



FÉDÉRATION DÉPARTEMENTALE

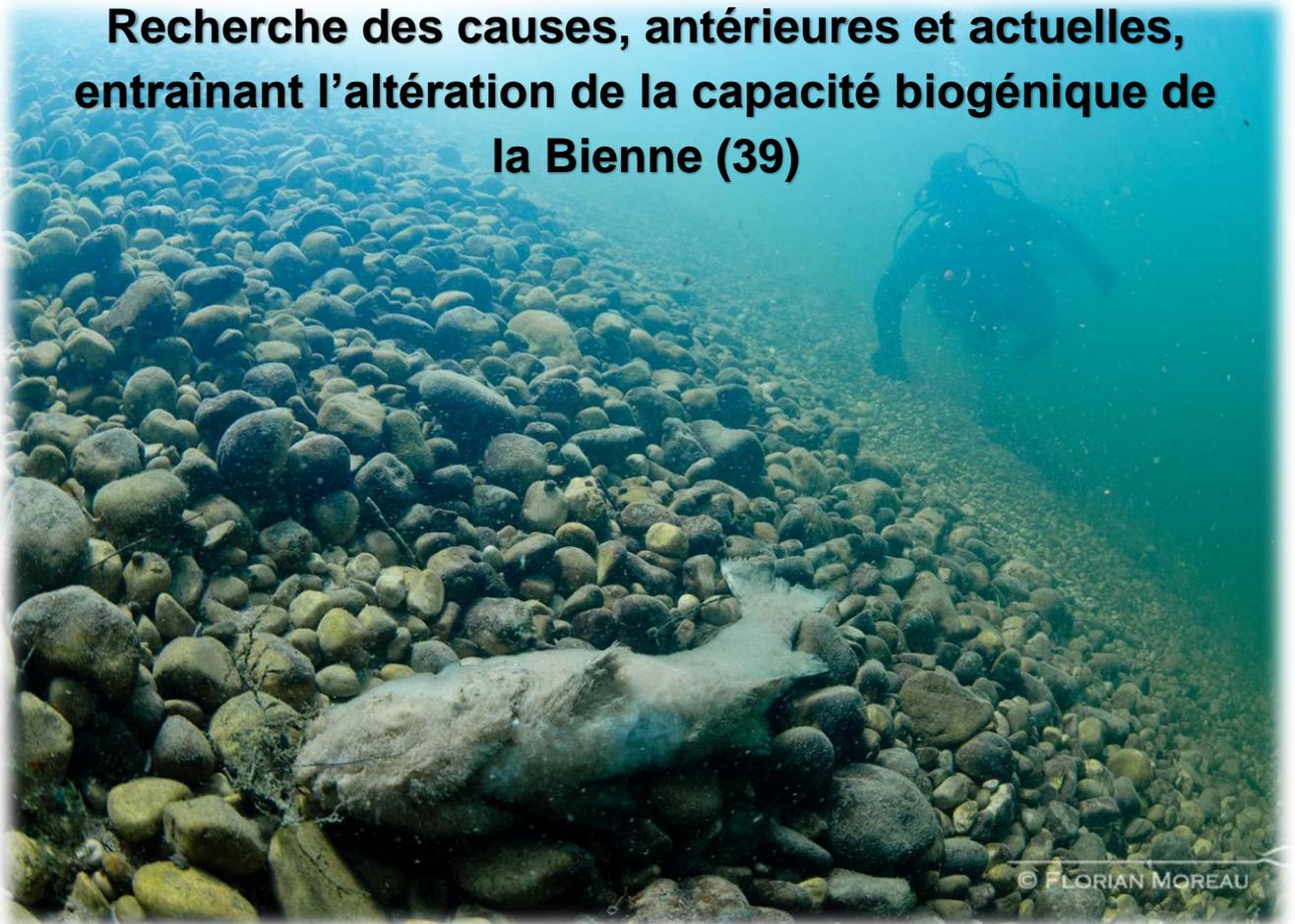
PÊCHE

AGNELOT Kévin
BOURLIER Alexis



Master 2 Qualité des Eaux, des Sols et Traitements
Option Systèmes Aquatiques et Bassins Versants
Promotion 2016-2017

**Recherche des causes, antérieures et actuelles,
entraînant l'altération de la capacité biogénique de
la Bienne (39)**



Membres du Jury

BADOT Pierre-Marie, Professeur à l'Université de Franche-Comté, Directeur du Master

DEGIORGI François, Maître de conférences à l'Université de Franche-Comté, Directeur de stage et tuteur universitaire

DECOURCIERE Hervé, Ingénieur hydrobiologiste, Tuteur universitaire

FAGOT Jean-Baptiste, Ingénieur hydrobiologiste à la FJPPMA, Maître de stage

"Ce mémoire est un travail d'étudiant présenté pour obtenir l'unité de valeur "stage long" du Master QuEST : il n'a donc pas été soumis à correction définitive"

Remerciements

Nous remercions Jean-Baptiste FAGOT, notre maître de stage, mais également un professeur et un collègue de travail ayant toujours fait en sorte d'apporter son soutien à tout ce que nous avons entrepris. Merci à lui d'avoir répondu à toutes nos questions, ô combien nombreuses, sans jamais perdre patience et de nous avoir apporté toute sa rigueur professionnelle.

Merci à Mehdi El Bettah, responsable technique de la fédération, pour tous ces échanges, ces discussions et ses points de vue avisés qui ont été source d'enrichissement tant personnel que professionnel.

Un grand merci à Daniel BERTHET et Charles VARENNE, présidents des AAPPMA locales de notre secteur d'étude, de s'être rendu disponible lors de toutes nos sollicitations. Merci également à leurs bénévoles, sans qui les pêches n'auraient pu avoir lieu.

Merci à François DEGIORGI et Hervé DECOURCIERE, nos tuteurs universitaires, pour leur appui méthodologique et technique.

Notre reconnaissance va également aux diverses structures qui ont participé à la communication de données scientifiques. Particulièrement Bertrand Devillers (PNRHJ), Florent Pichon (CD39) et Manuel Barbier (AFB). Merci aussi à Nadia CRINI pour sa réactivité et le temps accordé pour le bon déroulement de nos analyses.

Nous remercions Mr SCHNEITER, président de la FJPPMA, ainsi que l'ensemble de son CA, de nous avoir permis de réaliser cette étude.

Merci à nos camarades de promotion pour tous ces moments passés.

Enfin, merci à la bonne humeur, au soutien et au chocolat de Nadège qui vont grandement nous manquer.

Remerciements personnels :

Kévin

Je remercie ma famille et tout particulièrement mes parents, Myriam et Alain, de m'avoir toujours soutenu, et sans qui ce cursus universitaire n'aurait pas été possible. Un grand merci à Camille GOUX, pour son soutien indéfectible dans ce que j'entreprends, sa patience durant mes années d'études et surtout pour ce qu'elle m'apporte au quotidien.

Enfin, merci à eux, sans qui je n'en serais pas là aujourd'hui.

Alexis

Je voudrais remercier particulièrement Diane OBERLE pour le recul et la vision qu'elle a pu m'apporter, mais aussi pour tous les moments de joie, de rire m'amenant le plus grand réconfort lors de cette année. Merci aussi à Dimitri YAP, un ami fidèle sur qui je peux toujours compter, m'ayant soutenu depuis la licence aussi bien une bière qu'un stylo à la main. Merci à David pour son aide et les fous rires partagés. Et enfin, je remercie mes parents, Catherine et Ludovic BOURLIER de m'avoir épaulé, soutenu dans ces études qui sans eux, n'auraient pas été possibles. Merci à ma petite sœur pour ces petites mains délicates, merci à mon frère pour toute l'aide et le soutien apporté. Merci à Cindy, à mon Chelmi, à toute cette petite famille sans laquelle je ne serais pas arrivé ici.

Sommaire

Introduction	1
I. Présentation du site d'étude et approche globale	3
I.1 Situation géographique	3
I.2 Synthèse de données	4
I.3 Re conduite et réalisation de nouveaux suivis	4
II Contexte et environnement actuel du bassin versant	5
II.1 Situation géologique et hydrogéologique	5
II.2 Climat et régime hydrique	7
II.3 Contexte socio-économique	8
II.3.1 Occupation des sols	8
II.3.2 Démographie.....	9
III Etude des pressions anthropiques sur le bassin versant	10
III.1 Activités agricoles	10
III.2 Rejets domestiques	12
III.2.1 Situation	12
Assainissement non collectif :	12
Assainissement collectif :	12
III.2.2 Valorisation des boues	12
III.2.3 Analyse du fonctionnement des réseaux.....	13
III.3 Installations classées	15
III.4 Pressions antérieures : anciennes décharges	17
III.5 Modification morphologique du cours d'eau	18
IV Analyse de la qualité physique	21
IV.1 Température et débit	21
IV.1.1 Matériels et méthodes.....	21
Thermie	21
Débits	21
Analyse des données.....	22
IV.1.2 Résultats et analyse de la température et du débit	23
IV.1.3 Discussion sur la température et les débits	25
IV.2 Capacité habitationnelle	26
IV.2.1 Matériels et méthodes.....	26
IV.2.2 Résultats et analyse de la qualité habitationnelle	27
IV.2.3 Discussion de la qualité habitationnelle	28

V Analyse chimique	29
V.1 Matériels et méthode.....	29
V.1.1 Suivi des eaux et des sédiments	29
V.1.2 Analyse des résultats.....	29
Seuils de référence.....	29
V.1.3 Critique des suivis.....	30
V.2 Analyses des paramètres globaux	30
V.3 Analyse des éléments minéraux	32
V.3.1 Les eaux	32
V.3.2 Les sédiments.....	33
V.3.3 Les bryophytes	35
V.4 Autres micropolluants organiques	36
V.5 Discussion	37
V.5.1 Paramètres globaux.....	37
V.5.2 Éléments inorganiques	37
VI.2.1 Méthodes indicielles :.....	41
VI.2.2 Composition des peuplements.....	42
VI.2.3 Vulnérabilité du peuplement	43
VI.2.4 Classification Ascendante Hiérarchique (CAH).....	45
VI.2.5 Analyse temporelle	46
VI.3 Bilan macrobenthique.....	46
VII Qualité biologique : peuplement ichtyologique	46
VII.1 Matériels et méthodes.....	46
VII.2 Résultats	47
VII.2.1 Evolution stationnelle des biomasses	47
VII.2.2 Analyses stationnelles par le biotype	48
VII.3 Discussion	51
VII.4 Bilan sur la qualité du peuplement piscicole.....	52
Bibliographie	60
Sitographie	69
ANNEXES.....	70

Table des figures

Figure 1 Situation géographique du bassin versant de la Bienne (Source: Géoportail +Logiciel QGis2.18.2).....	3
Figure 2 Localisation des stations de suivis 2017	5
Figure 3 Degré de connectivité du bassin versant en fonction du réseau karstique, Source : Inspiré de Le Pennec 1997	6
Figure 4 Diagrammes ombrothermiques de Morez et Jeurre (années 1998 – 2016 ; source météo France)	7
Figure 5 Nature de l'occupation des sols du bassin versant de la Bienne (Corine Land Cover, 2012).....	8
Figure 6 Evolution temporelle de la démographie du XVIIIe siècle à nos jours sur le bassin versant de la Bienne (Ldh/EHESS/Cassini jusqu'en 1999 puis Insee à partir de 2006).	9
Figure 7 Evolution temporelle des exploitations agricoles (source : Agreste, 2010)..	10
Figure 8 Répartition de la surface agricole utile (RPG, 2013)	10
Figure 9 Répartition communale des UGB sur le bassin versant de la Bienne (Agreste, 2010)	11
Figure 10 Répartition du devenir des boues d'épuration (Source : CD39)	12
Figure 11 Taux de rejets bruts non collectés par commune (source : CD39).....	13
Figure 12 Estimation de la charge brute journalière traitée et non traitée en 2016 ...	14
Figure 13 Répartition des installations classées actives et en arrêt sur le bassin versant de la Bienne	16
Figure 14 Zone d'accumulation de déchets métalliques et degré de connexion du milieu aquatique sur le bassin versant de la Bienne.....	17
Figure 15 Discontinuité de la Bienne et de ses affluents.....	19
Figure 16 Barrage d'Étables (Carte postale des années 1950) '© Jérôme Mongreville	20
Figure 17 Évolution de la température et du débit à Morez de 2010 à 2016	23
Figure 18 Évolution de la température et du débit à Jeurre de 2010 à 2016.....	23
Figure 19 Temps de dépassement des limites de températures fixées en fonction de chaque période estivale à Jeurre	25
Figure 20 Évolution temporelle des concentrations en cuivre dans les eaux à Jeurre	33
Figure 21 Représentation d'analyse en composantes principales (Descripteurs=paramètres physico-chimiques, point objet=Stations).....	34
Figure 22 Évolution des concentrations en cuivre dans les bryophytes sur le gradient amont aval de la Bienne (année confondue de 95 à 2015) Couleur = référence au SEQ_EAU	35
Figure 23 Évolution temporelle des concentrations dans les bryophytes en cuivre à Tancua	36
Figure 24 Évolution longitudinale des indices macrobenthiques	41
Figure 25 Abondance et variété générique des peuplements macrobenthiques en fonction des différentes stations	42
Figure 26 Proportions taxonomiques au sein des peuplements macrobenthiques en fonction des stations.....	43
Figure 27 Classification ascendante hiérarchique des stations en fonction des peuplements macrobenthiques observées	45

Figure 28 Évolution longitudinale et temporelle de la biomasse de la truite	48
Figure 29 Comparaison diachronique des peuplements observés avec les potentiels théoriques des stations d'études	50
Figure 30 Truite fario capturée au Bief de la Chaille (1390g)	51
Figure 31 Prolifération algale observée à Jeurre ©FD39 - 2016	55

Table des tableaux

Tableau 1 Résultats des tests statistiques sur l'évolution temporelle du débit et de la thermie pour Jeurre et Morez	24
Tableau 2 Résultats IAM	27
Tableau 3 Résultats des analyses des eaux au niveau des paramètres globaux	31
Tableau 4 Résultats des analyses en basses eaux au niveau des micropolluants ...	32
Tableau 5 Résultats des analyses en hautes eaux au niveau des micropolluants métalliques	32
Tableau 6 Résultats des analyses de métaux au sein des sédiments	33
Tableau 7 Abondance des taxons polluosensibles en fonction des différentes stations	44
Tableau 8 Propositions de gestion	59

Glossaire

AAPPMA : Association Agrée pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique
ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
AEP : Alimentation en Eau Potable
AERMC : Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse
AC : Assainissement Collectif
ANC : Assainissement Non Collectif
BASIAS : Base de données des Anciens Sites Industriels et Activités de Service
BASOL : Base de données sur les sites et sols pollués ou potentiellement pollués
BEEC : Bureau d'Etude Eaux Continentales
Cb2 : Capacité Biogène Secondaire
CG39 : Conseil Général du Jura
CLC : Corine Land Cover
CSP : Conseil Supérieur pour la Pêche
DCE : Directive Cadre sur l'Eau
DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
EH : Equivalent Habitant
ETM : Eléments Traces Métalliques
FD39 : Fédération du Jura Pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques
HAPs : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
IAM : Indice d'Attractivité Morphodynamique
IBGN : Indice Biologique Global Normalisé
ICPE : Installations Classées pour la Protection de l'Environnement
INERIS : Institut National de l'Environnement industriel et des RISques
INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
LDA 39 : Laboratoire Départemental d'Analyse du Jura Programme
MAG 20 : Macrobenthos Analyse Générique sur 20 placettes
MES : Matières En Suspension
NTT : Niveau Typologique Théorique
ONEMA : Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques P
PNRHJ : Parc Naturel du Haut Jura
QMNA 5 : Débit Mensuel Minimal se produisant une fois tous les 5 ans
ROE : Référentiel des Obstacles à l'Écoulement
RPG : Registre Parcellaire Graphique SAU : Surface Agricole Utile
SEQ-Eau : Système d'Evaluation de la Qualité de l'Eau
SIE : Service d'Information sur l'Eau
SIVOM : Syndicat Intercommunal à Vocations Multiples
SPANC : Service Public d'Assainissement Non Collectif
SRAE : Service Régional d'Aménagement des Eaux
STEP : STation d'EPuration des eaux usées
TEP (ETP, PET) : Trichoptères, Ephéméroptères, Plécoptères
UGB : Unité Gros Bétail
UGBTA : Unité Gros Bétail Tous Aliments

Résumé

La rivière Bienne, principal affluent de l'Ain, était autrefois une rivière réputée pour sa forte productivité salmonicole. Les fortes mortalités piscicoles de ces dernières années témoignent de conditions peu propices au développement harmonieux des biocénoses aquatiques. De nombreuses études ont été initiées par les acteurs du territoire afin de comprendre les raisons de cette dégradation, mais elles ne sont que peu mises en lien. Cette étude avait pour objectif de regrouper et synthétiser les données issues des multiples gestionnaires, dans le but de les confronter et de comprendre quelles sont les pressions actuelles et passées de ce cours d'eau. De plus, différentes chroniques ont été initiées durant l'été 2017 afin de réaliser un état des lieux actuel sur le continuum longitudinal. Les résultats ont confirmé que les pollutions perdurent sur ce cours d'eau, surtout en provenance du secteur industriel de la haute-Bienne. Les altérations passées et actuelles tant d'un point de vue physique, chimique que biologique démontrent que l'altération aggravée de la capacité biogénique est liée à un problème multifactoriel.

Abstract

Bienne river is the main affluent of Ain. Formerly, it was a river renowned for its high salmon productivity. Since few years ago, high fish-death-rate shows us that the conditions of the aquatic biocenose are not optimal. Many investigations were initiated by field actors to understand the reasons of this deterioration but these reasons cannot be connected between them. This investigations should gather and aggregate some data, came from many administrations, to confront, and understand the past and current pression of this river. Moreover, different chronicle began since this summer to make an inventory of the longitudinal continuum. The results corroborate that pollutions go on the river and they mostly come from the Haute Bienne manufacturing sector. Past and current physica, chemical and biological distortions prove that the situationges to pot becam multifactorial of problem.

Introduction

Bien que les systèmes lotiques représentent moins de 0,1% de la surface terrestre, ils restent d'une importance capitale pour le développement de la vie sur Terre et de ce fait pour le bien-être et le développement de notre société (Wetzel, 2001). Ils remplissent en effet de nombreux services écosystémiques indispensables à l'humanité, comme les services de régulation, les services de soutien, sans oublier les services d'approvisionnement et culturels tels que la pêche (Assessment, 2005).

Depuis les années 70, l'expansion de l'industrialisation, de l'urbanisation et des pratiques agricoles intensives a engendré un accroissement des besoins en eau douce (Wetzel, 2001) ainsi que des rejets croissants de xénobiotiques dans les milieux aquatiques (Xuereb, 2009). En France, l'essentiel du réseau hydrographique présente depuis maintenant plusieurs années un état de pollution préoccupant (Ramade, 2007).

La répartition inégale de l'eau douce et sa demande croissante au sein de notre société font alors de cette ressource, renouvelable mais vulnérable, un enjeu préoccupant. C'est pourquoi la mise en place d'une réglementation plus ferme autour de l'eau est devenue nécessaire et s'est traduite par la mise en application de cadres réglementaires européens tels que la DCE (Directive Cadre Européenne) qui requiert l'atteinte du bon état écologique des masses d'eau. Ainsi, le suivi de la qualité des masses d'eaux est devenu un élément essentiel dans la gestion des problématiques environnementales actuelles, aussi bien à l'échelle locale que mondiale.

Les mesures prises à travers l'évolution de la législation ont considérablement diminué la quantité de contaminants rejetés dans les milieux aquatiques. Malgré cet état de fait, de nombreuses substances d'origine industrielle et domestique sont encore déversées dans le milieu naturel (Djelal, Rigail & Boyer, 2009), volontairement ou non. La présence de ces rejets de toute nature dans les cours d'eau calcaires modifie potentiellement la qualité physico-chimique de l'eau (élévation de la température, baisse de l'oxygène dissous, augmentation de la turbidité, présence de composés chimiques toxiques...) de façon considérable (Rossi & Hari, 2004; Vandenberg *et al.*, 2005; Andersen *et al.*, 2014).

Ce processus de dégradation est notamment accentué dans le Massif Jurassien en raison de la présence de sols peu profonds et d'un réseau karstique particulièrement développé induisant de nombreuses circulations souterraines. Les temps d'infiltration d'eau sont rapides, augmentant les risques de pollution, pouvant également venir d'anciennes pratiques sur le bassin versant (agriculture intensive, anciennes décharges, etc). Toutes ces pressions anthropiques et naturelles ne permettent pas aux cours d'eau de jouer correctement leur rôle épurateur (Villeneuve *et al.*, 2015).

Tant d'un point de vue régional (dans le Jura) que national (en Suisse), des études montrent que les prises de truites et d'ombres ont chuté de près de 70 % en 15 ans (FCPJ *et al.*, 2004; Fischnetz, 2004).

Dans un second temps, le déclin des espèces accompagnatrices de la truite (loche, vairon) atteste d'une certaine banalisation des cours d'eau induite vraisemblablement par une dégradation de la qualité de l'eau et de l'habitat. Ces dégradations résultent, en partie, des divers rejets toxiques et aménagements provoquant de nombreux dysfonctionnements.

Comme pour de nombreuses rivières Franc-Comtoises, la Bienne a rencontré depuis les années 50 une forte altération de sa qualité. Cette rivière calcaire, typiquement salmonicole, était auparavant réputée chez les pêcheurs en raison de son abondance en truites *farlo*. Cette espèce inféodée aux eaux fraîches, bien oxygénées et rapides des rivières de première catégorie pour la réglementation halieutique, a une grande exigence concernant la qualité de l'eau.

Malgré la mise en place dès 1995 d'un contrat de rivière, permettant d'engager des actions de restauration des milieux aquatiques, cette rivière connaît aujourd'hui des surmortalités piscicoles, ainsi que des cas prononcés d'infections mycosiques (El Bettah, 2013; Pozet & Porcher, 2016). De nombreuses études indiquent des problèmes d'altération de la qualité physico-chimique, se matérialisant par un appauvrissement et une banalisation générale de sa capacité biogène. Ces dégradations ne permettent plus une capacité d'accueil naturelle pour une faune aquatique se rapprochant du référentiel typologique.

Cette étude aura pour but de déterminer quelles sont les causes prédominantes, antérieures et actuelles, entraînant l'altération de la capacité biogénique de la Bienne.

Dans un premier temps, la démarche consistera à rechercher et cartographier les sources actuelles et passées de dysfonctionnements à l'échelle du cours d'eau et de son bassin versant.

Dans la même démarche, il conviendra ensuite de rechercher les dysfonctionnements biologiques et physico-chimiques au sein du cours d'eau. De ce fait, la mise en place d'inventaires biologiques et physico-chimiques permettra d'obtenir un état des lieux actuel. Ces résultats seront mis en lien avec les données antérieures afin d'intégrer au mieux l'évolution temporelle.

In fine, l'analyse des données au sein du cours d'eau et celle des pressions environnantes permettront d'aborder d'éventuelles pistes de gestion et de suivis afin d'améliorer les capacités biogéniques de la Bienne.

I. Présentation du site d'étude et approche globale

I.1 Situation géographique

Principal affluent franc-comtois de la rive gauche de l'Ain (Figure 1), la Bienne possède un bassin d'alimentation admis de 730 km². Cette rivière est issue de la jonction de deux cours d'eau. Ainsi, elle prend sa source à Mont Fier, sur une rivière appelée Biennette à 1 130 m d'altitude et au complexe de saut de ski des tuffes, sur la rivière nommée Bief de la Chaille à 1159 m d'altitude. C'est au lieu-dit « Les Rivières », en amont de Morez, que ces deux sources se rejoignent pour former la Bienne.

Après un parcours en direction du Nord/Nord-Ouest, parallèlement à l'accident de Morez, la Bienne suit l'axe du plissement jurassien de Morbier jusqu'à l'aval de Saint Claude. Dans ce secteur, la Bienne est fortement encaissée dans des gorges à ossature calcaire. A l'aval de Saint-Claude, elle suit son cours jusqu'à Dortan, au sein d'une plaine alluviale, avant de bifurquer vers le nord-nord-ouest pour rejoindre le lac de Coiselet et confluer avec l'Ain à la limite sud du département du Jura (Figure 1 ; Annexe 1).

Ce cours d'eau mesure environ 69 km de long et possède 16 affluents, dont neuf principaux (l'Evalude, la Pissevielle, le Grosdar, le Flumen, le Tacon, le Lizon, Longviry, l'Heria et le Merdanson, cités respectivement de l'amont à l'aval).

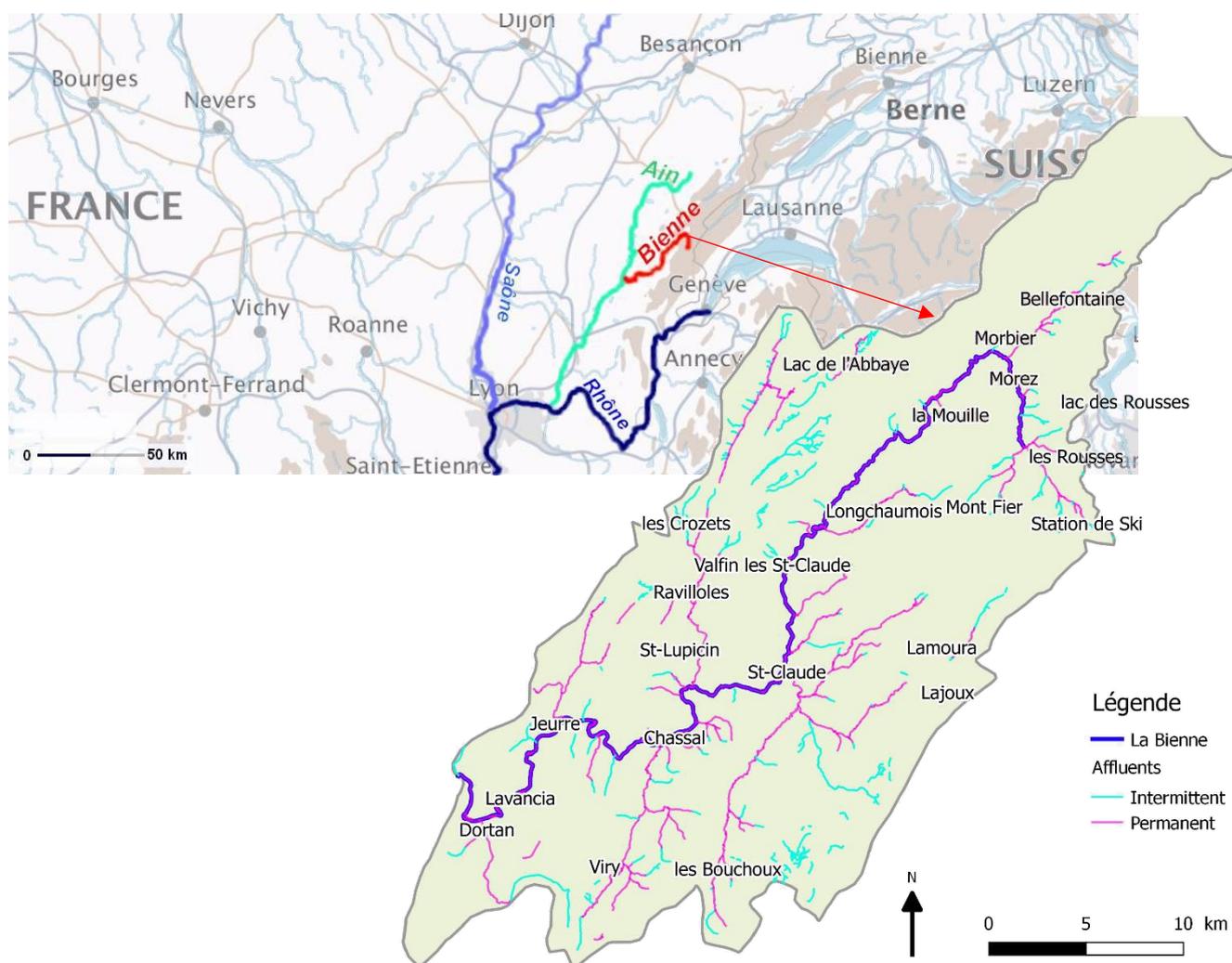


Figure 1 Situation géographique du bassin versant de la Bienne (Source: Géoportail +Logiciel QGis2.18.2)

I.2 Synthèse de données

La compréhension des facteurs anthropiques et naturels, à travers les études antérieures, est primordiale pour mettre en évidence les éventuelles sources de dysfonctionnements sur la Bienne et son bassin versant. De plus, pour évaluer la qualité globale du cours d'eau, il est nécessaire d'intégrer les fluctuations temporelles et spatiales des perturbations, et ce entre les différents compartiments. Ainsi, la réalisation d'une synthèse des données bibliographiques et numériques représente une étape nécessaire pour cette étude. Cette étape permet de mettre en place une banque de données uniformisée, et d'obtenir, à certains endroits du bassin versant, une évolution temporelle sur des paramètres clés tant biologiques que physico-chimiques.

La récupération des nombreuses données existantes s'est effectuée, quand celles-ci étaient disponibles et accessibles, auprès des différents acteurs (DREAL, Département, Conseil Régional, AFB, PNRHJ, Bureaux d'études divers, Fédération de pêche, etc...).

I.3 Reconduite et réalisation de nouveaux suivis

Dans le but d'apprécier l'état actuel de la capacité biogénique de la Bienne de la façon la plus exhaustive possible, les compartiments biologiques et l'habitat ont été étudiés. L'approche biologique apporte un élément très complémentaire à l'approche chimique, elle permet notamment de favoriser l'intégration de l'ensemble des perturbations opérant dans le milieu ainsi que leurs variations (Adam, 2008) mais aussi de prendre en compte les effets de l'ensemble de la partie biodisponible des xénobiotiques sur un ou plusieurs compartiments. C'est pourquoi l'étude de la faune macrobenthique et pisciculaire a permis d'évaluer la capacité biogène actuelle du cours d'eau, puis des analyses chimiques, au niveau des eaux et sédiments, et physique à l'échelle de la station (IAM) ont été initiées afin d'identifier aux mieux les éléments clés portant sur la dégradation et l'altération de la capacité biogénique de la Bienne.

De nombreuses stations d'études préexistantes ont été recensées sur le bassin versant. Certaines ont été reconduites et de nouveaux suivis ont également été initiés. Leur localisation (Figure 2) a été définie :

- En intégrant le continuum longitudinal de la Bienne, de la source à l'aval,
- En prenant en compte les facteurs existants sur le bassin versant de la Bienne (présence d'affluents, réseaux karstiques, diverses pressions anthropiques),
- En fonction des suivis antérieurs dont les données existantes permettent de justifier la reconduite de certains suivis, de rechercher une évolution temporelle, mais également de mettre en œuvre de nouvelles chroniques en ciblant des zones d'intérêts peu ou pas étudiées jusqu'à présent.
- En prenant en compte les limites matérielles

In fine, 9 stations ont été définies (la réflexion abordée sur le choix des stations est détaillée en Annexe 2).

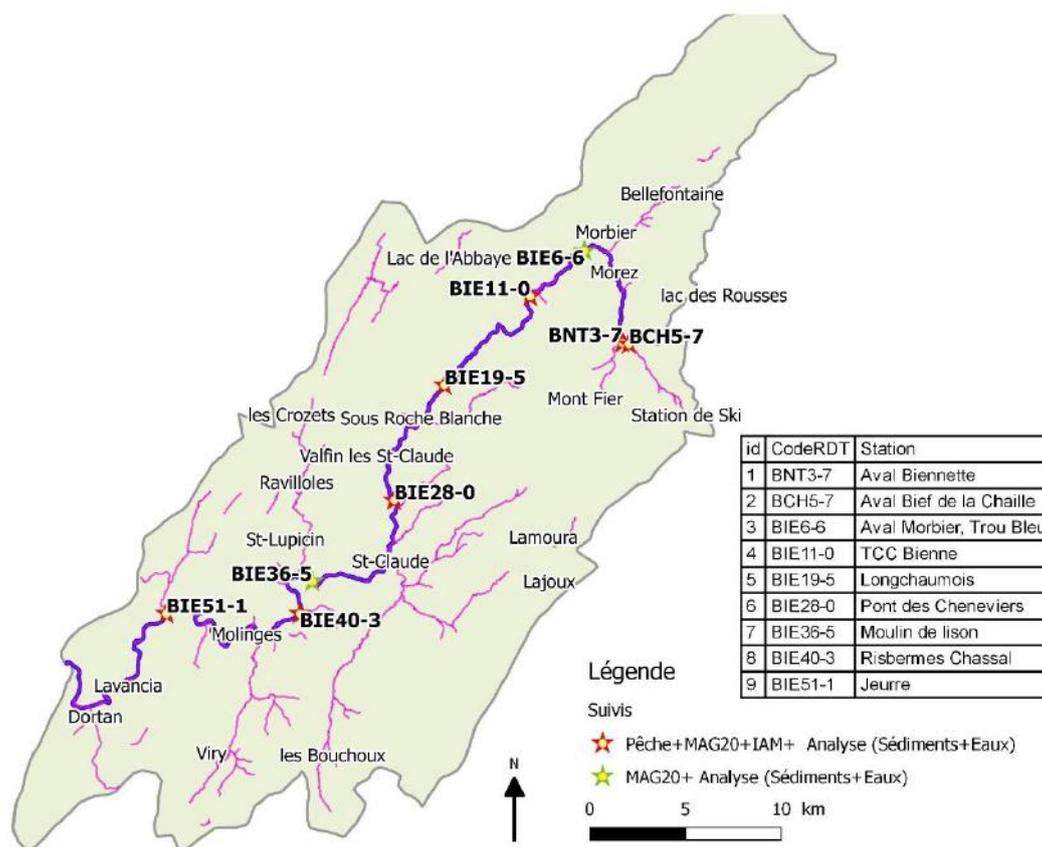


Figure 2 Localisation des stations de suivis 2017

II Contexte et environnement actuel du bassin versant

II.1 Situation géologique et hydrogéologique

Le bassin versant de la Bienne comporte de nombreuses zones hétérogènes (bassins fermés, pertes de cours d'eau et d'émissaires de lac). Ces différentes zones sont liées au contexte géologique et karstique présent sur ce territoire.

En effet, au Nord-Ouest du bassin versant c'est une unité complexe constituée de zones tabulaires (les plateaux) en raison de la poussée alpine venue de l'Est lors de l'Oligocène (-30 Ma). Elles sont séparées par des zones plissées qui a induit l'accrétion du massif du Jura lors du Miocène (entre -11 et -3 Ma) (Jamagne, 2011). La partie méridionale du Jura interne (Haute-Chaîne ou Jura plissé) se caractérise par une succession de plis parallèles, orientés Nord-Est / Sud-Ouest, et souvent bordés par des dépôts glaciaires. L'ensemble de ces plis garde une particularité sur ce bassin versant en raison des décalages créés par deux accidents transverses, ceux de Morez et de Saint-Claude, qui sont affectés par deux abaissements axiaux (à Morez l'axe chute de 200m et celui du Flumen de 400m) (Le Pennec, 1997).

Ce contexte géologique et cette large prédominance de terrain calcaire (1200m d'épaisseur entaillés sur 800m par la Bienne) expliquent la pauvreté des circulations de surface. La dissolution du carbonate de calcium sous l'action de l'eau courante a conduit dès l'émergence du Jura à la formation d'un système karstique bien développé favorisant la présence de dolines, gouffres et chenaux souterrains. Par conséquent, l'infiltration des eaux souterraines est augmentée.

Les sources karstiques sont donc d'une grande importance pour l'alimentation en eau. De nombreuses communes s'approvisionnent grâce au captage d'exutoire de systèmes karstiques. La ville de Saint-Claude capte les sources de Montbrillant et des Foules, ne prélevant directement dans le Flumen qu'en cas d'étiage (CRFC, 1991; *BNPE.fr*). Morez capte principalement la source de l'Arce (CRFC, 1991 ; *BNPE.fr*), où depuis 2016 le lac des Rousses alimente une partie du quartier du Puits d'environ 6670m³ annuel (*Leprogress.fr*). Néanmoins d'après Cornet & Putallaz (1979), la Bienne à l'amont de Morez contribue à l'alimentation de la source d'Arce en forte période d'étiage. Encore aujourd'hui, quand celle-ci est alimentée, la sortie des rejets de la station d'épuration des Rousses est raccordée plus en aval à la sortie de la station d'épuration de Morez.

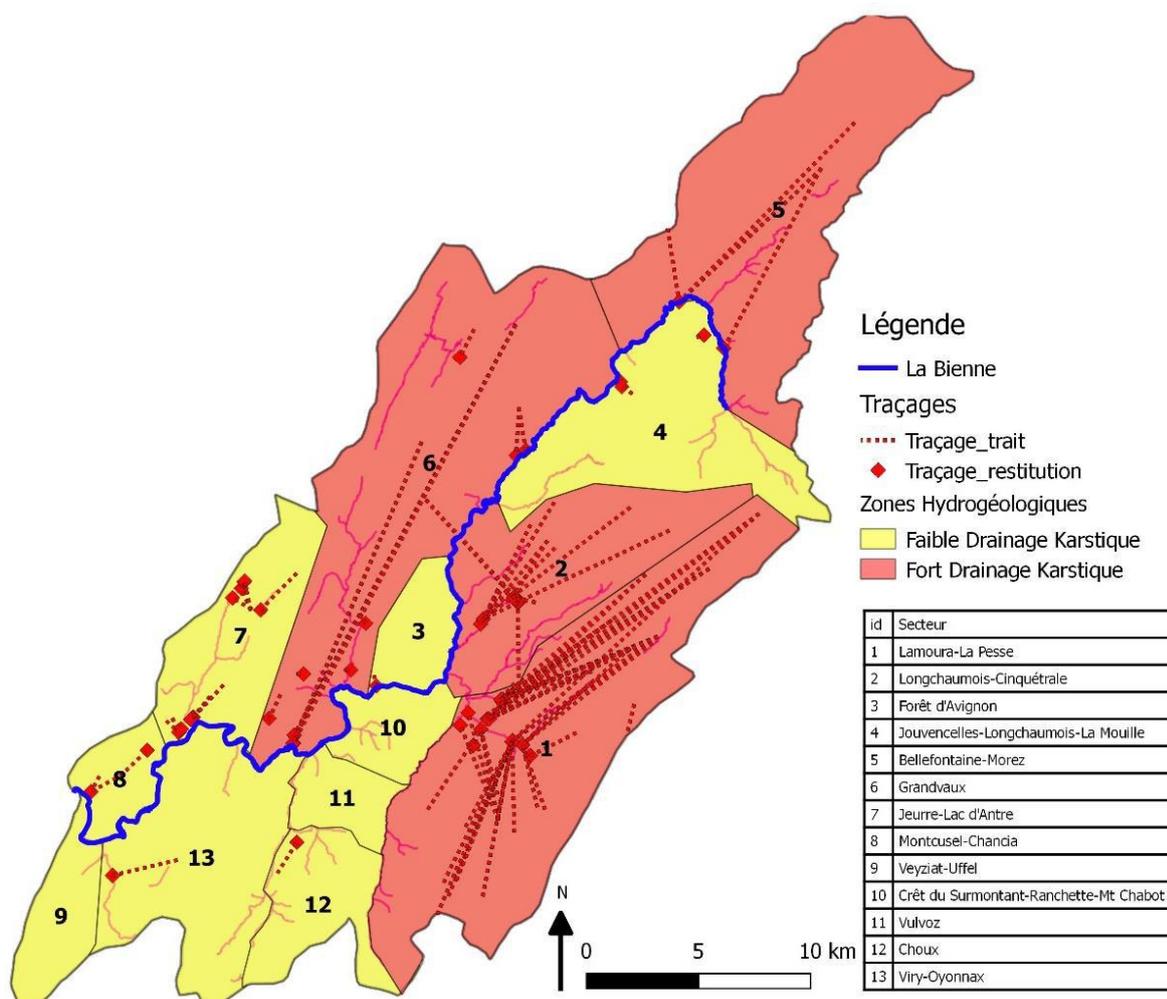


Figure 3 Degré de connectivité du bassin versant en fonction du réseau karstique, Source : Inspiré de Le Pennec 1997

Les traçages historiques réalisés sur le bassin versant de la Bienne mettent en évidence une interconnexion prédominante entre différents secteurs (Figure 3). Quatre zones majeures de drainage karstique existent sur le bassin versant de la Bienne (le système de la Doye Gabet à Morez, secteur de Lamoura la Pesse, Oyonnax-Viry, et de Grandvaux).

Le secteur de Grandvaux marque l'une des plus grandes relations souterraines de Franche-Comté (Annexe 3). En 1994, le traçage réalisé sur le secteur de Grandvaux démontrait une vitesse apparente de 47,2 m/h sur 29,5 km comparativement aux autres traçages du Haut Jura circulant à 100 m/h en moyenne (Le Pennec, 1997).

II.2 Climat et régime hydrique

Le département du Jura présente un climat de type semi-continentale à influence montagnarde induisant des étés chauds et des hivers rigoureux (Verneaux, 1973). En raison de la topographie du bassin versant, la pluviométrie peut varier considérablement d'un site à l'autre (CRFC, 1991) confirmé par les diagrammes ombrothermiques (Figure 4) des villes de Morez (haute Bienne) et Jeurre (basse Bienne).

Les villes de Morez et de Jeurre affichent respectivement des températures annuelles moyennes de 8,1°C et 10,4°C et des précipitations moyennes de 1161 mm et 935 mm de pluie par an (*Meteofrance.fr*).

Bien que les données météorologiques historiques confirment un climat normal de moyenne montagne, les amplitudes thermiques dépassent actuellement les 20°C en moyenne, ce qui n'était pas le cas dans les années 90 (*Infotclimat.fr*, *Meteofrance.fr*). Les précipitations, sur le bassin versant, sont sensiblement supérieures à la moyenne française. A titre d'exemple, Morez et Jeurre ont connu plus de 1200 mm de pluie en 2016 contre 797mm de moyenne nationale (*Meteofrance.fr*).

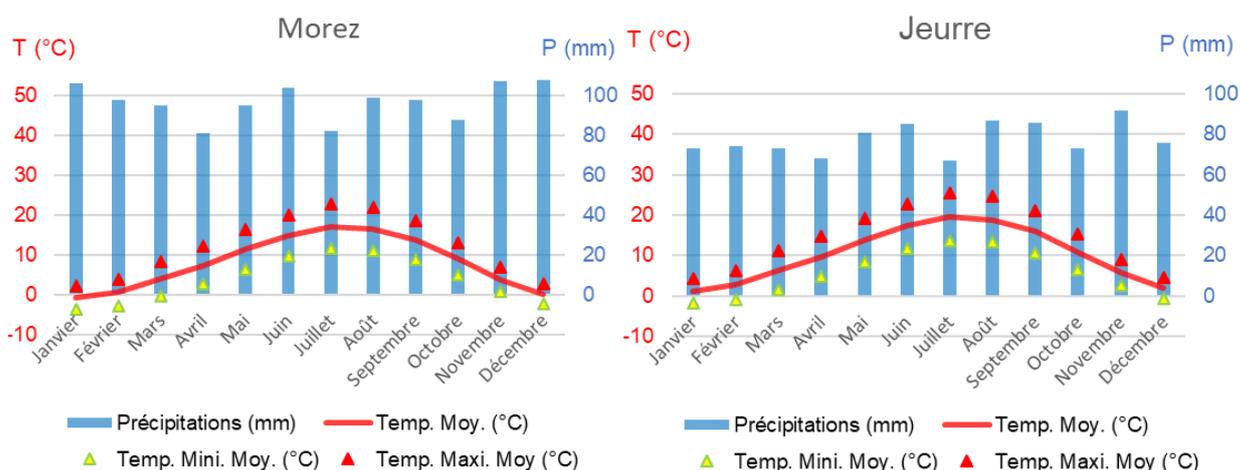


Figure 4 Diagrammes ombrothermiques de Morez et Jeurre (années 1998 – 2016 ; source météo France)

Par ailleurs, de 1951 à 1970, il tombait en moyenne plus de 2000 mm de pluie à Bellefontaine et 1649 mm à Saint-Claude (CRFC, 1991).

L'une des premières grandes années de sécheresse fut 1989 comme en témoignent les précipitations de Bellefontaine peinant à atteindre 1175 mm (CRFC, 1991). Depuis 2002 les précipitations n'ont plus dépassé 1400 mm à Morez (*Meteofrance.fr*) (Annexe 4). La Bienne reste une rivière de régime torrentiel où ces précipitations se font donc toute l'année et ont un caractère imprévisible. La période estivale est donc marquée par une période sèche à fort étiage, précédée par une période de hautes-eaux printanières correspondant à la fonte des neiges, et une baisse du régime en hiver du fait de la fixation des précipitations sous forme de neige et de glace (régime pluvio-nival).

II.3 Contexte socio-économique

II.3.1 Occupation des sols

La couverture nationale Corine Land Cover permet d'apprécier l'occupation des sols du bassin versant (Figure 5). Les forêts prédominent le bassin versant avec environ 74% de recouvrement, puis les territoires agricoles représentent environ 18%. Les forêts sont majoritairement composées de conifères avec 39% de la surface totale, puis de feuillus (28%), les forêts mixtes représentent quant à elles les 7% restants (*CorineLandCover.fr, 2012*). La vallée encaissée de ce cours d'eau de moyenne montagne, peu propice à l'exploitation agricole, explique en partie cette dominance. Les zones artificialisées du bassin versant de la Bienne représentent environ 3% de la surface totale, dominées par les tissus urbains discontinus à hauteur de 2,3%.

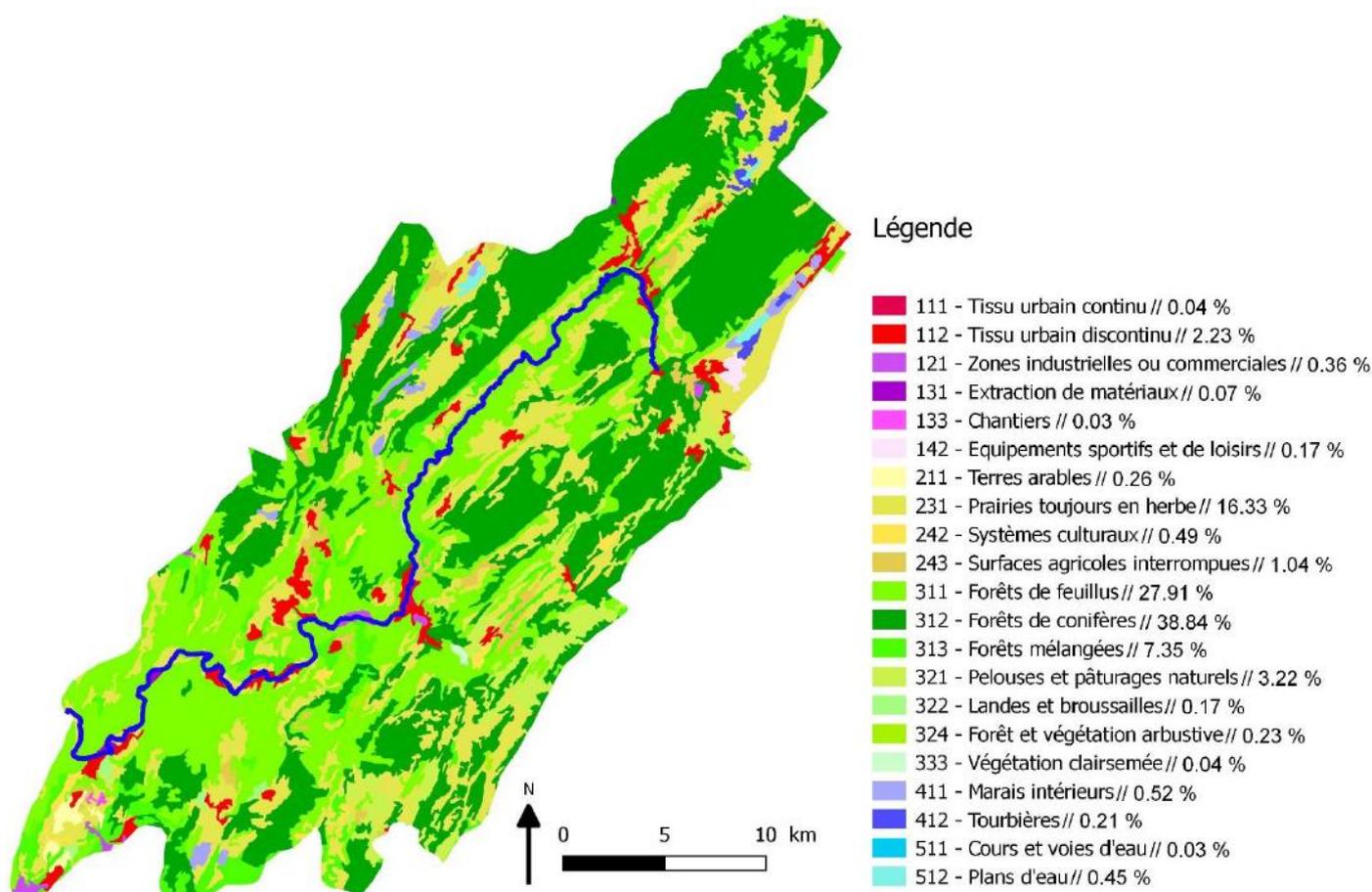


Figure 5 Nature de l'occupation des sols du bassin versant de la Bienne (*Corine Land Cover, 2012*)

D'après l'étude des couvertures Corine Land Cover depuis 1990, le bassin versant de la Bienne a très peu évolué de manière générale (*Annexe 5*).

II.3.2 Démographie

La population du bassin versant de la Bienne se répartit au sein de 47 communes pour un total d'environ 45350 habitants (*Insee.fr*, 2014). Les communes de Saint-Claude et des Hauts-de-Bienne représentent un tiers de la population du bassin versant avec 10096 et 5457 habitants respectivement, 8 communes comprennent entre 1000 et 3500 habitants et 37 possèdent moins de 1000 habitants (Annexe 6). La densité de population est d'environ 62,1 habitants/km², ce qui est légèrement supérieur à la densité moyenne départementale de 52,1 habitants/km² (*Insee.fr*, 2014).

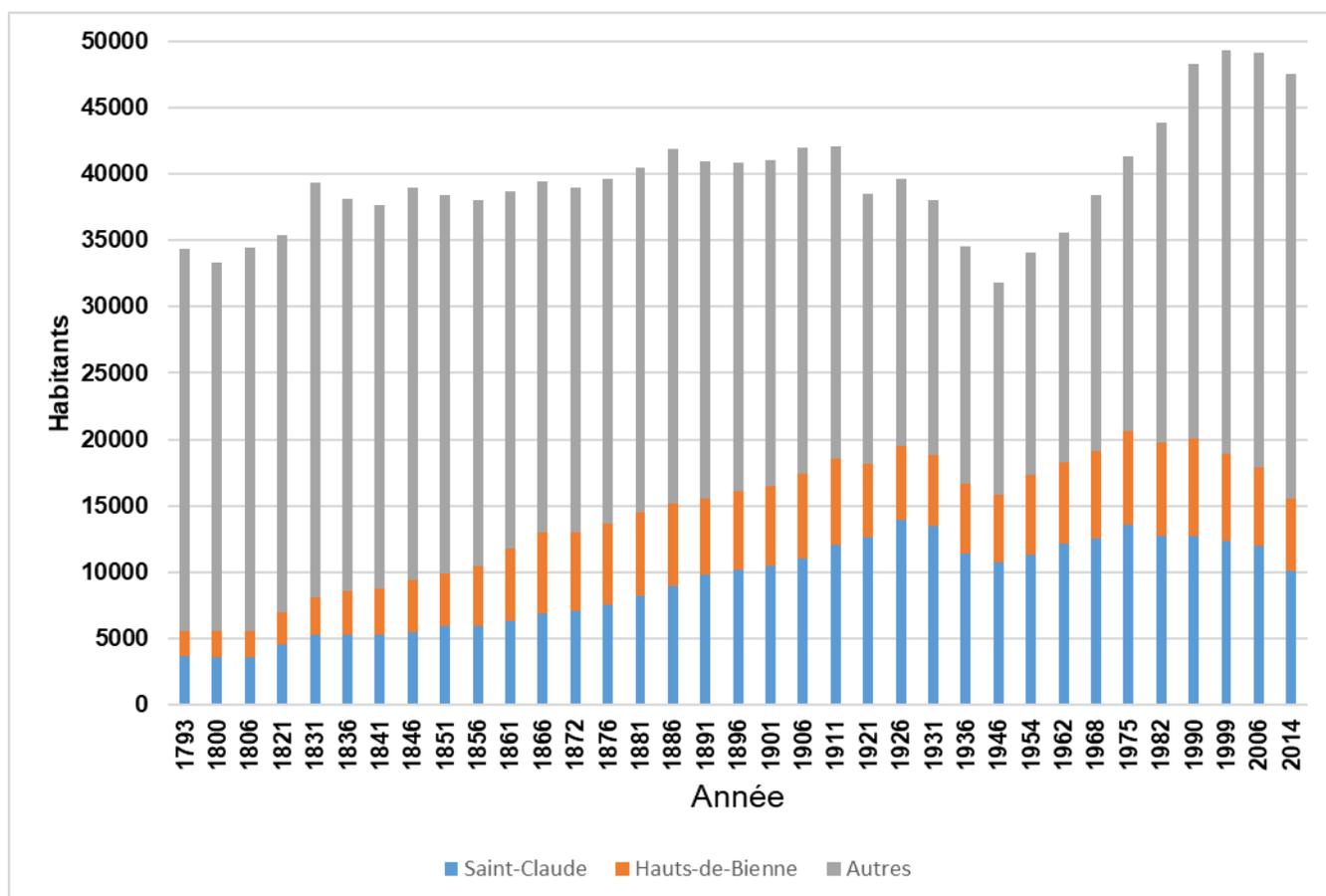


Figure 6 Evolution temporelle de la démographie du XVIII^e siècle à nos jours sur le bassin versant de la Bienne (Ldh/EHESS/Cassini jusqu'en 1999 puis Insee à partir de 2006).

En matière d'évolution, la population augmente fortement durant l'après-guerre (Figure 6) s'expliquant en partie par une diversification des activités industrielles sur le bassin versant. Une tendance inverse est cependant observée depuis les années 80 au sein des grandes communes, à l'image de Saint-Claude qui a perdu environ 25% de sa population. Cela s'explique par un phénomène de rurbanisation sur le bassin versant. En effet, la qualité de vie et les moyens de transport s'étant développés, les personnes n'hésitent pas à s'installer en milieu rural, parfois à quelques dizaines de kilomètres de leur lieu de travail. La légère diminution de population au cours des dernières années peut s'expliquer par la fermeture de nombreuses industries sur le territoire.

III Etude des pressions anthropiques sur le bassin versant

III.1 Activités agricoles

L'agriculture est une ressource économique importante dans le département du Jura. Avec environ 189 exploitations dénombrées en 2010 lors du recensement agricole, le bassin versant de la Bienne n'échappe pas à ces pressions d'usage. Selon les données Agreste (2010), l'agriculture sur le bassin versant a fortement évolué lors des trente dernières années. Le nombre d'exploitations du secteur d'étude est passé de 425 en 1988 à 189 en 2010 (recensement agricole). La Surface Agricole Utile (SAU) ainsi que le cheptel, exprimé en Unité Gros Bétail Tous Aliments (UGBTA), suivent la même tendance à la diminution que le nombre d'exploitations agricoles (Figure 7).

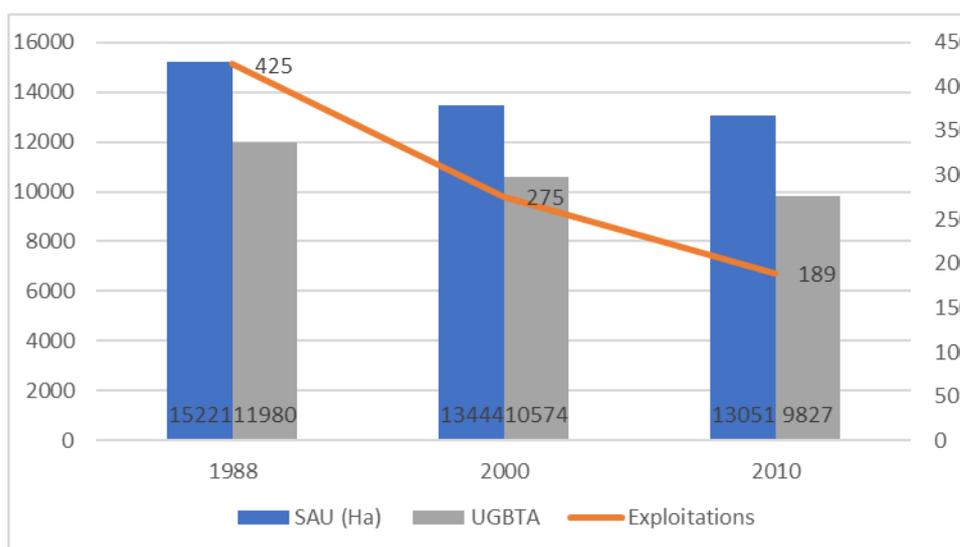


Figure 7 Evolution temporelle des exploitations agricoles (source : Agreste, 2010)

D'après le Registre Parcellaire Graphique de 2014 (Annexe 7) la majorité des surfaces exploitées sont des prairies permanentes (95%), le reste étant partagé entre les estives, les landes, les prairies temporaires et de manière anecdotique quelques autres activités regroupées sous le terme de divers (vergers, cultures...). La Figure 8 illustre cette répartition.

