
Rapport de stage individuel

4^{ème} année

Etude dans le cadre du suivi des étiages
et de leurs impacts sur le
fonctionnement hydrobiologique et
hydromorphologique des cours d'eau

SARL RIVE
11 Quai Danton
37500 CHINON



Tuteur entreprise :
Michel Bacchi
Gérant

Tuteur académique :
Vincent Rotgé

Sidney Kremer
IMA
2020-2021

Remerciements

Tout d'abord, je tenais à remercier le bureau d'étude RIVE et plus particulièrement M. BACCHI, mon maître de stage, pour m'avoir fait confiance et m'avoir donné l'opportunité de travailler à leurs côtés durant ce stage.

J'aimerais également remercier M. ROTGE pour son accompagnement tout au long de cette expérience et ses conseils pour la rédaction de ce rapport.

Je souhaite également remercier M. BLEMUS et M. COLAS pour m'avoir permis de participer à des missions de terrain durant lesquelles j'ai pu approfondir mes connaissances sur les milieux aquatiques et la réalisation de certaines techniques.

Je voudrais aussi remercier M. FOUREL pour son accompagnement et ses explications au cours des mesures terrain ainsi qu'au bureau.

Plus généralement, je souhaite remercier l'ensemble des chargés d'étude et contrats saisonniers avec qui j'ai pu travailler pour avoir répondu à mes questions et m'avoir guidé tout au long de ce stage.

Enfin, j'aimerais remercier l'école Polytech Tours pour m'avoir donné l'opportunité de réaliser un stage en bureau d'étude spécialisé dans les milieux aquatiques et me permettre de découvrir ce type de structure.

Sommaire

Introduction	1
I. Présentation de la structure d'accueil	2
II. Contexte de la mission.....	2
1. Problématique des étiages en région Pays de la Loire	2
2. Demande du commanditaire et étapes de l'étude	3
3. Etude réalisée par RIVE et mission principale du stage	4
III. Déroulé de la mission	4
1. Organisation générale	4
2. Analyse et synthèse bibliographique.....	5
3. Traitement et analyse des données.....	5
4. Terrains et missions annexes.....	6
IV. Résultats de la mission	6
1. Synthèse bibliographique	6
A. Introduction aux étiages	6
B. Effets sur les paramètres abiotiques	8
C. Effets sur les paramètres biologiques.....	10
2. Analyses des données	14
A. Méthodes d'analyses statistiques utilisées dans la littérature	15
B. Constitution des tables de données	15
C. Analyses statistiques et cartographie	16
3. Terrain étiages.....	20
V. Missions annexes.....	22
1. Pêche électrique, IPR et pêche de sauvegarde	22
2. IBG-DCE, CARHAB et IBD	23
3. Protocole CARHYCE	24
VI. Retour réflexif sur l'expérience	25
Conclusion.....	26
Bibliographie	27
Annexes.....	31
Table des annexes.....	31

Table des figures et tableaux

Figure 1: Organigramme de l'antenne de Chinon (37) de SARL RIVE	2
Figure 2: Localisation des 6 bassins versants de l'étude.....	3
Figure 3: Résultats des régressions PLS pour l'ensemble des données biologiques	16
Figure 4: Cartographie des groupes de stations identifiés par CAH	17
Figure 5: Biplot des observations et variables	19
Figure 6: Cartographie des groupes de stations identifiés par ACP.....	20
Figure 7: Stations des bassins versants de la Sanguèze et du Lys	20
Figure 8: Abreuvoir naturel et piétinement.....	21
Tableau 1: Résultats des régressions PLS effectuées.....	18

Index des sigles

ACC : Analyse Canonique des Correspondances
ACP : Analyse en Composantes Principales
AFC : Analyse Factorielle des Correspondances
BMWP : Biological Monitoring Working Party
CAH : Classification Ascendante Hiérarchique
CARHAB : CARactérisation des HABitats
CARHYCE : CARactérisation HYdromorphologique des Cours d'Eau
CTMA : Contrat Territorial Milieux Aquatiques
DAE : Département Aménagement et Environnement
DCA : Detrended Correspondence Analysis (Analyse des Correspondances Détendues)
DCE : Directive Cadre sur l'Eau
DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
I2M2 : Indice Invertébrés Multimétriques
IBD : Indice Biologique Diatomées
IBG-DCE : Indice Biologique Global compatible avec la Directive Cadre sur l'Eau
IBMR : Indice Biologique Macrophytique en Rivière
IMA : Ingénierie des Milieux Aquatiques
IPR : Indice Poisson Rivière
MLG : Modèle Linéaire Généralisé
OFB : Office Français de la Biodiversité
PLA : Partial Least Square (Moindres Carrés Partiels)
RCS : Réseau de Contrôle de Surveillance
RDA : Analyse de redondance
SARL : Société A Responsabilité Limitée
SAVI : Syndicat d'Aménagement de la Vallée de l'Indre
SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
STEP : Station d'EPuration des eaux usées

Introduction

Dans le cadre de la formation Ingénierie des Milieux Aquatiques (IMA*) du Département Aménagement et Environnement (DAE*) de l'école Polytech Tours, un stage d'une durée minimum de 12 semaines doit être réalisé en fin de 4^{ème} année. Ce stage constitue une opportunité d'approfondir nos connaissances du monde professionnel mais permet également d'améliorer nos compétences et nos expériences autour des milieux aquatiques.

Etant très intéressée par la gestion, le suivi et la préservation des milieux aquatiques, j'ai eu l'opportunité de réaliser mon stage dans un bureau d'étude spécialisé en milieux aquatique, SARL* RIVE. J'ai ainsi pu intégrer l'antenne de Chinon (37500) en Indre-et-Loire, plutôt spécialisée dans l'expertise hydro-écologique.

Au cours de ce stage, j'ai pu travailler sur l'impact des étiages sur le fonctionnement hydrobiologique des cours d'eau, qui représente ma mission principale. J'ai ainsi pu réaliser différentes missions de bureau mais aussi du travail de terrain s'inscrivant dans le cadre de l'étude globale à laquelle appartient mon sujet.

En plus de ma mission principale, j'ai eu l'opportunité de participer à des missions annexes en fonction des besoins du bureau d'étude.

Ce présent rapport est donc composé de plusieurs parties. Tout d'abord, une présentation de l'entreprise d'accueil, SARL RIVE, sera faite. Ensuite, la mission principale sera développée, avec la présentation du contexte dans lequel elle s'inscrit, son déroulé et les résultats obtenus. Par la suite, les diverses missions annexes auxquelles j'ai pu participer seront présentées. Enfin, un retour réflexif sur l'expérience sera donné avec une analyse critique des résultats et méthodes, des propositions de changements et un avis personnel.

I. Présentation de la structure d'accueil

La SARL RIVE a été créée en 2000 par M. BACCHI, docteur en hydrobiologie et M. MORIETTE ingénieur d'étude spécialisé dans la maîtrise d'œuvre. Ce bureau d'étude est spécialisé dans la gestion des milieux aquatiques et peut répondre à plusieurs missions : expertises, études environnementales, conseils, maitrisés d'œuvre et dossiers réglementaires.

Le bureau d'étude RIVE est spécialisé dans plusieurs domaines d'activités autour des milieux aquatiques : l'hydrobiologie et les expertises géotechniques, le génie écologique sur cours d'eau, zones humides et zones de rejet végétalisées et la maîtrise d'œuvre environnementale. Les clients faisant appel à SARL RIVE peuvent être de diverses natures : syndicats de rivière, services de l'état, associations, groupes privés...

La société s'organise sur deux antennes : l'une située à la Ferté-Bernard (72400) dans la Sarthe et l'autre à Chinon (37500) en Indre-et-Loire. L'antenne de la Ferté-Bernard est dirigée par M. MORIETTE et se spécialise dans la maîtrise d'œuvre environnementale avec la continuité écologique et la restauration de cours d'eau. L'antenne de Chinon est dirigée par M. BACCHI et réalise des expertises hydro-écologiques avec de l'hydrobiologie, de l'hydromorphologie, de la physico-chimie et du traitement des eaux. Au sein de l'antenne de Chinon, les activités sont réparties en 2 pôles : un pôle hydrobiologie et un pôle hydromorphologie (Figure 1). Le pôle hydrobiologie réalise notamment des expertises hydrobiologiques dans divers contextes avec, par exemple, la réalisation d'indices biologiques (IPR*, IBG-DCE*...). Ce pôle est complété par des contrats saisonniers lors de la période estivale pour mener à bien les missions de terrain et le travail de laboratoire. Le pôle hydromorphologie intervient principalement dans la réalisation de Contrats Territoriaux Milieux Aquatiques (CTMA*).

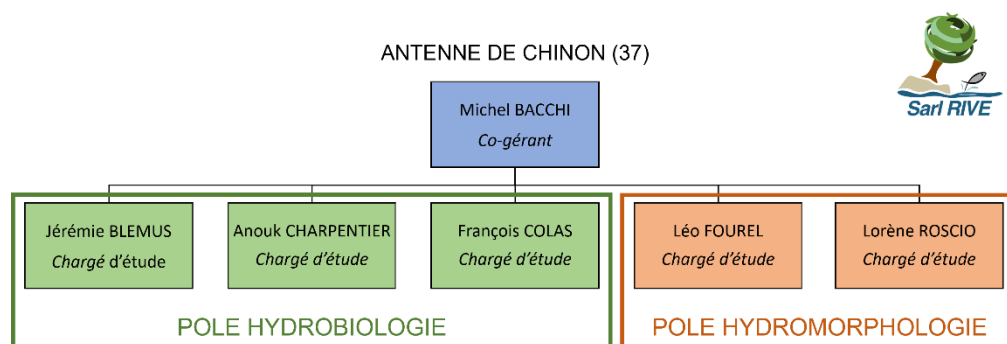


Figure 1: Organigramme de l'antenne de Chinon (37) de SARL RIVE

II. Contexte de la mission

1. Problématique des étiages en région Pays de la Loire

Selon le dernier état des lieux du SDAGE* Loire-Bretagne (2019), la région Pays de la Loire est un territoire dont l'état écologique des cours d'eau est dégradé : seulement 11 % des cours d'eau atteignent le bon état écologique (Agence de l'Eau Loire-Bretagne, 2019). De multiples pressions s'exercent sur ce secteur et empêchent l'atteinte du bon état des eaux : artificialisation des cours d'eau, prélèvements, pollutions diffuses et présence de plans d'eau.

Les phénomènes d'étiages sévères sont également des freins à la progression de l'état des masses d'eau de la région et se supplémentent aux pressions déjà existantes. En effet, lors de périodes sèches, de nombreuses masses d'eau sont soumises à des étiages sévères, cela pouvant même aller jusqu'à des assèchements. La région Pays de la Loire est particulièrement touchée par ces phénomènes qui sont de plus en plus fréquents notamment à cause du changement climatique (Annexe 1).

La survenue d'étiages sévères a notamment un impact sur la disponibilité de la ressource en eau et sa gestion est donc un enjeu majeur pour les prochaines années. Les phénomènes d'étiages sévères et d'assecs vont également avoir un impact sur la qualité des milieux aquatiques. En effet, les assèchements ont des conséquences sur la continuité écologique, la connectivité des habitats mais aussi la dilution de polluants. Tous ces changements vont, in fine, impacter la qualité physico-chimique et la qualité biologique des cours d'eau et ainsi empêcher l'atteinte du bon état des eaux.

2. Demande du commanditaire et étapes de l'étude

Au regard des enjeux liés aux étiages sur ce territoire, la DREAL* Pays de la Loire a donc souhaité caractériser par une approche statistique en quoi les étiages impactent la biologie des cours d'eau et, à terme, leurs impacts sur l'évaluation de la qualité des eaux superficielles. La DREAL souhaite également mieux définir les raisons de survenues des étiages sévères voir des assecs. Ainsi, 3 questions majeures sont posées dans le cadre de cette étude :

- Y'a-t-il une aggravation des étiages en Pays de la Loire ?
- Quel est l'impact de cette hydrologie d'étiage sur l'état écologique des cours d'eau ?
- Comment mieux connaître et caractériser les étiages sur les têtes de bassin versant, les assecs des cours d'eau intermittents et leurs effets sur l'aval du cours d'eau ?

La société ANTEA Group est chargée de réaliser cette étude et fait sous-traiter la partie hydrobiologie par la société SARL RIVE. Ainsi, ANTEA Group se charge du pilotage du projet et assure la majorité des opérations de structuration et d'analyse des données. La SARL RIVE est en charge de l'expertise hydrobiologique ainsi que de l'interprétation et du traitement statistique des données.

L'étude a été divisée en 3 phases afin de répondre aux différentes questions posées par le commanditaire. La première phase a consisté à la réalisation d'un diagnostic à l'échelle de la région Pays de la Loire (Annexe 2). Pour cela, les pressions s'exerçant sur les cours d'eau du territoire ont été déterminées. Une étude du climat a été réalisée ainsi qu'une analyse des étiages qui a permis de caractériser leur sévérité. Ces différentes exploitations ont permis d'aboutir à l'analyse des tendances d'étiages et leur évolution dans le temps. La SARL RIVE n'est pas intervenue dans cette phase. La seconde phase porte sur l'analyse de la sensibilité des indicateurs d'état écologique vis-à-vis de l'hydrologie des étiages. L'objectif est de définir les possibles liens existants entre l'hydrologie d'étiage et les indicateurs biologiques et physico-chimiques mobilisés pour l'évaluation de l'état écologique des cours d'eau. C'est dans cette phase qu'intervient principalement la société RIVE. Enfin, la troisième et dernière phase repose sur l'analyse des cours d'eaux intermittents. Les objectifs de cette phase sont de caractériser les relations amont-aval mises en place lors de la survenue d'étiages, de définir 6 têtes de bassins versants représentatifs de ces relations et d'y caractériser finement les assecs par un protocole de collecte de données sur le terrain (Figure 2). Le bureau d'étude RIVE intervient dans cette phase seulement pour la collecte de données terrains sur deux têtes de bassins versants.

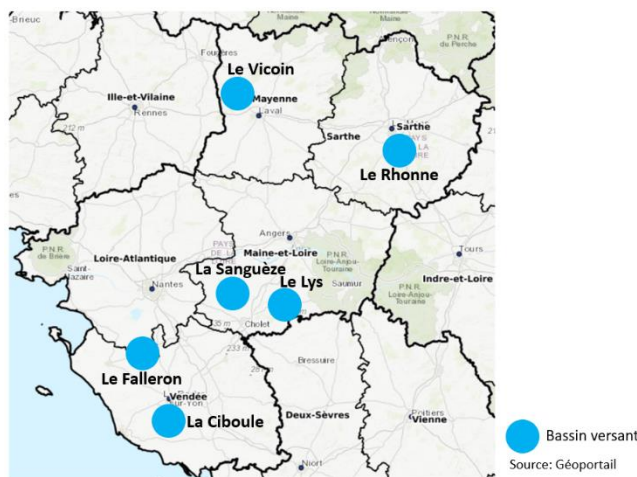


Figure 2: Localisation des 6 bassins versants de l'étude

3. Etude réalisée par RIVE et mission principale du stage

Le bureau d'étude RIVE intervient donc principalement dans la deuxième phase de l'étude commanditée par la DREAL Pays de la Loire. Cette phase a pour but d'identifier les liens possibles entre les débits d'étiages et les indicateurs utilisés dans l'évaluation de l'état écologique des cours d'eau. Pour cela, deux études seront menées : une étude bibliographique et une étude statistique.

Dans un premier temps, une analyse de la littérature scientifique sera effectuée. Celle-ci permettra de définir les facteurs mésologiques, biologiques et physico-chimiques les plus pertinents à étudier pour caractériser la sensibilité de l'état écologique lors d'étiages sévères. Cette étude permettra également de compléter les connaissances sur les mécanismes mis en jeu lors des étiages. Au cours de cette analyse bibliographique, plusieurs thématiques seront abordées. En effet, l'étude se concentrera sur les relations entre variations hydrauliques et peuplements mais également sur les variations des facteurs mésologiques au cours du temps et les impacts sur les peuplements du milieu. Les capacités et méthodes de survie des divers peuplements biologiques à la survenue d'étiage seront aussi étudiées, de même que les capacités de recolonisation à la suite de ces événements.

Dans un second temps, une analyse statistique aura pour but d'identifier, par secteur, les relations entre hydrologie d'étiage, paramètres physico-chimiques et facteurs biologiques. Cela permettra d'obtenir un état de la situation générale du territoire et de voir quels éléments sont les plus dégradés par secteur et s'ils pourraient expliquer la non-atteinte du bon état écologique. Ces premières analyses permettront de définir des secteurs pour lesquels des analyses statistiques plus approfondies seront effectuées. Différentes méthodes statistiques pourront être utilisées pour réaliser ces analyses. Celles-ci auront pour objectif de mettre en relation les facteurs biologiques et mésologiques mais aussi les notes d'indices biologiques et leurs métriques avec les facteurs mésologiques. Cette analyse statistique va, de ce fait, permettre de caractériser les impacts des étiages sur les facteurs du milieu ainsi que sur les peuplements biologiques. L'étude des facteurs biologiques pourra être menée à plusieurs échelles : des indices biologiques, plutôt généraux, aux métriques biologiques voir même jusqu'aux listes faunistiques.

La mission de stage proposée par le bureau d'étude RIVE consiste à prendre part à cette étude aux côtés de M. BACCHI. Ainsi, il m'a été confié la réalisation de l'analyse bibliographique sur les impacts des étiages et la rédaction de la synthèse en découlant. Il m'a également été demandé de réaliser une synthèse sur les méthodes statistiques employées dans la littérature pour mettre en lien la survenue d'étiages et les effets sur les paramètres biologiques et mésologiques. Par la suite, j'ai pu prendre part à l'amorce des analyses statistiques du jeu de données, en supplément du travail effectué par M. BACCHI. De plus, j'ai pu participer aux missions de terrains correspondant à la troisième phase de l'étude globale, qui consistait à la collecte de données sur deux têtes de bassins versant. Enfin, en dehors de cette mission principale, j'ai également pu contribuer à diverses missions, notamment de terrain, selon les besoins du pôle hydrobiologie.

III. Déroulé de la mission

1. Organisation générale

Pour mener à bien l'ensemble de la mission, celle-ci a été décomposée en plusieurs tâches principales : lecture et synthèse bibliographique, synthèse des méthodes statistiques, analyses des données, terrain étiage et missions annexes (Annexe 3). L'avancement de chacune de ces tâches a été déterminé selon l'ordre logique à suivre entre elles, le niveau d'avancement des tâches précédentes et la participation à des missions de terrains. Une grande partie du temps de stage a été consacrée à la partie bibliographique (49%) et à l'analyse des données (23%) (Annexe 4).

Le temps de travail a été réparti entre du travail de bureau et des missions de terrain. La majorité du stage a tout de même été consacré à du travail de bureau (80 %). Toutefois, au vu de la

situation sanitaire actuelle, les premières semaines de stage ont eu lieu pendant une période de confinement. Pour ces raisons, le début du stage a été réalisée en télétravail, cela représentant une part importante de sa durée totale (43%). Pendant cette période, des échanges à intervalles réguliers ont été tenus avec mon tuteur de stage, M. BACCHI, que je pouvais solliciter en cas de besoins. Lorsque la situation sanitaire s'est améliorée, le travail en présentiel dans la structure de Chinon a été possible.

