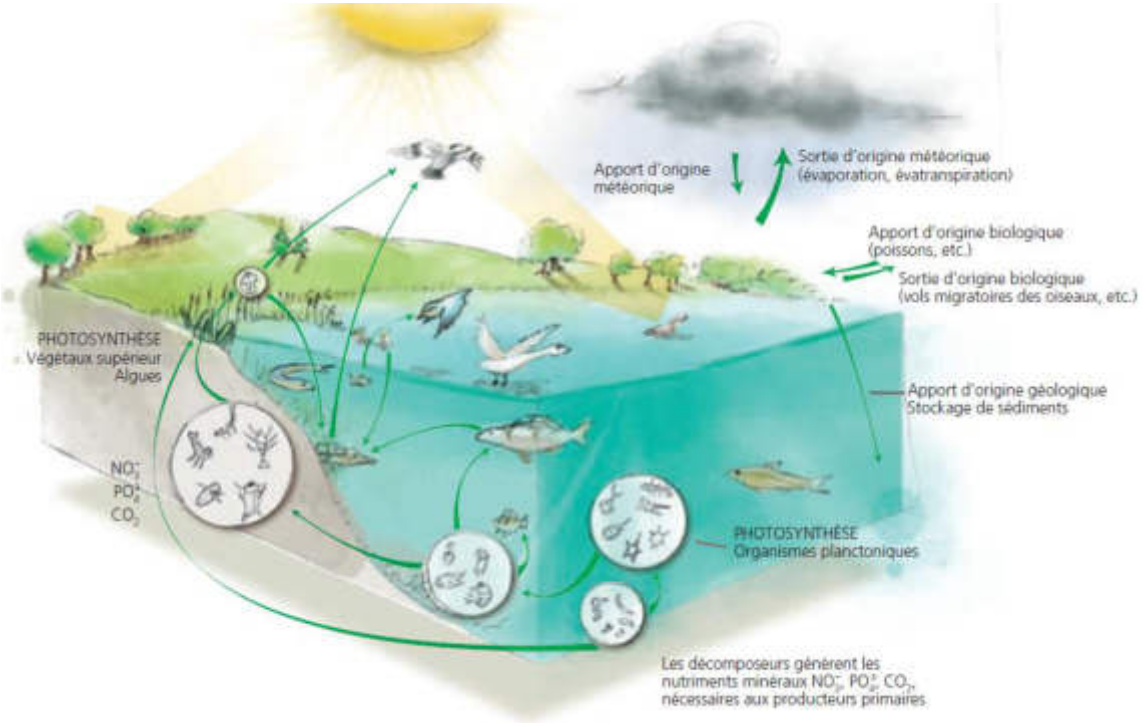


Figure 244 : schéma de fonctionnement d'un étang (source : EPTB Vienne, 2008).

Les étangs participent au paysage régional et à sa diversité faunistique et floristique. Ils font partie intégrante de la culture locale et jouent un rôle social, touristique, voire économique.

Toutefois, leur localisation, leur nombre important sur un même cours d'eau et leur implantation en tête de bassins versants, sont à l'origine d'impacts directs ou indirects sur les milieux aquatiques. Si l'évaluation de la conformité d'un plan d'eau avec la réglementation et l'instruction administrative associée relève des services de l'État, il apparaît essentiel d'aider les acteurs de terrain dans les situations de sensibilisation et de dialogue avec les propriétaires d'étangs concernant la situation juridique de leurs plans d'eau (EPTB Vienne, 2008). Cette démarche s'inscrit dans un contexte où se pose la question de la réduction des impacts sur la qualité de l'eau et des milieux aquatiques à l'échelle du bassin de la Largue, en bref, un **contexte de gestion durable**.

En effet, au sein du bassin versant, l'étang est un milieu récepteur, sensible à l'occupation du sol en amont : couvert forestier, occupation agricole… Mais aussi en aval. Il reçoit des rejets de tous ordres (agricoles, domestiques, industriels) pouvant induire des pollutions. Les étangs ont aussi un impact sur les milieux avals lorsqu'ils sont en communication avec les cours d'eau, y compris temporairement (vidange). Une gestion durable aura pour objectif de prévenir, d'atténuer ou de supprimer ces impacts.

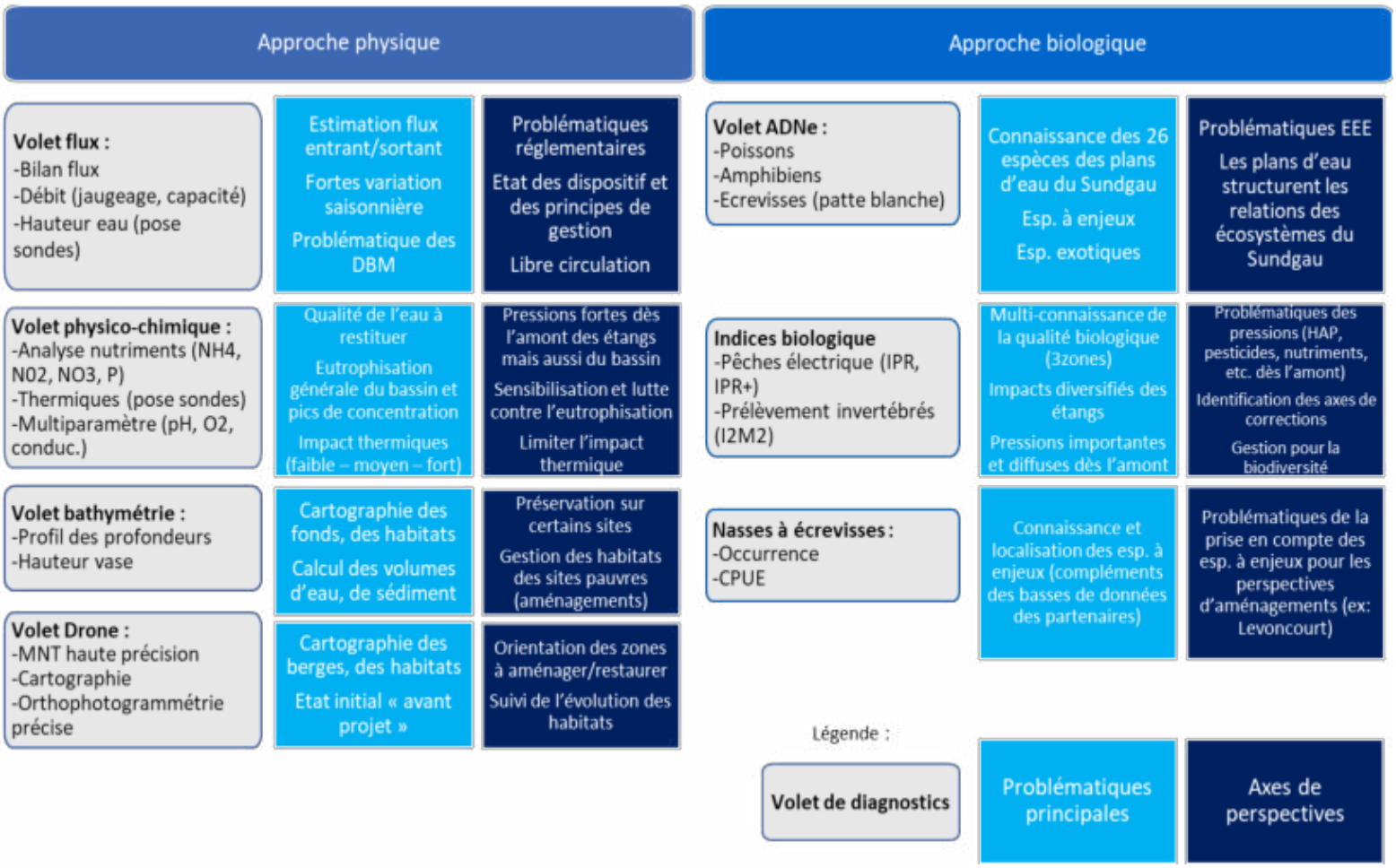


Figure 245 : Schéma des résultats et des perspectives du projet « étude des plans d'eau Sundgauviens ».

Si des mesures correctives peuvent être envisagées, la restauration écologique ne devrait jamais être considérée comme un substitut à la protection et à la gestion durables des écosystèmes indigènes existants.

PRESERVER	CORRECTION	RESTAURATION
=	=	=
Éviter les impacts	Réduire les impacts	Supprimer les impacts

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.

Dans le cadre de l'étude des plans d'eau Sundgauviens, c'est 7 sites qui ont été suivi. Pour rappel, les objectifs étaient multiples et centrés autour de **l'étude de la fonctionnalité et de l'identification et la quantification des impacts**.

La vocation du rapport, des données et des connaissances ainsi produites est de permettre un diagnostic valorisable pour l'ensemble des partenaires associés. En effet, la notion de restauration écologique participative se doit d'être centrale dans la conclusion de l'étude et de la phase de diagnostic.

La majeure partie des sites suivis devrait faire l'objet de phase d'émergence de projet de restauration portée par les structures de référence au local (structure Gemapienne à travers l'EPAGE Largue ou conservatoire avec le CEN Alsace notamment).

La FDAAPPMA68 pourra être amenée à intervenir en assistance à maitrise d'ouvrage en parallèle des actions entreprises. L'ensemble des données produites ayant vocation à fournir un socle de connaissance utile (état initial avant-projet et aide à l'émergence d'actions), elles seront largement mises à disposition des acteurs à travers des conventions d'échanges de données libres par exemple.

La réussite des projets passe forcément par une implication forte des acteurs (communauté locale, usagers de la rivière, agriculteurs, élus locaux…). De plus la communication et la sensibilisation autour des projets est plus efficace si celles-ci débutent dès les premières phases de réflexion et qu'elles se poursuivent après que les travaux de restauration sont finis (SER, 2004). Ceci sera d'autant plus vrai si les acteurs sont eux-mêmes engagés dans l'effort de restauration.

Les actions adaptées au contexte du bassin de la Largue et du secteur de Montreux peuvent être articulées autour des principales problématiques identifiées :

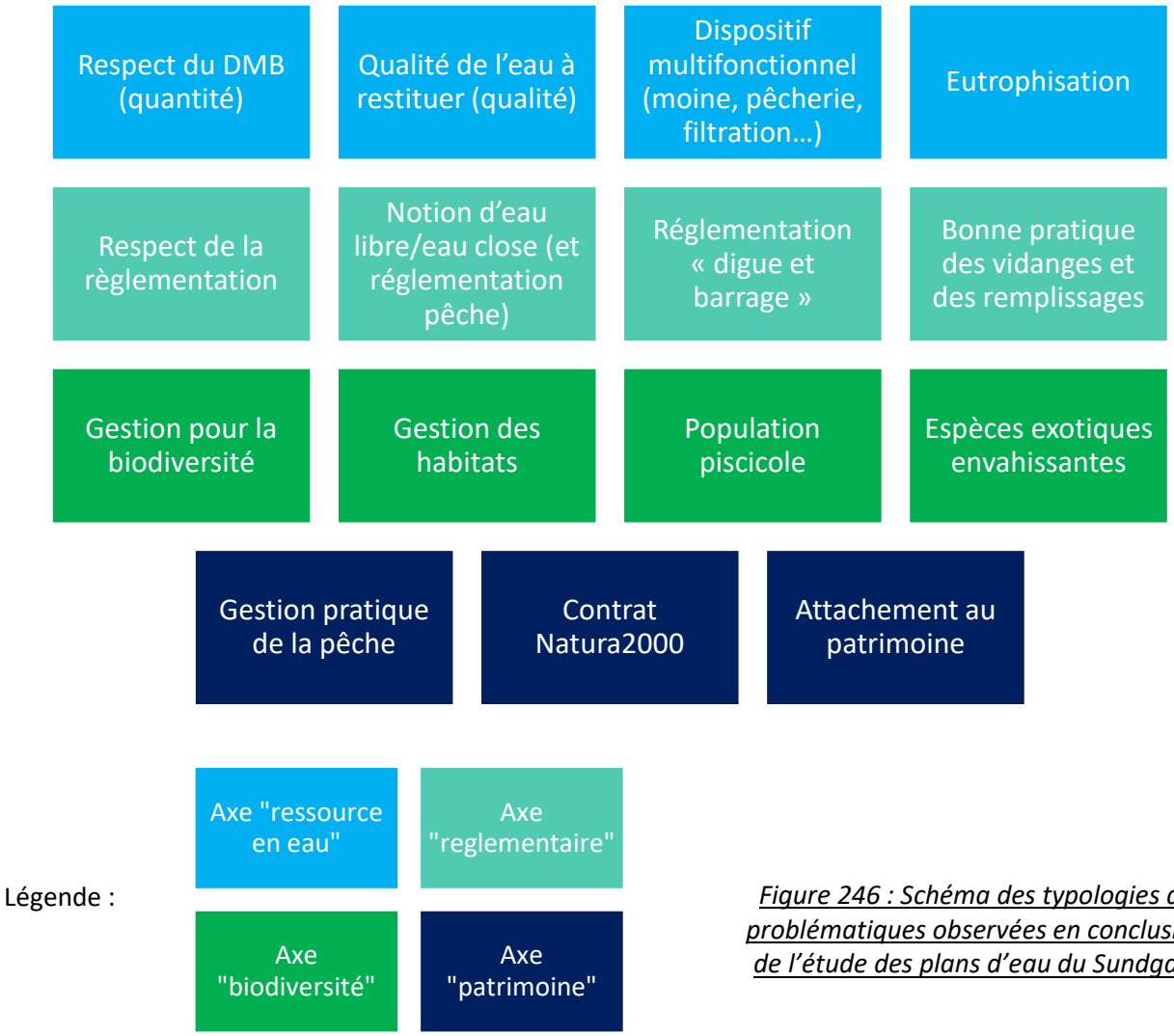


Figure 246 : Schéma des typologies de problématiques observées en conclusion de l'étude des plans d'eau du Sundgau.

Le présent rapport n'ayant pas vocation à reprendre l'existant en matière de synthèse de préconisation, il est possible de lister les nombreux « *guides de gestion des étangs* » déjà existants sur le territoire métropolitain et en dehors. La plupart de ces guides sont organisé sous forme de « fiches actions » permettant de répondre à chaque problématiques prises à part.

La synthèse des guides les plus récents et pertinents est ainsi présenté ci-après avec :

Guide de gestion écologique des étangs (CENL, 2020)	Guide de gestion pour la préservation de la qualité de l'eau des plans d'eau à usage de baignade en Limousin (DIREN Limousin, 2006)
Acquérir et gérer un plan d'eau : les questions à se poser (EPTB Vienne 2003)	Guide de gestion durable de l'étang en Limousin (Région Limousin, 2008)

Guide d'identification de la situation juridique des plans d'eau – document détaillé (ECO-Save et EPTB Vienne, 2017)	Guide d'identification de la situation juridique des plans d'eau – support d'aide à l'analyse (ECO-Save et EPTB Vienne, 2017)
Gestion des étangs : l'effacement une solution à envisager (EPTB Vienne, 2011)	Guide sur la gestion durable de l'étang en Limousin (Géonat et CR Limousin, 2008)
Gazette des rivières n°41 : les étangs (CPIE Val de Gartempe, 2016)	Comprendre et gérer son étang : petit guide à l'usage du citoyen du propriétaire et du gestionnaire (Hoyoux contrat de riviere, 2010)
Mares et étangs : écologie, gestion, aménagement et valorisation (Frossard et Oretli, 2013)	L'étang et sa gestion (Syndicat mixte contrat de rivière de Gartempe, 2015)

Guide pour une bonne gestion des étangs du bassin versant de la largue : Fiches Actions à l'attention des propriétaires et des gestionnaires (Sinbio et EPAGE Largue, 2011)

b) Le cas du plan d'eau de Courtavon

Pour un des 7 sites étudiés, à savoir le plan d'eau de Courtavon, une seconde phase devra être assuré par la FDAAPPM68 à l'issu de la phase de diagnostic à travers :

- ➔ Des compléments de diagnostics sur certains axes ;
- ➔ L'émergence d'un plan de gestion et d'un plan d'aménagement structuré et concerté pour l'émergence d'actions concrètes (EPAGE Largue – FDAAPPMA68 – Syndicat intercommunal du plan d'eau de Courtavon).

En effet, le plan d'eau de Courtavon est le site central de l'étude des plans d'eau du Sundgau. Il est le plus grand représentant de ceux-ci (19-21ha) et son fonctionnement est complexe.

Les principales problématiques mis en exergue par l'étude concernent le plan d'eau en lui-même, son impact sur le milieu récepteur mais aussi la Largue en elle-même sont :

Compartiment plan d'eau	Pressions du plan d'eau sur la Largue	Compartiment Cours d'eau	Les perspectives envisagées
Fortes variations saisonnières identifiées en termes de niveau du lac et de débit estimé à l'exutoire	Apport d'eau important selon les périodes	Fortes variations saisonnières identifiées en termes de niveau et de débit estimé sur la Largue	Mesures de gestions Aménagements
Température de l'eau importante entre avril et novembre Thermie incompatible Truite fario mais compatible Brochet. Température extrême en surface en été (près de 30°C)	Impact thermique modéré du plan d'eau (+0,5°C à +1°C en été) L'impact thermique est compris entre mai et aout.	Variations saisonnières moyennes Thermie compatible avec la Truite fario.	Mesures de gestions Aménagements

Plan d'eau eutrophe Anoxie des couches profondes en été et concentration d'ammonium importantes Apport de nutriment via les affluents Pics de nitrite et de phosphate	Effet tampon du plan d'eau (abattement des charges en nutriment) Eutrophisation du milieu récepteur limité (selon les flux)	Très fortes pressions identifiées dès l'amont du plan d'eau Problématiques multiples dont nitrite, nitrate, phosphate Phénomène de pics de concentrations sur certains épisodes	Actions d'amélioration de la qualité physico-chimique de la Largue et du plan d'eau Mesures de gestions Aménagements
Habitats rivulaires pauvres à moyennement pauvres Habitats aquatiques pauvres à très pauvres	Hydromorphologie impactée au droit du déversoir et le long de la digue	Hydromorphologie moyennement diversifiée Problématique d'embâcles	Nécessité d'agir sur le cours d'eau plus directement (gestion des embâcles, continuité écologique et sédimentaires, etc.). Aménagement du plan d'eau
19 espèces de poissons identifiés dont des esp. à enjeux mais aussi des EEE	Fuites d'espèces exotiques (envahissantes). Déséquilibre piscicole induit	6 espèces de poissons en amont et 8 en aval Bon potentiel pour la Truite en amont	Mesures de gestions Limiter la fuite d'espèces
3 espèces d'amphibiens et 1 espèce d'écrevisse (pas d'analyse des invertébré dans le plan d'eau)	Impact modéré sur la qualité biologique du cours d'eau Mais perte de diversité et altération des communautés d'invertébrés en aval (ressource trophique)	L'étude des invertébrés a mis en évidence des pressions multiples (HAP, pesticides, nutriments, instabilité hydrologique) dès l'amont	Actions d'améliorations de la qualité biologique de la Largue et du plan d'eau

Les principales pistes de réflexions envisagées à la suite de l'étude sont :

- ➔ Mesures de gestions :
  - Gestion différenciée du niveau d'eau (à augmenter en mars et à baisser en octobre) ;
  - Gestion des flux d'eau sortant (à limiter au maximum de mai à aout) ;
  - Limitation du phénomène d'eutrophisation accéléré (sensibilisation, actions préventives, gestion des hélophytes, etc.) ;
  - Sélection des zones de développement libre de la végétation rivulaire (fauche tardive, zone de quiétude, etc.) ;
  - Sensibilisation et gestion des déchets ;
- ➔ Aménagements :
  - Création de zones d'ilots et de haut fond (6) ;
  - Système d'écoulement des eaux du fond par trop plein ou installation d'un moine au droit de l'ancien organe de vidange (restes d'installations à étudier située sur la digue Nord) (4) –

Remarque : une attention particulière devra être apportée aux concentrations importantes en ammonium mesurées au fond du plan d'eau. Ce fait laisse privilégier : 1 - l'axe de gestion (flux d'eau à limiter entre mai et aout) 2 – nécessité de l'oxygénation de l'eau/dépollution si un moine est privilégié 3 – un simple système d'écoulement des eaux du fond semble ainsi moins pertinent ;

- Installation d'un lit filtrant ;
- Amélioration de l'exutoire pour limiter la fuite d'espèces notamment exotiques (Grille et filtration) (4) ;
- Diversification des habitats de berge (hydro et hélophyte, souches, ripisylve) (5)
- Diversification des habitats subaquatiques (bois morts, habitats, souches, blocs, récifs, frayères, etc.) (3&5) ;
- Sortie de buse du ruisseau à modifier (sortie unique dans la zone en enrochement pour faire une zone de décantation) (1) ;

➔ Actions d'améliorations de la qualité physico-chimique :
- Création d'une zone humide de décantation (à l'ouest) (1) ;
- Limitation du phénomène d'eutrophisation accéléré (sensibilisation, actions préventives, gestion des hélophytes, etc.) ;
- Valorisation de la zone humide à l'ouest (2) ;
- Plantation en queue d'étang (bassin à macrophyte) ;

➔ Actions d'améliorations de la qualité biologique :
- Continuité écologique (Largue) ;
- Gestion des embâcles ;
- Sensibilisation et gestion des déchets (7) ;

➔ Actions en faveur de la biodiversité :
- Création de zones d'ilots et de haut fond (6) ;
- Diversification des habitats de berge (hydro et hélophyte, souches, ripisylve) (5) ;
- Continuité écologique (Largue) ;
- Création d'une zone humide de décantation (à l'est et à l'ouest) (2&1) ;
- Diversification des habitats subaquatiques ;

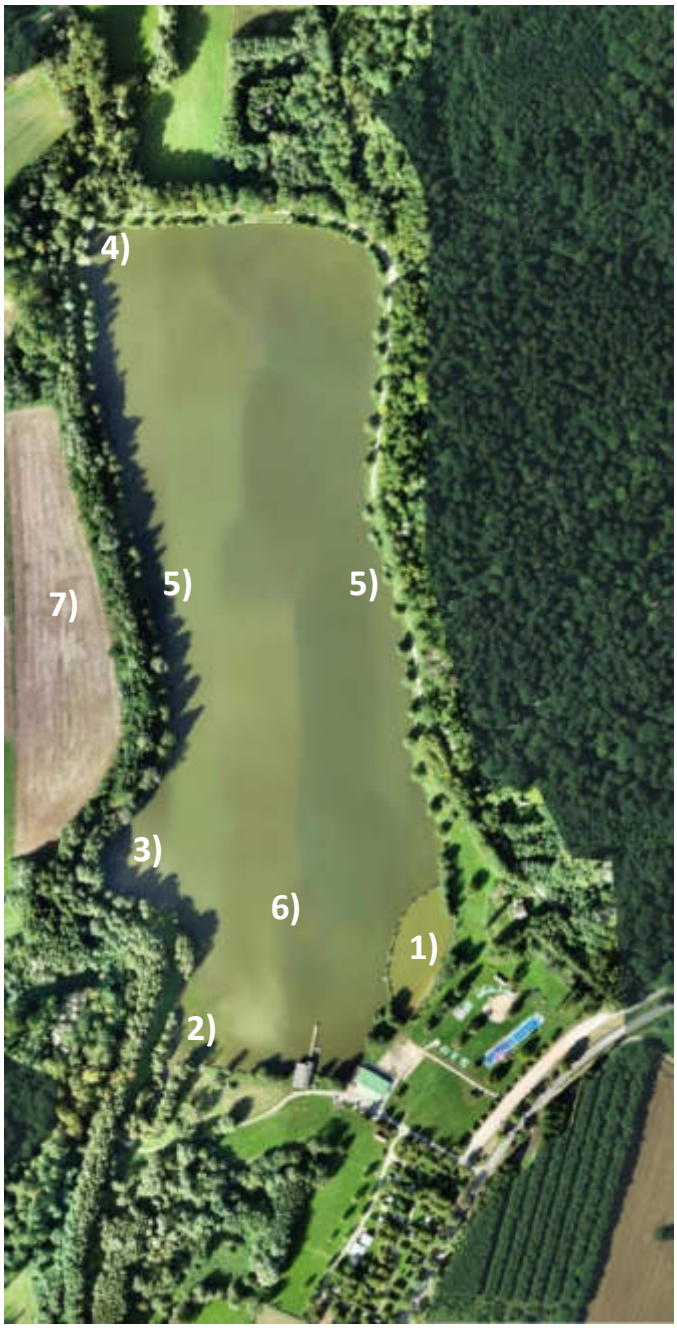


Figure 247 : schéma de pistes de réflexions d'aménagements en réponse aux problématiques (zonation à titre indicatif – les chiffres sont références des divers points).

➔ Prise en compte des aspects socio-économiques (pêche de loisir, restaurant, camping, tourisme, randonné, fréquentation, communication, panneaux explicatifs, animations, garderie, etc.).

Figure 248 : Illustration de travaux d'aménagements ambitieux et fructueux sur le site du « marais de Contes » (62) en 2015 pour un cout total de 1 052 000€ (restauration de la continuité écologique et recréation d'un lit mineur du cours d'eau à gauche, amélioration capacité auto épuratrice du milieu, diversification des habitats, création d'ilots, de zones de hauts fonds, de sentiers pédagogiques, création de frayères, etc.) – (source : http://www.peche62.fr/les-travaux-de-restauration-de-contes/).

7. Conclusion

Les étangs participent à la structuration du paysage régional et à sa diversité faunistique et floristique. Dans le Sundgau et *à fortiori*, sur le territoire du bassin de la Largue et du secteur de Montreux, ils font partie intégrante de la culture locale et jouent un rôle social, touristique et économique. Toutefois, leur localisation, leur nombre important sur un même cours d'eau (effet cumulatif) et leur implantation en tête de bassins versants, sont à l'origine d'impacts directs ou indirects sur les milieux aquatiques.

L'étude des Plans d'Eau du Sundgau, a permis de (re)découvrir une vallée riche de potentiel pouvant accueillir une biodiversité remarquable. L'histoire de cette vallée a fortement marqué le paysage et, *à fortiori*, les milieux aquatiques. En effet, le SAGE local estime plus de 1000 étangs implantés sur le territoire. Du fait de leur nature, de leur densité et de leurs usages, ces plans d'eau sont particulièrement structurants des interrelations écosystémiques des milieux naturel du Sundgau. Leur étude, à travers un faible échantillon mais néanmoins représentatif, a permis de mettre en lumière un grand nombre de connaissances prépondérantes.

C'est ainsi 7 sites pilotes diversifiés et représentatifs des plans d'eau Sundgauviens, qui ont été suivis (de 6 mois à 1 an) à l'aide de 10 volets analytiques articulés autour de 2 approches principales (physique et biologique). L'étude présentait une volonté de démarcation via le déploiement d'approches novatrices. Ces outils ont permis d'acquérir des retours d'expériences méthodologiques très informatifs, permettant à terme, de favoriser des démarches similaires, consolidées et participatives, dans d'autres régions.

Les objectifs de l'étude étaient centrés autour de deux axes : **définir la fonctionnalité des plans d'eau puis identifier et quantifier les impacts de ces plans d'eau sur les milieux récepteurs.**

Ces objectifs ont été rempli avec la mise en évidence de **plusieurs groupes d'impacts** (Faible – Modéré – Fort) **aussi diversifiés que les typologies de sites étudiés**.