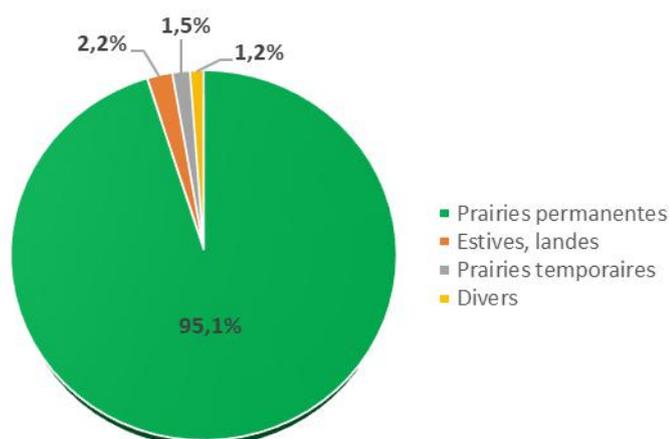


Figure 8 Répartition de la surface agricole utile (RPG, 2013)

Lors du recensement agricole de 2010, le cheptel était de 9827 UGBTA pour une SAU de 13051 hectares soit une pression d'environ 0.75 UBG/ha témoignant d'une pression de pâturage faible et peu intensive. L'élevage bovin destiné à la production de lait à comté et de viande prédomine sur le bassin versant (Draaf FC, 2010).

Il existe cependant quelques élevages porcins dont deux sont des installations classées pour la protection de l'environnement. La répartition éparse des UGB sur le bassin versant indique cependant que la pression due aux activités agricoles n'est pas la même en tout point du bassin versant (Figure 9).

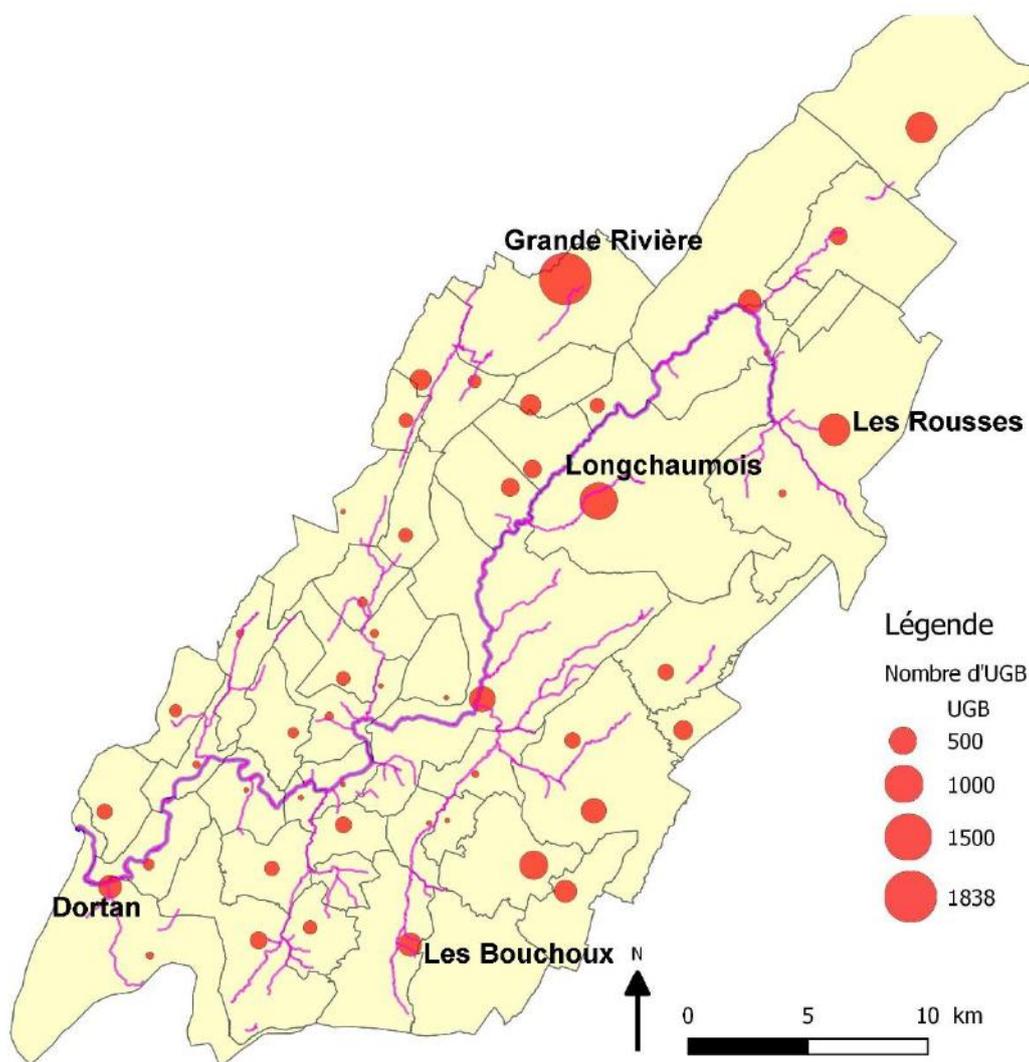


Figure 9 Répartition communale des UGB sur le bassin versant de la Bienne (Agreste, 2010)

L'orientation des exploitations vers du polyélevage (RGA, 2010) génère une quantité importante d'effluents d'élevage, certainement valorisés lors de la fertilisation des prairies afin de maximiser la production de fourrages. Le risque environnemental lié au retournement de prairies, qu'elles soient permanentes ou temporaires, est reconnu (Laurent & Ruelland, 2004; Vertes, Benoit & Dorioz, 2010). Du fait de leur composition riche en matières azotées, les effluents d'élevage constituent une source potentielle de pollution accentuée par le caractère karstique du bassin versant, particulièrement vulnérables aux contaminations chimiques (Andreo *et al.*, 2006).

La quasi-absence de terres labourables cultivées (RGA, 2010) limite fortement les potentiels traitements chimiques de type pesticides ainsi que l'augmentation des risques de ruissellement et d'érosion des sols inféodés ce type de pratique culturale.

Cependant, la présence d'un cheptel peut induire le rejet de résidus de molécules actives d'antibiotiques ou encore d'hormones (Lévi, 2006; Coulon & Meynard, 2011).

Ces pratiques induisent parfois des modifications du cycle du calcium et perturbent les flux de nitrates et de la matière organique (Bruckert *et al.*, 1986; Tavant *et al.*, 1995). Une connaissance plus approfondie de la proportion d'effluents, de prairies retournées et de la fréquence des retournements permettrait d'en savoir plus sur les impacts potentiels liés à cette activité.

III.2 Rejets domestiques

Les données du CD39 ainsi que l'Agence de l'Eau RMC ont permis d'apprécier l'état des systèmes d'assainissement du bassin versant.

III.2.1 Situation

Assainissement non collectif :

Les Communautés de Commune *Jura Sud* et *Haut-Jura Saint-Claude* possèdent chacune un SPANC. Créés respectivement en 2005 et 2011, ces SPANC gèrent l'assainissement non collectif sur le territoire intercommunal. Ainsi, 3630 dispositifs ont été recensés sur le bassin versant, représentant 7200 EH. En 2014, environ 90% des installations contrôlées étaient déclarées conformes sur le bassin versant.

Assainissement collectif :

Sur l'ensemble du bassin versant de la Bienne, 31 systèmes d'assainissement collectifs sont recensés. Ces systèmes présentent des capacités nominales allant de 40 EH (Montcusel) à 9800 EH (Saint-Claude), avec différents types de procédés épuratoires dont les majoritaires sont les boues activées ainsi que les disques biologiques et lits bactériens (Annexe 8).

Ainsi, 34 communes sont reliées à un système d'assainissement collectif dont 4 hors département et 13 sont en assainissement non collectif (Annexe 9).

III.2.2 Valorisation des boues

En ce qui concerne la production de boues, 14 stations génèrent des boues primaires (dépotage 9tMS), 4 stations stockent à long terme (lagunages) et deux à court terme (filtres plantés). La Figure 10 présente la destination des boues, sur les 413t/MS/an, 89% sont exportés hors Jura.

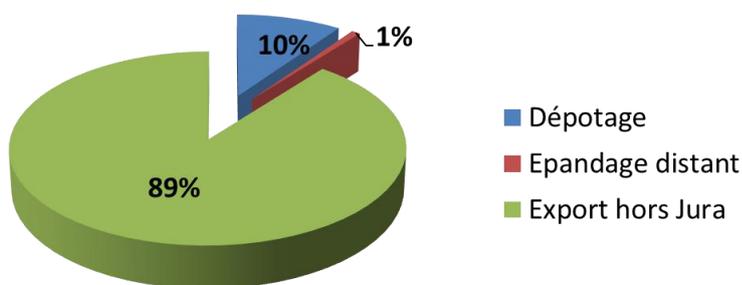


Figure 10 Répartition du devenir des boues d'épuration (Source : CD39)

III.2.3 Analyse du fonctionnement des réseaux

La Mission Eau et Assainissement du Conseil Départemental du Jura réalise chaque année des suivis afin d'établir un bilan évaluant le fonctionnement des réseaux et des stations d'assainissement sur son territoire. Ainsi, les résultats présentés ci-dessous sont issus des données du CD39 pour l'année 2016. Parmi les 29 systèmes d'assainissement concernés, 18 stations sont considérées comme conformes, 6 sont non conformes « ERU » dont 4 en équipement puis 5 sont non conformes « local » dont 4 en équipement (Annexe 8 Données STEP et Annexe 9 : Cartographie de la situation actuelle du système d'assainissement (Source : CD39)). Malgré 62% de stations considérées conformes, l'un des paramètres prépondérants afin d'apprécier l'efficacité des systèmes est le taux de collecte des eaux brutes. L'arrivée des eaux usées dans les ouvrages de traitement est l'une des étapes primordiales conditionnant le bon fonctionnement d'un système d'assainissement. En effet, seule l'installation d'un réseau d'assainissement performant peut garantir ce bon fonctionnement (Agence de l'eau, RMC). La Figure 11 présente le taux de rejets bruts non collectés par commune.

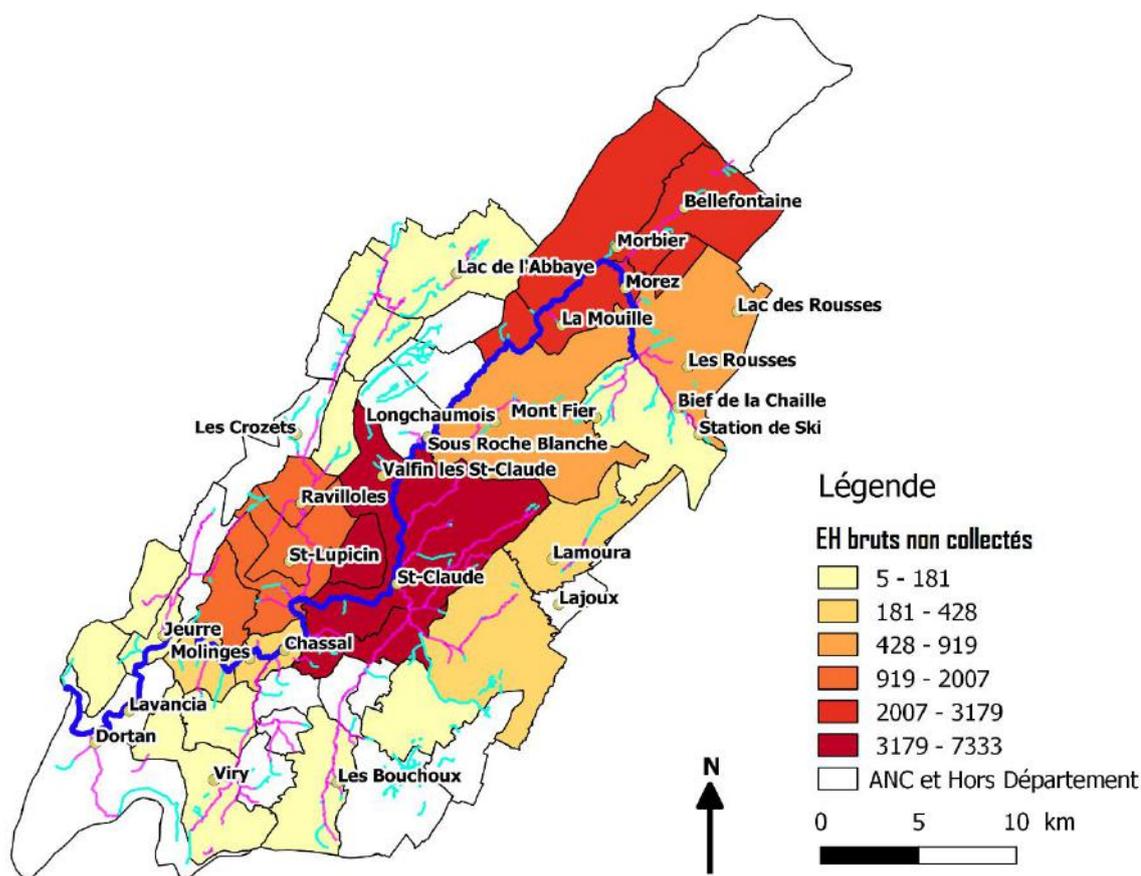


Figure 11 Taux de rejets bruts non collectés par commune (source : CD39)

Chaque jour, environ 50%, soit environ 17458 EH ne sont pas traités par les STEP du bassin versant (CD39, 2016). Il est possible d'observer sur la Figure 11 que les zones les plus proches du cours d'eau sont également celles présentant les plus fortes densités de rejets non collectés. La variabilité de la qualité des rejets associée aux variabilités hydrologiques et de flux de contaminants dans le milieu récepteur, engendre une variabilité temporelle des impacts de STEP dans les cours d'eau (Chiffre, 2016).

Bien que l'ensemble de la charge non traitée ne soit pas directement déversée dans le cours d'eau, une part importante de celle-ci peut dégrader le milieu (Figure 12) et induire des dysfonctionnements à plusieurs niveaux.

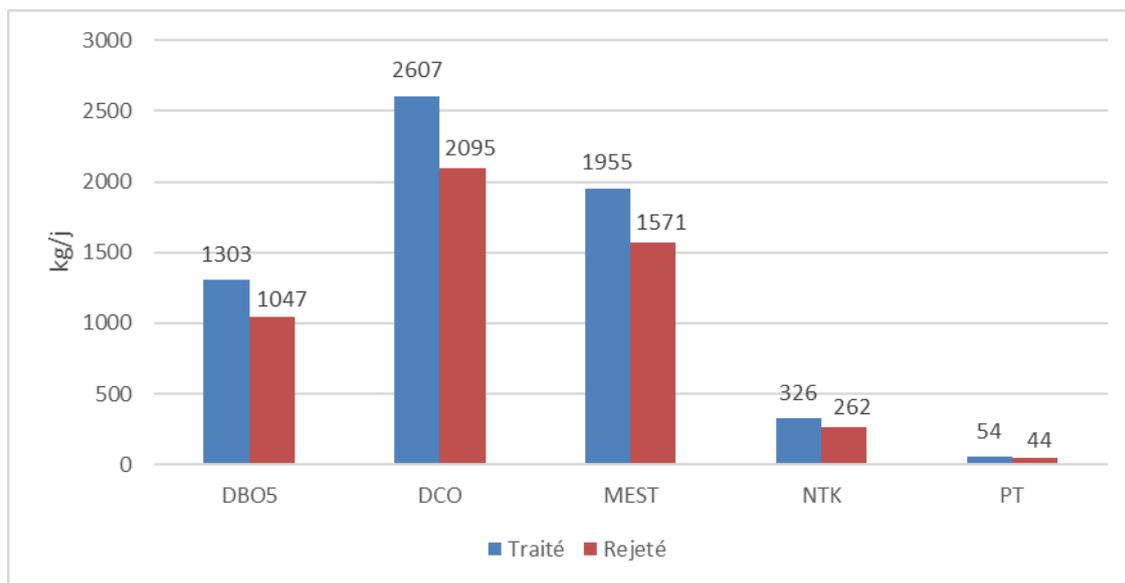


Figure 12 Estimation de la charge brute journalière traitée et non traitée en 2016

L'apport de MES peut favoriser les colmatages ainsi que les phénomènes d'adsorption des micropolluants, pouvant ensuite se répercuter sur les organismes aquatiques (Bilotta & Brazier, 2008). De plus, lors d'évènements pluvieux, les MES sont le principal vecteur de la MO, DCO, DBO5, des éléments métalliques et des HAP du fait d'une remise en suspension des dépôts présents dans les réseaux (Rossi *et al.*, 2013). Les charges azotées et phosphorées en excès participent aux processus d'eutrophisation d'un système aquatique (Audoin, 1991). De plus, l'ammonium (NH_4^+) contenu dans les eaux domestiques est un polluant potentiellement très dommageable en milieu calcaire. En effet, en présence d'un pH supérieur à 7,5, un certain pourcentage de l'ammonium se trouve sous sa forme non ionisée, l'ammoniac NH_3 , qui est un toxique nerveux (Krejci *et al.*, 2005), ce phénomène s'accroît lorsque la température augmente. Les apports en matières organiques augmentent également la DBO ainsi que la DCO, puis la dégradation accrue de la matière organique amène des risques de désoxygénation des eaux avec production excessive d'ammonium (NH_4^+) et de méthane (CH_4).

Malgré une approche purement théorique, ne prenant pas en compte le taux réel de contaminants bruts atteignant les masses d'eau, le **système d'assainissement** collectif du bassin apparaît aujourd'hui **défaillant**. Assurément, avec seulement 54% de la charge polluante réellement traitée au sein du bassin versant de la Bienne, le **fort taux de rejets non collectés complique fortement l'établissement d'un système d'assainissement performant**.

L'obtention de données d'autosurveillance permettrait une évaluation plus fine des rejets. En effet, ces différents apports peuvent avoir un impact sur la qualité biologique de l'écosystème en touchant les peuplements végétaux, macrobenthiques et piscicoles (Paul & Meyer, 2001).

III.3 Installations classées

Depuis la fin du XVIII^e siècle, la Bienne possède une importante activité industrielle qui ne peut être négligée en matière d'impact sur le bassin versant, notamment par la contamination des eaux souterraines, superficielles et des sols situés sous leur emprise. Mis à part les GAEC, les exploitations laitières ou porcines regroupées entre le Lac de l'Abbaye et Lamoura, la Figure 13 (données récupérées à partir de *Basias.fr* et *Installations.fr*) permet de séparer ce bassin versant en deux grands secteurs possédant un fort patrimoine industriel :

- La haute Bienne (en amont de Saint-Claude) :

L'activité industrielle est essentiellement représentée par la lunetterie, déjà présente en 1840 (Colin, 1937). Même si l'activité est dix fois moins prononcée que dans le passé, il est encore possible de trouver des équipementiers comme SIPAL ou FINASSE où la tribofinition est largement utilisée. Des lunetiers qui fabriquent et assemblent des montures (BOURGEAT, LUX, MOREL, etc), ainsi qu'un atelier de décolletage (PROST) fournissant l'ensemble des lunetiers en visserie, utilisent de grandes quantités de métaux (cuivre, laiton), et de l'huile de coupe (ADPHJ, 2000). L'industrie de la lunetterie utilise principalement des alliages cuivreux. Ces alliages comportent une forte proportion de cuivre allié à d'autres métaux non ferreux (zinc, plomb, nickel, sélénium, manganèse, aluminium etc...). L'eau utilisée pour ces procédés industriels provient soit du réseau de distribution ou d'un prélèvement de surface. Les principales sources de pollution proviennent essentiellement de la tribofinition et des bains de traitements (Annexe 10). L'eau est également utilisée par les refroidissements de machines.

- La Basse Bienne (en aval de Saint-Claude) :

Au XVIII^e siècle, la filière bois (bois d'œuvre, bois d'industrie) faisait vivre de nombreuses familles sur le secteur de la basse Bienne (Colin, 1937) à travers diverses activités (sylviculture sciage, menuiserie ameublement, fabrication de jouet traditionnel en bois, tournerie). La ville de Saint-Claude était la première ville industrielle du Jura. En 1847, elle comptait 18 ateliers de tabatières (Colin, 1937) et dans les années 90, elle fabriquait 90% de la production de pipes en bois de bruyère (CRFC, 1991).

A partir du XX^e siècle les activités industrielles se sont amplifiées et modifiées avec le développement de l'industrie plastique, la filière bois n'était plus localisée qu'à Moirans. Aujourd'hui l'activité industrielle de la basse Bienne s'articule essentiellement autour des industries plastiques et de traitement de surface (création de moules, fournisseurs de pièces pour les équipementiers, etc) ou encore spécialisées dans le caoutchouc, pneu et l'industrie de pièce automobile (*Installations.fr*) avec quelques métallurgies. Ces installations sont essentiellement de types autorisation ou enregistrement.

L'activité industrielle de la haute Bienne, majoritairement représentée par des activités utilisant les métaux, est un **facteur non négligeable** à prendre en compte dans l'évaluation des **sources de pollution métallique avérée dans le passé** (Morillas & Degiorgi, 1998; Bureau d'étude Eaux Continentales, 2004). Malgré l'existence d'un groupe de travail liant différents acteurs, il existe certaines données encore aujourd'hui difficiles à obtenir (accessibilité, durée de procédure d'accord trop importante, confidentialité).

Légende

Installations Classées

ICPE_Type A et E [43]

- Carrières en arrêt [2]
- Décharges en arrêt [3]
- Industries agricoles en arrêt [1]
- Industries du bois en arrêt (Scierie) [5]
- Industries plastiques en arrêt [1]
- Traitement de surface en arrêt [5]
- ▲ Carrières [3]
- ▲ Décharges [3]
- ▲ (Vaches laitières + Fromageries) [3]
- ▲ Industries du bois (Scierie + Transformation) [1]
- ▲ Industries plastiques [5]
- ▲ Traitement de surface [5]
- ★ Métallurgie [2]
- ◆ Traitements déchets métalliques [2]
- ◆ Stockage déchets métalliques [1]
- ★ Usine EDF GDFARRET [1]
- ★ ICPE_Type D [70]
- ◆ Décharges en arrêt [1]
- ◆ Industries plastiques en arrêt [1]
- Lunetterie en arrêt [1]
- Lunetterie [10]
- ▲ Traitement de surface [2]
- ▲ Industries plastiques (Fabrication, Moulages) [18]
- ▲ Industries du bois (Scierie, Transformation) [5]
- ▲ (Vaches laitières + Fromagerie) [23]
- ★ Métallurgie [5]
- ★ Installation électrique [1]
- * Imprimerie [1]
- Stockage énergie (charbon, combustible) [1]
- Piscine [1]

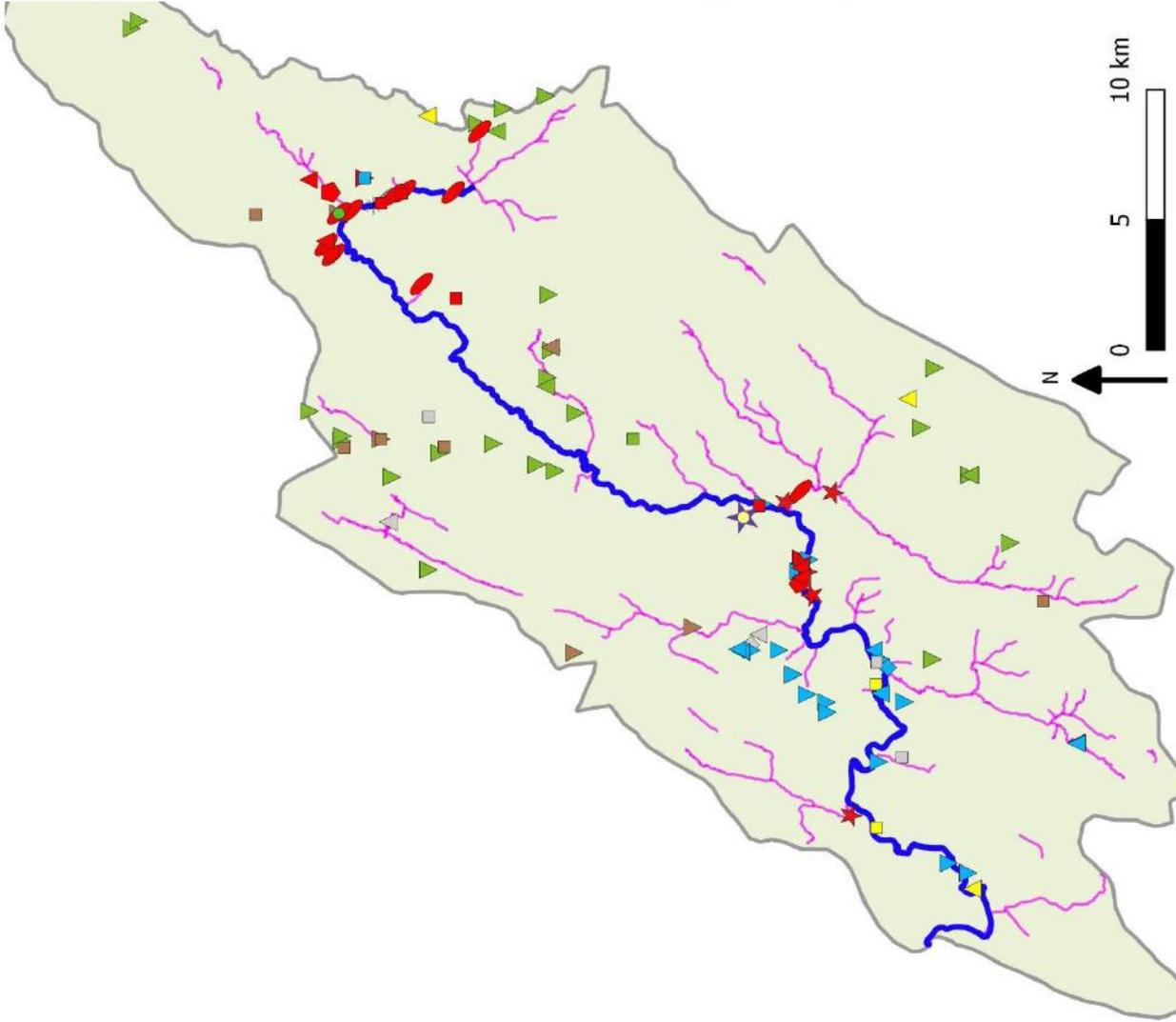


Figure 13 Répartition des installations classées actives et en arrêt sur le bassin versant de la Bienne

III.4 Pressions antérieures : anciennes décharges

La recherche bibliographique (Gudéfin, 1978; FDEJ, 1993) a permis de recenser la majorité des anciennes décharges qui ont pu ensuite être cartographiées sur le bassin versant (Annexe 11). L'identification des décharges contenant une accumulation d'éléments métalliques ainsi que l'évaluation du degré de connexion avec le cours d'eau (Annexe 12) permet d'évaluer les décharges présentant un risque de relargage d'éléments métalliques au sein du cours d'eau (Figure 14). Plus d'une cinquantaine de décharges ont été recensées dont 18 présentant des éléments métalliques.

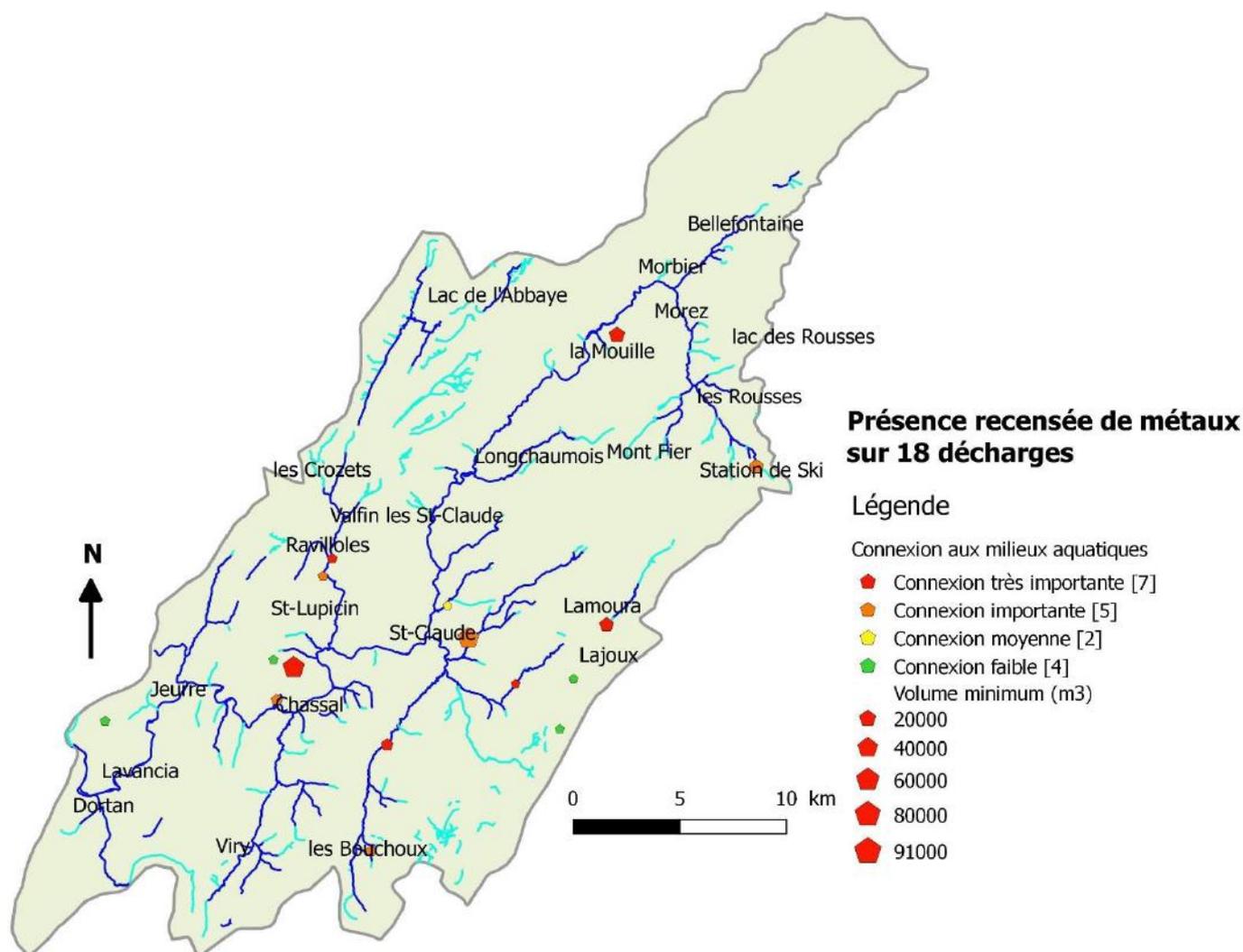


Figure 14 Zone d'accumulation de déchets métalliques et degré de connexion du milieu aquatique sur le bassin versant de la Bienne

Les anciennes décharges, généralement enfouies ou inaccessibles, représentent des pressions anthropiques antérieures en raison des interconnexions souterraines présentes sur ce bassin versant.

III.5 Modification morphologique du cours d'eau

Malgré les études et les projets d'améliorations menés depuis les années 90 sur la qualité physique de ces cours d'eau (Morillas & Degiorgi, 1998), la basse Bienne présente toujours une importante altération de la qualité de l'habitat aquatique (Rodriguez, 1998; PNRHJ, 2017). En effet, celle-ci est victime d'une profonde altération de la qualité physique liée à un déséquilibre de la dynamique fluviale (Tourreau *et al.*, 2002).

Ce déséquilibre s'explique par l'installation d'aménagements anthropiques, liés à l'usage du cours d'eau, marquant au cours de l'histoire différentes incisions du lit.

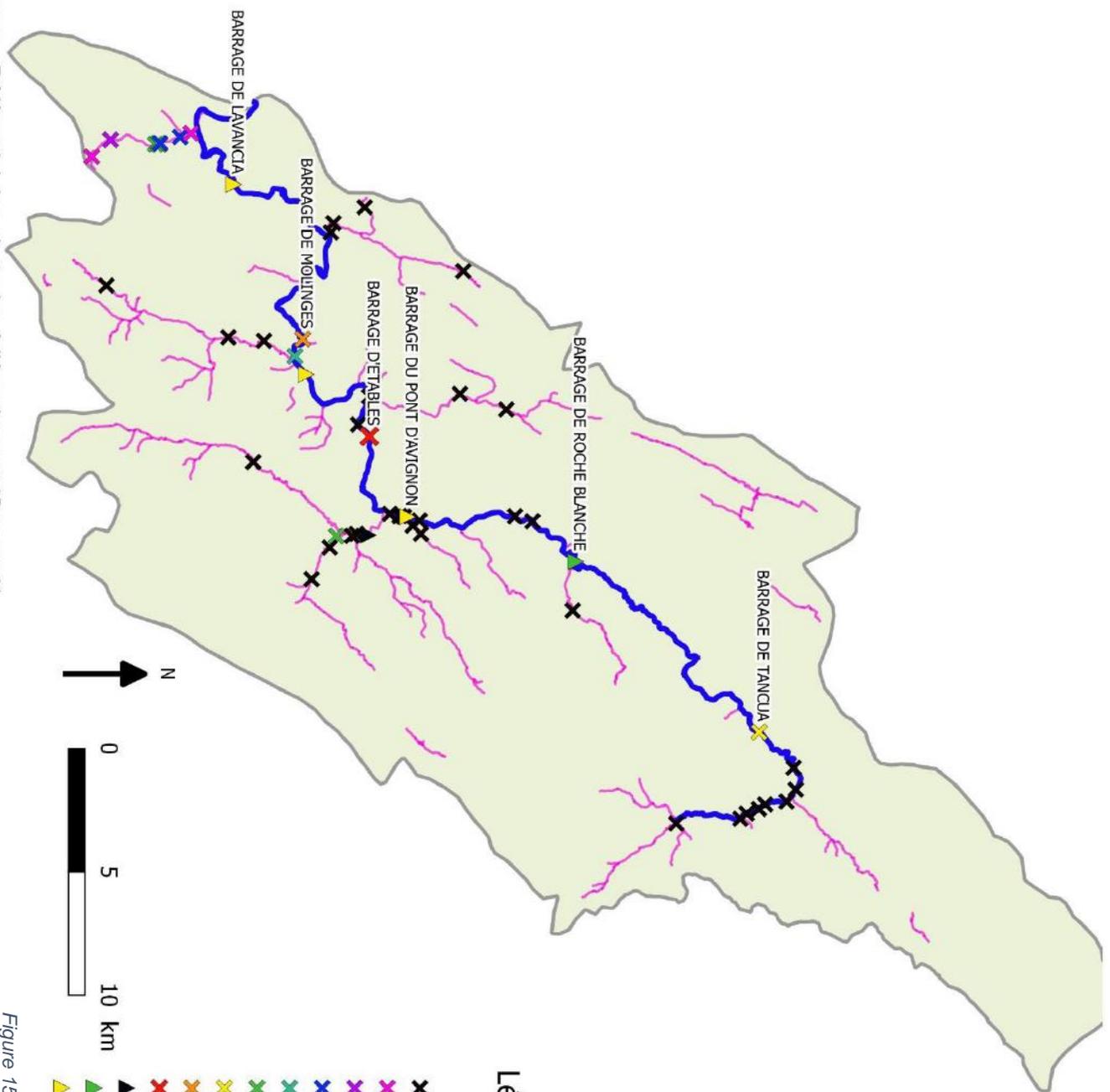
- Le 19^e siècle est marqué par le transport fluvial du bois assurant les échanges à l'échelle nationale par navigation et flottage. Celui-ci était effectué sur un linéaire de 18 kilomètres s'étirant entre Molinges et Chancia jusqu'à la confluence avec l'Ain (Bravard, 1998).

Ce transport fluvial conduit inévitablement à des impacts et des changements morphologiques profonds, irréversibles afin de garantir une voie facilement navigable. Le cours d'eau est recalibré, chenalisé, endigué et les berges sont régaliées, conduisant à un resserrement, à la fixation du lit, à la quasi-disparition du style en tresses (PNRHJ, 2017).

- Après les impacts imposés par le transport fluvial du bois, vient le développement de l'hydroélectricité à l'échelle nationale. L'usage de l'énergie hydraulique s'est vu être indispensable pour la pratique des activités traditionnelles (tournage du bois, marbrerie, taille de pierre précieuse, etc...) (Colin, 1937). Ainsi, de nombreux seuils ont été aménagés pour alimenter les moulins et industries locales. Aujourd'hui, on dénombre encore plus de 80 seuils présents sur le bassin versant de la Bienne (Figure 15).
- Ces aménagements conduisent également à des impacts sur le bon fonctionnement du cours d'eau. Ils constituent une rupture dans la continuité écologique. En effet, mis à part la Biennette et le Longviry, l'ensemble des affluents sont déconnectés de la Bienne, que cela soit d'origine anthropique (seuils) ou naturelle (barrage naturel ou déconnexion en période d'étiage).
- Cela constitue de surcroît une rupture sédimentaire, même si certains seuils et barrages deviennent en partie « transparents au flux solide » (Bravard, 1998). Aujourd'hui encore, les granulats grossiers provenant de l'amont du bassin, essentiellement des graviers et galets, traversent le barrage d'Étable de manière discontinue à l'occasion de chasses provoquées lors des fortes crues, banalisant et réduisant les caches à poissons (Cabinet Reile, 2017). Ceci engendre une incision directement en aval des ouvrages.

Ces aménagements modifient le faciès du cours d'eau, en créant des zones artificielles lentiques, et l'hydrologie journalière (éclusées), voire le régime hydrique (tronçon court-circuité) en créant des débits fortement artificialisés (Tourreau *et al.*, 2002).

Source : Référentiel des obstacles à l'écoulement (Onema.fr)



Légende

- ✕ Obstacle Infranchissable
- ✕ Obstacle infranchissable H < 0,5m
- ✕ Obstacle infranchissable H = 0,5m et 1m
- ✕ Obstacle infranchissable H = 1m et 1.5m
- ✕ Obstacle infranchissable H = 1.5m et 2m
- ✕ Obstacle infranchissable H = 2m et 3m
- ✕ Obstacle infranchissable H = 3m et 5m
- ✕ Obstacle infranchissable H = 5m et 10m
- ✕ Obstacle infranchissable H > 10m
- ▲ Obstacle franchissable
- ▲ Obstacle franchissable H = 2m à 3m
- ▲ Obstacle franchissable H = 3m à 5m

Figure 15 Discontinuité de la Bièvre et de ses affluents

- À partir des années 70, les berges de la Bienne ont été stabilisées dans le but de limiter leur érosion ainsi que les inondations des terres à proximité du cours d'eau. Ces travaux accentuent la fixation du lit de la Bienne et en limitent sa capacité de divagation.
- Face à une demande croissante de granulats dans les années cinquante, l'activité des carrières s'est fortement développée à Jeurre et à Lavancia-Epercy. La construction de digues pour éviter la communication de la Bienne avec les fosses d'extraction a conduit à une perte de mobilité latérale physique (digue) et potentielle (disparition du stock d'alluvions).

La surface des bancs d'alluvions a alors nettement diminué passant d'une surface totale de 244 000 m² en 1996 à 124 000 m² en 2016, soit près de 50 % de perte (PNRHJ, 2017). L'extraction des alluvions, aujourd'hui arrêtée, a conduit à un déplacement du lit majeur vers sa rive gauche ainsi qu'une incision généralisée de plus de 2,5 m, également imputable à la présence du barrage d'Étable.

En résumé, la **basse Bienne présente une forte altération de sa qualité physique** liée majoritairement aux **extractions de matériaux** dans le lit du cours d'eau et à **l'impact du barrage d'Étables** sur le transit du débit solide. Ces actions ont induit une **uniformisation des mosaïques de faciès et d'habitats**, parfois aggravée par des enrochements mal conçus (Degiorgi & Raymond, 1996). Quant à la **haute Bienne, déconnectée de la basse Bienne** par la présence du barrage d'Étable en aval de Saint-Claude, elle est dans l'ensemble **plus préservée d'un point de vue physique**. Elle constitue avec les affluents, les principaux et meilleurs secteurs de reproduction pour la Truite *fario* (Tourreau *et al.*, 2002) et ses espèces accompagnatrices.

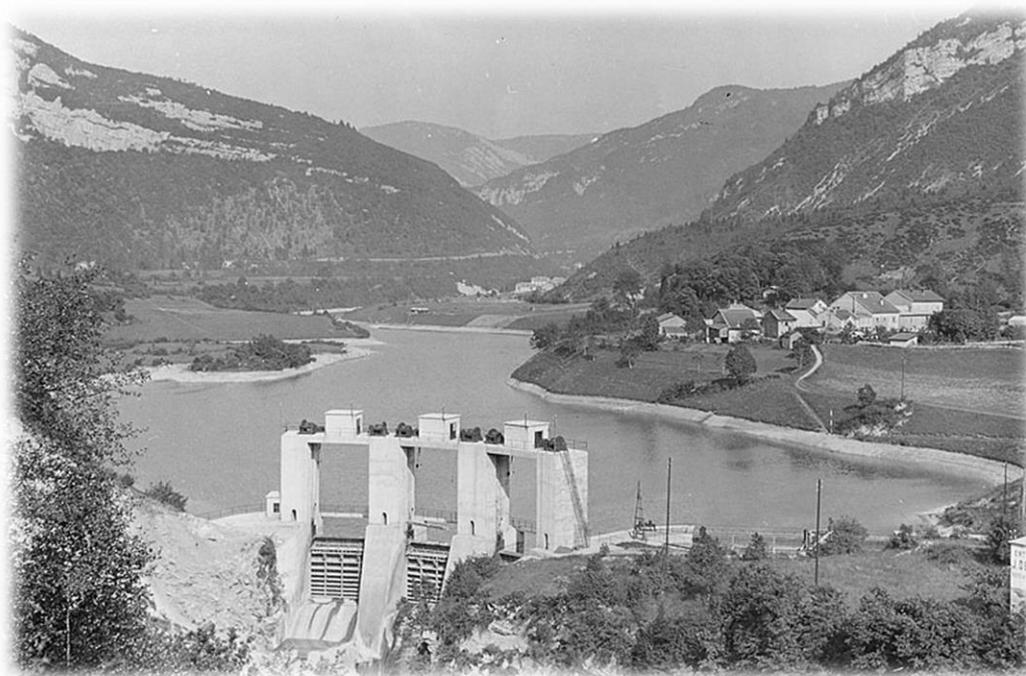


Figure 16 Barrage d'Étables (Carte postale des années 1950) © Jérôme Mongreville

IV Analyse de la qualité physique

IV.1 Température et débit

IV.1.1 Matériels et méthodes

Thermie

La température est un paramètre physique important expliquant plus de 50 % des variations de la répartition quantitative des espèces aquatiques (Verneaux, 1973). Une augmentation de la température de l'eau entraîne la réduction de la solubilité de l'oxygène, ainsi que l'accélération des processus microbiologiques pouvant affecter les espèces sensibles occurrentes dans les zones à truite et à ombre des milieux calcaires (Vivier, 1970; Krejci *et al.*, 2005).

Des sondes thermiques mesurant la température en continu sont localisées sur différentes stations le long du gradient amont-aval de la Bienne. Seules la Biennette et la Bienne à Longchaumois sont dépourvues de sondes thermiques et seront comparées en fonction des valeurs prises sur le terrain et des données présentes sur les stations les plus proches (distance) et similaires (débit, largeur du cours d'eau) telles que le Bief de la Chaille et Roche Blanche.

Les températures journalières moyennes sont confrontées avec la limite supérieure du préférendum dans lequel la truite peut développer une activité métabolique favorable pour son alimentation, sa croissance ou encore sa reproduction. La température optimale pour la truite est entre 7 et 17°C. Lorsque cette dernière est dépassée trop longuement, l'abondance et l'occupation de l'habitat se verront diminuer significativement (Crisp, 1989). La valeur de 17°C a donc été prise comme limite supérieure du préférendum, et la valeur de 19°C est employée comme limite au-delà de laquelle un ralentissement du métabolisme de l'espèce est observé (Elliott, 1976).

Une autre valeur est prise en compte en fonction des infections mycosiques présentées sur la Bienne. En effet, les Maladies Rénales Prolifératives (MRP), ou encore d'autres maladies liées au parasitisme, sont influencées par les conditions écologiques puisque l'importance de la mortalité qu'elles entraînent dépend directement de la température (Schubiger, Segner & Wahli, 2003; Fischnetz, 2004). Les MRP sont largement répandues dans les eaux suisses et se déclarent cliniquement quand la température de l'eau dépasse 15°C pendant deux à quatre semaines en été (Schubiger *et al.*, 2003). La valeur de 15°C est donc prise en compte comme limite favorable au parasitisme.

Débits

Le débit est aussi un paramètre important à prendre en compte dans la croissance des individus. En effet, les débits d'étiage engendrent une diminution importante de la capacité d'accueil du cours d'eau. Celle-ci peut altérer la disponibilité en habitat de nutrition énergétiquement favorable, influençant le peuplement sur les rythmes alimentaires, le niveau de satiété et la croissance des truites (Lagarrigue *et al.*, 2001).

Le débit ainsi que la température de l'eau sont fortement corrélés où les étiages hivernaux et estivaux sont respectivement observés aux températures minimales et maximales rencontrées (inférieur à 6°C et supérieur à 13°C) (Annexe 13).

Analyse des données

La température et le débit sont donc analysés afin d'apprécier leur évolution temporelle. Cette évolution est à la fois liée par l'existence de cette corrélation entre ces deux paramètres, mais aussi par l'existence de facteurs externes agissant de manière individuelle sur la température ou le débit.

Pour cela, la température journalière moyenne et le débit moyen journalier ont été récupérés à Morez et à Jeurre (depuis 2010 pour les températures et depuis 1998 pour les débits disponibles sur *Banquehydro.fr*).

L'analyse à Morez (en haute Bienne) peut être considérée comme une situation de référence où les aménagements n'exercent aucune modification de débit importante. À l'opposé, Jeurre (en basse Bienne) présente une situation dans laquelle le barrage d'Étables contrôle le débit en amont.

L'objectif de cette analyse est de plusieurs ordres :

- Rechercher une tendance de la température et du débit au cours du temps
- Déterminer les éventuelles périodes qui ont, ou peuvent, potentiellement impacter les populations piscicoles.

Avant de réaliser les tests statistiques (effectué avec le logiciel R 3.4.1), la normalité des résidus ainsi que l'homogénéité des variances ont été vérifiées. Deux variables quantitatives sont prises en comptes. Les débits moyens journaliers récupérés sur 19 ans ainsi que les températures moyennes journalières récupérées sur 6 ans.

Afin de rechercher l'existence d'une tendance pour le débit et la température, il est intéressant d'effectuer une analyse statistique prenant en compte la période hivernale ainsi qu'une seconde analyse, sans prendre en compte cette période dans les données étudiées. En raison de la météorologie, il était pertinent de retirer les mois de novembre jusqu'à avril (fontes des glaces présentes encore sur ce dernier mois).

Si une tendance du débit ou de la température au fur et à mesure du temps est observée, l'existence d'une corrélation est déterminée.

Le coefficient de corrélation de Pearson sera le plus pertinent en raison des relations linéaires et de leurs distributions de type gaussiennes observées.

Toutefois, même si une tendance et une corrélation significative peuvent être observées pour la température, le recul sur les années antérieures reste faible (seulement 6 ans). La tendance remarquée pour ce paramètre ne peut être confirmée de manière globale, elle confirme juste une diminution ou une augmentation de la température depuis 2010.

IV.1.2 Résultats et analyse de la température et du débit

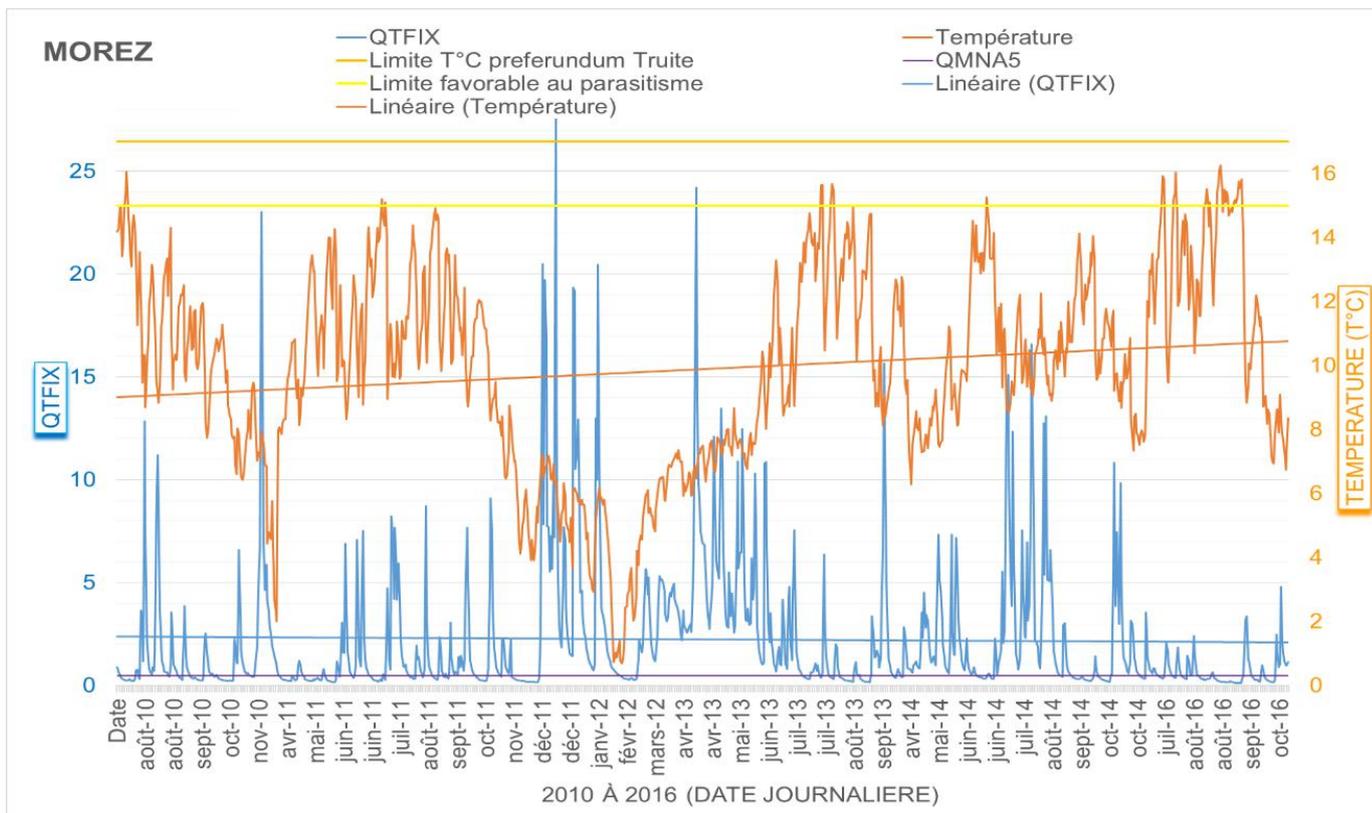


Figure 17 Évolution de la température et du débit à Morez de 2010 à 2016

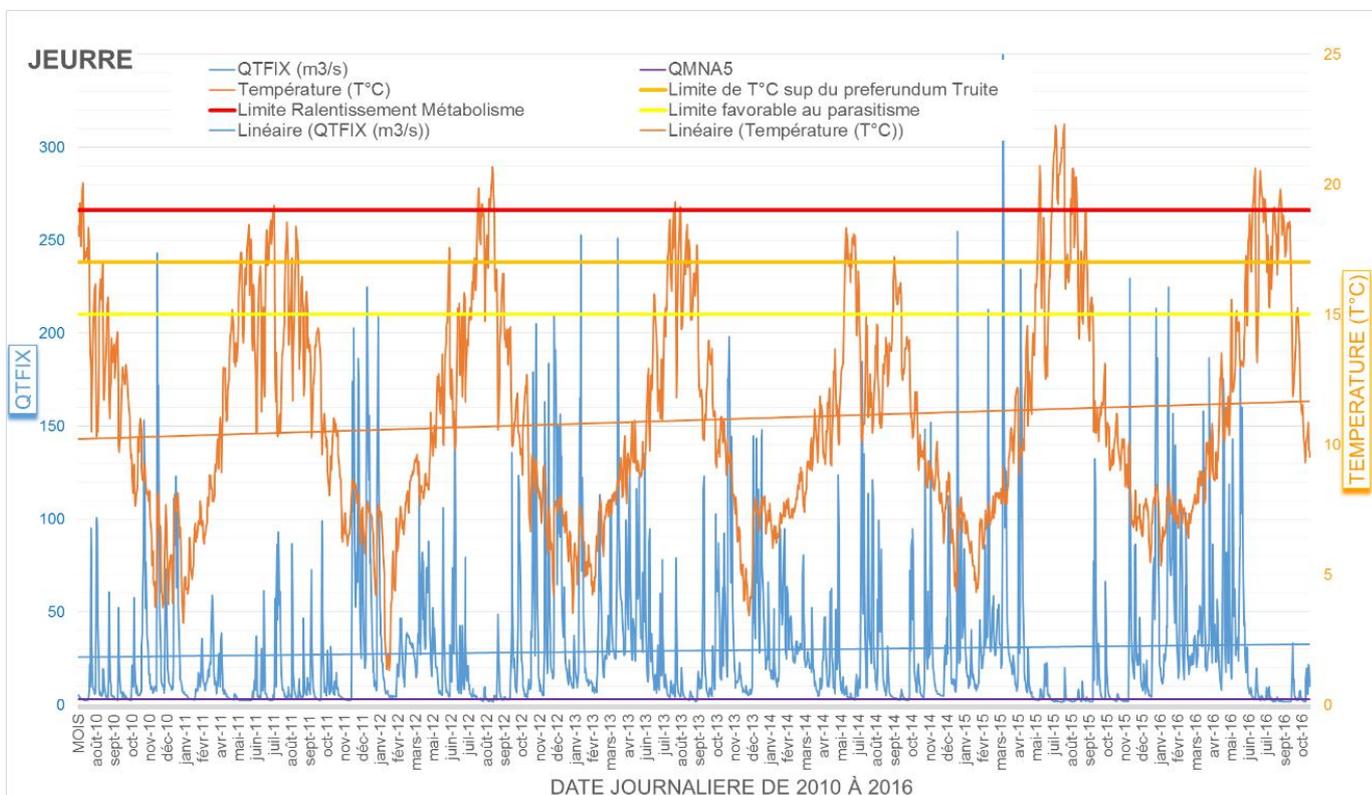


Figure 18 Évolution de la température et du débit à Jeurre de 2010 à 2016

Tableau 1 Résultats des tests statistiques sur l'évolution temporelle du débit et de la thermie pour Jeurre et Morez

Données	Etiage Hivernaux (novembre à avril)		Morez		Jeurre	
	Thermie // Année (2010 à 2016)	Avec	p.value	3,53E-13	*	< 2,2E-16
corrélation			0,228	↗	-0,220	↘
Sans		p.value	0,0074	*	4,37E-05	*
		corrélation	0,0974	↗	0,1174	↗
Débit // Année (1998 à 2017)	Avec	p.value	0,0026	*	0,0800	/
		corrélation	-0,0357	↘	-0,0207	↘
	Sans	p.value	0,0186	*	0,4775	/
		corrélation	-0,0390	↘	-0,0118	↘

L'évolution des températures (Figure 17 et Figure 18) et les tests statistiques effectués (Tableau 1) confirment un réchauffement significatif des eaux depuis 2010 à Morez et à Jeurre (sans les étiages hivernaux).

Une diminution significative du débit n'est observée qu'à Morez depuis 1998 où les étiages estivaux inférieurs au QMNA5, perdurent pendant plus de deux semaines (23 jours consécutifs) en 2016.

Ces corrélations et ces tendances moins prononcées à Jeurre peuvent s'expliquer par deux raisons. L'une naturelle, où la morphologie et le régime hydrologique à l'aval de ce bassin versant permet de garder un débit plus élevé qu'à Morez, et l'autre anthropique, où les installations hydroélectriques de Porte-Sachet liées au barrage d'Étable permettent de garder le contrôle de celui-ci par la présence de turbines (pouvant relâcher au maximum 20m³).

Néanmoins, même si le niveau d'eau semble rester le même en basse Bienne depuis les années 90. La hausse des températures confirme une forte diminution de la capacité d'accueil de la truite par le dépassement du préférendum et de la limite du ralentissement du métabolisme depuis 2011 (Figure 19). En effet, ces périodes favorables au parasitisme, défavorables à la croissance, au développement et à la reproduction de la truite en basse Bienne deviennent de plus en plus longues sur les dernières années observées.