2. Analyse et synthèse bibliographique

Les premières semaines de la mission de stage ont été consacrées à la partie bibliographique. L'objectif était de couvrir au maximum l'ensemble des études faites sur le sujet pour regrouper un nombre important d'informations. La consultation de nombreux articles scientifiques a ainsi permis d'examiner des études aux résultats diverses et donc de comprendre les effets des étiages selon les caractéristiques du cours d'eau et de son contexte.

Pour débiter cette recherche bibliographique, M. BACCHI a fourni un dossier contenant une quinzaine d'articles intéressants. Après les avoir consultés, le dossier a pu être complété avec plusieurs autres articles. Ces nouveaux articles ont été recherchés en consultant les références des articles déjà lu ou par recherche en ligne. Pour la recherche en ligne, des plateformes telles que Google Scholar ou Research Gate ont été utilisées avec l'emploi de mots-clés et de combinaison de mots-clés. Au total, ce sont 71 articles qui ont été consultés.

Tous les articles consultés ont été classés pour faciliter la réalisation de la synthèse bibliographique. Ainsi, chacun de ces articles a été ajouté dans un fichier Excel avec un numéro attribué, le titre, les noms des auteurs, l'année de publication et un court résumé. De grandes thématiques ont été définies pour l'ensemble des études et ont été indiquées si elles étaient abordées dans l'article (Annexe 5). Ces thématiques étaient la définition et la modélisation des étiages, l'impact sur les paramètres abiotiques, l'impact sur les invertébrés, l'impact sur les poissons, l'impact sur les végétaux/biofilms/périphyton, la modulation des effets des étiages et l'effet des polluants supplémentés aux étiages. Enfin, des catégories plus précises ont également été constituées et indiquées : température, régime alimentaire, nappe souterraine, habitats...

Après avoir lu et classé l'ensemble de ces articles, un plan de synthèse bibliographique a pu être établi. Celui-ci a été proposé au maître de stage qui a donné des pistes d'améliorations et de modifications. À la suite de cela, le plan a été validé et la rédaction de la synthèse bibliographique a débuté. Cette synthèse a été rédigée grâce au classement des articles qui a simplifié la recherche et la synthèse d'informations.

3. Traitement et analyse des données

La suite du stage a été consacré au traitement et à l'analyse des données. Le jeu de données contient des données biologiques et des données mésologiques. Ces données ont été regroupées par ANTEA Group puis transmises à RIVE sous forme de matrices. Les données biologiques sont disponibles pour des stations provenant du Réseau de Contrôle de Surveillance (RCS*) de la DCE. Elles contiennent plusieurs indices biologiques et leurs métriques sur différents mois et années. Tous les indices ne sont pas disponibles pour toutes les stations et périodes. Les données mésologiques sont disponibles pour des stations provenant du réseau HYDRO. Ces données contiennent des informations sur le ruissellement, l'infiltration, les pluies efficaces... Les données biologiques et mésologiques ne sont donc pas disponibles pour les mêmes stations car elles proviennent de réseaux de données différents. Pour contourner ce problème, les stations mésologiques ont été associées aux stations biologiques selon leur proximité. Ainsi, pour une station du réseau RCS il y a à la fois des données biologiques et des données mésologiques. Les données biologiques de différents mois et années d'une station ont les mêmes données mésologiques. Il y a donc beaucoup moins de données mésologiques que de données biologiques.

Dans un premier temps, l'objectif était de créer de nouvelles tables sous ACCESS regroupant les données biologiques et météorologiques à partir des tables initiales pour pouvoir ensuite réaliser les traitements de données. Ensuite, différentes analyses statistiques ont pu être faites grâce à XLSTAT. Des analyses comme la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH*), l'Analyse en Composantes Principales (ACP*) ou la régression PLS* ont pu être appliquées. La réalisation des différentes analyses dépendait des résultats obtenus sur les précédentes et des objectifs visés. Enfin, certains résultats ont pu être cartographiés grâce à QGIS pour identifier s'ils pouvaient être expliqués par leur localisation.

4. Terrains et missions annexes

Des missions de terrain ont également eu lieu dans le cadre de la troisième phase de l'étude globale commanditée par la DREAL Pays de la Loire. Ces journées de terrains ont été effectuées à intervalles de temps réguliers. En effet, elles ont été espacées d'un mois et ce sont donc déroulées au début des mois de juin, juillet et août et se poursuivront de la même manière en septembre et en octobre. Chaque cession de terrain a duré deux jours, une journée étant consacrée à une tête de bassin versant. La première journée de la cession de juin a notamment été employée à la présentation et aux réglages du protocole d'acquisition des données en présence des commanditaires et des chargés d'étude d'ANTEA Group et de SARL RIVE. Je n'ai pas pu participer à cette première journée car seulement deux personnes de la structure pouvaient s'y rendre, ces personnes ont été M. BACCHI et M. FOUREL. Toutefois, j'ai pu prendre part à toutes les autres journées de terrain aux côtés de M. FOUREL qui intervient dans l'étude seulement pour ces cessions terrain.

J'ai également pu participer à certaines missions terrain du pôle hydrobiologie selon leur besoin. En effet, la majorité des missions terrain d'hydrobiologie se concentre sur la période estivale où le niveau d'eau est plus bas et l'eau plus claire. Pour la réalisation de mesures terrain et d'inventaires piscicoles et invertébrés il est donc nécessaire d'avoir plusieurs opérateurs afin de gagner en rapidité et en efficacité. J'ai ainsi pu participer à la réalisation d'IPR, d'IBG-DCE, d'IBD*, de pêches de sauvegardes et de protocoles CARHYCE*. Ces missions ont pu avoir lieu à différents moments de la période de stage. Il a donc fallu organiser le temps de travail autour de ces missions qui étaient parfois planifier en peu de temps notamment à cause de conditions météorologiques compliquées. Certaines missions ont nécessité des déplacements de plusieurs jours sur le terrain.

IV. Résultats de la mission

La mission principale, sur les étiages, était donc composée de 3 parties. La première concerne la réalisation de la synthèse bibliographique, la seconde l'analyse des données et la dernière les missions de terrains pour le suivi des étiages. Les résultats de chacune de ces parties sont présentés ici. La synthèse bibliographique n'est pas entièrement développée comme elle pourra l'être dans le livrable remis à l'entreprise.

1. Synthèse bibliographique

A. Introduction aux étiages

a. Introduction

Les étiages sont des événements marquants pour les milieux aquatiques. Ils perturbent l'écosystème par la modification physique et chimique du milieu. Les peuplements biologiques sont donc fortement impactés par ces changements. Ils perturbent également les usages et activités en lien avec les milieux aquatiques. Les étiages sont donc des phénomènes importants à prendre en compte dans la gestion de l'eau et des milieux aquatiques. Ils le sont d'autant plus dans le cadre du changement climatique global car ils seront de plus en plus fréquents et intenses dans les années à venir. La survenue d'étiages est donc un enjeu de gestion majeur déjà aujourd'hui mais le sera encore plus dans le futur.

b. Définitions des étiages

Le terme « étiage » est assez complexe à caractériser, notamment par l'existence de nombreuses définitions. Etymologiquement, deux origines sont possibles : étiage pourrait venir du mot « étier » et correspondrait à l'état d'un étier, canal amenant l'eau de mer aux marais salants, après le retrait des eaux. Le terme étiage pourrait également être issu du latin « aestas » renvoyant au niveau d'eau de l'été pour une rivière (Lang Delus, 2011).

Les différentes définitions de l'étiage renvoient toujours à la pauvreté en eau et ce terme peut donc être défini comme « le débit exceptionnellement faible d'un cours d'eau » (Dacharry, 1996). Toutefois, ces définitions n'établissent pas constamment le contexte temporel ou les processus de survenue des étiages. Ils existent différentes variables pour décrire les étiages selon les objectifs du travail, les données utilisées ou le contexte de l'étude.

Les étiages sont à distinguer de la période de basses eaux qui correspond à « la période où le débit du cours d'eau est inférieur à son module » (Lang Delus, 2011). Les étiages correspondent donc à une situation particulière de la période de basses eaux. Un étiage sévère peut aboutir à un assèchement, c'est-à-dire à l'assèchement temporaire d'un cours d'eau (ONDE, s. d.).

c. Origines des étiages

Les étiages ont de nombreuses causes possibles, qui peuvent se combiner entre elles et former ainsi des processus complexes de survenues d'étiages. Elles peuvent être d'origine naturelle ou anthropique. Tout d'abord, la diminution des précipitations, notamment en période estivale, fait diminuer la quantité d'eau reçue par le bassin versant et donc, à terme, l'écoulement dans les cours d'eau. Durant cette même période, il y a généralement une augmentation globale des températures de l'air ce qui favorise l'évaporation de l'eau et réduit la quantité d'eau dans les cours d'eau (Arenas-Sánchez et al., 2016; Larue & Giret, 2004; Légier & Terzian, 1981). La géologie et la structure du sol des bassins versants et des nappes souterraines ont également un rôle important dans la diminution des débits des cours d'eau selon leur capacité de soutien des étiages (Larue & Giret, 2004). En effet, selon leur capacité à retenir l'eau des précipitations et à la libérer lors de la diminution de la quantité d'eau dans les cours d'eau, les nappes souterraines pourront momentanément pallier le manque d'eau. La survenue des étiages est donc fortement influencée par les précipitations tout au long de l'année qui permettent de remplir les nappes souterraines (Delus, 2011).

Les causes naturelles des étiages sont donc principalement liées aux précipitations et à la structure des sols. Néanmoins, des causes de natures anthropiques peuvent s'ajouter à ces causes naturelles d'étiages. Les prélèvements d'eau ont un impact important sur la quantité d'eau : ils soustraient une partie de l'eau et participent donc à la diminution de la quantité d'eau dans les cours d'eau et les nappes. L'occupation du sol, notamment avec l'augmentation de l'imperméabilisation, augmente le ruissellement et limite l'infiltration de l'eau. L'eau apportée par les précipitations n'arrive donc plus de manière échelonnée dans le temps et les nappes ne peuvent pas remplir le rôle de soutien. Il y a ainsi des débits plus importants lors des périodes de précipitations et des débits plus faibles lors des périodes sans précipitations (Rolls et al., 2012).

d. Effets du changement climatique

Dans les prochaines années, le changement climatique aura un rôle majeur dans la survenue des étiages. En effet, il se caractérise par une augmentation des températures moyennes mais aussi par la diminution des précipitations ce qui se traduira par un apport d'eau plus faible aux cours d'eau et nappes souterraines. La diminution de la quantité d'eau amènera à une augmentation de la fréquence et de la durée des étiages notamment dans les régions tempérées et tropicales (Caruso, 2002; Rolls et al., 2012). La consommation importante de l'eau ajoutera une pression supplémentaire sur cette ressource précieuse.

En Europe, les chutes de neige hivernales seront remplacées par des précipitations qui provoqueront une arrivée d'eau plus importante dans les cours d'eau. A l'inverse, les neiges n'étant plus là pour fondre, moins d'eau arrivera au printemps ce qui pourra se traduire par la survenue

d'étiages précoces et plus intenses. Le changement climatique aura donc des impacts sur la temporalité de l'arrivée d'eau dans les cours d'eau et sur sa quantité (Rolls et al., 2012).

Le changement climatique va donc accentuer la survenue d'étiages ainsi que leur intensité et donc leurs impacts sur la biodiversité. Il va également perturber la temporalité des étiages avec l'apparition d'étiages précoces.

B. Effets sur les paramètres abiotiques

a. Impacts sur les paramètres abiotiques

Les étiages vont, en premier lieu, avoir des impacts sur les facteurs abiotiques des cours d'eau. La modification de ces facteurs, qui sont indépendants du vivant, pourra avoir des conséquences sur l'écosystème.

Tout d'abord, la diminution de l'écoulement se traduit généralement par une modification de la section mouillée. En effet, la hauteur d'eau diminue tout comme la largeur en eau. La survenue d'étiage s'accompagne également d'une diminution des vitesses d'écoulement (Dewson et al., 2007b). Ces modifications de la section mouillée vont avoir un impact majeur sur les habitats. En effet, il y a une homogénéisation des faciès d'écoulements et donc une uniformisation des habitats (Lake, 2003). Il y a également une perte de disponibilité d'habitats avec la diminution de la largeur en eau et de la profondeur (Arenas-Sánchez et al., 2016; Walters & Post, 2011). Ainsi, lors des étiages, moins d'habitats sont accessibles et ceux qui le restent sont plutôt similaires.

Les étiages vont également avoir un impact sur les paramètres physico-chimiques du milieu. Dans la majorité des cas, la température de l'air augmente durant les périodes d'étiages ce qui, combiné à la diminution de la quantité d'eau, provoque une augmentation de la température de l'eau. Dans d'autres cas, une diminution de la température de l'eau peut être observée ce qui est généralement dû à l'arrivée d'eaux souterraines qui sont souvent plus fraîches que les eaux de surface (Caruso, 2002; Dewson et al., 2007b). Ainsi, de nombreux facteurs entre en jeu lors des étiages comme la température de l'air, l'arrivée d'eaux souterraines ou l'exposition au soleil et peuvent avoir différents effets sur la température de l'eau (Caruso, 2002; Cazaubon & Giudicelli, 1999).

La concentration en oxygène dissous est également souvent impactée lors des étiages. Dans la plupart des études, la concentration de cet élément diminue, ce qui pourrait être lié à l'augmentation de la température de l'eau et à la respiration de la matière organique (Kalogianni et al., 2017; Rolls et al., 2012). A l'inverse, le taux d'oxygène dissous peut également augmenter lors des étiages avec l'augmentation de la photosynthèse si les organismes qui la pratiquent résistent aux conditions (Kalogianni et al., 2017). Enfin, dans d'autres études, le taux d'oxygène ne varie pas lorsque l'écoulement diminue (Caruso, 2002; Dewson et al., 2007a). La variation du taux d'oxygène dissous dépend des conditions du milieu et des processus qui se mettent en place lors de la diminution des écoulements.

La concentration en nutriments peut aussi être impactée par la survenue d'étiages. Elle peut augmenter avec la diminution de la quantité d'eau car les nutriments sont moins dilués mais aussi diminuer avec la diminution du ruissellement (Suren & Riis, 2010). L'arrivée d'eaux souterraines, plus pauvres en nutriments, va influencer la composition chimique du cours d'eau et donc impacter la concentration en nutriments (Dewson et al., 2007b). Leur arrivée s'accompagne généralement d'une diminution du carbone organique dissous mais également de l'azote et du phosphore organiques dissous (Dahm et al., 2003). Lorsque les eaux souterraines soutiennent les étiages, il y a donc une diminution des apports organiques dans le cours d'eau.

Les eaux souterraines peuvent également faire augmenter la conductivité de l'eau lorsqu'elles arrivent en soutien d'étiage car elles sont plus chargées en minéraux grâce à leur contact avec la roche (Dewson et al., 2007b). Néanmoins, il n'y a pas nécessairement besoin d'apports d'eaux souterraines pour voir la conductivité de l'eau augmenter lors des étiages. En effet, avec la diminution de la quantité d'eau les ions présents sont moins dilués, leur concentration augmente et la conductivité aussi. Ainsi, dans la majorité des études, la conductivité électrique de l'eau augmente lors des étiages (Drummond et al., 2015; Hille et al., 2014; Rolls et al., 2012).

La variation des paramètres physico-chimiques n'est pas toujours identique face à la diminution des écoulements. En effet, de nombreux facteurs comme l'état du milieu, la connexion à d'autres systèmes ou les conditions météorologiques entrent en jeu lors des étiages et vont influencer chacun différemment la réponse du milieu. Il est donc impossible de donner une unique réponse concernant les impacts des étiages et des assecs sur les cours d'eau. Chaque cours d'eau et section de cours d'eau pourra avoir une réponse propre lors de la survenue d'un étiage. Il est important de considérer tous les facteurs qui entrent en jeu dans les effets des étiages sur le milieu pour comprendre la modification des différents paramètres physico-chimiques.

Les étiages ont également des effets sur le dépôt de sédiments et notamment sur les particules fines. En effet, les vitesses d'écoulement diminuent lors des étiages, les cours d'eau ont ainsi moins d'énergie pour transporter les particules solides qui vont donc se déposer de manière plus importante sur le fond. Ce phénomène concerne principalement les particules fines qui nécessitent peu d'énergie pour être transportées mais cette énergie devient tout de même trop faible lors des étiages (Bond, 2004; Dewson et al., 2007b; Riis et al., 2017). Le dépôt de sédiments est une nouvelle perturbation pour les habitats.

b. Supplémentation à d'autres facteurs

Les étiages ont de nombreux impacts sur les cours d'eau et sur leurs communautés. Cependant, les pressions exercées par les étiages vont s'additionner à des facteurs de stress déjà présents dans les milieux. C'est notamment le cas des polluants provenant des rejets d'eaux usées par les STEP* ou de l'utilisation de produits phytosanitaires. Les polluants peuvent avoir des impacts sur la physico-chimie de l'eau et perturber l'écosystème. La survenue d'étiages va avoir des effets qui vont se cumuler à ceux des polluants présents dans le cours d'eau. La diminution de la quantité d'eau va conduire à une amplification des effets des polluants par une plus faible dilution de ceux-ci. Les étiages vont aussi avoir des effets identiques à ceux des polluants ce qui va accentuer l'impact sur le milieu (Kalogianni et al., 2017; Ponsatí et al., 2016). De nombreuses substances sont présentes dans les cours d'eau et chacune peut avoir des impacts spécifiques et réagir différemment aux étiages. Les effets sont souvent additifs mais peuvent parfois être antagonistes (Arenas-Sánchez et al., 2016).

Les polluants couplés aux étiages ont notamment des effets sur les biofilms. Les structures d'assemblages des biofilms vont être altérées et les abondances relatives des communautés qui les composent vont être modifiées. La sensibilité des biofilms aux polluants va également être modifiée : les algues deviennent plus sensibles après la période d'assec alors que les bactéries le sont moins. Les communautés les plus sensibles à la déshydratation, ici les algues, sont également les plus sensibles à l'ajout d'un facteur de stress comme les polluants (Corcoll et al., 2015). La combinaison des étiages et des polluants a également des effets sur les communautés de poissons et d'invertébrés. La diminution de la dilution des polluants et donc l'augmentation de leur concentration provoque une diminution de la richesse taxonomique et de la diversité des invertébrés, paramètres déjà impactés par les étiages (Mor et al., 2019). Les communautés de poissons sont également fortement impactées. Les paramètres comme l'abondance et la biomasse des communautés de poissons sont modifiés. Les assemblages de poissons sont grandement affectés par les polluants supplémentés aux étiages (Karaouzas et al., 2018).

Les polluants peuvent également avoir un effet différé après leur rejet lors des assèchements. En effet, lors de l'assèchement du cours d'eau, les polluants peuvent être stockés dans les sédiments secs puis remobilisés au retour de l'écoulement et impacter le milieu. L'augmentation de la température de l'eau à cause des étiages peut également entraîner une augmentation de la toxicité des polluants (Arenas-Sánchez et al., 2019).

c. Modulation des effets des étiages

Les effets des étiages peuvent différer selon les caractéristiques du cours d'eau et de son bassin versant. En effet, beaucoup de critères peuvent moduler les impacts des étiages.