Des groupes de problématiques ont ainsi été mise en lumière à travers :

- **L'approche physique** : variations de flux importantes, problématiques de la quantité de l'eau mais aussi de la qualité de la ressource avec des importants pics de nutriments sur l'ensemble des sites selon les périodes. Si les plans d'eau jouent parfois le rôle de puits de nutriment et parfois de source, ce sont également des pressions importantes qui ont été identifié dès l'amont. La qualité de l'eau peut être impactée par les plans d'eau mais reste avant tout directement en relation avec l'occupation des sols du bassin et les pratiques de gestions engagées. Vis à vis de l'impact thermiques, 3 exemples ont pu être mis en avant avec différents types d'impacts précisément quantifiés (Faible à nulle – Modéré – Fort). Le volet supplémentaire de l'étude de l'hydromorphologie de la Largue adjoint au site privilégié de Courtavon, a également permis de mettre en évidence un ensemble de facteurs structurants.

- **L'approche biologique** : cette approche a permis de mettre en évidence une biodiversité remarquable sur ce territoire avec : 26 espèces de poissons différentes, 4 espèces d'amphibiens, 3 espèces d'écrevisses et 66 espèces d'invertébrés benthiques. Les communautés biologiques du Sundgau (poissons et invertébrés) sont découpées en plusieurs groupes et semblent donc particulièrement conditionnées par:
  - Les effets cumulatifs des étangs, qui structurent fortement les interrelations systémiques dans le Sundgau (réseau trophique) ;
  - Par l'occupation du sol et les pratiques de gestions locales ;
  - Mais aussi par un ensemble de pressions diffuses, qui sont identifiées dès l'amont (des plans d'eau mais aussi du bassin versant).

  Globalement, les peuplements des plans d'eau du Sundgau sont ainsi caractérisés par une dominance forte des espèces spécifiques de milieux stagnant mais aussi par des proportions importantes en espèces exotiques.

Au sein du bassin versant, l'étang est donc un milieu récepteur (sensible à l'occupation du sol, au couvert forestier, à l'occupation agricole, aux pollutions, aux rejets venants de l'amont, etc.) mais c'est aussi un complexe pouvant induire des impacts sur l'aval (communication avec les cours d'eau, y compris temporairement, manœuvres de gestions, sources de pressions, etc.).

La majeure partie des sites suivis devrait faire l'objet de phases d'émergences de projets de restaurations portées par les structures de référence au local. Dans le cas plus précis du plan d'eau de Courtavon (site central dans l'étude), une seconde phase devrait faire suite au diagnostic afin de permettre l'émergence d'un plan de gestion et d'un plan d'aménagement.

La réussite des projets passe forcément par une démarche participative avec l'implication forte des acteurs et un rôle clef de la communication et de la sensibilisation autour des projets.

En effet, des modes de gestions durables d'un plan d'eau (ou même parfois de mesures plus drastiques comme l'effacement) auront pour objectifs de prévenir, d'atténuer ou de supprimer ces impacts. La gestion, aussi bien que l'aménagement, peut-être la clef de voute de la réduction de la plupart des impacts observés. Un certain nombre d'actions simples et à moindres couts, peut bien souvent être préconisées et engagées pour permettre le déploiement d'un ratio cout/gain écologique efficient. Cette démarche s'inscrit dans un contexte très global où se pose la question de la réduction de nos impacts sur la quantité et la qualité de l'eau et des milieux aquatiques à l'échelle du bassin de la Largue, en bref, dans un contexte de gestion durable.

BIBLIOGRAPHIE

AFNOR, 2007. ISO 748 : Hydrometry. Measurement of liquid flow in open channels using current-meters or floats: BSI British Standards. https://doi.org/10.3403/30123552

AFNOR, 2011. NF T90-344 Qualité de l'eau - Méthode de détermination de l'Indice Poisson Rivière (IPR).

AFNOR, 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, 2016. Qualité de l'eau - Prélèvement des macro-invertébrés aquatiques en rivières peu profondes.

AFNOR, 2020. Qualité de l'eau - Analyse d'échantillons contenant des macro-invertébrés de cours d'eau, canaux et plans d'eau - Qualité de l'eau - Traitement au laboratoire d'échantillons contenant des macro-invertébrés de cours d'eau.

ALLEAUME, S., 2016. Utilisation des drones pour l'études de la biodiversité 24.

ANDRE, M.S., BONHOMME, M.M., MAZERM, M.W., ALSUMAR, M.M., MIRAMONT, M.T., PAILLOUX, M.H., COUTAND, M.T., LIMOUSIN, R., GATET, M.A., CHANTEMICHE, M.P., LARATTE, M.Y., 2008. Le guide de gestion durable de l'étang en Limousin 41.

ANGELIER, E., 2000. Angelier, Tec&Doc. ed.

ANGERMEIER, P.L., SMOGOR, R.A., STAUFFER, J.R., 2000. Angerrmeier.pdf. Transactions of the American Fisheries Society 19. https://doi.org/10.1577/1548-8659(2000)129<0962:RFACMF>2.3.CO;2

ANQUETIL, H., 2018. Les plans d'eau : Quels impacts sur la ressource en eau et les milieux ? Comment les réduire ? AFB, 41.

APPEL, 2016. Rapport sur l'état du lac Saint-Charles en 2014. Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord, Québec, 322 pages.

ATTRILL, M., DEPLEDGE, M., 1997. Community and population indicators of ecosystem health targeting links between levels of biological organisation. Aquatic Toxicology 38, 183–197.

AZOUNI, M.A., 1977. Instabilité thermoconvectives dans l'eau entre 0°C et 4°C. Letters in heat and mass transfer Vol. 4, 445–452.

BACK P. ET KLEINPRINTZ G., 2018. Approfondir la connaissance de la biodiversité piscicole à l'aide d'un outil innovant : l'ADN environnemental. Fédération du Nord pour la pêche et la protection des milieux aquatiques (FDAAPPMA 59) 81p.

BAE, M.-J., MERCIAI, R., BENEJAM, L., SABATER, S., GARCIA-BERTHOU, E., 2016. Small Weirs, Big Effects: Disruption of Water Temperature Regimes with Hydrological Alteration in a Mediterranean Stream: Small Weirs, Big Effects. River Res. Applic. 32, 309–319. https://doi.org/10.1002/rra.2871

BANAS D., 2001. « Flux de matière en étang piscicole extensif : rétention, sédimentation, exportation ». Thèse de doctorat. Université de Metz, 274p.

BANQUE HYDRO, 2021. Synthèse : données hydrologiques de synthèse (1969 - 2021), La Largue à Friesen [WWW Document]. URL http://www.hydro.eaufrance.fr/stations/A1122020&procedure=synthese

BARAN P., 2011. Les méthodes d'aide à la détermination de valeur de débit minimum. Annexe 2 de la circulaire du 5 juillet 2011 relative à l'application de l'article L. 214-18 du code de l'environnement sur les débits réservés à maintenir en cours d'eau.

BARAN, DELACOSTE, DAUBA, LASCAUX ET BELAUD, 1995. Effects of reduced flow on brown trout populations downstream dams in French Pyrenees. Regulated Rivers : Research and Management, 10, 347-361.

BARTOUT, P., TOUCHART, L., 2013. L'inventaire des plans d'eau français : outil d'une meilleure gestion des eaux de surface. Annales de géographie 691, 266. https://doi.org/10.3917/ag.691.0266

BEAUFORT, A., MOATAR, F., SAUQUET, E., 2020. Thermie en rivière : Analyse géostatistique et description de régime : Application à l'échelle de la France 63 pages + 53 pages d'annexes.

BEAUPIED H., 1980. «Le cycle de l'azote dans les étangs». In : La pisciculture en étang. Billard R. (Ed) INRA, 81-97.

BEJARANO, M.D., SORDO-WARD, A., ALONSO, C. NILSSON,C, .2017. Characterizing effects of hydropower plants on sub-daily flow regimes. Journal of Hydrology 550, 186 – 200

BELLIARD, J., DITCHE, JM., ROSET, N., DEMBSKI, S., 2012. Guide pratique de mise en oeuvre des operations de peche a l'electricite 31.

BENEJAM L., SAURA-MAS S., BARDINA M., SOLA C., MUNNE A., GARCIA-BERTHOU E., 2014. Ecological impacts of small hydropower plants on headwater stream fish: from individual to community effects. Ecology of freshwater fish, Volume 25, N°2, 295-306.

BENSON, B.B., KRAUSE, D., 1980. The concentration and isotopic fractionation of gases dissolved in freshwater in equilibrium with the atmosphere. 1. Oxygen: Oxygen in freshwater. Limnol. Oceanogr. 25, 662–671. https://doi.org/10.4319/lo.1980.25.4.0662

BIGGS, J., EWALD, N., VALENTINI, A., GABORIAUD, C., DEJEAN, T., GRIFFITHS, R.A., FOSTER, J., WILKINSON, J.W., ARNELL, A., BROTHERTON, P., WILLIAMS, P., DUNN, F., 2015. Using eDNA to develop a national citizen science-based monitoring programme for the great crested newt (Triturus cristatus). Biological Conservation 183, 19–28. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.11.029

BILLARD, R., 2010. Derrière chez moi, y'a un étang, Quæ. ed.

BJORNN, T.C., 1971. Trout and Salmon Movements in Two Idaho Streams as Related to Temperature, Food, Stream Flow, Cover, and Population Density 18.

BONADA, N., PRAT, N., RESH, V.H., STATZNER, B., 2006. Developments in aquatic insect biomonitoring: A Comparative Analysis of Recent Approaches. Annu. Rev. Entomol. 51, 495–523. https://doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.151124

BOUTET-BERRY L., 2000. «La problematique plan d'eau. » CSP Délégation Régionale Centre, Pays de la Loire, Poitou Charentes, 36p.

BOUTET-BERRY, L., DELVALLEE, J., 2000. La problematique plans d'eau. Conseil supérieur de la pêche.

BOYD, C.E., 1985. Pond Evaporation. Transactions of the American Fisheries Society 5.

BREZONIK, P.L., BOUCHARD, R.W., FINLAY, J.C., GRIFFIN, C.G., OLMANSON, L.G., ANDERSON, J.P., ARNOLD, W.A., HOZALSKI, R., 2019. Color, chlorophyll a , and suspended solids effects on Secchi depth in lakes: implications for trophic state assessment. Ecol Appl 29. https://doi.org/10.1002/eap.1871

CARLE, F., STRUB M., 1978. A new method for estimating population size from removal data. Biometrics, 1978, vol. 34, p. 621-630.

CASAS J.J., ZAMORA-MUNOZ C., ARCHILA F. ETALBA-TERCEDOR J., 2000. «The effect of a headwater dam on the use of leaf bags by invertebrate communities». Regul. Rivers : Res. Mgmt. 16 : 577-591p.

CCME, 2011. Manuel des protocoles d'échantillonnage pour l'analyse de la qualité de l'eau au Canada. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg, Man.

CEN Alsace, 2021. Orientations stratégiques pour les zones humides de la vallée du babersenbach, suite à l'acquisition en 2018 de l'étang gerschweiller amont à pfetterhouse (68) par le conservatoire des sites alsaciens. 10p.

CHANG, W.Y.B., OUYANG, H., 1988. Dynamics of dissolved oxygen and vertical circulation in fish ponds. Aquaculture 74, 263–276. https://doi.org/10.1016/0044-8486(88)90370-5

CHOI, W., DEAL, B.M., 2008. Assessing hydrological impact of potential land use change through hydrological and land use change modeling for the Kishwaukee River basin (USA). Journal of Environmental Management 88, 1119–1130. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.06.001

CHOW, V.T., 1959. Open-channel hydraulics. University of Illinois.

COHN, T.A., KIANG, J.E., MASON, R.R., 2013. Estimating Discharge Measurement Uncertainty Using the Interpolated Variance Estimator. J. Hydraul. Eng. 139, 502–510. https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000695

CRE Laurentides, MDDELCC, 2016. Protocole de mesure de la transparence de l'eau 9.

DAKE, J.M.K., HARLEMAN, D.R.F., 1969. Thermal stratification in lakes: Analytical and laboratory studies. Water Resour. Res. 5, 484–495. https://doi.org/10.1029/WR005i002p00484

DANY A., 2016. Accompagner la politique de restauration physique des cours d'eau : éléments de connaissance. Collection « eau & connaissance ». Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, 304 p.

DDASS Service Santé-Environnement, 2006. Etat sanitaire des eaux de baignade en mer et en eau douce bilan de la saison balneaire 2006

DEGIORGI F., MORILLAS N., RAYMAND J. C., CHAMPIGNEULLE A., ROJAS BELTRAN R., 2000. Diagnose piscicole et mesure de l'efficacité des alevinages en truite sur le Doubs Franco-Helvetique. Rapport INRA/CSP DRn°5/TELEOS.

DEJEAN T, VALENTINI A, DUPARC A, PELLIER-CUIT S, POMPANON F, TABERLET P, ET AL., 2011 Persistence of Environmental DNA in Freshwater Ecosystems. PLoS ONE 6(8): e23398

DETENBECK, N., DEVORE, P.W., NIEMI, G.J., LIMA, A., 1992. Recovery of temperate-stream fish communities from disturbance : a review of case studies and synthesis of theory. Environnemental Management 16, 33–53.

DIBBLE, E., KOVALENKO, K. 2009. Ecological Impact of Grass Carp: A Review of the Available Data. Journal of Aquatic Plant Management, 47. 1-15p.

DOLEDEC, S., STATZNER, B., BOURNARD, M., 1999. Species traits for future biomonitoring across ecoregions: patterns along a human-impacted river: Species traits and biomonitoring. Freshwater Biology 42, 737–758. https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1999.00509.x

DOUGHERTY, M.M., LARSON, E.R., RENSHAW, M.A., GANTZ, C.A., EGAN, S.P., ERICKSON, D.M., LODGE, D.M., 2016. Environmental DNA (eDNA) detects the invasive rusty crayfish Orconectes rusticus at low abundances. J Appl Ecol 53, 722–732. https://doi.org/10.1111/1365-2664.12621

DUBREUIL, P., 2018. EAUFRANCE [WWW Document]. URL https://www.eaufrance.fr/regles-devaluation-de-letat-des-eaux

EAUFRANCE, 2014. Pratiques agricoles et nitrates dans les milieux aquatiques.

EAUFRANCE, 2015. Diversité des milieux humides [WWW Document]. les zones humide. URL http://zones-humides.org/entre-terre-et-eau/diversite-des-milieux-humides/en-france-metropolitaine/schema-diversite-d-23 (accessed 7.21.21).

EAUFRANCE, 2021. Le portail de l'évalutation des eaux [WWW Document]. URL https://seee.eaufrance.fr/ (accessed 8.10.21).

EAUFRANCE, nd. Etude de l'Indice Invertébrés Multimétrique (I2M2) en Artois-Picardie [WWW Document]. URL https://www.artois-picardie.eaufrance.fr/doc-et-mediatheque/etudes-scientifiques/article/etude-de-l-indice-invertebres

ECOGEA, 2018. Caractérisation des risques écomorphologiques associés au fonctionnement par éclusée des masses d'eau des bassins Rhône-Méditerranée et Corse – Synthèse. Rapport

ECOGEA E170723 pour AERMC, 63p.

ECOLE POLYTECHNIQUE FEDERALE DE LAUSANNE, ND. Ouvrages hydrauliques et déversoirs.

EPAGE Largue, 2016. SAGE Largue 17 mai 2016.pdf.

FAGOT, J.-B., 2020. Lacs d'Ilay et du Val (Jura) suivi piscicole. Fédération du Jura pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques.

FLUVIAL.IS, 2020. Amélioration du fonctionnement alluvial et renaturation d'étangs dans le lit majeur de la gruebaine - chavannes-sur-l'etang (68) – Phase 1 état des lieux et diagnostic. CEN Alsace. 184p.

FODEN, J., SIVYER, D.B., MILLS, D.K., DEVLIN, M.J., 2008. Spatial and temporal distribution of chromophoric dissolved organic matter (CDOM) fluorescence and its contribution to light attenuation in UK waterbodies. Estuarine, Coastal and Shelf Science 79, 707–717. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2008.06.015

FOUR BRIAN, 2017. Effet des étangs de barrage à vocation piscicole sur le fonctionnement écologique des cours d'eau de tête de bassin dans des contextes environnementaux différents : le cas des étangs de plaine en Lorraine. Ecosystèmes. Université de Lorraine, Thèse, 2017. Français. NNT : 2017LORR0009. 225p.

FOX, J., BOUCHET-VALAT, M., 2020. R commander, version 2.7-1. ed.

FREMIER, ALEXANDER, 2004. Stream ecology: concepts and case study of macroinvertebrates in the Skeena River Watershed, British Columbia. 22p.

GAUTIER, Y., ND. YVES GAUTIER. 1986. « Sandoz accident de l'usine de Bâle (31 octobre 1986) »,. Encyclopædia Universalis [en ligne].

GILLES PINAY, CHANTAL GASCUEL, ALAIN MENESGUEN, YVES SOUCHON, MORGANE LE MOAL, ALIX LEVAIN, CLAIRE ÉTRILLARD, FLORENTINA MOATAR, ALEXANDRINE PANNARD, PHILIPPE SOUCHU, 2018. L'eutrophisation. Manifestations, causes, conséquences et prédictibilité, éditions Quæ (France), 176 pages.

GOLTERMAN H.L., 1995. « The labyrinth of nutrient cycles and buffers in wetlands : results based on research in the Camargue ». Hydrobiologia 315, 39-58.

GORDON, N.D., MCMAHON, T.A., FINLAYSON, B.L., GIPPEL, C.J., NATHAN, R.J., 2004. Stream Hydrology An Introduction for Ecologist. John Wiley & Sons, LTD.

GORHAM, E., BOYCE, F.M., 1989. Influence of Lake Surface Area and Depth Upon Thermal Stratification and the Depth of the Summer Thermocline. Journal of Great Lakes Research 15, 233–245. https://doi.org/10.1016/S0380-1330(89)71479-9

GORI, A., BLESSING, R., JUAN, A., BRODY, S., BEDIENT, P., 2019. Characterizing urbanization impacts on floodplain through integrated land use, hydrologic, and hydraulic modeling. Journal of Hydrology 568, 82–95. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.10.053

GRAND D. et BOUDOT J.-P. 2006. Les Libellules de France, de Belgique et du Luxembourg. Ed Biotope collec. Parthénope

GT IBMA. 2016. Ctenopharyngodon idella. Base d'information sur les invasions biologiques en milieux aquatiques. Groupe de travail national Invasions biologiques en milieux aquatiques. UICN France et Onema.

HÅKANSON, L., 1996. Predicting important lake habitat variables from maps using modern modelling tools 53, 19.

HARGREAVES, J.A., TUCKER, C.S., 2004. Managing Ammonia in Fish Ponds 8.

HARGREAVES, K. J., & FOWLER, D. ,1998. Quantifying the effects of water table and soil temperature on the emission of methane from peat wetland at the field scale. Atmospheric environment, 32(19), 3275-3282.

HESTIR, ERIN, 2007. Functional Process Zones and the River Continuum Concept. 14p.

IMBERGER, J., 1985. The diurnal mixed layer1: The diurnal mixed layer. Limnol. Oceanogr. 30, 737–770. https://doi.org/10.4319/lo.1985.30.4.0737

JACQUES CAPBLANCQ, HENRI DECAMPS, 2002. L'eutrophisation des eaux continentales : questions à propos d'un processus complexe, Nature Sciences Sociétés, Volume 10, Issue 2, 2002, Pages 6-17, ISSN 1240-130.

JANE, S.F., HANSEN, G.J.A., KRAEMER, B.M., LEAVITT, P.R., MINCER, J.L., NORTH, R.L., PILLA, R.M., STETLER, J.T., WILLIAMSON, C.E., WOOLWAY, R.I., ARVOLA, L., CHANDRA, S., DEGASPERI, C.L., DIEMER, L., DUNALSKA, J., ERINA, O., FLAIM, G., GROSSART, H.-P., HAMBRIGHT, K.D., HEIN, C., HEJZLAR, J., JANUS, L.L., JENNY, J.-P., JONES, J.R., KNOLL, L.B., LEONI, B., MACKAY, E., MATSUZAKI, S.-I.S., MCBRIDE, C., MÜLLER-NAVARRA, D.C., PATERSON, A.M., PIERSON, D., ROGORA, M., RUSAK, J.A., SADRO, S.,

SAULNIER-TALBOT, E., SCHMID, M., SOMMARUGA, R., THIERY, W., VERBURG, P., WEATHERS, K.C., WEYHENMEYER, G.A., YOKOTA, K., ROSE, K.C., 2021. Widespread deoxygenation of temperate lakes. Nature 594, 66–70. https://doi.org/10.1038/s41586-021-03550-y

JOHNSON SL. ET RINGLER NH., 2014. The response of fish and macroinvertebrate assemblages to multiples stressors : a comparative analysis of aquatic communities in perturbed watershed. Ecological indicator 41 (2014) 198-208.

JOHNSON, S.L., 2004. Factors influencing stream temperatures in small streams: substrate effects and a shading experiment. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 61, 913–923. https://doi.org/10.1139/f04-040

KALFF, J., 2002. Limnology Inland Water Ecosystems, Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall. ed.

KAUSHAL, S.S., LIKENS, G.E., JAWORSKI, N.A., PACE, M.L., SIDES, A.M., SEEKELL, D., BELT, K.T., SECOR, D.H., WINGATE, R.L., 2010. Rising stream and river temperatures in the United States. Frontiers in Ecology and the Environment 8, 461–466. https://doi.org/10.1890/090037

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.

KORMAN J. ET CAMPANA S.E., 2009. Effects of hydropeaking on nearshore habitat use and growth of age-0 rainbow trout in a large regulated river. Transactions of the American Fisheries Society, 138 : 76- 87.

KUMAR, A., 2005. Fundamentals of Limnology, APH Publishing Corporation. ed.

LAGARRIGUE T., LASCAUX J.M., 1999, 2000 et 2001. Suivi de la reproduction des grands salmonidés migrateurs sur le bassin de la Dordogne en aval du barrage du Sablier. Rapports ECOGEA pour MIGADO, 61p., 90p., 77p.

LAGUARRIGUE T., 2000. Croissance de la truite commune (Salmo trutta L.) dans les Pyrénées françaises : analyse régionale et locale des principaux facteurs de variabilité en rivière de montagne. Thèse doctorat INP Toulouse, 142p

LAZZAROTTO, J., 2005. Evolution physico-chimique du Léman. ARCHIVES DES SCIENCES 8.

LE BIHAN M., 2015, Méthodologie d'évaluation de l'hydromorphologie des cours d'eau en tête de bassin versant à l'échelle linéaire, Note ONEMA V1, 24 p.

LE BROCH, M., 1998. Etude de l'impact des étangs sur les peuplements piscicoles – Application au RHP Loire Bretagne. Institut des Sciences de l'Ingénieur de Montpellier – département Sciences et Technologies de l'Eau 42.

LE COZ, J., CAMENEN, J., RIBOT-BRUNO, M., ROSIQUE, J.-L., 2011. Guide technique pour le contrôle des débits réglementaires - ONEMA.

LE COZ, J., HAUET, A., PIERREFEU, G., DRAMAIS, G., CAMENEN, B., 2010. Performance of image-based velocimetry (LSPIV) applied to flash-flood discharge measurements in Mediterranean rivers. Journal of Hydrology 394, 42–52. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.05.049

LE GALL O. 2010. Influences des périodes glaciaires-interglaciaires sur les ichtyofaunes des eaux douces européennes - Glacial-interglacial impacts on the ichthyofaunas of european fresh waters vol. 21/3 | 2010 : Volume 21 Numéro 3.

LE LOUARN H. ET BERTHU G., 1991 : « influence des élevages extensifs en étang sur les rivières ». Revue des sciences de l'eau 4(1991) 315-327p.

LE LOUARN, H., BERTRU, G., 2005. Influence des élevages extensifs en étang sur les rivièrese. rseau 4, 315–327. https://doi.org/10.7202/705102ar

LEJOT, J., WAWRZYNIAK, V., PIEGAY, H., MICHEL, K., 2015. Caractérisation des méso-habitats fluviaux par drone 25.

LEPICHON, C., TALES, É., BELLIARD, J., GORGES, G., ZAHM, A., CLEMENT, F., 2012. La distribution spatiale des peuplements de poissons dans les petits bassins versants. Sciences Eaux & Territoires Cahier spécial, 24. https://doi.org/10.3917/set.hs05.0005

LEVAIN A., BARTHELEMY C., BOURBLANC M., DOUGUET J.-M., EUZEN A., 2017. Les dynamiques sociales et politiques associées à l'eutrophisation et à sa prise en charge. Pages 949-1129, In : L'eutrophisation : manifestations, causes, conséquences et prédictibilité. Rapport d'Expertise scientifique collective, Rapport CNRS- Ifremer-INRA-Irstea (France), 1283 pages.

LIPEME-KOUIYI, G., 2018. Fiche : Calcul du débit à partir de la hauteur d'eau.

MARTIN, N.A., 1972. Temperature fluctuations within English lowland ponds. Hydrobiologia 40, 455–470. https://doi.org/10.1007/BF00019980

MASSON, G., BANAS, D., FRANÇOIS, D., CIZEL, O., LEGLIZE, L., DIDIER, S.& CORNONNOIS, J., 2005 : « Vidange des étangs piscicoles: contraintes réglementaires et d'exploitation, incidences environnementales ».Bull. Assoc. Geogr. Fr.82(2), 224–233.

MAUNDER, M.N., PUNT, A.E., 2004. Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches. Fisheries Research 70, 141–159. https://doi.org/10.1016/j.fishres.2004.08.002

MAUNDER, M.N., SIBERT, J.R., FONTENEAU, A., HAMPTON, J., KLEIBER, P., HARLEY, S.J., 2006. Interpreting catch per unit effort data to assess the status of individual stocks and communities. ICES Journal of Marine Science 63, 1373–1385. https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2006.05.008

MAZUMDER, A., MCQUEEN, D.J., TAYLOR, W.D., LEAN, D.R.S., 1990. Pelagic food web interactions and hypolimnetic oxygen depletion: Results from experimental enclosures and lakes. Aquatic Science 52, 144–155. https://doi.org/10.1007/BF00902376

MINISTERE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE ET SOLIDAIRE, 2018. 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 pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement.

MINISTERE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE ET SOLIDAIRE, 2019. Guide technique relatif à l'évaluation de l'état des eaux de surface continentales (cours d'eau, canaux, plans d'eau). 123p.

MNHN & OFB, 2021a. Fiche de Austropotamobius pallipes (Lereboullet, 1858). Inventaire national du patrimoine naturel (INPN) [WWW Document]. URL https://inpn.mnhn.fr/espece/cdnom/18437

MNHN & OFB, 2021b. Fiche de Rana temporaria Linnaeus, 1758. Inventaire national du patrimoine naturel (INPN) [WWW Document]. URL https://inpn.mnhn.fr/espece/cd nom/351 (accessed 8.23.21).

MONDY C., 2012.De la communauté à l'individu : apport des traits des invertébrés benthiques dans la bio-évaluation des cours d'eau. Université de Lorraine, Thèse, 2012. 393p.