Malgré les données de températures manquantes en 2015 (invalidées) à Morez, l'année 2016 marque aussi un premier dépassement de 15°C pendant plus de deux semaines alors que celui-ci ne dépassait pas plus de deux jours consécutifs depuis 2010.

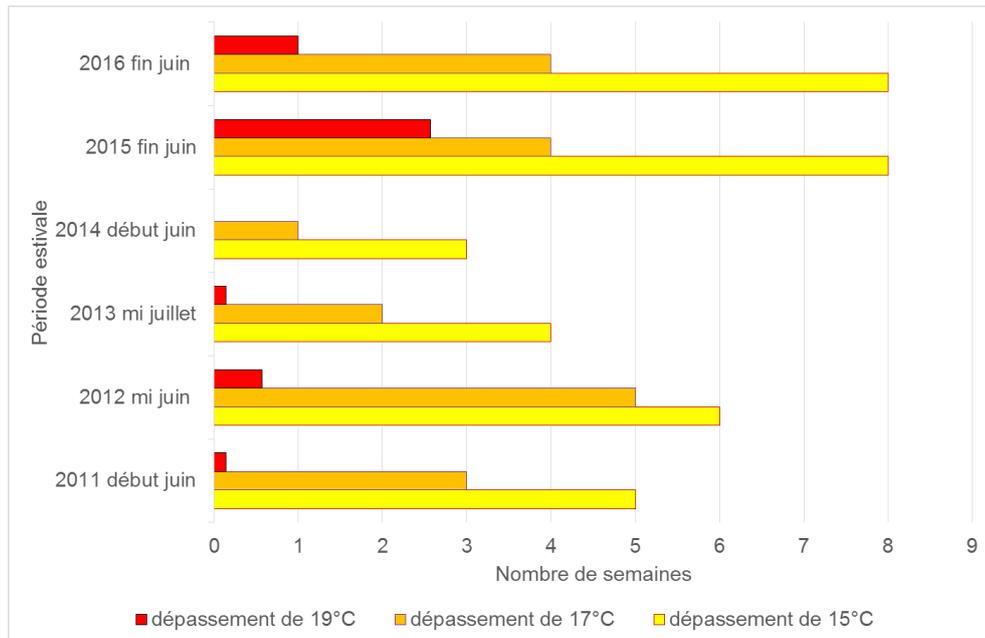


Figure 19 Temps de dépassement des limites de températures fixées en fonction de chaque période estivale à Jeurre

IV.1.3 Discussion sur la température et les débits

L'augmentation significative de la température des eaux et la diminution du débit en été pourraient être influencées par un changement climatique global. La pluviométrie appuie cette hypothèse en confirmant la présence d'été de plus en plus sec et de plus en plus chaud. En effet depuis 2013, les données climatiques montrent une diminution des précipitations moyennes de 100mm à Jeurre et à Morez (*Infoclimat.fr*).

Néanmoins, le réchauffement des eaux pourrait aussi s'expliquer par les aménagements à l'échelle du bassin versant. En effet, l'imperméabilisation des routes augmente le degré de connexion au cours d'eau et diminue la quantité d'eau infiltrée dans le sol, ne lui laissant pas le temps de refroidir. Un facteur difficilement calculable, mais à prendre en compte.

De plus, à l'échelle du cours d'eau, la présence de tronçons court-circuités et de barrage tel qu'Étable (550 000 m³ d'eau retenue) modifie de manière générale l'hydro géomorphologie du cours d'eau par retenue d'eau et débits artificialisés. Ces facteurs pourraient contribuer de manière générale à la diminution du débit et au réchauffement des eaux plus rapide sur la Bienne.

La capacité d'accueil du cours d'eau devient donc de plus en plus contraignante pour la truite *fario* ainsi que ses espèces accompagnatrices, et plus particulièrement en basse Bienne. Ce constat pourrait notamment s'expliquer par la différence d'altitude et du climat entre Jeurre et Morez. Jeurre se situant à 350m plus bas que Morez présente une température moyenne de 2 degrés plus élevée ainsi qu'une précipitation moyenne annuelle de 100 mm de moins que Morez.

L'environnement même du bassin versant éclaircirait ce constat. En effet, l'augmentation de la largeur et la réduction de la pente (2‰ et 37m de largeur à Jeurre ; 15 à 20‰ et 12 m de largeur à Morez) induisent une diminution de la vitesse du courant impliquant naturellement un réchauffement des eaux plus rapide.

De plus, l'observation des photos aériennes permet de remarquer un couvert forestier moins important au niveau de la basse Bienne dont la luminosité en bordure de berge reste plus importante qu'en haute Bienne.

Cependant, la basse Bienne garde une qualité physique fortement altérée en raison de l'histoire des installations utilisant le cours d'eau (barrages, seuils, stabilisation des berges, carrières). L'importante extraction de gravier à l'aval de Chassal pourrait être une cause antérieure sur le réchauffement des eaux en basse Bienne. En effet, en plus d'une incision du lit (supérieur à 2.5m de profondeur), l'extraction des matériaux dans la nappe alluviale diminue la plage d'eau fraîche stockée dans celle-ci, pouvant provoquer un réchauffement des eaux plus rapide en été (Gravost M & Sionneau J.M, 1988).

L'analyse du LDA39 (Pozet & Porcher, 2016) a montré que les truites prélevées à Lavancia présentaient des « lésions externes constituées d'érosions cutanées recouvertes d'un duvet de mycélium de *Saprolegnia* » confirmant une réduction des réponses immunitaires des individus. Ces prélèvements montraient aussi une faible proportion de protéines dans le foie en basse Bienne qu'en haute Bienne indiquant potentiellement une malnutrition de l'individu.

De plus, la période la plus chaude observée en 2015 pourrait être en lien direct avec les mortalités et les infections mycosiques observées en 2016 (Schubiger *et al.*, 2003). Les individus potentiellement atteints en 2015 ont très bien pu ressentir les effets pathologiques après l'automne et l'hiver passé.

Même si cette analyse portait sur un nombre d'individus statistiquement faible, ces constats pourraient être la résultante d'une diminution de la capacité d'accueil du cours d'eau engendrant un dépassement des limites du préférendum des températures pour la truite.

IV.2 Capacité habitationnelle

IV.2.1 Matériels et méthodes

Afin de mieux comprendre la qualité physique de chaque station sur le compartiment piscicole, la capacité habitationnelle des communautés est mise en évidence et évaluée grâce à la méthode d'Indice d'Attractivité Morphodynamique (IAM) (Annexe 14). Pour des raisons techniques et un manque de temps, la station BIE19-5 n'a pu faire l'objet d'évaluation.

Cet indice a été développé par la DR5 du CSP entre 1993 et 1997 avant d'être finalisé par TELEOS entre 1999 et 2003 (Teleos, 2002).

Généralement effectuée à l'étiage, cette méthode s'appuie sur une cartographie stationnelle des trois composantes de l'habitat permettant de définir des pôles d'attraction (substrat, hauteur d'eau, vitesse de courant à deux tiers de la profondeur). Après la phase terrain, la numérisation des cartes s'est effectuée avec un logiciel de système d'information géographique (MapInfo 11.5). Ces résultats fournissent des images comparables de l'hétérogénéité et de l'attractivité biogène d'un cours d'eau à l'échelle de la station.

Plus synthétiquement, des indices replacent les résultats obtenus pour chaque station sur des échelles d'hétérogénéité et d'attractivité biogène. Par la suite, l'IAM renseignant sur les variétés des composantes stationnelles est comparé à un indice de référence optimal.

IV.2.2 Résultats et analyse de la qualité habitationnelle

Tableau 2 Résultats IAM

	BNT3-7	BCH5-7	BIE11-0	BIE28-0
<i>Longueur (m)</i>	68	118	191	183
<i>Largeur mouillée (m)</i>	4,93	6,5	12,14	19,38
<i>Surface totale (m2)</i>	336,6	806,62	2163,5	3553,3
<i>Variété substrat</i>	5	6	6	8
<i>Substrat dominant</i>	BLO+GGR (42,6%+42,4%)	GGR (80,3%)	BLO+GGR (25,9%+25,5%)	GGR (48,8%)
<i>Substrat secondaire</i>	GAL (12,8%)	GAL+BLO (8%+7,7%)	DAL+BLS (23,7+20,6)	BLO (27%)
<i>Variété hauteur</i>	3	4	3	4
<i>Variété vitesse</i>	3	4	4	4
<i>IAM</i>	1940	2773	2099	4165
<i>IAM REF</i>	7095	7977	9972	11466
<i>IAM / IAM REF</i>	27%	35%	21%	36%

Globalement, le Tableau 2 indique que les IAM de chaque station représentent à peine le quart de la référence.

De manière générale, les substrats dominants rencontrés restent des substrats minéraux de type galets graviers représentant une faible attractivité.

En effet, malgré la présence de sous-berges, et d'une variété de substrats, hauteurs et vitesses élevées, le Bief de la Chaille possède un substrat dominant de type galets gravier à plus de 80%

La Biennette possède un substrat dominant de type bloc où l'attractivité est trois fois plus élevée que les galets graviers. Cependant, la variété des hauteurs et des vitesses de cette station reste faible lui rendant une variété de pôles limitée.

La station à Tancua (BIE11-0) est défavorisée par ses substrats secondaires types dalles et blocs sans anfractuosités présentant une mauvaise attractivité.

La station aux Cheneviers (BIE28-0) semble posséder l'indice le plus élevé sur les quatre stations en raison de sa grande variété hauteur, substrats, vitesses.

IV.2.3 Discussion de la qualité habitationnelle

Pour toutes les stations étudiées, il semblerait que la qualité habitationnelle soit mauvaise. Cependant, l'IAM, encore expérimental, constitue une approche simplifiée, car il ne tient pas compte de l'attractivité des pôles et en particulier de la variation de la valeur piscicole des substrats/supports selon les hauteurs d'eau et les courants qui les baignent (Teleos, 2002). La largeur du cours d'eau influe également, de manière prédominante, la note de référence (Teleos, 2002).

L'évaluation de la qualité habitationnelle s'est effectuée à une échelle stationnelle. Celle-ci reste naturellement moins représentative du milieu qu'à l'échelle du tronçon. De plus, la cartographie des différents pôles d'attraction (Annexe 15) prouve que ces stations restent hétérogènes et attractives, notamment pour le Bief de la Chaille et Chenevier.

Mis à part la Biennette bénéficiant de la présence d'un pont et d'une protection de berge. Les contraintes anthropiques restent absentes, voire faibles, pour les stations étudiées où l'environnement même du bassin versant pourrait diminuer naturellement l'IAM en question. En effet, les cours d'eau de tête de bassin à fort courant de type torrentiel situés en zones forestières présenteront naturellement plus de contraintes et posséderont une diversité moins marquée au niveau des substrats, des hauteurs et des vitesses qu'un cours d'eau ouvert de plus basses altitudes.

De plus, la dynamique du cours d'eau n'est pas la même en fonction de la géologie. La présence directe de roche calcaire dure, sur de fortes hauteurs de berges et de fortes pentes, présentes dans les gorges, restreint considérablement la dynamique du cours d'eau où l'évolution de celui-ci reste très faible à l'échelle humaine.

À l'opposé, en milieu plus ouvert et de basse altitude, les cours d'eau sont plus propices au débordement en période de crue et peuvent facilement sculpter les berges ou suivre un axe d'écoulement différent. Comparés à des cours d'eau de hautes montagnes, ces cours d'eau de plaine présentent une dynamique et une évolution beaucoup plus rapide les rendant naturellement méandriforme.

D'après Rosgen (1996), en fonction des pentes les cours d'eau observés de haute Bienne sont de forme rectiligne de type « Aa+ » (pour le Bief de la Chaille) et de type « A » pour Tancua. La basse Bienne présente des cours d'eau rectilignes de types B (comme à Cheneviers) à C (comme Chassal et Jeurre plus en aval).

La différence de pente, le contexte géologique, le profil en travers et les IAM permettent de montrer que l'hétérogénéité et la stabilité sont présentes sur les stations étudiées. Néanmoins, l'attractivité reste moyenne et la connectivité reste faible. Cette connectivité deviendrait de plus en plus élevée au fur et à mesure d'une diminution de la pente en aval expliquant un profil en travers plus influencé par la variation des températures qu'à l'amont.

<p>Le débit et la température sont prédominants sur la capacité habitationnelle de la truite. Mis à part les contraintes hydrogéomorphologiques naturelles, les ouvrages liés à l'utilisation de l'eau pourraient expliquer le réchauffement des eaux plus rapide en basse Bienne (débit artificialisé, incision du lit ainsi que de l'extraction de l'enlèvement de gravats connectés à la nappe alluvial du lit mineur).</p>
--

V Analyse chimique

V.1 Matériels et méthode

V.1.1 Suivi des eaux et des sédiments

Les analyses physico-chimiques des eaux et des sédiments portent exclusivement sur une vingtaine de paramètres en raison des aspects financier et temporel.

Toutefois, les paramètres ont été choisis en fonction de leur pertinence et des analyses antérieures. En effet, les données existantes permettent de justifier la reconduite de paramètres tels que certaines substances prioritaires (Conseil de l'Union Européenne, 2013) et éléments minéraux (Bureau d'étude Eaux Continentales, 2004). Les paramètres analysés sont listés en Annexe 16.

Les protocoles d'échantillonnages des eaux et des sédiments ont été réalisés et adaptés selon la norme NF EN ISO 5667 ainsi que d'autres guides techniques (AQUAREF *et al.*, 2011; Margoum *et al.*, 2011; Schiavone & Coquery, 2011; ISSeP Institut Scientifique de Service Publique, 2014).

Deux séries d'analyses ont été effectuées sur les eaux. La première en basses eaux, effectuée à la même période que le prélèvement des sédiments (le 28 juin 2017), est analysée par le laboratoire chrono-environnement et la deuxième en hautes eaux (le 26 juillet 2017) par le LDA39.

Ces deux analyses permettront de déceler au mieux, les différentes variations de concentrations des éléments étudiés en fonction des conditions environnementales différentes (hauteur d'eau, T°C, débit). Le détail du suivi des eaux 'ex situ' et 'in situ' est expliqué en Annexe 16 Matériels et méthodes prélèvement et analyse chimique.

L'analyse des sédiments sur les différents paramètres étudiés (Annexe 18) permet de constater ou non une accumulation d'éléments issus des flux antérieurs pouvant être remis potentiellement en suspension en période de crue. Le détail de l'échantillonnage est expliqué en Annexe 16 Matériels et méthodes prélèvement et analyse chimique.

V.1.2 Analyse des résultats

Seuils de référence

Des valeurs seuils de références seront prises en compte afin d'évaluer la qualité du cours d'eau en fonction des paramètres et des compartiments étudiés. Ces valeurs de seuils, introduites par Nisbet & Verneaux (1970), sont représentatives de la limite en dessous de laquelle un cours d'eau est considéré comme non pollué en région calcaire.

Les valeurs du système d'évaluation de la qualité de l'eau (MEDD & Agences de l'eau, 2003), ainsi que des valeurs de référence (MEEM, 2016), permettent d'apprécier les niveaux de contamination et seront donc considérées comme seuils de référence aux yeux de la directive cadre sur l'eau (Commission Européenne, 2000). Ces valeurs ont été fixées de manière à permettre un bon fonctionnement de l'écosystème et de cibler d'éventuelles pollutions (MEEM, 2016).

En l'absence de seuil de référence, il sera possible pour les sédiments d'avoir un regard critique sur les éléments peu étudiés avec la concentration en bruit de fond en milieu calcaire et à l'échelle européenne (Laperche V & Mossman J.R, 2004; Agence de l'eau Seine-Normandie & Aquascop, 2008). Celle-ci représente le fond

géochimique naturel (teneurs mesurées dans un sol naturel en dehors de toute perturbation anthropique) additionné à un apport anthropique diffus à l'exclusion des contextes de pollution historique (Laperche V & Mossman J.R, 2004). Cette valeur est souvent semblable au premier seuil de référence du système d'évaluation de la qualité de l'eau (MEDD & Agences de l'eau, 2003) quand celle-ci existe.

V.1.3 Critique des suivis

Les prélèvements et l'analyse des eaux comportent certains biais à prendre en compte. En effet, ce suivi n'a pu être mené le plus exhaustivement possible pour des raisons organisationnelles et de temps.

- Il aurait été intéressant et nécessaire d'effectuer un jaugeage en complément de chaque analyse d'eau afin de pouvoir caractériser les flux de pollution observés.

De plus, la teneur en oxygène dissous et le pH n'ont pas été mesurés en hautes eaux et sur l'une des stations en basses eaux en raison de problèmes techniques au moment des prélèvements (matériel déficient). Ces paramètres apportent des éléments de réponse supplémentaire en fonction de leur variation influençant de manière non négligeable le peuplement piscicole (Nisbet & Verneaux, 1970) ou encore les cycles chimiques des matières azotées (Magaud *et al.*, 1997; Krejci *et al.*, 2005).

- Les valeurs mesurées en chrome et cadmium possèdent une certaine incertitude, une justesse ne permettant pas de confirmer la mesure à 100%.

En effet, ces valeurs confirment qu'elles sont en dessous de leur limite de quantification et sembleraient être au-dessus de la limite de détection (limite estimée et calculée par le LDA39). Ces ambiguïtés ne permettent pas de confirmer un dépassement du seuil de référence aux yeux de la grille SEQ-EAU.

V.2 Analyses des paramètres globaux

Le pH (situé entre 8,2 et 8,5), la température, la conductivité et la dureté montrent typiquement des cours d'eau calcaires jurassiens.

Que cela soit en basse eaux ou hautes eaux, les paramètres globaux analysés (Tableau 3) semblent montrer une très bonne qualité chimique de l'eau où la charge en matière organique ou autre, reste faible aux yeux de la DCE.

Néanmoins d'après Nisbet et Verneaux (1970) les matières azotées et phosphorées semblent montrer des concentrations anormalement élevées pour ce type de cours d'eau calcaire de moyenne montagne.

En effet, les concentrations en nitrates sont supérieures aux teneurs naturelles que l'on devrait observer sur des têtes de bassin exemptes de perturbations (inférieure à 2 mg/L).

Le Bief de la Chaille présente des concentrations supérieures à cette limite (4,06 et 6,20 mg/L). Ces valeurs élevées, avaient aussi été constatées par Eaux Continentales (2011-2014) depuis 2011 (7,2mg/L en 2012), avec un important recouvrement algal sur ces 3 années consécutives.

Les chlorures en basses eaux sur la haute Bienne (Bief de la Chaille, Tancua, et le Trou bleu) présentent des concentrations supérieures à 7 mg/L (respectivement

10,09 ; 10,5 ; 9,96 mg/L) qui pourraient en partie être liées à une augmentation du taux de nutriment Nisbet et Verneaux (1970).

Tableau 3 Résultats des analyses des eaux au niveau des paramètres globaux

Chrono-environnement	T°C	Cond	O2	DCO	DBO5	Dureté	Azote ammoniacal	Nitrate	Nitrite	Azote Kj	Chlorure	Phosphate	Phosphore T	Sulfate	
	°C	µs/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	
Basses Eaux	BNT 3-7	9,2	288	9,89	2,46	66,3	<LD	2,01	<0,01		4,32			6,02	
	BCH 5-7	9	363	9,64	1,94	52,6	<LD	4,06	<0,01		10,09	0,26		3,21	
	BIE 6-6		363		2,38	67,6	0,025	3,47	<0,01		9,96	0,19		4,81	
	BIE 11-0	10,4	358	10,64	2,44	66,0	0,014	3,51	<0,01		10,5	0,16		4,81	
	BIE 19-5	15,2	338	9,82	2,35	65,7	0,02	3,22	<0,01		7,38			4,02	
	BIE 28-0	18,7	315	10,93	2,41	58,4	< 0,01	1,51	<0,01		6,5			3,61	
	BIE 36-5	18,2	305	9,94	2,54	58,9	0,02	1,61	<0,01		6,6			4,33	
	BIE 40-3	20,1	303	9,01	2,70	57,0	< 0,01	1,28	<0,01		6,86			4,32	
	BIE 51-1	19,8	324	9,03	2,34	60,9	< 0,01	1,34	<0,01		5,47		<0,01	5,55	
LDA39	T°C	Cond	O2	DCO	DBO5	Dureté	Azote ammoniacal	Nitrate	Nitrite	Azote Kj	Chlorure	Phosphate	Phosphore T	Sulfate	
	µs/cm	µs/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	
Hautes Eaux	BNT 3-7	10,2	374		3,38	1,20	87,10	< 0,01	3,1	<0,02		2,6	<0,10	0,03	4,6
	BCH 5-7	8,5	435		3	1,10	95	0,02	6,2	<0,02		12	0,11	0,11	4,1
	BIE 6-6	8	352		3,87	1,60	76,7	0,01	3,8	<0,02	0,11	3,8	<0,10	0,05	2,6
	BIE 11-0	8,3	351		5,31	1,60	75,6	0,01	3,8	<0,02	1,1	4,2	<0,10	0,07	2,7
	BIE 19-5	9	352		3,62	1,70	93	0,01	3,9	<0,02	1,1	4	<0,10	0,06	2,9
	BIE 28-0	9,8	350		3,45	1,40	79,2	< 0,01	3,9	<0,02		4,1	<0,10	0,06	2,9
	BIE 36-5	10,1	345		3,27	1,10	74,5	0,02	3,6	<0,02		3,6	<0,10	0,07	3,2
	BIE 40-3	10,5	346		3,24	1,10	76,4	0,01	3,5	<0,02	0,11	3,7	<0,10	0,06	3,2
	BIE 51-1	11,1	347		3,10	1,10	73,6	0,02	3,6	<0,02	0,22	3,8	<0,10	0,05	3,4
				Valeur anormale en fonction de (Nisbet, Verneaux 70)											

D'après ces deux paramètres observés, un rejet d'assainissement ou (et) l'éventuelle présence de rejet agricole, paraissent vraisemblablement présents à l'amont de ces stations.

De plus, les matières phosphorées indiquent la présence de phosphates dans les eaux naturelles à des concentrations supérieures à 0,1 ou 0,2 mg/L. Celle-ci indiquerait la présence de pollution par des « eaux vannes » contenant des phosphates organiques et des détergents synthétiques ou encore par le biais de ruissellements (Nisbet & Verneaux, 1970).

Ces résultats sont corrélés avec le suivi départemental effectué en 2015 à La Doye (confluence du Bief de la Chaille et de la Biennette) confirmant un degré de trophie altéré via une contamination à la fois par les matières phosphorées ainsi que des pics anormalement élevés en nitrates en juillet (0,23mg/L de phosphore total et 3,57 mg/L de nitrate en moyenne à La Doye).

Ce constat est également observé à Molinges en basse Bienne où le phosphore total a atteint 1,19 mg/L et 0,23 mg/L en 2014 et 2015. Des taux de chlorures supérieurs à 7 mg/L sont aussi observés à l'aval de Saint-Claude.

Malgré des travaux d'assainissement récents, ces teneurs restent élevées à l'aval de ces agglomérations où un développement massif de spirogyres continue d'être présent (colmatage de 95% des fonds lors de l'été 2015 à Molinges) (Suivi départemental 2015). Pour finir, l'analyse de l'azote ammoniacal réalisée cette année supposerait une pollution insidieuse et sensible en aval de Morez et de Saint-Claude (valeurs supérieures ou égales aux deux centièmes de mg/L).

V.3 Analyse des éléments minéraux

V.3.1 Les eaux

Tableau 4 Résultats des analyses en basses eaux au niveau des micropolluants

Chrono-environnement		Arsenic	Cadmium	Chrome	Cuivre	Nickel	Plomb	Zinc	
		µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	
Basses Eaux	BNT 3-7	0,23	<0,002	<0,36	0,52	0,38	<0,008	<0,33	Classe Qualité SEQ_EAU
	BCH 5-7	0,26	0,003	<0,36	0,86	0,38	<0,008	<0,33	
	BIE 6-6	0,25	0,005	<0,36	2,95	1,01	0,03	1,18	
	BIE 11-0	0,37	0,006	<0,36	3,81	1,07	0,05	1,56	
	BIE 19-5	0,29	0,006	<0,36	3,11	0,95	0,03	1,28	
	BIE 28-0	0,32	0,004	<0,36	2,57	0,75	0,02	0,57	
	BIE 36-5	0,23	0,004	0,51	2,34	1,18	0,05	<0,33	
	BIE 40-3	0,27	0,004	0,46	2,27	1,15	0,03	<0,33	
BIE 51-1	0,29	0,003	<0,36	1,31	0,75	0,01	0,35		
									Situation de référence
									Pollution possible
									Pollution certaine
									Pollution Forte
									Pollution très forte

L'analyse des micropolluants (Tableau 4 et Tableau 5) confirme une pollution métallique à la fois en basses et hautes eaux.

De manière générale, ce sont les stations en aval de Morez qui montrent une pollution certaine, voir même très forte, sur la Bienne. En effet, les hautes eaux ont permis de déceler un pic de pollution en zinc à Tancua qui s'atténue en aval, même si celle-ci reste fortement marquée. De plus, les résultats en hautes eaux mettent en évidence des pollutions possible à certaine jusqu'à l'aval de Saint-Claude.

Tableau 5 Résultats des analyses en hautes eaux au niveau des micropolluants métalliques

LDA39		Arsenic	Cadmium	Chrome	Cuivre	Nickel	Plomb	Zinc	Classe Qualité SEQ_EAU
		µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	
Hautes Eaux	BNT 3-7	<1	0,01	0,36	<2	<1	<1	>2,6 et <8	Pollution possible
	BCH 5-7	<1	0,02	0,49	<2	<1	<1	8,6	Pollution certaine
	BIE 6-6	<1	0,02	0,46	<2	<1	<1	11,0	Pollution Forte
	BIE 11-0	<1	0,01	0,50	<2	<1	<1	1300,0	Pollution très forte
	BIE 19-5	<1	0,01	0,52	<2	<1	<1	120,0	
	BIE 28-0	<1	0,01	0,44	<2	<1	<1	120,0	
	BIE 36-5	<1	0,02	4,40	3,10	6,00	<1	130,0	
	BIE 40-3	<1	0,02	2,90	2,30	3,70	<1	170,0	
	BIE 51-1	<1	0,02	1,70	<2	2,00	<1	8,8	
		>LD et <LQ							

Seule la station de Jeurre (BIE51-1) semblerait assez éloignée pour échapper à cette pollution ponctuelle observée. Néanmoins, les études antérieures confirment que cette pollution est encore possible pour le zinc mais aussi pour le plomb et le cuivre (Figure 20 ; Annexe 17). Même si ces concentrations ont fortement baissé au cours du temps, ces chroniques doivent être prises en compte. L'amont de Saint-Claude a montré le même bilan sur ces dernières années (Annexe 17).

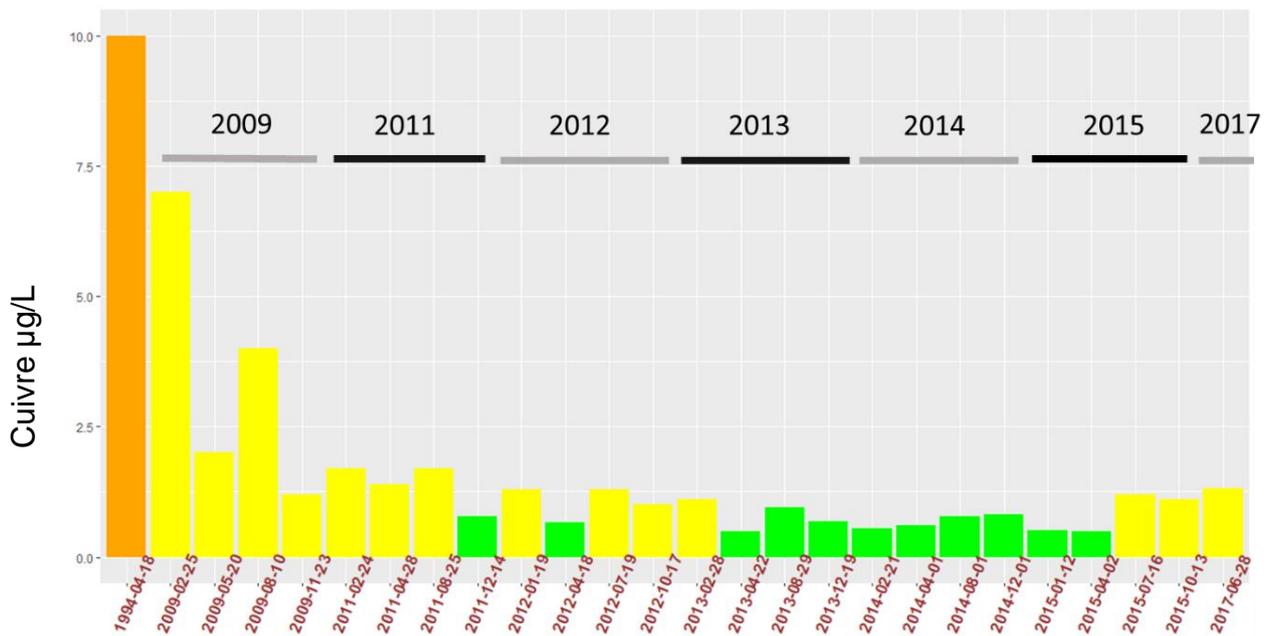


Figure 20 Évolution temporelle des concentrations en cuivre dans les eaux à Jeurre

V.3.2 Les sédiments

Au niveau des sédiments, l'analyse ICP MS confirme cette pollution possible au niveau du chrome et du cadmium dans les eaux (Tableau 6). Celle-ci révèle aussi une pollution en cuivre (à Cheneviers, Tancua et Bief de la Chaille), ainsi que de fortes pollutions en plomb dans des concentrations extrêmement élevées au Bief de la Chaille, détectable en aval de Morez et de Saint-Claude.

Les données antérieures prouvent que cette pollution n'est pas actuelle et a été confirmée l'été 2011 en aval de Morez à 2 km du Trou bleu (respectivement à BIE8-8, 134 mg(Cu)/kg et 62,4 mg(Pb)/kg) ou encore à Longchaumois (BIE19-5, 39,9 mg(Cu)/kg). Celle-ci a aussi été constatée en basse Bienne, aussi bien dans la retenue du barrage d'Étables en 2009 (32,2 mg(Cu)/kg et 82,9 mg(Pb)/kg) qu'à Jeurre en 2016 (53,9 mg(Pb)/kg).

Tableau 6 Résultats des analyses de métaux au sein des sédiments

Chrono environnement	Chrome mg/kg	Nickel mg/kg	Cuivre mg/kg	Zinc mg/kg	Cadmium mg/kg	Mercure mg/kg	Plomb mg/kg	Classe Qualité SEQ_EAU
BNT3-7	5,12	5,09	3,26	22,28	0,19	0,02	3,10	Situation de référence
BCH5-7	10,50	9,27	97,54	94,71	0,27	0,05	140,24	Pollution possible
BIE6-6	7,01	5,17	3,85	39,59	0,25	0,03	5,04	Pollution certaine
BIE11-0	9,93	10,31	47,62	75,75	0,28	0,07	35,95	Pollution Forte
BIE19-5	17,36	8,41	28,19	51,27	0,21	0,03	32,15	Pollution très forte
BIE28-0	5,35	5,75	15,80	42,91	0,22	0,03	18,94	
BIE36-5	6,78	8,26	9,39	31,39	0,25	0,02	53,43	
BIE40-3	6,56	7,46	16,56	28,72	0,20	0,03	11,80	
BIE51-1	6,52	5,60	5,02	25,92	0,18	<0,0188	11,37	

D'autres éléments minéraux supplémentaires ont été analysés dans les sédiments tels que l'étain, le fer, l'aluminium, le manganèse, etc. (Annexe 18).

Même si aucun seuil de référence du SEQ EAU n'existe, ces valeurs représentent des concentrations élevées et hétérogènes en fonction des stations (Agence de l'eau

Seine-Normandie & Aquascop, 2008). En effet le Bief de la Chaille pourrait présenter une forte pollution en antimoine si celle-ci est comparée au bruit de fond (0.56 mg/kg de bruit de fond pour **8.97 mg/kg d'antimoine** au Bief de la Chaille).

En raison de nombreux paramètres analysés sur chaque station dans les sédiments, une analyse en composantes principales sur une matrice de covariance a été employée afin d'apprécier la répartition des stations en fonction des ETMs relevés dans les sédiments (Figure 21). La méthodologie d'analyse est décrite en Annexe 19.

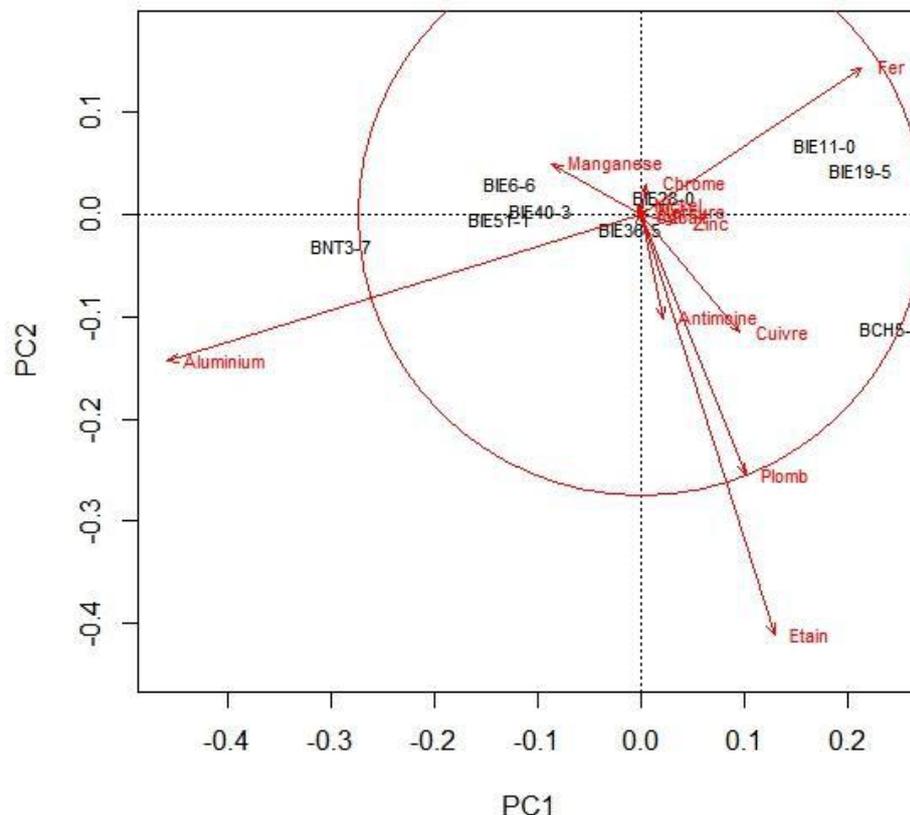


Figure 21 Représentation d'analyse en composantes principales (Descripteurs=paramètres physico-chimiques, point objet=Stations)

Cette analyse montre que l'aluminium, l'étain, le plomb et le fer sont les premiers paramètres ayant une influence significative sur les stations étudiées. Le cuivre, l'antimoine et le manganèse viennent dans un second temps. Les axes descripteurs antimoine, cuivre, plomb et étain sont corrélés entre eux en raison de leurs rapprochements.

Ici le Bief de la Chaille se démarque de toutes les autres stations possédant les plus forts taux sur les éléments précédemment cités.

A l'inverse la Biennette semble être la moins influencée par les métaux mis à part l'aluminium et le manganèse.

Les stations en aval de Morez, Tancua et Longchaumois présentent des concentrations similaires et une forte teneur en fer. En plus d'une similarité avec ces deux stations, le Trou bleu ressort avec des concentrations élevées en aluminium, et manganèse. Et enfin, les 4 stations les plus en aval se regroupent globalement plus

au centre de la projection gardant des concentrations similaires et plus faibles qu'en amont.

V.3.3 Les bryophytes

Depuis 1995, un suivi basé sur la recherche des métaux lourds dans les bryophytes (mousses aquatiques) a été confié au PNRHJ par l'agence de l'Eau (Bureau d'étude Eaux Continentales, 2004). Sur plus de 20 années de suivis, l'accumulation des métaux dans ce compartiment confirme les résultats obtenus dans les sédiments.

Sur toutes les années confondues l'accumulation en plomb, nickel, cuivre et zinc se fait essentiellement ressentir sur la haute Bienne (Figure 22 ; Annexe 20) mais aussi sur le Bief de la Chaille et la Biennette (respectivement en 2003, 170 et 160 mg(Cu)/kg pour le cuivre ; 93 et 71 mg(Ni)/kg pour le nickel).

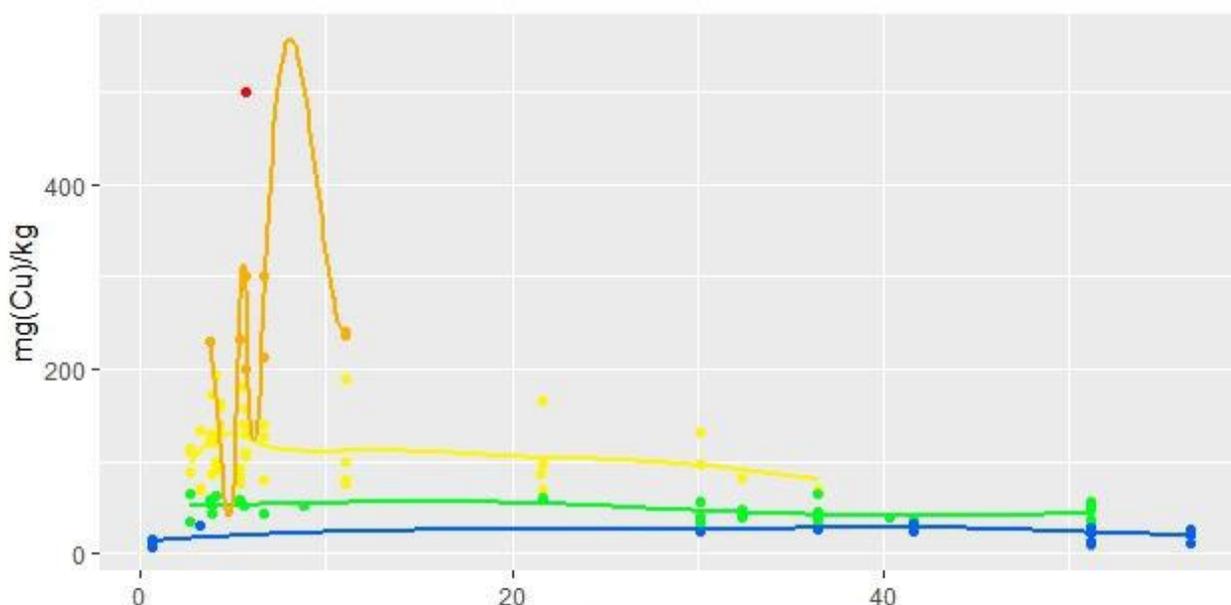


Figure 22 Évolution des concentrations en cuivre dans les bryophytes sur le gradient amont aval de la Bienne (année confondue de 95 à 2015) Couleur = référence au SEQ_EAU

De manière générale, comme pour les sédiments, l'accumulation des métaux dans les bryophytes a considérablement diminué depuis 1995, repassant à des seuils de référence ou de pollution possible, que cela soit pour la Bienne ou ses affluents comme l'Evalude (Annexe 21).

Néanmoins, même après un programme de traitement de rejets sur une dizaine d'industries (métallurgie et lunetterie) dans les agglomérations de Morez, Morbier, et les Rousses (ADPHJ, 2000; Bureau d'étude Eaux Continentales, 2004), des pollutions métalliques persistent encore en aval de Morez. Le Trou Bleu révèle des concentrations élevées en cuivre, zinc, plomb et nickel jusqu'en 2015. Tancua présente notamment des concentrations élevées en cuivre (Figure 23).

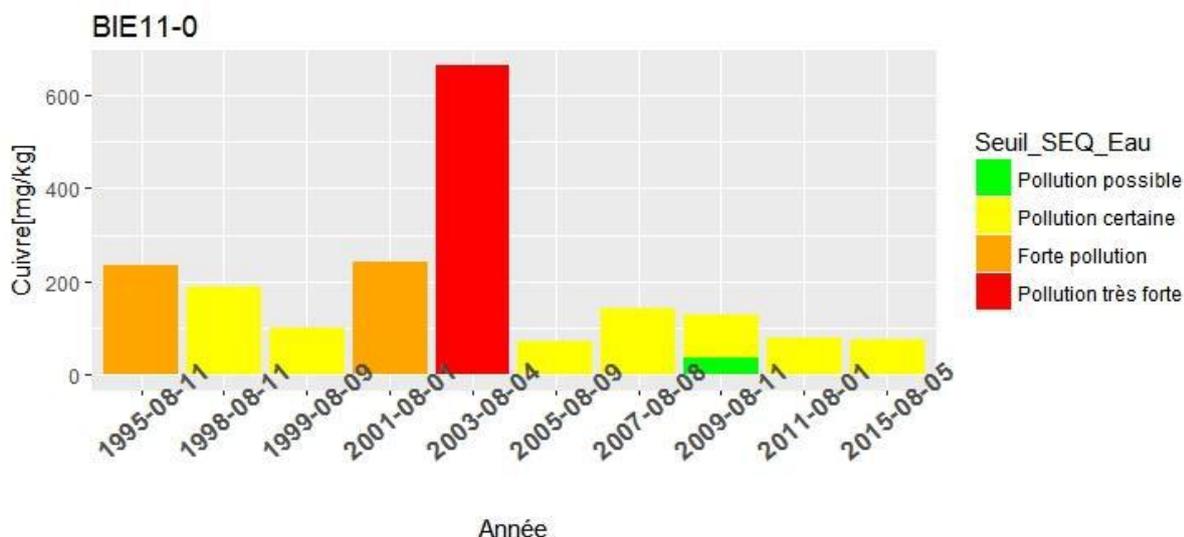


Figure 23 Évolution temporelle des concentrations dans les bryophytes en cuivre à Tancua

V.4 Autres micropolluants organiques

D'après les derniers suivis départementaux (Adam Olivier 2015) sur le Lison et la Bienne, la présence de pesticides n'a pas été détectée. Mis à part les problèmes éventuels de seuil de détection, cette « absence » pourrait éventuellement s'expliquer au niveau de l'occupation du sol agricole présentant 95% de prairies permanentes.

D'après les données antérieures issues du SIERMC et de la DREAL, le suivi sur les HAP a été effectué exclusivement dans les amonts de Saint-Claude (30-1) et de Jeurre (BIE51-1). Il semblerait n'y avoir aucune pollution sur les 6 dernières années (2011 à 2016). Néanmoins, une pollution significative en HAP (fluoranthène, benzo (a)pyrene, phénanthrène, ainsi que d'autres faisant partie des 16 prioritaires) était encore bien présente en 2006 aussi bien dans les eaux que dans les sédiments.

Comparé à cette année, l'analyse des résultats obtenus par le laboratoire Chrono Environnement, a montré des taux confirmant une pollution certaine dans les sédiments sur toutes les stations étudiées (d'après la grille SEQ-EAU ; Annexe 22). Cependant, ces résultats ne peuvent être comparés avec ceux des eaux n'ayant pas fait l'objet de ces analyses.

Les HAP sont synthétisés lors de la formation des énergies fossiles (pétrole, charbon) ou lors de la combustion incomplète de matières organiques (chauffage au fuel, feux de forêts, etc.), des rejets de lixiviation, des effluents des usines de traitement du bois et autres industries (Ineris.fr ; Lemièrre B *et al.*, 2001; Boucheseiche C. *et al.*, 2002).

Il est donc difficile d'identifier des sources de pollutions en vue de résultats homogènes et de différentes échelles spatio-temporelles à prendre en compte sur l'accumulation de ces éléments.

Néanmoins, les HAP ayant une masse molaire importante sont généralement davantage biodisponibles dans l'environnement (tel que le fluoranthène ou le chrysène retrouvé en fortes quantités) (Lemièrre B *et al.*, 2001; Vignet, 2014). Une petite fraction est dissoute et une autre part est adsorbée sur des MES. Les HAP pyrolytiques et pétrogéniques, hydrophobes, sont très présents dans le sédiment. Ils peuvent alors être absorbés par les organismes et deviennent alors biodisponibles.

C'est pourquoi même si les pollutions observées dans les sédiments ne peuvent permettre de localiser précisément la (ou les) source(s) de pollution, celles-ci ne sont pas à négliger lors de l'altération de la capacité biogénique d'un cours d'eau.

V.5 Discussion

V.5.1 Paramètres globaux

L'analyse des paramètres globaux confirmerait une augmentation du taux de nutriments à la fois en amont et à l'aval de la Bienne (BCH5-7, BIE6-6 à BIE19-5 et BIE36-5). Les proliférations algales observées de 2011 à 2014, aussi bien sur le Bief de la Chaille que sur la Bienne à Jeurre, sembleraient être la résultante d'une charge en nutriments supérieure à ce que le cours d'eau peut assimiler.

Les apports en matières phosphorées ou azotées pourraient vraisemblablement être liés à une présence de rejets domestiques, où les concentrations les plus élevées en azote ammoniacal sont localisées en aval des deux agglomérations principales (Morez et Jeurre). Ces paramètres pourraient aussi être liés à une activité agricole ou encore agro-alimentaire présente en amont de ces stations. Même si ces matières phosphorées et azotées sont généralement liées à l'apport de lisiers, les laiteries et fromageries peuvent rejeter une part non négligeable de charge azotées et phosphorées (Ide, Hei & Chaussee, 2002).

Le constat d'une accumulation de nutriments au Bief de la chaille et sur la Bienne reste d'autant plus problématique pour l'avenir de ces cours d'eau en raison d'une diminution des débits observés sur ces 19 dernières années.

La qualité du Bief de la Chaille pourrait d'autant plus être dégradée en vue du contexte actuel de l'aménagement du stade des tuffes. Celui-ci accentuerait ces altérations d'ores et déjà présentes en 2011 (Bureau d'étude Eaux Continentales, 2004).

V.5.2 Éléments inorganiques

Les analyses des éléments inorganiques dans ces différents compartiments confirment, encore aujourd'hui, une forte pollution métallique sur la Bienne. Cette pollution viendrait de deux sources différentes, l'une antérieure et l'autre encore actuelle.

En effet, l'analyse des hautes eaux à Tancua confirme une pollution ponctuelle et récente provenant d'un rejet volontaire ou non. L'observation de fortes concentrations en zinc pourrait éventuellement être d'origine industrielle, où, cet élément est quotidiennement utilisé dans les procédés de fabrication (Tribofinition dans le secteur lunettier) (*Societechimique.fr*).

La présence d'accumulations de métaux dans les sédiments sur chaque station mettrait en avant une source de pollution globale.

La présence et la corrélation du cuivre, de l'étain, du plomb avec l'antimoine en forte quantité sur le Bief de la Chaille suppose une origine principalement industrielle. En effet, l'utilisation actuelle de l'antimoine est combinée au plomb ou encore l'étain en tant que durcisseur et revêtements de surfaces, tels que les logos en métal frappés et moulés, les vernis, les strass type Swarovski (*Societechimique.fr* ; *Ineris.fr*). L'antimoine est aussi employé pour teinter les verres où encore donner un effet brillant sur la monture des lunettes (trioxyde d'antimoine, Sb_2O_3) (*Somethingoptic.fr*).

La corrélation émise par les teneurs de cet élément ainsi que celui du plomb dans les sédiments confirme la provenance d'une origine industrielle de type lunetterie.

Cependant, les fortes concentrations en aluminium, fer ou encore manganèse laissent supposer d'autres origines. En effet, ces éléments sont souvent utilisés en métallurgie (*Societechimique.fr* ; *Ineris.fr*). L'origine de cette utilisation pourrait aujourd'hui provenir de la présence de différents matériaux (tôle, bobine de fer et cuivre) enfouis dans les anciennes décharges qui, avec le temps, l'usure et l'oxydation sont mobilisés par lixiviation. La présence d'une ancienne décharge à proximité du stade des tuffes semble justifier cette hypothèse.

Ces éléments sont aussi très utilisés dans le prétraitement des eaux potables, où l'ajout de microsable et de coagulant à base d'aluminium (Al^{3+}) ou de fer (Fe^{3+}), tel que le sulfate d'aluminium, chlorure ferrique, chlorosulfate ferrique permet de supprimer les répulsions intercolloïdales avant la filtration (Legube, 2015). Ces eaux de lavages étaient autrefois recirculées en tête de station ou rejetées directement dans le milieu naturel sans aucun traitement préliminaire (*Suezwater.fr*) avant la circulaire du 4 novembre 1980 sur les rejets en milieu naturel (*legifrance.fr*). Les concentrations excessives en aval de Morez pourraient éventuellement provenir d'un effluent de traitement d'eau potable.

Néanmoins une importante accumulation d'éléments de traces métalliques s'est effectuée au fil des années dans les bryophytes et dans les sédiments confirmant la responsabilité de la filière métallique de la haute Bienne par divers sites de métallurgies et lunetteries présentes à Morez et ses alentours. Cette accumulation pourrait s'accompagner avec le temps par un relargage de ces éléments dans les eaux en aval. Ces éléments redeviennent donc assimilables, aussi bien par la faune macrobenthique que piscicole.

La présence de colmatages algaux, actuels et passés, serait la résultante d'une accumulation de nutriments encore présente aujourd'hui au Bief de la Chaille et sur la Bienne pouvant s'expliquer par la localisation dès l'amont de rejets domestiques ou agricoles.

La **pollution métallique actuelle** et antérieure dans les différents compartiments observés (eaux, sédiments, bryophytes) est un fait réel. Cette accumulation est **fortement concentrée en haute Bienne** confirmant l'impact de la filière métallique de ce secteur représenté par diverses métallurgies et lunetteries.

La présence métallique dans les décharges sauvages semblerait aussi être une source de pollution antérieure où le métal accumulé reste facilement mobilisable par lixiviation.

VI Qualité biologique : peuplement macrobenthique

VI.1 Matériels et méthodes

Les macroinvertébrés benthiques sont présents dans l'ensemble du réseau hydrographique, et ce, quelle que soit la localisation géographique (Cabinet Gay Environnement, 2000). En raison de leur caractère intégrateur, de la durée pluriannuelle de leurs cycles de vie ainsi que de leur abondance et leur variété, les invertébrés aquatiques sont souvent utilisés comme bio-indicateurs de la qualité des cours d'eau (Beauger *et al.*, 2006).

Ils forment ainsi un maillon essentiel de la chaîne trophique (Archambault, Rosebery & Morin, 2010) dont l'utilisation, afin d'évaluer l'état de santé globale des écosystèmes aquatiques sur le moyen ou long terme, est devenue courante en Europe (Cayrou *et al.*, 2000).

VI.1.1 Protocoles utilisés : MAG20 IBG-DCE compatible

Les méthodes retenues au sein de cette étude sont le MAG20 (DECOURCIERE & DEGIORGI, 2000) développé par Bacchi et Parmentier (BACCHI, 1994 ; PARMENTIER, 1994) puis finalisé par TELEOS en 2000 (Annexe 23) et l'IBG-DCE Useglio-Polatera *et al.*, 2007). Ainsi, l'échantillonnage des communautés macrobenthiques a été conduit selon le protocole MAG20, de façon IBG-DCE compatible. Chaque plan d'échantillonnage a été réalisé de façon indépendante avant de regrouper les échantillons communs. Lorsqu'un échantillon de la norme DCE ne correspondait à aucun échantillon MAG20, un prélèvement supplémentaire a été réalisé.

Le MAG20 est basé sur une prospection complète de l'espace fluvial par l'échantillonnage de 20 prélèvements de 1/20^e de m² (contre 8 pour l'IBGN et 12 pour l'IBG-DCE) en tenant compte des trois composantes majeures caractérisant l'habitat aquatique : nature du substrat, hauteur d'eau et vitesse du courant. Contrairement aux autres méthodes utilisant les macroinvertébrés, il permet le prélèvement d'une surface totale équivalente à 1 m² assurant une meilleure prospection de l'habitat aquatique ainsi qu'une comparaison fiable des abondances de chaque taxon d'une station à l'autre. Par l'étude des couples substrats/vitesses dominants et marginaux, le protocole DCE-RCS (norme XP T90-333 et NF T90- 333 ; Afnor, 2016) consiste à réaliser le prélèvement de 12 placettes en 3 phases (A, B et C). Ce protocole permet d'obtenir une image représentative de l'état du peuplement macrobenthique sur la station étudiée afin de répondre aux dernières prescriptions de la Directive Cadre sur l'Eau. Les prélèvements sur le terrain ont eu lieu lors d'une période d'étiage, les 22, 23 et 24 Juin 2017, après une stabilisation des débits d'une durée de 9 jours. Les échantillons ont été fixés à l'aide d'alcool à 95%. Au laboratoire, la faune macrobenthique a été triée et déterminée au genre pour tous les ordres sauf pour les diptères (famille) et les oligochètes (ordre), selon un certain nombre d'ouvrages (Tachet *et al.*, 2010; Waringer & Graf, 2011; Reding J.-P., 2017).

VI.1.2 Méthodes indicielles

Ces deux protocoles ont été pensés de telle sorte que les 8 premiers prélèvements permettent le calcul de la **note IBGN** (norme NF T-90350, AFNOR, 1992, 2004 ; Annexe 24) et la comparaison inter-stationnelle de la capacité biogène. Cet indice exprime la qualité biologique du milieu en attribuant une note comprise entre 0 et 20. L'état non perturbé d'un système aquatique correspond à une note de 20 et toutes notes inférieures renseignent la présence d'une perturbation sur le milieu. Le calcul de **la robustesse** permet ensuite de statuer sur la fiabilité et la représentativité de la note IBGN obtenue en utilisant le second taxon le plus polluo-sensible pour la détermination de la note. Ces deux indices se mesurent en croisant la variété taxinomique familiale avec les deux premiers groupes indicateurs de la station étudiée (Annexe 25 Annexe 25 Méthode de calcul de la note IBGN et équivalence réglementaire DCE.).

Le calcul du Cb2 mis au point par Verneaux, (1982) viendra ensuite compléter l'IBGN. Cet indice intègre davantage de taxons indicateurs et est donc plus sensible que l'IBGN. Il est constitué de sous-indices : l'indice de variété taxinomique (Iv) et l'indice nature de la faune (In). Le premier renseigne sur la qualité de l'habitat et le second donne des informations sur la qualité globale de l'eau. Le détail des calculs est présenté en Annexe 26.

De plus, la proportion des EPT (Ephéméroptères-Plécoptères-Trichoptères) a été mesurée à partir des listes MAG20. Ces ordres sont communément utilisés comme bioindicateurs car regroupant de nombreux taxons sensibles à la qualité de leur habitat (Firmignac, Lascaux & Vandewalle, 2008). En supplément, la densité des taxons saprobiontes et de taxons polluo-sensibles sont calculées (Verneaux, 1973 ; liste des taxons pris en compte en Annexe 27).

Bien que l'échantillonnage ne soit pas strictement identique, les phases A et B du protocole IBG-DCE ont permis le calcul des équivalents aux trois indices sus-cités, ce qui permet de les comparer aux données historiques.

VI.2 Résultats

Les résultats et les différents indices obtenus à partir des listes faunistiques déterminées sur chacune des stations sont synthétisés en Annexe 28 puis les listes faunistiques brutes ainsi que les tableaux de prélèvements sont reportés en Annexe 30.

VI.2.1 Méthodes indicielles :

L'évolution longitudinale des différents indices calculés pour chaque station est visible en Figure 24 ci-dessous.