La morphologie du cours d'eau à un rôle prépondérant dans la survenue d'étiages et sur leur intensité. De nombreuses modifications, souvent d'origine anthropique, ont eu lieu sur les cours d'eau et ont accentué la survenue d'étiages. L'incision des lits des cours d'eau limite la connectivité du réseau mais aussi le stockage d'eau et la recharge des nappes souterraines. Le recalibrage et la rectification des cours d'eau peuvent également accentuer la survenue des étiages notamment par l'augmentation de la pente du cours d'eau. Ces modifications impactent le soutien d'étiage, le régime hydraulique et accentuent donc l'intensité et la durée des étiages. Ces altérations modifient également tous les supports d'habitats : fond du lit, berges et ripisylve. Des travaux de restauration sur le cours d'eau et les annexes hydrauliques pourraient aider à limiter la survenue d'étiages et l'intensité de leurs impacts (Graeber et al., 2013).

Le bassin versant a également un rôle primordial sur les écoulements des cours d'eau et la survenue d'étiages. En effet, la nature du bassin versant va influencer les écoulements des cours d'eau mais aussi l'arrivée de polluant. Un bassin versant urbanisé favorisera par exemple le ruissellement des eaux pluviales et limitera l'infiltration dans le sol et les nappes contrairement à un bassin versant agricole qui recevra plus de polluants liés aux pratiques sur le territoire (Anim et al., 2019). Les éléments à proximité du cours d'eau sont également précieux et peuvent jouer un rôle sur les effets des étiages. Par exemple, la présence d'une ripisylve dense et intacte permet de limiter le réchauffement des sédiments servant de refuge aux invertébrés lors de l'étiage (Storey & Quinn, 2013). Ainsi, la nature du bassin versant et les éléments à proximité du cours d'eau peuvent moduler la survenue des étiages et leurs effets.

La structure du lit du cours d'eau peut également moduler les effets des étiages. Selon le niveau d'hétérogénéité du lit, l'étiage aura des effets plus ou moins importants (Jones & Petreman, 2013). En effet, les sections plus hétérogènes présentent une plus grande diversité d'habitats que les sections homogènes. Cette grande diversité d'habitats permet d'abriter des communautés avec de plus grandes diversité taxonomique et fonctionnelle (Mor et al., 2019). Cependant, les étiages auront des impacts plus forts sur une communauté très diversifiée que sur une communauté qui l'est moins (Dewson et al., 2007b). L'impact sera également différent selon l'occupation initiale des espèces mais aussi selon l'intensité et l'ampleur de l'évènement. Les effets des étiages peuvent également être modulés par des facteurs locaux d'habitats. Par exemple, la stabilité des communautés d'invertébrés semble améliorée en présence de bryophytes (Sarremejane et al., 2018). Ainsi, la structure du lit peut également moduler les effets des étiages selon sa composition et ce qu'elle abrite.

C. Effets sur les paramètres biologiques

a. Impacts sur la végétation

Les nombreux changements de conditions qui vont se produire lors de l'arrivée des étiages vont être à l'origine des perturbations sur les végétaux. Les modifications hydrauliques, de sédimentation, de ressources et de température auront un impact sur les communautés végétales et notamment sur les biomasses. La perte d'habitats va modifier les interactions entre individus en augmentant la compétition (Suren & Riis, 2010). Ainsi, les différentes populations de végétaux vont toutes être impactées par les étiages et par la diminution des écoulements qu'ils engendrent.

Les diatomées, microalgues unicellulaires, sont très fortement impactées par la diminution des écoulements dans les cours d'eau. En effet, une perte de biomasse est observée et leur taux de survie diminue fortement lors des étiages (Arenas-Sánchez et al., 2016; Suren & Riis, 2010). Les taxons de diatomées plus fortement attachées semblent plus impactés. Néanmoins, dans son étude, Karaouzas (2018) ne remarque pas de changements majeurs sur les métriques ni sur l'Indice de Polluosensibilité Spécifique (IPS) calculé à partir des diatomées (Karaouzas et al., 2018). Les diatomées sont donc sensibles à la diminution des débits.

Dans la majorité des études, les biomasses de cyanobactéries et d'algues vertes filamenteuses semblent augmenter avec les conditions d'étiages. La diminution des écoulements a souvent une influence positive sur ces deux populations en permettant leur prolifération (Arenas-Sánchez et al., 2016). Les cyanobactéries ont en effet une forte résistance à l'assèchement ce qui est un atout pour

supporter les étiages (Stanley et al., 2004). L'accumulation de nutriments et l'exposition à la lumière favorise le développement de bloom d'algues et de bactéries nuisibles (Lake, 2003; Rolls et al., 2012).

Le développement des algues est affecté par les conditions d'étiages. En effet, la biomasse algale diminue lors de la survenue d'étiage notamment à cause des très faibles vitesses d'écoulement. Leur densité décline également, de même que la richesse et la diversité taxonomique de ces populations (Arenas-Sánchez et al., 2016; Cazaubon & Giudicelli, 1999; Matthae et al., 2010). Néanmoins, le développement de la biomasse algale peut varier selon divers facteurs comme la forme des algues, l'exposition à la lumière et la quantité de nutriments. Le développement des algues est fortement lié à la vitesse d'écoulement ce qui peut expliquer les effets des très faibles débits (Dewson et al., 2007a). L'impact sur les algues semble donc être négatif mais peut varier selon les conditions mises en place lors de l'étiage.

Les conditions d'étiages favorisent le développement de plantes aquatiques : les macrophytes. En effet, un gain de biomasse est observé chez ces populations lors de la diminution des écoulements (Rolls et al., 2012; Suren & Riis, 2010). Néanmoins, dans son étude, Karaouzas (2018) n'observe aucun impact majeur sur l'Indice Biologique Macrophytique en Rivière (IBMR*) (Karaouzas et al., 2018). Concernant les bryophytes, les étiages ont un impact variable sur ces populations. Une perte ou un gain de biomasse peut être observé sur cette population selon les études (Suren & Riis, 2010).

Les biofilms sont des communautés constituées par des bactéries, des champignons et des algues. Ces structures sont fortement impactées par les conditions d'étiages. Les différents groupes constituant les biofilms vont être impactés différemment, leur abondance relative vont être modifiées (Calapez et al., 2020). Cependant, une augmentation de l'abondance relative ne signifie pas que ces communautés sont favorisées par les étiages. Globalement, il y a une diminution de la biomasse des biofilms, de leur activité et de la diffusion de nutriments dans ceux-ci (Arroita et al., 2017). Pour chacun des composants des biofilms, il y a une diminution des Unités Taxonomiques Opérationnelles (OTU).

La diminution des débits liée à la survenue d'étiages va perturber le transport de la matière organique. En effet, avec la diminution des écoulements, le taux de transport de la matière organique diminue. Cela provoque une rétention de matière organique et modifie ainsi tous les processus qui y sont liés (Lake, 2003). Il y a également moins de pertes liées aux contraintes de cisaillement, au mouvement du substrat et à l'abrasion (Suren & Riis, 2010). Malgré l'accumulation de matière organique, il n'y a pas d'augmentation de sa dégradation, notamment à cause d'une diminution des invertébrés qui pourraient la consommer (Rolls et al., 2012; Sabater et al., 2016). Ainsi, la rétention de matière organique peut accentuer les effets des étiages en modifiant le réseau alimentaire et les types d'habitats.

L'accumulation de matière organique dans les cours d'eau lors des étiages va favoriser les organismes hétérotrophes par rapport aux autotrophes. Les organismes hétérotrophes nécessitent un apport de matière organique extérieur pour synthétiser leurs composants contrairement aux organismes autotrophes (Riis et al., 2017). Il y a donc une diminution de la biomasse autotrophe contrairement à celle hétérotrophe (Arenas-Sánchez et al., 2021; Sabater et al., 2016). La photosynthèse et donc la production primaire brute sont réduites notamment avec la diminution de la biomasse algale (Arias Font et al., 2021; Stanley et al., 2004). L'ensemble des processus de l'écosystème sont donc perturbés par les conditions d'étiages.

b. Impacts sur les invertébrés

Les étiages vont également avoir des effets sur les populations d'invertébrés. La perte d'habitats et la diminution de la diversité d'habitats vont avoir des impacts importants sur ces populations. En effet, moins d'habitats seront disponibles et certaines espèces vont perdre leur habitat favorable. Les habitats vont s'uniformiser et devenir plutôt lentiques et ainsi perturber les communautés présentes (Cazaubon & Giudicelli, 1999). Certaines espèces ne trouveront donc pas d'habitat adéquat à leur mode de vie et devront s'adapter ou les individus ne résisteront pas aux conditions (Rolls et al., 2012; Walters & Post, 2011). Les habitats des invertébrés sont donc réduits et perturbés par les étiages, ce qui bouleverse les communautés.

La modification des paramètres physico-chimiques va aggraver l'impact de la perte d'habitats sur les communautés. Les espèces ont des plages de tolérance pour les différentes variables physico-chimiques. C'est notamment le cas de la température, certaines espèces sont très sensibles à sa variation et ne pourront pas résister à une augmentation trop importante (Caruso, 2002; Légier & Terzian, 1981). Le taux d'oxygène est également capital pour la survie de nombreux individus qui nécessitent une forte concentration de celui-ci (Benkebil et al., 2020). La survie des individus sera mise en jeu si de fortes variations de ces paramètres surviennent lors des étiages. La modification des paramètres physico-chimiques va moduler les communautés d'invertébrés.

La diminution des ressources disponibles va également affecter les communautés d'invertébrés. En effet, les sources et les échanges d'énergie vont être perturbés par la survenue d'étiages. Les quantités de nutriments vont diminuer et ne pourront pas satisfaire tous les individus. Certains ne pourront pas s'alimenter correctement ce qui pourra ralentir la croissance, notamment chez les jeunes individus, ou ne leur permettra pas de continuer leur cycle de vie et disparaîtront (Lake, 2003; Rolls et al., 2012). L'augmentation du taux de matière organique dissous va perturber les espèces présentes mais également le cycle trophique du milieu (Walters & Post, 2011). La perturbation de ce cycle pourra avoir des effets considérables sur l'écosystème.

Avec la diminution des écoulements et la perte d'habitats, les interactions biotiques vont être modifiées. En effet, les individus vont être regroupés dans des espaces plus restreints et la compétition va donc augmenter pour les ressources nutritives elles-mêmes présentes en faible quantité. Ce regroupement d'individus va également faire augmenter la prédation. Les proies seront plus accessibles pour les prédateurs, car regroupées, et elles auront moins de possibilité de fuite ou de refuge à cause de la perte de connectivité et d'habitats (Dewson et al., 2007b; Lake, 2003; Walters & Post, 2011).

Tous les effets des étiages sur les invertébrés vont être observables grâce aux paramètres décrivant les communautés. Les métriques des communautés vont être modifiées en fonction des impacts des étiages (Matthae et al., 2010; Piniewski et al., 2016). La composition de la communauté va en effet être modifiée, certaines espèces sont désavantagées contrairement à d'autres (Caruso, 2002; Drummond et al., 2015). La densité totale d'invertébrés diminue lors des étiages mais peut augmenter localement à cause du regroupement dans des espaces et habitats plus restreints (Cazaubon & Giudicelli, 1999; Wills et al., 2006). La réduction de l'écoulement provoque généralement une diminution des abondances spécifiques (Storey & Quinn, 2013). La richesse spécifique diminue aussi lors des faibles débits tout comme la diversité et la richesse taxonomiques (Cazaubon & Giudicelli, 1999; Dewson et al., 2007a; Lake, 2003; Stubbington et al., 2009). Enfin, la biomasse totale d'invertébrés diminue comme celle des filtreurs (Walters & Post, 2011). Ainsi, les variables des peuplements d'invertébrés traduisent les impacts des étiages sur ces communautés.

Les nombreux effets des étiages sur les invertébrés vont aboutir à la sélection de traits spécifiques favorisant la survie des individus. En effet, certains taxons ont des caractéristiques leur permettant de résister aux conditions amenées par la diminution des écoulements et le mode de fonctionnement de certains ne leur permet pas cette résistance (Sarremejane et al., 2018). Ainsi, l'on passe d'une communauté de filtreurs à gros corps à une communauté de collecteurs/cueilleurs à petit corps (Graeber et al., 2013; Lake, 2003). De nombreux facteurs entrent en jeu dans la résistance des invertébrés à l'assèchement et certains individus mettent en place des méthodes leur permettant de résister aux conditions imposées par les étiages.

c. Impacts sur les poissons

Les étiages vont également avoir des impacts importants sur les peuplements de poissons. Tout d'abord, les peuplements piscicoles sont impactés par la perte d'habitats et de diversité d'habitats. En effet, comme il l'a été vu précédemment, la proportion d'habitats lenticques augmente (Lake, 2003). Les espèces limnophiles, qui vivent dans les eaux calmes, sont donc favorisées par rapport aux espèces rhéophiles, qui vivent dans les eaux courantes (Jowett et al., 2005; Kalogianni et al., 2017). Les poissons sont aussi fortement impactés par l'augmentation de la température de l'eau et par la

diminution du taux d'oxygène dissous (Karaouzas et al., 2018; Pletterbauer et al., 2015). Les alevins et jeunes adultes sont les plus sensibles à l'augmentation de la température (Chauvet, 1983; Cowx et al., 1984).

La diminution des écoulements et la perte d'habitats vont amener les individus à se regrouper dans les zones plus profondes. Cette concentration de poissons dans des espaces plus petits va amener une augmentation des interactions biotiques (Capone & Kushlan, 1991; Magoulick & Kobza, 2003). La compétition entre individus va en effet s'amplifier à cause de la diminution des ressources disponibles, notamment des invertébrés. La croissance des poissons, notamment des jeunes individus, va être limitée car ils auront moins de ressources (Cowx et al., 1984; Rolls et al., 2012). La prédation va également augmenter avec le confinement des poissons dans des espaces restreints. Les prédateurs auront plus de facilité à attraper les proies qui auront moins de possibilités de s'échapper (Lake, 2003; Paugy, 1994).

La diminution des débits et l'assèchement des cours d'eau sont peu propices à la reproduction. Celle-ci va donc être altérée durant ces événements et le renouvellement de la population sera plus faible (Benejam et al., 2010; Chauvet, 1983). La mortalité des alevins augmente également et il y a une diminution du « recruitment », qui est le processus par lequel de jeunes et petits poissons survivent et deviennent des poissons légèrement plus âgés et plus grands (Benejam et al., 2010; Keaton et al., 2005; Lake, 2003). Le renouvellement des peuplements de poissons est donc limité par les étiages avec l'altération de la reproduction et l'impact plus fort qu'ils ont sur les alevins et jeunes individus.

Les étiages ont donc de nombreux impacts sur les communautés de poissons. Ceux-ci vont notamment être visibles au travers des paramètres décrivant les peuplements. Lors de l'arrivée d'un étiage, une diminution de l'abondance et de la densité de poissons est généralement observée (Magalhães et al., 2007). Les diversités et richesses spécifiques et taxonomiques vont aussi décliner car certaines espèces sont plus affectées que d'autres par les effets des étiages : pertes d'habitats, plages de tolérances, compétition et prédation (Davey & Kelly, 2007; Rolls et al., 2012). Les paramètres du peuplement permettent ainsi d'observer les effets des étiages sur les poissons et la structure de la communauté.

Les modifications des paramètres décrivant les communautés piscicoles vont être modulées par les caractéristiques des bassins résiduels se formant lors de l'assèchement. En effet, lors de l'assèchement, les poissons se regroupent dans des dépressions où l'eau persiste. La richesse spécifique augmente avec la profondeur du bassin, sa surface, sa stabilité temporelle, l'hétérogénéité des habitats et la taille du chenal (Dekar & Magoulick, 2007; Paugy, 1994). La dominance peut également varier : avec l'augmentation de la profondeur du bassin, de sa stabilité et de l'hétérogénéité des habitats, on passe d'une dominance des petites espèces à une dominance des espèces prédatrices et plus grandes (Davey & Kelly, 2007). Les modèles d'assemblages des poissons lors des étiages sont liés à des gradients de profondeur et de persistance et sont donc modulés par de nombreux paramètres des bassins résiduels.

Les étiages vont également avoir des effets sur diverses pratiques des peuplements piscicoles. La survenue d'étiage peut favoriser le déplacement des poissons mais également le restreindre. En effet, au tout début de l'événement, l'assèchement va amener certains poissons à se déplacer pour fuir celui-ci (Benejam et al., 2010; Matthews & Marsh-Matthews, 2003). L'assèchement peut également limiter l'accès à la mer et perturber ainsi la migration de certaines espèces et donc leur cycle de vie (Jowett et al., 2005). La survenue d'étiages peut aussi favoriser certains traits morphologiques qui améliorent la survie des poissons. Par exemple, les espèces ayant un régime alimentaire très spécifique auront plus de difficultés à survivre que les espèces avec un régime alimentaire plus large. Certaines espèces peuvent d'ailleurs adapter leur régime alimentaire en fonction des ressources disponibles (Paugy, 1994). Ainsi, les étiages vont impacter certaines pratiques et ainsi favoriser ou désavantager les individus.

d. Méthodes de survie et de recolonisation

Les étiages ont de multiples impacts sur les différentes communautés présentes dans les cours d'eau. Pour résister à ces événements intenses, les organismes mettent en place diverses pratiques de survie et recolonisation.

Afin de résister aux conditions d'étiages, les invertébrés peuvent utiliser des refuges. La zone hyporhéique est l'un des principaux refuges dont se servent les invertébrés pour se protéger des conditions d'étiages. Elle sert de refuge thermique, lorsque la température devient trop importante pour les individus (Benkebil et al., 2020; Dewson et al., 2007a; Walters & Post, 2011). Elle peut également être un refuge pour les algues et les bactéries (Sabater et al., 2016). Lorsqu'il n'y a pas de réelle zone hyporhéique, les invertébrés peuvent tout de même s'enfoncer dans le substrat pour résister aux conditions (Stubbington et al., 2009). D'autres invertébrés peuvent se réfugier sous les pierres présentes dans le lit. Les bassins résiduels, qui contiennent encore de l'eau sont également des refuges fortement utilisés par les invertébrés pour résister à l'assèchement (Légier & Terzian, 1981; Storey & Quinn, 2013). Les refuges permettent aux invertébrés et à certains microorganismes de trouver de meilleures conditions de vie et donc de pouvoir résister aux étiages.

Les poissons peuvent aussi utiliser des refuges pour résister aux conditions d'étiages. Les bassins résiduels sont aussi des refuges utilisés par les poissons lors des étiages. Certains peuvent également se déplacer au début de l'assèchement pour se réfugier dans des eaux permanentes ou moins affectées par l'étiage (Pletterbauer et al., 2015). Ils pourront ainsi trouver des conditions favorables à leur survie pendant la durée de l'assèchement et recoloniser le tronçon perturbé à la fin de l'étiage (Davey & Kelly, 2007).

La dérive, qui augmente lors des étiages, permet aux invertébrés de se déplacer pour également trouver des zones aux conditions plus favorables. Il y a une diminution de la dérive passive mais une augmentation de la dérive active (Dewson et al., 2007b; Minshall & Winger, 1968; Walters & Post, 2011). La dérive est également un outil de recolonisation dans les cours d'eau intermittents où l'assec est vraiment prononcé. En effet, elle permet aux adultes restés dans les endroits en eau de se disperser et de repeupler le milieu. La dérive permet donc aux invertébrés d'échapper aux conditions d'étiages mais aussi de recoloniser le milieu après l'assèchement.