MONDY C.P., DEZERALD O., BONNE C. & USSEGLIO-POLATERA P., 2017. Diagnostic écologique multi-compartiments des cours d'eau. Rapport d'étape année 1, Rapport Université de Lorraine (LIEC) pour l'AFB, Novembre 2017, 96 p

MONDY C.P., DEZERALD O., BONNE C. & USSEGLIO-POLATERA P., 2017. Diagnostic écologique multi-compartiments des cours d'eau. Rapport d'étape année 1, Rapport Université de Lorraine (LIEC) pour l'AFB, Novembre 2017, 96 p

MONDY C.-P., VILLENEUVE B., ARCHAIMBAULT V., USSEGLIO-POLATERA P., 2012. A new macroinvertebrate-based multimetric index (I2M2) to evaluate ecological quality of French wadeable streams fulfilling the WFD demands: A taxonomical and trait approach. Ecological indicators, Vol 18, p 452-467.

MONDY, C.P., VILLENEUVE, B., ARCHAIMBAULT, V., USSEGLIO-POLATERA, P., 2012. A new macroinvertebrate-based multimetric index (I2M2) to evaluate ecological quality of French wadeable streams fulfilling the WFD demands: A taxonomical and trait approach. Ecological Indicators 18, 452–467. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.12.013

MUNCH L. ET RIGAULT B., 2021. Analyse de l'ADN environnemental : Contexte Hem et Liane. Fédération du Pas de Calais pour la pêche et la protection des milieux aquatiques (FDAAPPMA 62) 88p.

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., 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.

NILSSON A.N. and HANSEN M. 1996. Coleoptera in Aquatic Insects of North Europe – A taxonomic handbook ED; Anders N. Nilsson,

OBERDORFF, T., PONT, D., HUGUENY, B., PORCHER, J.-P., 2002. Development and validation of a fish-based index for the assessment of "river health" in France. Freshwater biology 15.

OERTLI B., FROSSARD P., 2013 : « Mares et étangs: écologie gestion aménagement et valorisation ». Presse polytechnique et universitaires romandes 2013, 480p.

ONEMA, BAUDOUIN JM et al, 2014. Evaluer le franchissement des obstacles par les poissons. Principes et méthodes, 202 p.

ONEMA,2015. ICE : Information sur la Continuité Ecologique, protocole de terrain pour l'acquisition des données. 88p.

ONU, 2020. La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2020. FAO. https://doi.org/10.4060/ca9229fr

OVIDIO, M., PHILIPPART, J. C., PAQUER, F., NEUS, Y., RIMBAUD, G., & CAPRA, H., 2006. Impacts de la mise en service d'une microcentrale hydroélectrique sur les populations de poissons de la Lhomme à Poix Saint-Hubert.

PASCAL ET AL., 2003 - Évolution holocène de la faune de Vertébrés de France : invasions et disparitions.

PETIT, K., MICHON, J., 2015. L'état des eaux de surface et des eaux souterraines.pdf. ONEMA, France.

PILET, P.-E., 2007. Paul-Emile: "Forel, François-Alphonse" [WWW Document]. URL https://hls-dhs-dss.ch/fr/articles/028825/2007-05-01/ (accessed 7.22.21).

PINAY, G., GASCUEL, C., MENESGUEN, A., SOUCHON, Y., 2017. Eutrophisation : manifestations, causes, conséquences et prédictibilité 148.

PINEL-ALLOUL, B., MAZUMBER, A., LACROIX, G., LAZZARO, X., 2005. Les réseaux trophiques lacustres: structure, fonctionnement, interactions et variations spatio-temporelles. rseau 11, 163–197. https://doi.org/10.7202/705337ar

PONT, D., DELAIGUE, O., BELLIARD, J., MARZIN, A., LOGEZ, M., 2013. Révision de l'indice poisson rivière pour l'application de la DCE 208.

POULET, N., BASILICO, L., 2019. L'ADN environnemental pour l'étude de la biodiversité, Rencontres-Synthèse.

QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2019. Système d'Information Géographique Libre et Open Source [WWW Document]. URL https://qgis.org/fr/site/

QUERIERE, P., ARTIS, H., HOLE, J.-P., 1978. Les effets thermiques des exploitations en eau de sable et de graviers en vallées alluviales sur les rivières de Haute Normandie.

RAGON, C., 1991. Observation concernant l'impact des étangs établis sur des ruisseaux salmonicoles.pdf, Conseil Supérieur de la Pêche.

ROSENBERG, D.M., WIEDERHOLM, T., JOHNSON, R.K., 1993. Freshwater Biomonitoring Using Individual Organisms, Populations, and Species Assemblages of Benthic Macroinvertebratesl) 128.

RSTUDIO TEAM, 2021. RStudio: Integrated Development Environment for R. RStudio, PBC, Boston, MA.

SAMUEL, A., CEDRIC, L., CHRISTINE, A., 2010. Bathymétrie des plans d'eau 24.

SANDRE, 2005. Description des données sur les plans d'eau. 2006 44.

SCHLUMBERGER O., 2002. « Mémento de pisciculture d'étang », 4eme edition CEMAGREF, 237p.

SCHLUMBERGER O., SAGLIOCCO M. ET PROTEAU J. P. 2000. Biogéographie du silure glane (silurus glanis) : causes hydrographiques, climatiques et anthropiques. Biogeography of the sheatfish (silurus glanis) : hydrographical, climatic and anthropic causes. Bull. Fr. Pêche Piscic. (2001) 357-360 : 533-547. CEMAGREF, U.R. Ressources Ichtyologiques en Plans d'Eau, BP 5095, 34033 Montpellier cedex, France.

SCHOONOVER, J.E., LOCKABY, B.G., HELMS, B.S., 2006. Impacts of Land Cover on Stream Hydrology in the West Georgia Piedmont, USA. J. Environ. Qual. 35, 2123–2131. https://doi.org/10.2134/jeq2006.0113

SCRUTON D.A., PENNELL C., OLLERHEAD L.M.N., ALFREDSEN K., STICKLER M., HARBY A., ROBERTSON M., CLARKE K.D. ET LEDREW L.J., 2008. A synopsis of hydropeaking studies on the response of juvenile Atlantic salmon to experimental flow alteration. Hydrobiologia, 609, 263-275.

SEYEDHASHEMI, H., MOATAR, F., VIDAL, J.-P., DIAMOND, J.S., BEAUFORT, A., CHANDESRIS, A., VALETTE, L., 2021. Thermal signatures identify the influence of dams and ponds on stream temperature at the regional scale. Science of The Total Environment 766, 142667. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142667

SINBIO, 2011. Guide pour une bonne gestion des étangs du bassin versant de la largue : Fiches Actions à l'attention des propriétaires et des gestionnaires. SMARL. 101p.

SKORA AURELIE, 2021. Rapport d'étude : Caractérisation des débits d'étiages et définition des débits minimums biologiques de la Largue (Haut-Rhin). EPAGE Largue. 52p.

SONG, K., XENOPOULOS, M.A., BUTTLE, J.M., MARSALEK, J., WAGNER, N.D., PICK, F.R., FROST, P.C., 2013. Thermal stratification patterns in urban ponds and their relationships with vertical nutrient gradients. Journal of Environmental Management 127, 317–323. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.05.052

SPYGEN, 2021. Technologies / Nos outils et méthodes d'analyses [WWW Document]. URL http://www.spygen.com/fr/technologies/

STEDMON, C.A., MARKAGER, S., KAAS, H., 2000. Optical Properties and Signatures of Chromophoric Dissolved Organic Matter (CDOM) in Danish Coastal Waters. Estuarine, Coastal and Shelf Science 51, 267–278. https://doi.org/10.1006/ecss.2000.0645

STEFAN, H.G., CARDONI, J.J., SCHIEBE, F.R., COOPER, C.M., 1983. Model of light penetration in a turbid lake. Water Resour. Res. 19, 109–120. https://doi.org/10.1029/WR019i001p00109

SUEZ, nd. Formulaire : Unités de mesure traitement de l'eau – déversoirs - Degremont®.

SYNDICAT INTERCOMMUNAL DE COURTAVON, 1986. Compte rendu de mise à sec etang de courtavon.

TABERLET P., COISSAC E., HAJIBABAEI M., RIESEBERG L.H., 2012. Environmental DNA. Molecular Ecology, 21:1789-1793.

TABERLET, P., COISSAC, E., HAJIBABAEI, M., LOREN H, R., 2012. Environmental DNA. Molécular Ecology Volume 21, issue 8, 1789–1793. https://doi.org/Environmental DNA

TACHET, H., RICHOUX, P., BOURNARD, M., USSEGLIO-POLATERA, P., 2010. Invertébrés d'eau douce Systématique, biologie, écologie, CNRS éditions. Paris 2010 : 2-271-05745-0.

TOUCHART, L., 2002. Limnologie physique et dynamique : Une géographie des lacs et des étangs. L'Harmattan.

TOUCHART, L., 2007. Temperature upstream, downstream and within ponds: a setof geographic impacts A geography of ponds, from global theories to local practices., 228 p. : pp. 119–156.

TOUCHART, L., BARTOUT, P., 2010. The influence of monk equipped ponds on the quality of basin head streams, the example of water temperature in limousin and berry (france) 28.

TOUCHART, L., BARTOUT, P., 2011. La gestion du risque thermique en étang : le cas de la dérivation 14.

TOUCHART, L., BARTOUT, P., AZAROUAL, A., 2012. The influence of ponds on dissolved oxygen in small rivers of Berry (France) 8.

TREMBLAY, R., PIENITZ, R., 2015. Caractéristiques limnologiques de 56 lacs du Québec méridional en lien avec l'état trophique. rseau 28, 139–162. https://doi.org/10.7202/1032295ar

UDEY, L.R., FREYER, J.L., PILCHER, K.S., 1975. Relation of Water Temperature to eratomyxosis in Rainbow Trout (salmo gairdneri) and coho Salmon (oncorhynchus kisutch). https://doi.org/10.1139/f75-181

USSEGLIO-POLATERA P. ET TACHET H., 1994. Theorical habitat templets, species traits and species richness : Plecoptera and Ephemeroptera in the Upper Rhône River and its floodplain. Freshwater Biology (1994) 31, 357-375.

USSEGLIO-POLATERA P., BOURNAUD M., RICHOUX P. ET TACHET H., 2000. Biological and ecological traits of benthic freshwater macroinvertebrates : relationships and definition of groups with similar traits. freshwater biology (2000), 43, 175-205.

VAISSIE, P., MONGE, A., HUSSON, F., 2021. Factoshiny: Perform Factorial Analysis from "FactoMineR" with a Shiny Application.

VALENTINI, A., TABERLET, P., MIAUD, C., CIVADE, R., HERDER, J., THOMSEN, P.F., BELLEMAIN, E., BESNARD, A., COISSAC, E., BOYER, F., GABORIAUD, C., JEAN, P., POULET, N., ROSET, N., COPP, G.H., GENIEZ, P., PONT, D., ARGILLIER, C., BAUDOIN, J.-M., PEROUX, T., CRIVELLI, A.J., OLIVIER, A., ACQUEBERGE, M., LE BRUN, M., MØLLER, P.R., WILLERSLEV, E., DEJEAN, T., 2016. Next-generation monitoring of aquatic biodiversity using environmental DNA metabarcoding. Mol Ecol 25, 929–942. https://doi.org/10.1111/mec.13428

VALLOD, D., & WEZEL, A. , 2010. Influence des pratiques agropiscicoles sur la biodiversité des étangs de la Dombes (Ain, France) en vue d'une valorisation de produits du terroir. VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement.

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.

VERDOIT, M., 2003. Are commercial logbook and scientific CPUE data useful for characterizing the spatial and seasonal distribution of exploited populations? The case of the Celtic Sea whiting. Aquatic Living Resources 16, 467–485. https://doi.org/10.1016/j.aquliv.2003.07.002

VIGNERON, T., ROSET, N., BILLY, V.D., GALLET, O., WILIAM SREMSKI, 2006. Reseau hydrobiologique et piscicole rédacteur : thibault vigneron. Https://doi.org/10.13140/rg.2.2.23390.48962

WARINGER J. & W. GRAF 2004. Atlas der österreichischen köcherfliegenlarven - Facultas-Universitätsverlag – Wien.

WETZEL, R.G., 2001. Limnology: Lake and River Ecosystems. Elsevier ACADEMIC PRESS.

WETZEL, R.G., LIKENS, G.E., 2000. Limnological Analyses. Springer New York, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3250-4

WHILES, M. R., & WALLACE, J. B., 1995. Macroinvertebrate production in a headwater stream during recovery from anthropogenic disturbance and hydrologic extremes. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 52(11), 2402-2422.

WHITE, M.D., GREER, K.A., 2006. The effects of watershed urbanization on the stream hydrology and riparian vegetation of Los Peñasquitos Creek, California. Landscape and Urban Planning 74, 125–138. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2004.11.015

WINDOLF, J., JENSEN, J., JEPPESEN, E., KRISTENSEN, P., 1996. Modelling of seasonal variation in nitrogen retention and in-lake concentration: a four-year mass balance study. Kluwer Academix Publishers, Biochemistry 25–44, 20.

WIPFLI, M. S., & GREGOVICH, D. P., 2002. Export of invertebrates and detritus from fishless headwater streams in southeastern Alaska: implications for downstream salmonid production. Freshwater Biology, 47(5), 957-969.

YOUNG, J.O., 1975. Seasonal and diurnal changes in the water temperature of a temperate pond (England) and a tropical pond (Kenya). Hydrobiologia 47, 513–526. https://doi.org/10.1007/BF00039595

Webographie :

http://especes-exotiques-envahissantes.fr/

https://www.ecologie.gouv.fr

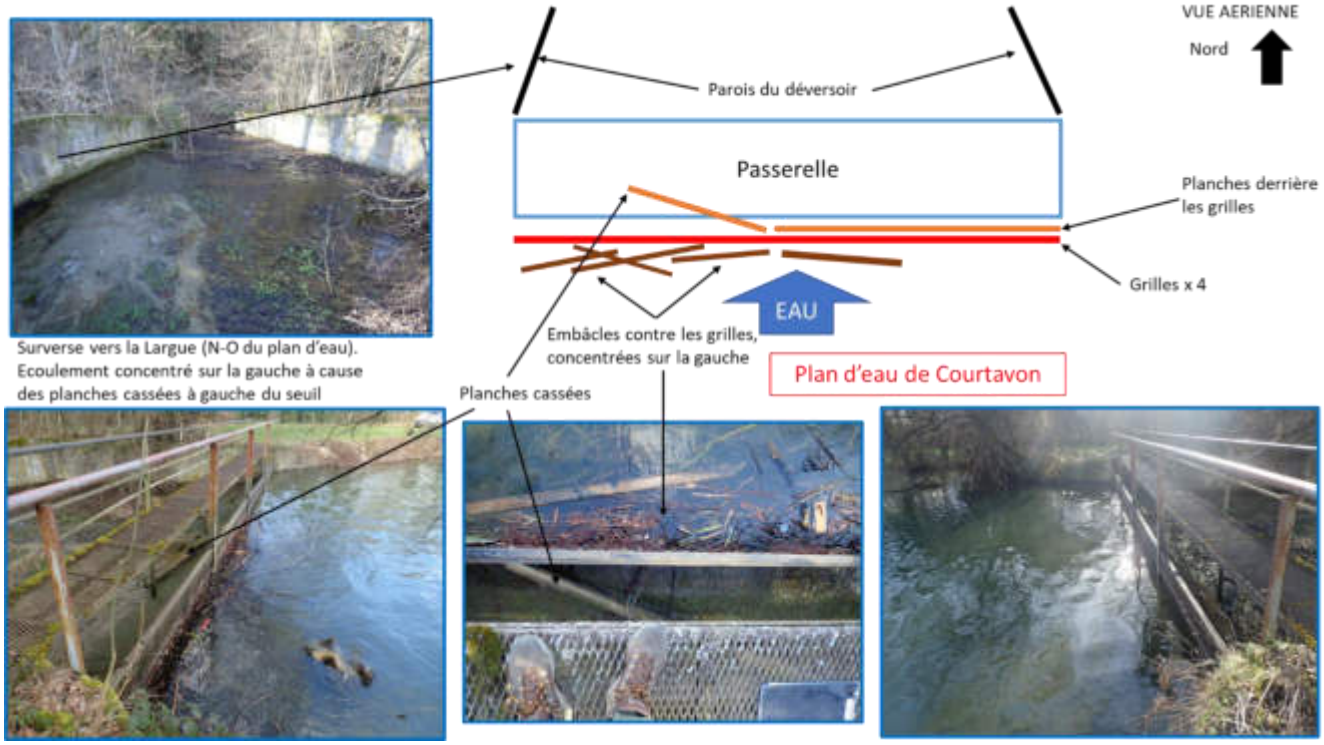
https://inpn.mnhn.fr/

https://inpn.mnhn.fr/informations/sinp/presentation

Annexes

Fédération du Haut-Rhin pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique
Association reconnue d'utilité publique et agréée pour la protection de l'environnement

Annexe 1 : Schéma du déversoir de Courtavon.



Annexe 2 : Analyse de turbidité du plan d'eau Courtavon.

Description							Profondeur Secchi (m)	Profondeur négative (m)	Différence profondeur Nord-Sud (m)	Remarques (météo)
Localisation	Nom_station	Catégorie	Date	Mois	Mois_nom	Années				
Courtavon	Nord	Plan d'eau	12/05/2021	5	Mai	2021	1,45	-1,45	-0,30	Pluvieux
Courtavon	Sud	Plan d'eau	12/05/2021	5	Mai	2021	1,75	-1,75		Pluvieux
Courtavon	Nord	Plan d'eau	04/06/2021	6	Juin	2021	2,40	-2,40	1,10	Ensoleillé
Courtavon	Sud	Plan d'eau	04/06/2021	6	Juin	2021	1,30	-1,30		Ensoleillé
Courtavon	Nord	Plan d'eau	16/06/2021	6	Juin	2021	1,10	-1,10	-0,15	Ensoleillé
Courtavon	Sud	Plan d'eau	16/06/2021	6	Juin	2021	1,25	-1,25		Ensoleillé
Courtavon	Nord	Plan d'eau	02/07/2021	7	Juillet	2021	0,70	-0,70	0,17	Ensoleillé
Courtavon	Sud	Plan d'eau	02/07/2021	7	Juillet	2021	0,53	-0,53		Ensoleillé
Courtavon	Nord	Plan d'eau	29/07/2021	7	Juillet	2021	1,20	-1,20	0,10	Ensoleillé
Courtavon	Sud	Plan d'eau	29/07/2021	7	Juillet	2021	1,10	-1,10		Ensoleillé
Courtavon	Nord	Plan d'eau	23/09/2021	9	Septembre	2021	0,80	-0,80	0,10	Ensoleillé
Courtavon	Sud	Plan d'eau	23/09/2021	9	Septembre	2021	0,70	-0,70		Ensoleillé
Courtavon	Nord	Plan d'eau	07/10/2021	10	Octobre	2021	0,75	-0,75	-0,25	Nuageux
Courtavon	Sud	Plan d'eau	07/10/2021	10	Octobre	2021	1,00	-1,00		Nuageux

Annexe 3 : Résultats des mesures physico-chimiques et comparatif avec la pluviométrie sur la Largue à Courtavon.

id	nums	Code	Localisation	Nom_station	Categorie	Date	Mois	Mois_nom	Annees	Heure	Temperature (°C)	pH	Conductivite (uS/cm	O2 (%)	O2 (mg/L)	DBO5	Nitrite NO2- (mg/L	Nitrate NO3- (mg/L	Amonium NH4+ (mg/L	Phosphate PO4-P (mg/L	PLUVIOMETRIE J	PLUVIOMETRIE J-1	PLUVIOMETRIE J-2	PLUVIOMETRIE J-3
99	18	AmCourt	Courtavon	Amont	Riviere	**22/04/2021**	4	Avril	2021												0	0,2	0	0,0
126	18	AmCourt	Courtavon	Amont	Riviere	**12/05/2021**	5	Mai	2021												0,0	9,2	10,6	0,2
153	18	AmCourt	Courtavon	Amont	Riviere	**04/06/2021**	6	Juin	2021		12,8	8,33	572	96,2	9,80						2,0	0,0	0,0	0,0
180	18	AmCourt	Courtavon	Amont	Riviere	**16/06/2021**	6	Juin	2021	14h40	18,6	8,55	566	110,8	9,91	2,5	0,50	28	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
207	18	AmCourt	Courtavon	Amont	Riviere	**02/07/2021**	7	Juillet	2021	14h00	14,7	8,04	587	97,6	9,44	1,6	0,28	56	0,1	0,5	0,0	0,0	5,8	8,9
234	18	AmCourt	Courtavon	Amont	Riviere	**13/07/2021**	7	Juillet	2021								0,23	19	0,3	0,2	23,2	21,5	0,2	2,6
261	18	AmCourt	Courtavon	Amont	Riviere	**29/07/2021**	7	Juillet	2021	12h05	14,5	8,28	598	102,5	9,96		0,25	26	0,1	0,2	0,2	0,4	1,8	0,0
288	18	AmCourt	Courtavon	Amont	Riviere	**31/08/2021**	8	Aout	2021	14h15	13,5	8,27	594	96,5	9,77		0,25	26	0,1	0,2	0,0	3,8	1,0	0,8
315	18	AmCourt	Courtavon	Amont	Riviere	**23/09/2021**	9	Septembre	2021	12h55	12,0	8,27	582	95,4	9,91		0,27	26	0,1	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
342	18	AmCourt	Courtavon	Amont	Riviere	**07/10/2021**	10	Octobre	2021	10h40	11,4	8,23	572	91,3	9,58	-0,2	0,02	29	0,1	0,2	0,7	4,2	7,4	11,0
101	20	AvCourt	Courtavon	Aval	Riviere	**22/04/2021**	4	Avril	2021								0,15	12	0,1	0,3	0	0,2	0	0,0
128	20	AvCourt	Courtavon	Aval	Riviere	**12/05/2021**	5	Mai	2021								0,04	29	0,1	0,0	0,0	9,2	10,6	0,2
155	20	AvCourt	Courtavon	Aval	Riviere	**04/06/2021**	6	Juin	2021		15,3	8,41	541	97,7	9,42	1,3	0,18	0,03	0,1	0,3	2,0	0,0	0,0	0,0
182	20	AvCourt	Courtavon	Aval	Riviere	**16/06/2021**	6	Juin	2021	16h00	17,3	8,46	561	95,6	8,74	1,5	0,45	28	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
209	20	AvCourt	Courtavon	Aval	Riviere	**02/07/2021**	7	Juillet	2021	15h20	16,3	8,17	510	97,9	9,21	1,4	0,47	7	0,1	0,5	0,0	0,0	5,8	8,9
236	20	AvCourt	Courtavon	Aval	Riviere	**13/07/2021**	7	Juillet	2021								0,11	16	0,1	0,3	23,2	21,5	0,2	2,6
263	20	AvCourt	Courtavon	Aval	Riviere	**29/07/2021**	7	Juillet	2021	12h30	14,7	8,32	579	99,1	9,64		0,24	22	0,2	0,2	0,2	0,4	1,8	0,0
290	20	AvCourt	Courtavon	Aval	Riviere	**31/08/2021**	8	Aout	2021	14h50	13,4	8,31	586	96,6	9,71		0,24	22	0,2	0,2	0,0	3,8	1,0	0,8
317	20	AvCourt	Courtavon	Aval	Riviere	**23/09/2021**	9	Septembre	2021	12h33	11,3	8,40	583	96,6	10,18		0,11	27	0,1	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
344	20	AvCourt	Courtavon	Aval	Riviere	**07/10/2021**	10	Octobre	2021	10h15	12,0	8,29	520	95,7	9,87	0,3	0,11	24	0,4	0,2	0,7	4,2	7,4	11,0
100	19	MedCourt	Courtavon	Median	Riviere	**22/04/2021**	4	Avril	2021								0,25	13	0,1	0,5	0	0,2	0	0,0
127	19	MedCourt	Courtavon	Median	Riviere	**12/05/2021**	5	Mai	2021								0,04	24	0,1	0,0	0,0	9,2	10,6	0,2
154	19	MedCourt	Courtavon	Median	Riviere	**04/06/2021**	6	Juin	2021		13,0	8,30	565	93,1	9,45	0,5	0,20	0,03	0,3	0,2	2,0	0,0	0,0	0,0
181	19	MedCourt	Courtavon	Median	Riviere	**16/06/2021**	6	Juin	2021	15h00	17,3	8,46	572	93,1	8,53	1,1	0,50	25	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
208	19	MedCourt	Courtavon	Median	Riviere	**02/07/2021**	7	Juillet	2021	15h00	15,0	8,04	564	94,8	9,11	1,0	0,30	53	0,1	0,5	0,0	0,0	5,8	8,9
235	19	MedCourt	Courtavon	Median	Riviere	**13/07/2021**	7	Juillet	2021								0,10	29	0,1	2,6	23,2	21,5	0,2	2,6
262	19	MedCourt	Courtavon	Median	Riviere	**29/07/2021**	7	Juillet	2021	12h20	14,0	8,25	602	96,4	9,52		0,16	24	0,1	0,2	0,2	0,4	1,8	0,0
289	19	MedCourt	Courtavon	Median	Riviere	**31/08/2021**	8	Aout	2021	14h30	13,1	8,25	597	89,2	9,01		0,16	24	0,1	0,2	0,0	3,8	1,0	0,8
316	19	MedCourt	Courtavon	Median	Riviere	**23/09/2021**	9	Septembre	2021	12h46	11,1	8,25	580	59,2	9,44		0,11	23	0,1	0,6	0,2	0,0	0,0	0,0
343	19	MedCourt	Courtavon	Median	Riviere	**07/10/2021**	10	Octobre	2021	10h25	11,3	8,16	540	86,0	9,04	-0,8	0,20	24	0,1	0,2	0,7	4,2	7,4	11,0

Annexe 4 : Résultats des mesures physico-chimiques et comparatif avec la pluviométrie sur la Gruebaine à Chavannes sur l'étang.