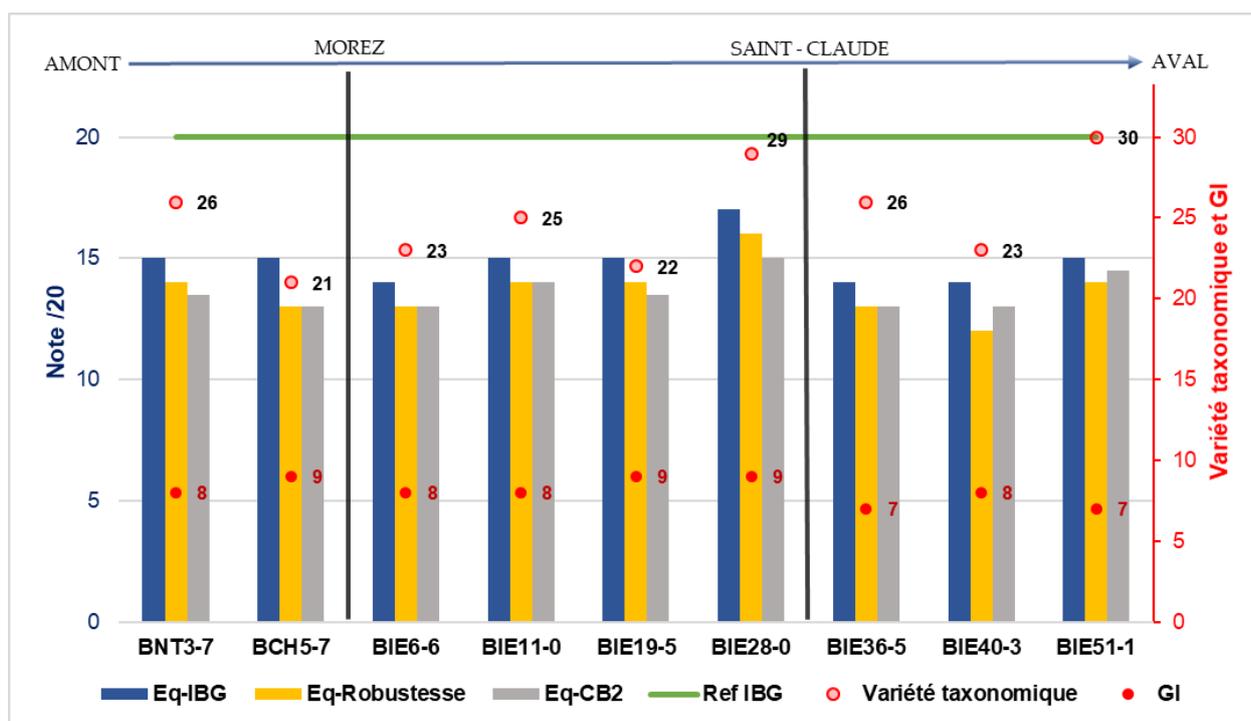


Figure 24 Evolution longitudinale des indices macrobenthiques

Les valeurs de l'indice *eq-IBG* obtenues, comprises entre 14 et 17 sur 20, indiquent des situations « Bonne » à « Très bonne » selon la norme DCE. La robustesse indique que les notes *eq-IBG* sont relativement robustes exceptée, pour les stations *BCH5-7* et *BIE40-3* où la perte de deux points est à relever. Les notes *CB2* sont quant à elles plus discriminantes et varient de 13 à 15. Ces résultats n'indiquent pas de grandes différences inter-stationnelles, seule la station *BIE28-0* est jugée « Très bonne » en obtenant une note *éq-IBG* de 17 et un *CB2* de 15.

Bien que la législation prévoit une note référentielle de 15 pour le Jura (MEEM, 2016), les équivalents *IBG* devraient être proches ou égal à 20, potentiel optimal d'une rivière à truites et à ombres calcaire telle que la Bienne. Les notes obtenues mettent en avant des déficits de 3 à 6 points indiquant des peuplements de qualité moyenne à relativement bonne. Seules trois stations possèdent des familles indicatrices appartenant au groupe le plus polluosensible (*GI9*, *Perlidae* pour les stations *BIE19-5* et *BIE28-0* et *Perlodidae* pour *BCH5-7*), le groupe indicateur des stations *BIE36-5* et *BIE51-1* est représenté par les *Leuctridae*, taxon relativement peu sensible à la pollution organique. La variété taxinomique relativement faible variant de 21 à 30 taxons, semble indiquer que les indices en sont réduits et que la Bienne présente une altération de sa capacité biogénique.

L'analyse des sous-indices CB2 vient corroborer cette hypothèse. En effet, l'indice de variété faunistique Iv, présentant une bonne corrélation avec la nature des habitats, est faible à moyen sur l'ensemble des stations variant de 4,6 à 6,6, laissant supposer une qualité habitationale altérée. L'indice nature In, permettant d'interpréter la qualité physico-chimique de l'eau, varie quant à lui de 7,5 à 8,5, laissant supposer une qualité relativement bonne. Cependant, ces indices conçus à partir de la sensibilité de taxons aux perturbations organiques ne prennent pas en considération l'impact d'autres contaminants potentiellement impactant pour la macrofaune benthique.

VI.2.2 Composition des peuplements

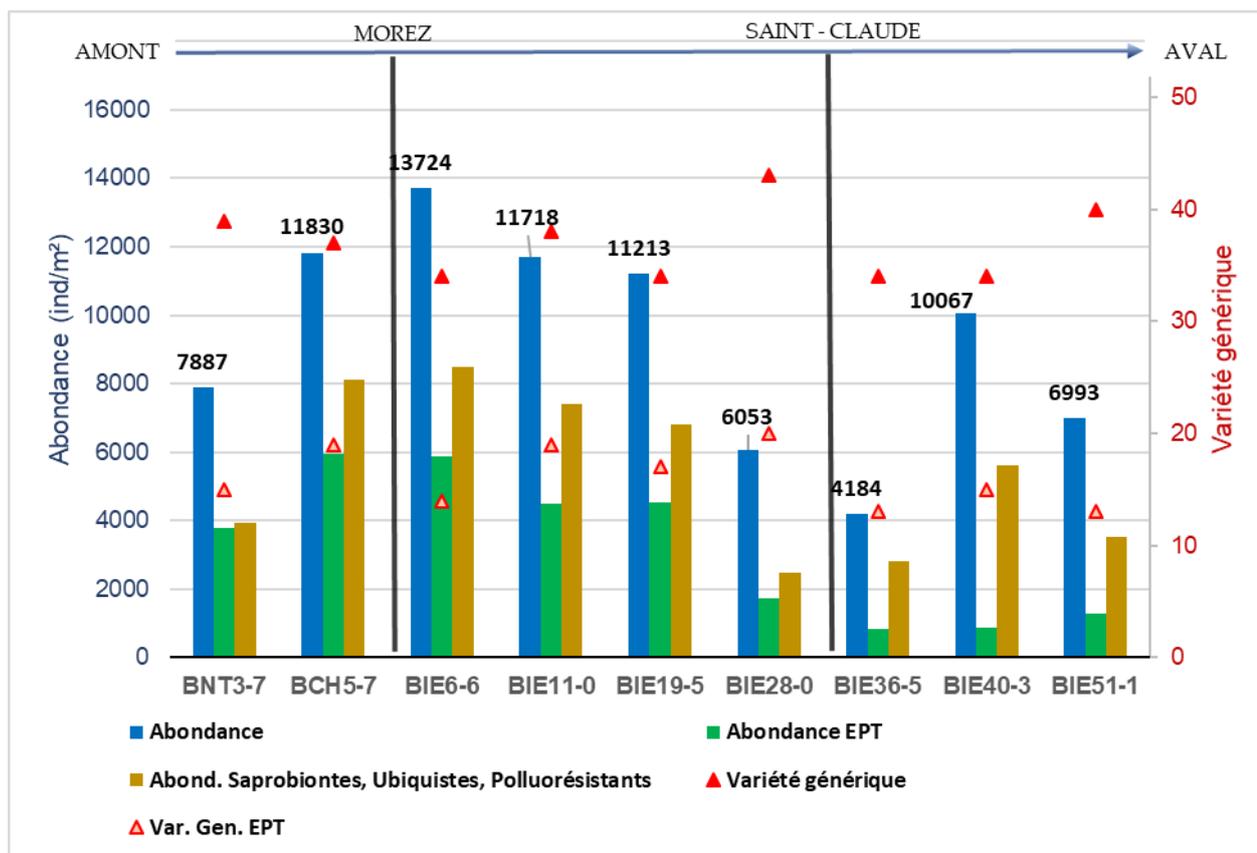


Figure 25 Abondance et variété générique des peuplements macrobenthiques en fonction des différentes stations

Les peuplements échantillonnés présentent une forte variabilité inter-stationnelle tant au niveau de la densité que de la variété générique (Figure 25). Les stations possèdent des variétés génériques peu élevées et des densités de macroinvertébrés plus faibles que celles potentiellement occurrentes sur des cours d'eau calcaire tels que la Bienne. Ce constat s'accroît en basse Bienne où les densités chutent fortement, excepté pour la station *BIE40-3*, accompagnées d'une forte diminution de la proportion d'EPT au sein de ces quatre dernières stations au profit d'un peuplement visiblement plus euryèce et moins sensible aux détériorations de la qualité habitationale. En effet, l'ordre des diptères prédomine les effectifs, suivi de l'ordre des coléoptères (Figure 26). Ces proportions semblent indiquer un changement du niveau de trophie du cours d'eau à l'aval de Saint Claude. Des apports de matières organiques exogènes peuvent en être la cause (Verneaux, 1973). Ce phénomène est d'autant plus marqué sur la station *BIE40-3* située à l'aval de la restitution du barrage d'Étable.

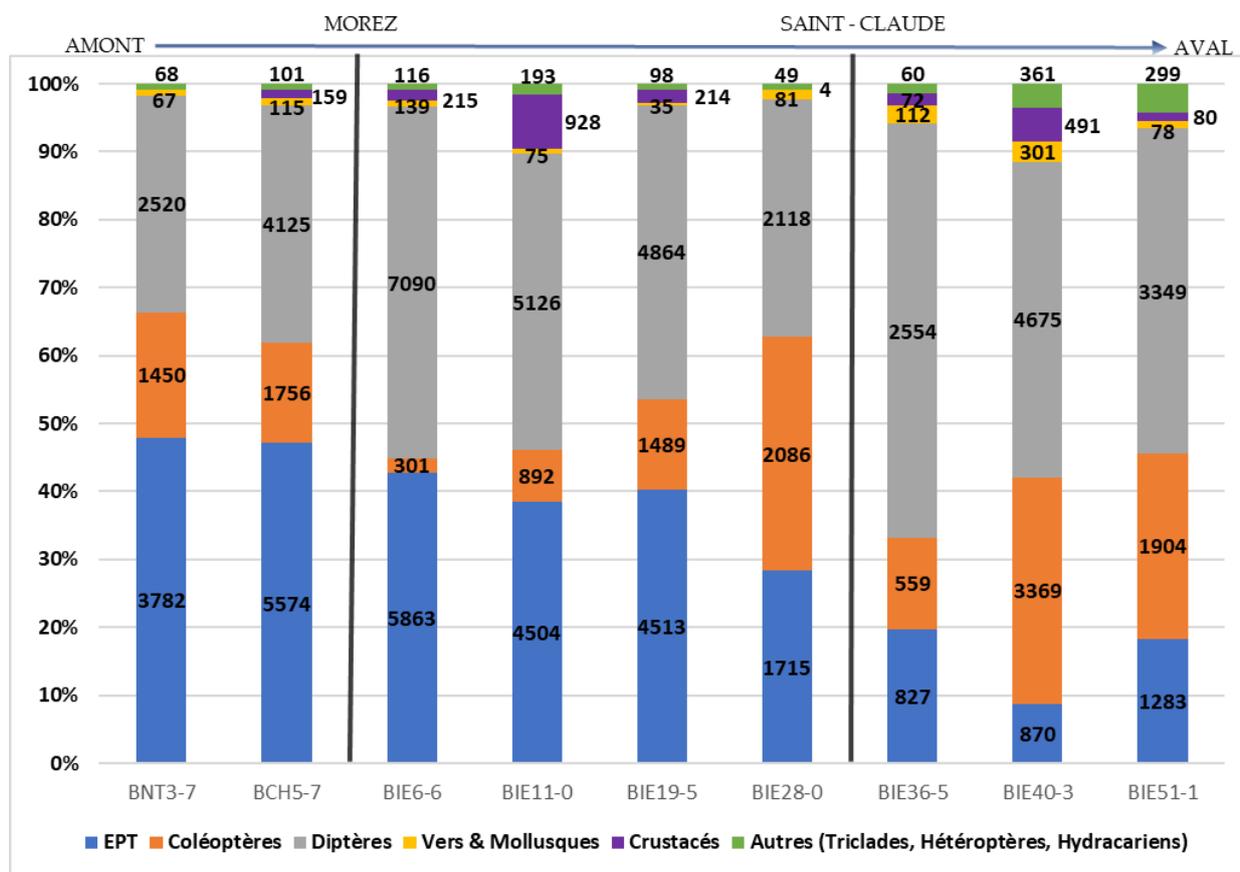


Figure 26 Proportions taxonomiques au sein des peuplements macrobenthiques en fonction des stations

Enfin, les abondances en *Gammaridae* (Crustacés Amphipodes), d'ordinaire ubiquiste, sont très faibles sur l'ensemble des stations d'études. La station *BNT3-7* en est même totalement dépourvue. ADAM (2008) a avancé que les populations de *Gammaridae*, pouvaient atteindre, durant cette période estivale, des densités supérieures à 8 500 individus/m² dans des milieux similaires (tête de bassin karstiques sans colmatage), confirmant ainsi **un problème de qualité de l'eau**.

Les faibles densités historiques et les diminutions observées de ce crustacé traduisent sans doute une contamination **ancienne de l'eau par des micropolluants**. L'étude d'analyses antérieures et la sensibilité avérée du genre *Gammarus* aux micropolluants métalliques (Gerhardt, 1995) viennent corroborer cette hypothèse.

VI.2.3 Vulnérabilité du peuplement

A noter que la sensibilité des taxons utilisés au sein de cette partie est plutôt inféodée aux pollutions d'ordre organique car choisi selon les études antérieures de Verneaux (1982). La faune macrobenthique des stations d'études présente une abondance faible en taxons polluosensibles, voire très faible, les taxons les plus vulnérables sont très peu représentés (Tableau 7).

Tableau 7 Abondance des taxons polluosensibles en fonction des différentes stations

Ordre	Famille	Genre	BNT3-7	BCH5-7	BIE6-6	BIE11-0	BIE19-5	BIE28-0	BIE36-5	BIE40-3	BIE51-1	Nb de stations avec le taxon (/9)	Abondance moyenne
Taxons très vulnérables :			10	200	2	5	90	138	0	3	1		50
Plécoptère	<i>Perlodidae</i>	<i>Isoperla</i>		131								1	15
Plécoptère	<i>Perlodidae</i>	<i>Perlodes</i>		67								1	7
Plécoptère	<i>Perlidae</i>	<i>Perla</i>	10	2	2	4	23	5			1	7	5
Plécoptère	<i>Perlidae</i>	<i>Dinocras</i>				1	67	133		3		4	23
Taxons vulnérables :					1	9	2			1			1
Trichoptère	<i>Philopotamidae</i>	<i>Philopotamus</i>								1		1	0,1
Ephéméroptère	<i>Siphonuridae</i>	<i>Siphonurus</i>			1	9	2					3	1
Taxons assez vulnérables :			344	247	419	190	208	345	186	103	219		251
Ephéméroptère	<i>Ephemeridae</i>	<i>Ephemera</i>						33	1	1		3	4
Ephéméroptère	<i>Heptageniidae</i>	<i>Ecdyonurus</i>	6	39	9	15	21	25	1	8	3	9	14
Ephéméroptère	<i>Heptageniidae</i>	<i>Epeorus</i>				1	4					2	1
Ephéméroptère	<i>Heptageniidae</i>	<i>Rhithrogena</i>			200	39	66	5				4	34
Trichoptère	<i>Lepidostomatidae</i>	<i>Lepidostoma</i>									4	1	0,4
Trichoptère	<i>Limnephilidae</i>	<i>Drusus</i>		7	3	1		1				4	1
Trichoptère	<i>Odontoceridae</i>	<i>Odontocerum</i>	217	9	3	71	49	52	2	6		8	45
Trichoptère	<i>Rhyacophilidae</i>	<i>Rhyacophila</i>	114	180	202	57	62	21	42	76	62	9	91
Trichoptère	<i>Sericostomatidae</i>	<i>Sericostoma</i>	7	1	1	6	6	208	140	12	150	9	59
Plécoptère	<i>Nemouridae</i>	<i>Amphinemura</i>		11	1							2	1
Taxons à vulnérabilité modérée :			1963	3594	1354	1630	1933	155	99	107	112		1216
Plécoptère	<i>Leuctridae</i>	<i>Leuctra</i>	554	253	294	352	264	70	10	9	79	9	209
Plécoptère	<i>Nemouridae</i>	<i>Protonemura</i>	1336	3304	1054	1267	1665	75	67	78	7	9	984
Diptère	<i>Athericidae</i>		20	10	2	1	4	7	2	14	5	9	7
Diptère	<i>Empididae</i>		4	9	1	7			11		12	6	5
Diptère	<i>Psychodidae</i>		49	18	3	3		3	9	6	9	8	11

Ce constat est également valable pour d'autres taxons, non répertoriés au sein du tableau ci-dessous, venant augmenter la variété générique stationnelle avec de très faibles abondances. La diminution des taxons les plus sensibles d'amont en aval semble indiquer une augmentation de la charge organique sur le continuum longitudinal. De plus, les abondances plus importantes de l'amont semblent corroborer avec l'hypothèse d'une pollution par les micropolluants. L'accumulation de micropolluants au sein des sédiments et bryophytes (substrat le plus attractif pour la faune macro-benthique) provoque une exposition prolongée de la faune macrobenthique, induisant des modifications physiologiques, voire des effets létaux (Van Coillie & Parent, 2011) particulièrement dommageables.

La présence sporadique du genre *Habroleptoïdes*, avec un seul individu sur les stations *BNT3-7* et *BCH5-7*, et la présence d'un seul représentant du genre *Plectrocnemia*, tous deux sensibles aux colmatages par des fines semblent indiquer des dépôts intempestifs sur les fonds. De plus, *Plectrocnemia* est particulièrement sensible aux brusques variations de débits tout comme le genre *Chloroperla*, non retrouvé sur la Bienne, ce qui indique d'éventuelles répercussions de l'artificialisation des débits sur la macrofaune benthique (DEGIORGI *et al.*, 2009).

VI.2.4 Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)

Une CAH est réalisée afin de mettre en évidence la proximité inter-stationnelle entre les peuplements macrobenthiques et l'abondance des taxons.

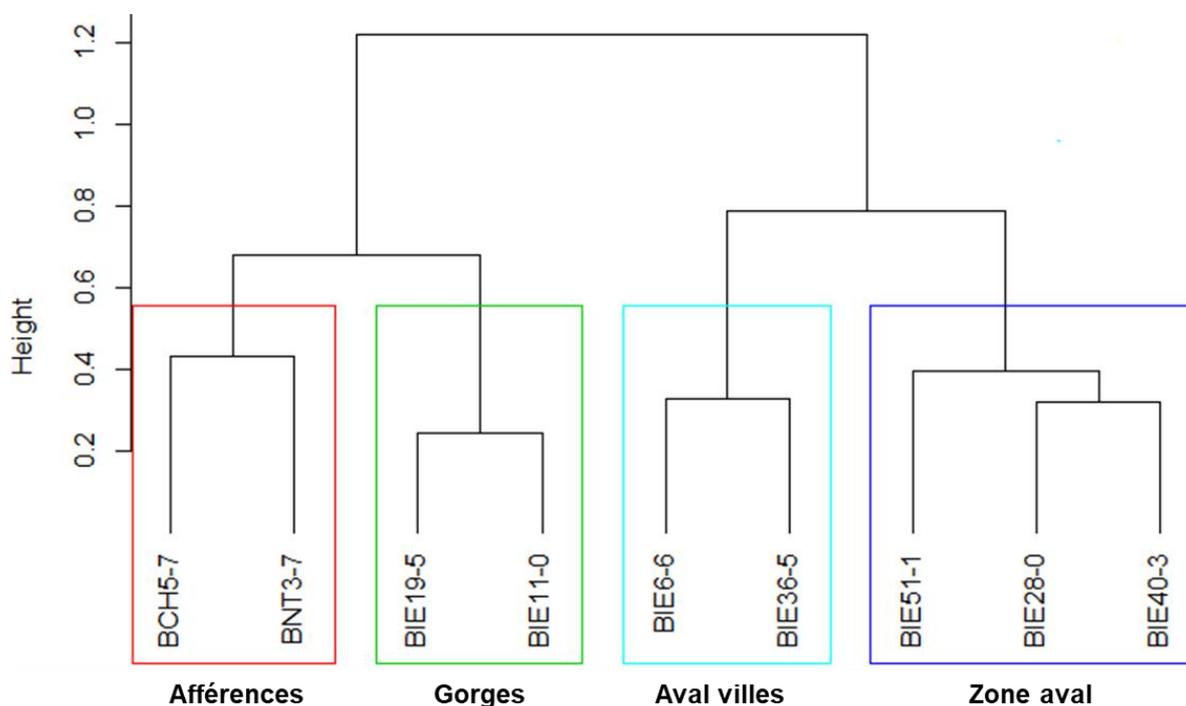


Figure 27 Classification ascendante hiérarchique des stations en fonction des peuplements macrobenthiques observés

Un gradient inter-stationnel se dessine. Le rapprochement entre les stations *BIE6-6* et *BIE36-5* situées à l'aval des deux plus grosses villes, respectivement Morez et Saint-Claude, matérialise vraisemblablement une modification de peuplement induite par la proximité de ces villes. De plus, la présence de fortes proportions de diptères Simuliidae et Chironomidae au sein de ces stations indique la présence accrue de matières organiques.

VI.2.5 Analyse temporelle

Sur les faits historiques, tant à l'amont qu'à l'aval, les chroniques les plus anciennes trouvées montrent un peuplement macrobenthique moins diversifié dans les années 80-90 qu'actuellement (Annexe 29). En effet, à *Doye* et à *Chassal*, le pourcentage ainsi que la variété des taxons polluo-sensibles sont plus faibles qu'à l'heure actuelle avec respectivement un gain de 4,3% et deux genres puis 0,5% et cinq genres. Néanmoins, même si l'évolution temporelle montre une amélioration de qualité biogène, à priori en lien avec la qualité physico-chimique des eaux, le peuplement macro benthique actuel est loin d'être à son optimum en raison des faibles densités de taxons polluo-sensibles et de l'augmentation des taxons polluo-résistants et saprobiontes.

VI.3 Bilan macrobenthique

En 2017, même si les eq-*IBG* correspondent aux exigences de *bon état écologique* fixé par la DCE, un cours d'eau comme la Bienne (karstique, salmonicole) ne peut se satisfaire de cet état ainsi que de variétés taxonomiques si faibles (Cantonati, Gerecke & Bertuzzi, 2006). La présence de certains taxons ayant une vulnérabilité importante atteste toutefois d'une capacité habitationnelle et d'une qualité de l'eau potentiellement bonne. Cependant, leur **présence relictuelle** semble être l'expression de **conditions habitationnelles ne permettant vraisemblablement plus le développement normal de la macrofaune benthique**.

VII Qualité biologique : peuplement ichthyologique

De par leur mobilité, leurs exigences spatiales variées ainsi que leur longévité, les poissons sont réputés comme intégrateur final des conditions du milieu (Degiorgi & Raymond, 2000). Selon les espèces et le stade de développement, l'étude de l'ichtyofaune permet de mettre en évidence d'éventuelles altérations de la qualité du milieu à plusieurs échelles d'espace et de temps.

VII.1 Matériels et méthodes

Les inventaires piscicoles ont été réalisés à l'aide d'un protocole par « épuisement » (Degiorgi & Raymond, 2000) sur chacune des stations définies. Ainsi, les échantillonnages réalisés sont effectués selon la méthode de pêche électrique à pied, avec deux passages successifs sans remise à l'eau des poissons entre les passages (De Lury, 1951) permet d'estimer de manière fiable le stock de poisson sur la station. Cette technique non létale se base sur l'électrotaxie subie par un poisson pris dans un champ électrique, provoquant une nage forcée en direction de l'anode par une contraction de ses muscles moteurs. La largeur moyenne des stations détermine le nombre d'anodes nécessaires, à raison d'une anode pour 4m de largeur de cours d'eau, 2m étant le rayon d'efficience électrostatique maximum des anodes en pêche électrique, dans le cadre de cette étude de 1 à 5. Les stations sélectionnées sont délimitées de telle sorte qu'un obstacle naturel (seuil, radier marqué, rupture de pente...) limite, autant que possible, les migrations à l'amont comme à l'aval. Si les conditions ne présentent pas ces caractéristiques, la mise en place d'un filet, de 20

mm de maille est nécessaire (si possible électrifié). L'aval est généralement barré par la cathode en action de pêche.

Cette méthode est conforme à la norme NF EN 14011 (AFNOR 2003). Sur le terrain, les poissons sont séparés par passages et par espèces, mesurés et pesés individuellement. Lorsqu'un grand nombre de poissons d'une même espèce est prélevé sur un même passage, des lots de classes de tailles homogènes sont constitués. Ainsi, chacun de ses lots est pesé et le plus petit et plus grand individu de chaque lot est mesuré.

Les inventaires piscicoles se sont déroulés les 09, 13, 26 et 29 juin 2017, au cours d'étiages estivaux. Une fois les données recueillies, les effectifs théoriques, numériques et pondéraux, de chaque station sont estimés selon la méthode dite de Carl & Strub (Gerdeaux, 1987) à l'aide du logiciel *Multifish*. Cette méthode statistique est utilisée afin de pallier les problèmes de l'efficacité de capture d'un passage à l'autre influant directement sur les résultats bruts. Ensuite, l'ensemble des effectifs théoriques sont ramenés à une surface constante (10 ares pour les effectifs numériques, un hectare pour les effectifs pondéraux). Enfin, ils sont transcrits en côtes d'abondance numériques et pondérales selon le référentiel proposé par Verneaux (Verneaux, 1973, 1977, 1981), repris et modifié par Degiorgi et Raymond (Annexe 31), afin de comparer le peuplement observé sur chaque station à un peuplement théorique de référence donné par le modèle biotypologique de Verneaux (1973, 1977, 1981). Celui-ci repose sur le fait que les communautés piscicoles suivent, à priori, par la nature des espèces qui la composent et leurs effectifs, un gradient typologique (de B0 à B9) sous l'influence de six paramètres mésologiques regroupés en trois facteurs fondamentaux : les facteurs thermique, géotrophique et morphodynamique du milieu. Le calcul du Niveau Typologique Théorique (NTT) rattache alors chaque station à un biocénotype auquel correspond un peuplement piscicole théorique, à priori, possible de retrouver en l'absence de toute perturbation (Annexe 32). En outre, les variations entre le peuplement piscicole théorique et observé soulignent d'éventuels dysfonctionnements. Le détail des données employées, afin d'obtenir les NTT de chaque station et l'ensemble des données de pêches stationnelles sont exposées en Annexe 33.

VII.2 Résultats

VII.2.1 Evolution stationnelle des biomasses

La période d'échantillonnage printanière de 2017 ne correspondant pas à la période habituellement automnale des chroniques passées, seule une appréciation des biomasses ainsi que des niveaux typologiques est présentée dans l'objectif de rester comparable. Afin de simplifier l'analyse et synthétiser l'évolution longitudinale, seules **les biomasses de la truite fario (*Salmo trutta fario*)** au sein des stations reconduites en 2017 sont présentées (Figure 28). Ce choix s'explique par l'importance écologique de cette espèce sur le secteur et par le fait qu'elle représente à elle seule environ 95% des biomasses. Les données brutes sont disponibles en Annexe 34 et l'évolution des densités et biomasses pour l'ensemble des stations existantes sont visibles en Annexe 35 et Annexe 36. La station *BNT3-7* ne disposant pas de données historiques en termes de biomasses, elle est reportée à titre de comparaison inter-stationnelle pour l'année 2017.

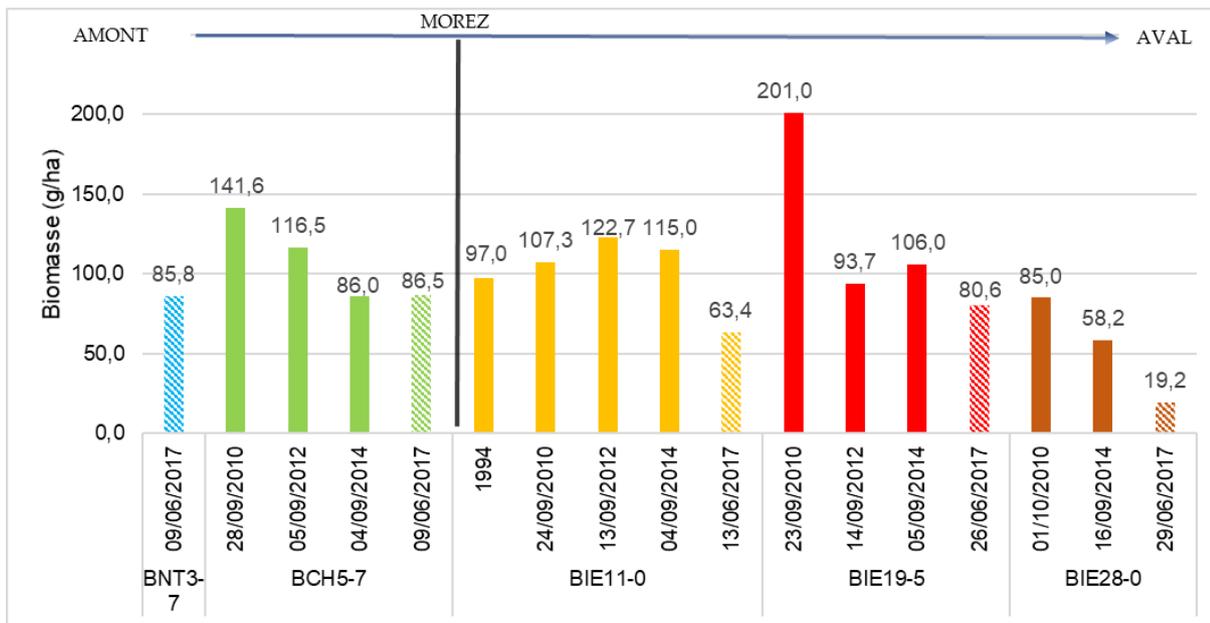


Figure 28 Évolution longitudinale et temporelle de la biomasse de la truite

Entre 2010 et 2017, les stations échantillonnées présentent globalement un déclin de biomasses de truite. Les interprétations qui y sont liées seront analysées station par station dans les paragraphes suivants.

VII.2.2 Analyses stationnelles par le biotype

Les différentes stations échantillonnées en 2017 sur la Bienne ont des niveaux typologiques qui s'échelonnent de B2 à B4,5. Pour chacune des stations étudiées, les classes d'abondance obtenues pour chaque espèce à partir des résultats des inventaires piscicoles ainsi que les classes d'abondance théoriques découlant de la biotypologie, sont reportées dans la Figure 29, où les classes d'abondance théoriques sont matérialisées par des colonnes de couleur grise. L'ensemble des données brutes et calculées sont disponibles en Annexes 34.

➤ Afférences :

• **BNT3-7 :**

La station BNT3-7, située sur la Biennette, abrite une communauté piscicole dégradée vis-à-vis de la situation attendue pour un tel biocénotype (B2). Les deux espèces présentes (TRF et CHA) sont en abondances inférieures à celles prévues tant du point de vue de la densité que de la biomasse. Malgré une biomasse de truite correcte vis-à-vis des autres stations (environ 86kg/ha), cela reste inférieur à la référence (au minimum 102kg/ha). En comparaison avec les données historiques, la perte d'une classe d'abondance pour le chabot est à déplorer.

• **BCH5-7 :**

La station BCH5-7, située sur le Bief-de-la-Chaille, abrite une seule des deux espèces attendues pour ce biotype, il s'agit de la truite *fario*. Le chabot, espèce déficitaire en 1981, n'a plus été inventorié depuis.

La truite *fario*, présente en quantité satisfaisante du point de vue du référentiel lors des chroniques de 1981 à 2012, s'en éloigne depuis. En termes de biomasse, cette station qui avoisinait les 141kg/ha de truites en 2010, ne représente plus que 86kg/ha en 2014 et 2017. Les résultats de 2014 restent cependant discutables, au vue de la classe d'abondance de 5 obtenue 3km à l'amont lors d'une autre étude (Eaux Continentales, 2014). Ce constat est alarmant en 2017 où la densité est la plus discriminante avec 100ind/10a et un individu de 1390g venant augmenter la biomasse à lui seul.

➤ **Bienne :**

• **BIE11-0 :**

La station *BIE11-0*, située à l'aval de Morez dans les gorges de la Bienne, correspond à un niveau typologique B3 dont le peuplement théorique est composé de trois espèces. L'ensemble des espèces présentes sont déficitaires, et ce, depuis 1994. Le vairon est quant à lui absent n'a été contacté qu'en 2010.

La biomasse de la truite *fario* présente une tendance inquiétante au sein de cette station. Bien qu'elle soit légèrement sous-estimée du fait de la saison d'inventaire, la sous-représentation des juvéniles et la croissance estivale non prise en compte, une telle station ne peut se satisfaire de 62kg/ha alors que sa référence en prévoit, à minima, 204kg/ha.

• **BIE19-5 :**

La station d'étude *BIE19-5* située dans les gorges de la Bienne, au niveau de Longchaumois, correspond à un B3,5 dont le peuplement piscicole théorique est composé de 4 espèces.

En termes d'évolution, la biocénose piscicole de cette station tend à se dégrader aussi bien au niveau qualitatif que quantitatif. Elle présente pour l'année 2017 un déficit d'une espèce élective, le vairon, ainsi qu'un déficit au sein des trois espèces présentes. La biomasse de truites est d'environ 80 kg/ha alors qu'elle avoisinait 200 kg/ha en 2010. Le chabot a été retrouvé en de faibles densités pour la première fois au sein de cette station.

• **BIE28-0 :**

De manière générale, le peuplement piscicole de la station *BIE28-0*, située en amont de Saint-Claude, n'est pas satisfaisant. Les espèces présentes sont toutes déficitaires par rapport au référentiel, d'où une biomasse très faible pour ce type de cours d'eau, notamment en truites (environ 20 kg/ha). De plus, deux espèces électives sont absentes dont l'Ombre commun bien que le biotype corresponde potentiellement au début de son aire de répartition.

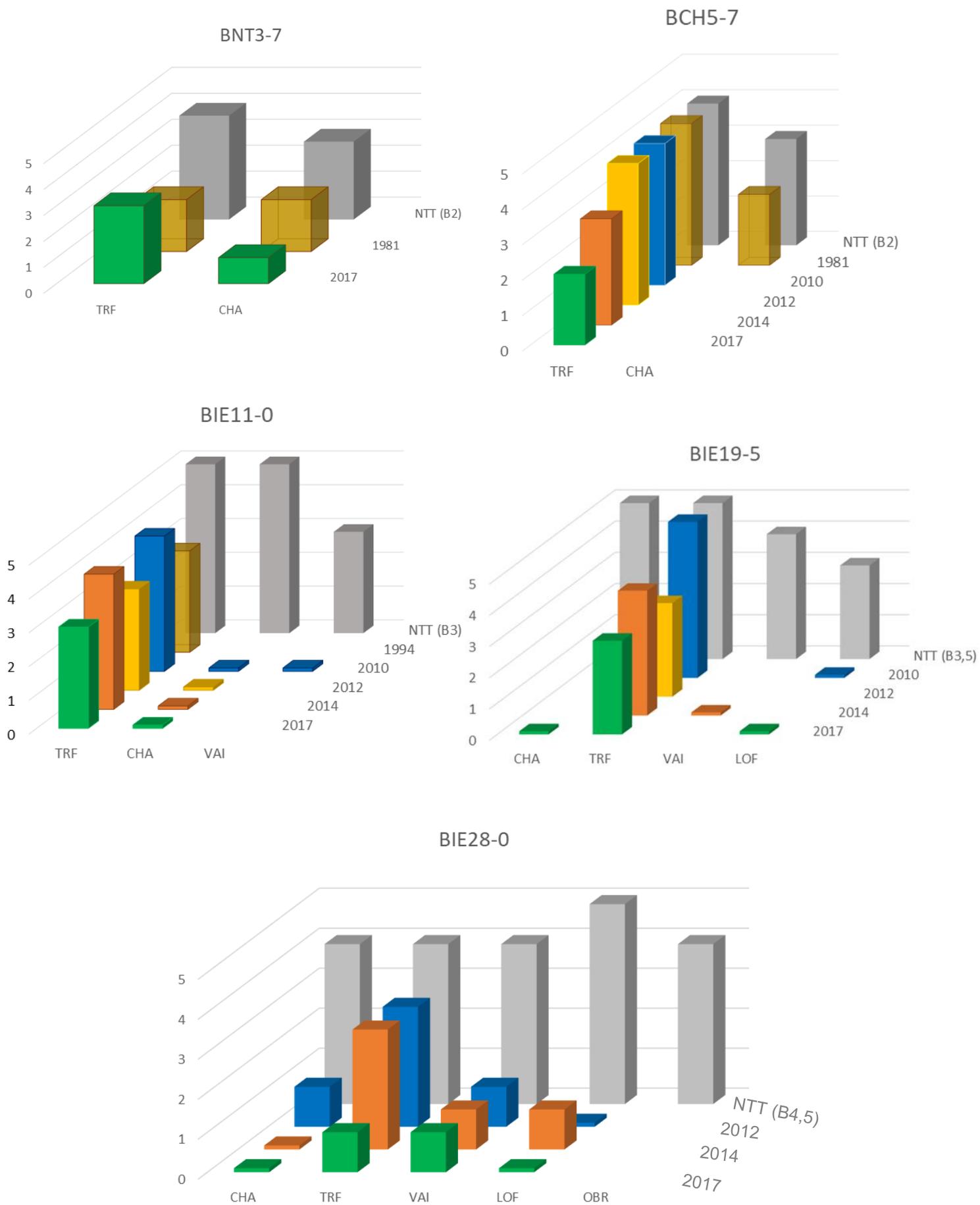


Figure 29 Comparaison diachronique des peuplements observés avec les potentiels théoriques des stations d'études

VII.3 Discussion

L'évolution spatiale et temporelle du niveau d'altération des peuplements piscicoles de la Bienne, présentée ci-dessus, indique une forte altération des peuplements. La diminution des biomasses de truite *fario*, la présence sporadique de loches, de chabots et de vairons indiquent une détérioration de la capacité biogène du milieu. Dès les stations les plus apicales, les peuplements ne sont actuellement plus représentatifs de la capacité théorique d'un cours d'eau calcaire salmonicole tel que la Bienne.

Cependant, il convient de rappeler que les valeurs obtenues lors des inventaires de 2010 sont fortement influencées par les alevinages pratiqués jusqu'en 2009 dans ce secteur, allant de 120 000 à 180 000 alevins par an (com. pers. M. Berthet, président AAPPMA Morez). Les alevinages ont vraisemblablement masqué l'état dégradé des populations truiticoles durant de nombreuses années. Les populations actuelles, composées quasi exclusivement de truites issues de la reproduction naturelle, témoignent du potentiel biogène actuel de la Bienne.



Figure 30 Truite *fario* capturée au Bief de la Chaille (1390g)

La forte productivité antérieure démontre un fort potentiel passé de ce cours d'eau. De plus, les études antérieures soulignent une qualité habitationnelle relativement satisfaisante en haute Bienne et une forte dégradation de celle-ci dès l'amont de Saint-Claude (Degiorgi & Raymond, 1996). L'absence de l'ombre sur la station *BIE28-0*, dont le biotype correspond au début de son aire de répartition, témoigne de cette dégradation plus en aval ne lui permettant plus de remonter.

De nombreuses études passées inculpaient les **rejets domestiques** et **surtout industriels** dans la destruction du peuplement piscicole (CSP, 1996) sur la haute Bienne. Les contaminations *sus*-citées pour 2017 ainsi que les forts taux de cuivre retrouvés en 2016 au sein des tissus de truite *fario* (foie, muscles), confirment qu'une part importante de cuivre est biodisponible sur l'ensemble du cours d'eau. La truite *fario* peut subir des effets toxiques, agissant à des concentrations de cuivre bien plus basses que celles quantifiées en 2016. Des effets sur la croissance, la migration, la reproduction ou encore des réponses immunitaires peuvent être observés (Olsvik *et al.*, 2000 ; Lahnsteiner, Mansour & Berger, 2004; Durrant *et al.*, 2011).

A cela s'ajoute la présence de composés azotés potentiellement toxiques tel que l'ammonium. En fonction du pH et la température, cette molécule peut passer sous forme d'ammoniac (NH₃) toxique à très faible concentration pour la faune aquatique (Randall and Tsui, 2002). A titre d'exemple, les œufs de truite peuvent être impactés par la présence de nitrates sur certaines stations. En effet, une étude a démontré qu'une exposition à 5 mg/L de nitrates pendant 30 jours conduisait à une mortalité de 15% (Kincheloe, Wedemeyer & Koch, 1979).

La quasi-absence de loches peut être corrélée à la contamination des milieux interstitiels fins et les faibles densités de vairon suggèrent un impact potentiel sur l'eau circulant dans les gravières, utilisées par ce poisson pour frayer (Keith *et al.*, 2011). Les faibles densités de chabot, espèce très intégratrice de la qualité du milieu, indiquent également de fortes perturbations. Il est possible qu'une partie des chabots présents sur les stations n'ait pas été capturée du fait de la propriété de cette espèce à se « coller » au substrat lorsqu'il est pris dans le champ électrique. L'absence de vessie natatoire chez cette espèce rend également sa nage difficile en zone pélagique.

La principale raison du déclin piscicole observé semble être imputable à des perturbations de la qualité de l'eau.

Malgré un biocénotype propice au maintien d'une population de chabot sur la station *BCH5-7*, celle observée dans les années 80 a vraisemblablement disparu. Cette disparition peut être imputable à une pollution diffuse ou des épisodes de pollution consécutives (rejets domestiques notamment) et/ou à la pression de prédation exercée par l'apport conséquent d'alevins sur ce cours d'eau (variant de 10 000 à 15 000 alevins par an jusqu'en 2009). De plus, la présence du barrage de la pisciculture en aval rend toute recolonisation de ce tronçon de cours d'eau impossible pour le chabot et entrave la potentielle remontée de truites femelles, limitant la quantité d'œufs pondus dans les zones de reproduction amont (CHAMPIGNEULLE *et al.*, 2003). La faible population de chabot sur la Bienne à l'aval de la confluence indique toutefois que cette espèce est en perdition dans le secteur.

Les gains enregistrés au niveau du **métabolisme thermique** indiquent aussi qu'il existe des plages de valeurs peu ou pas en adéquation avec **les exigences de la Truite**. Même si la Truite *fario* est opportuniste, la variété de son alimentation dépend à la fois de la saison, mais aussi de son développement. Les juvéniles conservent une préférence nutritionnelle ciblée sur les trichoptères, éphéméroptères et plécoptères (Waters, 1988; Keith *et al.*, 2011). L'affaiblissement au niveau des ETP, accentué en basse Bienne, pourrait avoir une influence sur le développement des juvéniles.

VII.4 Bilan sur la qualité du peuplement piscicole

La diminution de la biomasse des truites et de ses espèces accompagnatrices, aussi bien à l'amont qu'à l'aval, indique un **peuplement piscicole en mauvais état** faisant face à diverses sources de pressions. Les campagnes d'analyses de 2017 corroborent l'hypothèse selon laquelle l'altération des peuplements piscicoles de la Bienne est principalement **imputable aux perturbations chimiques**.

VIII. Synthèse globale

L'étude des diverses pressions et l'analyse des différentes composantes de cet hydrosystème montrent que l'altération de la capacité biogénique est définie par un problème multifactoriel. Il est donc pertinent d'effectuer une analyse des relations des éventuelles synergies sur l'ensemble des sources de dégradation ciblées et suspectées.

Des faits historiques toujours d'actualité ...

Dans un premier temps, la qualité de l'eau s'avère fortement dégradée. De nombreuses études passées font état de taux préoccupants de micropolluants inorganiques tels que le cuivre (PNRHJ ; SDVP 39, 1995) et d'un effet résiduel de la pollution toxique depuis Morez (Degiorgi & Raymond, 1996). Elles inculpaient notamment les rejets domestiques de l'ensemble du bassin versant et surtout les rejets industriels en provenance de la haute Bienne (Degiorgi & Raymond, 1996). **La présence actuelle de contaminants affectant plusieurs compartiments de l'hydrosystème démontre que les pollutions perdurent au sein de la Bienne.**

... confirment une pollution chimique d'origine industrielle et urbaine...

L'accumulation et la corrélation des différents éléments métalliques (V.3 Analyse des éléments minéraux) tels que le zinc, le plomb, le cuivre, ou encore l'antimoine, confirment les **apports de toxiques en provenance du secteur industriel de la haute Bienne** (métallurgie et lunetterie). La présence métallique au sein des décharges sauvages, semblerait être une source secondaire de pollution antérieure en raison des fortes concentrations, en fer, aluminium, où, cette accumulation reste facilement mobilisable par lixiviation en raison du contexte karstique du bassin versant (Figure 3 et Figure 14).

En complément, la présence de matières azotées, notamment d'ammonium et de nitrates serait vraisemblablement d'origine domestique. Malgré une amélioration constante du rendement épuratoire des systèmes d'assainissement, **le faible taux de collecte actuel démontre qu'une partie conséquente de rejets bruts peut encore toucher le milieu** (Figure 11). De plus, l'apparition actuelle et passée de colmatages algaux témoigne d'un apport certain de nutriments allochtones. La structure des peuplements macrobenthiques à l'aval des deux plus grandes villes corrobore cette hypothèse (Figure 26 et Figure 27). Néanmoins, l'origine d'une activité agricole concentrée à certains endroits du bassin versant pourrait éventuellement être une cause secondaire de cet apport en nutriments.

...altérant la capacité biogénique du cours d'eau...

Diverses études prouvent que ces pollutions altèrent potentiellement le biotope à différentes échelles (Adam, 2008; Eaux Continentales, 2014; Lainé, Morin & Tison-Rosebery, 2014). Les peuplements macrobenthiques observés sur les différentes stations restent déficitaires en taxons polluo-sensibles, mais aussi au niveau de leur variété générique et densité (VI.2.2 Composition des peuplements). Il n'est pas à

exclure qu'une baisse quantitative du peuplement macrobenthique diminue la ressource nutritive piscicole et, de manière indirecte, la densité piscicole.

Cependant, même si cette hypothèse est difficilement prouvée à l'échelle de la Bienne, l'effet d'une bioconcentration chez les Salmonidés est envisageable. La possibilité de cette bioconcentration est à prendre en compte sur l'effet pyramide inversé (Warila, Batterman & Passino-Reader, 2001; Ramade, 2007) pouvant traduire une bioamplification.

L'accumulation de métaux retrouvés dans les bryophytes, un habitat attractif pour les macroinvertébrés serait une source potentielle de transfert des contaminants s'effectuant au niveau trophique.

...par la présence de micropolluants inorganiques...

Toutefois, **les pollutions métalliques dans les cours d'eau influencent la reproduction, le développement et la santé au niveau individuel.** En effet, le chrome, le mercure, le cuivre, le zinc sont toxiques pour les gamètes des poissons et diminuent le taux de fertilisation des œufs (Luckenbach *et al.*, 2001, 2003 ; Ramade, 2007). D'autres études affirment une diminution de la qualité des spermatozoïdes en fonction de leur motilité (Lahnsteiner *et al.*, 2004).

Les truites *fario* présentaient un état pathologique aggravé en 2016, d'autant plus marqué en basse Bienne (Pozet & Porcher, 2016). En effet, les forts taux de cuivre retrouvés en 2016 au sein des tissus de la truite *fario* (foie, muscles), allant jusqu'à plus de 1000 mg/kg MS à Lavancia, démontrent la forte biodisponibilité du cuivre dans le milieu. Une synthèse plus approfondie sur l'effet du cuivre sur les salmonidés est disponible en Annexe 37.

Une contamination chimique de l'habitat peut modifier le métabolisme de l'espèce et induire par la suite, un stress biologique. En effet, la présence d'infection mycosique ainsi qu'une augmentation de certains biomarqueurs (l'activité cholinestérase et acétylcholinestérase) confirme l'altération du métabolisme par la présence de contaminant (Pozet & Porcher, 2016).

Des études ont prouvé la relation du parasitisme avec divers contaminants, notamment sur le cuivre où la susceptibilité accrue des poissons exposés à celui-ci confère une incapacité à éliminer le virus (Aldrin, 1987; Chou *et al.*, 1999; Élie & Girard, 2014a). Il n'est donc pas à exclure que **la présence de métaux dans les truites inhibe les défenses immunitaires de l'individu en question.**

...et organiques, ...

La plupart des composés toxiques, et en particulier ceux qui sont faiblement solubles, sont adsorbés sur les particules fines, organiques ou minérales, et stockés dans les sédiments (Chiffre, 2016). Plusieurs auteurs ont montré un niveau de contamination en HAP plus importante dans les MES et les sédiments que dans les eaux de surface (Guo *et al.*, 2007; Qi *et al.*, 2011). Cette **contamination des fonds** de la Bienne peut être due, soit à la **rémanence des pollutions aiguës**, soit au **transfert intermittent de polluants (métaux, HAPs) adsorbés sur les MES**, en provenance des activités domestiques, des voies de transports, des zones de stockage telles que les décharges ou encore agricole. Ces matières particulaires sédimentées peuvent conduire à la réduction de la porosité du lit du cours d'eau

réduisant ainsi la capacité biogénique des habitats et les possibilités de reproduction naturelle des poissons, en particulier des salmonidés (Everest *et al.*, 1987; Chapman, 1988). De plus, ces contaminants sont susceptibles d'être remis en suspension lors des crues, ou par des épisodes de relargage, au gré des variations chimiques des eaux de contact.

La présence accrue de HAP couplée à celle des métaux produirait des effets synergiques pour les organismes aquatiques (Ramade 2007). En effet, les expériences de Luckenback et al (2001) ont indiqué un potentiel embryotoxique ainsi qu'un taux de croissance corporel fortement impacté pour la truite *fario* dans un cours d'eau calcaire (cours d'eau allemand Kôrsch) présentant à la fois de fortes concentrations en HAP et métaux.

Néanmoins, il n'est pas à exclure que d'autres micropolluants, produits phytosanitaires, pharmaceutiques (Chiffre *et al.*, 2016) ou encore des sources difficilement connues à l'échelle « nano » peuvent s'ajouter à tous ces éléments précédemment étudiés.

... auxquels s'ajoutent les apports de nutriments.

À cela, s'ajoute les apports azotés (V.2 Analyses des paramètres globaux) qui ont bien souvent une influence négative sur les salmonidés. Notamment les nitrates, qui sont létaux pour les truites à partir de 15 mg/L et les œufs à 5 mg/l (Kincheloe *et al.*, 1979) mais également l'ammonium et l'ammoniac. En présence d'un pH supérieur à 7,5, un certain pourcentage de l'ammonium se trouve sous sa forme non ionisée, l'ammoniac NH₃. De plus, la dégradation microbienne de masse végétale induite par les colmatages algaux provoque potentiellement la production d'ammoniac (Sigg, Stumm & Behra, 1994). Cette molécule est un toxique nerveux (Krejci *et al.*, 2005) dont le seuil de toxicité augmente à mesure que le poisson grossit (Smith & Williams, 1974; Perrone & Meade, 1977; Russo, Thurston & Emerson, 1981).



Figure 31 Prolifération algale observée à Jeurre ©FD39 - 2016

Ce phénomène de production d'azote ammoniacal s'accroît lorsque la température augmente (Krejci et al., 2005), une information à ne pas négliger en raison de la qualité physique du cours d'eau.

Cette altération est accentuée par l'hydrogéomorphologie...

Sur le continuum longitudinal, les contraintes hydrogéomorphologiques influencent naturellement les variations de débit et de température de l'eau, des paramètres prédominants sur la capacité d'accueil et habitacionnelle de la truite. Cependant, le réchauffement des eaux ces dernières années (IV.1.2 Résultats et analyse de la température et du débit) cause de longues **durées de dépassement de la limite du préférendum thermique et du bon fonctionnement du métabolisme normal de la truite** (Crisp, 1989, Elliot 1976).

... et les aménagements liés à l'utilisation du cours d'eau...

À part l'influence naturelle du bassin versant, **l'extraction de graviers (plus de 100 kT/ans en moyenne) a amplement diminué la charge d'eau fraîche au fond du lit depuis les années soixante une cause non négligeable au réchauffement rapide des eaux en basse Bienne** (Gravost M & Sionneau J.M, 1988). De plus, l'imperméabilisation des routes, la topographie ainsi que le réseau karstique peuvent ramener de manière rapide des eaux chaudes provenant du ruissellement sur les réseaux hydrographiques du bassin versant en été.

À ces pressions antérieures, s'ajoute l'installation de barrages hydroélectriques, tels que celui d'Étable restant d'actualité. L'impact de ce type de barrage induit une forte modification de l'évolution naturelle du cours d'eau. En effet, le transport solide est interrompu, générant un pavage du lit et réduisant les surfaces favorables à la reproduction de la truite. Ce transfert stoppé a contribué, en partie, à l'incision du lit de la Bienne (plus de 2.5 m de profondeur) (PNRHJ, 2017). Si la charge sédimentaire peut être stoppée, celle du débit peut être largement augmentée provoquant un phénomène de piégeage et d'échouage d'individus et causant en grande partie l'exondation d'une partie des frayères lors d'éclusées.

En période d'étiage estival, le réchauffement des eaux, couplé à une diminution du débit altère la disponibilité de l'habitat et de la croissance et le développement même des truites (Lagarrigue *et al.*, 2001) **impactant de manière considérable le peuplement piscicole en basse Bienne.**

Au même titre que la pollution métallique, ces paramètres influencent les populations pisciaires de la fécondation jusqu'au stade juvénile (Réalis-Doyelle *et al.*, 2016). De faibles variations journalières de température dans les zones inter-gravier peuvent être suffisantes pour entraîner une augmentation du taux de mortalité des œufs enfouis (Acornley, 1999; Acornley & Sear, 1999; Sternecker, Denic & Geist, 2014). Dans le cas où le développement embryonnaire est achevé, un retardement de la maturité de manière générale (ovulation retardée, diminution de la qualité des gamètes mâles et femelles) peut être affecté (Lahnsteiner & Leitner, 2013).

De plus, le lien avec la température et le parasitisme est un fait prouvé (Schubiger et al., 2003 ; Fischnetz, 2004) et vraisemblablement constaté sur la Bienne (Pozet & Porcher, 2016). Or **l'augmentation de la température, couplée à une diminution de la capacité d'accueil du milieu, conduit de manière générale à un ralentissement du métabolisme de la truite et de sa croissance favorisant la déclaration d'agents pathogènes. L'accumulation de cuivre dans les truites en basse Bienne est un facteur supplémentaire stoppant la capacité immunitaire de la truite.**

... ayant causés une forte discontinuité écologique.

Enfin, le **cloisonnement** de la rivière par des barrages et sa **déconnexion** de plusieurs affluents pénalise la production piscicole (Figure 15).

La forte discontinuité empêche la migration de la faune piscicole lorsque la capacité d'accueil du milieu se dégrade. En effet, les truites ne peuvent plus remonter vers les eaux fraîches lors d'échauffements estivaux ni remonter vers les habitats propices à la reproduction. **L'exemple du barrage d'Étable, de Molinges ainsi que la déconnexion des affluents tels que le Lison (seuil naturel) en basse Bienne fait partie de ces pressions naturelles historiques accentuant la problématique du réchauffement des eaux et de la diminution du débit.**

De plus, l'impact de ces ouvrages souligne d'autres problèmes pour garantir la pérennité des espèces piscicoles et la diversité du peuplement. En effet, **les migrations des populations devenant unidirectionnelles**, sur la Bienne et ses affluents, **ont induit la disparition de l'Ombre en haute Bienne et pourrait en partie expliquer la diminution du taux de recrutement du peuplement piscicole de manière générale.** L'absence de recolonisation du chabot sur le Bief de la Chaille confirme cette discontinuité.

La déconnexion longitudinale de la Bienne provoque un réel problème de recolonisation et du développement de la truite en matière d'habitat. L'échange inter-populationnel unidirectionnel pourrait présenter, à une échelle plus fine, une diminution de la variabilité génétique des individus se rapprochant au fur et à mesure du temps à une dominance de l'homozygotie où la circulation des individus est indispensable afin d'éviter l'isolement génétique des populations (J.P Porcher F Travade 1992).

Les fortes mortalités piscicoles observées ces dernières années ainsi que la présence d'infections mycosiques chez la truite ne sont donc qu'une résultante multifactorielle d'une pollution métallique d'origine industrielle, et une capacité d'accueil du cours d'eau altérée par des causes actuelles (changement climatique) et antérieures (perturbation de la nappe, discontinuité). La Bienne devient alors un piège pour la pérennité de ces espèces piscicole où le ralentissement du métabolisme, la diminution du taux de recrutement de plus en plus marqué ainsi que l'immunodéficiences deviennent une fatalité.

Conclusion et perspectives :

Ces différentes études menées sur le bassin versant de la Bienne montrent aujourd'hui, une fois de plus, que l'altération de la capacité biogénique est définie par un problème multifactoriel.

La pollution métallique antérieure et actuelle dans les différents compartiments observés (eaux, sédiments, bryophytes) est un fait réel. La corrélation émise par les fortes teneurs en antimoine, plomb, cuivre dans les sédiments ou encore la pollution ponctuelle de zinc émise dans les eaux confirme la provenance d'une origine industrielle de type lunetterie.

- C'est pourquoi aujourd'hui il est important de **diminuer l'impact industriel sur cette pollution en vérifiant, assurant et contrôlant la mise en conformité des installations classées.**

Néanmoins, la présence métallique dans les décharges sauvages semblerait aussi être une source de pollution antérieure où le métal accumulé reste facilement mobilisable par lixiviation.

- **Des diagnostics poussés sur l'influence des décharges sauvages du bassin versant, ainsi que l'imperméabilisation de celles-ci serait nécessaire à réaliser sur le long terme en raison des 18 décharges déjà recensées présentant des ETMs.**

De plus, la présence de colmatages algaux par le passé et actuelle serait la résultante d'une accumulation de matières azotées vraisemblablement d'origine domestique. Le constat avéré d'un faible taux de collecte dans la majorité des communes est un problème majeur et pourrait expliquer la présence d'azote ammoniacale à l'aval de Morez et de Saint-Claude.