Les invertébrés ont également une stratégie de survie et de recolonisation avec les sédiments des cours d'eau. Au début de l'assèchement, les œufs sont déposés dans les sédiments et passent ainsi la période d'assec. Lors de la remise en eau, les sédiments sont réhydratés et permettent la reprise du cycle de vie avec le développement des larves qui peuvent par la suite recoloniser le milieu en eau (Storey & Quinn, 2013; Stubbington et al., 2009). La synchronisation entre le cycle biologique des invertébrés et le cycle hydrologique est donc un élément important pour leur survie. Toutefois, la durée et l'intensité de l'événement sont tout aussi importantes. Si l'étiage est trop long ou trop intense, les stratégies mises en place par les individus ne suffiront pas pour survivre (Cowx et al., 1984; Légier & Terzian, 1981).

Certaines espèces d'invertébrés et de poissons sont plus adaptées à l'assèchement des cours d'eau. En effet, la majorité des invertébrés retrouvés lors des assecs ont des traits morphologiques ou comportementaux associés à la résistance à la déshydratation : comportement fouisseur, spiracles respiratoires (Drummond et al., 2015). Chez les poissons, certains peuvent adapter leur régime alimentaire en fonction des ressources disponibles et être ainsi moins impactés par la diminution de leur quantité (Paugy, 1994). Certaines espèces peuvent donc être plus affectées que d'autres selon la physiologie et le comportement de l'organisme (Taylor, 1983). Les réponses vont ainsi dépendre des taxons mais il y a une importance d'adaptation physiologique et comportementale pour résister à l'assèchement des cours d'eau. La résilience est donc la clé de la survie pour résister aux assecs (Davey & Kelly, 2007; Magalhães et al., 2007; Stubbington et al., 2009).

2. Analyses des données

A. Méthodes d'analyses statistiques utilisées dans la littérature

Afin de mettre en lien les étiages et leurs impacts sur la biologie, différentes méthodes d'analyses statistiques sont utilisées dans les études. Dans la majorité des cas, les auteurs étudient les effets des étiages directement sur les peuplements. Les variations du milieu sont directement mises en lien avec les structures des peuplements et les métriques les décrivant. En revanche, très peu d'auteurs étudient les effets des étiages sur les indices biologiques.

De nombreux auteurs analysent l'impact des étiages sur les peuplements des cours d'eau. Ces méthodes, basées sur les peuplements, permettent de mettre en lien les variations du milieu avec les peuplements notamment grâce à des comparaisons amont/aval ou avant/après. Il est ainsi possible d'étudier l'évolution des peuplements et de leur structure selon les variations du milieu en période d'étiage. Deux types d'analyses sont utilisées pour mettre en lien les peuplements et les changements induits par les étiages: les analyses de proximité (ACP, RDA*, ACC*, AFC* & DCA*) et les analyses de régression (MLG*, modèles linéaires mixtes & autres). Dans les études, ces méthodes permettent d'étudier les impacts des étiages directement sur les peuplements grâce aux métriques les décrivant (taxons, diversité, richesse...). Les analyses de proximité permettent de classer et regrouper les variables explicatives du jeu de données. Il est ainsi possible de voir le niveau de corrélation des variables : si ce sont plutôt des corrélations positives, négatives ou alors si elles ne sont pas corrélées. Ces méthodes permettent de synthétiser les informations contenues dans le jeu de données et de faciliter l'interprétation, notamment grâce à un graphique. Les analyses de régression permettent quant à elles d'obtenir une équation qui combine les différentes variables explicatives. Cette équation permet d'expliquer le résultat obtenu où chaque variable explicative a un poids différent.

Très peu d'études se basent sur les indices biologiques pour étudier les impacts des étiages. Dans les quelques études disponibles, on retrouve des indices peu communs à la France comme l'indice BMWP* basé sur les invertébrés. Concernant les analyses statistiques utilisées pour étudier ces indices, on retrouve le modèle linéaire général et la régression des moindres carrés pondérés. Il y a également des comparaisons simples qui sont faites en comparant les résultats obtenus entre deux périodes ou stations avec des tests de significativité. Cependant, malgré ce manque d'études, plusieurs méthodes d'analyses statistiques pourraient également être utilisées pour étudier l'impact des étiages sur les indices biologiques. Le choix des méthodes dépendra notamment du jeu de données à analyser, des objectifs visés et des essais effectués avec les différentes méthodes.

B. Constitution des tables de données

Le jeu de données initial, transmis par ANTEA Group, était composé de 6 matrices mais seulement 3 ont été utilisées pour construire les nouvelles tables de données. Les deux premières matrices contiennent les données biologiques mensuelles et annuelles par station du RCS. La troisième matrice contient les données mésologiques par station du réseau HYDRO. Les stations du réseau RCS sont identifiées par un code intitulé « cdstation » et celle du réseau HYDRO par « cdstation_hydro ». Dans la matrice mésologique, les stations du réseau HYDRO sont associées à un code « cdstation » correspondant à la station du réseau RCS à laquelle elles ont été assemblées.

L'objectif est de créer une table rassemblant les données biologiques et mésologiques pour chaque station. Dans ACCESS cela peut se faire grâce à l'outil requête qui permet d'associer des informations provenant de différentes matrices. Pour assembler des données provenant de différentes tables il est nécessaire d'avoir un champ commun entre les matrices. Cela permettra d'associer correctement les données des matrices utilisées. Dans le cas présent, le champ de jointure est « cdstation ». Après avoir indiqué le champ de jointure, il faut sélectionner les champs des matrices que l'on veut intégrer dans la nouvelle table : les données biologiques et mésologiques. L'outil requête permet alors de créer une nouvelle table comprenant l'ensemble des champs demandés pour chaque station présente dans toutes les matrices initiales.

Ainsi, une première table a été créée en associant les données météorologiques et les données biologiques mensuelles. De même, une seconde table regroupant les données météorologiques et les données biologiques annuelles a été constituée. Une autre matrice regroupant des données sur des pressions par masses d'eau a permis de constituer d'autres tables. Les stations du réseau RCS ont également été associées aux données de pression de la masse d'eau à laquelle elles appartiennent. Ainsi, deux nouvelles tables ont été créées regroupant les données météorologiques, les données de pressions et les données biologiques mensuelles ou annuelles. Au total, 4 nouvelles tables de données ont été constituées. Cependant, pour une question de temps, les analyses statistiques ont seulement été réalisées sur la table regroupant les données météorologiques et biologiques mensuelles. Les autres tables pourront tout de même être utilisées lorsque ce travail sera repris par pour poursuivre les analyses. La table de données utilisée a été exportée sous Excel pour la réalisation des analyses statistiques avec XLSTAT.

C. Analyses statistiques et cartographie

a. Classification Ascendante Hiérarchique

Tout d'abord, une Classification Ascendante Hiérarchique a été réalisée sur le jeu de données qui contient 375 observations. Cette méthode permet de regrouper les objets selon leur niveau de dissimilarité. Ainsi, on obtient une classification des observations selon leur similarité. Cette analyse a été réalisée sur les paramètres météorologiques du jeu de données pour voir si certaines stations pouvaient être similaires selon ces paramètres. Les résultats ont montré que 3 groupes de stations pouvaient être constitués (Annexe 6). Le premier groupe contient 133 stations, le deuxième 53 et le troisième 189.

Par la suite, plusieurs régressions PLS ont été appliquées sur les 3 groupes de stations. La régression PLS permet de déterminer les variables les plus explicatives du jeu de données en leur attribuant chacune un poids. Ici, toutes les régressions PLS ont été appliquées de sortes à définir les paramètres météorologiques expliquant le mieux les données biologiques. Ainsi, pour chacun des 3 groupes identifiés par la CAH, une régression PLS sur l'ensemble des données biologiques a d'abord été effectuée. Ces analyses permettent de voir que la rugosité du lit, l'infiltration et le ruissellement sont assez explicatifs des données biologiques pour chacun des groupes (Figure 3). Néanmoins, certains paramètres sont explicatifs des résultats observés seulement pour certains groupes comme la persistance du réseau (IDPR) dans les groupes 2 et 3. Le potentiel d'humidité du sol (twi) est très explicatif des résultats biologiques observés dans le groupe 1 mais l'est beaucoup moins pour les groupes 2 et 3. Pour identifier si les variables explicatives diffèrent selon les indices biologiques, des régressions PLS ont été effectuées sur ces indices pour chacun des 3 groupes. Il est ainsi possible d'observer que l'indice de persistance du réseau est explicatif des indices portant sur les diatomées (IPS & IBD) pour chacun des 3 groupes (Annexes 7, 8 & 9). L'infiltration et le ruissellement semblent avoir un poids dans chacun des indices biologiques. Les résultats de ces analyses seront présentés et analysés plus en détails par la suite.

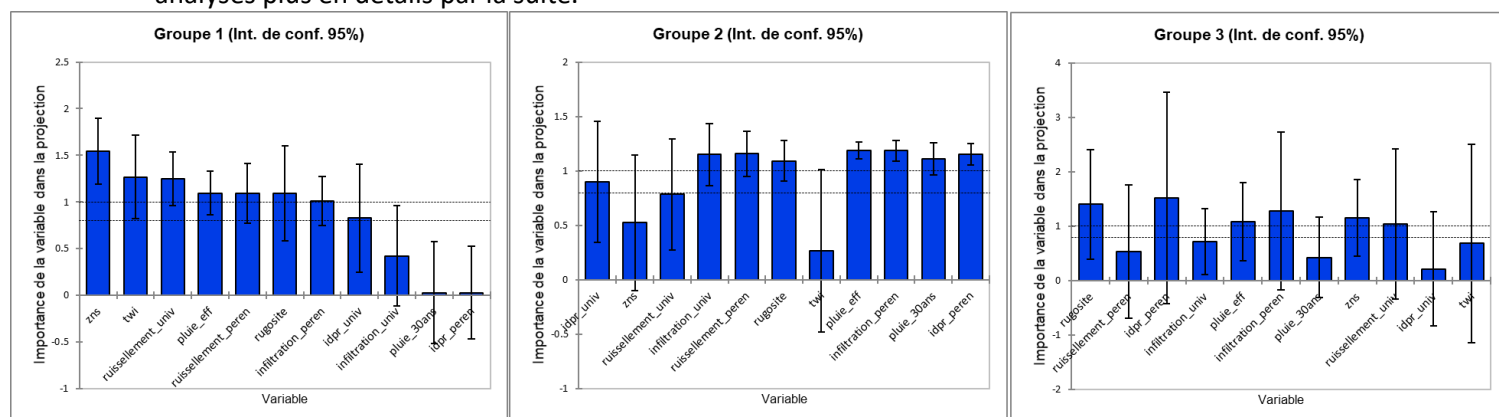


Figure 3: Résultats des régressions PLS pour l'ensemble des données biologiques

Enfin, pour étudier si la localisation des stations pouvait expliquer leur similarité, les résultats de la CAH ont été cartographiés. Cela a permis de voir si les stations appartenant à un même groupe étaient proches d'un point de vue géographique ou non. Au final, peu de stations sont cartographiées car malgré un nombre important d'observations, certaines se réfèrent à la même station physique et diffèrent seulement par le mois et l'année des données. Il est important de noter que toutes les observations effectuées à diverses périodes (mois et année) pour une même station appartiennent au même groupe dans la CAH. A première vue, il semble y avoir un léger regroupement par stations du même groupe (Figure 4). En effet, 4 stations du groupe 2 sont regroupées au Nord de la zone d'étude et les deux autres au Sud. Les stations du groupe 1 semblent regroupées plutôt au centre de la zone avec certaines plutôt à l'Est, d'autres à l'Ouest ou encore plutôt au Sud. Enfin, les stations du groupe 3 sont regroupées de manière horizontale, d'Est en Ouest sur deux endroits de la zone étudiée. Il semblerait ainsi que la localisation des stations puisse expliquer leur ressemblance. Néanmoins, pour valider ces observations, des recherches plus poussées doivent être effectuées pour trouver le ou les paramètres qui expliquent ces résultats. Ces paramètres pourraient notamment être rattachés aux caractéristiques des bassins versants : géologie, artificialisation, usage du sol...

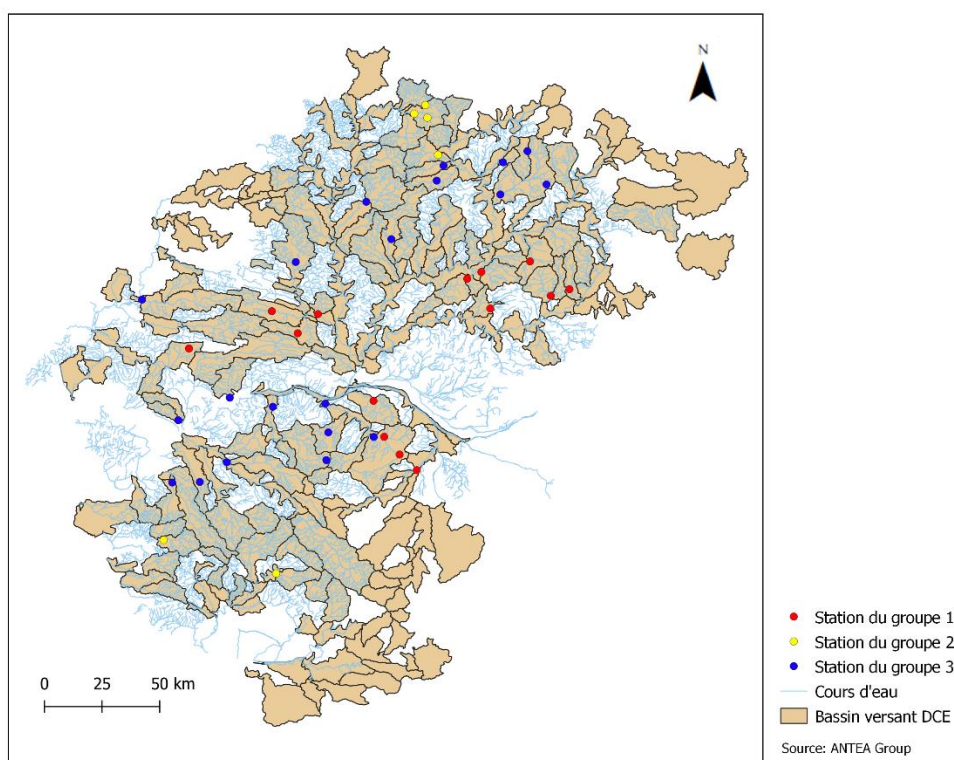


Figure 4: Cartographie des groupes de stations identifiés par CAH

b. Régressions PLS

Ensuite, plusieurs autres régressions PLS ont été réalisées sur le jeu de données. Ces analyses sont effectuées sur l'ensemble des stations contrairement à ce qui a été fait précédemment où les stations étaient séparées en 3 groupes. La première analyse a été réalisée sur l'ensemble des données biologiques pour voir quels paramètres mésologiques étaient les plus explicatifs (Annexe 10). Il en ressort ainsi que le potentiel d'humidité du sol, la rugosité et la persistance du réseau sont les paramètres qui semblent structurer le plus le jeu de données. Pour compléter ces observations, d'autres régressions PLS ont été effectuées sur les différents indices biologiques : I2M2*, IPS & IBD, IPR et les 3 indices IBG (IBG, IBG_eq & IBGN) (Annexe 11). On peut ainsi observer que le potentiel d'humidité du sol et la zone non saturée ont un rôle majeur dans l'explication de l'IBG, l'IPR et l'I2M2

mais pas pour l'IPS et l'IBD. A l'inverse, l'IPS et l'IBD sont plutôt dépendant du ruissellement et de l'infiltration, ce qui n'est pas le cas des autres indices (Tableau 1).

Tableau 1: Résultats des régressions PLS effectuées

Jeu de données	Général	IBG-eq & IBGN	I2M2	IBD & IPS	IPR
Général	Twi Rugosité IDPR_peren	Twi ZNS Rugosité	Twi Rugosité Pluie_30ans ZNS	IDPR_peren Infiltration_peren Infiltration_univ Rugosité	Twi Rugosité ZNS Pluie_30ans
Groupe 1 CAH	ZNS Twi Ruissellement_univ Pluie_eff Ruissellement_peren Rugosité	ZNS Ruissellement_peren Ruissellement_univ Pluie_eff	ZNS Ruissellement_univ Infiltration_peren Pluie_eff Rugosité	Ruissellement_univ ZNS Ruissellement_peren Pluie_eff IDPR_univ Infiltration_peren	Twi ZNS Rugosité Ruissellement_univ
Groupe 2 CAH	Ruissellement_peren Infiltration_peren Pluie_eff Infiltration_univ IDPR_peren Pluie_30ans Rugosité	IDPR_univ Infiltration_univ Ruissellement_peren Pluie_eff	IDPR_univ ZNS Infiltration_univ Ruissellement_peren	Pluie_30ans Pluie_eff IDPR_peren Rugosité	Infiltration_peren Pluie_eff IDPR_peren
Groupe 3 CAH	IDPR_peren Rugosité Infiltration_peren ZNS	ZNS Twi Rugosité	ZNS Twi Rugosité Ruissellement_peren	IDPR_peren Infiltration_peren Pluie_eff Infiltration_univ ZNS Rugosité	Ruissellement_peren IDPR_peren Infiltration_peren

Grâce à ces différentes analyses, il est possible de comparer les résultats obtenus sur l'ensemble des stations à ceux obtenus sur les 3 groupes de stations identifiés en CAH. Ainsi, pour l'ensemble des données biologiques, comme il l'a été vu précédemment, 3 paramètres mésologiques se distinguent sur l'ensemble des stations mais ceux-ci sont complétés par d'autres paramètres lorsque les stations sont séparées en 3 groupes. Pour le groupe 1 de CAH, le ruissellement a une place importante alors que c'est plutôt le cas de l'infiltration pour le groupe 2. Concernant les indices IBG, les paramètres expliquant le mieux l'ensemble des stations sont également ceux expliquant le mieux le troisième groupe. Les groupes 1 et 2 sont quant à eux aussi influencés par le ruissellement et l'infiltration. A propos de l'I2M2, la zone non saturée est un paramètre explicatif de l'ensemble des stations et de chacun des groupes de CAH. Le potentiel d'humidité semble explicatif de l'ensemble des stations mais est ensuite retrouvé seulement dans le groupe 3. Le ruissellement semble influencer chacun des groupes mais n'est pas dans les plus explicatifs lorsque les stations sont toutes étudiées ensemble. Concernant l'IBD et l'IPS, la persistance du réseau semblerait explicative pour chaque étude réalisée. Néanmoins, l'infiltration semble également importante à l'échelle de l'ensemble des stations mais est principalement retrouvée pour le groupe 3, tandis que l'on retrouve plutôt le ruissellement dans le groupe 1. Enfin, à propos de l'IPR, le potentiel d'humidité, la zone non saturée, la rugosité et la pluie sur 30 ans sont les plus explicatifs à l'échelle de l'ensemble des stations. Cependant, les 3 premiers paramètres ne sont retrouvés que dans le groupe 1 et la pluie sur 30 ans n'apparaît dans aucun des groupes. Les groupes 2 et 3 sont principalement expliqués par l'infiltration, le ruissellement et la persistance du réseau. Ces observations sont réalisées sur les paramètres qui ressortent comme les plus fortement explicatifs pour chaque analyse. Toutefois, d'autres paramètres peuvent tout de même avoir un poids important dans un jeu de données sans ressortir dans les plus explicatifs. Cela pourrait expliquer le fait que certains paramètres sont explicatifs à l'échelle de l'ensemble des stations mais ne sont peu ou pas présents au niveau des groupes de CAH ou, à l'inverse, qu'un paramètre soit fortement explicatif d'un certain groupe mais ne ressort pas à l'échelle de l'ensemble des stations. Au regard de l'ensemble des résultats, la rugosité et la zone non saturée semblent les paramètres les plus explicatifs sur l'ensemble des analyses menées. La pluie efficace, l'infiltration, le ruissellement, le potentiel d'humidité du sol et la persistance du réseau ont également dans la structure du jeu de

données. A l'inverse, la pluie sur 30 ans semble être le paramètre le moins explicatif. Ces résultats permettent de faire de premières observations quant aux paramètres météorologiques pouvant avoir une influence sur les indices biologiques. C'est un travail préliminaire qui amènera à des études plus approfondies par la suite.

c. Analyse en Composantes Principales

Enfin, une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été réalisée sur les paramètres météorologiques du jeu de données. Cette analyse permet de créer de nouvelles variables explicatives à partir des variables initiales pour dégager les grands axes qui caractérisent le jeu de données. Au total, 9 variables ont été créées à partir des paramètres météorologiques pour expliquer le jeu de données biologiques. Toutefois, ces nouvelles variables n'ont pas le même poids dans l'explication du jeu de données : la première l'explique à 59%, la deuxième à 18% et la troisième à 12%. Les autres variables expliquent le jeu de données à moins de 5% et même à moins de 1% pour certaines. Ainsi, l'analyse des résultats va se concentrer sur les 3 premières variables qui sont les plus explicatives du jeu de données. Un premier regroupement des stations a pu être fait en se basant sur les deux premières variables. Cela se fait grâce à la répartition des stations selon les deux variables. Ici, 4 groupes de stations ont été distingués grâce au biplot représentant les observations et les variables (Figure 5). Ce genre de graphique permet d'observer le niveau de similitude entre deux observations grâce à leur projection sur l'axe d'une variable. La projection d'un vecteur variable initiale permet également de voir son niveau de contribution aux nouvelles variables. Par exemple, la première variable semble plutôt expliquée par la quantité d'eau reçue et son devenir alors que la deuxième par l'humidité du sol.