nums	Code	Localisation	Nom_station	Categorie	Date	Mois	Mois_nom	Annees	Heure	Temperature (°C)	pH	Conductivite (uS/cm	O2 (%)	O2 (mg/L)	DBO5	Nitrite NO2- (mg/L	Nitrate NO3- (mg/L	Amonium NH4+ (mg/L	Phosphate PO4-P (mg/L	PLUVIOMETRIE J	PLUVIOMETRIE J-1	PLUVIOMETRIE J-2	PLUVIOMETRIE J-3
5	AmChav	Chavanne	Amont	Riviere	**21/04/2021**	4	Avril	2021	13h42	10,6	6,81	171				0,02	4	0,1	0,5	0,2	0	0	0,0
6	LacChav	Chavanne	Plan_eau	an_d'e	**21/04/2021**	4	Avril	2021	14h00	16,3	6,73	197				0,02	4	0,2	0,2	0,2	0	0	0,0
7	AvChav	Chavanne	Aval	Riviere	**21/04/2021**	4	Avril	2021	14h10	16,2	6,81	197				0,02	4	0,2	0,2	0,2	0	0	0,0
5	AmChav	Chavanne	Amont	Riviere	**02/06/2021**	6	Juin	2021	10h00	13,7	7,16	147,3	71,3	7,12	-1,7	0,08	4	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
6	LacChav	Chavanne	Plan_eau	an_d'e	**02/06/2021**	6	Juin	2021	10h10	19,2	9,10	154,3	131,8	12,40	4,0	0,08	4	0,5	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
7	AvChav	Chavanne	Aval	Riviere	**02/06/2021**	6	Juin	2021	10h20	19,2	8,47	161,5	1000,0	8,92	0,0	0,08	4	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
5	AmChav	Chavanne	Amont	Riviere	**02/07/2021**	7	Juillet	2021	8h45	14,4	6,92	283	49,5	4,80	-3,1	0,50	42	0,1	0,4	0,0	0,0	5,8	8,9
6	LacChav	Chavanne	Plan_eau	an_d'e	**02/07/2021**	7	Juillet	2021	9h00	18,3	7,33	222	89,2	8,13	0,6	0,36	21	0,6	0,7	0,0	0,0	5,8	8,9
7	AvChav	Chavanne	Aval	Riviere	**02/07/2021**	7	Juillet	2021	9h10	18,2	7,45	223	91,3	8,35	1,1	0,45	20	0,7	0,5	0,0	0,0	5,8	8,9
5	AmChav	Chavanne	Amont	Riviere	**28/07/2021**	7	Juillet	2021	11h30	17,3	7,08	172,8	65,6	6,10		0,21	4	0,4	0,2	0,4	1,8	0,0	13,3
6	LacChav	Chavanne	Plan_eau	an_d'e	**28/07/2021**	7	Juillet	2021	10h30	22,2	7,36	195	67,8	6,60		0,50	4	0,1	0,2	0,4	1,8	0,0	13,3
7	AvChav	Chavanne	Aval	Riviere	**28/07/2021**	7	Juillet	2021	11h00	22,0	7,46	197	78,1	6,58		0,50	8	0,2	0,2	0,4	1,8	0,0	13,3
5	AmChav	Chavanne	Amont	Riviere	**30/08/2021**	8	Aout	2021	10h20	13,2	7,24	177	70,1	6,18		0,02	4	0,1	0,3	3,8	1,0	0,8	0,0
6	LacChav	Chavanne	Plan_eau	an_d'e	**30/08/2021**	8	Aout	2021	9h30	17,4	7,50	224	37,6	3,40		0,02	4	1,2	0,2	3,8	1,0	0,8	0,0
7	AvChav	Chavanne	Aval	Riviere	**30/08/2021**	8	Aout	2021	9h40	16,6	7,49	241	49,3	4,67		0,10	4	0,6	0,2	3,8	1,0	0,8	0,0
5	AmChav	Chavanne	Amont	Riviere	**06/10/2021**	10	Octobre	2021	10h20	11,4	7,26	166	53,0	5,55	-2,5	0,02	13	0,1	0,3	4,2	7,4	11,0	5,4
6	LacChav	Chavanne	Plan_eau	an_d'e	**06/10/2021**	10	Octobre	2021	9h50	14,5	7,48	239	61,7	5,99	-2,8	0,02	4	0,1	0,2	4,2	7,4	11,0	5,4
7	AvChav	Chavanne	Aval	Riviere	**06/10/2021**	10	Octobre	2021	10h00	14,3	7,67	239	82,3	8,14	-0,6	0,02	4	0,1	0,2	4,2	7,4	11,0	5,4

Annexe 5 : Résultats des mesures physico-chimiques et comparatif avec la pluviométrie sur le site de Pfetterhouse

nums	Code	Localisation	Nom_station	Categorie	Date	Mois	Mois_nom	Annees	Heure	Temperature (°C)	pH	Conductivite (uS/cm)	O2 (%)	O2 (mg/L)	DBO5	Nitrite NO2- (mg/L)	Nitrate NO3- (mg/L)	Amonium NH4+ (mg/L)	Phosphate PO4-P (mg/L)	PLUVIOMETRIE J	PLUVIOMETRIE J-1	PLUVIOMETRIE J-2	PLUVIOMETRIE J-3
14	AmEPfetter	etterhou	ont_eloig	Riviere	23/04/2021	4	Avril	2021	9h30	8,1	7,98	510				0,07	9	0,1	0,2	0	0	0,2	0,0
15	AmPfetter	etterhou	Amont_	Riviere	23/04/2021	4	Avril	2021	10h00	8,4	7,94	515				0,06	8	0,1	0,2	0	0	0,2	0,0
16	AvPfetter	etterhou	Aval	Riviere	23/04/2021	4	Avril	2021	11h00	8,3	7,91	496				0,17	6	1,1	0,4	0	0	0,2	0,0
16	AvPfetter	etterhou	al_multip	Riviere	23/04/2021	4	Avril	2021	11h20	8,4	8,37	444	105,0	12,00		0,04	9	0,1	0,2	0	0	0,2	0,0
14	AvPfetter	etterhou	Aval	Riviere	03/06/2021	6	Juin	2021	15h15	15,2	8,44	560	100,3	9,63	1,1	0,02	23	0,1	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0
14	AmEPfetter	etterhou	ont_eloig	Riviere	03/06/2021	6	Juin	2021	9h00	14,0	8,25	488	93,5	9,36	1,2	0,26	25	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
15	AmPfetter	etterhou	Amont_	Riviere	03/06/2021	6	Juin	2021	9h15	13,4	8,20	481	91,8	9,23	1,3	0,25	27	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
17	LacPfetter	etterhou	Plan_eau	an_d'e	03/06/2021	6	Juin	2021	9h30	22,7	8,16	365	107,4	8,88	-0,1	0,13	5	1,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
14	AmEPfetter	etterhou	ont_eloig	Riviere	02/07/2021	7	Juillet	2021	13h15	15,5	8,16	453	96,0	9,20	1,3	0,09	23	0,1	0,2	0,0	0,0	5,8	8,9
15	AmPfetter	etterhou	Amont_	Riviere	02/07/2021	7	Juillet	2021	12h45	15,3	8,14	449	96,9	9,32	1,4	0,08	24	0,1	0,2	0,0	0,0	5,8	8,9
17	LacPfetter	etterhou	Plan_eau	an_d'e	02/07/2021	7	Juillet	2021	12h05	20,9	7,76	361	100,9	8,61	1,0	0,17	4	0,6	0,2	0,0	0,0	5,8	8,9
16	AvPfetter	etterhou	Aval	Riviere	02/07/2021	7	Juillet	2021	12h00	14,8	8,15	446	96,1	9,35	1,6	0,07	25	0,1	0,2	0,0	0,0	5,8	8,9
14	AmEPfetter	etterhou	ont_eloig	Riviere	28/07/2021	7	Juillet	2021	15h30	15,6	8,26	529	95,5	9,13						0,4	1,8	0,0	13,3
15	AmPfetter	etterhou	Amont_	Riviere	28/07/2021	7	Juillet	2021	15h19	15,6	8,27	528	87,7	9,20		0,28	28	0,1	0,2	0,4	1,8	0,0	13,3
17	LacPfetter	etterhou	Plan_eau	an_d'e	28/07/2021	7	Juillet	2021	16h00	23,8	7,89	315	100,1	7,89		0,10	4	0,2	0,2	0,4	1,8	0,0	13,3
16	AvPfetter	etterhou	Aval	Riviere	28/07/2021	7	Juillet	2021	15h00	15,8	8,29	534	97,8	9,30		0,14	26	0,1	0,2	0,4	1,8	0,0	13,3
14	AmEPfetter	etterhou	ont_eloig	Riviere	30/08/2021	8	Aout	2021	12h30	14,3	8,35	550	96,5	9,56						3,8	1,0	0,8	0,0
15	AmPfetter	etterhou	Amont_	Riviere	30/08/2021	8	Aout	2021	12h00	14,1	8,32	549	96,1	9,58		0,10	24	0,1	0,2	3,8	1,0	0,8	0,0
17	LacPfetter	etterhou	Plan_eau	an_d'e	30/08/2021	8	Aout	2021	11h45	18,4	7,53	405	33,1	2,99		0,04	4	0,6	0,7	3,8	1,0	0,8	0,0
16	AvPfetter	etterhou	Aval	Riviere	30/08/2021	8	Aout	2021	11h30	13,7	8,29	549	94,3	9,35		0,06	26	0,1	0,4	3,8	1,0	0,8	0,0
14	AmEPfetter	etterhou	ont_eloig	Riviere	06/10/2021	10	Octobre	2021	15h00	13,3	8,19	470	95,7	9,56	0,6	0,09	20	0,1	0,2	4,2	7,4	11,0	5,4
15	AmPfetter	etterhou	Amont_	Riviere	06/10/2021	10	Octobre	2021	14h40	13,7	8,20	466	94,5	9,43	0,3	0,08	18	0,1	0,5	4,2	7,4	11,0	5,4
17	LacPfetter	etterhou	Plan_eau	an_d'e	06/10/2021	10	Octobre	2021	14h20	15,8	7,68	390	55,0	5,27	-2,8	0,04	4	0,3	0,2	4,2	7,4	11,0	5,4
16	AvPfetter	etterhou	Aval	Riviere	06/10/2021	10	Octobre	2021	14h10	12,7	8,07	444	91,4	9,25	0,0	0,15	19	0,1	0,3	4,2	7,4	11,0	5,4

Annexe 6 : Résultats des mesures physico-chimiques et comparatif avec la pluviométrie sur le site de Levoncourt

id	nums	Code	Localisation	Nom_station	Categorie	Date	Mois	Mois_nom	Annees	Heure	Temperature (°c)	pH	Conductivite (uS/cm	O2 (%)	O2 (mg/L)	DBO5	Nitrite NO2- (mg/L	Nitrate NO3- (mg/L	Amonium NH4+ (mg/L	Phosphate PO4-P (mg/L	PLUVIOMETRIE J	PLUVIOMETRIE J-1	PLUVIOMETRIE J-2	PLUVIOMETRIE J-3
42	8	AmLev	evoncour	PE_amon	an_d'e	22/04/2021	4	Avril	2021	9h45	11,1	6,89	556				0,02	9	0,1	0,4	0	0,2	0	0,0
43	9	Lac1Lev	evoncour	PE_centre	an_d'e	22/04/2021	4	Avril	2021	9h45	10,4	7,12	557								0	0,2	0	0,0
44	10	Lac2Lev	evoncour	PE_aval	an_d'e	22/04/2021	4	Avril	2021	9h30	10,4	7,07	550				0,03	19	0,1	0,4	0	0,2	0	0,0
45	11	AvLev	evoncour	Largue	Riviere	22/04/2021	4	Avril	2021	9h50	8,7	7,89	649				0,02	7	0,1	0,4	0	0,2	0	0,0
46	8	AmLev	evoncour	PE_amon	an_d'e	03/06/2021	6	Juin	2021	11h00	13,6	7,30	511	62,2	6,32	-2,9	0,02	12	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
47	9	Lac1Lev	evoncour	PE_centre	an_d'e	03/06/2021	6	Juin	2021	11h05	14,3	7,49	493	79,6	7,83	-0,9	0,03	10	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
48	10	Lac2Lev	evoncour	PE_aval	an_d'e	03/06/2021	6	Juin	2021	11h10	14,1	7,40	516	73,0	6,93	-1,4	0,03	15	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
49	11	AvLev	evoncour	Largue	Riviere	03/06/2021	6	Juin	2021	11h20	12,0	8,18	584	97,5	10,04	1,2	0,07	30	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
50	9	Lac1Lev	evoncour	PE_centre	an_d'e	02/07/2021	7	Juillet	2021	15h50	13,3	7,32	521	64,3	6,40	-1,0	0,04	10	0,1	0,2	0,0	0,0	5,8	8,9
51	10	Lac2Lev	evoncour	PE_aval	an_d'e	02/07/2021	7	Juillet	2021	15h45	13,5	7,31	538	68,6	6,84	-1,0	0,07	10	0,1	0,2	0,0	0,0	5,8	8,9
52	11	AvLev	evoncour	Largue	Riviere	02/07/2021	7	Juillet	2021	16h00	12,9	7,69	581	87,6	8,79	0,9	0,90	60	0,2	0,4	0,0	0,0	5,8	8,9
53	9	Lac1Lev	evoncour	PE_centre	an_d'e	29/07/2021	7	Juillet	2021	10h05	13,6	7,30	525	60,4	6,03						0,2	0,4	1,8	0,0
54	10	Lac2Lev	evoncour	PE_aval	an_d'e	29/07/2021	7	Juillet	2021	10h00	12,9	7,28	550	63,2	6,40		0,13	16	0,1	0,2	0,2	0,4	1,8	0,0
55	11	AvLev	evoncour	Largue	Riviere	29/07/2021	7	Juillet	2021	10h10	12,5	8,05	615	97,6	9,93		0,08	30	0,1	0,2	0,2	0,4	1,8	0,0
56	9	Lac1Lev	evoncour	PE_centre	an_d'e	30/08/2021	8	Aout	2021	15h50	13,4	7,40	525	61,3	6,07		0,05	13	0,1	0,2	3,8	1,0	0,8	0,0
57	10	Lac2Lev	evoncour	PE_aval	an_d'e	30/08/2021	8	Aout	2021	15h40	13,2	7,37	534	57,2	5,71		0,04	13	0,1	0,2	3,8	1,0	0,8	0,0
58	11	AvLev	evoncour	Largue	Riviere	30/08/2021	8	Aout	2021	16h00	14,3	7,74	561	81,5	8,32		0,05	20	0,1	0,2	3,8	1,0	0,8	0,0
59	8	AmLev	evoncour	PE_amon	an_d'e	07/10/2021	10	Octobre	2021	9h50	12,6	7,25	513	56,7	5,76	-3,2	0,02	10	0,1	0,2	0,7	4,2	7,4	11,0
60	9	Lac1Lev	evoncour	PE_centre	an_d'e	07/10/2021	10	Octobre	2021	9h30	11,3	7,41	511	38,1	3,99	-4,0	0,06	10	0,1	0,4	0,7	4,2	7,4	11,0
61	10	Lac2Lev	evoncour	PE_aval	an_d'e	07/10/2021	10	Octobre	2021	9h25	10,7	7,37	500	54,9	5,89	-2,4	0,12	11	0,1	0,2	0,7	4,2	7,4	11,0
62	11	AvLev	evoncour	Largue	Riviere	07/10/2021	10	Octobre	2021	9h40	10,7	8,17	599	94,1	10,00	1,0	0,02	28	0,1	0,5	0,7	4,2	7,4	11,0

Annexe 7 : Résultats complets des valeurs moyennes des mesures physico-chimiques

Code station	Temperature (°C)		pH		Conductivite (uS/cm)		O2 (%)		O2 (mg/L)		DBO5		Nitrite NO2- (mg/L)		Nitrate NO3- (mg/L)		Amonium NH4+ (mg/L		hosphate PO4-P (mg/		Qualité Physico-Chimique	Paramètre déclassant
	Moy	Qualité	Moy	Qualité	Moy	Qualité	Moy	Qualité	Moy	Qualité	Moy	Qualité	Moy	Qualité	Moy	Qualité	Moy	Qualité	Moy	Qualité		
AmCourt	13,9	Tres Bon	8,3	Bon	581,6	NR	98,6	Tres Bon	9,8	NR	1,3	Tres Bon	0,3	Bon	30,0	Bon	0,1	Bon	0,3	Bon	*Bon*	
MedCourt	13,5	Tres Bon	8,2	Bon	574,3	NR	87,4	Bon	9,2	NR	0,4	Tres Bon	0,2	Bon	23,9	Bon	0,1	Bon	0,5	Moyen	*Moyen*	Phosphate
AvCourt	14,3	Tres Bon	8,3	Bon	554,3	NR	97,0	Tres Bon	9,5	NR	1,1	Tres Bon	0,2	Bon	18,7	Bon	0,2	Bon	0,3	Bon	*Bon*	
AmRuisseau	16,2	Tres Bon	8,0	Tres Bon	538,7	NR	198,5	Tres Bon	9,2	NR	3,3	Bon	0,1	Tres Bon	6,7	Tres Bon	0,1	Bon	0,3	Bon	*Bon*	
rejet restaurant	19,8	Tres Bon	7,9	Tres Bon	300,4	NR	92,0	Tres Bon	7,9	NR	0,4	Tres Bon	0,1	Tres Bon	4,1	Tres Bon	0,3	Bon	0,2	Bon	*Bon*	
NSurfCourt	19,1	Tres Bon	8,1	Tres Bon	285,6	NR	103,8	Tres Bon	8,7	NR	1,9	Tres Bon	0,1	Tres Bon	4,6	Tres Bon	0,1	Bon	0,4	Bon	*Bon*	
NMilCourt	19,8	Tres Bon	8,2	Tres Bon	285,4	NR	103,1	Tres Bon	8,7	NR	1,5	Tres Bon	0,0	Tres Bon	3,7	Tres Bon	0,2	Bon	0,3	Bon	*Bon*	
NFondCourt	18,3	Tres Bon	7,5	Tres Bon	310,4	NR	72,1	Bon	7,1	NR	1,2	Tres Bon	0,0	Tres Bon	3,8	Tres Bon	0,5	Moyen	0,2	Bon	*Moyen*	Amonium
SSurfCourt	20,6	Bon	8,1	Tres Bon	280,9	NR	96,0	Tres Bon	8,6	NR	1,3	Tres Bon	0,1	Tres Bon	4,3	Tres Bon	0,1	Bon	0,2	Bon	*Bon*	
SMilCourt	20,5	Bon	8,2	Bon	285,9	NR	108,4	Tres Bon	9,0	NR	1,6	Tres Bon	0,1	Tres Bon	3,6	Tres Bon	0,2	Bon	0,2	Bon	*Bon*	
SFondCourt	20,5	Bon	8,1	Tres Bon	296,7	NR	91,4	Tres Bon	9,2	NR	2,5	Tres Bon	0,1	Tres Bon	4,0	Tres Bon	0,2	Bon	0,2	Bon	*Bon*	
AmChav	13,4	Tres Bon	7,1	Tres Bon	186,2	NR	61,9	Moyen	6,0	NR	-2,4	Tres Bon	0,1	Bon	11,8	Bon	0,2	Bon	0,3	Bon	*Moyen*	O2
LacChav	18,0	Tres Bon	7,6	Tres Bon	205,2	NR	77,6	Bon	7,3	NR	0,6	Tres Bon	0,2	Bon	6,8	Tres Bon	0,5	Bon	0,3	Bon	*Bon*	
AvChav	17,8	Tres Bon	7,6	Tres Bon	209,8	NR	71,0	Bon	7,3	NR	0,2	Tres Bon	0,2	Bon	7,3	Tres Bon	0,4	Bon	0,3	Bon	*Bon*	
AmEPfetter	13,5	Tres Bon	8,2	Tres Bon	500,0	NR	95,4	Tres Bon	9,4	NR	1,0	Tres Bon	0,1	Bon	19,3	Bon	0,2	Bon	0,2	Bon	*Bon*	
AmPfetter	13,4	Tres Bon	8,2	Tres Bon	498,0	NR	93,4	Tres Bon	9,4	NR	1,0	Tres Bon	0,1	Bon	21,5	Bon	0,2	Bon	0,3	Bon	*Bon*	
LacPfetter	20,3	Bon	7,8	Tres Bon	367,2	NR	79,3	Bon	6,7	NR	-0,7	Tres Bon	0,1	Tres Bon	4,2	Tres Bon	0,5	Moyen	0,4	Bon	*Moyen*	Amonium NH4+
AvPfetter	12,7	Tres Bon	8,2	Bon	496,1	NR	97,5	Tres Bon	9,8	NR	0,9	Tres Bon	0,1	Tres Bon	19,1	Bon	0,2	Bon	0,4	Bon	*Bon*	
AmGuersh	15,0	Tres Bon	7,5	Tres Bon	324,5	NR	77,7	Bon	7,3	NR	-1,1	Tres Bon	0,1	Tres Bon	5,0	Tres Bon	0,1	Tres Bon	0,2	Bon	*Bon*	
LacGuersh	19,3	Tres Bon	8,2	Bon	221,0	NR	102,1	Tres Bon	8,7	NR	1,8	Tres Bon	0,1	Tres Bon	4,5	Tres Bon	0,1	Bon	0,3	Bon	*Bon*	
AvGuersh	17,5	Tres Bon	7,6	Tres Bon	215,9	NR	87,3	Bon	7,6	NR	-0,7	Tres Bon	0,0	Tres Bon	4,0	Tres Bon	0,1	Tres Bon	0,2	Bon	*Bon*	
AvEGuersh	17,4	Tres Bon	7,4	Tres Bon	229,2	NR	77,9	Bon	6,8	NR	-0,9	Tres Bon	0,0	Tres Bon	4,0	Tres Bon	0,6	Moyen	0,5	Bon	*Moyen*	Amonium NH4+
AmLev	12,4	Tres Bon	7,1	Tres Bon	526,7	NR	79,0	Bon	6,0	NR	-3,1	Tres Bon	0,0	Tres Bon	10,3	Bon	0,1	Tres Bon	0,3	Bon	*Bon*	
Lac1Lev	12,7	Tres Bon	7,3	Tres Bon	522,0	NR	60,7	Moyen	6,1	NR	-2,0	Tres Bon	0,0	Tres Bon	10,8	Bon	0,1	Tres Bon	0,3	Bon	*Moyen*	O2
Lac2Lev	12,5	Tres Bon	7,3	Tres Bon	531,3	NR	63,4	Moyen	6,4	NR	-1,6	Tres Bon	0,1	Tres Bon	14,0	Bon	0,1	Tres Bon	0,2	Bon	*Moyen*	O2
AvLev	11,9	Tres Bon	8,0	Tres Bon	598,2	NR	91,7	Tres Bon	9,4	NR	1,0	Tres Bon	0,2	Bon	29,2	Bon	0,1	Bon	0,3	Bon	*Bon*	
NMont	16,9	Tres Bon	7,6	Tres Bon	281,3	NR	58,8	Moyen	5,4	NR	-2,5	Tres Bon	0,3	Moyen	12,5	Bon	0,5	Bon	0,4	Bon	*Moyen*	Nitrite
SMont	17,6	Tres Bon	7,8	Tres Bon	294,8	NR	51,6	Moyen	4,6	NR	-2,2	Tres Bon	0,1	Tres Bon	4,7	Tres Bon	0,2	Bon	0,3	Bon	*Moyen*	O2

Classes de qualités

- *Tres Bon*
- *Bon*
- *Moyen*
- *Médiocre*
- *Mauvais*

Annexe 8 : Résultats complets des valeurs maximales des mesures physico-chimiques

Code station	Temperature (°C)		pH		Conductivite (uS/cm)		O2 (%)		O2 (mg/L)		DBO5		Nitrite NO2- (mg/L)		Nitrate NO3- (mg/L)		\monium NH4+ (mg/L		hosphate PO4-P (mg/l		Qualité Physico-Chimique	Paramètre déclassant
	Max	Qualité	Max	Qualité	Max	Qualité	Max	Qualité	Max	Qualité	Max	Qualité	Max	Qualité	Max	Qualité	Max	Qualité	Max	Qualité		
AmCourt	18,6	Tres Bon	8,5	Bon	598,0	NR	110,8	Tres Bon	10,0	NR	2,5	Tres Bon	0,5	Médiocre	56,0	Mauvais	0,3	Bon	0,5	Moyen	*Mauvais*	Nitrate & Nitrite-
MedCourt	17,3	Tres Bon	8,5	Bon	602,0	NR	96,4	Tres Bon	9,5	NR	1,1	Tres Bon	0,5	Médiocre	53,0	Mauvais	0,3	Bon	2,6	Mauvais	*Mauvais*	Nitrate & Phosphate
AvCourt	17,3	Tres Bon	8,5	Bon	586,0	NR	99,1	Tres Bon	10,2	NR	1,5	Tres Bon	0,5	Moyen	29,0	Bon	0,4	Bon	0,5	Moyen	*Moyen*	Nitrite & Phosphate
AmRuisseau	20,5	Tres Bon	8,9	Bon	612,0	NR	89,0	Bon	19,8	NR	12,6	Médiocre	0,1	Tres Bon	17,0	Bon	0,2	Bon	0,6	Moyen	*Médiocre*	DBO5 & Phosphate
rejet restaurant	26,5	Moyen	8,7	Bon	474,0	NR	127,1	Tres Bon	10,7	NR	2,8	Tres Bon	0,5	Médiocre	5,0	Tres Bon	1,2	Moyen	0,5	Moyen	*Médiocre*	Nitrite & Phosphate
NSurfCourt	25,2	Bon	8,9	Bon	345,0	NR	171,2	Tres Bon	14,1	NR	5,7	Bon	0,3	Moyen	9,0	Tres Bon	0,2	Bon	1,2	Médiocre	*Médiocre*	Nitrite & Phosphate
NMilCourt	24,8	Bon	8,9	Bon	349,0	NR	186,0	Tres Bon	15,1	NR	6,8	Moyen	0,1	Bon	5,0	Tres Bon	0,3	Bon	1,1	Médiocre	*Médiocre*	DBO5 & Phosphate
NFondCourt	21,5	Bon	8,1	Tres Bon	380,0	NR	162,8	Tres Bon	13,3	NR	5,3	Bon	0,1	Tres Bon	6,0	Tres Bon	1,2	Moyen	0,4	Bon	*Moyen*	Amonium NH4+
SSurfCourt	25,7	Moyen	8,9	Bon	328,0	NR	160,8	Tres Bon	13,4	NR	4,7	Bon	0,2	Bon	10,0	Bon	0,2	Bon	0,3	Bon	*Moyen*	Temperature
SMilCourt	26,3	Moyen	9,4	Moyen	344,0	NR	180,5	Tres Bon	14,2	NR	5,9	Bon	0,5	Moyen	4,0	Tres Bon	0,4	Bon	0,5	Moyen	*Moyen*	Nitrite & Phosphate
SFondCourt	26,2	Moyen	9,2	Moyen	420,0	NR	124,4	Tres Bon	17,9	NR	10,1	Médiocre	0,2	Bon	6,0	Tres Bon	0,4	Bon	0,6	Moyen	*Médiocre*	DBO5 & Phosphate
AmChav	17,3	Tres Bon	7,3	Tres Bon	283,0	NR	71,3	Bon	7,1	NR	-1,7	Tres Bon	0,5	Médiocre	42,0	Bon	0,4	Bon	0,5	Moyen	*Médiocre*	Nitrite & Phosphate
LacChav	22,2	Tres Bon	9,1	Moyen	239,0	NR	131,8	Tres Bon	12,4	NR	4,0	Bon	0,5	Médiocre	21,0	Bon	1,2	Moyen	0,7	Moyen	*Médiocre*	Nitrite & Phosphate
AvChav	22	Tres Bon	8,5	Bon	241,0	NR	100,0	Tres Bon	8,9	NR	1,1	Tres Bon	0,5	Médiocre	20,0	Bon	0,7	Moyen	0,5	Moyen	*Médiocre*	Nitrite & Phosphate
AmEPfetter	15,6	Tres Bon	8,4	Bon	550,0	NR	96,5	Tres Bon	9,6	NR	1,3	Tres Bon	0,3	Bon	25,0	Bon	0,4	Bon	0,3	Bon	*Bon*	
AmPfetter	15,6	Tres Bon	8,3	Bon	549,0	NR	96,9	Tres Bon	9,6	NR	1,4	Tres Bon	0,3	Bon	28,0	Bon	0,4	Bon	0,5	Moyen	*Moyen*	Phosphate
LacPfetter	23,8	Tres Bon	8,2	Tres Bon	405,0	NR	107,4	Tres Bon	8,9	NR	1,0	Tres Bon	0,2	Bon	5,0	Tres Bon	1,0	Moyen	0,7	Moyen	*Moyen*	Phosphate
AvPfetter	15,8	Tres Bon	8,4	Bon	560,0	NR	105,0	Tres Bon	12,0	NR	1,6	Tres Bon	0,2	Bon	26,0	Bon	1,1	Moyen	1,4	Médiocre	*Médiocre*	Phosphate
AmGuersh	17,6	Tres Bon	7,7	Tres Bon	352,0	NR	83,0	Bon	8,2	NR	-1,1	Tres Bon	0,2	Bon	10,0	Bon	0,1	Tres Bon	0,3	Bon	*Bon*	
LacGuersh	24,7	Tres Bon	8,9	Bon	261,0	NR	144,2	Tres Bon	11,7	NR	3,3	Bon	0,3	Moyen	6,0	Tres Bon	0,3	Bon	0,7	Moyen	*Moyen*	Nitrite & Phosphate
AvGuersh	21,5	Tres Bon	7,9	Tres Bon	255,0	NR	91,0	Tres Bon	8,0	NR	-0,1	Tres Bon	0,1	Tres Bon	4,0	Tres Bon	0,1	Tres Bon	0,4	Bon	*Bon*	
AvEGuersh	21,2	Tres Bon	8,1	Tres Bon	325,0	NR	128,1	Tres Bon	11,0	NR	2,5	Tres Bon	0,0	Tres Bon	4,0	Tres Bon	3,0	Médiocre	1,5	Médiocre	*Médiocre*	Amonium & Phosphate
AmLev	13,6	Tres Bon	7,3	Tres Bon	556,0	NR	85,0	Bon	6,3	NR	-2,9	Tres Bon	0,0	Tres Bon	12,0	Bon	0,1	Tres Bon	0,4	Bon	*Bon*	
Lac1Lev	14,3	Tres Bon	7,5	Tres Bon	557,0	NR	79,6	Bon	7,8	NR	-0,9	Tres Bon	0,1	Tres Bon	13,0	Bon	0,1	Tres Bon	0,4	Bon	*Bon*	
Lac2Lev	14,1	Tres Bon	7,4	Tres Bon	550,0	NR	73,0	Bon	6,9	NR	-1,0	Tres Bon	0,1	Bon	19,0	Bon	0,1	Tres Bon	0,4	Bon	*Bon*	
AvLev	14,3	Tres Bon	8,2	Tres Bon	649,0	NR	97,6	Tres Bon	10,0	NR	1,2	Tres Bon	0,9	Médiocre	60,0	Mauvais	0,2	Bon	0,5	Moyen	*Mauvais*	Nitrate & Nitrite & P
NMont	21,8	Tres Bon	8,7	Bon	332,0	NR	103,2	Tres Bon	9,2	NR	0,7	Tres Bon	0,5	Médiocre	29,0	Bon	1,0	Moyen	0,9	Moyen	*Médiocre*	Nitrite & P & NH4
SMont	22,5	Tres Bon	8,7	Bon	401,0	NR	147,9	Tres Bon	12,9	NR	4,2	Bon	0,2	Bon	7,0	Tres Bon	0,3	Bon	0,4	Bon	*Bon*	

Classes de qualités

- *Tres Bon*
- *Bon*
- *Moyen*
- *Médiocre*
- *Mauvais*

Annexe 9 : Résultats bruts des prélèvements d'ADNE

Analyses VigiDNA M pour l'inventaire des Poissons en grand milieu aquatique stagnant
Fédération du Haut-Rhin pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique - DE210071 - 29 juillet 2021

Certains taxons sont identifiés au genre ou à la famille avec la base de référence SPYGEN (cf.feuillet "exception base de référence")
" * " : Quantité d'ADN insuffisante pour certifier la détection du taxon dans l'échantillon.