- **L'amélioration du taux de collecte par des suivis de raccordements des réseaux d'assainissement est primordiale pour diminuer la charge organique et toxique déversée librement sur le bassin versant.**

Les ouvrages liés à l'usage de l'eau font partie des pressions ayant modifié la qualité habitationnelle du cours d'eau. Le réchauffement des eaux marqué en basse Bienne pourrait s'expliquer en partie par l'addition de la présence de débits artificialisés, d'une incision du lit ainsi que de l'extraction de matériaux connectés à la nappe alluviale du lit mineur.

- **La mise en place de zone diversifiée en complément d'une réduction du chenal pourrait dans une faible mesure, améliorer la qualité habitationnelle et favoriser la présence de zones plus fraîches en été.**

Les différents sites et conditions nécessaires au développement d'une population sont rarement réunis sur le réseau hydrographique du bassin versant de la Bienne notamment par la présence d'ouvrages anthropiques que de seuils naturels.

- C'est pourquoi **le rétablissement de la libre circulation des poissons apparaît comme une mesure indispensable pour la restauration de peuplements piscicoles équilibrés.**

Les objectifs et actions d'améliorations de la capacité biogénique de la Bienne sont hiérarchisés dans le Tableau 8.

Tableau 8 Propositions de gestion

	Objectifs	Amélioration	Propositions de gestion	Localisation ciblée	Durée
I	Diminuer l'impact industriel sur la pollution métallique présente sur la Bienne	Qualité chimique (eaux, sédiments, bryophytes)	Vérifier et assurer la norme en conformité des industries	Secteur industriel de la haute Bienne, de type métallurgique et lunettière	Court terme
			Suivre et contrôler la norme en conformité des industries	Secteur industriel de la haute Bienne, de type métallurgique et lunettière	Moyen terme
			Sensibiliser les acteurs sur les conséquences qu'elles peuvent porter au milieu	Secteur industriel de la haute Bienne, de type métallurgique et lunettière	Long terme
II	Diminuer la charge organique en améliorant le taux de collecte	Qualité chimique (DCO, DBO, matières azotées et phosphorées)	Suivi des raccordements et amélioration des réseaux d'assainissement	Commune prioritaire: <i>Saint-Claude, Avignon les Saint-Claude, Villard Saint -Sauveur, Hauts de Bienne, Morbier, Bellefontaine</i>	Court terme
				Commune secondaire: <i>Ravilloles, Coteaux du Iizon, Lavans les St-Claude, Pratz, Longchaumois, les Rousses, Lamoura, Septmoncel, Chassal, Vaux les St-Claude</i>	Moyen terme
				Autres commune du bassin versant	Long terme
III	Diminuer l'impact du réchauffement des eaux en basse Bienne	Capacité habitationnelle, Débit	Mise en place de zone diversifier en complément d'une réduction du chenal	Basse Bienne	Court terme
	Assurer la continuité écologique de la truite	Connectivité	Rétablir la libre circulation (Passe à poisson, arasement, dérasement)	Le long de la Bienne	Court terme
	Compenser les altérations de l'hydrodynamique fluviale du barrage d'Étables impactant la qualité de l'habitat pour la truite	Connectivité	Rétablir la libre circulation (Passe à poisson, arasement, dérasement) des seuils anthropiques et naturels	Affluents de la Bienne	Court terme
IV	Stopper le potentiel transfert de lixiviat de métaux présents dans les décharges sauvages	Qualité chimique (eaux, sédiments, bryophytes)	Suivre la décharge au niveau l'hydrogéologie, de la piézométrie, du ruissellement . Imperméabiliser et/ou extraire les lixiviats et/ou matériaux.	Les 18 décharges recensées où la présence de métaux est avérée (ordre de priorité = degré de connexion au cours d'eau)	Moyen terme
				Les 31 décharges recensées où la présence de métaux (ordre de priorité = degré de connexion au cours d'eau)	Long terme

Il est indispensable d'agir conjointement sur l'ensemble des facteurs limitants la capacité biogénique de la Bienne et de ses affluents, sans quoi, les efforts consentis pour réduire une source de perturbation risquent de ne pas se traduire par une amélioration significative de la capacité biogénique.

Un autre point important à améliorer, souvent négligé lors des actions de gestion et de restauration. La communication et la sensibilisation des usagers sur des problématiques générales comme un bien commun, « l'eau » mais aussi sur la perte d'un patrimoine naturel et culturel. Cette sensibilisation pourrait permettre de diminuer les pollutions « ponctuellement volontaires » dans ce cours d'eau aujourd'hui faiblement résilient à toutes ces perturbations exogènes.

Bibliographie

- Acornley R.M., 1999. Water temperatures within spawning beds in two chalk streams and implications for salmonid egg development. *Hydrol. Process.*, **13** (3): 439-446, doi: 10.1002/(SICI)1099-1085(19990228)13:3<439::AID-HYP748>3.0.CO;2-E
- Acornley R.M., Sear D.A., 1999. Sediment transport and siltation of brown trout (*Salmo trutta* L.) spawning gravels in chalk streams. *Hydrol. Process.*, **13** (3): 447-458, doi: 10.1002/(SICI)1099-1085(19990228)13:3<447::AID-HYP749>3.0.CO;2-G
- Adam, 2008. Impact des produits de traitement du bois sur les amphipodes *Gammarus pulex* (L.) et *Gammarus fossarum* (K.): approches chimique, hydro-écologique et écotoxicologique. Université de Franche-Comté, Besançon
- ADPHJ A. de développement et perspective du H.J., 2000. *Opération pilote-Rejets industriels Bassin de la Bienne-Phase III, Suivi I // Synthèse globale de l'étude*. Comité de bassin d'emploi du haut Jura, Agence de l'eau, CR39, SIVOM
- Agence de l'eau Seine-Normandie, Aquascop, 2008. Guide pratique des substances toxiques dans les eaux douces et littorales du Bassin Seine-Normandie. Agence de l'eau Seine-Normandie, Nanterre,
- Aldrin J.F., 1987. Pollution chimique et sensibilisation des poissons aux agents pathogènes. *Ichthyophysiological Acta*, **11**:164–186
- Andersen C.B., Lewis G.P., Hart M., Pugh J., 2014. The Impact of Wastewater Treatment Effluent on the Biogeochemistry of the Enoree River, South Carolina, During Drought Conditions. *Water, Air, & Soil Pollution*, **225** (5): , doi: 10.1007/s11270-014-1955-4
- Andreo B., Goldscheider N., Vadillo I., Vías J.M., Neukum C., Sinreich M., Jiménez P., Brechenmacher J., Carrasco F., Hötzl H., others, 2006. Karst groundwater protection: First application of a Pan-European Approach to vulnerability, hazard and risk mapping in the Sierra de Líbar (Southern Spain). *Science of the Total Environment*, **357** (1): 54–73
- AQUAREF, BRGM, Cemagred, IFREMÉR, INERIS, LNE, 2011. Guide des prescriptions techniques pour la surveillance physicochimiques des milieux aquatiques - Opérations d'échantillonnage en cours d'eau (eaux et sédiments) en milieu continental

- Archaimbault V., Rosebery J.T., Morin S., 2010. Traits biologiques et écologiques, intérêt et perspectives pour la bio-indication des pollutions toxiques. *Sciences Eaux and Territoires: la Revue du IRSTEA* (1): p-46
- Assessment M.E., 2005. Millennium ecosystem assessment. *Ecosystems and Human Well-Being: Biodiversity Synthesis, Published by World Resources Institute, Washington, DC*
- Audoin L., 1991. Rôle de l'azote et du phosphore dans la pollution animale. *Revue Scientifique et Technique Off. int. Épiz*, **10** (3): 629-654
- Baldigo B.P., 2001. Copper avoidance and mortality of juvenile brown trout (*salmo trutta*) in tests with copper-sulfate-treated water from West Branch Reservoir, Putnam County, New York / I. Troy, N.Y. ;
- Baldwin D.H., Sandahl J.F., Labenia J.S., Scholz N.L., 2003. Sublethal effects of copper on coho salmon: impacts on nonoverlapping receptor pathways in the peripheral olfactory nervous system. *Environmental Toxicology and Chemistry*, **22** (10): 2266-2274
- Beauger A., Lair N., Reyes-Marchant P., Peiry J.-L., 2006. The distribution of macroinvertebrate assemblages in a reach of the River Allier (France), in relation to riverbed characteristics. *Hydrobiologia*, **571** (1): 63-76
- Bilotta G.S., Brazier R.E., 2008. Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water research*, **42** (12): 2849-2861
- Boucheseiche C., Cremille E., Pelte P., Pojer K., 2002. Guide technique « Quand les toxiques se jettent à l'eau ». Agence de l'Eau Artois Picardie avec la collaboration de la DRIRE Nord-Pas de Calais, de la DRIRE Picardie et de l'association ACORE. 122 p.
- Bravard J.-P., 1998. *Étude géomorphologique de la basse Bienne - 1er volet*. Laboratoire Environnement Ville Société du CNRS
- Bruckert S., Gaiffe M., Duquet B., Tavant Y., Tavant H., 1986. *Rôle du flux de calcium sur la stabilisation de la matière organique des sols*. Besançon
- Bureau d'étude Eaux Continentales, 2004. *Bassin de la Bienne - Pollution métallique - Recherche de métaux lourds dans les bryophytes de la Bienne et de ses affluents - Evolution 1995 - 2003*. Parc Naturel Régional du Haut-Jura
- Cabinet Gay Environnement, 2000. Indice Global Biologique Normalisé (IBGN) NTF90-350 _ Cahier Technique
- Cabinet Reile, 2017. *Demande d'autorisation de vidange de la retenue du barrage d'Étables en vu de la réalisation de travaux*. Région Bourgogne - Franche-Comté Département du Jura
- Cantonati M., Gerecke R., Bertuzzi E., 2006. Springs of the Alps—sensitive ecosystems to environmental change: from biodiversity assessments to long-term studies. *Hydrobiologia*, **562** (1): 59-96
- Cayrou J., Compin A., Giani N., Céréghino R., 2000. Associations spécifiques chez les macroinvertébrés benthiques et leur utilisation pour la typologie des cours d'eau. Cas du réseau hydrographique Adour-Garonne (France). *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology*, **36** (3): 189-202, doi: 10.1051/limn/2000017

- Chapman D.W., 1988. Critical review of variables used to define effects of fines in redds of large salmonids. *Transactions of the American Fisheries Society*, **117** (1): 1–21
- Chiffre A., 2016. Évaluation de la variabilité temporelle des impacts de rejets de stations d'épuration dans les rivières calcaires. Thèse de 3ème cycle, Université de Franche-Comté, Besançon, 214 p.
- Chiffre A., Degiorgi F., Buleté A., Spinner L., Badot P.-M., 2016. Occurrence of pharmaceuticals in WWTP effluents and their impact in a karstic rural catchment of Eastern France. *Environmental Science and Pollution Research*, doi: 10.1007/s11356-016-7751-5
- Chou H.-Y., Peng T.-Y., Chang S.-J., Hsu Y.-L., Wu J.-L., 1999. Effect of heavy metal stressors and salinity shock on the susceptibility of grouper (*Epinephelus* sp.) to infectious pancreatic necrosis virus. *Virus Research*, **63** (1–2): 121-129, doi: 10.1016/S0168-1702(99)00065-9
- Colin T., 1937. Les industries de Saint-Claude. *Les Études rhodaniennes*, **13** (3): 189-206, doi: 10.3406/geoca.1937.6529
- Commission Européenne, 2000. DIRECTIVE 2000/60/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau
- Conseil de l'Union Européenne, 2013. DIRECTIVE 2013/39/UE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 12 août 2013 modifiant les directives 2000/60/CE et 2008/105/CE en ce qui concerne les substances prioritaires pour la politique dans le domaine de l'eau (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE)
- Cornet J., Putallaz J., 1979. *Examen des ressources hydrauliques de la région de Morez - Saint-Claude pour l'alimentation en eau potable des collectivités* (No. 79SGN505FRC). BRGM, Besançon
- Coulon J.B., Meynard J.M., 2011. Vers une agriculture à hautes performances environnementales: Etat des lieux des voies d'amélioration technique proposées par l'INRA. *Innovations Agronomiques*, **121**–15
- CRFC C.R. de F.-C., 1991. *Bassin de l'Ain et de la Bienne - Données 1989*. SRAE de Franche-Comté
- Crisp D.T., 1989. Some impacts of human activities on trout, *Salmo trutta*, populations. *Freshwater Biology*, **21** (1): 21–33
- DEGIORGI F., DÉCOURCIÈRE H., GOGUILLY M., PERIAT G., VERGON J.-P., 2009. Sensibilité à long terme des macroinvertébrés à l'artificialisation des débits: impacts d'une chaîne de 3 installations hydro-électriques sur les peuplements benthiques d'une rivière à truite et à ombre
- Degiorgi F., Raymond J.-C., 1996. *Étude des peuplements piscicoles de la Bienne* (No. 4-07/96). CSP, Bron
- Degiorgi F., Raymond J.C., 2000. Utilisation de l'ichtyofaune pour la détermination de la qualité globale des écosystèmes d'eau courante. *Guide technique CSP DR de Lyon, Agence de l'Eau RMC*, **196**
- Djeral H., Rigail M., Boyer L., 2009. Les effluents industriels et leur traitement. *Management & Avenir* (20): 275-288

- Drummond R.A., Spoor W.A., Olson G.F., 1973. Some short-term indicators of sublethal effects of copper on brook trout, *Salvelinus fontinalis*. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, **30** (5): 698–701
- Durrant C.J., Stevens J.R., Hogstrand C., Bury N.R., 2011. The effect of metal pollution on the population genetic structure of brown trout (*Salmo trutta* L.) residing in the River Hayle, Cornwall, UK. *Environmental Pollution*, **159** (12): 3595-3603, doi: 10.1016/j.envpol.2011.08.005
- Eaux Continentales, 2014. *Implantation d'une retenue sur le site des Tuffes - Qualité écologique : suivi 2014 du Bief de la Chaille, un an après l'état initial*. BE Eaux Continentales, Chay
- El Bettah M., 2013. *Mortalité piscicole sur la Bienne - Résultats des pêches d'inventaire réalisées le 20 septembre 2012 - Synthèse des données existantes*. Fédération du Jura pour la pêche et la protection du milieu aquatique, Lons-le-Saunier
- Élie P., Girard P., 2014a. L'Etat de santé des poissons sauvages: les Codes pathologie, un outil d'évaluation. Association Santé Poissons sauvages,
- Élie P., Girard P., 2014b. L'Etat de santé des poissons sauvages: les Codes pathologie, un outil d'évaluation. Association Santé Poissons sauvages,
- Elliott J.M., 1976. The energetics of feeding, metabolism and growth of brown trout (*Salmo trutta* L.) in relation to body weight, water temperature and ration size. *The Journal of Animal Ecology* 923–948
- Everest F.H., Beschta R., Scrivener J., Koski K., J.R S., Cederholm J., 1987. Streamside Management Forestry and Fishery Interactions. Institute of Forest Resources, Washington. Salo E.O. and Cundy T.W. (eds), 141p p.
- Farag A.M., Stansbury M.A., Bergman H.L., Hogstrand C., MacConnell E., 1995. The physiological impairment of free-ranging brown trout exposed to metals in the Clark Fork River, Montana. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **52** (9): 2038-2050, doi: 10.1139/f95-795
- FCPJ (Fédération cantonale des pêcheurs jurassiens), Téléos., Lièvre A, Kogler J, Voirol Y, Degiorgi F, Decourcière H, Vergon JP, Périat G, 2004. Etude des causes de diminution des populations de poissons dans les cours d'eau jurassiens -rapport final-. 97 p.
- FDEJ (Fédération de défense de l'environnement du Jura), 1993. *Inventaire des décharges sauvages du Jura*
- Firmignac F., Lascaux J.M., Vandewalle F., 2008. Analyse des peuplements de macroinvertébrés benthiques sur les stations à Moules perlières (*Margaritifera margaritifera*) du Cousin. Ruisseaux de têtes de bassins et faune patrimoniale associée. EcoGea, Juillet,
- Fischnetz, 2004. « Réseau suisse poissons en diminution ». *Sur la trace du déclin piscicole*. (Rapport fina, Bern Dübendorf: EAWAG/OFEFP)
- Gerdeaux D., 1987. Revue des méthodes d'estimation de l'effectif d'une population par pêches successives avec retrait. Programme d'estimation d'effectif par la méthode de Carle et Sturb. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* (304): 13–21
- Gerhardt A., 1995. Monitoring behavioural responses to metals in *Gammarus pulex* (L) (Crustacea) with impedance conversion. 15 p.

- Gravost M, Sionneau J.M, 1988. *Intéactions entre les carrières et les eaux souterraines et superficielles*. Bureau de recherches géologiques et minières
- Gudefin H., 1978. *Recensement des zones d'accumulation de déchets - Régions Rhône-Alpes - Bourgogne - Franche-Comté* (No. 78-SGN-427-JAL). Agence Nationale pour la récupération et l'élimination de déchets - BRGM, Neuilly-sur-Seine
- Guo W., He M., Yang Z., Lin C., Quan X., Wang H., 2007. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in water, suspended particulate matter and sediment from Daliao River watershed, China. *Chemosphere*, **68** (1): 93–104
- Hansen J.A., Marr J.C., Lipton J., Cacela D., Bergman H.L., 1999. Differences in neurobehavioral responses of chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) exposed to copper and cobalt: behavioral avoidance. *Environmental Toxicology and Chemistry*, **18** (9): 1972–1978
- Hecht S.A., Baldwin D.H., Mebane C.A., Hawkes T., Gross S.J., Scholz N.L., 2007. *An overview of sensory effects on juvenile salmonids exposed to dissolved copper: applying a benchmark concentration approach to evaluate sublethal neurobehavioral toxicity*. Citeseer
- Ide A., Hei B., Chaussee D., 2002. *Traitement des effluents d'abattoir - Les différents procédés d'épuration*, ISIM Université Montpellier II Sciences et techniques
- ISSeP Institut Scientifique de Service Publique, 2014. P-20V1 – Méthode pour le prélèvements de sédiment dans les cours d'eau non navigables
- Jaensson A., Olsén K.H. akan, 2010. Effects of copper on olfactory-mediated endocrine responses and reproductive behaviour in mature male brown trout *Salmo trutta* parr to conspecific females. *Journal of Fish Biology*, **76** (4): 800–817
- Jamagne M., 2011. Grands paysages pédologiques de France. Éditions Quae,
- Keith P., Persat H., Feunteun É., Allardi J., 2011. Les poissons d'eau douce de France. Biotope,
- Kincheloe J.W., Wedemeyer G.A., Koch D.L., 1979. Tolerance of developing salmonid eggs and fry to nitrate exposure. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, **23** (1): 575–578
- Krejci V., Frutiger A., Kreikenbaum S., Rossi L., 2005. Impact des rejets pluviaux urbains sur les milieux récepteurs. Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz EAWAG,
- Lagarrigue T., Baran P., Lascaux J.M., Belaud A., 2001. Analyse de la variabilité de la croissance d'une population de truite commune (*Salmo trutta* L.) dans un torrent pyrénéen. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* (357-360): 573–594
- Lahnsteiner F., Leitner S., 2013. Effect of Temperature on Gametogenesis and Gamete Quality in Brown Trout, *Salmo trutta*: EFFECT OF TEMPERATURE IN BROWN TROUT. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological Genetics and Physiology*, **319** (3): 138-148, doi: 10.1002/jez.1779
- Lahnsteiner F., Mansour N., Berger B., 2004. The effect of inorganic and organic pollutants on sperm motility of some freshwater teleosts. *Journal of Fish Biology*, **65** (5): 1283–1297

- Lainé M., Morin S., Tison-Rosebery J., 2014. A Multicompartment Approach - Diatoms, Macrophytes, Benthic Macroinvertebrates and Fish - To Assess the Impact of Toxic Industrial Releases on a Small French River. *PLoS ONE*, **9** (7): e102358, doi: 10.1371/journal.pone.0102358
- Laperche V, Mossman J.R, 2004. *Fond géochimique naturel ou bruit de fond, réflexions sur les applications possible à la gestion des sites et sols pollués en France*. BRGM
- Laurent F., Ruelland D., 2004. Pollutions agricoles: enjeux d'une identification des risques à l'échelle de bassins versants. *ESO*, **2251-60**
- Legube B., 2015. Production d'eau potable: Filières et procédés de traitement. Dunod, 432 p.
- Lemière B, Seguin JJ, Le Guern C, Guyonnet D, Barranger Ph, collaboration avec D. Darlendrail, Conil P., 2001. *Guide sur le comportement des polluants dans les sols et les nappes-Application dans un contexte d'Evaluation Détaillé des Risques pour les ressources en eau. Opération Service Public du BRGM 99-F-194 et de la convention MATE/DPPR13/1999, étude 3-BRGM/RP-50662-FR.Ministère de l'aménagement de l'environnement et du territoire*.
- Le Penne R., 1997. Délimitation du bassin versant karstique de la Bienne (Haut-Jura, France) par la géologie et les essais de traçage. In: 6e Colloque d'Hydrogéologie en Pays Calcaire et en Milieu Fissuré. Besançon, 39-42
- Lévi Y., 2006. Inquiétudes sur la présence d'antibiotiques et de bactéries antibiorésistantes dans les eaux. *Environnement, Risques & Santé*, **5** (4): 261-265
- Luckenbach T., Ferling H., Gernhöfer M., Köhler H.-R., Negele R.-D., Pfefferle E., Tribskorn R., 2003. Developmental and subcellular effects of chronic exposure to sub-lethal concentrations of ammonia, PAH and PCP mixtures in brown trout (*Salmo trutta f. fario* L.) early life stages. *Aquatic Toxicology*, **65** (1): 39-54, doi: 10.1016/S0166-445X(03)00107-3
- Luckenbach T., Tribskorn R., Müller E., Oberemm A., 2001. Toxicity of waters from two streams to early life stages of brown trout (*Salmo trutta f. fario* L.), tested under semi-field conditions. *Chemosphere*, **45** (4-5): 571-579, doi: 10.1016/S0045-6535(00)00595-6
- Magaud H., Migeon B., Morfin P., Garric J., Vindimian E., 1997. Modelling fish mortality due to urban storm run-off: interacting effects of hypoxia and un-ionized ammonia. *Water Research*, **31** (2): 211-218
- Margoum C., Guillemain C., Biaudet H., Lepot B., 2011. Stabilité des substances organiques dans les échantillons d'eau entre le prélèvement et la prise en charge analytique. *Etat de l'art et exemples d'études. Cemagref, Ineris (in French)*
- Marr J.C.A., Lipton J., Cacela D., Hansen J.A., Bergman H.L., Meyer J.S., Hogstrand C., 1996. Relationship between copper exposure duration, tissue copper concentration, and rainbow trout growth. *Aquatic Toxicology*, **36** (1): 17-30, doi: 10.1016/S0166-445X(96)00801-6
- MEDD & Agences de l'eau, 2003. Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau (SEQ-Eau)_Grilles d'évaluation version 2

- MEEM M. de l'environnement de l'écologie et de la mer, 2016. Guide technique Relatif à l'évaluation de l'état des eaux de surface continentales (cours d'eau, canaux, plans d'eau)
- Meyer J.S., Adams W.J., 2010. Relationship between biotic ligand model-based water quality criteria and avoidance and olfactory responses to copper by fish. *Environmental Toxicology and Chemistry*, **29** (9): 2096–2103
- Moore J.N., Luoma S.N., Peters D., 1991. Downstream effects of mine effluent on an intermontane riparian system. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **48** (2): 222–232
- Morillas N., Degiorgi F., 1998. *Projets d'amélioration de l'habitat piscicole fondés sur l'étude de la qualité physique de la basse-Bienne*. CSP - FDPMA39, Lons-le-Saunier
- Nisbet M., Verneaux J., 1970. Composantes chimiques des eaux courantes. Discussion et proposition de classes en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques. *Annales de Limnologie*, **6** (2): 161-190, doi: 10.1051/limn/1970015
- Olsvik P.A., Gundersen P., Andersen R.A., Zachariassen K.E., 2000. Metal accumulation and metallothionein in two populations of brown trout, *Salmo trutta*, exposed to different natural water environments during a run-off episode. *Aquatic Toxicology*, **50** (4): 301-316, doi: 10.1016/S0166-445X(00)00094-1
- Paul M.J., Meyer J.L., 2001. Streams in the Urban Landscape. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **32** (1): 333-365, doi: 10.1146/annurev.ecolsys.32.081501.114040
- Perrone S.J., Meade T.L., 1977. Protective effect of chloride on nitrite toxicity to coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Journal of the Fisheries Board of Canada*, **34** (4): 486–492
- PNRHJ, 2017. *Etude de la réhabilitation de deux anciennes carrières en bord de Bienne à Jeurre et Lavancia-Epercy (Jura)_Phases 1 et 2*. AERMC
- Pozet F., Porcher J.-M., 2016. *Action de l'INERIS et du LDA39 sur la Bienne - Évaluation des effets des stress environnementaux sur la physiologie et bilan de l'étude sanitaire des poissons autochtones de la rivière de la Bienne*. LDA39 - INERIS
- Qi W., Liu H., Qu J., Hu C., Lan H., Berg M., Ren H., Xu W., 2011. Polycyclic aromatic hydrocarbons in effluents from wastewater treatment plants and receiving streams in Tianjin, China. *Environmental monitoring and assessment*, **177** (1): 467–480
- Ramade F., 2007. Introduction à l'écotoxicologie Fondements et applications. Editions TEC et DOC, Lavoisier. 618 p.
- Réalís-Doyelle E., Pasquet A., De Charleroy D., Fontaine P., Teletchea F., 2016. Strong Effects of Temperature on the Early Life Stages of a Cold Stenothermal Fish Species, Brown Trout (*Salmo trutta* L.). *PLOS ONE*, **11** (5): e0155487, doi: 10.1371/journal.pone.0155487
- Reding J.-P., 2017. Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères de milieu aquatiques atypiques du Massif du Jura, éléments de gestion et conservation et bibliographie. 21-210 p.
- Rodriguez S., 1998. *Étude hydrobiologique de la Bienne, du Tacon et du Longvirv - Données 1996*. Parc Naturel Régional du Haut-Jura

- Rosgen D.L., 1996. *Applied fluvial geomorphology. (second edition)? Pagosa Springs, Colorado, Wildland Hydrology*
- Rossi L., Chèvre N., Fankhauser R., Margot J., Curdy R., Babut M., Barry D.A., 2013. Sediment contamination assessment in urban areas based on total suspended solids. *Water research*, **47** (1): 339–350
- Rossi L., Hari R., 2004. Rejets urbains de temps de pluie et température des cours d'eau. *GWA Gas, Wasser, Abwasser*, **11**795–805
- Russo R.C., Thurston R.V., Emerson K., 1981. Acute toxicity of nitrite to rainbow trout (*Salmo gairdneri*): effects of pH, nitrite species, and anion species. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **38** (4): 387–393
- Sandahl J.F., Baldwin D.H., Jenkins J.J., Scholz N.L., 2004. Odor-evoked field potentials as indicators of sublethal neurotoxicity in juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) exposed to copper, chlorpyrifos, or esfenvalerate. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **61** (3): 404–413
- Sandahl J.F., Baldwin D.H., Jenkins J.J., Scholz N.L., 2007. A sensory system at the interface between urban stormwater runoff and salmon survival. *Environmental Science & Technology*, **41** (8): 2998–3004
- Schiavone S., Coquery M., 2011. Guide d'échantillonnage et de pré-traitement des sédiments en milieu continental pour les analyses physico-chimiques de la DCE. *Cemagref, Lyon*
- Schubiger C., Segner H., Wahli T., 2003. PKD: Die Proliferative Nierenerkrankung bei Fischen. *Schweizer Archiv für Tierheilkunde*, **145** (10): 471–481
- Sigg L., Stumm W., Behra P., 1994. Chimie des milieux aquatiques: chimie des eaux naturelles et des interfaces dans l'environnement. Masson,
- Sloman K.A., Baker D.W., Wood C.M., McDonald G., 2002. Social interactions affect physiological consequences of sublethal copper exposure in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, **21** (6): 1255–1263
- Smith C.E., Williams W.G., 1974. Experimental nitrite toxicity in rainbow trout and chinook salmon. *Transactions of the American Fisheries Society*, **103** (2): 389–390
- Smith V.H., Tilman G.D., Nekola J.C., 1999. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental pollution*, **100** (1): 179–196
- Sprague J.B., Ramsay B.A., 1965. Lethal levels of mixed copper–zinc solutions for juvenile salmon. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, **22** (2): 425–432
- Sternecker K., Denic M., Geist J., 2014. Timing matters: species-specific interactions between spawning time, substrate quality, and recruitment success in three salmonid species. *Ecology and Evolution*, **4** (13): : ePMID: 250770242749, doi: 10.1002/ece3.1128
- Tachet H., Richoux P., Bournaud M., Usseglio-Polatera P., 2010. Invertébrés d'eau douce: systématique, biologie, écologie. CNRS éditions Paris,
- Tavant Y., Tavant H., Bruckert S., 1995. *Azote minéral des sols et relargage des nitrates dans le bassin du Haut-Doubs*. Ann. sci. univ. F.-C., 5, 3,
- Teleos, 2002. Protocole de l'analyse standard des mosaïques d'habitats par l'Indice d'Attractivité Morphodynamique (IAM)

- Tourreau G., Morillas N., Raymond J.-C., Durand G., 2002. *Contrat de Rivière Bienne - Bilan du fonctionnement des ouvrages de franchissement piscicole implantés sur la Bienne, l'Orbe et le Tacon*. CSP - FDPMA39, Lons-le-Saunier
- Van Coillie R., Parent L., 2011. *Écotoxicologie générale et appliquée*. Télé-université, Université de Québec à Montréal,
- Vandenberg J.A., Ryan M.C., Nuell D.D., Chu A., 2005. Field evaluation of mixing length and attenuation of nutrients and fecal coliform in a wastewater effluent plume. *Environmental Monitoring and Assessment*, **107** (1): 45–57
- Verneaux J., 1973. Cours d'eau de Franche-Comte (massif du Jura). *Essai de biotypologie. Mémoire de thèse d'Etat Sciences Naturelles*. Besançon, Université de Besançon, **200**
- Verneaux J., 1977. Biotypologie de l'écosystème" eau courante. *CR Acad. Sci. Paris*, **28477–80**
- Verneaux J., 1981. Les poissons et la qualité des cours d'eau. In: *Annales Scientifiques de l'université de Franche-Comté*. 33–41
- Verneaux J., 1982. Expression biologique, qualitative et pratique de l'aptitude des cours d'eau au développement de la faune benthique. Un coefficient d'aptitude biogène: le Cb2. *Trav. Cent. Hydrobiol. Univ. Besançon*
- Vertes F., Benoit M., Dorioz J.M., 2010. Couverts herbacés pérennes et enjeux environnementaux (en particulier eutrophisation): atouts et limites. *Fourrages*, **20283–94**
- Vignet C., 2014. Altération de la physiologie des poissons exposés à des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP): comportement et reproduction. Université de La Rochelle
- Villeneuve B., Souchon Y., Usseglio-Polatera P., Ferréol M., Valette L., 2015. Can we predict biological condition of stream ecosystems? A multi-stressors approach linking three biological indices to physico-chemistry, hydromorphology and land use. *Ecological Indicators*, **4888–98**
- Vivier P., 1970. Influence de la pollution organique sur la faune aquatique des eaux courantes. *Bulletin Français de Pisciculture* (236): 89–104
- Warila J., Batterman S., Passino-Reader D.R., 2001. A probabilistic model for silver bioaccumulation in aquatic systems and assessment of human health risks. *Environmental Toxicology and Chemistry*, **20** (2): 432-441, doi: 10.1002/etc.5620200226
- Waringer J., Graf W., 2011. *Atlas of Central European Trichoptera Larvae*. Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben,
- Waters T.F., 1988. Fish production-benthos production relationships in trout streams. *Poliskie Archiwum Hydrobiologii/Polish Archives of Hydrobiology*, **35** (3): 545–561
- Wetzel R.G., 2001. *Limnology: lake and river ecosystems*. Gulf Professional Publishing,
- Woodward D.F., Farag A.M., Bergman H.L., DeLonay A.J., Little E.E., Smiths C.E., Barrows F.T., 1995. Metals-contaminated benthic invertebrates in the Clark Fork River Montana: Effects on age-0 brown trout and rainbow trout. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **52** (9): 1994–2004

Xuereb B., 2009. Développement de marqueurs de neurotoxicité et de perturbations endocrines chez l'amphipode d'eau douce *Gammarus fossarum*. Metz

Sitographie

Banquehydro.fr :	http://hydro.eaufrance.fr/
Basias.fr :	http://www.georisques.gouv.fr/dossiers/basias/donnees#/
BNPE.fr :	http://www.bnpe.eaufrance.fr/
CorineLandCover.fr :	http://www.statistiques.developpementdurable.gouv.fr/donnees-ligne/li/1825.html
Ineris.fr :	http://www.ineris.fr/
Infoclimat.fr :	http://www.infoclimat.fr/
Insee.fr :	https://www.insee.fr/fr/accueil
Installations.fr :	http://www.installationsclassees.developpementdurable.gouv.fr/rechercheICForm.php
Legifrance.fr :	https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000506264
Leprogres.fr	http://www.leprogres.fr/jura/2016/08/06/
Meteofrance.fr :	https://donneespubliques.meteofrance.fr/
Societechimique.fr :	http://www.societechimiquedefrance.fr
Somethingoptic.fr :	https://somethingaboutoptics
Suezwater.fr :	https://www.suezwaterhandbook.fr/



AGNELOT Kévin
BOURLIER Alexis



FÉDÉRATION DÉPARTEMENTALE *Master 2 Qualité des Eaux, des Sols et Traitements*
PÊCHE *Option Systèmes Aquatiques et Bassins Versants*
Promotion 2016-2017

Recherche des causes, antérieures et actuelles,
entraînant l'altération de la capacité biogénique de la
Bienne (39)



ANNEXES

TABLE DES ANNEXES

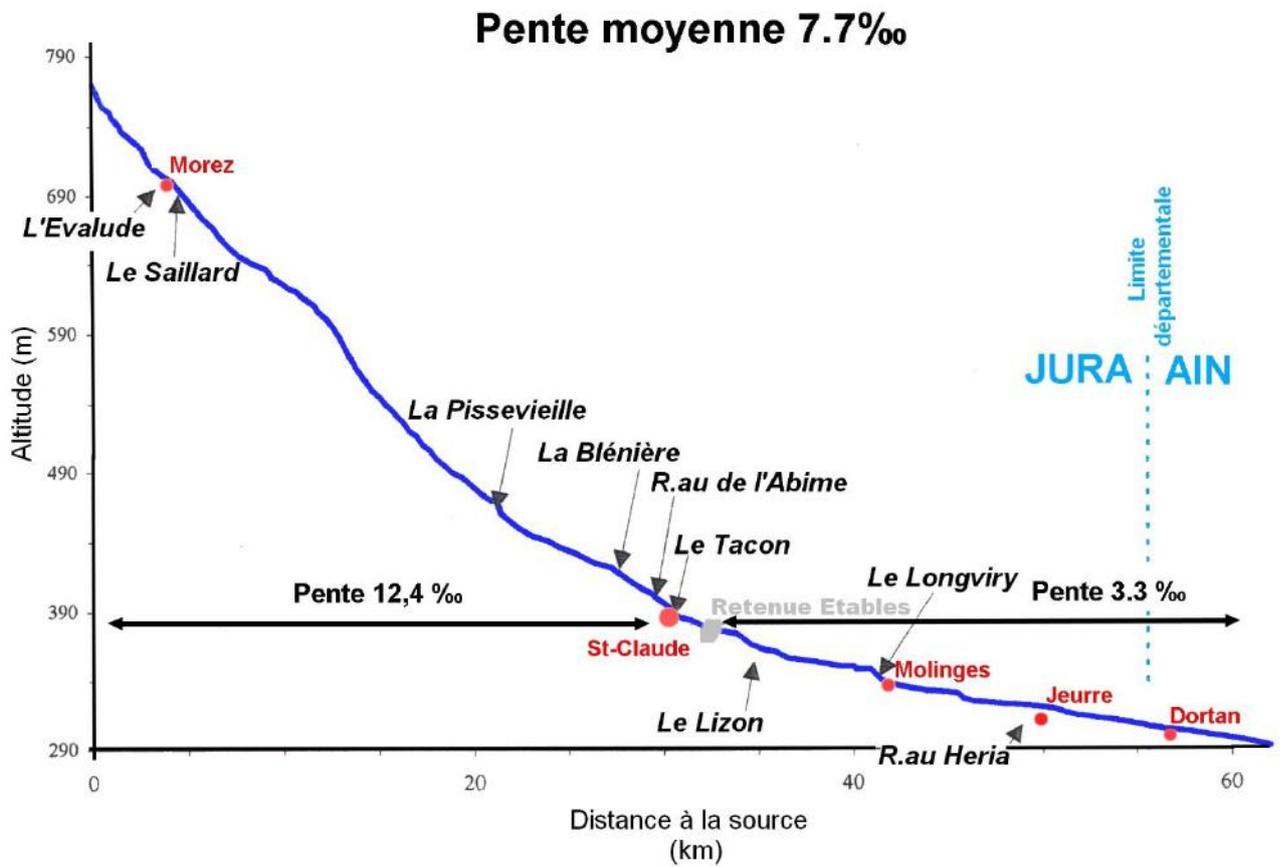
Annexe 1 Profil altimétrique de la Bienne (Source : Rodriguez 1998).....	75
Annexe 2 Localisation et choix des stations.....	76
Stations BNT3-7 ; BCH5-7 : Aval Bief de la Chaille et Biennette.....	76
Stations BIE6-6 : « Trou bleu », Aval Morez Morbier	77
Stations BIE11-0 : « Tancua », Tronçon Court-circuité	78
Stations BIE19-5: « Longchaumois » Aval des gorges de la Bienne.....	79
Stations BIE28-0: « Les Cheneviers » Les Champs de Bienne.....	80
Stations BIE36-5: « Moulin du Lison » Aval Saint Claude et Etable	81
Stations BIE40-3: « Risbermes Chassal » Amont Chassal	82
Stations BIE51-1: « Jeurre »	83
Annexe 3 Coupe géologique et traçages au synclinorium de Grandvaux (Le Pennec 1997).....	84
Annexe 4 Précipitations sur Morez de 1999 à 2017 (Source : Météofrance)...	85
Annexe 5 Evolution de l'occupation des sols du bassin versant de 1990 à 2012 (Source : Corine Land Cover)	86
Annexe 6 Démographie	87
Annexe 7 Registre Parcellaire (Source RPG 2013)	88
Annexe 8 Données STEP.....	89
Annexe 9 : Cartographie de la situation actuelle du système d'assainissement (Source : CD39)	90
Annexe 10 Tribofinition et Bains de traitements.....	91
Annexe 11 Décharges recensées, cartographie.....	92
Annexe 12 Décharges recensées, degré de connexion, cartographie.....	92
Annexe 13. Corrélation température et débit.....	94
Annexe 14 Matériels et méthodes / IAM	95
Problématique et concepts	95
Fondements de la méthode	95
Modalités pratiques	96
Définition des faciès	97
Description du substrat-support	97
Description de la hauteur d'eau	100
Description de la vitesse du courant	100
Constitution des pôles d'attraction	100
Expression des résultats et règles d'interprétations.....	100
Annexe 15 Capacité habitationnelle / Cartes IAM	102

Annexe 16 Matériels et méthodes prélèvement et analyse chimique	107
Paramètres analysés.....	107
Suivi de l'eau	107
<u>Analyses in situ</u> :.....	107
<u>Analyse ex situ</u> :.....	108
Echantillonnage	108
Période d'échantillonnage :.....	108
Précautions de prélèvements et conditionnement	108
Matériel de prélèvement	108
Prétraitements des échantillons au laboratoire.....	108
Suivi des Sédiments	109
Généralités	109
Echantillonnage :	109
Matériels de prélèvement:.....	109
Prélèvement et conditionnement :	109
Prétraitement des échantillons au laboratoire	110
Phase analyse laboratoire	111
ICP AES.....	111
ICP-MS	111
Annexe 17 Evolution temporelle des éléments minéraux dans les eaux.....	113
Jeurre.....	113
A l'Amont de Saint Claude.....	114
Annexe 18 Résultats complémentaires sédiments	115
Annexe 19 ACP // méthodes d'analyses	115
Annexe 20 Accumulation des éléments minéraux dans les bryophytes (Pb,Ni,Zn).....	116
Annexe 21 Evolution temporelle des éléments minéraux dans des Bryophytes	117
Au Trou Bleu	117
Aval de l'Evalude	118
Annexe 22 Résultats HAP	119
Annexe 23 Méthode / MAG20	120
Protocole d'analyse semi-quantitative des Communautés benthiques : le MAG20. TELEOS 2000 Note technique interne rédigée par : DECOURCIERE H. (TELEOS) et DEGIORGI F. (TELEOS et LBE de l'Université FC).....	120
Annexe 24 Méthode indicielle / liste saprobiontes	124

Valeur de l'IBGN selon la nature et la variété taxonomique de la macrofaune benthique (AFNOR, 1992).....	124
Annexe 25 Méthode de calcul de la note IBGN et équivalence réglementaire DCE.	125
Annexe 26 Méthode de Calcul du Cb2 (Coefficient Biogénique Secondaire)	126
Annexe 27 Sélection taxons saprobiontes	127
Annexe 28 Synthèse des résultats macrobenthiques obtenus par station ..	128
Annexe 29 Evolution temporelle / Macroinvertébrés	129
Annexe 30 Protocoles d'échantillonnage et résultats brut MAG20	130
Protocole d'échantillonnage station BNT3-7.....	130
Résultats bruts station BNT3-7.....	131
Protocole d'échantillonnage station BCH5-7	132
Résultats bruts station BCH5-7	133
Protocole d'échantillonnage station BIE6-6.....	134
Résultats bruts station BIE6-6	135
Protocole d'échantillonnage station BIE11-0.....	136
Résultats bruts station BIE11-0	137
Protocole d'échantillonnage station BIE19-5	138
Résultats bruts station BIE19-5	139
Protocole d'échantillonnage station BIE28-0 :	140
Résultats bruts station BIE28-0	141
Protocole d'échantillonnage station BIE36-5	142
Résultats bruts station BIE36-5	143
Protocole d'échantillonnage station BIE40-3	144
Résultats bruts station BIE40-3	145
Protocole d'échantillonnage station BIE51-1	146
Résultats bruts station BIE51-1	147
Annexe 31 Classe d'abondance numérique et pondérale	148
Annexe 32 « bio-cénotypes »	149
Annexe 33 Résultats NTT sur les stations d'études	151
Annexe 34 Résultats bruts et calculés des pêches électriques effectué en 2017	152
Annexe 35 Evolution longitudinale des densités de truites sur l'ensemble des stations d'inventaires (FJPPMA)	155
Annexe 36 Evolution longitudinale des biomasses de truites sur l'ensemble des stations d'inventaires (FJPPMA)	156

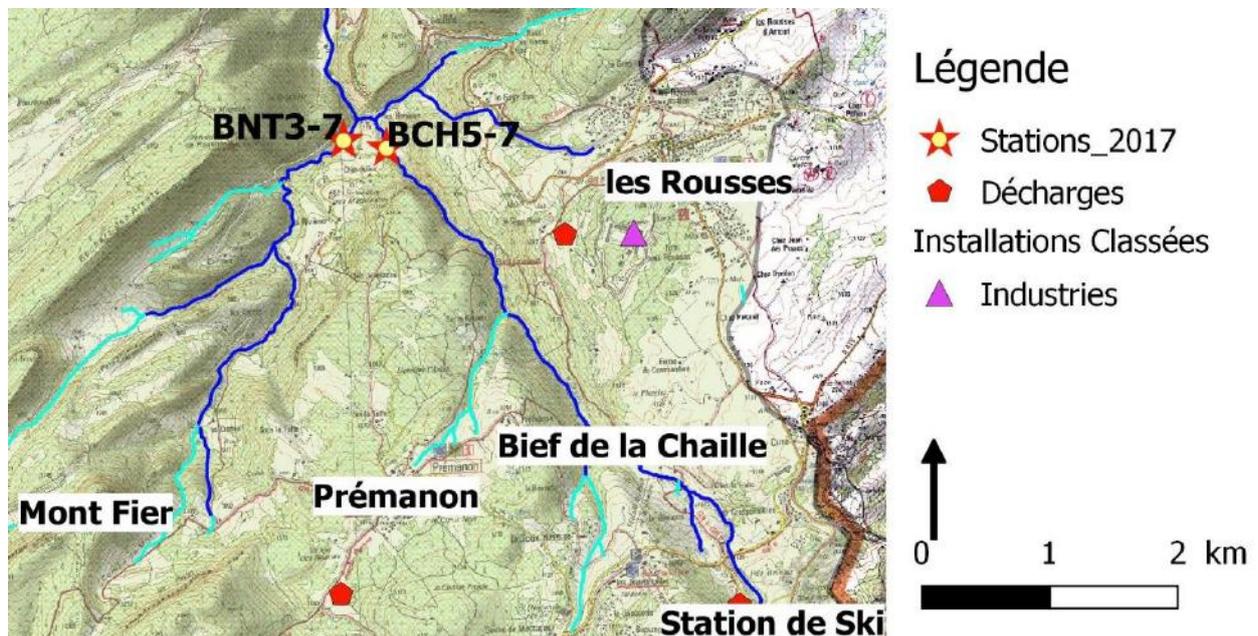
Annexe 37 Synoptiques du cuivre.....157

Annexe 1 Profil altimétrique de la Bienne (Source : Rodriguez 1998)



Annexe 2 Localisation et choix des stations

Stations BNT3-7 ; BCH5-7 : Aval Bief de la Chaille et Biennette



Les résultats de macro invertébrés à l'amont de Doye présentait en 2016 un peuplement perturbé (IBG 15/20 variété taxonomique = 24). Cette station a été restaurée récemment et ne peut être considérée comme représentative.

De plus, la présence d'une source de pollution en amont de cette station n'est pas à exclure. Les deux sources de la Biennette sont différentes en termes de débit et peuvent être perturbées à des degrés différents.

Les analyses antérieures sur les Bryophytes (d'après du PNRHJ) ont permis de déceler des pollutions certaines sur ces deux sources en 2002. L'Amont de Doye révélait aussi des pollutions certaines au niveau du Nickel et du Cuivre.

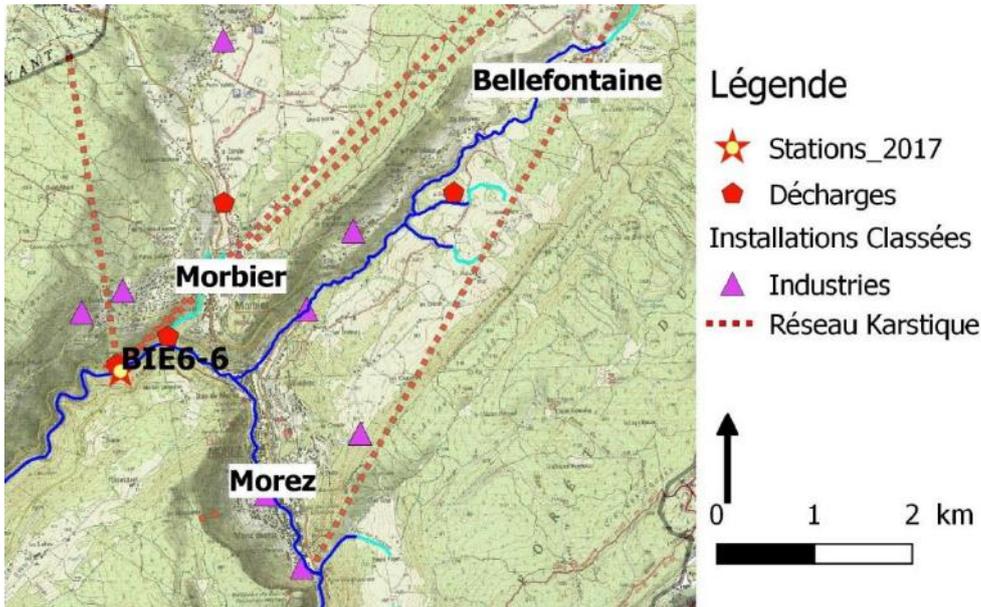
L'étude de ces deux sources permettra à la fois d'établir un premier diagnostic piscicole pour la Biennette, et de reconduire certaines études sur le Bief de la Chaille afin de déceler l'existence d'éventuelles perturbations actuelles.

De plus, ces études resteront en lien avec le futur projet mené en amont du Bief de la Chaille concernant la rehausse de la réserve en eau du canon à neige du stade des Tuffes.



Photo (BNT3-7 : Vue aval)

Stations BIE6-6 : « Trou bleu », Aval Morez Morbier



Aval de la STEP de Morez et du ruisseau du Bie, et à 1km de la confluence Bienne/Evalude en aval d'une station d'épuration.

Des analyses situées en amont à 500 m de la confluence Bienne/Evalude présente encore de forte pollution pour le Cuivre ($4 : 212 \mu\text{g/g}$).

Il est intéressant de reconduire certains suivis (Mag20) ainsi que d'en initier de nouveaux (Analyses eaux et sédiments) afin d'obtenir un aperçu de la situation actuelle en termes de présence de micropolluants et d'éventuelle dégradation des communautés macrobenthiques.

Cette station reflètera la capacité auto-épuratoire globale de toutes les pressions anthropiques (rejets STEP, Industries et décharges en amont de Morbier et de Morez).

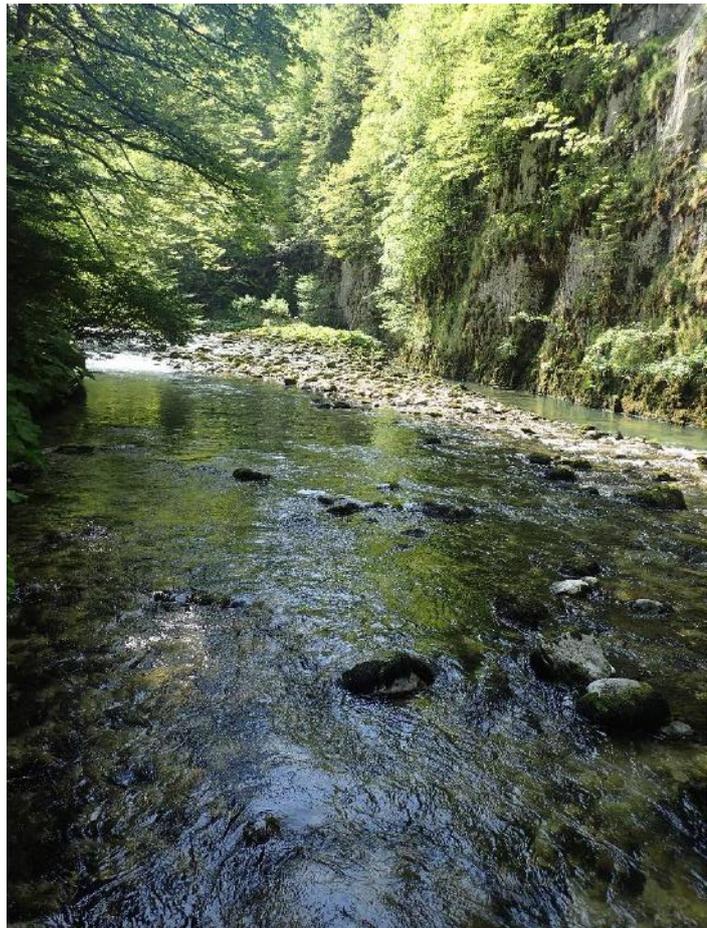
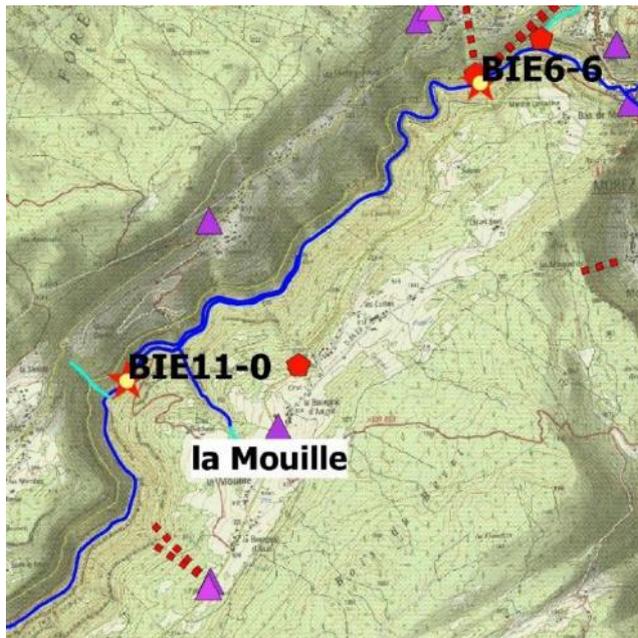


Photo (BIE6-6 : Vue aval vers l'amont)

Stations BIE11-0 : « Tancua », Tronçon Court-circuité



Légende

-  Stations_2017
-  Décharges
- Installations Classées
-  Industries

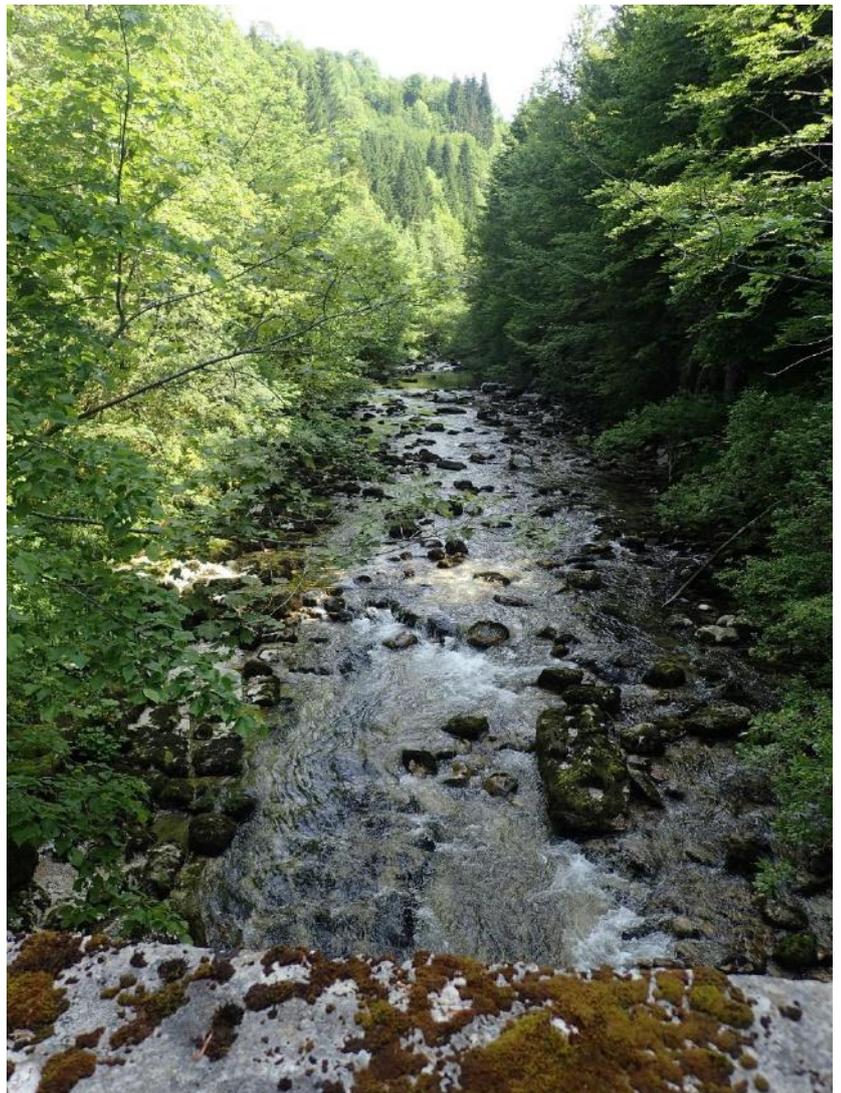


Située à 50 mètres d'une résurgence en direction de la Mouille, présence de lunetterie en fonctionnement et constat d'une pollution métallique toujours actuelle.