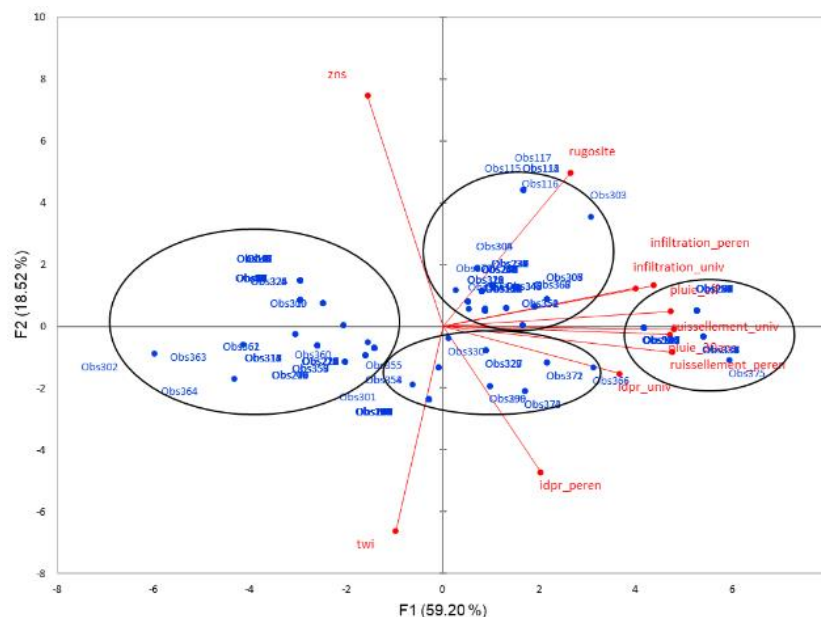


Figure 5: Biplot des observations et variables

Ensuite, ces groupes ont été précisés en se référant à la troisième variable principale. Au total 11 groupes de similarité ont été constitués grâce aux trois premières variables qui expliquent plus de 90 % du jeu de données. Ces groupes ont ensuite pu être cartographiés pour voir si la localisation des stations pouvait expliquer leur ressemblance. Ici, la cartographie des stations ne permet pas de voir un réel regroupement géographique des stations appartenant au même groupe (Figure 6). Les stations appartenant aux groupes 2, 5, 6 et 9 semblent tout de même être quelque peu regroupées. Des études approfondies seraient également nécessaires pour voir si certains paramètres du territoire pourraient expliquer la similitude des stations.

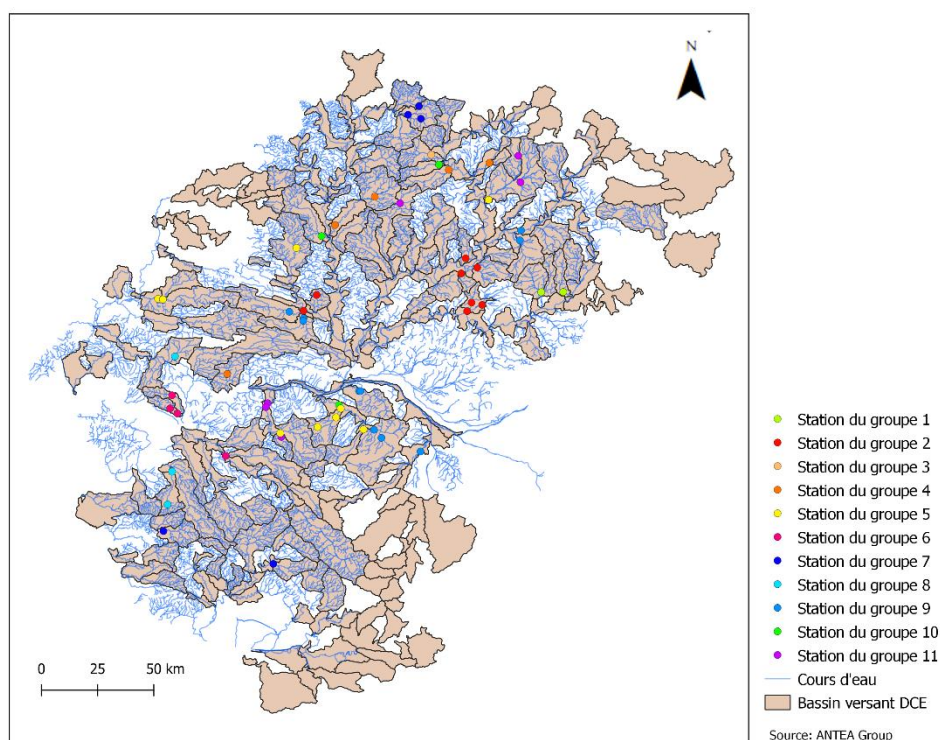


Figure 6: Cartographie des groupes de stations identifiés par ACP

3. Terrain étiages

J'ai pu participer aux missions de terrain portant sur le suivi des étiages sur 6 têtes de bassins versants du territoire de la région Pays de la Loire. Ces missions ont eu lieu à 3 reprises aux mois de juin, juillet et août. Avec M. FOUREL, nous avons prospectés le bassin du Lys et de la Sanguèze. Le bassin du Lys comptait initialement de 18 stations. Cependant 2 stations se trouvant des propriétés privées fermées ont été supprimées. Le bassin de la Sanguèze était composé de 15 stations mais 4 étaient soit en propriété privée soit inaccessible (buse, végétation...) et ont été supprimées. Ainsi, le bassin du Lys comptait 16 stations et celui de la Sanguèze 11. Les stations prospectées étaient situées sur des petits cours d'eau situés en amont des bassins versants (Figure 7)

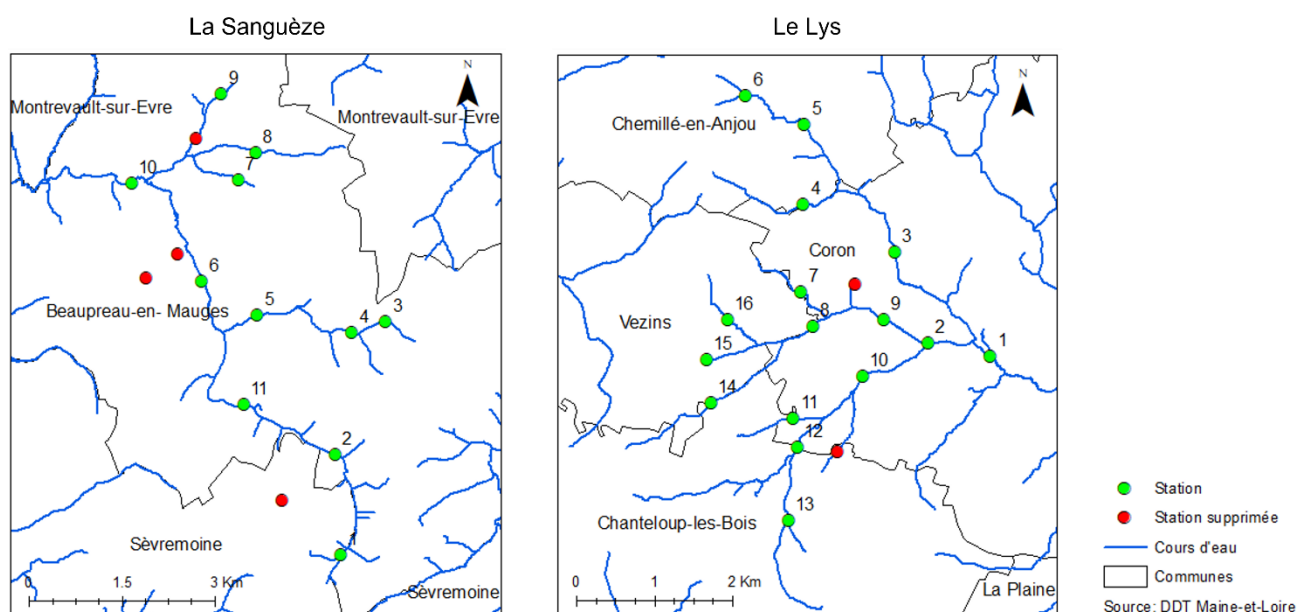


Figure 7: Stations des bassins versants de la Sanguèze et du Lys

Les relevés à réaliser portaient sur la description de la station et sur des prélèvements. La description de la station a été réalisée seulement lors des cessions de juin et juillet et n'était plus nécessaire après car ces mesures ne changent pas. La description de la station comprenait une description du profil général de la station (rectiligne, limité, sinueux...) et de sa classe morphodynamique (thalweg, chenalisé, élargi, incisé...). Il y avait également une caractérisation de la continuité de la ripisylve et de la végétation des berges (herbacée, arborée, arbustive...). Enfin, la description de la station comportait une détermination du profil en travers au niveau d'une mouille et d'un radier avec notamment la hauteur et la largeur plein bord. La station et les différentes mesures réalisées ont été illustrées par des photos.

La réalisation des prélèvements a eu lieu à chacune des cessions de terrain. Ce protocole comportait d'abord une caractérisation du point d'observation avec notamment la date et les conditions météorologiques. Ensuite, il y avait une détermination des conditions d'écoulement avec la modalité de l'écoulement (visible, non visible, assec, hyporhéique...) et la part d'assèchement du linéaire. La qualité de l'eau était également évaluée. Cela comprenait la réalisation de mesures physico-chimiques à l'aide de sondes : température, oxygène dissous et conductivité. Une mouille et un radier étaient également décrits avec la largeur mouillée, la hauteur d'eau et la caractérisation du substrat (Annexe 12). Enfin, les habitats ont été caractérisés par la connectivité des habitats de survie et des habitats sous-berges et le niveau d'assèchement des fosses, radiers et de la zone hyporhéique.

Sur le terrain, nous avons pu observer que la majorité des stations de prélèvements sont en mauvais état d'un point de vue morphologique. En effet, beaucoup de cours d'eau sont incisés et élargis ce qui a des répercussions sur l'écoulement et la physico-chimie. De nombreuses stations se trouvant au milieu de parcelles agricoles, nous avons pu voir l'impact du bétail sur le cours d'eau. Les bovins ont en effet un point d'accès au cours d'eau pour s'abreuver mais cela cause un fort piétinement. La berge est donc détruite comme une partie du lit mineur et cela provoque un apport important de particules fines au cours d'eau (Figure 8). L'aménagement d'abreuvoirs spécifiques permettrait de limiter l'impact sur les cours d'eau. La période où les 3 cessions de terrains ont été réalisées a été marquée par de nombreuses précipitations, plus fréquentes que d'ordinaire. Ces conditions ont limité l'observation d'assèchement sur les bassins prospectés. En effet, sur l'ensemble des cessions, seulement 2 stations ont été observées en assec au mois d'août. Des échanges avec les agriculteurs nous ont appris que ces linéaires étaient habituellement asséchés dès le mois de juillet. Ces cessions de terrains nous ont donc permis de suivre l'évolution de l'écoulement mais aussi d'observer le cours d'eau et son environnement pour voir les éléments impactant le milieu.



Figure 8: Abreuvoir naturel et piétinement

V. Missions annexes

En complément de ma mission principale, j'ai pu participer à des missions annexes avec le pôle hydrobiologie. La majorité de ces missions ont concerné la réalisation d'inventaires biologiques pour effectuer par la suite des indices biologiques (IPR, IBG-DCE). Une mission a tout de même concerné l'application d'un protocole sur l'hydromorphologie des cours d'eau (CARHYCE).

1. Pêche électrique, IPR et pêche de sauvegarde

L'Indice Poisson Rivière (IPR) est un indice biologique permettant de caractériser l'état écologique d'un cours d'eau selon son peuplement de poissons. Ce peuplement est comparé à un peuplement théorique potentiellement présent dans le même cours d'eau pas ou peu modifié par l'homme. L'inventaire piscicole est réalisé grâce à une pêche électrique.

Le principal responsable de la réalisation des IPR et des pêches électriques au sein de la société RIVE est M. COLAS. Pour la réalisation de ces pêches électriques, 4 opérateurs sont nécessaires : un pour manier l'anode qui permet d'attirer les poissons, deux munis d'épuisettes pour récupérer les poissons et un avec une bassine pour stocker les individus. Pour manier l'anode, il est nécessaire de suivre une formation spéciale. En revanche, la récupération des poissons grâce aux épuisettes et le maintien de la bassine ne nécessitent pas de formation particulière. J'ai donc pu occuper ces deux derniers rôles.

Le principe d'une pêche électrique est simple : un faible champ électrique est émis dans l'eau grâce à l'anode tenu par l'un des opérateurs et la cathode qui est laissée dans l'eau en arrière du groupe. Ce champ électrique va interférer avec le système nerveux du poisson par sa ligne dorsale et provoquer une nage forcée en direction de l'anode. Le poisson peut alors être récupéré grâce à une épuisette et stocké dans la bassine. L'ensemble de la station est ainsi prospecté d'aval en amont lors de 2 passages. Pour la réalisation d'IPR, les poissons pêchés sont ensuite déterminés au niveau de l'espèce, comptés puis des mesures de biométrie sont faites : poids et taille. Les poissons sont relâchés après la réalisation des deux passages. Lors d'une pêche de sauvetage, les individus sont simplement déplacés dans un autre endroit non affecté par les travaux.

Les opérateurs ont besoin d'un équipement de sécurité pour participer à une pêche électrique. Des waders sont nécessaires pour ne pas se mouiller mais aussi pour être isolé du champ électrique. Le port de gants isolants est également nécessaire pour se protéger du champ électrique. Des lunettes polarisantes peuvent également être utiles pour limiter les reflets sur l'eau et voir les poissons approcher. Par sécurité, les personnes se trouvant en berges doivent également être munies de bottes pour être isolées du champ.

Les participations à ces pêches électriques m'ont ainsi permis de me rendre en Mayenne (53) pour la réalisation d'IPR. Au total 4 pêches ont été réalisées, deux sur un bassin versant avec une station de contrôle et une station après avoir subi des travaux. Les deux autres pêches se sont tenues sur un autre bassin versant, l'une sur un cours d'eau avant travaux et l'autre sur un cours d'eau après travaux de recharge granulométrique. Deux autres pêches pour des calculs d'IPR ont eu lieu sur le territoire du Syndicat d'Aménagement de la Vallée de l'Indre (SAVI*). Les deux stations étaient prospectées avant travaux. Les dernières pêches auxquelles j'ai pu participer ont eu lieu dans le cadre de travaux d'aménagement de l'autoroute A10 en Indre-et-Loire (37). Ces travaux peuvent potentiellement avoir un impact sur un cours d'eau passant sous l'autoroute et une étude d'impact doit donc être réalisée. Des pêches électriques pour la réalisation d'IPR ont eu lieu en amont et en aval du passage de l'autoroute. Ces pêches étaient également des pêches de sauvegarde car tous les poissons ont été relâchés dans un secteur situé plus à l'aval. Une autre pêche de sauvegarde a été faite dans une mouille formée par la présence du pont de l'autoroute.

Lors de ces pêches diverses espèces peuvent être pêchées selon la localisation des cours d'eau. Ainsi, on peut retrouver des Chabots, Gardons, Loches Franches, Vairons, Perches communes, Chevesnes ainsi que des Truites dans certains cours d'eau. Des espèces envahissantes comme les Perches Soleil ou les Ecrevisses Signal, Américaine ou Louisiane peuvent également être capturées (Annexe 13). Dans ces cas-là, les individus ne peuvent pas être relâchés et doivent être achevés. Pour les Perches Soleil cela se fait en les endormant avec de l'eugénol normalement utilisé pour calmer les Anguilles et Lamproies lors de la biométrie. Concernant les écrevisses, celles-ci sont châtrer, c'est-à-dire que leur intestin est enlevé, pour les empêcher de survivre.

2. IBG-DCE, CARHAB et IBD

Tout comme l'IPR, l'Indice Biologique Global (IBG-DCE) permet de caractériser l'état écologique d'un cours d'eau mais cette fois-ci grâce au peuplement de macroinvertébrés aquatiques. Au sein du bureau d'étude RIVE, M. BLEMUS est le responsable de la réalisation des IBG-DCE. Un seul opérateur peut être suffisant pour la réalisation de ce protocole mais un opérateur supplémentaire permet un gain de temps et d'efficacité. J'ai donc pu accompagner M. BLEMUS lors de la réalisation de certains IBG-DCE.

La réalisation d'un protocole IBG-DCE suit la norme AFNOR NF T 90-333. Ce protocole se traduit par 12 prélèvements d'invertébrés sur différents types de substrats. Ces prélèvements sont définis selon l'habitabilité des substrats, leurs représentativités à l'échelle de la station et les classes de vitesses d'écoulement. Pour cela, 3 groupes de prélèvements sont définis :

- 4 prélèvements sont réalisés sur les habitats marginaux, c'est-à-dire qui recouvrent moins de 5% de la station, en suivant l'ordre d'habitabilité des substrats (du plus habitable au moins habitable).
- 4 prélèvements sont faits sur les habitats dominants, les plus présents au niveau de la station, en suivant également l'ordre d'habitabilité.
- 4 prélèvements sont réalisés sur les habitats dominants mais en ciblant les substrats les plus répandus en termes de superficie.