				Chavannes		Courtavon milieu		Courtavon Nord		Courtavon Ouest		Guershwiller		Montreux Nord		Montreux Sud	
				SPY210746		SPY210743		SPY210745		SPY210742		SPY210747		SPY210741		SPY210744	
Nom scientifique	**CODE taxon**	**Nom vernaculaire**	**Base de référence**	**Nombre de réplicats positifs (/12)**	**Nombre de séquences ADN**	**Nombre de réplicats positifs (/12)**	**Nombre de séquences ADN**	**Nombre de réplicats positifs (/12)**	**Nombre de séquences ADN**	**Nombre de réplicats positifs (/12)**	**Nombre de séquences ADN**	**Nombre de réplicats positifs (/12)**	**Nombre de séquences ADN**	**Nombre de réplicats positifs (/12)**	**Nombre de séquences ADN**	**Nombre de réplicats positifs (/12)**	**Nombre de séquences ADN**
Abramis brama	BRE	Brème commune	SPYGEN			9	55917	11	7005	11	9668			12	10004	12	47810
Alburnus alburnus	ABL	Ablette	SPYGEN	5	819			3	361	2	633			6	363	8	768
Ameiurus melas	PCH	Poisson chat	SPYGEN	12	18516									3	230	12	7861
Leuciscus aspius	ASP	Aspe	SPYGEN					1	396							3	113
Barbatula barbatula	LOF	Loche franche	EMBL							3	474						
Carassius gibelio	CAA	Carrassin argenté	SPYGEN	12	6815	6	4367	7	709	10	1778			10	745		
Cyprinidae - Complexe 2 (Ctenopharyngodon idella & Hypophthalmichthys molitrix)	CAR & CTI	Carpe argenté & Amour blanc	SPYGEN			9	40528	12	4839	12	56751						
Cyprinidae - Complexe 3 (Abramis brama ou Blicca bjoerkna)	BRE & BRB	Brème commune & Brème bordelière	SPYGEN			2	6829										
Cyprinidae - Complexe 4 (Alburnus alburnus ou Scardinius erythrophthalmus)	ABL & ROT	Ablette & Rotengle	SPYGEN	11	4549			5	634	12	5729			2	33	9	1062
Cyprinus carpio	CCO	Carpe commune	SPYGEN	12	6967	12	28912	12	39673	12	20621	10	6043	12	2473	12	3812
Esox lucius	BRO	Brochet	SPYGEN					6	2903	3	1210	10	247833	3	457	12	5894
Gobio sp.	GOU	Goujon	SPYGEN													7	642
Gymnocephalus cernua	GRE	Grémille	SPYGEN			11	44906	12	22062	12	36307			7	276	12	10265
Lepomis gibbosus	PES	Perche soleil	SPYGEN	12	15938	3	4268	10	5287	6	1515	8	347903			12	23452
Micropterus salmoides	BBG	Achigan à grande bouche	SPYGEN											1	39	10	1501
Perca fluviatilis	PER	Perche fluviatile	SPYGEN			10	21987	12	14202	12	48356			7	412	12	21831
Phoxinus sp.	VAI	Vairon	SPYGEN				*		*								
Pseudorasbora parva	PSR	Goujon asiatique	SPYGEN	12	98349	1	1714	9	633	2	89			12	71053	7	386
Rhodeus amarus	BOU	Bouvière	SPYGEN											12	15605	4	340
Rutilus rutilus	GAR	Gardon	SPYGEN	12	44335	5	14152	9	1877	6	1648			12	5522	12	129978
Salmo trutta	TRF	Truite fario	SPYGEN							1	94						
Sander lucioperca	SAN	Sandre	SPYGEN			11	36688	12	5744	12	10648			12	2362	12	13257
Scardinius erythrophthalmus	ROT	Rotengle	SPYGEN	6	733			6	1518	1	584			6	188	5	254
Silurus glanis	SIL	Silure	SPYGEN			5	9123	12	14133	12	23949			12	7305	12	5457
Squalius cephalus	CHE	Chevesne	SPYGEN													5	288
Tinca tinca	TAN	Tanche	SPYGEN	2	116									5	435	9	811

Annexe 10 : Tableau des complexes d'espèces ne pouvant être déterminées avec certitudes par l'adne

Nom scientifique affiché sur les rapports	Nom scientifique du(des) espèce(s) associée(s)	Nom vernaculaire
Alosa sp.	*Alosa alosa ou Alosa fallax*	-
Ammodytidae	*Ammodytes marinus, Ammodytes tobianus ou Hyperoplus lanceolatus*	-
Barbatula sp.	*Barbatula barbatula ou Barbatula quignardi*	-
Carassius sp.	*Carassius carassius ou Carassius gibelio ou Carassius auratus*	-
Coregonus sp.	*Coregonus lavaretus ou Coregonus oxyrinchus*	-
Cottus sp.	*Cottus aturi, Cottus duranii, Cottus gobio, Cottus hispaniolensis, Cottus perifretum, Cottus petiti ou Cottus rhenanus*	-
Cyprinidae - Complexe 1	*Chondrostoma nasus & Parachondrostoma toxostoma & Telestes souffia*	Hotu & Toxostome & Blageon
Cyprinidae - Complexe 2	*Ctenopharyngodon idella & Hypophthalmichthys molitrix*	Amour blanc & Carpe argentée
Cyprinidae - Complexe 3	*Abramis brama ou Blicca bjoerkna*	Brème commune & Brème bordelière
Cyprinidae - Complexe 4	*Alburnus alburnus* ou *Scardinius erythrophthalmus*	Ablette & Rotengle
Gobio sp.	*Gobio alverniae, Gobio gobio, Gobio lozanoi ou Gobio occitaniae*	-
Lampetra sp.	*Lampetra fluviatilis ou Lampetra planeri*	-
Leuciscus sp.	*Leuciscus idus ou Leuciscus leuciscus*	-
Phoxinus sp.	*Phoxinus bigerri, Phoxinus phoxinus ou Phoxinus septimaniae*	-
Pleuronectidae - Complexe 1	*Platichthys flesus* ou *Pleuronectes platessa*	Flet d'Europe & Plie d'Europe
Pleuronectidae - Complexe 2	*Hippoglossoides platessoides* ou *Limanda limanda*	Balai & Limande
Pomatoschistus sp.	*Pomatoschistus microps ou Pomatoschistus minutus*	-
Salvelinus sp.	*Salvelinus fontinalis ou Salvelinus alpinus*	-
Squalius sp.	*Squalius cephalus ou Squalius laietanus*	-

Annexe 11 : Tableau de significativité des comparatifs des moyennes de température entre l'amont et l'aval de Courtavon

MOY_JOUR_SAISON	MedCourtAvril	MedCourtMai	MedCourtJuin	MedCourtJuillet	MedCourtAut	MedCourtSeptembre	MedCourtOctobre	MedCourtNovembre	MedCourtDécembre	MedCourtJanvier	MedCourtFevrier	MedCourtMars	AvCourtAvril	AvCourtMai	AvCourtJuin	AvCourtJuillet	AvCourtAut	AvCourtSeptembre	AvCourtOctobre	AvCourtNovembre	AvCourtDécembre	AvCourtJanvier	AvCourtFevrier	AvCourtMars
MedCourtAvril																								
MedCourtMai	0.06465																							
MedCourtJuin	9.537e-(	1.863e-09																						
MedCourtJuillet	9.537e-(	2.384e-(	0.2112																					
MedCourtAut	9.069e-	4.01e-1	0.0347	0.2339																				
MedCourtSeptembre	7.682e-	1.144e-	0.0191	0.8259	0.1902																			
MedCourtOctobre	0.2072	0.09437	3.05e-1	3.678e-	3.449e-	2.398e-14																		
MedCourtNovembre	1.226e-(	1.622e-	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	9.253e-13																	
MedCourtDécembre	7.258e-	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.681e-	0.08217																
MedCourtJanvier	1.7e-10	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	1.115e-(	0.001933															
MedCourtFevrier	8.203e-	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	1.997e-	0.03506	0.675	0.01681														
MedCourtMars	8.481e-(	1.655e-	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	6.009e-	7.312e-(	0.3436	0.00481	0.00024	0.0001081													
AvCourtAvril	0.7593	0.05951	9.537e-(	9.537e-(	2.2e-16	2.795e-	0.1164	1.619e-(	5.541e-	2.466e-	8.314e-	8.436e-07												
AvCourtMai	0.02385	1.77e-0	1.863e-(	2.384e-(	1.331e-	7.966e-	0.03489	8.079e-	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	5.139e-	5.565e-06											
AvCourtJuin	9.537e-(	1.863e-(	5.588e-(	0.00826	0.00016	0.00036	3.948e-	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16										
AvCourtJuillet	9.537e-(	2.384e-(	0.7728	5.554e-	0.01714	5.978e-(	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	0.06583									
AvCourtAut	1.4e-15	3.24e-1	0.4888	0.00421	2.066e-(	0.00183	1.743e-	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	8.491e-	0.01673	0.5573								
AvCourtSeptembre	2.557e-	9.101e-	0.00693	0.273	0.04468	1.384e-	8.876e-	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	1.842e-	1.067e-	6.307e-	0.00012	6.713e-0	0.0002507							
AvCourtOctobre	0.02402	0.02402	1.872e-	2.412e-	1.84e-1	9.992e-	6.438e-	1.579e-	3.264e-	2.2e-16	2.81e-1	0.00041	0.3668	0.00827	2.661e-1	2.2e-16	9.806e-1	3.293e-14						
AvCourtNovembre	2.401e-	2.401e-	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	4.072e-	2.2e-16	0.7269	6.888e-(	0.4659	0.07491	8.639e-(	1.299e-	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	4.974e-13					
AvCourtDécembre	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.194e-	0.00047	2.2e-16	0.4384	0.08278	3.613e-(	7.18e-1	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.311e-1	0.0223				
AvCourtJanvier	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	1.363e-	4.015e-(	2.2e-16	0.00012	8.03e-0	1.12e-1	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	5.004e-(	0.004107			
AvCourtFevrier	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	1.263e-	0.00518	0.09537	0.2097	5.477e-(	1.407e-(	3.145e-	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	1.485e-1	0.1085	0.4981	0.004006		
AvCourtMars	4.835e-	4.835e-	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	4.477e-	2.346e-(	0.6713	0.0312	0.00131	0.00202	1.559e-	1.409e-(	1.693e-	2.2e-16	2.2e-16	2.2e-16	1.318e-	0.00013	0.2016	0.00031	4.84e-05	4.719e-06	

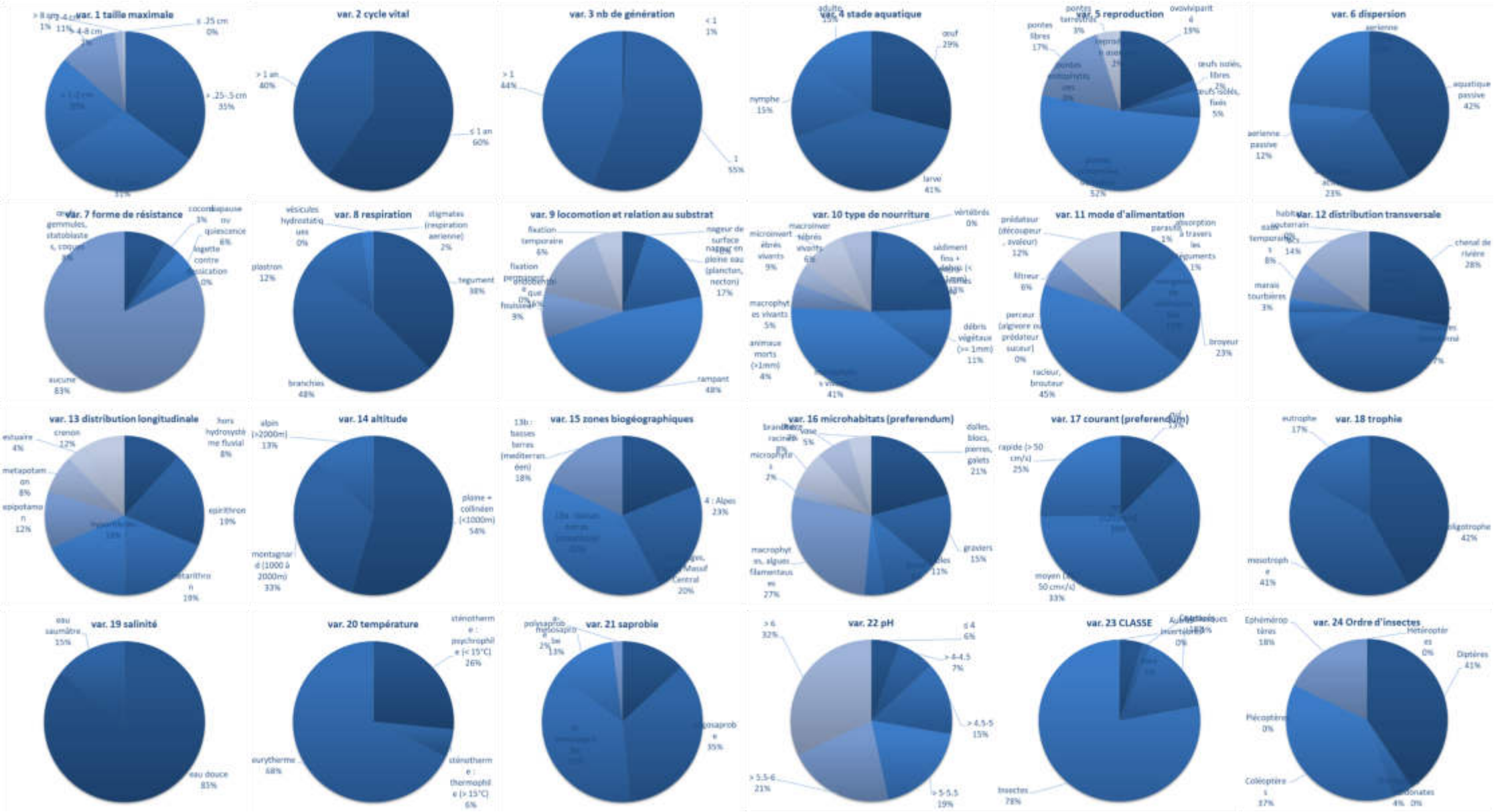
Annexe 12 : Tableau de significativité des comparatifs des moyennes de température entre l'amont et l'aval de Chavannes

MOY_JOUR_SAISON	AmChavAvril	AmChavMai	AmChavJuin	AmChavJuillet	AmChavAout	AmChavSeptembre	AvChavAvril	AvChavMai	AvChavJuin	AvChavJuillet	AvChavAout
AmChavAvril											
AmChavMai	3.073e-08										
AmChavJuin	9.313e-1	5.122e-08									
AmChavJuillet	1.863e-(	3.453e-(	0.08407								
AmChavAout	8.326e-(	0.00087	0.04726	0.04971							
AmChavSeptembre	9.537e-(	9.537e-(	1.907e-(	9.537e-(	9.537e-07						
AvChavAvril	9.313e-1	0.07594	9.956e-(	0.9032	0.00814	0.0004263					
AvChavMai	9.313e-1	9.313e-1	0.4559	0.9032	0.9838	0.00035	0.0002607				
AvChavJuin	9.313e-1	9.313e-1	9.313e-1	8.857e-(	1.863e-(	9.537e-(	1.863e-(	4.005e-08			
AvChavJuillet	1.863e-(	1.639e-(	3.05e-05	1.863e-	1.304e-(	9.537e-(	1.024e-(	0.00066	4.422e-06		
AvChavAout	1.863e-(	2.08e-05	0.00619	1.598e-	1.863e-(	9.537e-(	2.349e-(	0.01966	9.903e-(	0.2286	
AvChavSeptembre	9.537e-(	9.537e-(	0.6578	0.8382	0.6578	9.537e-(	9.537e-(	9.537e-(	9.537e-(	6.676e-(	9.537e-(

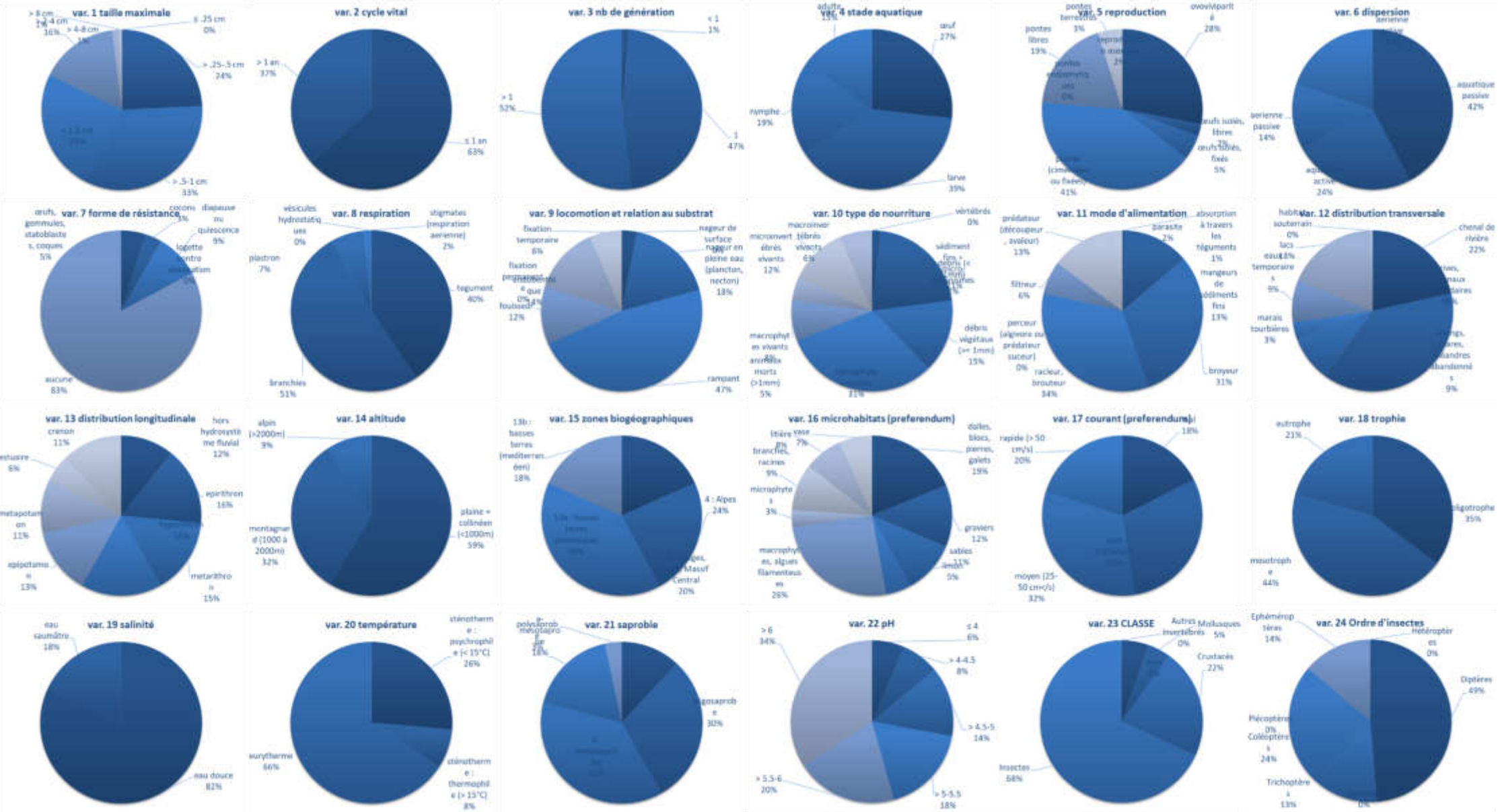
Annexe 13 : Tableau de significativité des comparatifs des moyennes de température entre l'amont et l'aval de Pfetterhouse

MOY_JOUR_SAISON	AmPfetter Avril	AmPfetter Mai	AmPfetter Juin	AmPfetter Juillet	AmPfetter Aout	AmPfetter Septembre	AvPfetter Avril	AvPfetter Mai	AvPfetterJuin	AvPfetterJuillet	AvPfetter Aout	AvPfetterSeptembre
AmPfetterAvril												
AmPfetterMai	0.00801											
AmPfetterJuin	9.537e-07	9.313e-10										
AmPfetterJuillet	9.537e-07	9.313e-10	0.6496									
AmPfetterAout	9.537e-07	1.863e-09	0.6554	0.05492								
AmPfetterSeptembre	3.239e-06	9.313e-09	0.002766	9.903e-05	3.239e-06							
AvPfetterAvril	0.7854	0.01269	9.537e-07	9.537e-07	9.537e-07	9.537e-07						
AvPfetterMai	0.006281	1.863e-09	9.313e-10	9.313e-10	1.863e-09	9.313e-09	0.007101					
AvPfetterJuin	9.537e-07	9.313e-10	9.313e-10	0.4798	0.7922	0.001341	9.537e-07	9.313e-10				
AvPfetterJuillet	9.537e-07	9.313e-10	0.8393	1.863e-09	0.1142	5.593e-05	9.537e-07	9.313e-10	0.6219			
AvPfetterAout	9.537e-07	1.863e-09	0.5838	0.03098	9.313e-09	1.192e-06	9.537e-07	1.863e-09	0.685	0.06989		
AvPfetterSeptembre	7.994e-06	5.588e-09	0.004032	0.0004601	7.994e-06	4.712e-07	9.537e-07	9.313e-09	0.001719	0.0001106	2.349e-06	

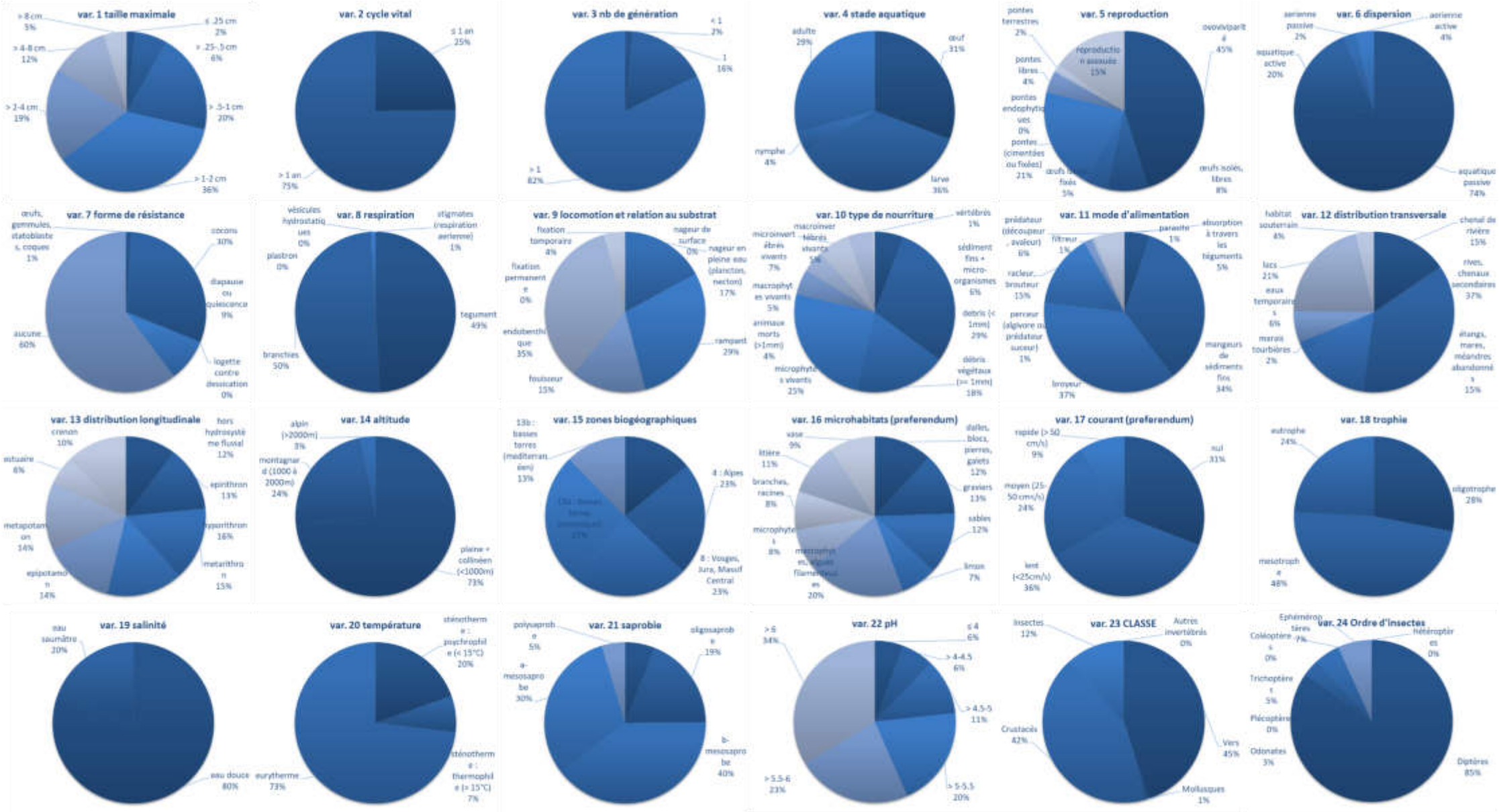
Annexe 14 : Résultats I2M2 complémentaires (analyse des traits bio-écologiques par codage) pour la station Amont Courtavon