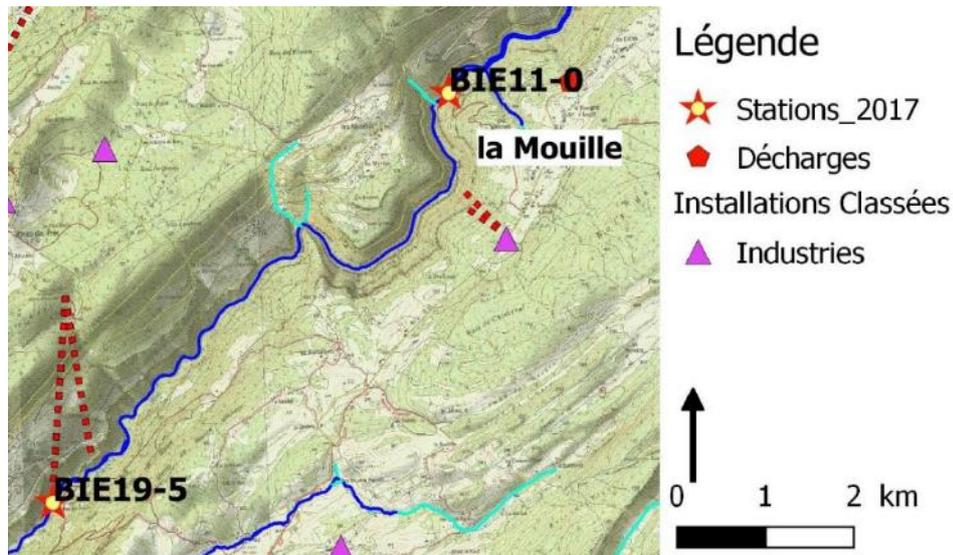
Il y a un **réel intérêt d'effectuer un état des lieux complet de cette station. En effet, plusieurs inventaires n'ont pas été reconduits depuis plusieurs années** (poissons, benthos). En 2009 la note IBGN était très basse (13/20 et 21 en variété taxonomique) avec un taux faible de Gammaridae et Elmidae.

De plus, la forte pollution métallique (Cuivre, Zinc, Plomb, Nickel) mise en évidence par le PNR dans les bryophytes doit être prise en compte. Celle-ci encore présente pour le Cuivre.

Photo (BIE11-0 : Vue aval vers l'amont)



Stations BIE19-5: « Longchaumois » Aval des gorges de la Bienne



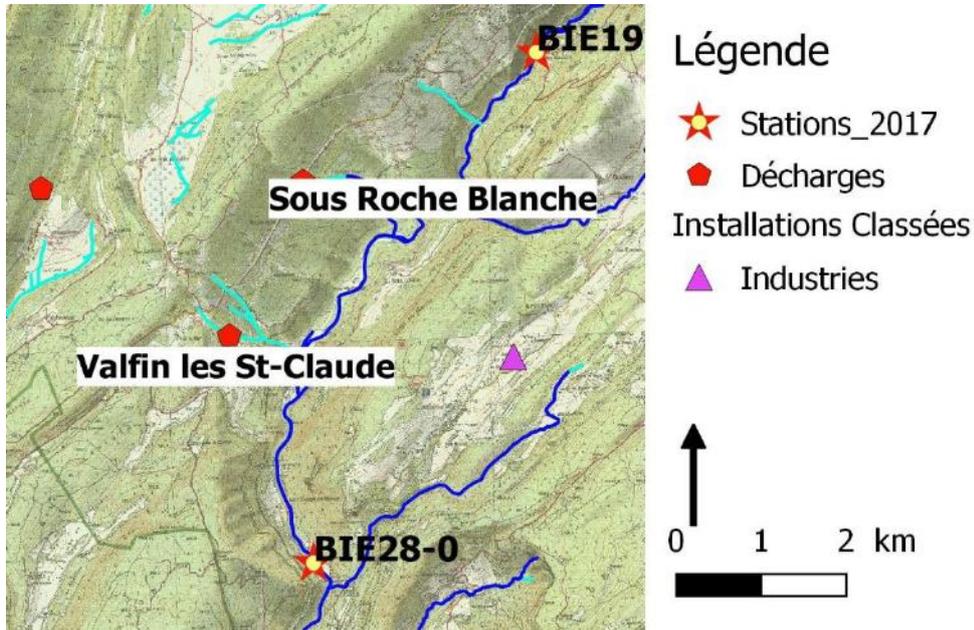
Localisée au pont de Longchaumois en aval des gorges. **Cette station donnera un aperçu de la capacité auto-épuration et de l'effet tampon en aval de la station précédente où le degré de pollution s'est révélé dans les années antérieures plus importante.** Il sera également intéressant d'évaluer les autres paramètres non pris en compte jusqu'à présent.

Des pollutions métalliques certaines en Cuivre et Nickel dans les Bryophytes ont été décelé jusqu'en 2013.

Photo (BIE19-5 : Vue aval vers l'amont)



Stations BIE28-0: « Les Cheneviers » Les Champs de Bienne



Cette station est encaissée dans la vallée où les vitesses et les hauteurs d'eau sont très importantes. Aucune pression anthropique ne semble être présente. Historiquement, la qualité semble être dans les normes. Une pollution métallique dans les Bryophytes s'est avérée être potentiellement présente. La reconduite d'un MAG20 et d'une analyse de sédiments **permettra un état actuel des lieux et de comprendre d'avantage l'accumulation de polluants.** L'évaluation de l'ensemble des paramètres **permettra un état des lieux précédent** sur l'agglomération de Saint-Claude.

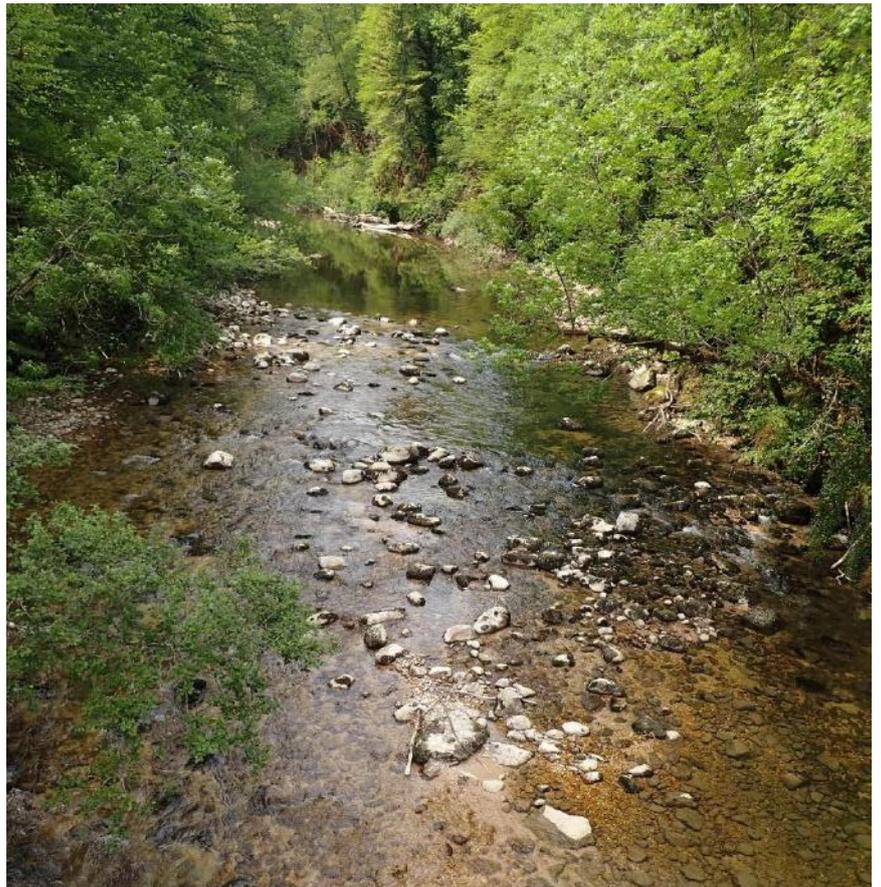
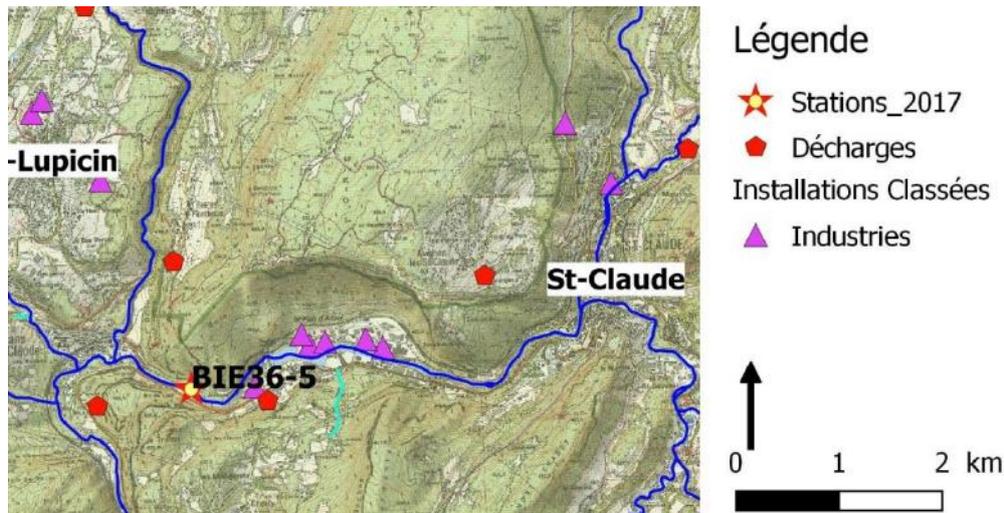


Photo (BIE28-0 : Vue aval vers l'amont)

Stations BIE36-5: « Moulin du Lison » Aval Saint Claude et Etable



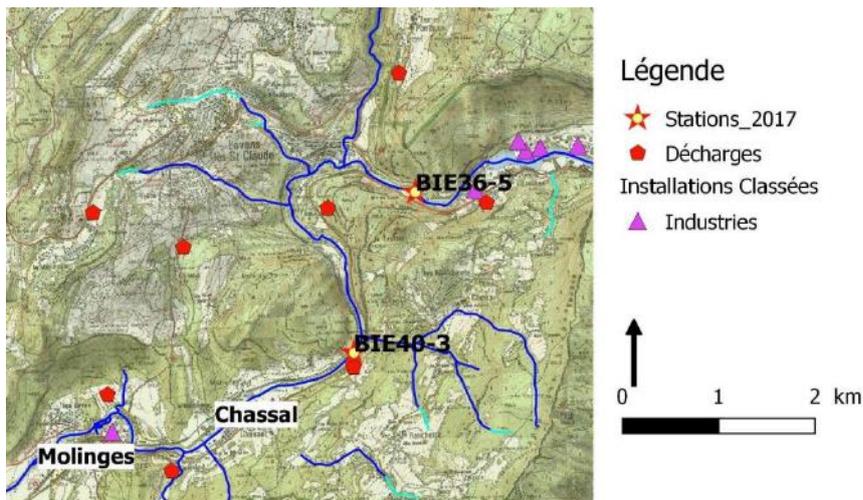
Cette station est située en aval du barrage, dans le tronçon court-circuité soumis à un débit réservé. La station du Moulin de Lison reste en aval de Saint Claude. **Les chroniques existantes sur les poissons, invertébrés et autres compartiments tels que les Bryophytes ou Sédiments seront intéressantes et pertinentes à reconduire afin de déterminer la qualité physicochimique et biologique (Sur les macro-invertébrés) en aval de Saint Claude.**

Le dernier suivi effectué en 2009 macrobenthique à montrer une note IBG de 16/20 avec un Peuplement saprobiontes dominant et une population de Gammaridae en déficit.

Photo (BIE36-5 vue
amont vers l'aval)°



Stations BIE40-3: « Risbermes Chassal » Amont Chassal



Localisé en amont de Chassal, cette station permettra d'encadrer avec BIE36-5 la qualité de l'eau à l'aval de Lavans les St-Claude et de la confluence du Lizon. Elle permettra également de pouvoir reconduire les études antécédentes des différents maîtres d'ouvrage afin d'évaluer l'état actuel.

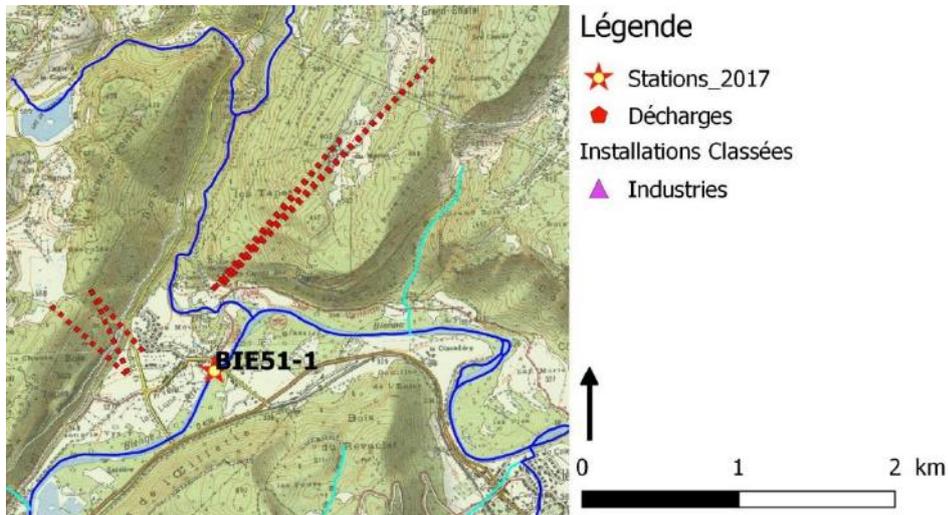
Le dernier suivi macrobenthique effectué en 2016 avait montré une note excessivement basse de (13/20) et une dystrophie du milieu (60% de peuplement saprobiontes).

Cette station reflètera globalement la capacité auto-épuratoire de toutes les pressions anthropiques existantes (retenue, rejets STEP, Industries et décharges de l'agglomération de Saint Claude)

PhotoBIE40-3 (Vue aval vers l'amont)



Stations BIE51-1: « Jeurre »

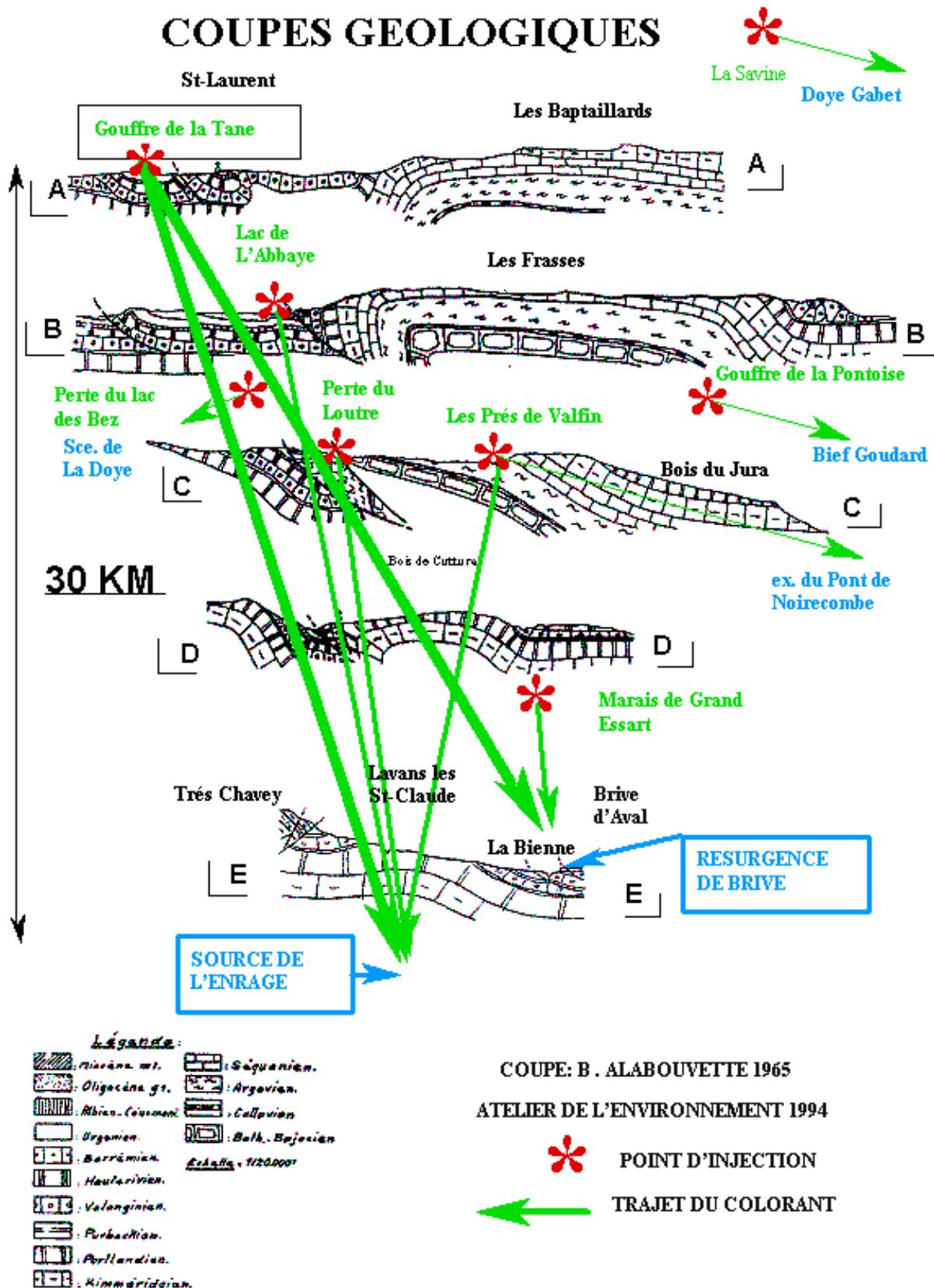


Localisée sur la Bienne en aval de la ville de Jeurre, cette station permettra de déterminer l'impact de cette ville.

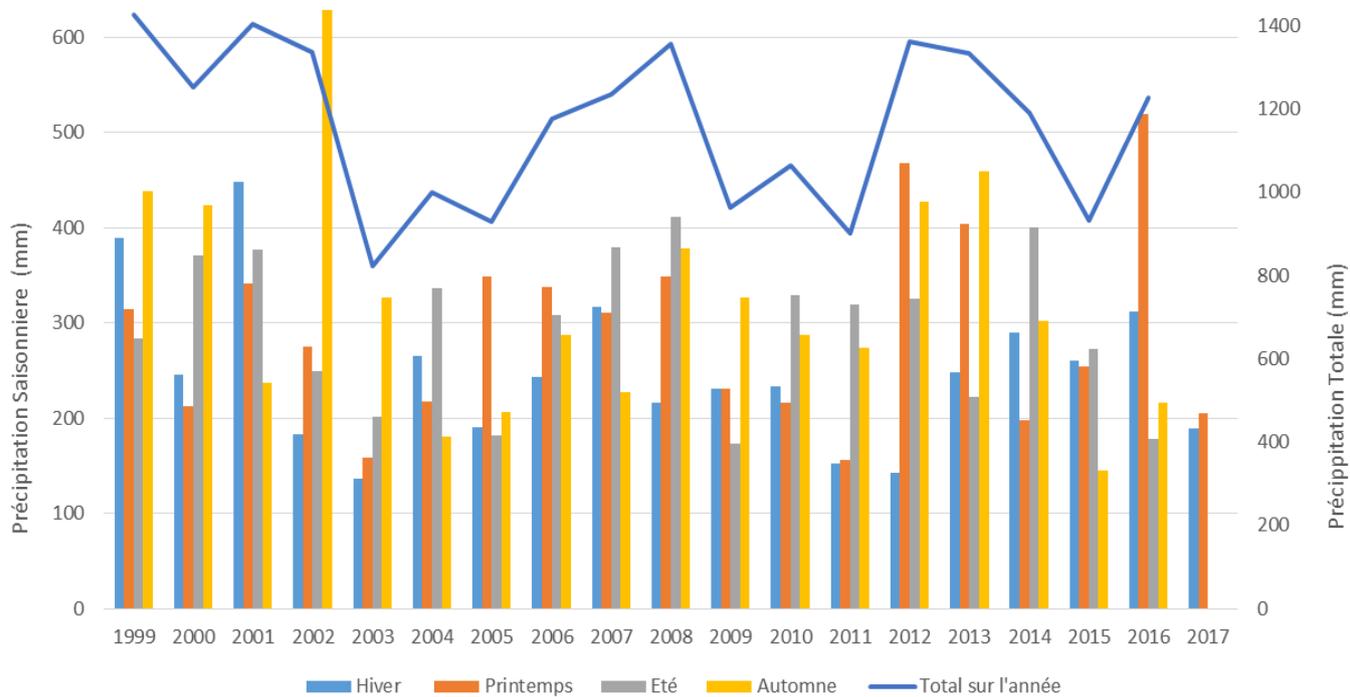
Le dernier suivi macrobenthique effectué en 2016 avait montré une note excessivement basse (14/20) et une dystrophie du milieu (70% de peuplement saprobiontes)

Mais surtout, cette station permettra de **renouveler les chroniques existantes ainsi que de les compléter afin d'obtenir un dernier suivi complet le plus à l'aval de la Bienne**. Nous obtiendrons ainsi un état des lieux intégrant la majeure partie des impacts issus de l'amont. L'historique de cette station permet de faire de nombreuses comparaisons, elle s'avère donc indispensable dans l'objectif de trouver quels sont les facteurs ayant évolué au cours du temps notamment.

Annexe 3 Coupe géologique et traçages au synclinorium de Grandvaux (Le Penneec 1997)



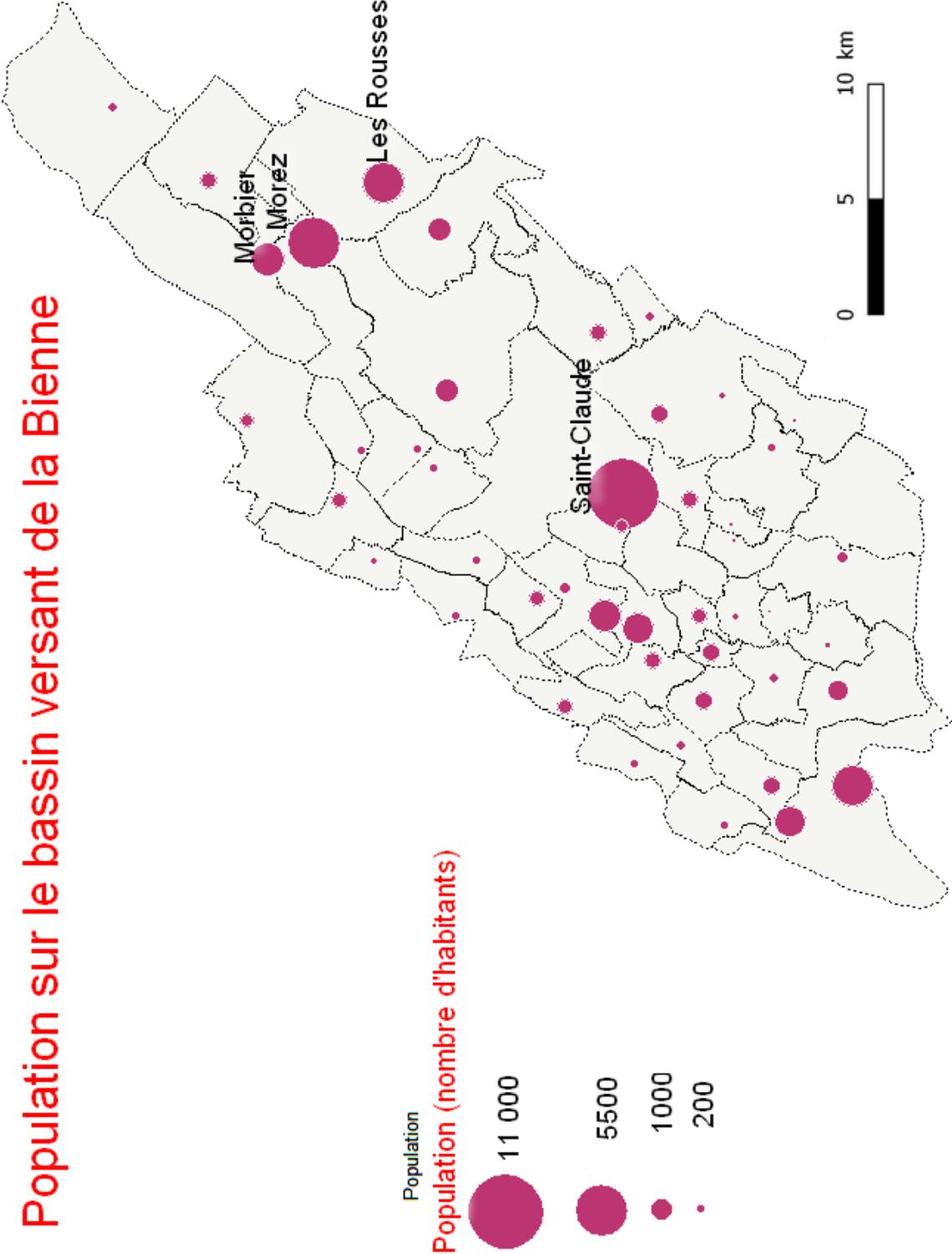
Annexe 4 Précipitations sur Morez de 1999 à 2017 (Source : Météofrance)



Annexe 5 Evolution de l'occupation des sols du bassin versant de 1990 à 2012 (Source : Corine Land Cover)

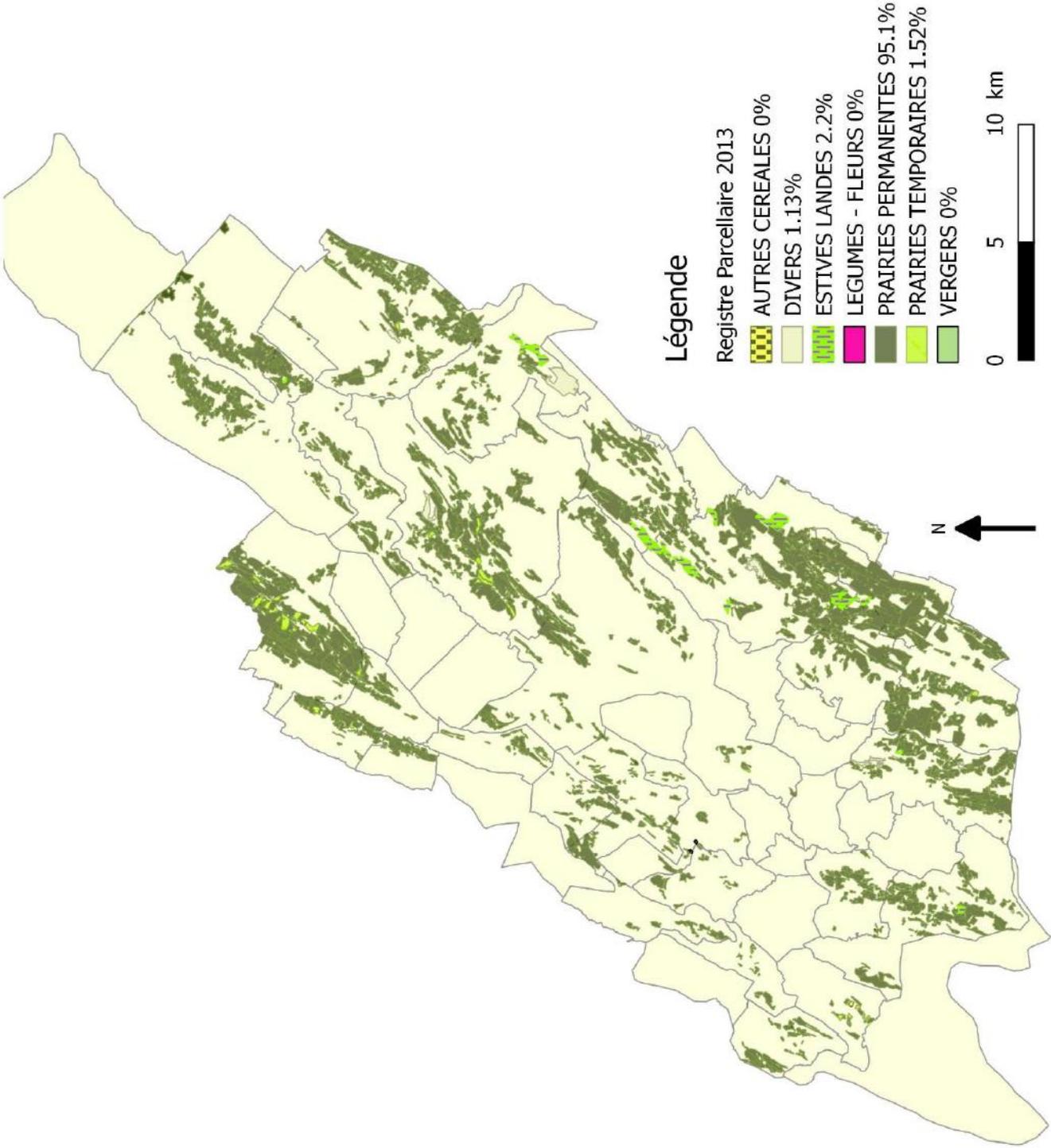
Code CLC niv2	Libellé	1990 (%)	2000 (%)	2006 (%)	2012 (%)
31	Forêts	75,70	74,54	74,08	74,09
23	Prairies	13,48	15,46	16,36	16,33
32	Milieus à végétation arbustive et/ou herbacée	5,35	4,52	3,65	3,62
11	Zones urbanisées	1,94	2,09	2,28	2,28
24	Zones agricoles hétérogènes	1,16	1,51	1,53	1,53
41	Zones humides intérieures	0,61	0,69	0,73	0,73
51	Eaux continentales	0,47	0,46	0,48	0,48
12	Zones industrielles ou commerciales et réseaux de communication	0,29	0,30	0,35	0,36
21	Terres arables	0,85	0,27	0,26	0,26
14	Espaces verts artificialisés, non agricoles	0,05	0,05	0,17	0,17
13	Mines, décharges et chantiers	0,08	0,08	0,07	0,10
33	Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation	0,04	0,04	0,04	0,04

Population sur le bassin versant de la Bienne



Auteurs: K.Annelot & A.Bourlier | Réalisé sur R3.4.1 | Sources: INSEE (2014)

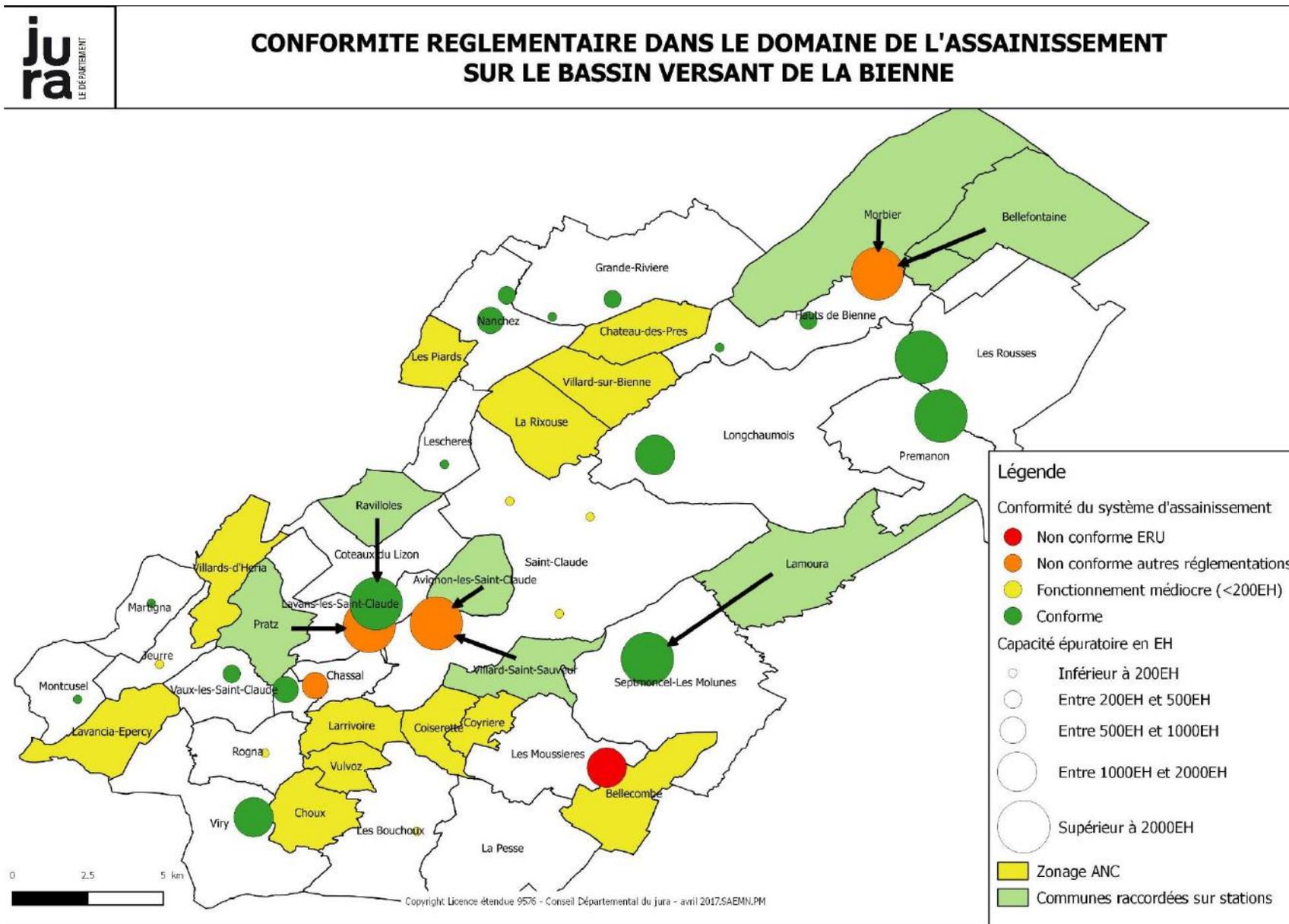
Annexe 7 Registre Parcellaire (Source RPG 2013)



Annexe 8 Données STEP

	Système d'assainissement	Procédé épuratoire	Milieu récepteur	Capacité de la station en EH	EH attendus	EH mesurés en entrée de station	EH rejetés en sortie station	EH brut dans cours d'eau	Taux de rejet Brut	Taux de collecte en %	Rendement épuratoire de la station en %	Rendement global du système d'assainissement en %	Kg/j de DBO5 rejeté	Kg/j de DCO rejeté	Kg/j de MEST rejeté	Kg/j de NTK rejeté	Kg/j de PT rejeté	KG/J de NGL rejeté	Traitement du phosphore en mg/l (et/ou %)	Conformité 2016
	Saint Claude	Boues activées	Bienne	9800	13000	6085	177	7092	55%	47%	97%	45%	425,52	851,04	638,28	106,38	17,73	88,65	Depuis 2016	NC local équipement
	Morez	Boues activées	Bienne	8500	7500	4525	101	3076	41%	60%	98%	59%	184,56	369,12	276,84	46,14	7,69	38,45	2	NC local équipement
	Les Rousses	Boues activées	Bienne	9900	4000	3133	52	919	23%	78%	98%	77%	55,14	110,28	82,71	13,79	2,30	11,49	2	NC ERU Autosurveillance
	Septmoncel	Boues activées	Chapy	7000	1050	650	28	428	41%	62%	96%	59%	25,68	51,36	38,52	6,42	1,07	5,35	2,5	Conforme
	Prémanon	Boues activées	Bief de la Chaille	5100	1000	900	38	138	14%	90%	98%	86%	8,28	16,56	12,42	2,07	0,35	1,73	2	Conforme
	Lavans St Claude	Boues activées	Bienne	4000	2400	911	28	1517	63%	38%	97%	37%	91,02	182,04	136,53	22,76	3,79	18,96	2	NC ERU performance
	Saint Lupicin	Boues activées	Lizon	3500	2900	917	24	2007	69%	32%	97%	31%	120,42	240,84	180,63	30,11	5,02	25,09	Non	NC local équipement
	Longchaumois	Boues activées	Pissevieuille	1800	950	300	7	657	69%	32%	98%	31%	39,42	78,84	59,13	9,86	1,64	8,21	2	Conforme
	Viry	Boues activées	Longviry	1500	750	715	12	47	6%	95%	98%	94%	2,82	5,64	4,23	0,71	0,12	0,59	2	Conforme
	Moussières Les	Boues activées	Sol	1100	800	955	6	6	1%	119%	99%	119%	0,36	0,72	0,54	0,09	0,02	0,08	2	NC ERU équipement
	Prénoel Bourg	Lagunage	Bief de Nanchez	900	310	160	15	165	53%	52%	91%	47%	9,90	19,80	14,85	2,48	0,41	2,06	Non	Conforme
	Chassal	Disque biologique	Bienne	800	500	140	5	365	73%	28%	96%	27%	21,90	43,80	32,85	5,48	0,91	4,56	27%	NC local équipement
	Molinges Bourg	Filtres plantés	Bienne	600	550	300	5	255	46%	55%	98%	54%	15,30	30,60	22,95	3,83	0,64	3,19	Non	Conforme
	Vaux les St Claude	Décanteur - Digesteur	Bienne	405	375	40	3	338	90%	11%	93%	10%	20,28	40,56	30,42	5,07	0,85	4,23	Non	Conforme
	Mouille La	Lit bactérien	La mouille	400	320														Non	Conforme
	Molinges Rive droite	Lit bactérien	Bienne	400	120														Non	Conforme
	Cinquetral	Lit bactérien	Blenière	350	150	26	4	128	85%	17%	85%	15%	7,68	15,36	11,52	1,92	0,32	1,60	Non	Conforme
	Prénoel de Bise	Lagunage	Bief de Nanchez	300	85	80	11	16	19%	94%	86%	81%	0,96	1,92	1,44	0,24	0,04	0,20	Non	Conforme
	Chaumont	Lit bactérien	Tacon	250	190	105	6	91	48%	55%	94%	52%	5,46	10,92	8,19	1,37	0,23	1,14	Non	Conforme
	Valfin	Décanteur - Digesteur		250	100	90	12	22	22%	90%	87%	78%	1,32	2,64	1,98	0,33	0,06	0,28	Non	Conforme
	Jeurre	Décanteur - Digesteur	Fossé puis Bienne	200	210	170				81%		81%							Non	NC ERU équipement
	Leschères			200	150	70	8	88	59%	47%	89%	41%	5,28	10,56	7,92	1,32	0,22	1,10	Non	Conforme
	Lézat	Filtres à sables	Fossé puis Bienne	200	150	52	5	103	69%	35%	90%	31%	6,18	12,36	9,27	1,55	0,26	1,29	Non	Conforme
	Grande Rivière (Abbaye)	Lagunage	Lac de l'Abbaye	200	130														Non	NC local équipement
	Bouchoux Les			200	50														Non	NC ERU équipement
	Grande Rivière (Faires)	Lagunage	Lac de l'Abbaye	200	25														Non	Conforme
	Rogna	Décanteur - Digesteur	La charrière	100	100														Non	NC ERU équipement
	Martigna	Filtres à sables	Sol	80	40														Non	Conforme
	Montcusel			40	20														Non	NC ERU performance
	Total Jura			58275	37925	20324	547	17458	46%	54%			1047,48	2094,96	1571,22	261,87	43,65	19,64		
	Dortan	Boues activées	Bienne	9000																
	Chapelle des Bois	Boues activées	Karst direction Bienne	600																
	Total BV			67875	13425															

Annexe 9 : Cartographie de la situation actuelle du système d'assainissement (Source : CD39)



Annexe 10 Tribofinition et Bains de traitements

- **Tribofinition :**

La tribofinition est un ensemble de procédés mécano chimiques permettant d'ébavurer, de polir, de décalaminer des pièces ou ensembles de pièces de série en conservant leurs caractéristiques physiques ou mécaniques.

Les traitements sont effectués dans les enceintes où les pièces traitées en vrac sont mises en contact avec des supports, des abrasifs, des additifs et de l'eau.

Les machines utilisées sont de types centrifugeuse, tonneau vertical, vibreuse selon la nature et la taille des pièces.

Toutes les entreprises de lunetterie intègrent dans leurs procédés de fabrication des opérations de tribofinition.

- **Bains de préparation et finition :**

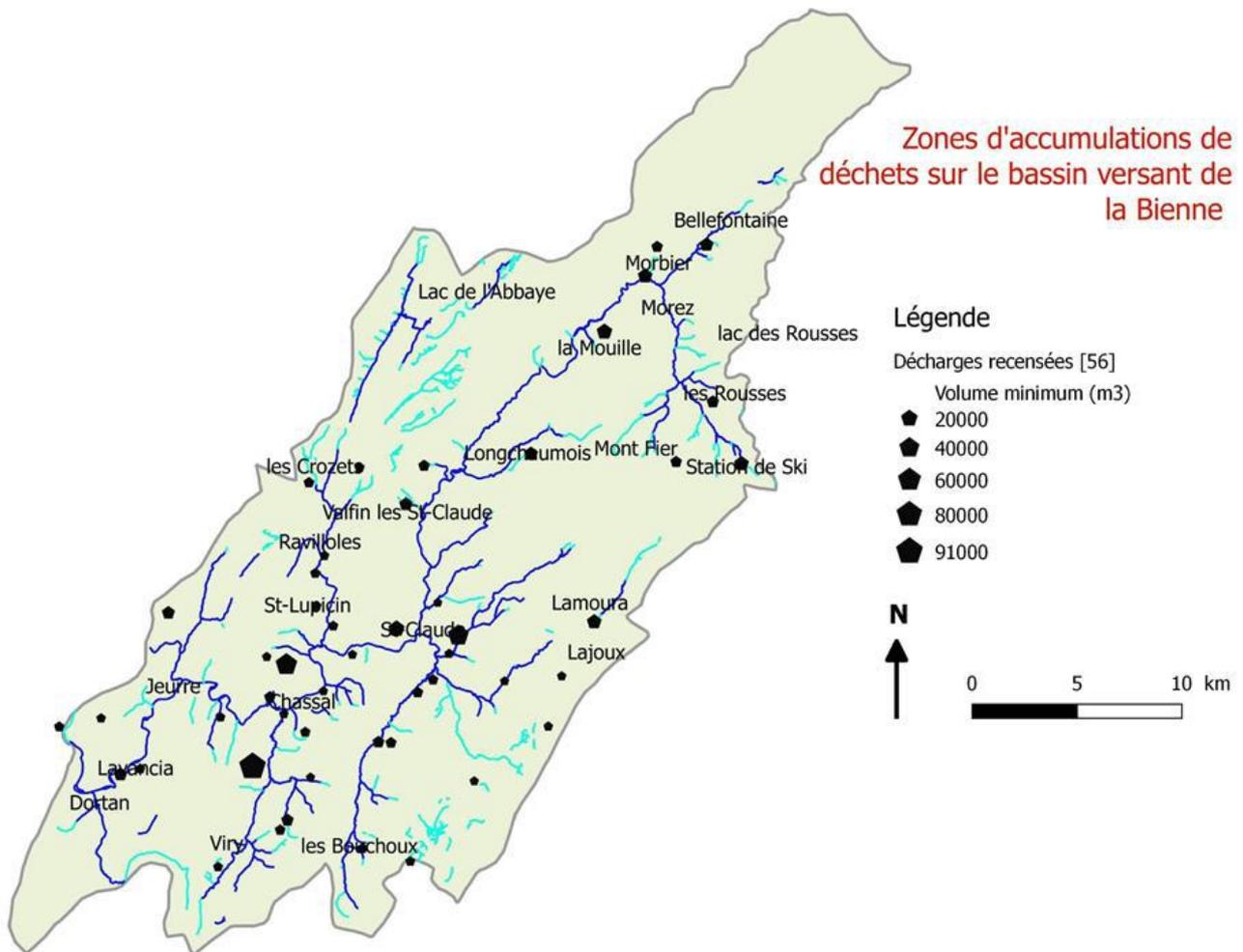
On distingue trois types de bains :

Décapage acide : Essentiellement utilisés pour désoxyder le métal avant les opérations de soudage et décaper le métal des résidus de soudure et de pâte à souder. Les bains sont vidangés périodiquement et sont envoyés en destruction, sont traités par la station. Leur composition inclut souvent un acide fort (nitrique, chlorhydrique, phosphorique) et certains adjuvants (brillanteur).

Dégraissage lessiviel : Largement utilisés à toutes les étapes de fabrication, les bains lessiviels sont employés pour nettoyer et dégraisser les pièces ou ensembles avec ou sans dispositif ultra-sons : composés de savon (savon de Marseille) et d'eau, ces bains sont plus ou moins nocifs selon l'étape de fabrication et sont généralement traités sur la station.

Les rinçages : Ils sont effectués après décapage et lessiviel avec un flux en cascade. Généralement un bain mort les précède. La majorité des entreprises rejette les rinçages à la station de traitement.

Annexe 11 Décharges recensées, cartographie



Annexe 12 Décharges recensées, degré de connexion, cartographie

Critère de connexion au cours d'eau

Degré de connexion

Inférieur ou égal à 100m du cours d'eau ou présence de Doline, Gouffre.

Connexion très importante

Entre 100m et 200m

Connexion importante

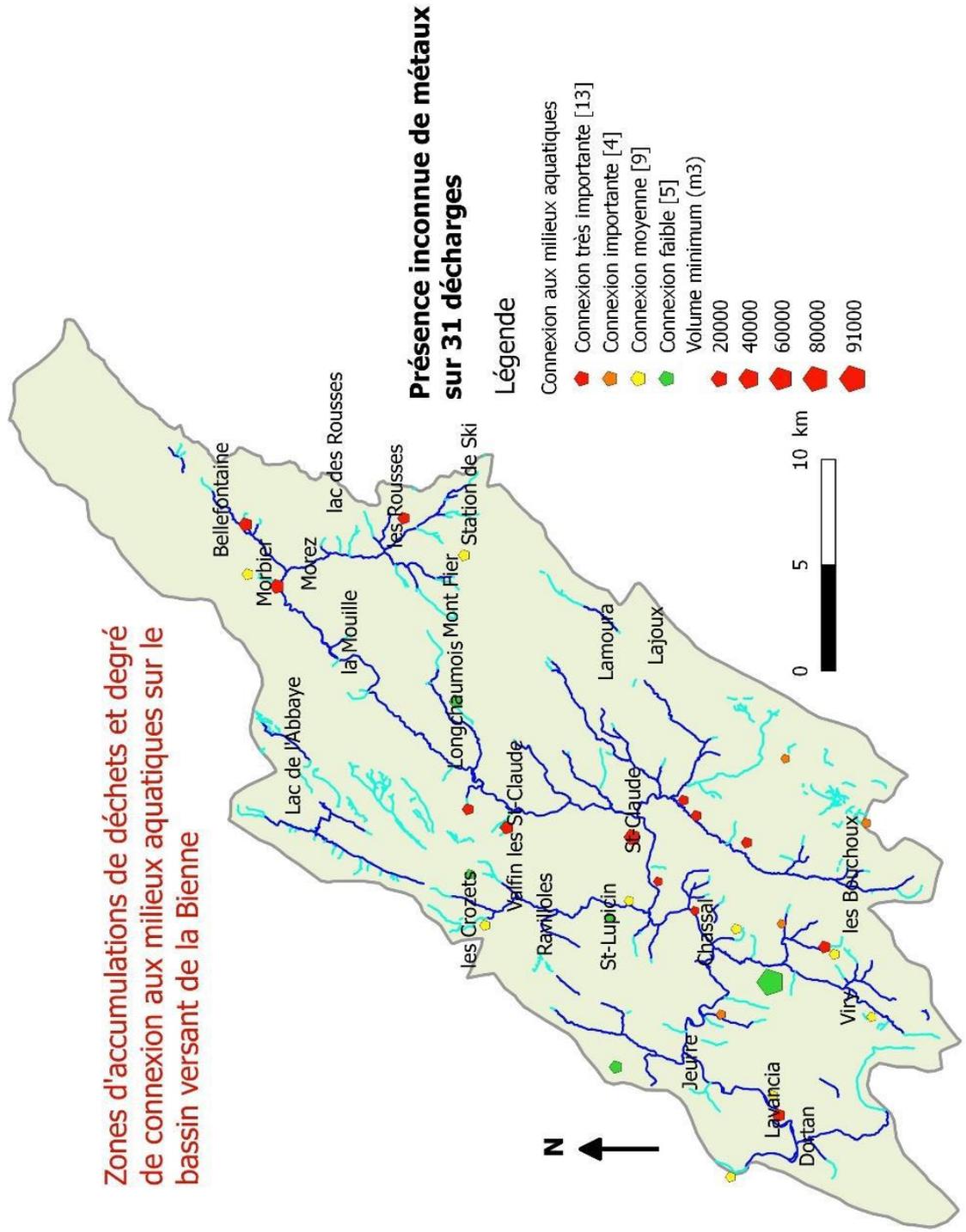
Entre 200m et 500m

Connexion moyenne

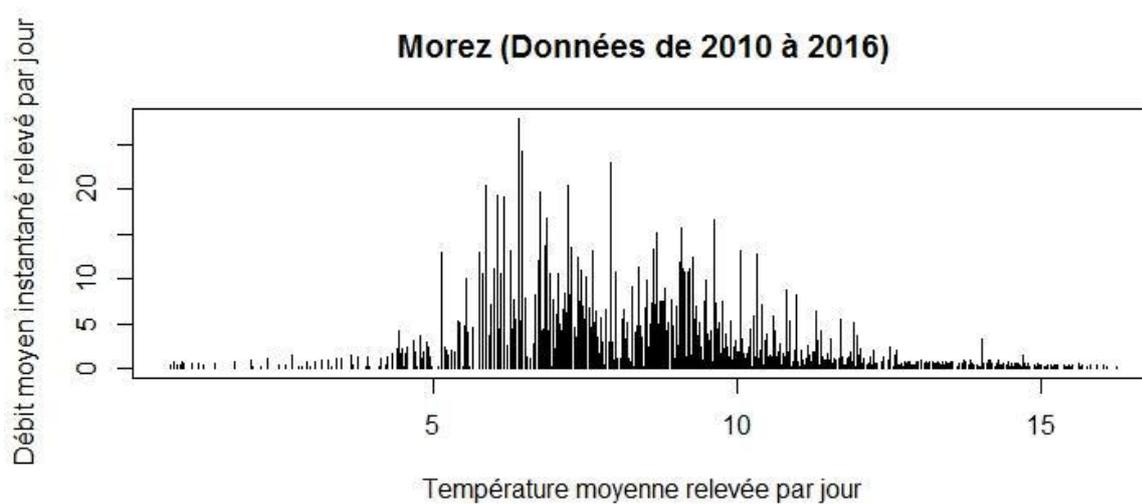
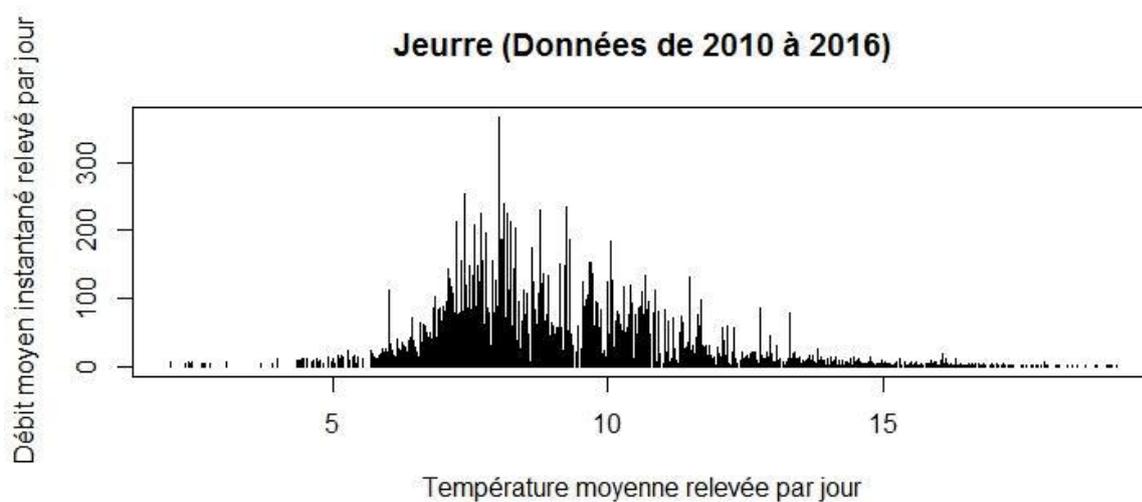
Supérieur à 500m

Connexion faible

Zones d'accumulations de déchets et degré de connexion aux milieux aquatiques sur le bassin versant de la Bienne



Annexe 13. Correlation température et débit



Annexe 14 Matériels et méthodes / IAM

Protocole IAM : Méthode standard d'analyse de la qualité de l'habitat aquatique à l'échelle de la station

Source : CSP 1994-TELEOS 2000-TELEOS 2002.

Problématique et concepts

La méthode utilisée est fondée sur une analyse cartographique standard des mosaïques de substrats/supports, de hauteurs d'eau et de vitesses de courant. Mise au point par la DR 5 du CSP (1994–1996), puis finalisée par TELEOS (1999-2003), cette approche fournit des images comparables de l'hétérogénéité et de l'attractivité biogène d'un cours d'eau à l'échelle de la station. A qualité d'eau et niveau trophique égaux, les capacités piscicoles d'un site d'eau courante sont en effet déterminées par la diversité et la qualité des combinaisons de hauteurs d'eau, de vitesses de courant et de substrats/supports.

La démarche diagnostique utilisée consiste à réaliser une cartographie codifiée de chacune de ces composantes de la qualité physique, puis de considérer leur combinaison. Les compositions des différentes mosaïques et de leur superposition peuvent ainsi être appréciées et confrontées d'une station à l'autre.

Les limites des classes d'hétérogénéité de chaque composante ont été déterminées statistiquement. Leur combinaison définit des zones d'attraction différentielle vis-à-vis des poissons : elles sont appelées "pôles d'attraction". Cette notion intègre l'aspect dynamique de l'intérêt offert par un habitat pour l'ensemble des espèces.

Les capacités piscicoles associées à la structure physique d'une station sont chiffrées globalement. et non pas reconstituées placette par placette, ni fondées sur la définition de préférences spécifiques associées séparément à chaque descripteur fondamental (substrat, profondeur, vitesse). Leur évaluation diffère donc au plan conceptuel de celle qui est obtenue par la mise en œuvre de la méthode des "micro-habitats" ou de ses dérivés.

Fondements de la méthode

Suivant cette optique, les 3 composantes fondamentales de l'habitat aquatique sont analysées simultanément. On découpe en fait l'espace potamique en zones homogènes au point de vue à la fois de la **hauteur d'eau**, de la **vitesse**, et du couple **substrat/support**. Ces différentes catégories de structures spatiales sont appréciées à une échelle globale, en transformant les mesures métriques en classes de valeur biologique dont les seuils ont été déterminés statistiquement.

1) Dans un 1er temps, les **hauteurs d'eau** (respectivement : les **vitesses de courant**) sont mesurées au centimètre (resp. : au centimètre/seconde) sur des transects qui servent à tracer des courbes bathymétriques d'équidistance 5 cm (resp. d'isovitesses d'équidistance 5 cm/s). Ces documents graphiques sont alors transformés en cartes des zones de profondeur (resp. : de vitesse) d'intérêt ichtyologique différentiel. Pour cela les valeurs métriques sont regroupées en classes significatives pour le poisson : les limites de ces classes ont été déterminées statistiquement à partir de la répartition

spatiale instantanée des poissons enregistrée sur une centaine de stations (60 cours d'eau, MORILLAS 1994).

Simultanément, l'espace fluvial est découpé en placettes homogènes au point de vue des **substrats** (granulométrie) et des **supports** (végétation, caches...). En cas de configuration hétérogène, c'est le support ou le substrat le plus attractif vis-à-vis de l'ichtyofaune qui est pris en compte. La hiérarchisation de l'attractivité a elle aussi été déterminée statistiquement.

2) Dans un 2e temps, l'intersection de ces 3 niveaux d'information permet de tracer la **cartographie des pôles d'attraction**. Ces entités spatiales composites expliquent de façon dynamique la répartition spatiale des poissons à l'échelle de l'habitat et donc déterminent la part du potentiel de production liée à celui-ci à l'échelle de la station.

3) Dans un 3e temps, le comptage des différentes catégories de descripteurs et de leurs surfaces relatives constitue une mesure de l'hétérogénéité de la station. Parallèlement, la pondération de la **représentativité** de chaque pôle par son coefficient d'attractivité apprécie le degré d'hospitalité qualitative du cours d'eau à l'endroit considéré.

Les **faciès** ne sont pas intégrés dans la définition de ces pôles, car cette description correspond à une échelle plus globale (un faciès se compose de plusieurs pôles). Cependant, afin **de relier les 2 échelles de travail entre elles**, les faciès rencontrés sur la station cartographiés puis confrontés avec la séquence de succession type des faciès présentés par le cours d'eau, sur un même tronçon fonctionnel.

Cette description complémentaire est nécessaire pour vérifier la bonne représentativité du tronçon cartographié vis-à-vis de ce tronçon. En outre, elle permet d'apprécier les interférences entre échelles emboîtées. Les faciès bien représentés qui n'appartiennent pas à la station pêchée pour diverses raisons (techniques, matérielles, financières...) seront indiqués et les interprétations devront en tenir compte.

Modalités pratiques

Pour pouvoir comparer différentes stations d'un même cours d'eau entre elles ou en mesurer l'évolution temporelle, il est important de **standardiser** les modalités pratiques de relevés de terrain et de cartographie. Avant tout, les **descriptions se font en été** (périodes de développement des herbiers), durant **l'étiage moyen** (facteur limitant).