Pour les deux derniers groupes de prélèvements, l'objectif est de répartir les prélèvements sur l'ensemble de la station pour obtenir une représentation des différents faciès. Si le même substrat doit être prélevé à plusieurs reprises, il sera choisi de le faire dans des faciès d'écoulement différents. Les prélèvements sont ensuite fixés dans l'alcool puis les individus sont comptés et déterminés en laboratoire.

Lors de ma présence pour la réalisation d'IBG, j'ai pu assister M. BLEMUS en faisant une partie des missions secondaires du protocole IBG. J'ai ainsi pu réaliser des mesures physico-chimiques, température de l'eau, pH, conductivité et oxygène dissous, à l'aide d'une sonde sur chacune des stations prospectées. J'ai également pu réaliser des schémas de la station représentant les éléments remarquables comme les radiers, mouilles, blocs et arbres. Ces schémas seront retravaillés sur ordinateur et intégrés dans les rapports d'études. Enfin, j'ai pu fixer et fermer les sacs de prélèvements pour conserver les individus jusqu'à leur analyse en laboratoire. De retour à Chinon, j'ai pu effectuer du travail de laboratoire. Il s'agit de trier les individus présents dans un échantillon et donc de les extraire pour qu'ils puissent être identifiés au genre par la suite (Annexe 14). Si un grand nombre d'individus d'une même famille est présent, ils sont sous-comptés et placés dans un pilulier particulier. Les autres individus, moins abondants, sont placés dans un second pilulier.

La première cession d'IBG-DCE auxquels j'ai participé était commanditée par la Fédération de Pêche de la Manche (50) et a donc eu lieu dans ce département. Le premier jour 3 stations ont été prospectées sur le cours d'eau de la Sienne (Annexe 15). Cette étude était une étude après travaux qui ont eu lieu sur la station centrale. Le deuxième jour, une étude avant travaux a été menée sur 5 stations du Trottebecq près de Cherbourg-en-Cotentin (Annexe 16). Une dernière étude devait avoir lieu le troisième jour sur le cours d'eau de la Soules. Toutefois, un orage s'est produit durant la nuit et a provoqué une montée et un assombrissement des eaux rendant impossible la réalisation des

prélèvements. Une autre cession d'IBG a eu lieu dans le cadre de l'étude d'impact des travaux sur l'A10, le même jour que les IPR et les pêches de sauvegarde. J'ai ainsi pu assister M. BLEMUS une nouvelle fois pour la réalisation de ces prélèvements.

En parallèle de la réalisation d'IBG, M. BLEMUS peut également pratiquer d'autres études. Sur les cours d'eau de la Manche il a, par exemple, mis en œuvre le protocole CARHAB*. Il a lui-même mis en place ce protocole qui est propre à la société RIVE. Ce protocole permet de caractériser les habitats présents dans le cours d'eau grâce à la description du couple substrat/vitesse qui conditionne les habitats des invertébrés. Pour l'étude d'impact des travaux réalisés sur l'autoroute A10, M. BLEMUS a également prélever des diatomées pour la réalisation d'un IBD. L'Indice Biologique Diatomées permet de renseigner sur la qualité du cours d'eau à l'aide du peuplement de diatomées, microalgues unicellulaires. Les prélèvements sont réalisés à l'aide d'une brosse à dent en frottant celle-ci sur des supports durs comme les pierres. L'analyse des échantillons est ensuite confiée à un laboratoire spécialisé dans les diatomées.

3. Protocole CARHYCE

Le protocole CARHYCE permet de quantifier l'altération hydromorphologique des cours d'eau. Cela permet par la suite d'adapter les mesures de gestion du milieu et de programmer des opérations de restauration.

La réalisation d'un CARHYCE est composée de plusieurs tâches. La plus longue est la caractérisation du cours d'eau en plusieurs tronçons. Pour cela, la station d'étude est séparée en 15 transects dont l'espacement est défini en fonction de la largeur du lit. Sur chacun de ces transects sont mesurés un certain nombre de points dont l'espacement est calculé en fonction de la largeur en eau. Pour chaque transect, une description générale est faite sur les moitiés amont et aval de l'espacement avec les transects suivants et précédents. Cette description comprend la détermination du faciès d'écoulement (radier, mouille, plat courant, plat lentique), la description de la ripisylve en rive droite et gauche (herbacée, arbustive, arborée), la composition de la berge (matériaux naturels, artificiels...) et la présence d'habitats à l'échelle du transect entier (sous-berge, végétation surplombante...). La largeur plein bord, la largeur mouillée et hauteur mouillée du transect sont également mesurées. Ensuite, pour chaque point du transect est défini la différence avec le niveau d'eau (positif si en eau et négatif si hors d'eau), le substrat (terre végétalisée, sable, gravier, argile, bloc, vase...) et la présence d'habitats supplémentaires (sous-berge, végétation aquatique, débris ligneux...). La réalisation du protocole CARHYCE implique également une mesure de la pente de la station, du débit ainsi que de la granulométrie. La mesure de la pente se fait grâce à un niveau de chantier et une mire (Annexe 17). Le débit se réalise grâce à un courantomètre. La détermination de granulométrie consiste à la mesure de 100 sédiments (bloc, pierre, caillou, gravier, sable, limon...) pris aléatoirement dans un radier de la station. La dernière tâche du protocole consiste en la mesure du colmatage. Pour cela, des bâtonnets sont enfoncés dans le substrat au niveau des zones de radiers et sont laissés en place 1 mois pour observer la différence.

Les protocoles CARHYCE auxquels j'ai participé se sont tenus dans le Puy-de-Dôme (63) sur le bassin versant de la Veyre. La Veyre est un cours d'eau qui se jette dans le Lac d'Aydat et qui est formé par la réunion de la Narse et du Labadeau. Cette cession a duré 5 jours et 8 stations devaient être étudiées avec le protocole CARHYCE : 2 stations sur la Narse, 2 sur le Labadeau et 4 sur la Veyre. Pour cela, 4 opérateurs étaient présents et les stations CARHYCE ont été réalisées par binôme. Certaines stations étaient des stations contrôles et d'autres avaient subi des travaux de restauration. Pour diminuer la charge de travail, des tâches comme la granulométrie et la pose de bâtonnets pour le colmatage avaient déjà été réalisées deux semaines avant. Néanmoins, une station de la Veyre n'avait pas été faite en granulométrie et j'ai donc pu me charger de cette tâche. Ces interventions avaient lieu 3 ans après la réalisation des travaux. La société RIVE avait déjà effectué le suivi des travaux en 2019, un an après travaux. Des IPR et IBD-DCE ont également été réalisés sur ce bassin versant 2 semaines avant la réalisation des CARHYCE.

VI. Retour réflexif sur l'expérience

La synthèse bibliographique a permis d'identifier les impacts possibles des étiages sur les différents peuplements biologiques. Grâce à la consultation de plusieurs études, les effets sur les paramètres abiotiques des cours d'eau ont d'abord pu être caractérisés pour ensuite déterminer les répercussions de ces changements sur les communautés aquatiques. Néanmoins, la majorité des études examinent les effets des étiages directement sur les peuplements. Il existe en effet peu d'études s'intéressant à l'impact des étiages sur l'évaluation de la qualité des cours d'eau par les indices biologiques. Cette étude bibliographique a donc permis d'identifier les facteurs mésologiques et biologiques importants à prendre en compte pour étudier l'état de la qualité écologique des cours d'eau lors d'étiages.

Les analyses réalisées sur le jeu de données ont permis de faire de premières observations quant aux caractéristiques du territoire face aux étiages. Certains paramètres mésologiques semblent se dessiner comme étant structurant de l'état biologique des cours d'eau. L'identification de ces paramètres pourra permettre de comprendre comment le territoire fonctionne et si certaines zones peuvent être déterminées. Il sera alors possible de comprendre comment les étiages impactent ce fonctionnement et donc la biologie et l'état écologique des cours d'eau. Le travail effectué est préliminaire à des études plus approfondies qui permettront de confirmer, compléter et développer les observations faites ici. Les analyses ont été réalisées sur un jeu de données déjà existant provenant de deux réseaux de données. Les données biologiques et mésologiques ne proviennent donc pas des mêmes stations physiques. Il pourrait donc être intéressant de renouveler ce jeu de données pour avoir des stations avec à la fois des informations biologiques et mésologiques. Pour avoir un jeu de données complet, il serait intéressant qu'il soit composé des données biologiques portant à la fois sur les peuplements et sur les indices biologiques, des données mésologiques avec les caractéristiques des bassins versant et les paramètres abiotiques des cours d'eau et des données sur les pressions s'exerçant sur le milieu qui peuvent entrer en jeu lors des étiages. Toutefois, il est compliqué d'obtenir un jeu de données aussi complet pour plusieurs stations car cela demande de nombreuses études. Il serait néanmoins intéressant de chercher des pistes d'améliorations du jeu de données.

Les cessions de terrain sur les étiages ont permis de faire de premières observations sur le territoire étudié. Lors de ces missions plusieurs caractéristiques ont pu être observées et permettent d'appréhender le fonctionnement du bassin versant. Les relevés réalisés ont permis de voir concrètement les phénomènes d'étiages sur le territoire. Toutefois, cette année aux conditions météorologiques particulières a limité l'observation de ces phénomènes. Des échanges avec les riverains ont néanmoins permis de comprendre l'importance des étiages sur le territoire étudié.

D'un point de vue personnel, ce stage m'a beaucoup apporté en termes de connaissances et de compétences. La réalisation de la synthèse bibliographique m'a permis de m'améliorer dans l'étude et l'analyse d'articles scientifiques. Ce travail m'a également permis de travailler mes capacités de synthèse tout en améliorant mes connaissances sur les étiages et la biologie des cours d'eau. J'ai pu comprendre et analyser les mécanismes des étiages et les problèmes qu'ils posent pour les milieux aquatiques mais aussi pour les territoires qui les entourent. Le traitement et l'analyse de données m'ont permis d'approfondir mes compétences sur la réalisation d'analyses statistiques, l'utilisation d'outils informatiques et l'interprétation des résultats. Les missions de terrain ont pu me permettre d'apprendre et de réaliser divers protocoles (IBG-DCE, IPR, CARHYCE) et de comprendre les études qui en découlent. Les échanges avec mon tuteur de stage et les chargés d'études ont été très enrichissants et m'ont permis d'approfondir mes connaissances et compétences sur le fonctionnement des milieux aquatiques et la réalisation d'études sur ces milieux. Cette expérience m'a permis de me projeter dans un avenir professionnel en bureau d'étude. La découverte de la structure, de son fonctionnement et des missions réalisées confirme mon attrait pour le travail en bureau d'étude.

Conclusion

L'analyse de différentes études a permis de définir les effets des étiages sur les cours d'eau. Les habitats sont fortement altérés par les étiages notamment à cause de la modification de la surface mouillée et des paramètres physico-chimiques. Ces changements vont se répercuter sur les peuplements biologiques qui voient leur population décliner. Les structures des peuplements sont bouleversées par la diminution des débits. Certains individus utilisent des méthodes de survie leur permettant de résister aux conditions d'étiages et de recoloniser le milieu par la suite. Les effets des étiages se supplémentent à d'autres pressions, notamment aux polluants, et impactent encore plus le milieu. Au regard des nombreux paramètres qui entrent en jeu, il est impossible de donner une unique réponse quant à l'effet des étiages sur les milieux aquatiques et leur biologie. Il est important de prendre en compte que le changement climatique va faire augmenter la fréquence et l'intensité des étiages.

Le traitement et l'analyse des données ont permis d'obtenir de premiers résultats quant aux paramètres mésologiques structurant les résultats biologiques. Certaines observations ont pu être regroupées selon leur similarité aux niveaux des paramètres mésologiques. La cartographie de ces stations a permis de donner des pistes de recherches pour la suite des analyses. Les paramètres semblant les plus structurant du jeu de données global et de chaque indice biologique ont pu être identifiés. Ainsi, la rugosité et la zone non saturée sont les paramètres explicatifs qui ressortent le plus dans les différentes analyses réalisées. Ce travail permet ainsi d'avoir un premier aperçu des paramètres mésologiques important pour comprendre le fonctionnement du territoire. Des études approfondies permettront de compléter ces recherches et de comprendre les mécanismes des étiages sur le territoire.

Les cessions de terrains sur le territoire ont permis de commencer à caractériser les phénomènes d'étiages sur le territoire. Ces relevés se poursuivront encore sur quelques mois et permettront par la suite d'étudier le fonctionnement de différents bassins versants lors de l'apparition d'assecs. Ces missions ont également permis d'identifier certains éléments pouvant potentiellement favoriser l'apparition d'étiages et accentuer leurs impacts.

Ce stage au sein du bureau d'étude RIVE s'est révélé très complet et m'a permis d'approfondir mes connaissances et compétences dans plusieurs domaines autour des milieux aquatiques. J'ai pu participer à une étude importante commanditée par la DREAL Pays de la Loire et qui regroupe différents acteurs : l'Office Français de la Biodiversité (OFB*) ainsi que les bureaux d'études ANTEA Group et SARL RIVE. Les missions de terrain avec le pôle hydrobiologie m'ont permis de prendre part à différentes études sur les milieux aquatiques portant sur la biologie mais aussi sur l'hydromorphologie des cours d'eau. Ce stage a donc été très enrichissant grâce à la diversité des missions réalisées mais aussi grâce aux différents échanges avec les professionnels côtoyés. Cette expérience me permet de me projeter dans un avenir professionnel dans le domaine des milieux aquatiques et plus précisément en bureau d'études.

Bibliographie

- Agence de l'Eau Loire-Bretagne. (2019). *Etat des lieux SDAGE*. <https://sdage-sage.eau-loire-bretagne.fr/home/projet-de-sdage-preparer-la-re-1/les-documents-du-sdage-2022-2027/etat-des-lieux-2019.html>
- Anim, D. O., Fletcher, T. D., Pasternack, G. B., Vietz, G. J., Duncan, H. P., & Burns, M. J. (2019). Can catchment-scale urban stormwater management measures benefit the stream hydraulic environment? *Journal of Environmental Management*, 233, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.12.023>
- Arenas-Sánchez, A., Dolédec, S., Vighi, M., & Rico, A. (2021). Effects of anthropogenic pollution and hydrological variation on macroinvertebrates in Mediterranean rivers : A case-study in the upper Tagus river basin (Spain). *Science of The Total Environment*, 766, 144044. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144044>
- Arenas-Sánchez, A., Lopez-Heras, I., Nozal, L., Vighi, M., & Rico, A. (2019). *Effects of increased temperature, drought, and an insecticide on freshwater zooplankton communities*. https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/etc.4304?casa_token=vcHfFBZWYsGAAAA%3ACJH2Tn61qdH5NqCGLwye2xsSpuK74jTro4YOpV3DbjwKr4YqQJSJ8ryNL2fficleA7wk0_avFDrB-
- Arenas-Sánchez, A., Rico, A., & Vighi, M. (2016). Effects of water scarcity and chemical pollution in aquatic ecosystems : State of the art. *Science of The Total Environment*, 572, 390-403. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.211>
- Arias Font, R., Khamis, K., Milner, A. M., Sambrook Smith, G. H., & Ledger, M. E. (2021). Low flow and heatwaves alter ecosystem functioning in a stream mesocosm experiment. *Science of The Total Environment*, 777, 146067. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146067>
- Arroita, M., Flores, L., Larranaga, A., Martinez, A., Martinez-Santos, M., Perreda, O., Ruiz-Romera, E., Solagaistua, L., & Elozegi, A. (2017). *Water abstraction impacts stream ecosystem functioning via wetted-channel contraction*. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/fwb.12864?casa_token=tozxZkthDsgAAAAA%3AV-F_Lp0ydLDI_mv7ggHjNPr-qfIJyc-UXoX1EULXkPmnUHyY3QeOL4VSdpJ2F-GhHSMIONJaDEZ2
- Benejam, L., Angermeier, P. L., Munne, A., & Garci Aberthou, E. (2010). *Assessing effects of water abstraction on fish assemblages in Mediterranean streams*. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-2427.2009.02299.x?casa_token=2esTsGYcBuAAAAA%3AMuMxPH9roe8_k_88HtvL78PR2SSxrSaUpf0bhaDtW1fyS5ku3v3NU-mlyqksLf_eltVe-sreuU2I
- Benkebil, Z., Taleb, A., Zenagui, I., & Belaidi, N. (2020). *Changes in the vertical distribution of hyporheic and benthic fauna associated with low flow conditions in the headwaters of the Tafna river (northwest Algeria)*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10201-020-00635-x>
- Bond, N. R. (2004). *Spatial variation in fine sediment transport in small upland streams : The effects of flow regulation and catchment geology*. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/rra.787?casa_token=SxXtOoq9rdAAAAA:yjO1r-YZJ7BYM1ihmDEYohGI9JrXS1XWFR6q0uOlXwVK_n1SHDghPg0ZnkZVoqQtMFTuT05bm-b6
- Calapez, A. R., Elias, C. L., Alves, A., Almeida, S. F. P., Brito, A. G., & Feio, M. J. (2020). Shifts in biofilms' composition induced by flow stagnation, sewage contamination and grazing. *Ecological Indicators*, 111, 106006. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.106006>
- Capone, T. A., & Kushlan, J. A. (1991). *Fish Community Structure in Dry-Season Stream Pools*. <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2307/1940598>