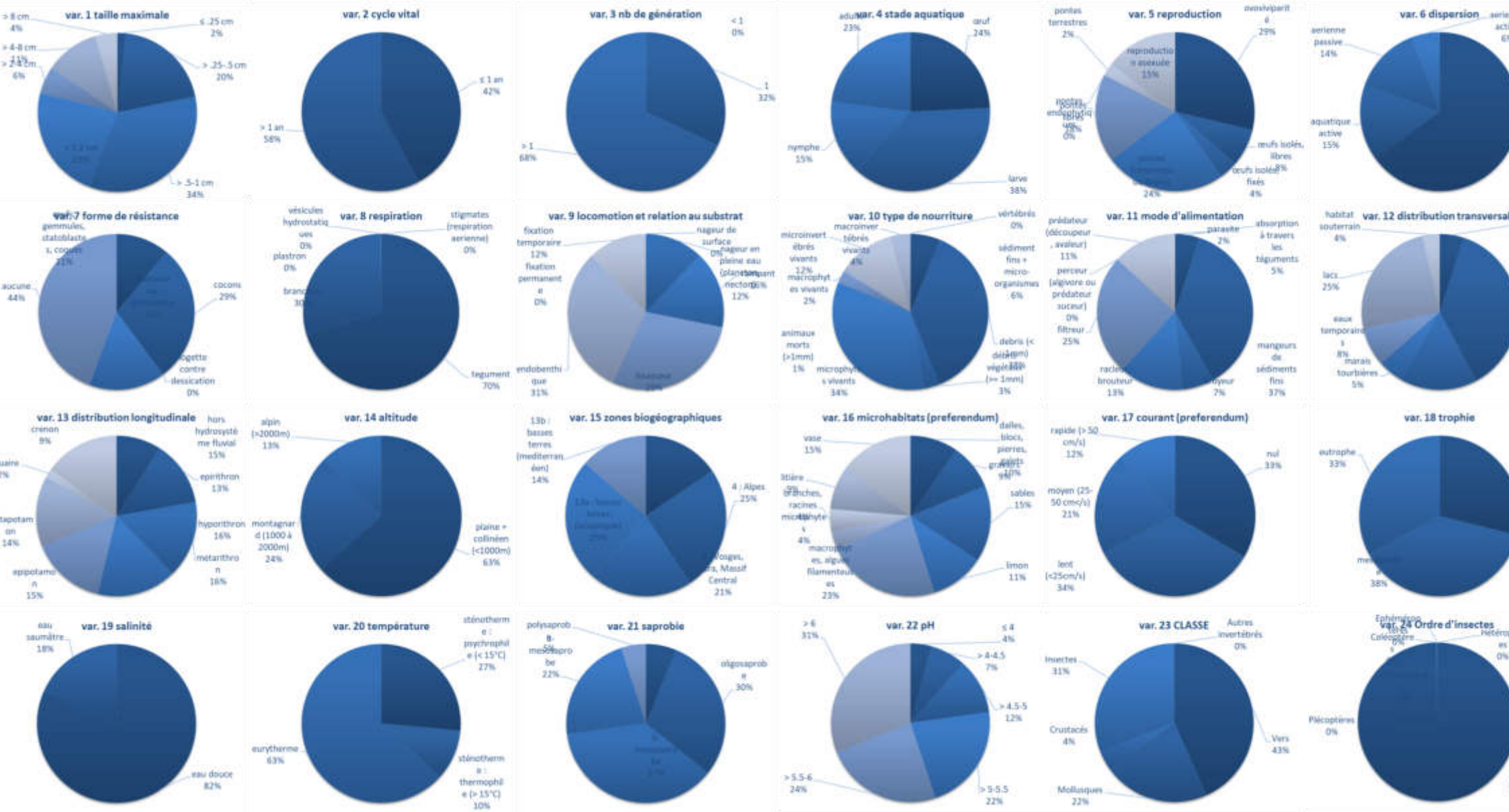
Annexe 15 : Résultats I2M2 complémentaires (analyse des traits bio-écologiques par codage) pour la station Aval Courtavon



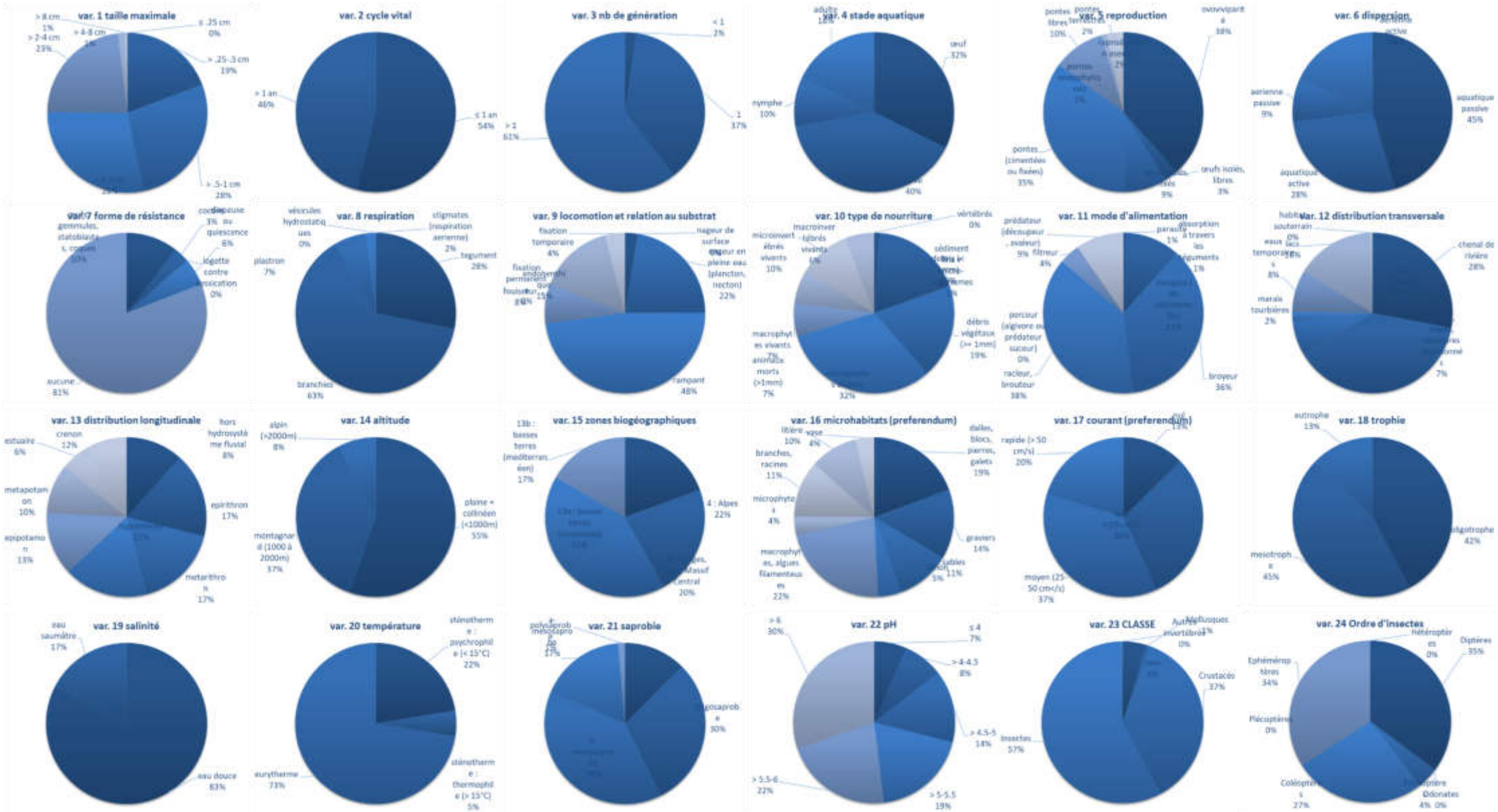
Annexe 16 : Résultats I2M2 complémentaires (analyse des traits bio-écologiques par codage) pour la station Amont Chavannes



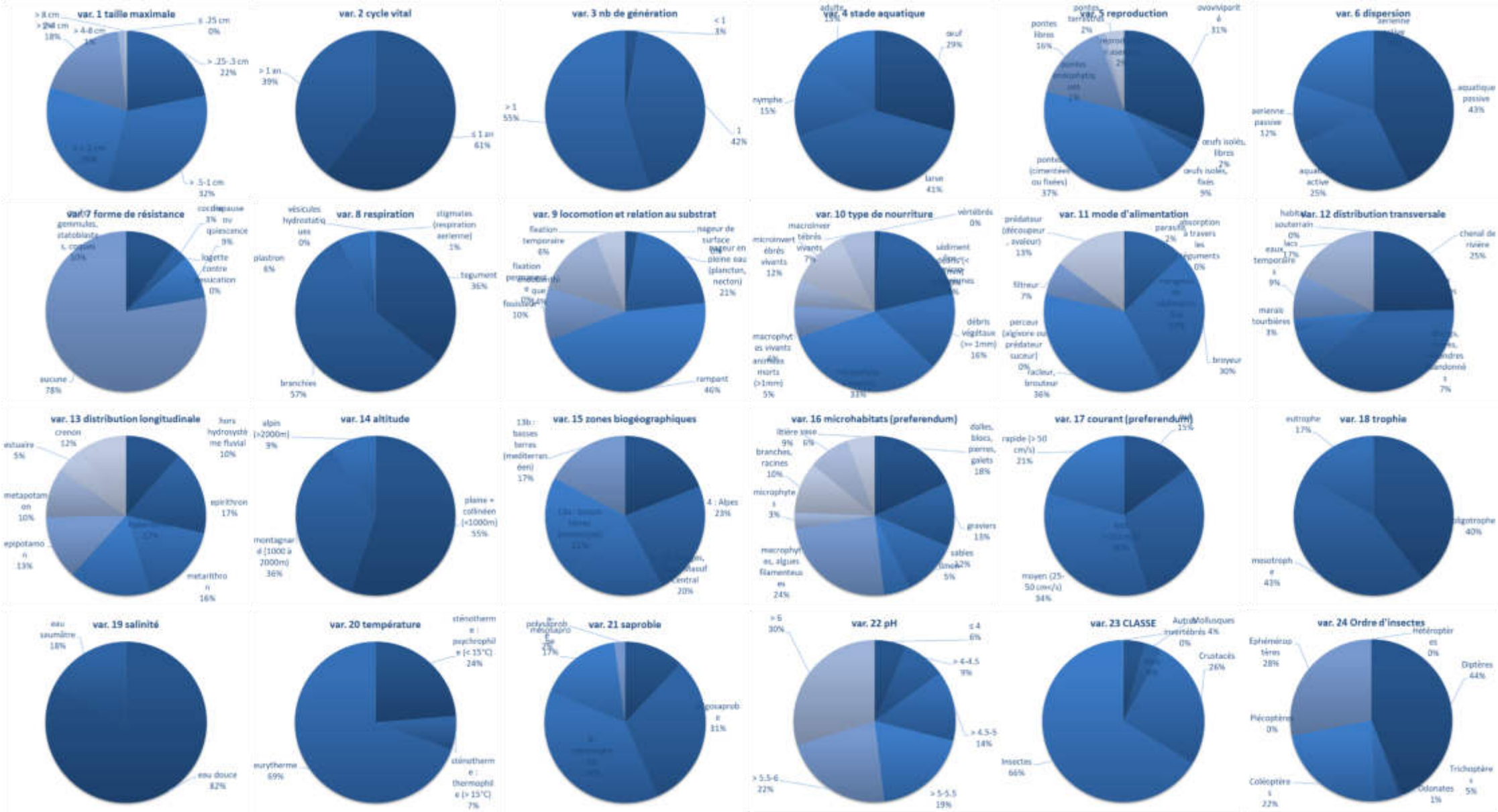
Annexe 17 : Résultats I2M2 complémentaires (analyse des traits bio-écologiques par codage) pour la station Aval Chavannes



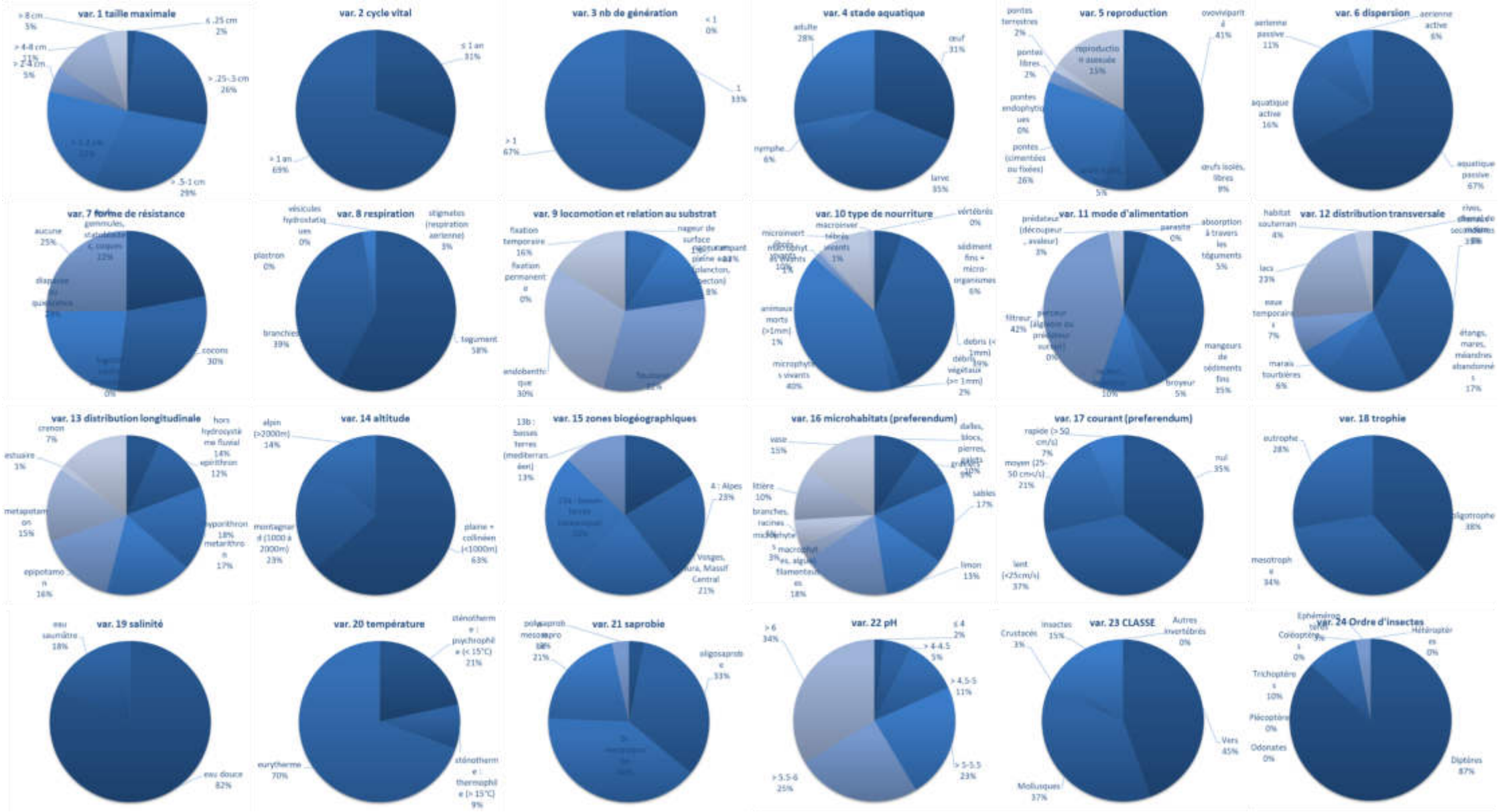
Annexe 18 : Résultats I2M2 complémentaires (analyse des traits bio-écologiques par codage) pour la station Amont Pfetterhouse



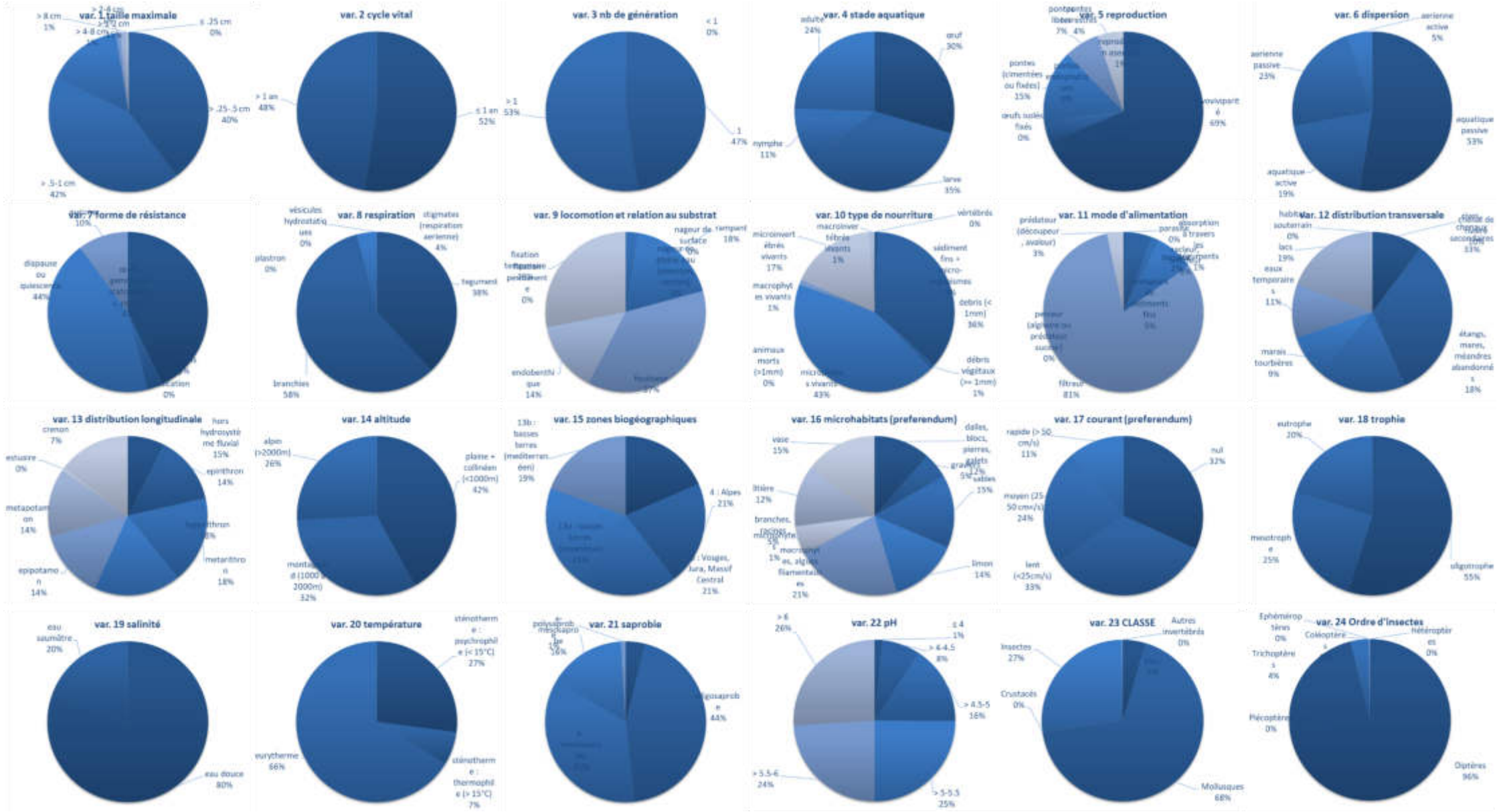
Annexe 19 : Résultats I2M2 complémentaires (analyse des traits bio-écologiques par codage) pour la station Aval Pfetterhouse



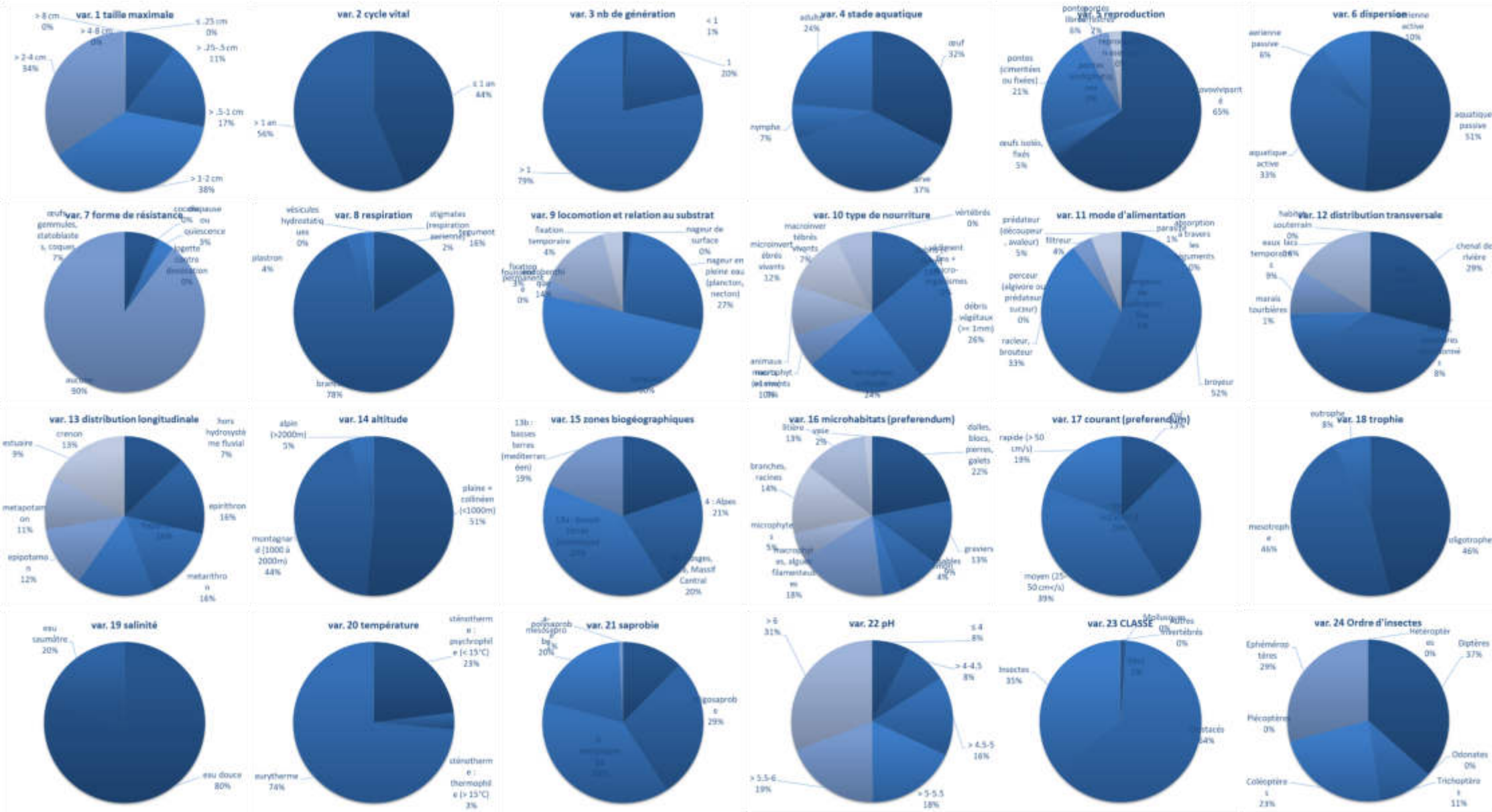
Annexe 20 : Résultats I2M2 complémentaires (analyse des traits bio-écologiques par codage) pour la station Amont Guershwiller