Toutefois, pour certains cours d'eau ou pour certaines problématiques, une description complémentaire pourra être réalisée pour le débit à pleins bords ou /et pour une crue de fréquence annuelle ou/et en étiage d'hiver. Lors de mesures réalisées pour des débits importants, la cartographie est simplement réajustée à partir des relevés réalisés en étiage (hauteurs d'eau et vitesses mesurées de nouveau mais substrats inchangés sauf pour les bordures). Pour chaque cartographie, 4 séries de mesures et de dessins sont réalisées en découpant la station en placettes homogènes pour le descripteur considéré (vitesses du courant, hauteurs d'eau, substrats et supports, pôles d'attraction).

Sur le terrain, les vitesses et les hauteurs d'eau sont mesurées et repérées sur des transects à l'aide d'une jauge graduée, d'un courantomètre et de plusieurs décamètres. Des lignes d'isovitesses et d'isoprofondeurs sont alors tracées par intrapolation entre les différents transects: si besoin, les limites de zones obtenues sont vérifiées par des

mesures ponctuelles complémentaires. Les placettes associées aux différents substrats/supports dont l'attractivité est hiérarchisée sont métrées à l'aide d'un topofil et représentée exhaustivement.

Définition des faciès

Les faciès sont des zones homogènes définies par la **forme globale** du lit (chenal ou annexes, dénivelé, courbure...), la **dominante des vitesses de courant** et la **hauteur modale** de la tranche d'eau au centre du chenal. Les différents faciès sont répertoriés dans l'annexe "Explication des fiches de description de l'habitat du tronçon".

Description du substrat-support

La station est ensuite découpée en placettes d'une surface supérieure à 1 mètre carré ou 0,1.l2, l étant la largeur de la lame d'eau, **homogène** en ce qui concerne les substrats support. La plupart du temps, seul l'élément le plus attractif relevé sur une placette est noté. En cas de substrats/supports composites, la hiérarchisation indiquée ci-dessous permet de choisir la dominante. Un substrat/support secondaire ou une indication d'altération de l'attractivité peut cependant être ajouté (cf. ci-dessous).

** Hiérarchisation des substrats :*

La hiérarchisation est effectuée à partir du degré d'attractivité exercé sur l'ichtyofaune. Cette « hospitalité » différentielle est considérée pour différents écostades, différentes espèces, différentes exigences de chaque espace (nutrition, reproduction, caches/abri, circulation/transition...). Suivant cette optique, c'est surtout la **taille des anfractuosités** servant de support ou de cache aux poissons (ainsi qu'à leur nourriture) qui est prise en compte : ainsi on met sur le même plan, branchage, hydrophytes non colmatés et sous-berges. Toutefois, les hydrophytes et dans une moindre mesure les branchages présentent un attrait supplémentaire comme support de fraie et de nutrition.

1° **Hydrophytes (HYI)** : végétaux aquatiques ou amphiphytes noyés à tige souple habitat encombré dans la masse d'eau, avec des coulées d'importance décimétrique.

2° **Branchages immergés (BRA)** : amas de branchages, arbres tombés ou s'avancant dans l'eau ou réseaux de racines de gros diamètre. Substrat considéré comme étant le plus attractif.

3° **Sous-berge (BER)** : abri creusé sous une berge en terre, créé par une cavité sous des racines immergées, faille dans une paroi rocheuse, ou cache dans les bancs de tufs fracturés (même loin du bord). Cette anfractuosité doit réellement constituer un abri contre le courant et non pas un simple marche pied.

4° **Blocs (BLO)** : granulats d'une taille supérieure à 20 cm et offrant une cache assez importante. Si un bloc est posé sur du sable ou dégagé par une érosion active, il n'offre plus la même qualité d'abri, il n'est pas noté comme bloc (blo) mais comme bloc sans anfractuosité (bls).

5° **Hydrophytes à feuilles flottantes (HYF)** : végétaux aquatiques noyés à feuilles flottantes (nénuphars, potamots...) formant un couvert horizontal, mais ne constituant pas un habitat très encombré dans la masse d'eau.

6° **Hélophytes (HEL)** : végétaux à tige ligneuse immergés en partie : densification d'éléments verticaux d'écartement centimétrique à pluri-centimétrique.

7° **Blocs sans anfractuosité (BLS)** : blocs posés sur le sable ou dégagés par l'érosion : il n'y a pas de caches proprement dites mais des zones de turbulence encore attractives pour le poisson.

8° **Végétations aquatiques rases (CHV)** : tous supports végétaux de faible hauteur offrant des vides de taille relativement réduite (importance centimétrique) mais très nombreuses (système de racines de petite taille, bryophytes ou autres végétaux hydrophytes ou amphiphytes en début de croissance...)

9° **Galets (GAL)**, taille 2 à 20 cm : anfractuosités d'ordre centimétrique, non colmatées.

10° **Galets et graviers mélangés (GGR)**, taille 0,2 à 20 cm.

11° **Graviers (GRA)** : taille 0,2 à 2 cm : anfractuosités d'ordre millimétrique.

12° **Sable (SAB)** : taille 0,2 à 2 mm.

13° **Éléments fins (FNM ou FNO)** : minéral ou organique granulométrie inférieure à 2 mm, substrat n'offrant aucun abri (vase, limon...), mais éventuellement des ressources alimentaires.

14° **Dalle (DAL)** : substrat dur horizontal ou vertical n'offrant aucun abri (roche, marne, surface artificielle jointive, palplanche ...) et peu ou pas de ressources alimentaires.

15° **Substrats particuliers** : lorsque la problématique de l'étude impose une description plus fine des supports végétaux (ex : cartographie des zones de frayère des espèces recherchant spécifiquement certains types de végétation...) ou lors de cartographie de stations particulières (ex : baissière en zone inondable avec une végétation de prairie terrestre...) des substrats supplémentaires peuvent être ajoutés, en particulier "Prairie immergée" (**PRA**) correspondant à une végétation terrestre graminée.

* *Choix du nombre de substrats :*

Les principes de descriptions proposés doivent parfois être modulés en fonction des caractéristiques de la rivière, des espèces présentes, de la précision des relevés... Cependant, le principe de travail fondamental est le suivant : **on indique un seul substrat lorsque l'un des deux substrats possède une attractivité nettement plus faible que l'autre** (HYI/fin ou BLO/GRA sont ainsi notés HYI ou BLO dans la plupart des cas). Un substrat secondaire devra être précisé suivant les règles suivantes :

1° Le **substrat le plus attractif** relevé sur une placette est considéré comme étant le substrat principal ou le substrat unique s'il représente au moins **25%** de la surface ou de l'encombrement spatial. Sinon, il est noté en substrat secondaire tandis que le support dominant est indiqué en substrat principal, même si ce n'est pas le plus attractif.

2° On indiquera également deux substrats lorsque la dimension des caches ou vides caractéristiques de ces substrats est très différente et n'intéresse pas les mêmes poissons (ou même écostades).

Exemples : les racines regroupant à la fois un substrat du type chevelu racinaire et une sous-berge seront notées comme "ber" en substrat principal et comme "chv" en substrat secondaire : les chabots trouveront refuge dans les petites racines, tandis que les chevaines, truites, perches... utiliseront la sous-berge. De la même manière, les zones mixtes de blocs/galets peuvent intéresser les truites, barbeaux, chevaines (dans les blocs) et les loches, chabots (dans les galets). Un substrat mixte composé principalement de petites racines, de sous-berges et branchages associés est noté "chv /bra" : chv en tant que support dominant en proportion, de

nature très différente de bra ou ber (taille des vides) et bra car ce substrat est plus attractif que ber. Tuf fracturé formant des caches et bryophytes = ber/chv.

3° Enfin lorsqu'un substrat ne **dépassant pas 75 %** de surface par placette demeure systématiquement moins attractif que le substrat conjoint (exemple sable à 40% ou 60% avec galets, graviers, blocs...) mais qu'il n'apparaît jamais en substrat "pur" ou principal (>25%), il passe substrat principal sur une fraction des placettes composites proportionnelle. Sa représentativité est appréciée empiriquement.

** Altération ou modification de l'attractivité*

Epaississement spatial, densification (suffixe "D" à la place de la troisième lettre)
Une indication de densité d'encombrement de l'habitat est utilisée pour préciser la description des supports végétaux lorsqu'ils sont fermés par une densification qui semble pénalisante pour la circulation et la vie du poisson.

Par exemple, herbier à cératophylles très serré, envahissant et encroûté, noté HYD, ou roselière très dense et fermée notée HLD. A contrario, des hélophytes très épars ou des herbiers clairsemés sur fond nus sont notés hle ou hye.

Algues filamenteuses (alg) : lorsque les algues colmatent un habitat, celles-ci sont indiquées en substrat secondaire uniquement en raison des cycles de développement très rapide de ces végétaux et pour rendre comparable les cartographies.

La mention supplémentaire "alg" ne sera indiquée que lorsque le développement des algues filamenteuses est visiblement **anormal** et qu'il pénalise l'habitabilité d'un substrat en colmatant les anfractuosités ; ce colmatage est par définition variable suivant les saisons (cf. Cycle de développement des algues filamenteuses).

Éléments colmatants (col) : lorsque des éléments fins colmatent un habitat ceux-ci sont indiqués en substrat secondaire uniquement de la même manière que pour les algues, afin de différencier les zones de sédimentation naturelle des secteurs qui voient leur habitabilité potentielle réduite par des pollutions physiques ou organiques. Soit les éléments fins constituent le substrat normal et unique de la placette en zone de sédimentation : **un seul substrat** est noté (fin) ; soit le colmatage par des éléments fins rend le substrat sous-jacent inutilisable par les poissons : le **substrat sous-jacent** est alors indiqué **associé** à la mention "col" pour indiquer la pollution par des matières en suspension. Cette notation permet de différencier les zones où les phénomènes de sédimentation sont naturels des secteurs qui voient leur habitabilité altérée.

Pavage des galets et des blocs (bls, gls) : lorsque des éléments minéraux grossiers sont pavés, c'est à dire lorsqu'ils composent une cuirasse sans anfractuosités ou/et sont englobés dans des substrats plus fins qui les ferment complètement leur attractivité est fortement diminuée. Cette tendance est plus particulièrement sensible pour les galets qui perdent beaucoup de leur capacité biogènes lorsqu'ils sont pavés.

** Représentation cartographique :*

Pour les stations où les relevés ont été réalisés à pied, la représentation des surfaces observées pour chaque substrat est réalisée à l'échelle sur un fond de carte sur toute la surface du cours d'eau. Le substrat secondaire ou l'indication d'altération est indiqué en inscrivant le code du substrat (3 lettres voir plus haut).

Description de la hauteur d'eau

Les hauteurs de la tranche d'eau sont mesurées à pied ou par écho-sondeurs sur des transects placés et divisés de façon à encadrer les ruptures de pente et les variations nettes de profondeur, ce qui représente 5 à 20 transects par station selon l'hétérogénéité du milieu. Ces mesures sont ensuite regroupées en 5 classes :

1	moins de 5 cm	4	71 à 150 cm/
2	6 à 20 cm	5	plus de 151 cm
3	21 à 70 cm		

Description de la vitesse du courant

La vitesse mesurée à 0,6 fois la hauteur d'eau sur les transects vitesses "représentatives" définis ci-dessus

1	moins de 10 cm/s	4	81 à 150 cm/s
2	11 à 40 cm/s	5	plus de 151 cm/s
3	41 à 80 cm/s		

Constitution des pôles d'attraction

L'intersection des 3 niveaux d'information précédents sert à délimiter les pôles d'attraction. Un pôle d'attraction est donc défini par le substrat principal uniquement, dans un but de simplification, par la hauteur d'eau et par la vitesse. Par conséquent, les pôles sont codifiés par les 3 lettres du substrat principal, par le chiffre correspondant à la classe de hauteur d'eau et par le chiffre de la classe de vitesse.

Expression des résultats et règles d'interprétations.

Les cartes obtenues permettent de visualiser l'attractivité ou l'uniformité des mosaïques d'habitats. Plus synthétiquement, des indices replacent les résultats obtenus pour chaque station sur des échelles d'hétérogénéité et d'attractivité biogène.

* Var = variété : nombre de catégories (de substrats/supports) ou de classes (de vitesses et de profondeurs) pour chacune des composantes de la qualité des mosaïques d'habitats. La variété des substrats/supports ne prend en compte que les grandes catégories descriptives. Les éléments composites (mélanges de substrats) ne rentrent dans le calcul que si les matériaux qui composent le mélange ne sont pas présents de façon isolée sur la station.

Exemple : Le mélange de galet-gravier (GGR) n'est pas comptabilisé pour la variété des substrats/supports si galets (GAL ou GLS) et graviers (GRA) sont rencontrés seuls sur la station. En revanche GGR rentre dans la variété si Galets et/ou graviers sont absents. Idem pour les blocs à anfractuosités (BLO) et les blocs sans anfractuosités (BLS) Idem pour les hélophytes (HEL) et ses dérivés denses HED ou éparses HLE, pour les hydrophytes immergés (HYI) et ses dérivés denses HYD et éparses HYE, ...

* Div = Diversité : mesure de la complexité et de l'hétérogénéité quantitative de la répartition des surfaces entre les catégories de chaque composante de la qualité de l'habitat.

$$\text{Div} = - \sum_n^1 S_i \times [(\log_{10}(S_i))]$$

où : n est le nombre de catégorie ($n=\text{var}$)
 S_i est la surface cumulée des placettes appartenant à la i ème catégorie

* Reg =

Régularité : rapport entre la diversité observée et la diversité optimale pour une même variété correspondant à l'équirépartition. * IAM = Indice d'Attractivité

Morphodynamique : cet indice sanctionne la variété des classes de hauteurs d'eau, de

$$\text{IAM} = [\sum_n^1 S_i \times \text{Attract.}(\text{subs.})] \times \text{Var}(\text{subs.}) \times \text{Var}(\text{h.e.}) \times \text{Var}(\text{v.})$$

où : $v.$: vitesses
 $h.e.$: hauteurs d'eau
 $subs.$: substrats/supports
 Attract. : attractivité des substrats supports.

vitesses et de substrats/supports ainsi que l'attractivité des substrats/supports pour l'ichtyofaune.

La hiérarchisation et la cotation de l'attractivité des substrats/supports a été déterminée statistiquement sur plusieurs dizaines de rivières. Ces scores prennent en compte les exigences de l'ensemble des pisciaires et intègrent donc l'ensemble des ressorts physiques nécessaires aux transferts trophiques.

Substrat	Code	Attractivité
branchages, grosses racines	BRA	100
sous-berges	BER	90
hydrophytes éparses	HYI	80
blocs avec caches	BLO	60
galets	GAL	50
hélophytes	HEL	40
chevelus racinaires, végétations rases	CHV	40
blocs sans anfractuosités	BLO	30
galets et graviers mélangés	GGR	25
graviers	GRA	20
galets pavés	GLS	10
litières organiques	LIT	10
sables	SAB	8
éléments fins, limons	FIN	4
fonds nus organiques, vases	FNO	3
dalles, surfaces indurées (sans cache)	DAL	1
Affluents, sources, résurgences		BONUS +25%

Cotation hiérarchisée de l'attractivité globale des substrats supports

Classe de Hauteurs d'eau	Limites
Classe 1	0 à 5 cm
Classe 2	6 à 20 cm
Classe 3	21 à 70 cm
Classe 4	71 à 150 cm
Classe 5	sup. à 150 cm

Limites de classes de hauteurs d'eau

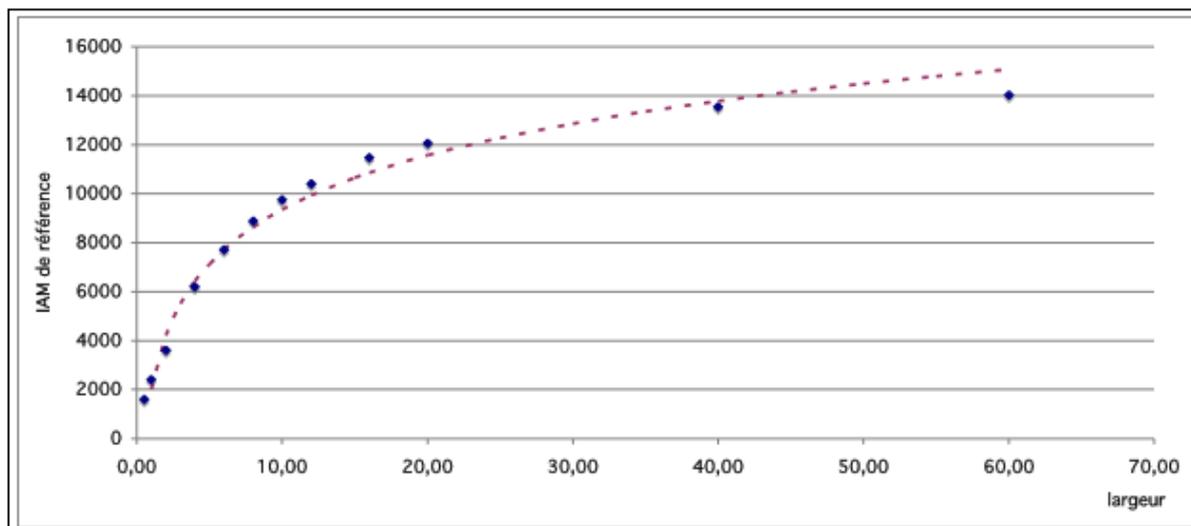
Classe de Vitesses d'écoulement	Limites
Classe 1	0 à 10 cm/s
Classe 2	11 à 40 cm/s
Classe 3	41 à 80 cm/s
Classe 4	81 à 150 cm/s
Classe 5	sup. à 150 cm/s

Limites de classes de vitesse d'écoulement

Conclusions et perspectives

L'IAM, encore expérimental, constitue une approche simplifiée car il ne tient pas compte de l'attractivité des pôles et en particulier de la variation de la valeur piscicole des substrats/supports selon les hauteurs d'eau et les courants qui les baignent. Toutefois la démarche suivie permet d'apprécier les variations spatio-temporelles quantitatives de l'hétérogénéité et de l'attractivité des mosaïques d'habitats.

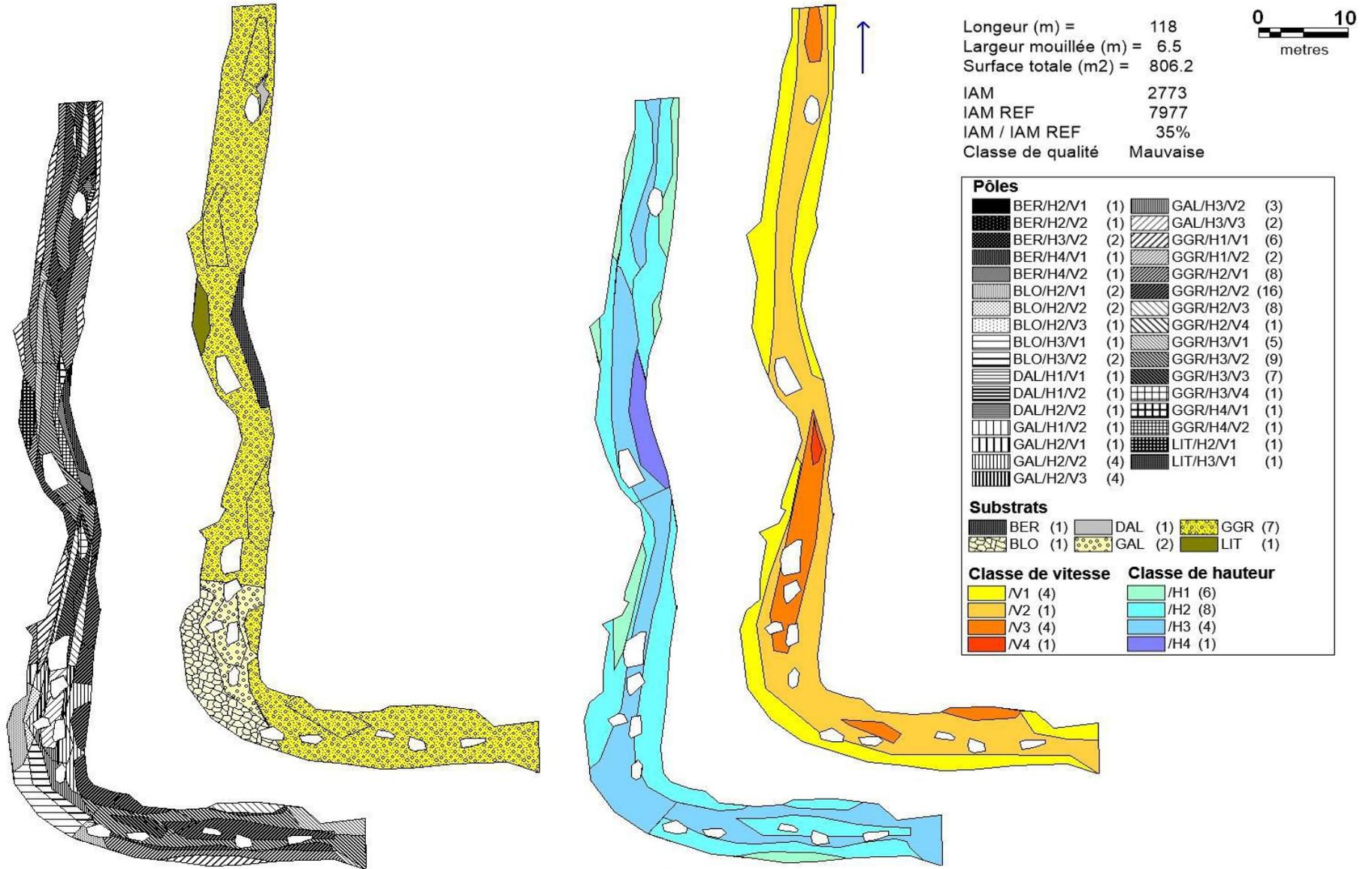
Cette approche pourra également servir à l'avenir pour évaluer l'évolution de la qualité physique lors de la reprise d'érosion et du transport probable des dépôts de sables, limons et graviers remis en circulation par des vidanges mais aussi en cas d'augmentation de la valeur des débits réservés. Enfin, deux séries de règles d'interprétations sont issues des premières applications de la méthode à des stations référentielles. La première permet d'apprécier la signification de l'IAM en fonction de la largeur du cours d'eau.

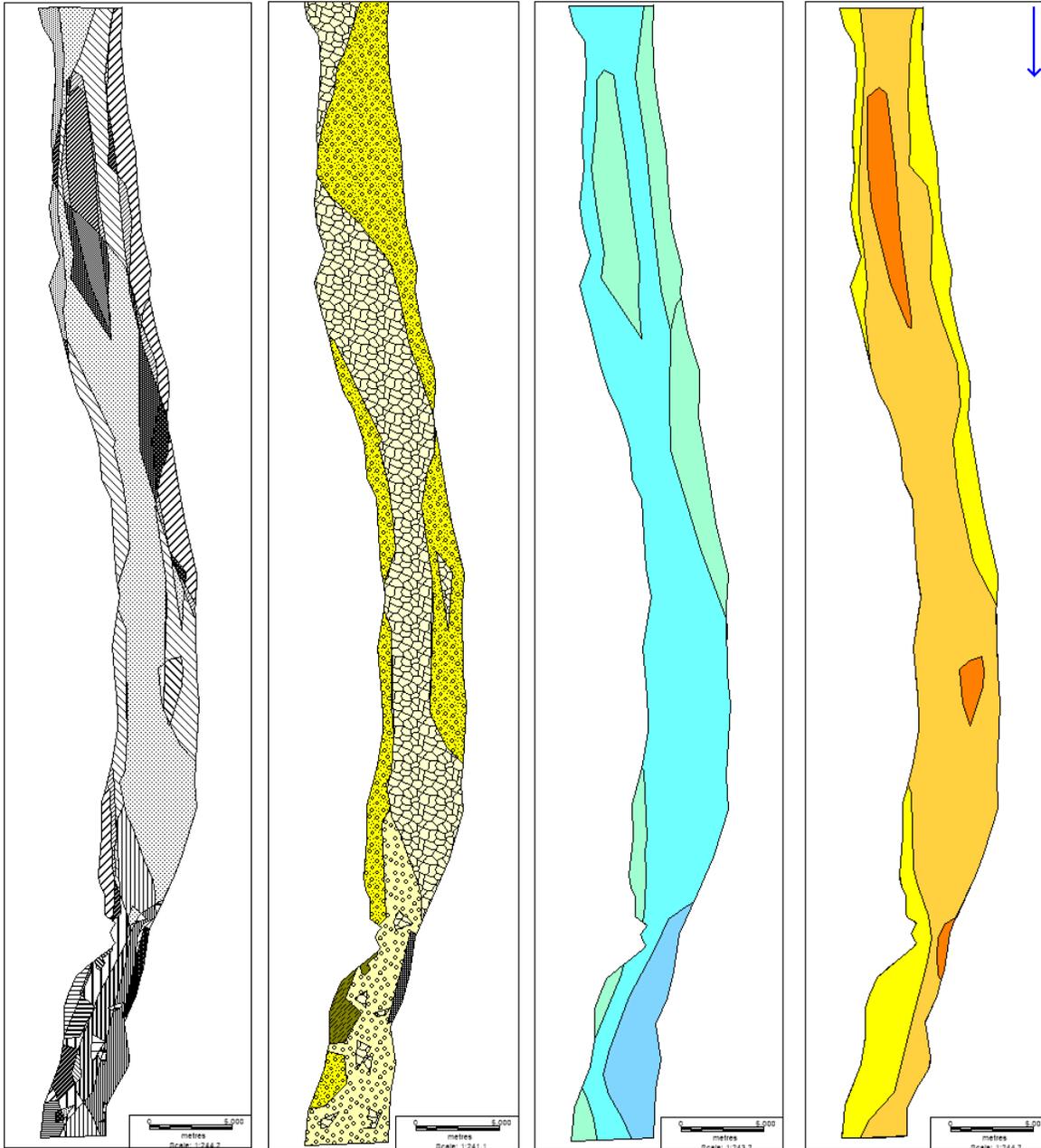


Abaque reliant l'Indice d'Attractivité Morphodynamique de référence en fonction de la largeur moyenne de la station
 $(IAM_{ref} = (3193,4 * LN(larg)) + 2000)$.

Annexe 15 Capacité habitationnelle / Cartes IAM
 Pages suivantes

Cartographies des pôles, substrats et différentes classes observées sur le Bief de la Chaille (BCH5-7)

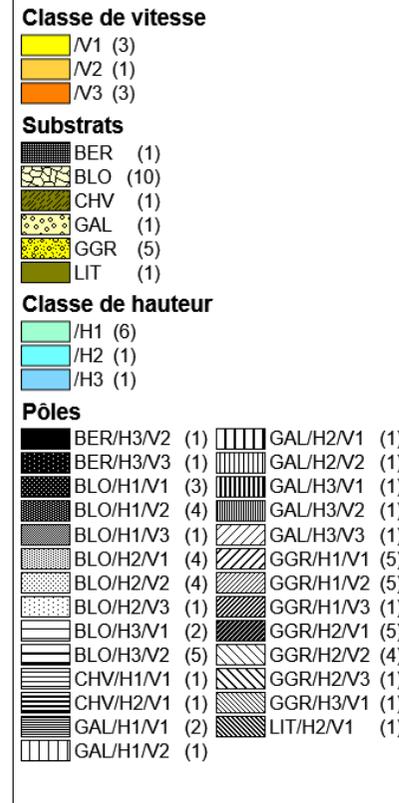


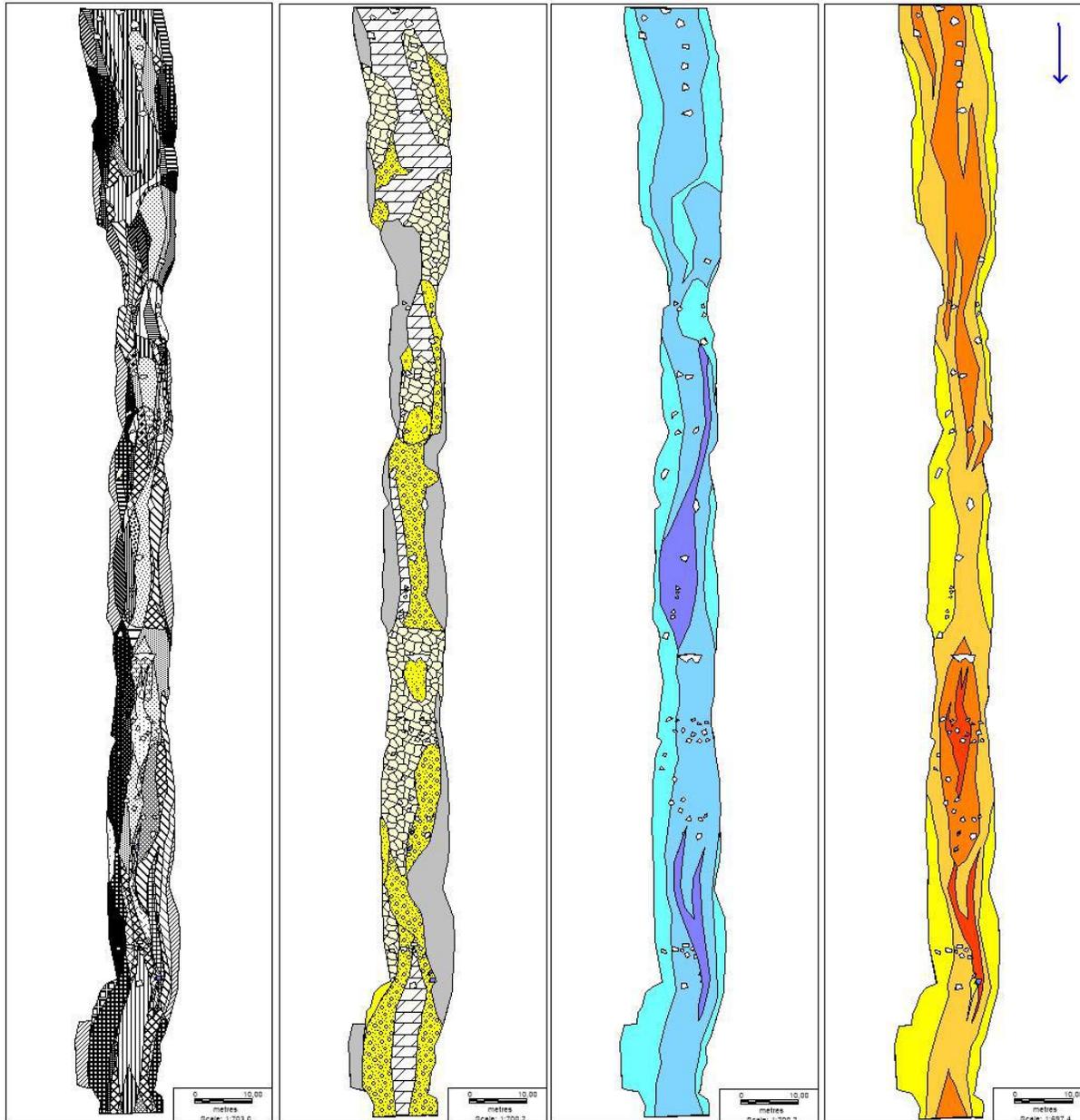


Cartographies des pôles, substrats et différentes classes observées sur la Biennette (BNT3-7)

Longeur (m) = 68
 Largeur mouillée (m) = 4.93
 Surface totale (m²) = 336.60

IAM 1940
 IAM REF 7095
 IAM / IAM REF 27%
 Classe de qualité Mauvaise





Cartographies des pôles, substrats et différentes classes observées sur la Bienne (BIE11-0)

Longueur (m) = 191
 Largeur mouillée (m) = 12.14
 Surface totale (m²) = 2163.5
 IAM = 2099
 IAM REF = 9972
 IAM / IAM REF = 21%
 Classe de qualité = Mauvaise

Pôles

■ BLO/H2/V1 (8)	▨ DAL/H3/V2 (4)
■ BLO/H2/V2 (7)	▨ DAL/H3/V3 (4)
■ BLO/H2/V3 (4)	▨ DAL/H3/V4 (1)
■ BLO/H2/V4 (1)	▨ DAL/H4/V1 (1)
■ BLO/H3/V1 (1)	▨ DAL/H4/V2 (2)
■ BLO/H3/V2 (5)	▨ DAL/H4/V3 (1)
■ BLO/H3/V3 (5)	▨ DAL/H4/V4 (1)
■ BLO/H3/V4 (1)	▨ GGR/H2/V1 (8)
■ BLO/H4/V1 (1)	▨ GGR/H2/V2 (8)
■ BLO/H4/V2 (3)	▨ GGR/H3/V1 (6)
■ BLO/H4/V3 (1)	▨ GGR/H3/V2 (7)
■ BLS/H2/V1 (3)	▨ GGR/H3/V3 (6)
■ BLS/H2/V2 (3)	▨ GGR/H3/V4 (2)
■ BLS/H2/V3 (2)	▨ GGR/H4/V1 (1)
■ BLS/H3/V1 (4)	▨ GGR/H4/V2 (2)
■ BLS/H3/V2 (3)	▨ GGR/H4/V3 (2)
■ BLS/H3/V3 (3)	▨ GGR/H4/V4 (2)
■ BLS/H4/V1 (1)	▨ GRA/H2/V1 (3)
■ BLS/H4/V2 (2)	▨ GRA/H2/V2 (1)
■ BLS/H4/V3 (1)	▨ GRA/H2/V3 (2)
■ DAL/H2/V1 (8)	▨ GRA/H3/V2 (2)
■ DAL/H2/V2 (7)	▨ GRA/H3/V3 (3)
■ DAL/H2/V3 (2)	▨ GRA/H3/V4 (1)
■ DAL/H3/V1 (5)	▨ SAB/H2/V1 (1)

Substrats

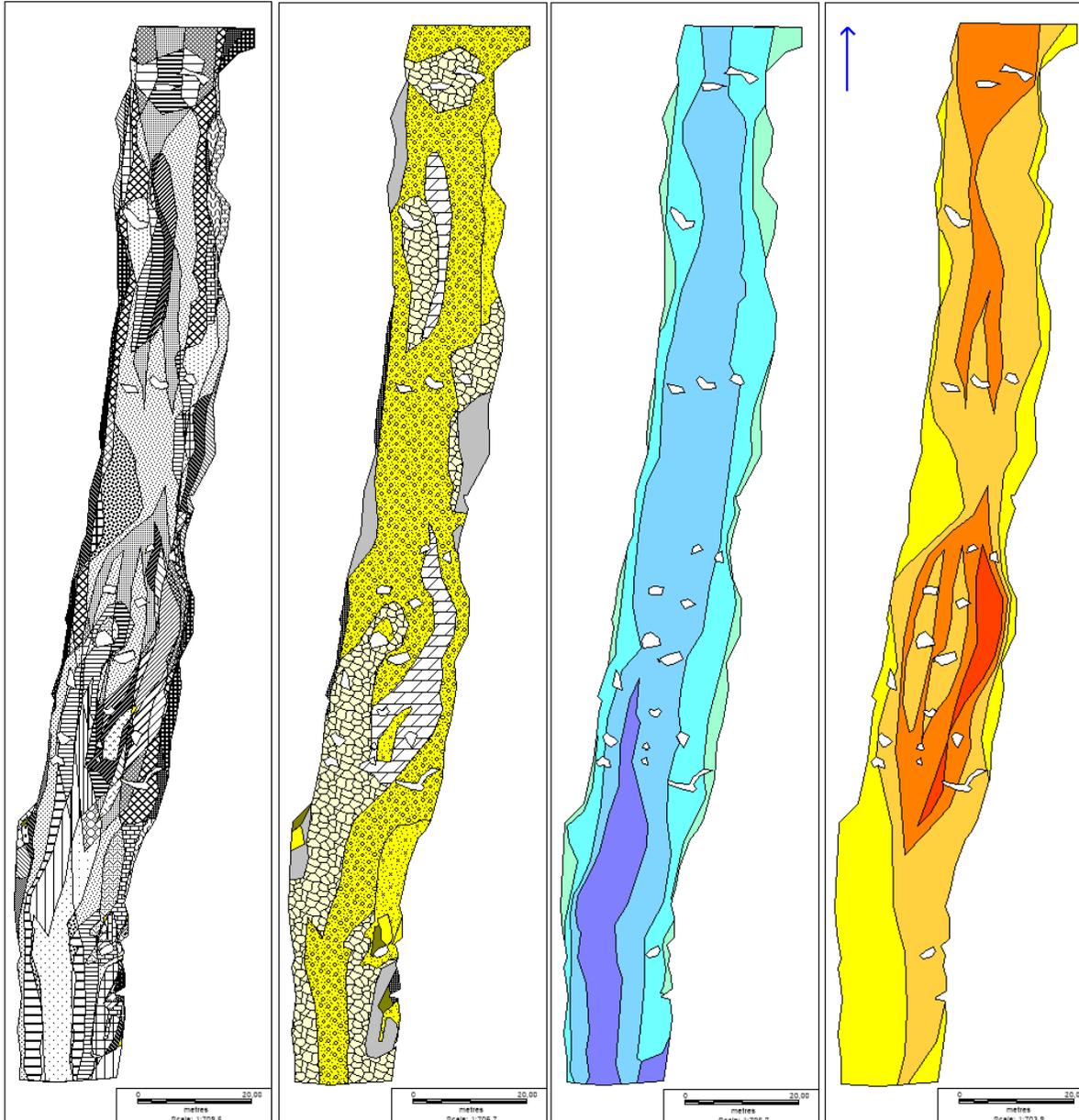
▨ BLO (6)	▨ DAL (7)	▨ GRA (5)
▨ BLS (4)	▨ GGR (6)	▨ SAB (1)

Classe de hauteur

■ /H2 (6)
■ /H3 (2)
■ /H4 (2)

Classe de vitesse

■ /V1 (7)
■ /V2 (1)
■ /V3 (4)
■ /V4 (2)



**Cartographies des pôles, substrats
et différentes classes observées
sur la Bienne (BIE28-0)**

Longeur (m) = 183
 Largeur mouillée (m) = 19.38
 Surface totale (m2) = 3553.3
 IAM 14164
 IAM REF 11466
 IAM / IAM REF 36%
 Classe de qualité Mauvaise

Pôles

BER/H1/V1 (2)	GGR/H1/V1 (2)
BER/H1/V2 (2)	GGR/H1/V2 (2)
BER/H2/V1 (2)	GGR/H2/V1 (1)
BER/H2/V2 (1)	GGR/H2/V2 (1)
BLO/H1/V1 (2)	GGR/H2/V3 (2)
BLO/H2/V1 (3)	GGR/H2/V4 (1)
BLO/H2/V2 (7)	GGR/H3/V1 (1)
BLO/H2/V3 (3)	GGR/H3/V2 (3)
BLO/H3/V1 (2)	GGR/H3/V3 (2)
BLO/H3/V2 (7)	GGR/H3/V4 (1)
BLO/H3/V3 (4)	GGR/H4/V1 (1)
BLO/H4/V1 (2)	GGR/H4/V2 (1)
BLO/H4/V2 (3)	GGR/H4/V3 (1)
BLO/H4/V3 (1)	GRA/H1/V1 (1)
BLS/H2/V2 (1)	GRA/H1/V2 (2)
BLS/H2/V3 (2)	GRA/H2/V1 (2)
BLS/H2/V4 (1)	GRA/H2/V2 (3)
BLS/H3/V2 (2)	GRA/H3/V2 (2)
BLS/H3/V3 (2)	GRA/H3/V3 (2)
BLS/H3/V4 (1)	LIT/H1/V1 (1)
DAL/H1/V1 (4)	LIT/H2/V2 (2)
DAL/H1/V2 (2)	SAB/H1/V1 (1)
DAL/H2/V1 (4)	SAB/H1/V2 (1)
DAL/H2/V2 (3)	SAB/H2/V1 (1)
DAL/H3/V1 (1)	SAB/H2/V2 (1)
DAL/H3/V2 (1)	

Substrats

BER (3)	DAL (5)	LIT (3)
BLO (6)	GGR (1)	SAB (3)
BLS (2)	GRA (5)	

Vitesses

V1 (1)
V2 (3)
V3 (2)
V4 (1)

Hauteurs

/H1 (2)
/H2 (1)
/H3 (1)
/H4 (1)

Annexe 16 Matériels et méthodes prélèvement et analyse chimique

Paramètres analysés

CHIMIE EAU		CHIMIE SEDIMENTS	
Paramètres globaux	Métaux	HAP	Métaux
Conductivité 25°C	Arsenic	Fluoranthène	Arsenic
COD (carbone organique dissous)	Cadmium	Benzo (b) fluoranthène	Cadmium
Ammonium	Chrome	Benzo (k) fluoranthène	Chrome
Azote kjeldhal	Cuivre	Benzo (a) pyrène	Cuivre
Nitrites	Mercure	Benzo (ghi) pérylène	Mercure
Nitrates	Nickel	Indéno (1, 2, 3 cd) pyrène	Nickel
Orthophosphates	Plomb	Anthracène	Plomb
Phosphore total	Zinc	Chrysène	Zinc
Dureté de l'eau détaillée (Ca + Mg)		Naphtalène	
Chlorures		Pyrène	
Sulfates		Phénanthrène	
Sodium		Benzo (a) anthracène	
Potassium		Acénaphtène	
		Acénaphtylène	
		Dibenzo (a,h) anthracène	
		Fluorène	

Suivi de l'eau

Analyses in situ :

Plusieurs paramètres sont mesurés directement dans le cours d'eau au niveau des différentes stations. Les mesures sont donc effectuées à l'aide d'appareils spécifiques (pH-mètre, conductimètre et oxymètre). Ces paramètres listés ci-dessous, sont sensibles aux conditions du milieu et susceptibles de varier dans des proportions importantes s'ils ne sont pas mesurés sur le site le jour J.

- La température (°C) de l'eau qui est un paramètre de confort pour les organismes aquatiques ;
- Le pH (potentiel Hydrogène) à l'aide d'un pH-mètre mesurant la concentration en ions H⁺ de l'eau. Ce paramètre détermine l'équilibre physico-chimique de nombreuses molécules (état d'ionisation) et dépend de multiples facteurs dont l'origine de l'eau ;
- La conductivité (µS/cm) de l'eau à l'aide d'un conductimètre mesurant la capacité de celle-ci à conduire le courant entre deux électrodes. Sa mesure permet d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau (la minéralisation) ;
- La concentration en oxygène dissous (mg.L⁻¹) et taux de saturation en oxygène (%) à l'aide d'un oxymètre. C'est en effet un paramètre écologique essentiel permettant la respiration des êtres vivant dans les milieux aquatiques ;

Analyse ex situ :

Echantillonnage

L'échantillonnage est réalisé dans le chenal d'écoulement principal, dans la veine d'eau principale, de préférence loin des berges et des obstacles présents dans le lit en se positionnant à contre-courant.

Période d'échantillonnage :

La réalisation des prélèvements a lieu lorsque les débits sont stabilisés. Une augmentation du débit, à partir de vitesses de l'ordre de 50 cm/s ne permettant pas d'obtenir des résultats représentatifs et fiable de la station (les particules fines étant transportées voire érodées).

Précautions de prélèvements et conditionnement

Toute perturbation de la zone d'échantillonnage (remise en suspension de sédiments) est évitée. De même, le rinçage exercé trois fois sur chaque flacon sera réalisé en aval de la zone d'échantillonnage.

Les prélèvements sont effectués à mi-hauteur afin d'éviter de prélever des eaux de surface et de remettre en suspension les dépôts du fond. Les flacons sont remplis à ras-bord et refermés dans l'eau afin d'éviter toute entrée d'air.

Les échantillons prélevés sont ensuite placés à une température entre 4°C et 8°C afin de stopper des éventuelles réactions biologiques et chimiques.

Matériel de prélèvement

Des flacons en plastiques données par les laboratoires sont utilisés afin de garantir l'absence d'interférences physico-chimiques avec les paramètres qui seront par la suite mesurés.

Prétraitements des échantillons au laboratoire

Les flacons d'eau prélevés sont analysés après une filtration d'1µm (préférence 0.45µm pour l'analyse des éléments traces) grâce à une pompe à vide.

Suivi des Sédiments

Généralités

Chaque station étudiée, est représentée par un échantillon global, composite¹. Cet échantillon sera, de préférence, constitué de 3 zones de prélèvement (lit, bordure rive gauche et rive droite).

Echantillonnage :

Les analyses sont effectuées sur la fraction granulométrique inférieure à 2 mm ; les sédiments les plus fins sont donc systématiquement recherchés. L'idéal est de prélever de la vase argileuse, du limon, et dans le dernier cas, du sable fin en évitant les chutes de berge récentes et les graviers. Ce sont des sables fins qui ont été prélevés lors des campagnes en raison de l'absence de substrat plus fin.

Seul les sédiments demeurant en permanence dans l'eau et sur toute leur épaisseur jusqu'au refus ou jusqu'au lit naturel du cours d'eau sont prélevés.

Matériels de prélèvement:

Les échantillons prélevés aux différents points sont versés directement dans un sachet de congélation au fur et à mesure, à l'aide d'un outil adéquat afin d'éviter la contamination de l'échantillon. La pelle à sable est le moyen de prélèvement le plus couramment utilisé et normalisé (pelle obligatoirement en inox ou en acier ordinaire non peint dite également de maçon).

Prélèvement et conditionnement :

Des précautions doivent être prises lors de la manipulation de l'échantillon. Notamment, prélever avec des mains propres (porter des gants si besoin, en nitrile ou vinyle) et faire attention à ne pas contaminer l'échantillon avec des fumées de moteur ou de cigarette.

Les prélèvements sont effectués préférentiellement sur des zones potentielles d'accumulation de sédiments fins. C'est-à-dire des zones situées en amont d'un obstacle mais aussi dans les zones de ralentissement de la vitesse du courant (<10 cm/s) qui peut être du, soit par une augmentation de la profondeur, soit par la présence d'obstacle (végétation aquatique, blocs) ou de méandre accentué.

Les points prélevés (qui constituent in fine l'échantillon) doivent présenter si possible des sédiments de même nature et en quantités équivalentes.

De préférence, l'épaisseur de la couche prélevée ne doit pas dépasser les 5 premiers centimètres. Néanmoins, il est nécessaire de prendre en compte le taux de sédimentation observé sur le terrain renseignant éventuellement sur l'épaisseur adéquate.

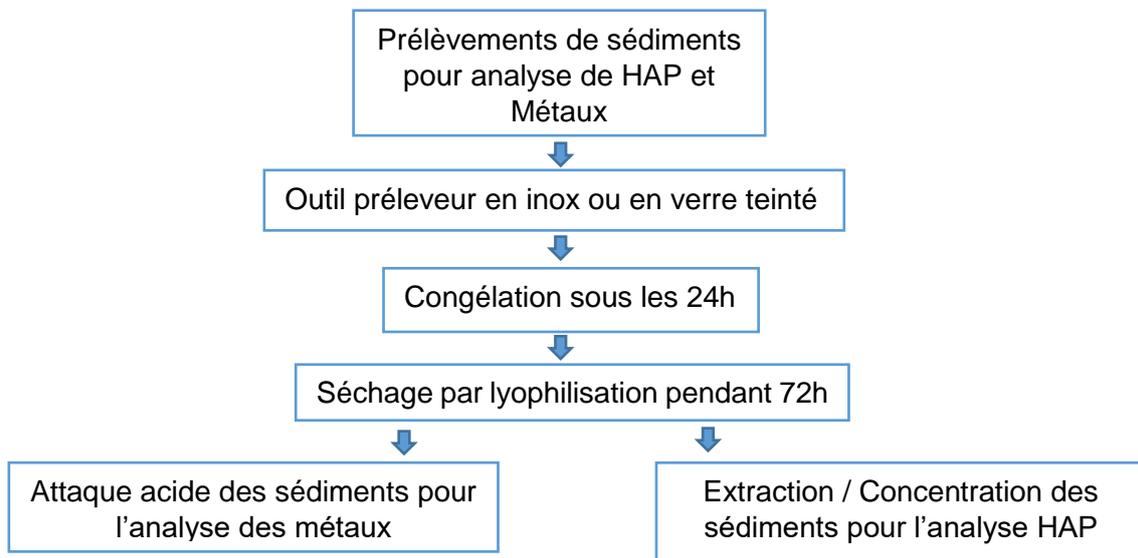
L'échantillon est constitué de 70 à 80 % en volume de sédiments complété d'eau de la rivière. Cette eau permet de maintenir les sédiments à l'abri de l'air afin d'éviter toute oxydation et de limiter la perte en substances volatiles.

La prise d'essai destinée à l'analyse étant souvent faible, de l'ordre du gramme voire moins pour les métaux, il est essentiel que le sédiment soumis à analyse soit suffisamment homogène afin d'obtenir un résultat représentatif de l'échantillon prélevé. Une homogénéisation de chaque échantillon est donc nécessaire en utilisant une spatule en inox ou autre objet ne pouvant contaminer les sédiments.

Les échantillons sont réfrigérés entre 2 et 8°C lors du transport, à l'abri de la lumière et livrés au laboratoire dans les 24 heures.

Prétraitement des échantillons au laboratoire

Avant la phase d'analyse en laboratoire, les sédiments subissent diverses étapes de prétraitement (congélation, séchage, broyage). Le déroulement du prétraitement est expliqué par un schéma ci-dessous (figure X, Etapes du prélèvement aux prétraitements avant l'analyse des paramètres).



Phase analyse laboratoire

Pour les eaux, à part l'ammonium analysé sous les 24h par chromatographie colorimétrique, les paramètres globaux (tels que, Chlorure, Nitrite, Bromure, Nitrate, Phosphate, Sulfate) sont analysés par chromatographie ionique.

L'ensemble des autres paramètres sont analysés par ICP-AES. L'analyse des paramètres pour les sédiments s'effectuera par ICP-MS.

ICP AES

L'ICP-OES ou ICP-AES mesure la lumière émise à une longueur d'onde caractéristique propre à un élément déterminé à partir d'ions à analyser ayant subi une excitation thermique. Le but de l'analyse sur ICP-AES dans le cadre de cette étude est de doser quelques éléments majeurs (240 à 850 nm) et mineurs (de 167 à 240 nm) recherchés dans les eaux.

L'appareil réalise d'abord une calibration, ensuite effectue trois mesures pour chacun des échantillons. L'aspiration de l'échantillon se fait par une pompe péristaltique et est introduit ensuite dans un nébuliseur où l'adjonction d'argon permet la formation d'un aérosol. Le passage dans la chambre de nébulisation permet de ne laisser passer que les plus fines gouttelettes qui sont injectées ensuite dans la torche.

Le plasma, qui permet l'excitation de l'échantillon, est constitué d'argon ionisé et formé dans la torche par un champ haute fréquence, la température atteint 6 000 à 10 000°C. La formation des ions dans le plasma se fait en 4 étapes à savoir : la désolvatation, la vaporisation, l'atomisation et l'ionisation.

Les ions excités se dés excitent en émettant des photons de longueurs d'onde caractéristiques des éléments. Le détecteur est un dispositif optique constitué de prismes et de réseaux qui permet le tri des longueurs d'onde émises. Ainsi de 167 à 240 nm ce sont les éléments les moins sensibles appelés traces et de 240 à 850 nm ce sont les éléments les plus sensibles appelés majeurs : Ca, Mg, Na, K.

Une fois le tri effectué, la quantification se fait à l'électronique de mesure. Les LDM (limites de Détection), les LQM (limites de quantification), les concentrations des différentes espèces présentes dans l'échantillon et le pourcentage de recouvrement qui est le ratio de la concentration de chaque élément contenu dans une solution témoin lors de l'analyse par la concentration certifiée de chaque élément sont donc connues et lues sur l'ordinateur.

Après analyse des différents paramètres par ICP-AES, la balance ionique de l'eau est déterminée. La balance ionique s'appuie sur le principe que la somme des anions et la somme des cations est équivalente. La balance ionique doit être équilibrée en admettant une erreur acceptable de 5%.

ICP-MS

La spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif, ou ICP-MS est un type de spectrométrie adapté pour détecter les éléments traces inorganiques mais aussi organiques. L'analyse est effectuée en ionisant l'échantillon au moyen d'une

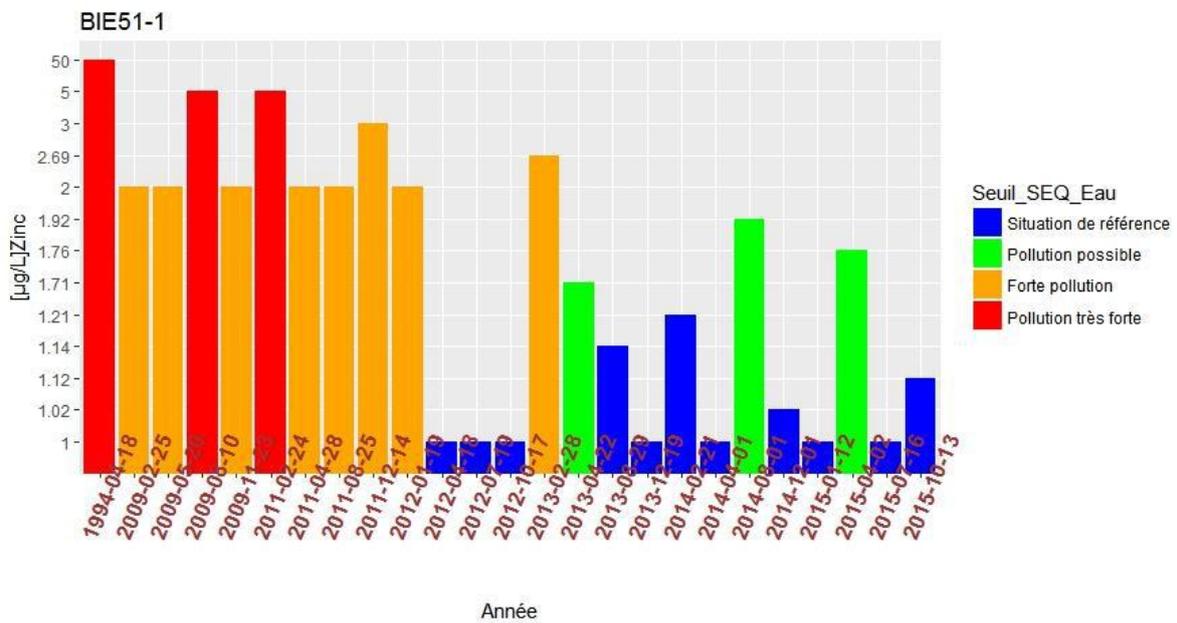
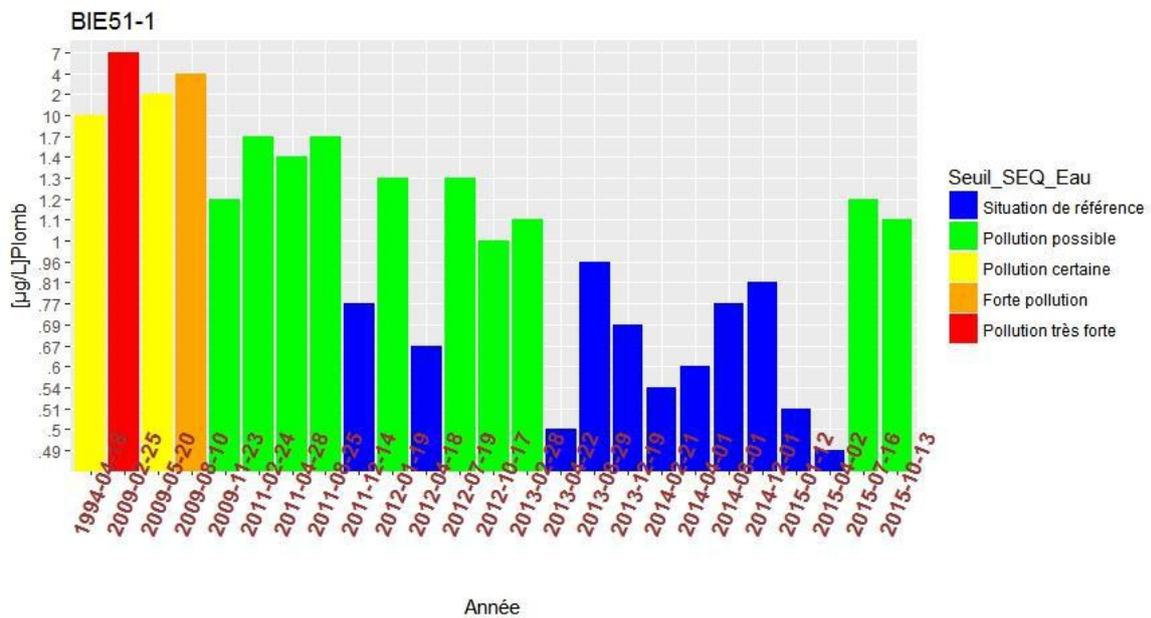
torche à plasma, puis en analysant le plasma résultant par spectrométrie de masse pour séparer et quantifier ces ions.

Les ions du plasma sont extraits à travers une série de cônes vers le spectromètre qui sont séparés en fonction de leur rapport masse sur charge (m/z). Un détecteur reçoit un signal proportionnel à la concentration en ions.