- Caruso, B. S. (2002). Temporal and spatial patterns of extreme low flows and effects on stream ecosystems in Otago, New Zealand. *Journal of Hydrology*, 257(1), 115-133. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00546-7](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00546-7)
- Cazaubon, A., & Giudicelli, J. (1999). Impact of the residual flow on the physical characteristics and benthic community (algae, invertebrates) of a regulated Mediterranean river : The Durance, France. *Regulated Rivers: Research & Management*, 15(5), 441-461. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1646\(199909/10\)15:5<441::AID-RRR558>3.0.CO;2-9](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1646(199909/10)15:5<441::AID-RRR558>3.0.CO;2-9)
- Chauvet, E. (1983). Influence d'une réduction de débit sur un torrent de montagne : L'Aston (Ariège). *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology*, 19(1), 45-49. <https://doi.org/10.1051/limn/1983005>
- Corcoll, N., Casellas, M., Huerta, B., Guasch, H., Acuña, V., Rodríguez-Mozaz, S., Serra-Compte, A., Barceló, D., & Sabater, S. (2015). Effects of flow intermittency and pharmaceutical exposure on the structure and metabolism of stream biofilms. *Science of The Total Environment*, 503-504, 159-170. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.093>
- Cowx, I. G., Young, W. O., & Hellawell, J. M. (1984). *The influence of drought on the fish and invertebrate populations of an upland stream in Wales*. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2427.1984.tb00030.x?casa_token=9fh9kk5kH4MAAAAA:ErqiXilsFi5F26Rz9LS82fkzywxl35bQrSpy2MjoOo1spreaFphZRVGjn9fGBqjTulHOL-ZoazZy
- Dacharry. (1996). *Dictionnaire français d'hydrologie*. <https://hydrologie.org/glu/indexdic.htm#E>
- Dahm, C., AKER, M., OORE, D., & HIBAULT, J. (2003). Coupled biogeochemical and hydrological response of streams and rivers to drought. *Freshwater Biology*, 48. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2003.01082.x>
- Davey, A. J. H., & Kelly, D. J. (2007). *Fish community responses to drying disturbances in an intermittent stream : A landscape perspective*. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-2427.2007.01800.x?casa_token=IOL-RvdSzbkAAAAA%3AZBM04yaW8neI5i7pxeC8csYdccTnkYndhaBT0m3lygjsa6CgsXsSYsh17pHI7SyEEwiO45SFP73t
- Dekar, M. P., & Magoulick, D. D. (2007). Factors affecting fish assemblage structure during seasonal stream drying. *Ecology of Freshwater Fish*, 16(3), 335-342. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2006.00226.x>
- Delus, C. L. (2011). Sévérité des étiages et indigence des précipitations : Une relation évidente mais rarement simple - Exemple en régime pluvial océanique. *Revue Géographique de l'Est*, 51(vol. 51 / 3-4), Article 3-4. <https://doi.org/10.4000/rge.3455>
- Dewson, Z. S., James, A. B. W., & Death, R. G. (2007a). Stream Ecosystem Functioning Under Reduced Flow Conditions. *Ecological Applications*, 17(6), 1797-1808. <https://doi.org/10.1890/06-1901.1>
- Dewson, Z. S., James, A. B. W., & Death, R. G. (2007b). A review of the consequences of decreased flow for instream habitat and macroinvertebrates. *Journal of the North American Benthological Society*, 26(3), 401-415. <https://doi.org/10.1899/06-110.1>
- Drummond, L. R., Mcintosh, A. R., & Larned, S. T. (2015). *Invertebrate community dynamics and insect emergence in response to pool drying in a temporary river*. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/fwb.12591?casa_token=RfqRjB06nYsAAAAA%3A1P-NGCvHoTn-IJ1x03ltbHOzMJ3gcO2IDQWpIZOAKAptJHHXacUIJOSBTSrT2uvw6xHI3Sm_2YrE
- Graeber, D., Pusch, M. T., Lorenz, S., & Brauns, M. (2013). *Cascading effects of flow reduction on the benthic invertebrate community in a lowland river*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10750-013-1570-1>
- Hille, S., Kristensen, E. A., Graeber, D., Riis, T., Jørgensen, N. K., & Baattrup-Pedersen, A. (2014). Fast reaction of macroinvertebrate communities to stagnation and drought in streams with contrasting nutrient availability. *Freshwater Science*, 33(3), 847-859. <https://doi.org/10.1086/677554>

- Jones, N. E., & Petreman, I. C. (2013). Relating extremes of flow and air temperature to stream fish communities. *Ecohydrology*, 6(5), 826-835. <https://doi.org/10.1002/eco.1305>
- Jowett, I. G., Richardson, J., & Bonnett, L. (2005). *Relationship between flow regime and fish abundances in a gravel-bed river, New Zealand*. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.0022-1112.2005.00693.x?casa_token=FIYKqFkNO-4AAAAA%3AL1bQksBoyk_IQCJuHC0E02R_biW5L59Beevatu6C9-7lHtpKGempJHWQOwNvBo4XEJCM98hZ5iSa
- Kalogianni, E., Vourka, A., Karaouzas, I., Vardakas, L., Laschou, S., & Skoulikidis, N. Th. (2017). Combined effects of water stress and pollution on macroinvertebrate and fish assemblages in a Mediterranean intermittent river. *Science of The Total Environment*, 603-604, 639-650. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.078>
- Karaouzas, I., Smeti, E., Vourka, A., Vardakas, L., Mentzafou, A., Tornés, E., Sabater, S., Muñoz, I., Skoulikidis, N. Th., & Kalogianni, E. (2018). Assessing the ecological effects of water stress and pollution in a temporary river—Implications for water management. *Science of The Total Environment*, 618, 1591-1604. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.323>
- Keaton, M., Haney, D., & Andersen, C. B. (2005). *Impact of drought upon fish assemblage structure in two South Carolina Piedmont streams*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10750-005-2674-z>
- Lake, P. S. (2003). Ecological effects of perturbation by drought in flowing water. *Freshw. Biol*, 1161-1172.
- Lang Delus, C. (2011). Les étiages : Définitions hydrologique, statistique et seuils réglementaires. *Cybergeo : European Journal of Geography*. <https://doi.org/10.4000/cybergeo.24827>
- Larue, J.-P., & Giret, A. (2004). L'assèchement de cours d'eau dans le bassin de la Maine entre 1989 et 1992. *Noréis. Environnement, aménagement, société*, 192, 117-133. <https://doi.org/10.4000/noréis.944>
- Légier, P., & Terzian, E. (1981). Les milieux aquatiques temporaires de Provence : Résistance des invertébrés à l'assèchement des habitats. *Ecologia Mediterranea*, 7(1), 113-129. <https://doi.org/10.3406/ecmed.1981.985>
- Magalhães, M. F., Beja, P., Schlosser, I. J., & Collares-Pereira, M. J. (2007). Effects of multi-year droughts on fish assemblages of seasonally drying Mediterranean streams. *Freshwater Biology*, 52(8), 1494-1510. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2007.01781.x>
- Magoulick, D. D., & Kobza, R. M. (2003). *The role of refugia for fishes during drought : A review and synthesis*. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1046/j.1365-2427.2003.01089.x?casa_token=xoGBB7k1Gt8AAAAA%3A_fJIJ0LZI_pVzTyoS-h3h8DCZhfdXrXT1G6zALLRu_mdZVMTE_v2WrpS2jeaEUAYug81ZuTHk-B
- Matthae, C. D., Piggott, J. J., & Townsend, C. R. (2010). *Multiple stressors in agricultural streams : Interactions among sediment addition, nutrient enrichment and water abstraction*. <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-2664.2010.01809.x>
- Matthews, W. J., & Marsh-Matthews, E. (2003). *Effects of drought on fish across axes of space, time and ecological complexity*. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1046/j.1365-2427.2003.01087.x?casa_token=gBBIWp0XRYwAAAAA%3AosURR3KvJOHvFbR7HFtEb6LU8F-DjIO5Qqzx_eeDnFW-UFCbf7AqAHjleqGpZtH10E34rOgok4jK
- Minshall, G. W., & Winger, P. V. (1968). The Effect of Reduction in Stream Flow on Invertebrate Drift. *Ecology*, 49(3), 580-582. <https://doi.org/10.2307/1934133>
- Mor, J.-R., Dolédec, S., Acuña, V., Sabater, S., & Muñoz, I. (2019). Invertebrate community responses to urban wastewater effluent pollution under different hydro-morphological conditions. *Environmental Pollution*, 252, 483-492. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.05.114>
- ONDE. (s. d.). *Assec | Observatoire national des étiages*. Consulté 26 mai 2021, à l'adresse <https://onde.eaufrance.fr/content/assec>

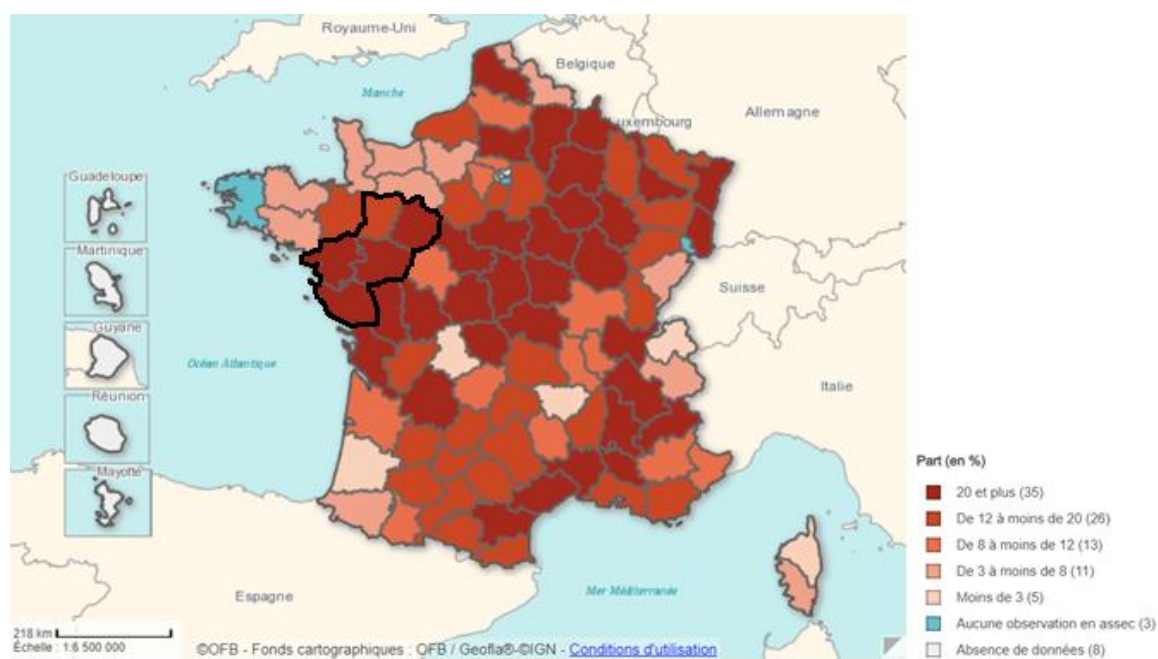
- Paugy, D. (1994). *Ecologie des poissons tropicaux d'un cours d'eau temporaire (Baoulé, haut bassin du Sénégal au Mali): Adaptation au milieu et plasticité du régime alimentaire*. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=AV2012051286>
- Piniewski, M., Prudhomme, C., Acreman, M. C., Tylec, L., Oglecki, P., & Okruszko, T. (2016). *Responses of fish and invertebrates to floods and droughts in Europe*. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/eco.1793>
- Pletterbauer, F., Melcher, A. H., Ferreira, T., & Schmutz, S. (2015). *Impact of climate change on the structure of fish assemblages in European rivers* | SpringerLink. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10750-014-2079-y>
- Ponsatí, L., Corcoll, N., Petrović, M., Picó, Y., Ginebreda, A., Tornés, E., Guasch, H., Barceló, D., & Sabater, S. (2016). Multiple-stressor effects on river biofilms under different hydrological conditions. *Freshwater Biology*, 61(12), 2102-2115. <https://doi.org/10.1111/fwb.12764>
- Riis, T., Levi, P. S., Baattrup-Pedersen, A., Jeppesen, K. G., & Rosenhøj Leth, S. (2017). *Experimental drought changes ecosystem structure and function in a macrophyte-rich stream*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00027-017-0536-1>
- Rolls, R. J., Leigh, C., & Sheldon, F. (2012). *Mechanistic effects of low-flow hydrology on riverine ecosystems: Ecological principles and consequences of alteration*. <https://www.journals.uchicago.edu/doi/full/10.1899/12-002.1>
- Sabater, S., Timoner, X., Borrego, C., & Acuña, V. (2016). Stream Biofilm Responses to Flow Intermittency: From Cells to Ecosystems. *Frontiers in Environmental Science*, 4. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00014>
- Sarremejane, R., Mykrä, H., Huttunen, K.-L., Mustonen, K.-R., Marttila, H., Paavola, R., Sippel, K., Veijalainen, N., & Muotka, T. (2018). *Climate-driven hydrological variability determines inter-annual changes in stream invertebrate community assembly*. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/oik.05329?casa_token=6JHQvlfkK3cAAAAA%3AkCDgxetyPBz0qn5yTrhTXR5_sEACGV404Qydv6YYKBBTs4hnVB0OG9hnZilhMghZqcy8fOzb sINm
- Stanley, E. H., Fisher, S. G., & Jones, Jr., J. B. (2004). Effects of water loss on primary production: A landscape-scale model. *Aquatic Sciences - Research Across Boundaries*, 66(1), 130-138. <https://doi.org/10.1007/s00027-003-0646-9>
- Storey, R. G., & Quinn, J. M. (2013). Survival of aquatic invertebrates in dry bed sediments of intermittent streams: Temperature tolerances and implications for riparian management. *Freshwater Science*, 32(1), 250-266. <https://doi.org/10.1899/12-008.1>
- Stubbington, R., Greenwood, A. M., Wood, P. J., Armitage, P. D., Gunn, J., & Robertson, A. L. (2009). *The response of perennial and temporary headwater stream invertebrate communities to hydrological extremes*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10750-009-9823-8>
- Suren, A. M., & Riis, T. (2010). The effects of plant growth on stream invertebrate communities during low flow: A conceptual model. *Journal of the North American Benthological Society*, 29(2), 711-724. <https://doi.org/10.1899/08-127.1>
- Taylor, R. C. (1983). Drought-induced Changes in Crayfish Populations along a Stream Continuum. *The American Midland Naturalist*, 110(2), 286-298. <https://doi.org/10.2307/2425270>
- Walters, A. W., & Post, D. M. (2011). *How low can you go? Impacts of a low-flow disturbance on aquatic insect communities*. https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1890/09-2323.1?casa_token=tSNjByc4i1kAAAAA%3ABjJ0yuvXWk4hSyRqRYAxxBOYD3Gi23kKBtH2yGla N_tPhS5gHh4Cnu9FWbt6exctID9ueAO_-inS
- Wills, T. C., Baker, E. A., Nuhfer, A. J., & Zorn, T. G. (2006). *Response of the benthic macroinvertebrate community in a northern Michigan stream to reduced summer streamflows*. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/rra.938?casa_token=rc6_h5s6TYYAAAAA:CVCvd9zngcl1ulayACfL8Xk8Fh9z169cpibSsAxI5pCUZ94vbOh6Ukhg4UEFhNt_z_hzK8E7ZlM

Annexes

Table des annexes

Annexe 1 : Part des observations en assecs par département en 2019 (ONDE, 2019).....	32
Annexe 2 : Localisation du territoire de l'étude avec fond géologique (ANTEA Group).....	32
Annexe 3 : Répartition des tâches durant le stage.....	33
Annexe 4 : Part du temps de stage consacré à chaque tâches (%).....	33
Annexe 5 : Classement général des articles scientifiques.....	34
Annexe 6 : Dendrogramme représentant le regroupement des stations après CAH.....	34
Annexe 7 : Résultats des régressions PLS sur les indices biologiques pour le groupe 1.....	35
Annexe 8 : Résultats des régressions PLS sur les indices biologiques pour le groupe 2.....	35
Annexe 9 : Résultats des régressions PLS sur les indices biologiques pour le groupe 3.....	36
Annexe 10 : Résultats de la régression PLS sur l'ensemble des données biologiques et des stations..	36
Annexe 11 : Résultats des régressions PLS sur les indices biologiques pour l'ensemble des stations..	37
Annexe 12 : Exemple de mesures réalisées sur le terrain pour le suivi d'étiage.....	37
Annexe 13 : Espèces rencontrées lors des pêches électriques.....	38
Annexe 14 : Matériel pour l'identification des invertébrés prélevés lors du protocole IBG-DCE.....	38
Annexe 15 : La Sienne.....	39
Annexe 16 : Le Trottebecq.....	39
Annexe 17 : Matériel pour la réalisation du protocole CARHYCE.....	40

Annexe 1 : Part des observations en assecs par département en 2019 (ONDE, 2019)



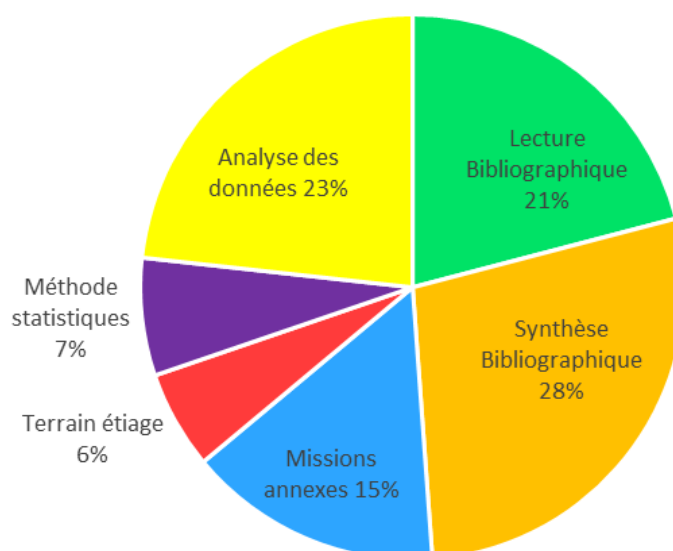
Annexe 2 : Localisation du territoire de l'étude avec fond géologique (ANTEA Group)



Annexe 3 : Répartition des tâches durant le stage

Semaine	Dates	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi
1	19/04 au 25/04	Lecture Bibliographique	Lecture Bibliographique	Lecture Bibliographique	Lecture Bibliographique	Lecture Bibliographique
2	26/04 au 02/05	Lecture Bibliographique	Lecture Bibliographique	Lecture Bibliographique	Lecture Bibliographique	Lecture Bibliographique
3	03/05 au 09/05	Lecture Bibliographique	Lecture Bibliographique	Lecture Bibliographique	Lecture Bibliographique	Lecture Bibliographique
4	10/05 au 16/05	Lecture Bibliographique	Lecture Bibliographique	Synthèse Bibliographique		
5	17/05 au 23/05	Synthèse Bibliographique	Synthèse Bibliographique	Synthèse Bibliographique	Synthèse Bibliographique	Synthèse Bibliographique
6	24/05 au 30/05		Synthèse Bibliographique	Synthèse Bibliographique	Synthèse Bibliographique	Synthèse Bibliographique
7	31/05 au 06/06	Missions annexes	Missions annexes	Missions annexes	Synthèse Bibliographique	Synthèse Bibliographique
8	07/06 au 13/06	Synthèse Bibliographique	Terrain étiage	Synthèse Bibliographique	Synthèse Bibliographique	Synthèse Bibliographique
9	14/06 au 20/06	Synthèse Bibliographique	Synthèse Bibliographique	Synthèse Bibliographique	Synthèse Bibliographique	Synthèse Bibliographique
10	21/06 au 27/06	Synthèse Bibliographique	Missions annexes	Missions annexes	Missions annexes	Méthode statistiques
11	28/06 au 04/07	Méthode statistiques	Méthode statistiques	Méthode statistiques	Méthode statistiques	Missions annexes
12	05/07 au 11/07	Terrain étiage	Terrain étiage	Méthode statistiques	Analyse des données	Analyse des données
13	12/07 au 18/07	Analyse des données	Missions annexes		Analyse des données	Analyse des données
14	19/07 au 25/07	Missions annexes	Missions annexes	Missions annexes	Missions annexes	Missions annexes
15	26/07 au 01/08	Analyse des données	Analyse des données	Analyse des données	Analyse des données	Analyse des données
16	02/08 au 08/07	Terrain étiage	Terrain étiage	Synthèse Bibliographique	Synthèse Bibliographique	Synthèse Bibliographique
17	09/08 au 15/08	Analyse des données	Analyse des données	Analyse des données	Analyse des données	Analyse des données
18	16/08 au 22/08	Analyse des données	Analyse des données	Analyse des données	Analyse des données	Analyse des données