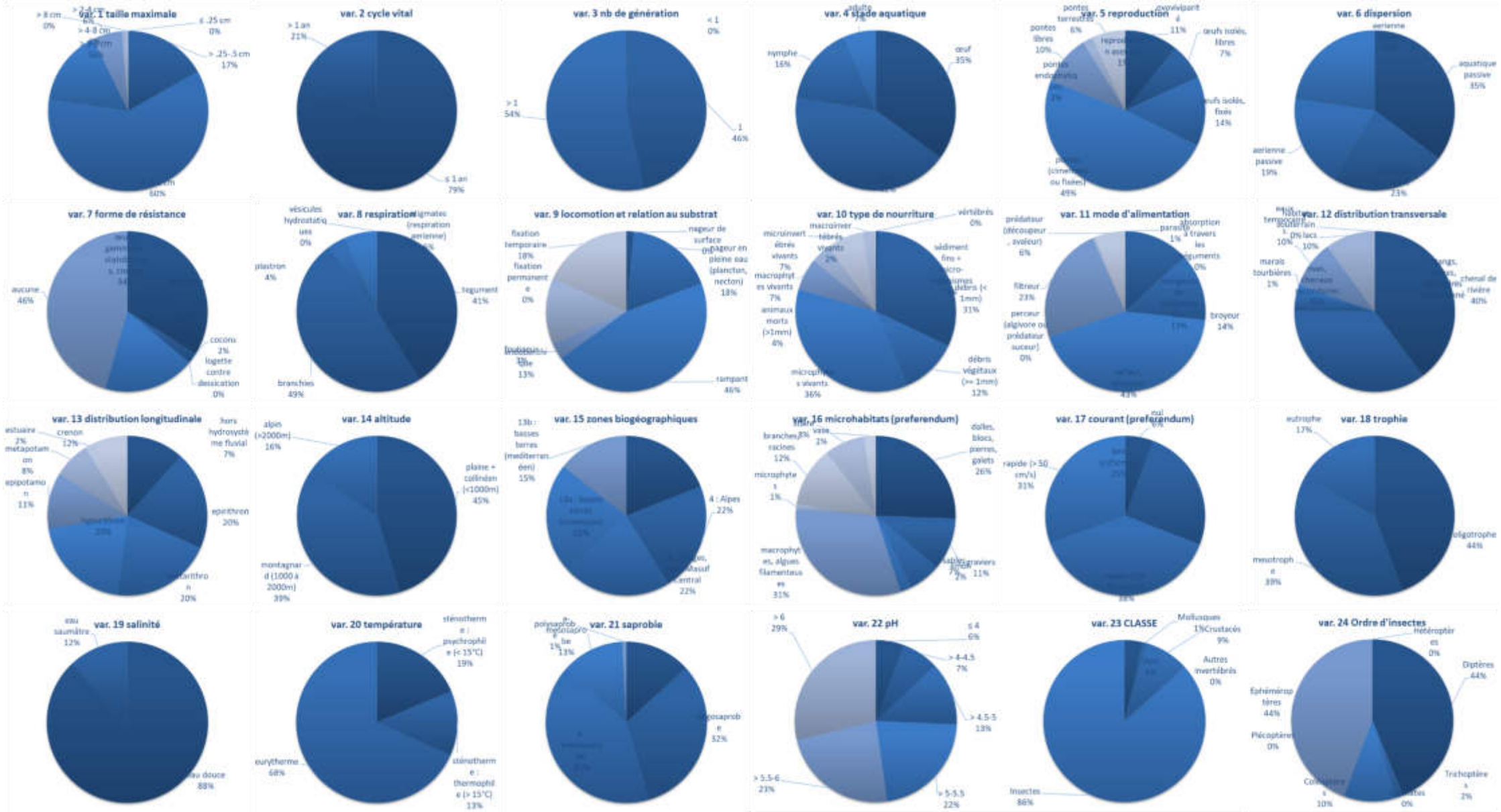
Annexe 21 : Résultats I2M2 complémentaires (analyse des traits bio-écologiques par codage) pour la station Aval Guershwiller



Annexe 22 : Résultats I2M2 complémentaires (analyse des traits bio-écologiques par codage) pour la station Amont Levoncourt



Annexe 23 : Résultats I2M2 complémentaires (analyse des traits bio-écologiques par codage) pour la station Aval Levoncourt



Annexe 24 : Annexe au rapport d'analyse I2M2 (liste faunistique et fiche station)

Opération Projet : PES — Nom du cours d'eau / station : Gruebaine / Chavannes Amont

Opérateurs terrain : PR SL — Date et heure (début/fin) : 18/06/2021 de 13h45 à 15h05

Localisation

Commune et département : Chavannes, 68

Accès et accessibilité :

Coordonnées GPS : Amont X :
Amont Y :
Aval X :
Aval Y :

Echantillonnage

Lit majeur: Prairial/Forestier — ***Météo*** : Ensoleillé — ***Couleur de l'eau*** : Claire

Ripisylve	herbacée	arbustive	arborée	absente	éparse	dense	***Berges***	naturelles	artificielles	recalibrées	plates	inclinées	verticales
RD	X		X		X			X					X
RG			X		X			X					X

Ensoleillement : faible — ***Visibilité du fond :*** BONNE

Hydrologie : 1-pas d'eau 2-trous d'eau/flaques 3- basses eaux, étiage **4-moyennes eaux** 5- hautes eaux 6-crue

Description du point de prélèvement

Largeur de plein bord	**Lpb**	3.6	
Largeur mouillée moyenne	**Lm**	2..2	
Longueur totale	**Lt**	Théorique	réelle 53.4

Superficie mouillée en m² (Sm **Lm X Lt réelle=** 118.5

Sm x 1% = 1.18

Sm x 5% = 5.90

si Lpb < 8m	si 8 <= Lpb <25	si 25m <= Lpb
3 séquences	**2 séquences**	
Lt = 18*LpB	**Lt = 12*LpB**	**Lt = 6*LpB**

Faciès d'écoulement :

profondeur > 60cm				profondeur ≤ 60cm				
chenal lotique	chenal lentique	mouille	fosse de dissipation	plat courant	plat lent	radier	rapides	cascades
				10	90			

Mesures physico-chimiques :

Température :	19	°C
Oxygène dissous :	5.5	mgO2/L
Saturation O2 dissous :	61.3	%
Conductivité :	166.7	µS/cm
pH :	7.215	unité pH

Commentaires : (difficultés rencontrées, signes de pollution, aménagements, taxons relâchés, photos…) : terrain retourné par les sangliers

Illustration de la station (facultatif):

Etude des Plans d'Eau Sundgauviens (PES) : 2021

Recouvrement (surface relative sur la station)				classes de vitesses								
				>75cm/s N6 Rapide		26 à 75cm/s N5 Moyenne		6 à 25cm/s N3 Lente		0 à 5cm/s N1 Nulle		
Nature du substrat	code sandre	% réel de recouvremt	Dominant D /Marginal M	recouvt	n° et φ	recouvt	n° et φ	recouvt	n° et φ	recouvt	n° et φ	Nbre prél. réalisés
Bryophytes	S1											
Spermaphytes immergés (hydrophytes)	S2											
Débris organiques grossiers (litière)	S3											
Chevelus racinaires Substrats ligneux	S28	4	M							+	A1/A3	
Sédiments minéraux de grande taille (pierres-galets) (25 à 250mm)	S24	10	D					++	B5	+		
Blocs (>250mm) facilement déplaçables	S30	1	M							+	A2/A4	
Granulats grossiers (graviers) (2,5 à 25mm)	S9	60	D			+	C9	+++	B6/C10	++	B8/C11	
Spermaphytes émergents (hélophytes)	S10											
Vases : Sédiments fins (<0,1mm) avec débris organiques fins	S11											
Sables et limons (<2mm)	S25	25	D			+		+++	B7	++	C12	
Algues	S18											
Surfaces uniformes dures naturelles et artificielles	S29											
Totaux :		100									Total :	

N° prélt	Phase	Substrat	Classe de vitesse	Hauteur d'eau	Colmatage nature et intensité	Matériel
1	A	S28	N1	17	1	S
2	A	S30	N1	21	1	S
3	A	S28	N1	3	1	S
4	A	S30	N1	5	1	S
5	B	S24	N2	10	1	S
6	B	S9	N2	4	2	S
7	B	S25	N2	4	1	S
8	B	S9	N1	36	2	S
9	C	S9	N5	4	1	S
10	C	S9	N3	8	1	S
11	C	S9	N1	7	2	S
12	C	S25	N1	5	1	S

Noter les substrats instables par une *

0: 0%
1: 1-20%
2: 21-40%
3: 41-60%
4: 61-80%
5: 81-100%

S:Surber
H:Haveneau

Commentaires sur les prélèvements élémentaires : (substrat associé, ...)

Opération Projet : PES — Nom du cours d'eau / station : Gruebaine / Chavannes Aval

Opérateurs terrain : PR SL — Date et heure (début/fin) : 18/06/2021 de 11h10 à 13h00

Localisation

Commune et département : Chavannes, 68

Accès et accessibilité :

Coordonnées GPS : Amont X :
Amont Y :
Aval X :
Aval Y :

Echantillonnage

Lit majeur: Prairial/Forestier — ***Météo*** : Ensoleillé — ***Couleur de l'eau*** : Claire

Ripisylve	herbacée	arbustive	arborée	absente	éparse	dense	***Berges***	naturelles	artificielles	recalibrées	plates	inclinées	verticales
RD			X		X			X					X
RG			X		X			X					X

Ensoleillement : faible — ***Visibilité du fond :*** moyenne

Hydrologie : 1-pas d'eau 2- trous d'eau/flaques 3- basses eaux, étiage **4-moyennes eaux** 5- hautes eaux 6-crue

Description du point de prélèvement

Largeur de plein bord	**Lpb**	4.67	
Largeur mouillée moyenne	**Lm**	2.8	
Longueur totale	**Lt**	Théorique 70	réelle

Superficie mouillée en m² (Sm **Lm X Lt réelle=** 196

Sm x 1% = 2

Sm x 5% = 10

si Lpb < 8m	si 8 <= Lpb <25	si 25m <= Lpb
3 séquences	**2 séquences**	
Lt = 18*LpB	**Lt = 12*LpB**	**Lt = 6*LpB**

Faciès d'écoulement :

profondeur > 60cm				profondeur ≤ 60cm				
chenal lotique	chenal lentique	mouille	fosse de dissipation	plat courant	plat lent	radier	rapides	cascades
				5	90	5		

Mesures physico-chimiques :

Température :	21.5	°C
Oxygène dissous :	0.60	mgO2/L
Saturation O2 dissous :	6.9	%
Conductivité :	251	µS/cm
pH :	7.59	unité pH

Commentaires : (difficultés rencontrées, signes de pollution, aménagements, taxons relâchés, photos…) : terrain retourné par les sangliers

Etude des Plans d'Eau Sundgauviens (PES) : 2021

Recouvrement (surface relative sur la station)				classes de vitesses								
				>75cm/s N6 Rapide		26 à 75cm/s N5 Moyenne		6 à 25cm/s N3 Lente		0 à 5cm/s N1 Nulle		
Nature du substrat	code sandre	% réel de recouvremt	Dominant D /Marginal M	recouvt	n° et φ	recouvt	n° et φ	recouvt	n° et φ	recouvt	n° et φ	Nbre prél. réalisés
Bryophytes	S1											
Spermaphytes immergés (hydrophytes)	S2											
Débris organiques grossiers (litière)	S3	4	M							++	A1/A4	
Chevelus racinaires Substrats ligneux	S28	8	D					+		++	B5	
Sédiments minéraux de grande taille (pierres-galets) (25 à 250mm)	S24	66	D			+	C9/C12	++	B8/C11	+++	B6/C10	
Blocs (>250mm) facilement déplaçables	S30											
Granulats grossiers (graviers) (2,5 à 25mm)	S9	2	M			+	A3			++	A2	
Spermaphytes émergents (hélophytes)	S10											
Vases : Sédiments fins (<0,1mm) avec débris organiques fins	S11											
Sables et limons (<2mm)	S25	20	D							++	B7	
Algues	S18											
Surfaces uniformes dures naturelles et artificielles	S29											
Totaux :		100									Total :	

N° prélt	Phase	Substrat	Classe de vitesse	Hauteur d'eau	Colmatage nature et intensité	Matériel
1	A	S3	N1	9	1	S
2	A	S9	N1	30	2	S
3	A	S9	N5	3	1	S
4	A	S3	N1	8	1	S
5	B	S28	N1	3	2	S
6	B	S24	N1	18	3	S
7	B	S25	N1	3	2	S
8	B	S24	N3	4	2	S
9	C	S24	N5	3	2	S
10	C	S24	N1	12	3	S
11	C	S24	N3	6	1	S
12	C	S24	N5	4	2	S

Commentaires sur les prélèvements élémentaires : (substrat associé, ...)

Noter les substrats instables par une *

0: 0%
1: 1-20%
2: 21-40%
3: 41-60%
4: 61-80%
5: 81-100%

S:Surber
H:Haveneau

Opération Projet : PES — Nom du cours d'eau / station : Largue / Courtavon Amont

Opérateurs terrain : YN PR SL — Date et heure (début/fin) : 15/06/2021 de 9h00 à 11h10

Localisation

Commune et département : Courtavon, 68

Accès et accessibilité :

Coordonnées GPS : Amont X :
Amont Y :
Aval X :
Aval Y :

Echantillonnage

Lit majeur: Prairial / Forestier — ***Météo*** : Ensoleillé — ***Couleur de l'eau*** : Turbide

Ripisylve	herbacée	arbustive	arborée	absente	éparse	dense	***Berges***	naturelles	artificielles	recalibrées	plates	inclinées	verticales
RD			X			X		X				X	
RG			X			X		X				X	

Ensoleillement : faible — ***Visibilité du fond :*** bonne

Hydrologie : 1-pas d'eau 2- trous d'eau/flaques 3- basses eaux, étiage **4-moyennes eaux** 5- hautes eaux 6-crue

Description du point de prélèvement

Largeur de plein bord	**Lpb**	3.6	
Largeur mouillée moyenne	**Lm**	2.74	
Longueur totale	**Lt**	Théorique 54	réelle 54

Superficie mouillée en m² (Sm **Lm X Lt réelle=** 147.96 = 150

Sm x 1% = 1.5

Sm x 5% = 7.5

si Lpb < 8m	si 8 <= Lpb <25	si 25m <= Lpb
3 séquences	**2 séquences**	
Lt = 18*LpB	**Lt = 12*LpB**	**Lt = 6*LpB**

Faciès d'écoulement :

profondeur > 60cm				profondeur ≤ 60cm				
chenal lotique	chenal lentique	mouille	fosse de dissipation	plat courant	plat lent	radier	rapides	cascades

Mesures physico-chimiques :

Température :	13.3	°C
Oxygène dissous :	9.52	mgO2/L
Saturation O2 dissous :	95.2	%
Conductivité :	583	µS/cm
pH :	8.6	unité pH

Commentaires : (difficultés rencontrées, signes de pollution, aménagements, taxons relâchés, photos…)

Illustration de la station (facultatif):

Etude des Plans d'Eau Sundgauviens (PES) : 2021

Recouvrement (surface relative sur la station)				classes de vitesses																
				>75cm/s N6 Rapide		26 à 75cm/s N5 Moyenne		6 à 25cm/s N3 Lente		0 à 5cm/s N1 Nulle										
Nature du substrat	code sandre	% réel de recouvremt	Dominant D /Marginal M	recouvt	n° et φ	recouvt	n° et φ	recouvt	n° et φ	recouvt	n° et φ	Nbre prél. réalisés	N° prélt	Phase	Substrat	Classe de vitesse	Hauteur d'eau	Colmatage nature et intensité	Matériel
Bryophytes	S1	P	P										1	A	S24	N5	12		S
Spermaphytes immergés (hydrophytes)	S2												2	A	S30	N5	17		S
Débris organiques grossiers (litière)	S3	P	P										3	A	S24	N3	34	1	S
Chevelus racinaires Substrats ligneux	S28	15	D			+++	B5						4	A	S30	N3	65	1	S
Sédiments minéraux de grande taille (pierres-galets) (25 à 250mm)	S24	4	M			+	A1	+	A3				5	B	S28	N5	2		S
Blocs (>250mm) facilement déplaçables	S30	1	M			++	A2	+	A4				6	B	S9	N5	20		S
Granulats grossiers (graviers) (2,5 à 25mm)	S9	50	D			+++	B6/C9	++	B8/C10				7	B	S25	N3	32	1	S
Spermaphytes émergents (hélophytes)	S10												8	B	S9	N3	36	1	S
Vases : Sédiments fins (<0,1mm) avec débris organiques fins	S11												9	C	S9	N5	18		S
Sables et limons (<2mm)	S25	30	D			+	C12	+++	B7	++	C11		10	C	S9	N3	20		S
Algues	S18												11	C	S25	N1	17	1	S
Surfaces uniformes dures naturelles et artificielles	S29												12	C	S25	N5	14		S
Totaux :		100										Total :							

Commentaires sur les prélèvements élémentaires : (substrat associé, ...)

Noter les substrats instables par une *

0: 0%
1: 1-20%
2: 21-40%
3: 41-60%
4: 61-80%
5: 81-100%

S:Surber
H:Haveneau

Opération Projet : PES — Nom du cours d'eau / station : Largue / Courtavon Aval

Opérateurs terrain : YN PR SL — Date et heure (début/fin) : 15/06/2021 de 11h40 à 13h10

Localisation

Commune et département : Courtavon, 68

Accès et accessibilité :

Coordonnées GPS : Amont X :
Amont Y :
Aval X :
Aval Y :

Echantillonnage

Lit majeur: Prairial / Forestier — ***Météo*** : Ensoleillé — ***Couleur de l'eau*** : Turbide

Ripisylve	herbacée	arbustive	arborée	absente	éparse	dense	***Berges***	naturelles	artificielles	recalibrées	plates	inclinées	verticales
RD			X			X		X					X
RG			X			X		X					X

Ensoleillement : faible — ***Visibilité du fond :*** moyenne

Hydrologie : 1-pas d'eau 2- trous d'eau/flaques 3- basses eaux, étiage **4-moyennes eaux** 5- hautes eaux 6-crue

Description du point de prélèvement

Largeur de plein bord	**Lpb**	5,6	
Largeur mouillée moyenne	**Lm**	3,06	
Longueur totale	**Lt**	Théorique 84	réelle 60

Superficie mouillée en m² (Sm **Lm X Lt réelle=** 257

Sm x 1% = 2.57

Sm x 5% = 12.85

si Lpb < 8m	si 8 <= Lpb <25	si 25m <= Lpb
3 séquences	**2 séquences**	
Lt = 18*LpB	**Lt = 12*LpB**	**Lt = 6*LpB**

Faciès d'écoulement :

profondeur > 60cm				profondeur ≤ 60cm				
chenal lotique	chenal lentique	mouille	fosse de dissipation	plat courant	plat lent	radier	rapides	cascades
		8		50	17	25		

Mesures physico-chimiques :

Température :	14.4	°C
Oxygène dissous :	9.36	mgO2/L
Saturation O2 dissous :	95.5	%
Conductivité :	564	µS/cm
pH :	8.375	unité pH

Commentaires : (difficultés rencontrées, signes de pollution, aménagements, taxons relâchés, photos…)

Illustration de la station (facultatif):

Etude des Plans d'Eau Sundgauviens (PES) : 2021

Recouvrement (surface relative sur la station)				classes de vitesses																
				>75cm/s N6 Rapide		26 à 75cm/s N5 Moyenne		6 à 25cm/s N3 Lente		0 à 5cm/s N1 Nulle										
Nature du substrat	code sandre	% réel de recouvremt	Dominant D /Marginal M	recouvt	n° et φ	recouvt	n° et φ	recouvt	n° et φ	recouvt	n° et φ	Nbre prél. réalisés	N° prélt	Phase	Substrat	Classe de vitesse	Hauteur d'eau	Colmatage nature et intensité	Matériel
Bryophytes	S1												1	A	S28	N5	5	3	S
Spermaphytes immergés (hydrophytes)	S2												2	A	S30	N6	3	0	S
Débris organiques grossiers (litière)	S3												3	A	S28	N3	2	3	S
Chevelus racinaires Substrats ligneux	S28	2	M			++	A1	+	A3				4	A	S30	N5	19	1	S
Sédiments minéraux de grande taille (pierres-galets) (25 à 250mm)	S24	49	D	++	B8	+++	B5/C10	+	C9				5	B	S24	N5	17	0	S
Blocs (>250mm) facilement déplaçables	S30	4	M	++	A2	+	A4						6	B	S9	N5	15	0	S
Granulats grossiers (graviers) (2,5 à 25mm)	S9	20	D			+++	B6	++	C12				7	B	S25	N	28	0	S
Spermaphytes émergents (hélophytes)	S10												8	B	S24	N6	6	0	S
Vases : Sédiments fins (<0,1mm) avec débris organiques fins	S11												9	C	S24	N3	40	1	S
Sables et limons (<2mm)	S25	25	D					+++	B7	++	C11		10	C	S24	N5	15	1	S
Algues	S18												11	C	S25	N1	5	1	S
Surfaces uniformes dures naturelles et artificielles	S29												12	C	S9	N3	28	2	S
Totaux :		100										Total :							

Commentaires sur les prélèvements élémentaires : (substrat associé, ...)

Noter les substrats instables par une *

0: 0%
1: 1-20%
2: 21-40%
3: 41-60%
4: 61-80%
5: 81-100%

S:Surber
H:Haveneau

Opération Projet : PES — Nom du cours d'eau / station : Largue / Guerschwiller Amont

Opérateurs terrain : PR SL — Date et heure (début/fin) : 17/06/2021 de 13h30 à 15h15

Localisation

Commune et département : Guerschwiller, 68

Accès et accessibilité :

Coordonnées GPS : Amont X :
Amont Y :
Aval X :
Aval Y :

Echantillonnage

Lit majeur: Prairial / Forestier — ***Météo*** : Ensoleillé — ***Couleur de l'eau*** : Turbide

Ripisylve	herbacée	arbustive	arborée	absente	éparse	dense	***Berges***	naturelles	artificielles	recalibrées	plates	inclinées	verticales
RD	X		X1		X1	X		X				X	
RG	X		X1		X1	X		X				X	

Ensoleillement : MOYEN — ***Visibilité du fond :*** MOYENNE

Hydrologie : 1-pas d'eau 2- trous d'eau/flaques 3- basses eaux, étiage **4-moyennes eaux** 5- hautes eaux 6-crue

Description du point de prélèvement

Largeur de plein bord	**Lpb**	1.36	
Largeur mouillée moyenne	**Lm**	0.56	
Longueur totale	**Lt**	Théorique 20.4	réelle 14

Superficie mouillée en m² (Sm **Lm X Lt réelle=** 11.42

Sm x 1% = 0.11

Sm x 5% = 0.55

si Lpb < 8m	si 8 <= Lpb <25	si 25m <= Lpb
3 séquences	**2 séquences**	
Lt = 18*LpB	**Lt = 12*LpB**	**Lt = 6*LpB**

Faciès d'écoulement :

profondeur > 60cm				profondeur ≤ 60cm				
chenal lotique	chenal lentique	mouille	fosse de dissipation	plat courant	plat lent	radier	rapides	cascades
					100			

Mesures physico-chimiques :

Température :	20.2	°C
Oxygène dissous :	6.58	mgO2/L
Saturation O2 dissous :	76.5	%
Conductivité :	307	µS/cm
pH :	7.798	unité pH

Commentaires : (difficultés rencontrées, signes de pollution, aménagements, taxons relâchés, photos…) : terrain retourné par les sangliers

Schéma de la station (facultatif):

Etude des Plans d'Eau Sundgauviens (PES) : 2021

Recouvrement (surface relative sur la station)				classes de vitesses								
				>75cm/s N6 Rapide		26 à 75cm/s N5 Moyenne		6 à 25cm/s N3 Lente		0 à 5cm/s N1 Nulle		
Nature du substrat	code sandre	% réel de recouvremt	Dominant D /Marginal M	recouvt	n° et φ	recouvt	n° et φ	recouvt	n° et φ	recouvt	n° et φ	Nbre prél. réalisés
Bryophytes	S1											
Spermaphytes immergés (hydrophytes)	S2											
Débris organiques grossiers (litière)	S3											
Chevelus racinaires Substrats ligneux	S28	4	M					+	A1/A3			
Sédiments minéraux de grande taille (pierres-galets) (25 à 250mm)	S24											
Blocs (>250mm) facilement déplaçables	S30											
Granulats grossiers (graviers) (2,5 à 25mm)	S9	2	M					+	A2/A4			
Spermaphytes émergents (hélophytes)	S10	24	D					++	B5	+	B7	
Vases : Sédiments fins (<0,1mm) avec débris organiques fins	S11	70	D					++	B6/C9/C 10	+	B8/C11/ C12	
Sables et limons (<2mm)	S25											
Algues	S18											
Surfaces uniformes dures naturelles et artificielles	S29											
Totaux :		100									Total :	

N° prélt	Phase	Substrat	Classe de vitesse	Hauteur d'eau	Colmatage nature et intensité	Matériel
1	A	S28	N3	1	1	S
2	A	S9	N3	4.5	3	S
3	A	S28	N3	2	1	S
4	A	S9	N3	8	3	S
5	B	S10	N3	7.5	3	S
6	B	S11	N3	10	3	S
7	B	S10	N1	7.5	3	S
8	B	S11	N1	9	3	S
9	C	S11	N3	4	3	S
10	C	S11	N3	5	3	S
11	C	S11	N1	7	3	S
12	C	S11	N1	5	3	S

Commentaires sur les prélèvements élémentaires : (substrat associé, ...)

Noter les substrats instables par une *

0: 0%
1: 1-20%
2: 21-40%
3: 41-60%
4: 61-80%
5: 81-100%

S:Surber
H:Haveneau

Opération Projet : PES — Nom du cours d'eau / station : Largue/ Guerschwiller Aval

Opérateurs terrain : PR SL — Date et heure (début/fin) : 17/06/2021 de 15h45 à 16h30

Localisation

Commune et département : Guerschwiller, 68

Accès et accessibilité :

Coordonnées GPS : Amont X :
Amont Y :
Aval X :
Aval Y :

Echantillonnage

Lit majeur: Prairial / Forestier — ***Météo*** : Ensoleillé — ***Couleur de l'eau*** : Turbide

Ripisylve	herbacée	arbustive	arborée	absente	éparse	dense	***Berges***	naturelles	artificielles	recalibrées	plates	inclinées	verticales
RD			X		X			X				X	
RG			X		X			X				X	

Ensoleillement : faible — ***Visibilité du fond :*** bonne

Hydrologie : 1-pas d'eau 2- trous d'eau/flaques 3- basses eaux, étiage **4-moyennes eaux** 5- hautes eaux 6-crue

Description du point de prélèvement

Largeur de plein bord	**Lpb**	1.42	
Largeur mouillée moyenne	**Lm**	0.65	
Longueur totale	**Lt**	Théorique 21	réelle 24

Superficie mouillée en m² (Sm **Lm X Lt réelle=** 13.65

Sm x 1% = 0.14

Sm x 5% = 0.7

si Lpb < 8m	si 8 <= Lpb <25	si 25m <= Lpb
3 séquences	**2 séquences**	
Lt = 18*LpB	**Lt = 12*LpB**	**Lt = 6*LpB**

Faciès d'écoulement :

profondeur > 60cm				profondeur ≤ 60cm				
chenal lotique	chenal lentique	mouille	fosse de dissipation	plat courant	plat lent	radier	rapides	cascades
					100			

Mesures physico-chimiques :

Température :	23.5	°C
Oxygène dissous :	5.90	mgO2/L
Saturation O2 dissous :	72.5	%
Conductivité :	263	µS/cm
pH :	7.818	unité pH

Commentaires : (difficultés rencontrées, signes de pollution, aménagements, taxons relâchés, photos…) : terrain retourné par les sangliers

Illustration de la station (facultatif):

Etude des Plans d'Eau Sundgauviens (PES) : 2021

Recouvrement (surface relative sur la station)				classes de vitesses								
				>75cm/s N6 Rapide		26 à 75cm/s N5 Moyenne		6 à 25cm/s N3 Lente		0 à 5cm/s N1 Nulle		
Nature du substrat	code sandre	% réel de recouvremt	Dominant D /Marginal M	recouvt	n° et φ	recouvt	n° et φ	recouvt	n° et φ	recouvt	n° et φ	Nbre prél. réalisés
Bryophytes	S1											
Spermaphytes immergés (hydrophytes)	S2											
Débris organiques grossiers (litière)	S3	10	D					+	B5			
Chevelus racinaires Substrats ligneux	S28											
Sédiments minéraux de grande taille (pierres-galets) (25 à 250mm)	S24											
Blocs (>250mm) facilement déplaçables	S30											
Granulats grossiers (graviers) (2,5 à 25mm)	S9	4	M					++	A1	+	A2/A3/A4	
Spermaphytes émergents (hélophytes)	S10											
Vases : Sédiments fins (<0,1mm) avec débris organiques fins	S11	86	D					++	B6/B7/C9/C10/C11	+	C12	
Sables et limons (<2mm)	S25											
Algues	S18											
Surfaces uniformes dures naturelles et artificielles	S29											
Totaux :		100									Total :	

N° prélt	Phase	Substrat	Classe de vitesse	Hauteur d'eau	Colmatage nature et intensité	Matériel
1	A	S9	N3	1	4	S
2	A	S9	N1	1	2	S
3	A	S9	N1	1	2	S
4	A	S9	N1	1	2	S
5	B	S3	N3	8	2	S
6	B	S11	N3	4	3	S
7	B	S11	N3	6	3	S
8	B	S11	N1	4	3	S
9	C	S11	N3	3	3	S
10	C	S11	N3	3	3	S
11	C	S11	N3	7	3	S
12	C	S11	N1	4	3	S

Commentaires sur les prélèvements élémentaires : (substrat associé, ...)

Noter les substrats instables par une *

0: 0%
1: 1-20%
2: 21-40%
3: 41-60%
4: 61-80%
5: 81-100%

S:Surber
H:Haveneau

Opération Projet : PES — Nom du cours d'eau / station : Largue / Levoncourt Amont

Opérateurs terrain :YN PR SL — Date et heure (début/fin) : 15/06/2021 de 16h30 à 17h45

Localisation

Commune et département : Levoncourt, 68

Accès et accessibilité :

Coordonnées GPS : Amont X :
Amont Y :
Aval X :
Aval Y :

Echantillonnage

Lit majeur: Prairial / Forestier/ Agricole — ***Météo*** : Ensoleillé — ***Couleur de l'eau*** : Claire

Ripisylve	herbacée	arbustive	arborée	absente	éparse	dense	***Berges***	naturelles	artificielles	recalibrées	plates	inclinées	verticales
RD	X		X			X		X				X	
RG	X	X				X			X			X	

Ensoleillement : MOYEN — ***Visibilité du fond :*** MOYENNE

Hydrologie : 1-pas d'eau 2- trous d'eau/flaques 3- basses eaux, étiage **4-moyennes eaux** 5- hautes eaux 6-crue

Description du point de prélèvement

Largeur de plein bord	**Lpb**	4.26	
Largeur mouillée moyenne	**Lm**	2.76	
Longueur totale	**Lt**	Théorique 64	réelle 56

Superficie mouillée en m² (Sm **Lm X Lt réelle=** 176.64

Sm x 1% = 1.77

Sm x 5% = 8.832

si Lpb < 8m	si 8 <= Lpb <25	si 25m <= Lpb
3 séquences	**2 séquences**	
Lt = 18*LpB	**Lt = 12*LpB**	**Lt = 6*LpB**

Faciès d'écoulement :

profondeur > 60cm				profondeur ≤ 60cm				
chenal lotique	chenal lentique	mouille	fosse de dissipation	plat courant	plat lent	radier	rapides	cascades
		10			65	25		

Mesures physico-chimiques :

Température :	14.6	°C
Oxygène dissous :	9.44	mgO2/L
Saturation O2 dissous :	97.6	%
Conductivité :	580	µS/cm
pH :	8.2	unité pH

Commentaires : (difficultés rencontrées, signes de pollution, aménagements, taxons relâchés, photos…) : terrain retourné par les sangliers

illustration de la station (facultatif):

Etude des Plans d'Eau Sundgauviens (PES) : 2021

Recouvrement (surface relative sur la station)				classes de vitesses																
				>75cm/s N6 Rapide		26 à 75cm/s N5 Moyenne		6 à 25cm/s N3 Lente		0 à 5cm/s N1 Nulle										
Nature du substrat	code sandre	% réel de recouvremt	Dominant D /Marginal M	recouvt	n° et φ	recouvt	n° et φ	recouvt	n° et φ	recouvt	n° et φ	Nbre prél. réalisés	N° prélt	Phase	Substrat	Classe de vitesse	Hauteur d'eau	Colmatage nature et intensité	Matériel
Bryophytes	S1	4	M	++	A1	+	A4						1	A	S1	N6	4	0	S
Spermaphytes immergés (hydrophytes)	S2												2	A	S28	N3	1	5	S
Débris organiques grossiers (litière)	S3		P										3	A	S25	N3	9	1	S
Chevelus racinaires Substrats ligneux	S28	2	M					+	A2				4	A	S1	N5	10	0	S
Sédiments minéraux de grande taille (pierres-galets) (25 à 250mm)	S24	35	D	+	C10	+++	B5	++	B8				5	B	S24	N5	2	2	S
Blocs (>250mm) facilement déplaçables	S30	20	D	+		++	B6	+	C12				6	B	S30	N5	1	1	S
Granulats grossiers (graviers) (2,5 à 25mm)	S9	35	D			+++	B7	++	C9	+	C11		7	B	S9	N5	10	0	S
Spermaphytes émergents (hélophytes)	S10												8	B	S24	N3	15	0	S
Vases : Sédiments fins (<0,1mm) avec débris organiques fins	S11												9	C	S9	N3	10	0	S
Sables et limons (<2mm)	S25	3	M					+	A3				10	C	S24	N6	7	1	S
Algues	S18												11	C	S9	N1	17	0	S
Surfaces uniformes dures naturelles et artificielles	S29												12	C	S30	N3	23	1	S
Totaux :		100										Total :							

Commentaires sur les prélèvements élémentaires : (substrat associé, ...)

Noter les substrats instables par une *

0: 0%
1: 1-20%
2: 21-40%
3: 41-60%
4: 61-80%
5: 81-100%

S:Surber
H:Haveneau

Opération Projet : PES — Nom du cours d'eau / station : Largue / Levoncourt Aval

Opérateurs terrain :YN PR SL — Date et heure (début/fin) : 15/06/2021 de 14h50 à 16h

Localisation

Commune et département : Levoncourt, 68

Accès et accessibilité :

Coordonnées GPS : Amont X :
Amont Y :
Aval X :
Aval Y :

Echantillonnage

Lit majeur: Urbain — ***Météo*** : Ensoleillé — ***Couleur de l'eau*** : Claire

Ripisylve	herbacée	arbustive	arborée	absente	éparse	dense	***Berges***	naturelles	artificielles	recalibrées	plates	inclinées	verticales
RD	X				X				X	X			X
RG	X				X				X	X			X

Ensoleillement : MOYEN — ***Visibilité du fond :*** BONNE

Hydrologie : 1-pas d'eau 2- trous d'eau/flaques 3- basses eaux, étiage **4-moyennes eaux** 5- hautes eaux 6-crue

Description du point de prélèvement

Largeur de plein bord	**Lpb**	3.20	
Largeur mouillée moyenne	**Lm**	3	
Longueur totale	**Lt**	Théorique 48	réelle 43

Superficie mouillée en m² (Sm **Lm X Lt réelle=** 144

Sm x 1% = 1.44

Sm x 5% = 7.20

si Lpb < 8m	si 8 <= Lpb <25	si 25m <= Lpb
3 séquences	**2 séquences**	
Lt = 18*LpB	**Lt = 12*LpB**	**Lt = 6*LpB**

Faciès d'écoulement :

profondeur > 60cm				profondeur ≤ 60cm				
chenal lotique	chenal lentique	mouille	fosse de dissipation	plat courant	plat lent	radier	rapides	cascades
				99				1

Mesures physico-chimiques :

Température :	14.5	°C
Oxygène dissous :	9.66	mgO2/L
Saturation O2 dissous :	98.4	%
Conductivité :	575	µS/cm
pH :	7.9	unité pH

Commentaires : (difficultés rencontrées, signes de pollution, aménagements, taxons relâchés, photos…) : terrain retourné par les sangliers

Illustration de la station (facultatif) :

Etude des Plans d'Eau Sundgauviens (PES) : 2021

Recouvrement (surface relative sur la station)				classes de vitesses																
				>75cm/s N6 Rapide		26 à 75cm/s N5 Moyenne		6 à 25cm/s N3 Lente		0 à 5cm/s N1 Nulle										
Nature du substrat	code sandre	% réel de recouvremt	Dominant D /Marginal M	recouvt	n° et φ	recouvt	n° et φ	recouvt	n° et φ	recouvt	n° et φ	Nbre prél. réalisés	N° prélt	Phase	Substrat	Classe de vitesse	Hauteur d'eau	Colmatage nature et intensité	Matériel
Bryophytes	S1	4	M	+		++	A1						1	A	S1	N5	5	0	S
Spermaphytes immergés (hydrophytes)	S2	4	M			++	A2						2	A	S2	N5	10	0	S
Débris organiques grossiers (litière)	S3												3	A	S30	N5	11	0	S
Chevelus racinaires Substrats ligneux	S28	P											4	A	S9	N3	40	1	S
Sédiments minéraux de grande taille (pierres-galets) (25 à 250mm)	S24	60	D			++	B5/B8/C9/C10/C11						5	B	S24	N5	20	0	S
Blocs (>250mm) facilement déplaçables	S30	2	M	+		++	A3						6	B	S10	N5	13	0	S
Granulats grossiers (graviers) (2,5 à 25mm)	S9	4	M			+		++	A4				7	B	S29	N5	16	1	S
Spermaphytes émergents (hélophytes)	S10	20	D	+		++	B6	+	C12				8	B	S24	N5	19	0	S
Vases : Sédiments fins (<0,1mm) avec débris organiques fins	S11												9	C	S24	N5	25	0	S
Sables et limons (<2mm)	S25												10	C	S24	N5	30	0	S
Algues	S18												11	C	S24	N5	4	0	S
Surfaces uniformes dures naturelles et artificielles	S29	6	D	+		++	B7						12	C	S10	N3	3	2	S
Totaux :		100										Total :							

Commentaires sur les prélèvements élémentaires : (substrat associé, ...)

Fixation : Alcool

Noter les substrats instables par une *

0: 0% S:Surber
1: 1-20% H:Haveneau
2: 21-40%
3: 41-60%
4: 61-80% 5: 81-100%

Opération Projet : PES — Nom du cours d'eau / station : Largue : Pfetterhouse Amont

Opérateurs terrain : PR SL — Date et heure (début/fin) : 17/06/2021 de 11h00 à 13h

Localisation

Commune et département : Pfetterhouse, 68

Accès et accessibilité :

Coordonnées GPS : Amont X :
Amont Y :
Aval X :
Aval Y :

Echantillonnage

Lit majeur: Prairial / Forestier — ***Météo*** : Ensoleillé — ***Couleur de l'eau*** : Claire

Ripisylve	herbacée	arbustive	arborée	absente	éparse	dense	***Berges***	naturelles	artificielles	recalibrées	plates	inclinées	verticales
RD	X		X		X			X				X	
RG	X		X		X			X				X	

Ensoleillement : faible — ***Visibilité du fond :*** MOYENNE

Hydrologie : 1-pas d'eau 2- trous d'eau/flaques 3- basses eaux, étiage **4-moyennes eaux** 5- hautes eaux 6-crue

Description du point de prélèvement

Largeur de plein bord	**Lpb**	5.58	
Largeur mouillée moyenne	**Lm**	3.616	
Longueur totale	**Lt**	Théorique 84	réelle 78

Superficie mouillée en m² (Sm **Lm X Lt réelle=** 304

Sm x 1% = 3

Sm x 5% = 15

si Lpb < 8m	si 8 <= Lpb <25	si 25m <= Lpb
3 séquences	**2 séquences**	
Lt = 18*LpB	**Lt = 12*LpB**	**Lt = 6*LpB**

Faciès d'écoulement :

profondeur > 60cm				profondeur ≤ 60cm				
chenal lotique	chenal lentique	mouille	fosse de dissipation	plat courant	plat lent	radier	rapides	cascades
		20		40	20	20		

Mesures physico-chimiques :

Température :	17.4	°C
Oxygène dissous :	8.70	mgO2/L
Saturation O2 dissous :	94.9	%
Conductivité :	553	µS/cm
pH :	8.401	unité pH

Commentaires : (difficultés rencontrées, signes de pollution, aménagements, taxons relâchés, photos…)

Illustration de la station (facultatif):

Etude des Plans d'Eau Sundgauviens (PES) : 2021

Recouvrement (surface relative sur la station)				classes de vitesses								
				>75cm/s N6 Rapide		26 à 75cm/s N5 Moyenne		6 à 25cm/s N3 Lente		0 à 5cm/s N1 Nulle		
Nature du substrat	code sandre	% réel de recouvremt	Dominant D /Marginal M	recouvt	n° et φ	recouvt	n° et φ	recouvt	n° et φ	recouvt	n° et φ	Nbre prél. réalisés
Bryophytes	S1	2	M	+		++	A1					
Spermaphytes immergés (hydrophytes)	S2											
Débris organiques grossiers (litière)	S3											
Chevelus racinaires Substrats ligneux	S28	4	M			+		++	A2			
Sédiments minéraux de grande taille (pierres-galets) (25 à 250mm)	S24	69	D	+	C9	+++	B5/C10/ C11	++	B7/C12			
Blocs (>250mm) facilement déplaçables	S30											
Granulats grossiers (graviers) (2,5 à 25mm)	S9	20	D			++	B6	+	B8			
Spermaphytes émergents (hélophytes)	S10	1	M			++	A3	+				
Vases : Sédiments fins (<0,1mm) avec débris organiques fins	S11											
Sables et limons (<2mm)	S25	4	M					+	A4			
Algues	S18											
Surfaces uniformes dures naturelles et artificielles	S29											
Totaux :		100									Total :	

N° prélt	Phase	Substrat	Classe de vitesse	Hauteur d'eau	Colmatage nature et intensité	Matériel
1	A	S1	N5	8		S
2	A	S28	N3	8		S
3	A	S10	N5	1		S
4	A	S25	N3	21	2	S
5	B	S24	N5	10		S
6	B	S9	N5	12.5		S
7	B	S24	N3	22	1	S
8	B	S9	N3	4		S
9	C	S24	N6	20		S
10	C	S24	N5	11		S
11	C	S24	N5	8		S
12	C	S24	N3	16	1	S

Commentaires sur les prélèvements élémentaires : (substrat associé, ...)

Noter les substrats instables par une *

0: 0%
1: 1-20%
2: 21-40%
3: 41-60%
4: 61-80%
5: 81-100%

S: Surber
H: Haveneau

Opération Projet : PES — Nom du cours d'eau / station : Largue / Pfetterhouse Aval

Opérateurs terrain : PR SL — Date et heure (début/fin) : 17/06/2021 de 8h45 à 11h20

Localisation

Commune et département : Pfetterhouse, 68

Accès et accessibilité :

Coordonnées GPS : Amont X :
Amont Y :
Aval X :
Aval Y :

Echantillonnage

Lit majeur: Prairial / Forestier — ***Météo*** : Ensoleillé — ***Couleur de l'eau*** : Turbide

Ripisylve	herbacée	arbustive	arborée	absente	éparse	dense	***Berges***	naturelles	artificielles	recalibrées	plates	inclinées	verticales
RD	X		X		X			X				X	
RG	X		X		X			X				X	

Ensoleillement : moyen — ***Visibilité du fond :*** faible

Hydrologie : 1-pas d'eau 2- trous d'eau/flaques 3- basses eaux, étiage **4-moyennes eaux** 5- hautes eaux 6-crue

Description du point de prélèvement

Largeur de plein bord	**Lpb**	4.80	
Largeur mouillée moyenne	**Lm**	2.9	
Longueur totale	**Lt**	Théorique 72	réelle 59

Superficie mouillée en m² (Sm **Lm X Lt réelle=** 210

Sm x 1% = 2.1

Sm x 5% = 10.5

si Lpb < 8m	si 8 <= Lpb <25	si 25m <= Lpb
3 séquences	**2 séquences**	
Lt = 18*LpB	**Lt = 12*LpB**	**Lt = 6*LpB**

Faciès d'écoulement :

profondeur > 60cm				profondeur ≤ 60cm				
chenal lotique	chenal lentique	mouille	fosse de dissipation	plat courant	plat lent	radier	rapides	cascades
		20		10	40	30		

Mesures physico-chimiques :

Température :	16.5	°C
Oxygène dissous :	8.30	mgO2/L
Saturation O2 dissous :	89.1	%
Conductivité :	528	µS/cm
pH :	8.295	unité pH

Commentaires : (difficultés rencontrées, signes de pollution, aménagements, taxons relâchés, photos…)

Illustration de la station (facultatif):

Etude des Plans d'Eau Sundgauviens (PES) : 2021

Recouvrement (surface relative sur la station)				classes de vitesses								
				>75cm/s N6 Rapide		26 à 75cm/s N5 Moyenne		6 à 25cm/s N3 Lente		0 à 5cm/s N1 Nulle		
Nature du substrat	code sandre	% réel de recouvremt	Dominant D /Marginal M	recouvt	n° et φ	recouvt	n° et φ	recouvt	n° et φ	recouvt	n° et φ	Nbre prél. réalisés
Bryophytes	S1	4	M	+	A3	++	A1					
Spermaphytes immergés (hydrophytes)	S2											
Débris organiques grossiers (litière)	S3											
Chevelus racinaires Substrats ligneux	S28	17	D			+		++	B5			
Sédiments minéraux de grande taille (pierres-galets) (25 à 250mm)	S24	20	D	+		+++	B6	++	C11	+		
Blocs (>250mm) facilement déplaçables	S30	15	D	+		++	B7	+				
Granulats grossiers (graviers) (2,5 à 25mm)	S9	4	M	+		++	A2	++	A4	+		
Spermaphytes émergents (hélophytes)	S10											
Vases : Sédiments fins (<0,1mm) avec débris organiques fins	S11											
Sables et limons (<2mm)	S25	40	D			++	C9	+++	B8/C12	+	C10	
Algues	S18											
Surfaces uniformes dures naturelles et artificielles	S29											
Totaux :		100									Total :	

N° prélt	Phase	Substrat	Classe de vitesse	Hauteur d'eau	Colmatage nature et intensité	Matériel
1	A	S1	N5	5		S
2	A	S9	N5	11		S
3	A	S1	N6	7		S
4	A	S9	N3	2.5		S
5	B	S28	N3	2.5		S
6	B	S24	N5	15		S
7	B	S30	N5	20		S
8	B	S25	N3	8.5		S
9	C	S25	N5	11		S
10	C	S25	N1	8		S
11	C	S24	N3	13.5		S
12	C	S25	N3	11		S

Commentaires sur les prélèvements élémentaires : (substrat associé, ...)

Noter les substrats instables par une *

0: 0%
1: 1-20%
2: 21-40%
3: 41-60%
4: 61-80%
5: 81-100%

S:Surber
H:Haveneau

Annexe 25 : Exemple de notice d'utilisation des données pour le site de Guershwiller

Les livrables sont fournis en plusieurs fichiers nommés en fonction des thématiques des volets cités précédemment avec :

Volet flux :

- Données brutes des mesures de débits (par jaugeage ou capacité) en amont et en aval du plan d'eau et courbes de tarages associées, fichier Excel
- Données brutes de la variable hauteur d'eau (H Eau ou H Temp) du plan d'eau (une mesure toutes les 10 minutes) produites à l'aide d'une sonde bathymétrique RuggedTroll100 au droit du moine. Données Z en côte relative au niveau du socle en béton de l'ancien ouvrage, possibilité de recalage en NGF par simple retro-calcul à posteriori si une mesure d'altitude est effectuée sur le socle en béton de l'ouvrage (situé à environ 1 m sous l'eau), fichier Excel

Volet physico-chimique :

- Données brutes des mesures physicochimiques ponctuelles sur 4 points de prélèvements (aval éloigné, aval proche, étang, amont) avec : pH, Température (en °C), Conductivité (µs/cm), Oxygénation (saturation en O2 en % et concentration en mg/L), Nitrite NO2- (mg/L), Nitrate NO3- (mg/L), Amonium NH4+ (mg/L), Phosphate PO4-P (mg/L) et DBO, fichier Excel
- Données brutes des mesures de température (en °C) en continu, du plan d'eau à l'aide d'une sonde bathymétrique RuggedTroll100 au droit du moine (une mesure toutes les 10 minutes)

Remarque : *dans le cadre du partenariat, la sonde de mesure (hauteur d'eau et température) initialement placée est pour le moment laissée sur place pour permettre un suivi au long terme du marnage du plan d'eau et de ses effets (jeux de donnée actuel de mai à aout 2021).*

Volet bathymétrie :

- Relevés bathymétriques des profondeurs du plan d'eau à l'aide d'un échosondeur professionnel le 15/11/2021 avec le MNT (précision à 2cm, fichier TIF, données de profondeur négative au calage relative de la cote d'eau du 15/11/2021 notée « 0 ») et les courbes de niveaux associées (minor, major et isobathe, fichier SHP), ainsi que la nature du fond (informations, fichier SHP) et la hauteur de vase (MNT fichier TIF et isobathe fichier SHP) :
    - GUERSHWILLER Isobaths : polygone grille d'élévation générale par pas de 50cm
    - GUERSHWILLER Major Contours : polylignes de profondeur de large échelle par pas de 50cm
    - GUERSHWILLER Minor Contours : polylignes de profondeur d'échelle restreinte par pas de 10cm
    - GUERSHWILLER MNT Bathymetrique : Modèle Numérique de Terrain traité en format TIF (les profondeurs sont en altitudes négatives par rapport à la côte d'eau du 15/11/2021 noté à 0 avec la possibilité de recalage futur à l'aide des valeurs de la sondes de mesure et/ou d'un étalonnage au NGF)

- GUERSHWILLER bottom HardnessE2 : polygone représentant la cartographie de nature des fonds du plan d'eau (coefficient de dureté)
- GUERSHWILLER MNT bottom : Modèle Numérique de Terrain traité en format TIF de la profondeur de vase
- GUERSHWILLER vase Isobaths : polygone grille d'élévation générale par pas de 50cm de la profondeur de vase
- GUERSHWILLER vase Major Contours : polylignes de profondeur de large échelle par pas de 50cm de la profondeur de vase
- GUERSHWILLER vase Minor Contours : polylignes de profondeur d'échelle restreinte par pas de 10cm de la profondeur de vase

Volet drone :

- Photographie aérienne haute précision (2 pixels/cm, fichier TIF), MNS (précision à 5cm, fichier TIF) et MNT (précision à 5cm, fichier TIF) avec les courbes de niveaux associées (précision à 50cm ou 1m, fichier SHP) réalisés par survol drone le 08/06/2021 avec 4 fichiers principaux :
  - « GUERSHWILLER base » pour la cartographie uniquement du contour simple du site propriété du CSA avec :
    - Project data : pour les données brutes si nécessaire
    - GUERSHWILLER3 elev1m res50cm size20 DTM : grille d'élévation en SHP par pas de 1m
    - MNS PfetterhouseCSA 2021 : Modèle Numérique de Surface traité en format TIF
    - MNT PfetterhouseCSA 2021 : Modèle Numérique de Terrain traité en format TIF
    - Orthophoto PfetterhouseCSA 2021 : orthophotogrammétrie de précision en format TIF
  - « GUERSHWILLER base+GNSS » pour la cartographie uniquement du contour du site propriété du CSA mais recalibré à l'aide des points de calages altimétriques issu des données LIDAR départementales avec :
    - Project data : pour les données brutes si nécessaire
    - GUERSHWILLER3 elev50cm res5cm size20 DTM : grille d'élévation en SHP par pas de 50cm
    - MNS GCP PfetterhouseCSA 2021 : Modèle Numérique de Surface traité en format TIF
    - MNT GCP PfetterhouseCSA 2021 : Modèle Numérique de Terrain traité en format TIF

- Orthophoto GCP PfetterhouseCSA 2021 : orthophotogrammétrie de précision en format TIF

- « GUERSWILLER etendu » pour la cartographie étendue du site du CSA et des alentours avec le moins de croisement photographiques avec :
  - GUERSHWILLER2 elev50m res10cm size20 DTM : grille d'élévation en SHP par pas de 50cm
  - MNS Pfetterhouse etendu CSA 2021 : Modèle Numérique de Surface traité en format TIF
  - Orthophoto Pfetterhouse etendu CSA 2021 : orthophotogrammétrie de précision en format TIF
- « GUERSWILLER multiples » pour la cartographie étendue du site du CSA et des alentours avec le nombre maximal de croisements photographiques (plus de 800) avec :
  - GUERSHWILLER elev50cm res10cm size20 DTM : grille d'élévation en SHP par pas de 50cm
  - MNS Pfetterhouse multiple CSA 2021 : Modèle Numérique de Surface traité en format TIF
  - Orthophoto Pfetterhouse multiple CSA 2021 : orthophotogrammétrie de précision en format TIF

Remarque : la précision de cette méthode de modélisation de terrain est inversement proportionnelle à l'importance du couvert végétal.

Remarque : Les données potentiellement les plus utiles pour la poursuite de l'étude sont « GUERSHWILLER base+GNSS ».

Volet ADNe :

- Résultats des prélèvements d'ADNe pour Poissons et Amphibiens : occurrence des taxons et nombres de séquences par taxons (prélèvement réalisé sur le pourtour de l'étang le 20 avril 2021), fichier Excel

Volet indices biologique :

- Liste faunistique des invertébrés benthiques déterminée sur les stations amont et aval du plan d'eau, résultats du calcul de l'I2M2 et des divers indices biologiques associés, fichier Excel

Volet nasses à écrevisses :

- Liste des résultats et des campagnes de capture par méthode passive d'écrevisse (pose de nasses par pas de 48h). *Aucune espèce astacicole ni autre espèce n'a été capturée par ce mode de prélèvement sur le site étudié*.

Annexe 26 : Optimums thermiques de diverses espèces de poissons (issu de Souchon et al., 2011).

	Embryon			Larve			Juvénile			Adulte			Reproduction	
	Opt. min	Opt. max	MAX	Opt. min	Opt. max	MAX	Opt. min	Opt. max	MAX	Opt. min	Opt. max	MAX	Opt. min	MAX
BLN							13	15		10	18	27	12	15
TOX				14	18					16	25		9	14
HOT	10	17	20	15	25	28	15	25		15	24		8	14
GOU	16	20					7	27		7	30	36	12	17
CHE	16	24	30	14	25		14	25	30	14	24	30	15	20
VAN	7	15	25	16	25		12	25		10	25	32	7	12
SPI				19	24		12	24		12	24	27	14	21
BAF	16	21		15	19	24	13	24	32	10	24	32	13	20
BOU										12	30	37	15	21
GAR	12	24	26				7	21	30	12	25	31	10	18
ABL	21	27	31							20	30	35	15	28
BRE	12	23	28				14	28	34	10	26	35	12	20
BRB										16	25		15	25
PER	12	18	21	12	25	34	10	25	32	16	27	33	8	15
GRE	9	21	24	25	30		7	25	30	15	25	31	6	18
SAN	12	20	25	14	23	31	27	30	34	27	30	35	6	20
BRO	8	14	23	12	21	28	19	21	31	10	24	31	8	15
PES							13	28	30	12	30	35	13	25
SIL										12	28	32	20	25

Italique : donnée sans référence associée (issue du stade précédent ou estimée) / *italics*: data without associated reference (derived from precedent stage or estimated)
Opt. min et max : limites de la gamme optimale / optimal range limits
MAX : limite supérieure de la zone de résistance / upper limit of the resistance range

Annexe 27 : Codes et noms de plusieurs espèces de poissons.

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