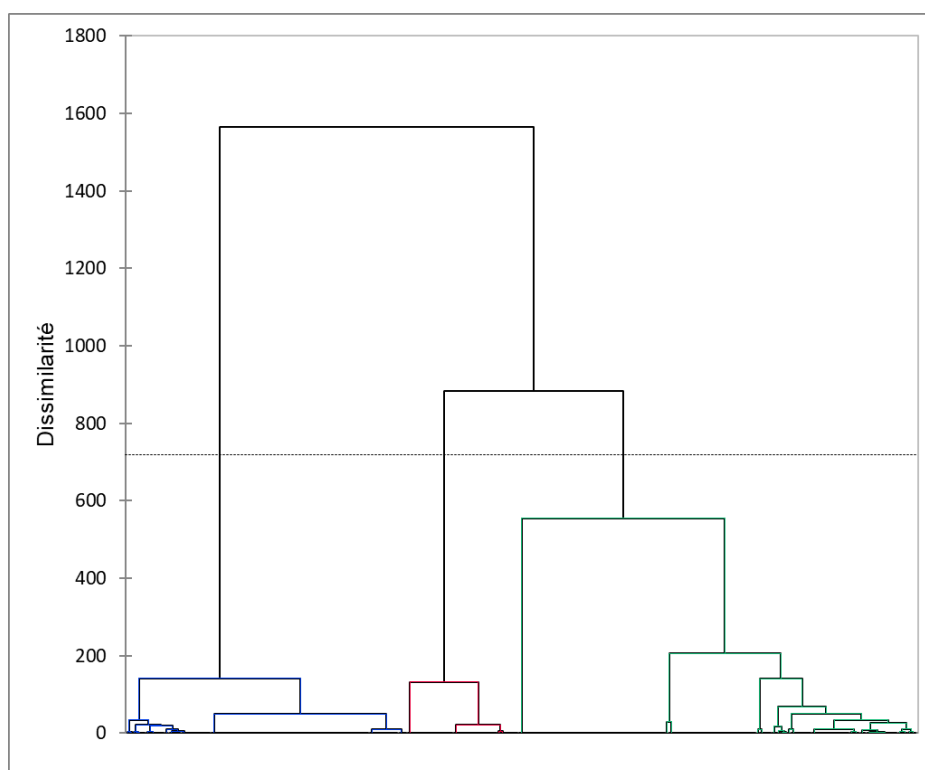
Annexe 4 : Part du temps de stage consacré à chaque tâches (%)



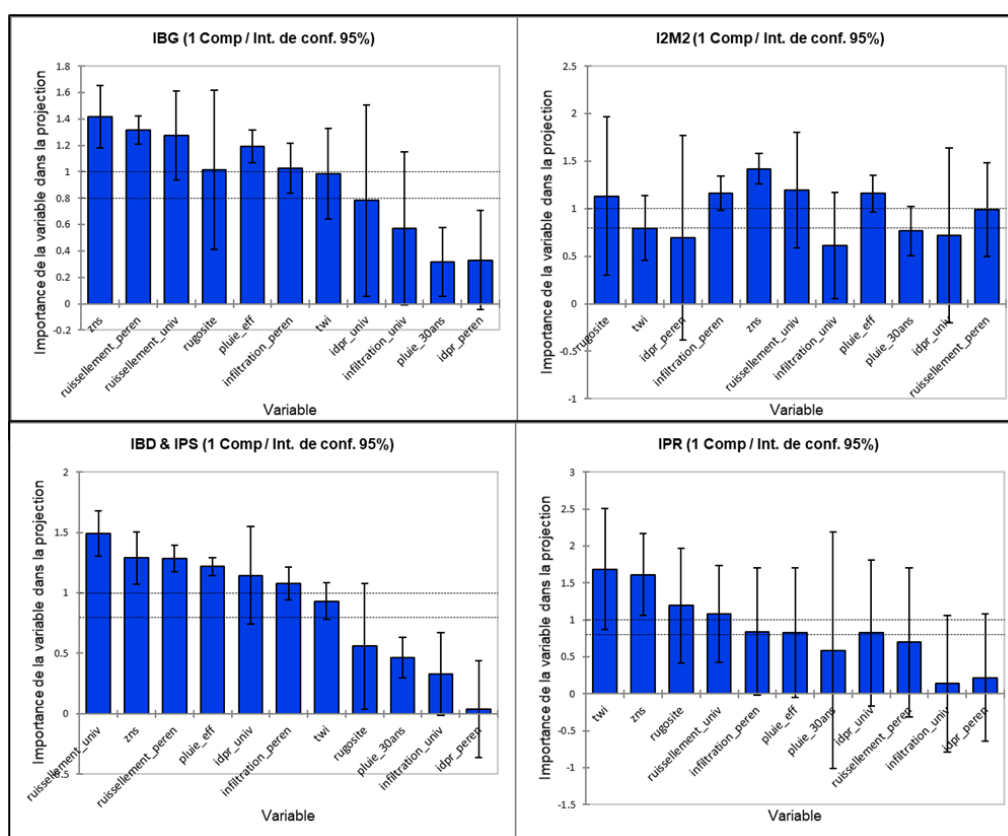
Annexe 5 : Classement général des articles scientifiques

N°	Titre	Auteurs	Années	Résumé	Définition et modélisation des étiages	Impact sur les paramètres abiotiques	Impact sur les invertébrés	Impact sur les poissons	Impact sur les végétaux/biofilms/périphyton	Modulation des effets des étiages	Effets des polluants supplémentés aux étiages
46	Stream Biofilm	Sergi Sabate	2016	Impact des étiages		X			X		
47	Multiple-stress	PONSATI,	2016	Etudier la réac					X		X
48	Stream ecosyste	ZOE S. DEWS	2007	Etudier l'effet		X			X		
49	Effects of water	Emily H. Star	2004	Etudier les effe					X		
50	Spatial variatio	NICHOLAS R	2004	Etudier les effe		X					
51	Coupled biogeo	CLIFFORD N.	2003	Etudier le rôle		X			X		
52	Multiple stress	Christoph D.	2010	Etudier la répo		X	X		X		
53	How low can yo	ANNIKA W. V	2011	Etudier l'intera		X	X				
54	Drought-induce	Robert C. Ta	1983	Comparaison c			X				
55	Ecological effec	P. S. LAKE	2003	L'assèchement		X	X	X	X		
56	Effects of Incre	Alba Arenas-	2018	Etudier l'effet		X	X				X
57	Fish Community	Teresa A. Ca	1991	Etudier la relat				X			
58	Impact of the re	A. CAZAUBO	1999	Etude de l'imp		X	X		X		
59	Mechanistic eff	Robert J. Ro	2012	Effets de plusie	X	X	X	X	X		
60	Temporal and s	B. S. Caruso	2002	Etudier les mo		X	X				
61	The influence o	I. G. COWX,	1984	Etudier les effe			X	X			
62	The role of refu	DANIEL D. M	2003	Assèchement:				X			
63	Water abstracti	MAITE ARRC	2017	Etudier l'impac		X	X		X		
64	Assessing effect	LLUIS BENEJ	2010	Etudier les effe				X			
65	Factors affectin	M. P. Dekar,	2007	Etudier les cha		X		X			
66	Effects of droug	WILLIAM J .	2003	Etudier les effe				X			
67	Fish community	ANDREW J .	2007	Etudier les dyn				X			
68	Relating extrem	Nicholas E. J	2013	Etudier les effe				X		X	

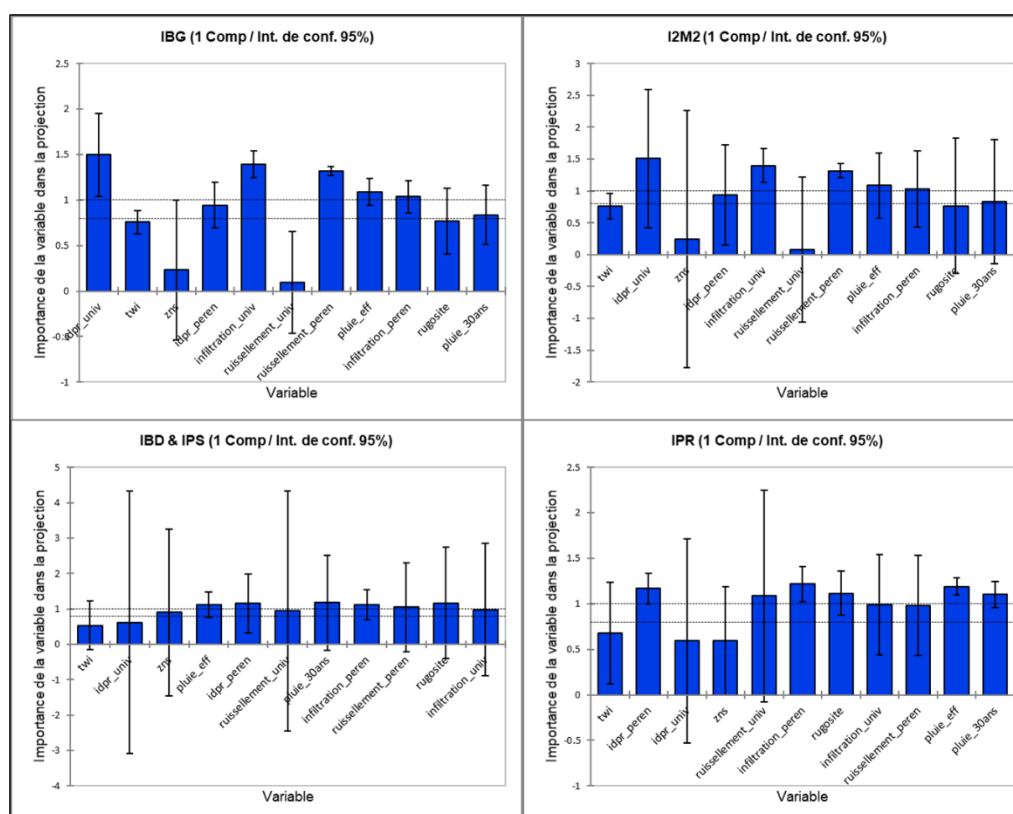
Annexe 6 : Dendrogramme représentant le regroupement des stations après CAH



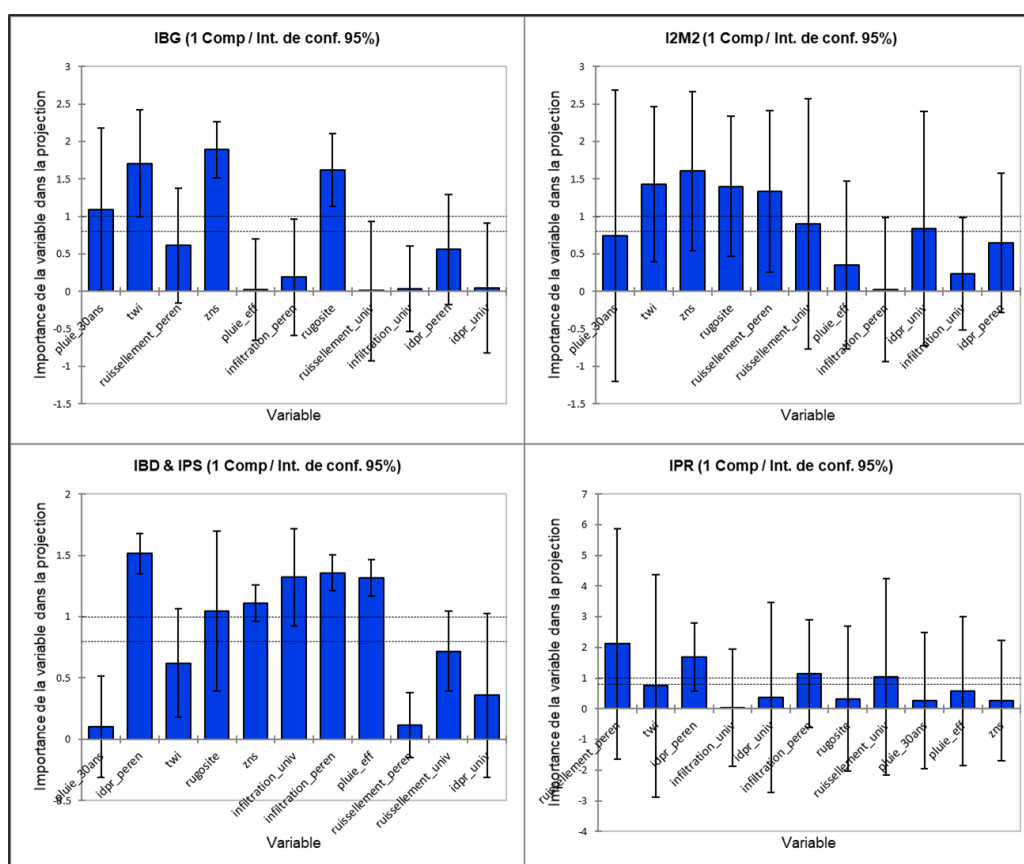
Annexe 7 : Résultats des régressions PLS sur les indices biologiques pour le groupe 1



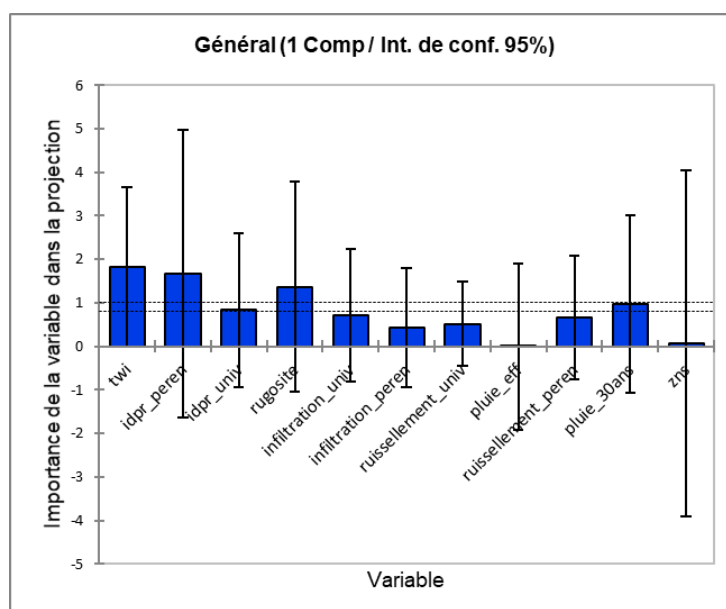
Annexe 8 : Résultats des régressions PLS sur les indices biologiques pour le groupe 2



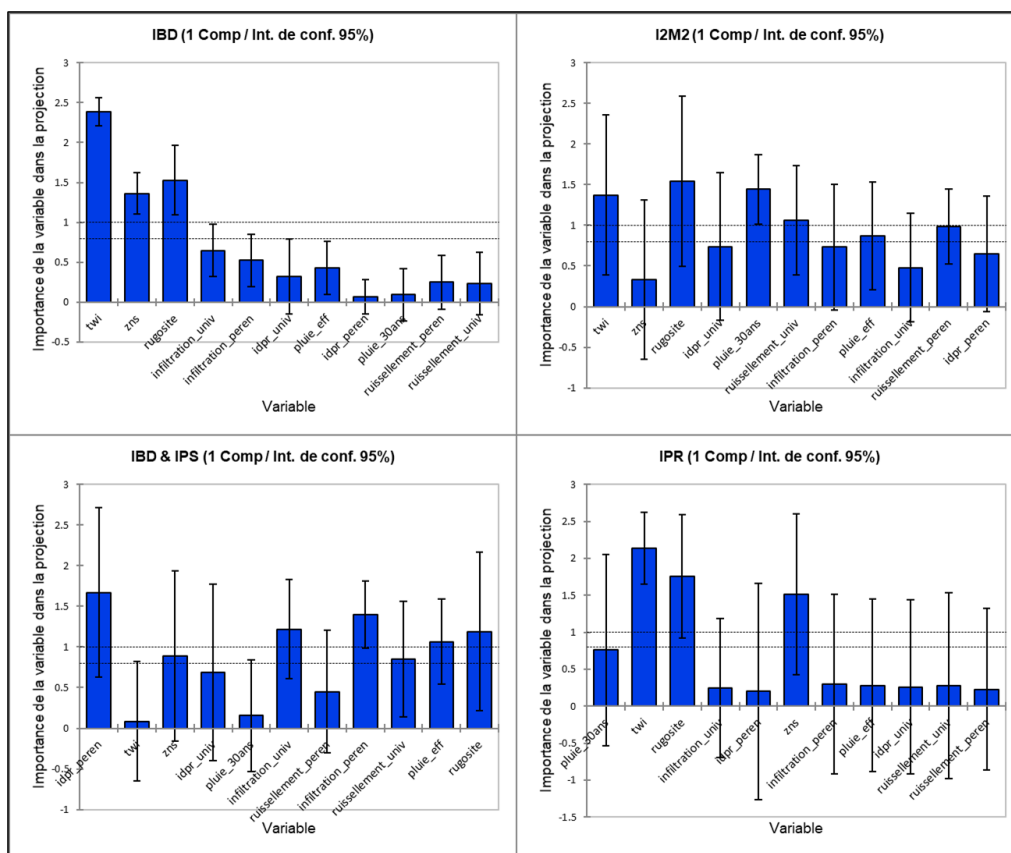
Annexe 9 : Résultats des régressions PLS sur les indices biologiques pour le groupe 3



Annexe 10 : Résultats de la régression PLS sur l'ensemble des données biologiques et des stations



Annexe 11 : Résultats des régressions PLS sur les indices biologiques pour l'ensemble des stations



Annexe 12 : Exemple de mesures réalisées sur le terrain pour le suivi d'étiage



Mesures physico-chimiques



Mesure de hauteur d'eau



Mesure de largeur mouillée



Mesure de largeur et hauteur plein bord

Annexe 13 : Espèces rencontrées lors des pêches électriques



Perche commune



Ecrevisse signal

Annexe 14 : Matériel pour l'identification des invertébrés prélevés lors du protocole IBG-DCE



Sacs de prélèvement



Bassine de tri

Annexe 15 : La Sienne



Annexe 16 : Le Trottebecq



Annexe 17 : Matériel pour la réalisation du protocole CARHYCE



Transects de la station



Niveau de chantier



POLYTECH[®]
TOURS

35 ALLÉE FERDINAND DE LESSEPS
37200 TOURS

Sidney Kremer
2020-2021

Etude dans le cadre du suivi des étiages et de leurs impacts sur le fonctionnement hydrobiologique et hydromorphologique des cours d'eau.

Résumé : La mission de stage principale a consisté à prendre part à une étude commanditée par la DREAL Pays de la Loire sur la problématique des étiages. J'ai ainsi pu réaliser une synthèse bibliographique sur les impacts des étiages sur la biologie des cours d'eau, réaliser du traitement et de l'analyse de données et participer à des relevés de terrains. J'ai également pu contribuer à des missions du bureau d'études pour assister le pôle hydrobiologie. Cela passait notamment par la réalisation d'IBG-DCE, d'IPR et de protocole CARHYCE. Ce stage au sein de la SARL RIVE a été très enrichissant avec des missions variées et intéressantes.

Abstract : The main internship assignment consisted of taking part in a study commissioned by the DREAL Pays de la Loire on the issue of low flow. I was thus able to carry out a bibliographic synthesis on the impacts of low flow on the biology of rivers, to process and analyse data and to participate in field surveys. I was also able to take part in missions of the study office to assist the hydrobiology department. This included carrying out IBG-DCE, IPR and CARHYCE protocols. This internship at SARL RIVE was very enriching with varied and interesting missions.

Mots Clés : bureau d'études, étiage, biologie, milieu aquatique, indice biologique, traitement et analyse de données, hydrobiologie, hydromorphologie.

SARL RIVE : 11 Quai Danton 37500 CHINON

Tuteur académique :
Vincent Rotgé

Tuteur entreprise :
Michel Bacchi
Gérant