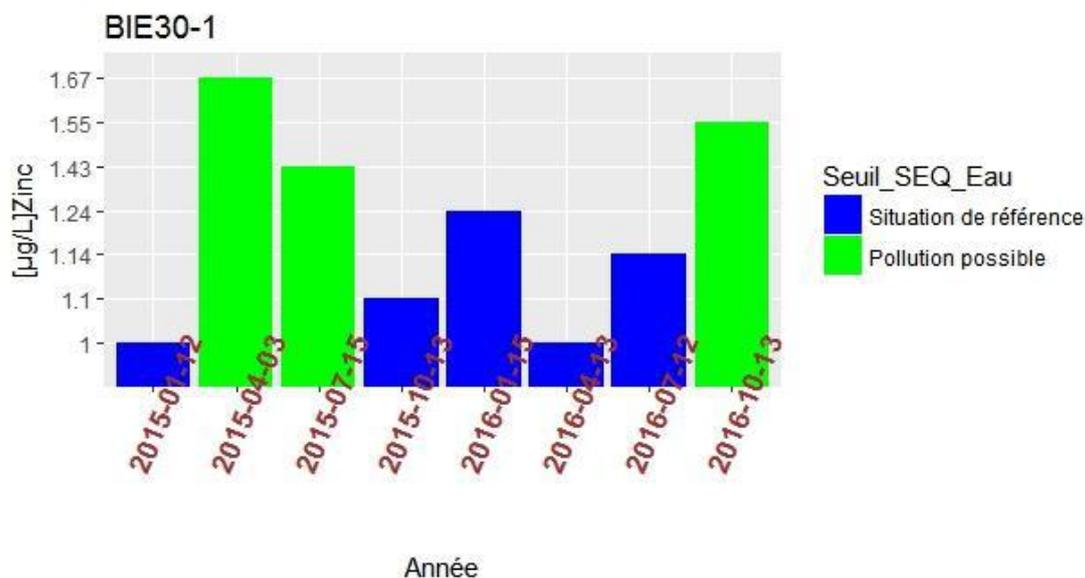
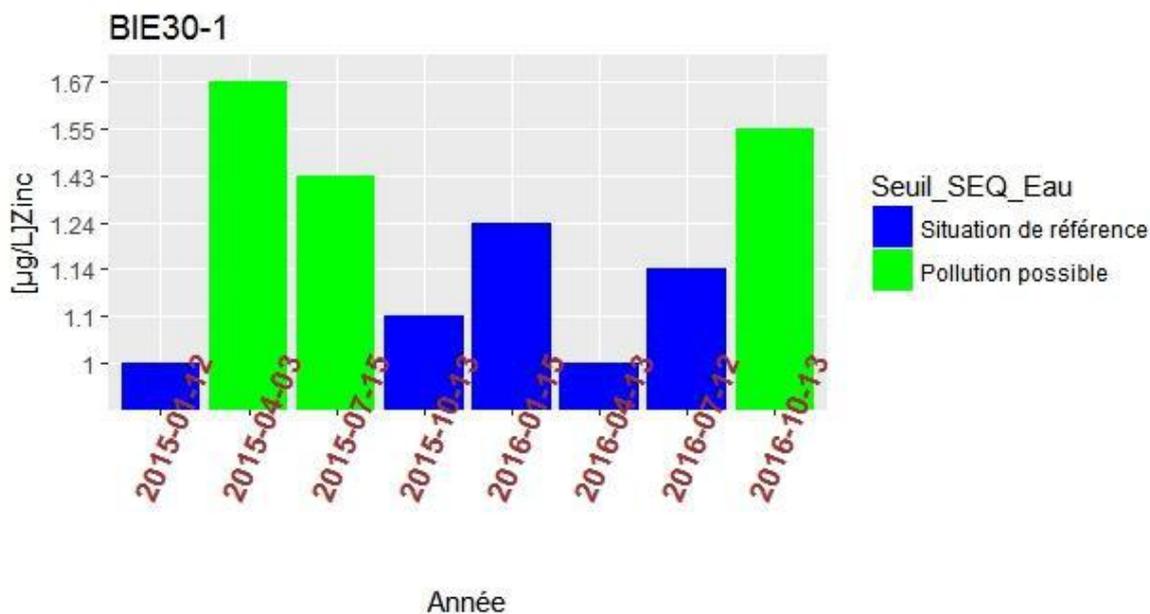
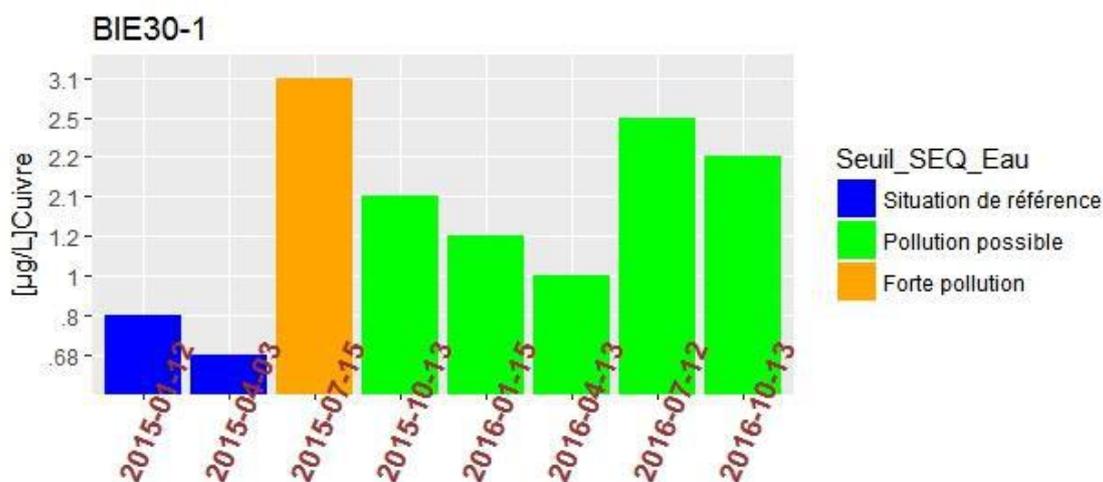
La concentration d'un échantillon peut être déterminée par calibration à l'aide de matériaux de référence certifiés, tels que des étalons à un ou plusieurs éléments. L'ICP-MS se prête également à la détermination quantitative par dilution isotopique, une méthode à point unique fondée sur un étalon enrichi en isotope.

Comparée à la spectrométrie d'absorption atomique, l'ICP-MS est plus rapide, plus précise et plus sensible.

Annexe 17 Evolution temporelle des éléments minéraux dans les eaux **Jeurre**



A l'Amont de Saint Claude



Annexe 18 Résultats complémentaires sédiments

	Aluminium	Titane	Manganèse	Fer	Cobalt	Selenium	Strontium	Molybdène	Etain	Antimoine	Thallium
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
BCH5-7	1536,87	33,19	146,73	11719,34	2,77	0,20	234,48	0,73	175,98	8,97	0,04
BNT3-7	2011,02	11,97	109,01	4121,84	1,23	0,23	267,82	0,53	0,49	0,10	0,04
BIE6-6	2087,39	23,68	249,75	6768,62	1,85	0,44	199,50	1,47	2,22	0,30	0,09
BIE11-0	1275,13	19,94	118,94	9598,94	2,18	0,22	236,40	0,95	4,17	0,36	0,03
BIE19-5	1092,91	29,19	113,56	9162,20	1,72	0,18	237,84	0,65	27,16	0,36	0,02
BIE28-0	1139,38	24,34	91,46	5173,06	1,31	0,16	279,79	0,77	3,62	0,31	0,03
BIE36-5	1251,17	10,99	92,26	5062,79	1,51	0,44	286,41	1,11	1,95	0,51	0,07
BIE40-3	1462,42	16,94	107,57	4816,58	1,34	0,22	284,75	0,43	1,03	0,12	0,02
BIE51-1	1299,61	16,66	100,10	3897,86	1,03	0,18	274,90	0,41	1,02	0,10	0,02

Annexe 19 ACP // méthodes d'analyses

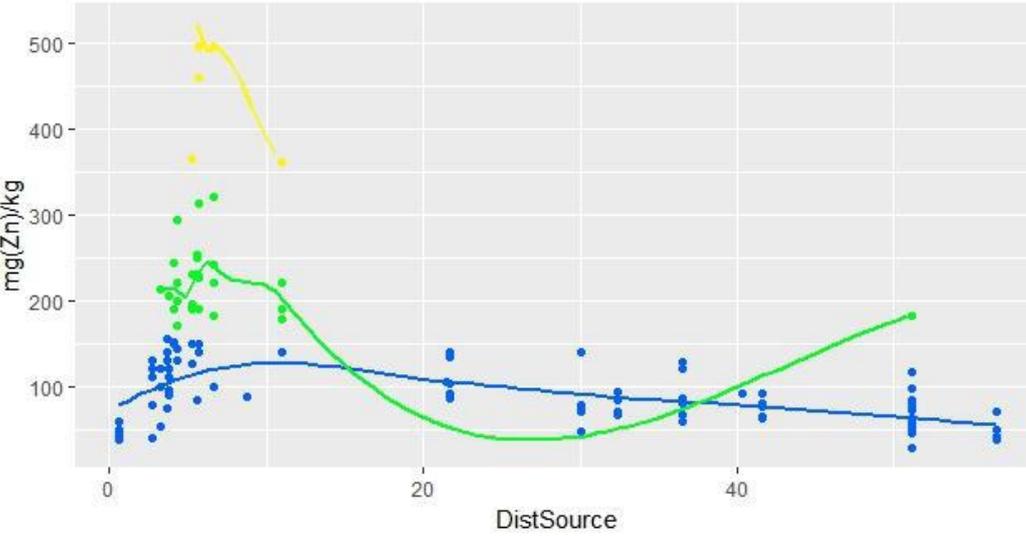
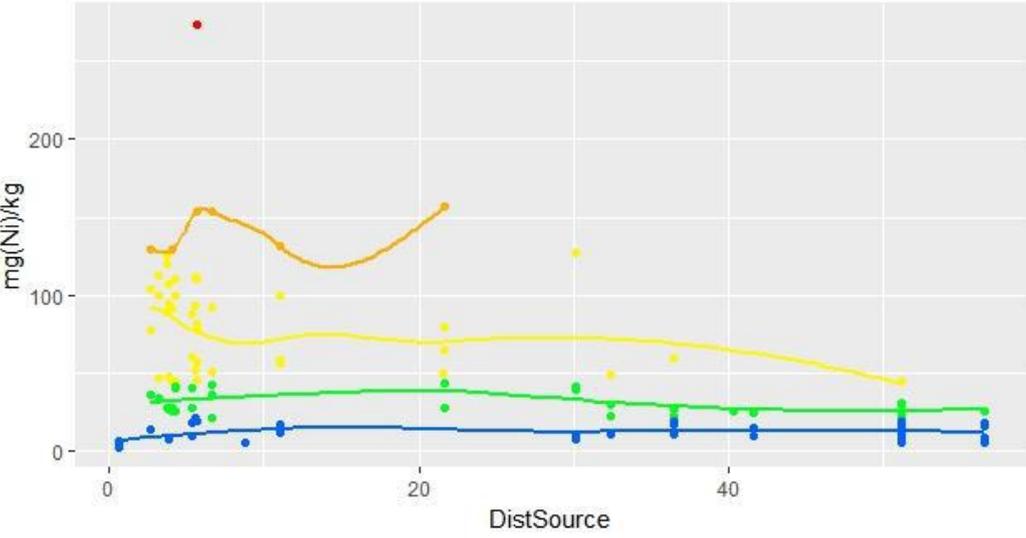
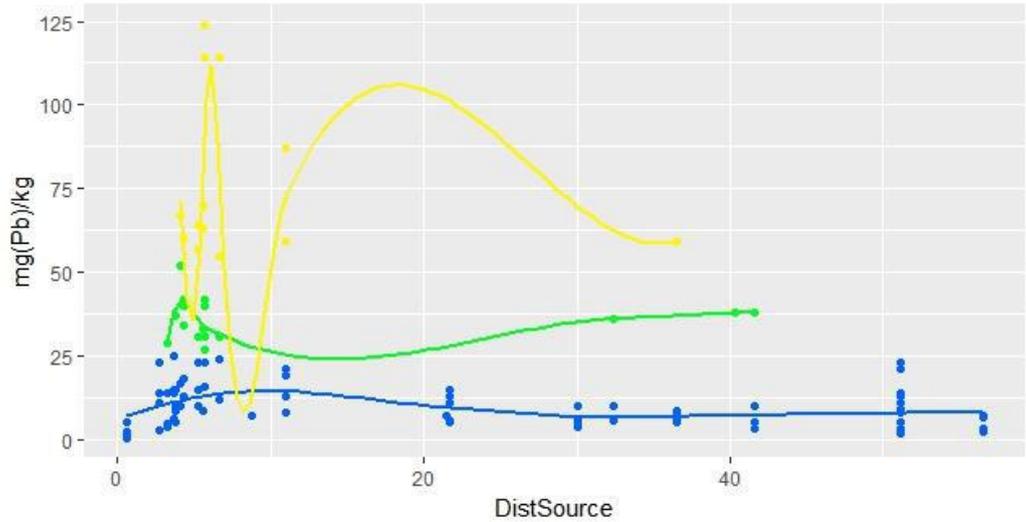
Une matrice de covariance est utilisée car les descripteurs sont de même unité, et elle permet de conserver ainsi les variances propres des descripteurs. De plus, la somme des valeurs propres (variance totale de la matrice de covariance) est égale à la somme des variances des descripteurs.

Le centrage des descripteurs revient à placer l'origine des coordonnées des objets au centroïde du nuage des point-objets.

L'éloignement d'un point-objet (c'est dire les stations) du centre, dans une direction donnée, signifie que ce point se distingue des caractéristiques moyennes des échantillons et qu'il indique une tendance que l'on peut expliquer éventuellement par la position des axes-descripteurs. Mais la fiabilité de l'interprétation est toujours assujettie à la variance représentée par le plan considéré.

Projection des axes-descripteurs Ce sont les axes d'origine que l'on représente par des flèches dans le nouveau système d'axes principaux. Les lignes de la matrice U représentent les coordonnées des vecteurs normés à 1. Sur le plan réduit, il faut interpréter surtout les axes-descripteurs qui sont bien représentés, c'est-à-dire ceux qui approchent leur longueur réelle unitaire dans l'espace multidimensionnel. L'orientation d'une flèche indique la direction du plus grand changement du descripteur, et sa longueur indique sa contribution sur le plan réduit. Pratiquement, on considère surtout les flèches qui égalent ou dépassent, en projection, le cercle des contributions équilibrées, c'est-à-dire la longueur qu'auraient ces axes s'ils présentaient tous la même contribution sur le plan réduit.

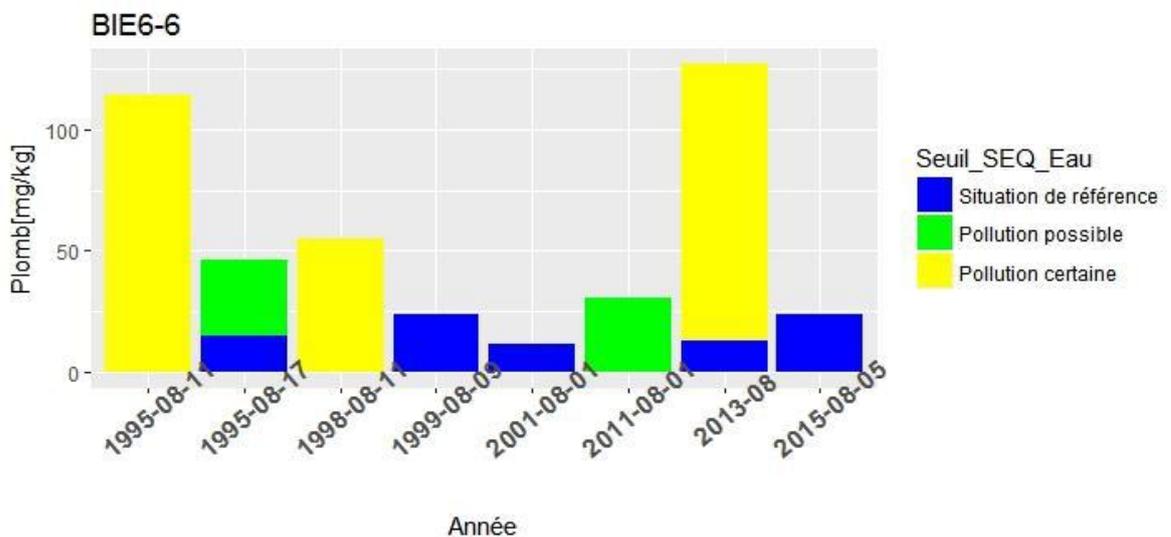
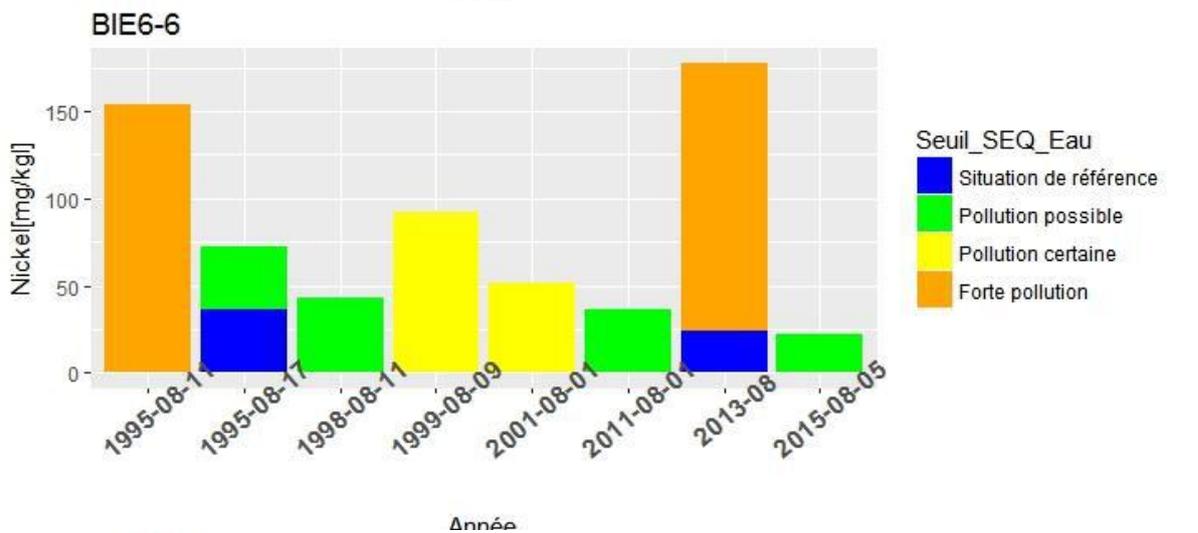
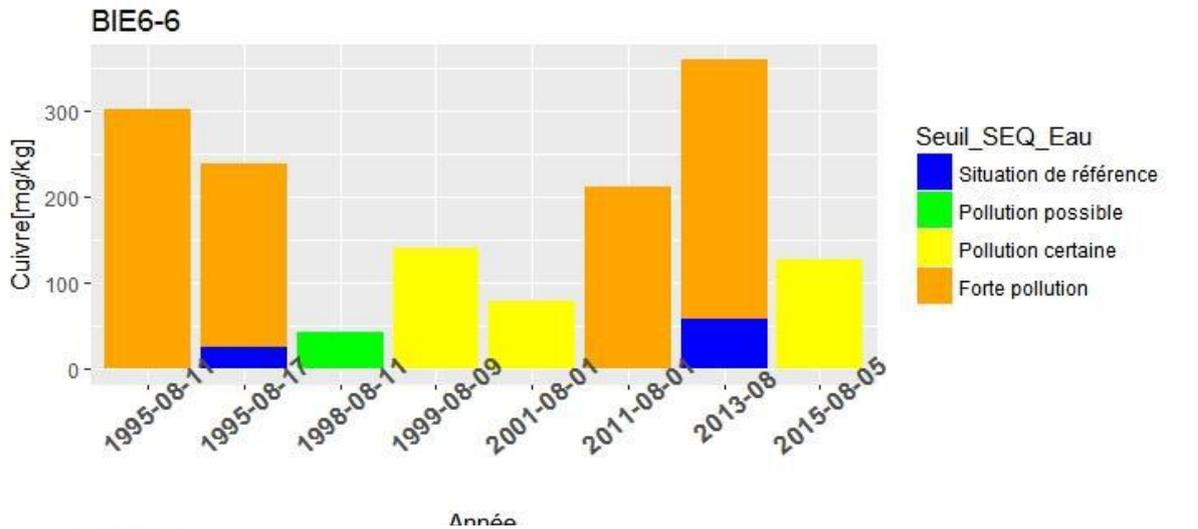
Annexe 20 Accumulation des éléments minéraux dans les bryophytes

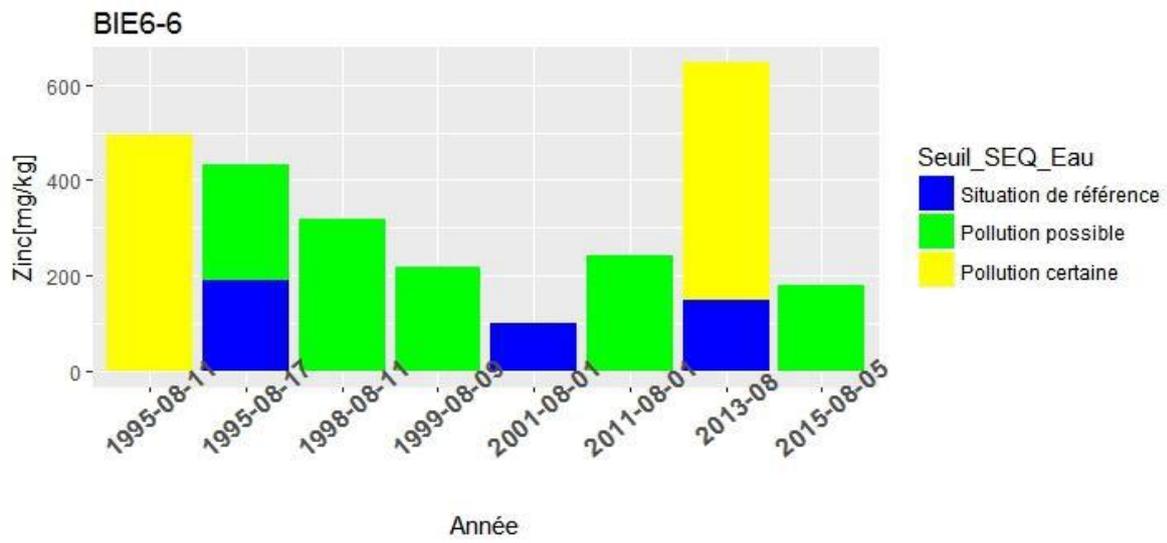


(Pb,Ni,Zn)

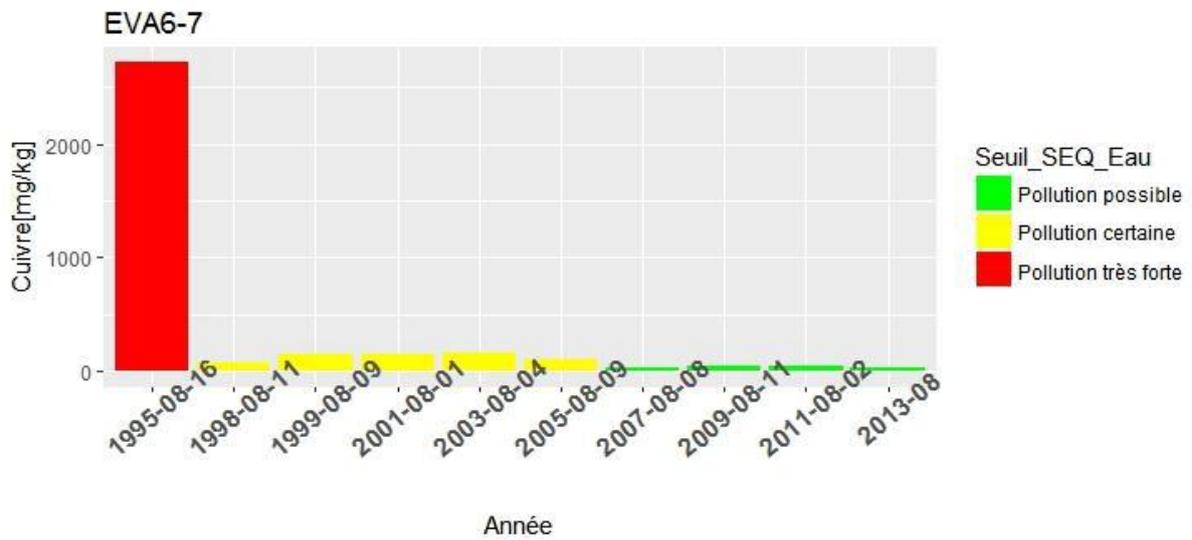
Annexe 21 Evolution temporelle des éléments minéraux dans des Bryophytes

Au Trou Bleu





Aval de l'Evalude



Annexe 22 Résultats HAP

Chrono environnement	Acenaphthylene	Fluorene	Phenanthrene	Anthracene	Fluoranthene	Pyrene	Benzo[a]anthracene	Chrysene	Benzo[b]fluor anthene
	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg
BCH5-7	19,1	<2,69	104,4	32,7	326,5	194,1	73,4	72,1	156,2
BNT3-7	15,3	30,6	258,6	94,8	422,3	281,9	150,6	144,1	86,7
BIE6-6	6,2	<2,69	15,9	6,7	52,4	48,7	30,7	39,6	30,7
BIE11-0	13,8	10,4	155,0	54,2	364,5	230,3	162,0	181,8	180,3
BIE19-5	11,7	5,7	71,6	22,3	147,5	106,4	60,6	68,2	54,4
BIE28-0	13,5	<2,69	70,9	28,6	276,4	170,0	66,7	66,0	103,4
BIE36-5	5,9	<2,69	179,5	52,5	412,8	230,3	83,9	70,4	99,4
BIE40-3	13,5	8,0	85,7	33,7	182,8	132,2	105,5	107,0	69,0
BIE51-1	11,5	4,9	63,2	21,4	140,9	113,6	66,8	72,5	48,7
Chrono environnement	Benzo[a]anthracene	Chrysene	Benzo[b]fluor anthene	Benzo[k]fluor anthene	Benzo[a]pyrene	Indeno[1,2,3- cd]pyrene	Dibenzo[a,h]anthracene	Benzo[g,h,i]p erylene	Somme_HAP
	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg
BCH5-7	73,4	72,1	156,2	103,8	170,3	144,9	20,0	128,7	1546,4
BNT3-7	150,6	144,1	86,7	91,8	111,4	56,7	13,4	41,1	1799,3
BIE6-6	30,7	39,6	30,7	30,9	35,4	31,3	10,5	27,0	365,8
BIE11-0	162,0	181,8	180,3	148,3	147,1	116,5	25,2	76,5	1865,9
BIE19-5	60,6	68,2	54,4	53,2	59,5	47,1	11,7	40,7	760,5
BIE28-0	66,7	66,0	103,4	87,7	122,8	95,8	5,6	78,4	1185,9
BIE36-5	83,9	70,4	99,4	84,5	125,8	70,2	10,8	54,2	1480,2
BIE40-3	105,5	107,0	69,0	76,8	83,2	55,9	12,5	43,3	1009,2
BIE51-1	66,8	72,5	48,7	55,2	63,9	43,7	13,0	36,2	755,3

Annexe 23 Méthode / MAG20

Protocole d'analyse semi-quantitative des Communautés benthiques : le MAG20. TELEOS 2000 Note technique interne rédigée par : DECOURCIERE H. (TELEOS) et DEGIORGI F. (TELEOS et LBE de l'Université FC)

Contexte, objectifs et fondements

Les méthodes d'analyse simplifiée des communautés benthiques, généralement exprimées sous forme indicielle, permettent d'apprécier l'évolution dans l'espace et dans le temps de **l'aptitude biogène globale** des sites d'eau courante. Toutefois, leur degré de sensibilité est insuffisant pour **mesurer quantitativement l'impact** de plusieurs catégories de perturbations affectant le fonctionnement des milieux lotiques à des échelles plus larges ou suivant des mécanismes pernicioeux.

Par exemple, l'Indice Biologique Global Normalisé (NF.T 90.350) ne sanctionne pas assez fidèlement les altérations de la qualité physique subie par les mosaïques d'habitat à l'échelle stationnelle. Généralement, il ne permet pas non plus de **quantifier** les effets de **contaminations toxiques insidieuses**, ni **d'évaluer** les conséquences des **colmatages** minéraux ou algaux. Ces « défauts » de sensibilité sont dus à la construction même de ces indices, conçus dans un dessin de perception plus générale et plus synthétique de l'état de santé des cours d'eau. En particulier, le nombre de prélèvements et la finesse de la prospection spatiale des macros invertébrées préconisées par la norme IBGN sont insuffisants pour apprécier, même de façon semi-quantitative, la densité des différents taxons. Parallèlement, son niveau de détermination, « familial » pour la plupart des groupes, est trop imprécis pour garantir sa sensibilité dans le cas d'altérations pernicioeux. Ces limites s'avéraient déjà flagrantes pour les indices précurseurs de l'IBGN, depuis l'indice biotique (VERNEAUX et TUFFERY 1967) jusqu'à l'IBG (VERNEAUX 1982), en passant par l'IQBG (VERNEAUX et al. 1978) et le CB2 (VERNEAUX et al. 1982). Certes des nuances importantes doivent être apportées sur la significativité et la robustesse des différentes méthodes (VERNEAUX 1984). En outre, la performance des indices a nettement augmenté depuis la mise au point de l'IBG (MONNOT 1983). Toutefois, ces différentes approches restent purement qualitatives et insuffisamment sensibles. Par conséquent, une méthode pratique plus puissante, le **MAG20**, a été élaborée. Les prémices de cette approche ont été conçues en 1994 au laboratoire d'hydrobiologie de la Faculté des Sciences de Besançon (BACCHI 1994, PARMENTIER 1994). Finalisée par TELEOS en 2000, elle est fondée sur une prospection beaucoup plus complète de l'espace fluvial, s'appuyant sur une description fine de l'habitat aquatique et sur une détermination plus poussée des taxons prélevés.

Modalités spatiales : nombre et répartition des prélèvements

Ce protocole d'échantillonnage balaye systématiquement les trois composantes majeures de l'habitat aquatique : nature du substrat, vitesse de courant et hauteur d'eau (tab. I), alors que le protocole de l'IBGN ne tient pas compte du dernier descripteur. En outre, le nombre de placettes prospectées, c'est-à-dire de prélèvements élémentaires réalisés au filet Sürber de 1/20 de m², est fixé à 20, contre 8 pour l'IBGN, afin de prospecter une gamme d'habitats plus diversifiée.

Codification des substrats/supports et hiérarchisation de leur attractivité

Codes	Désignation
S9	Bryophytes
S8	Spermaphytes immergés
S7	Éléments organiques grossiers (Litières, branchages, racines)
S6	Sédiments minéraux de grande taille (Pierres, galets) 2,5 cm à 25 cm
S5	Granulats grossiers 0,25 cm à 2,5 cm
S4	Spermaphytes émergents
S3	Sédiments fins +/- organiques "vases" $\leq 0,1$ mm
S2	Sables et limons $< 0,25$ cm
S1	Surfaces naturelles et artificielles (Roche, dalle, sols, parois) >25 cm
S0	Algues ou à défaut marne et argile

Codification non hiérarchisée des vitesses et de hauteurs d'eau

Code	Vitesses	Code	Hauteurs
V1	< 5 cm/s	H1	< 5 cm
V3	6 à 25 cm/s	H2	6 à 25 cm
V5	26 à 75 cm/s	H3	26 à 50 cm
V4	76 à 150 cm/s	H4	51 à 100 cm
V2	> 151 cm/s	H5	> 101 cm

Tableau I : codification directive de l'espace fluvial pour échantillonner les biocénoses benthiques

Lors de l'échantillonnage, chaque couple substrat-vitesse recensé est échantillonné au moins une fois dans la classe de hauteur d'eau où il est le plus représenté. Dans le cas d'une variété de substrat-vitesse inférieure à 20, les prélèvements sont dupliqués pour les couples dominants dans des classes de profondeurs différentes. Par rapport à la formulation initiale de ce protocole, certains substrats ont été regroupés tandis que les classes de vitesse sont explorées prioritairement aux profondeurs pour choisir les placettes de prélèvements, conformément aux recommandations de BACCHI (1994). Ces adaptations ont également permis de faire coïncider l'échantillonnage stratifié des macro-invertébrés avec la description objective des mosaïques d'habitats qui peut être réalisée parallèlement selon le protocole CSP-DR 5 (1997) finalisé par TELEOS (2001). Enfin, pour permettre d'effectuer des comparaisons temporelles avec des données acquises antérieurement à l'aide de l'application du protocole IBGN, les 8 premiers prélèvements élémentaires (sur 20), doivent être effectués en suivant les modalités directives cette norme, afin de pouvoir calculer l'indice stationnelle correspondant. Puis, les 12 dernières placettes sont échantillonnées selon le protocole MAG20, qui fournit des données semi-quantitatives standard sur l'organisation spatiale des macro-invertébrés.

Modalités temporelles : conditions d'application

Comme dans le protocole IBGN, l'échantillonnage doit être réalisé pendant l'**étiage estival**, afin de mieux percevoir l'impact des perturbations liées à la qualité de l'eau. Parallèlement, le **débit doit être stabilisé depuis au moins 10 jours** afin d'éviter les pertes ou les apports de faune par la dérive.

Niveaux de détermination

Les prélèvements, fixés à l'aide de formol à 10 %, sont tamisés à 500 µm, puis triés et examinés à l'aide d'une loupe binoculaire. Les Plécoptères, les Ephéméroptères, les Trichoptères, les Coléoptères, les Hétéroptères, les Odonates, les Mollusques, les Achètes et Turbellariés sont déterminés au genre ou à l'espèce si la taxonomie larvaire le permet. La limite taxonomique IBGN a été choisie pour les autres taxons. Cette détermination au genre pour la majorité des ordres, par rapport à la famille pour l'IBGN, paraît le niveau minimum indispensable pour analyser les structures semi quantitatives des biocénoses benthiques. L'identification à l'espèce serait idéale mais beaucoup plus coûteuse en temps pour la capture, puis la détermination en laboratoire. L'exemple de la famille des *Limnephilidae* (Trichoptère) qui compte en Franche-Comté 16 genres et 28 espèces, regroupant des exigences écologiques différentes, est, à cet égard, démonstratif. En effet, dans ce cas, la palette de nuances constituées par les variations d'abondance de chacun des 16 genres, perçue par l'analyse semi-quantitative utilisée ici, est réduite, dans l'IBGN, à la présence / absence de la famille.

Calcul indiciel et analyse semi-quantitative des biocénoses

La séparation des vingt prélèvements en deux groupes comportant respectivement huit et douze placettes de 1/20ème de m² permet de calculer les indices IBGN et CB2 avec le premier ensemble. Cette approche permet de comparer les données obtenues antérieurement, et qui ont, pour la plupart, été effectuées suivant le protocole IBGN. Pour l'instant, en l'absence de classification ou de cotation de la sensibilité des genres larvaires identifiables, il n'existe pas d'indice semi-quantitatif MAG20. En revanche les métriques classiques de description des peuplements peuvent être utilisées. Il s'agit essentiellement de la variété et de l'abondance, considérées globalement et par ordre.

BIBLIOGRAPHIE :

AFNOR, 1992. Détermination de l'indice biologique global normalisé (I.B.G.N.), *Norme NF.T 90-350*, 9 pages.

Bacchi M., 1994. Recherches sur la macrofaune benthique de la Haute-Loue - Structuration des habitats – Evolution des peuplements macrobenthiques depuis 1973, *Mémoire D.E.S.S. « Eaux continentales, pollution et aménagement »*, Université de Franche-Comté, Besançon, 38 pages + annexes.

Conseil Supérieur de la Pêche, Teleos, 1997. Etat physique des cours d'eau - Méthode de description à l'échelle du tronçon et de la station, *Rapport du Conseil Supérieur de la Pêche, Délégation régionale de Lyon*, 25 pages.

Monnot A., 1982. Indice biologique de qualité générale des cours d'eau (I.B.G.) – exemples d'application de la méthode, volume 4 (3), page 22-31.

Parmentier E., 1994 : Etude de la biocénose benthique du Drugeon - Application d'un nouveau protocole d'échantillonnage - Bilan de la qualité habitationale - Analyse biocénotique générique - Bilan de la qualité faunistique, *Mémoire D.U.E.H.H., Laboratoire d'Hydrobiologie de l'Université de Franche-Comté*, Besançon : 69 pages + annexes.

Tuffery G., Verneaux J., 1967. Une méthode zoologique pratique de détermination de la qualité des eaux courantes – Indices biotiques – Ann. Sci. Univ. Fr.-Comté, Besançon, volume 3, page 79-89.

Verneaux J. *et al.*, 1982. Expression biologique, qualitative et pratique de l'aptitude des cours d'eau au développement de la faune benthique – Un coefficient d'aptitude biogène : le Cb2, *Protocole expérimental, Trav. Lab. Hydrobiol. Univ. Fr.-Comté*, Besançon, 19 pages.

Verneaux J. *et al.*, 1982. Une nouvelle méthode pratique d'évaluation de la qualité des eaux courantes – un indice biologique de qualité générale (I.B.G.) – Ann. Sci. Univ. Fr.-Comté, Besançon, 4 (3), page 11-21.

Verneaux J., 1984. Méthodes et problèmes de détermination de la qualité des eaux courantes, Bull. Ecol., Tome 15, page 1-6.

Verneaux J., Fassel B., Malesieux G., 1976. Note préliminaire à la proposition de nouvelles méthodes de détermination de la qualité des eaux courantes, Trav. Lab. Hydrobiol. Univ. Fr.-Comté, et C.T.G.R.E.F., 16 pages.

Verneaux J., 1980. Fondements biologiques et écologiques de l'étude de la qualité des eaux continentales - Principales méthodes biologiques - in PESSON éd., page 289-345.

Annexe 24 Méthode indicielle / liste saprobiontes

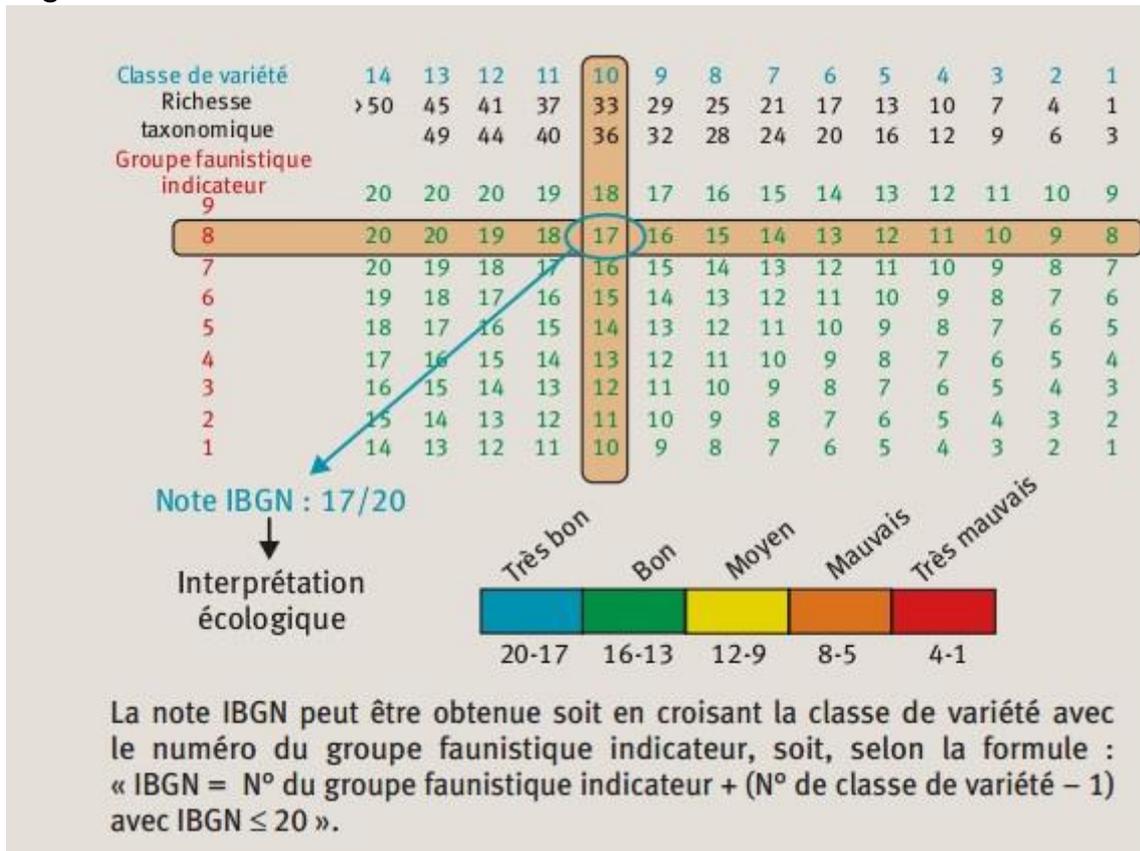
Valeur de l'IBGN selon la nature et la variété taxonomique de la macrofaune benthique (AFNOR, 1992).

valeurs de l'IBGN selon la nature et la richesse taxonomique des la macrofaune

	classe	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
	richesse	> 50	49-45	44-41	40-37	36-33	32-29	28-25	24-21	20-17	16-13	12-10	9-7	6-4	3-1
Taxons															
Chloroperlidae Perlidae Perlodidae Taeniopterygidae	9	20	20	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9
Capniidae Brachycentridae Odontoceridae Philopotamidae	8	20	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8
Leuctridae Glossosomatidae Beraeidae Goeridae Leptophlebiidae	7	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7
Nemouridae Lepidostomatidae Sericostomatidae Ephemeridae	6	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6
Hydroptilidae Heptageniidae Polymitarcidae Potamanthidae	5	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5
Leptoceridae Polycentropodidae Psychomyidae Rhyacophilidae	4	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4
Limnephilidae* Hydropsychidae Ephemerellidae* Aphelocheiridae	3	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3
Baetidae* Caenidae* Elmidae* Gammaridae* Mollusques	2	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2
Chironomidae* Asellidae* Achètes Oligochètes*	1	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

* taxons représentés par au moins 10 individus- les autres par au moins 3 individus

Annexe 25 Méthode de calcul de la note IBGN et équivalence réglementaire DCE.



Annexe 26 Méthode de Calcul du Cb2 (Coefficient Biogénique Secondaire)

<p style="text-align: center;">i = 9 (5)</p> <p>Astacidae (except. <i>A. leptodactylus</i> et <i>P. leniusculus</i>) Beraeidae Chloroperlidae Perlodidae Thremmatidae</p>	<p style="text-align: center;">i = 5 (16)</p> <p>Aeschnidae Blepharidae Bythinellidae Ceratopogonidae Cordulegasteridae Ecnomidae Elmidae Gomphidae Hydraenidae Leptoceridae Libellulidae Limoniidae Planariidae Sialidae Stratomyidae Tipulidae</p>	<p style="text-align: center;">i = 2 (8)</p> <p>Ancylidae Atyidae Baetidae Bithynidae Cambaridae Glossiphoniidae Planorbidae Valvatidae</p>
<p style="text-align: center;">i = 8 (8)</p> <p>Brachycentridae Capniidae Goeridae Oligoneuridae Perlidae Philopotamidae Siphonuridae Taeniopterygidae</p>	<p style="text-align: center;">i = 1 (5)</p> <p>Asellidae Chironomidae Dreissenidae Erpobdellidae Oligochètes</p>	
<p style="text-align: center;">i = 7 (11)</p> <p>Empididae Ephemeraeidae Glossosomatidae Helophoridae Heptageniidae Lepidostomatidae Molannidae Odontoceridae Polymitarcidae Potamanthidae Sericostomatidae</p>	<p style="text-align: center;">i = 4 (14)</p> <p>Aphelocheridae Calopterygidae Coenagrionidae Dugesiiidae Dytiscidae Ephemerellidae Gyrinidae Limnebiidae Limnephilidae Platycnemididae Simuliidae Sphaeriidae Tabanidae Unionidae</p>	
<p style="text-align: center;">i = 6 (14)</p> <p>Athericidae Dryopidae Halipidae Helodidae/Scirtidae Hydroptilidae Leptophlebiidae Leuctidae Nemouridae Osmylidae Phryganeidae Polycentropodidae Psychodidae Psychomyidae Rhyacophilidae</p>	<p style="text-align: center;">i = 3 (11)</p> <p>Caenidae Corixidae Dendrocoelidae Gammaridae Hydrobiidae Hydropsychidae Limnaeidae Neritidae Physidae Piscicolidae Viviparidae</p>	

$$Cb2 = In + Iv \quad (+/- 0,25)$$

Avec $Iv = 0,22 \times N$

$$In = 1,21 \times (\Sigma i \text{ max.} / K)$$

N = nombre total de taxons présents dans l'échantillon global,

n = nombre de taxons indicateurs représentatifs (nombre d'individus ≥ 3),

K = variable, fonction du rapport $n / 4$, rapprochée à l'entier par excès,

Σi équivaut à la somme des indices (i) les plus élevés,
en fonction de la variable K (nombre d'individus ≥ 3).

Annexe 27 Sélection taxons saprobiontes

Diptères, Chironomides, les Vers, les Mollusques, Gammarus, Aselus se développent en présence d'apports organiques naturels (accumulations végétales) ou artificiels (rejets); les espèces pouvant être qualifiées de saprobiontes au sens strict, résistent davantage que les autres, au moins momentanément, aux pollutions organiques et sont dans des conditions naturelles plus abondantes dans les secteurs à sédimentation dominante que dans les zones d'érosion.

Nemouridae se développent à la faveur des accumulations de débris végétaux et de dépôts organiques fins, souvent humiques et de faible épaisseur.

Hydropsyche : régime alimentaire détritivores prospèrent à l'aval des apports organiques

Leptophlebiidae, Caenidae, Ephemeridae : fouisseur ou détritivores se développent à la faveur des accumulations de débris végétaux ou de dépôts organiques fins recouvrant les supports (en particulier la base des mousses).

Annexe 28 Synthèse des résultats macrobenthiques obtenus par station

Indices des peuplements de macrobenthos																			
	BNT3-7		BCH5-7		BIE6-6		BIE11-0		BIE19-5		BIE28-0		BIE36-5		BIE40-3		BIE51-1		
	Eq-DCE	IBGN	Eq-DCE	IBGN	Eq-DCE	IBGN	Eq-DCE	IBGN	Eq-DCE	IBGN	Eq-DCE	IBGN	Eq-DCE	IBGN	Eq-DCE	IBGN	Eq-DCE	IBGN	
Calcul IBG :																			
Variété taxonomique :	26	28	21	24	23	22	25	26	22	24	29	31	26	23	23	30			
Taxon indicateur (G) :	Odontoceridae (8)	Odontoceridae (8)	Perlodidae (9)	Perlodidae (9)	Odontoceridae (8)	Leuctridae (7)	Odontoceridae (8)	Odontoceridae (8)	Perlidae (9)	Perlidae (9)	Perlidae (9)	Perlidae (9)	Leuctridae (7)	Odontoceridae (8)	Nemouridae (6)	Leuctridae (7)			
IBG (/20) :	15	15	15	15	14	13	15	15	15	15	17	17	14	14	12	15			
Calcul de robustesse :																			
Taxon indicateur (G) :	Leuctridae (7)	Leuctridae (7)	Leuctridae (7)	Leuctridae (7)	Leuctridae (7)	Nemouridae (6)	Leuctridae (7)	Leuctridae (7)	Odontoceridae (8)	Odontoceridae (8)	Odontoceridae (8)	Odontoceridae (8)	Nemouridae (6)	Nemouridae (6)	Sericostomatidae (6)	Lepidostomatidae (6)			
Robustesse IBG' (/20) :	14	14	13	13	13	12	14	14	14	14	16	16	13	12	12	14			
Calcul Cb2 :																			
Variété taxonomique :	26	28	21	24	23	22	25	26	22	24	29	31	26	23	23	30			
Indice variété Iv (/10) :	5,7	6,2	4,6	5,3	5,1	4,8	5,5	5,7	4,8	5,3	6,4	6,8	5,7	5,1	5,1	6,6			
Nombre total de taxons indicateurs n :	23	24	18	18	18	16	21	21	18	21	22	22	17	17	18	22			
Nombre de taxons indicateurs retenus k :	6	6	5	5	5	4	6	6	5	6	6	6	5	5	5	6			
kTaxons indicateurs (i) :	Empididae (7) Odontoceridae (7) Sericostomatidae (7) Athericidae (6) Hydroptilidae (6) Leuctridae (6)	Empididae (7) Heptageniidae (7) Odontoceridae (7) Athericidae (6) Sericostomatidae (7) Athericidae (6) Hydroptilidae (6)	Perlodidae (9) Heptageniidae (7) Athericidae (6) Hydroptilidae (6) Leuctridae (6)	Perlodidae (9) Heptageniidae (7) Athericidae (6) Leuctridae (6) Nemouridae (6)	Heptageniidae (7) Odontoceridae (7) Leuctridae (6) Nemouridae (6) Rhyacophilidae (6)	Heptageniidae (7) Leuctridae (6) Nemouridae (6) Rhyacophilidae (6)	Siphonuridae (8) Empididae (7) Heptageniidae (7) Odontoceridae (7) Odontoceridae (7) Sericostomatidae (7) Leuctridae (6) Leuctridae (6)	Empididae (7) Heptageniidae (7) Odontoceridae (7) Odontoceridae (7) Sericostomatidae (7) Leuctridae (6) Nemouridae (6)	Perlidae (8) Heptageniidae (7) Odontoceridae (7) Odontoceridae (7) Sericostomatidae (7) Leuctridae (6) Nemouridae (6)	Perlidae (8) Heptageniidae (7) Odontoceridae (7) Odontoceridae (7) Sericostomatidae (7) Leuctridae (6) Nemouridae (6)	Perlidae (8) Ephemeridae (7) Heptageniidae (7) Heptageniidae (7) Odontoceridae (7) Odontoceridae (7) Athericidae (6) Leuctridae (6)	Perlidae (8) Ephemeridae (7) Heptageniidae (7) Heptageniidae (7) Odontoceridae (7) Odontoceridae (7) Athericidae (6) Leuctridae (6)	Sericostomatidae (7) Leuctridae (6) Nemouridae (6) Psychodidae (6) Rhyacophilidae (6)	Odontoceridae (7) Athericidae (6) Nemouridae (6) Nemouridae (6) Rhyacophilidae (6)	Sericostomatidae (7) Athericidae (6) Nemouridae (6) Psychodidae (6) Rhyacophilidae (6)	Empididae (7) Lepidostomatidae (7) Sericostomatidae (7) Hydroptilidae (6) Leuctridae (6) Rhyacophilidae (6)			
Indice nature ln (/10) :	7,9	8,1	8,2	8,2	7,7	7,6	8,5	7,9	8,5	8,3	8,5	8,5	7,5	7,7	7,5	7,9			
lv + ln :	13,6	14,3	12,8	13,5	12,8	12,4	14,0	13,6	13,3	13,6	14,9	15,3	13,2	12,8	12,6	14,5			
Cb2 (/20) (lv+ln±0,25) :	13,5	14,5	13,0	13,5	13,0	12,5	14,0	13,5	13,5	13,5	15,0	15,5	13,0	13,0	12,5	14,5			
Abondance :	6 619	6196	4 769	5460	4 187	5115	3 333	5621	2 758	4105	2 747	3032	2212	3 551	3914	3153			
Variété générique :	36	35	27	30	25	25	30	33	27	29	37	40	29	28	28	33			
Sur les 20 prélèvements :																			
Abondance :	7887	11830	13724	11718	11213	6053	4184	10067	6993										
Abondance EPT	3782 (48%)	5961	5863	4504	4513	1715	827	870	1283										
Abondance EPTC	5232 (66%)	7731	6164	5396	6002	3801	1386	4239	3187										
Abondance saprobiontes et/ou polluorésistants	3931 (50%)	8120	8499	7396	6804	2487	2822	5618	3523										
Variété générique :	39	37	34	38	34	43	34	40											
Variété générique Ephéméroptères	4	4	5	7	6	7	6	3											
Variété générique Plécoptères	3	6	4	4	4	4	2	3											
Variété générique Trichoptères	8	9	5	8	7	9	5	7											
Variété générique Coléoptères	11	8	6	6	6	9	7	8											

Annexe 29 Evolution temporelle / Macroinvertébrés

	Blef de la Chaille			Amont Doye			Chassal		
	1989	2004	2017	1987	1996	2016	1989	1995	2017
Variété taxonomique (Famille)	25	29	24	18	25	34	30	28	23
Groupe Indicateur IBGN	9	9	9	9	8	9	9	7	6
IBGN (/20)	16	17	15	14	15	15	17	14	12 (14 pour eq DCE)
Groupe Indicateur Robustesse	7	7	7	8	7	8	7	5	6
Robustesse (/20)	14	15	13	13	14	14	15	12	12
Variété générique :		33	39		36	34		31	35
Variété EPTC		18 (3+2+7+6)	26 (4+3+8+11)		23 (6+4+7+6)	23 (4+5+6+8)		18 (5+1+4+8)	22 (4+3+8+7)
% EPTC		41,9% (33,1+1,8+1,7+5,4)	62% (12,8+31,9+2,5+14,8)		57,3% (27+21,2+3,7+5,3)	32,8% (17,9+8,6+1,8+4,6)		69,1% (65,7+0,1+1,0+2,3)	42,1% (6,0+0,9+1,7+33,5)
Variété générique polluosensibles (de très vulnérable à modéré)		9 (1+0+4+4)	12 (3+0+5+4)		11 (2+0+6+3)	13 (3+0+6+4)		6 (0+1+2+3)	11 (1+1+5+4)
% total des taxons polluosensibles (Très vulnérable+Vulnérable+Assez Vulnérable+Modéré)		3,4% (0,51+0+1,52+1,32)	0,34% (0,02+0+0,02+0,3)		5,7% (0+0+4,4+1,2)	10% (0+0+1,3+8,5)		1,6% (0+0,8+0,3+0,4)	2,1% (0,03+0,01+1+1,1)
Densité saprobionte		16048 (63,8%)	8120 (68,6%)		2617 (52,5%)	5139 (77,7%)		1660 (34,7%)	5618 (55,8%)

Annexe 30 Protocoles d'échantillonnage et résultats brut MAG20

Protocole d'échantillonnage station BNT3-7

RIVIERE :		Biennette	STATION :		BNT3-7	Fixation / conservation : Alcool 95°													
DATE :		22/06/2017	HEURE :		9h	CODE St° :		06400001											
Préleveurs :		Alexis BOURLIER Kévin AGNELOT	Phases :		A	B	C												
VITESSES SUPERFICIELLES (cm/s)			→	>150	150 à 75	75 à 25	25 à 5	<5											
SUPPORTS			↘ Habitabilité	V2 (I)	V4 (N6)	V5 (N5)	V3 (N3)	V1 (N1)	Recouvt %	Dom. / Marg.	Nb. Prlvt	N° Prlvt	Subs.	V	H				
Bryophytes			11 (S9)			I / 1	IV / 6		4	M	2	1	BRY	V5	H1				
Spermaphytes immergés (Hydrophytes) HYI			10 (S8)									2	LIT	V1	H3				
Elements organiques grossiers : litières LIT			9 (S7)					II / 2	2	M	1	3	GAL	V5	H1				
Chevelus racinaires, supports ligneux CHV, BRC			8 (S7)									4	GRA	V3	H1				
Sédiments minéraux de grande taille (galets, pierres) 2,5 cm à 25 cm GAL			7 (S6)			V / 3 XII / 12 20	VIII / 7 15	IX / 9 18	45	D	4 + 3	5	ROC	V5	H3				
Blocs >25 cm, inclus dans une matrice de galets BLO			6 (S1)			VI / 14	X / 10 17	11 19	30	D	2 + 3	6	BRY	V3	H2				
Granulats grossiers (graviers) 0,2 cm à 2,5 cm GRA			5 (S5)				VII / 4 13	XI / 8 16	15	D	2 + 2	7	GAL	V3	H2				
Spermaphytes émergents de la strate basse (Hélophytes) HEL			4 (S4)									8	GAL	V3	H2				
Sédiments fins avec débris organiques fin, vases <=0,1 mm VAS			3 (S3)									9	GAL	V1	H1				
Sables et limons < 0,2 cm SAB LIM			2 (S2)									10	BLO	V3	H1				
Algues ALG			1 (S0)									11	GAL	V1	H2				
Surf. uniformes dures nat. ou artif. (roches, dalles, marnes, argiles) ROC. DAL. MAR			0 (S1-S0)			III / 5			4	M	1	12	BLO	V5	H2				
Recouvt %									100			13	GAL	V3	H1				
												14	BLO	V5	H2				
												15	GRA	V1	H2				
												16	GRA	V1	H2				
												17	BLO	V3	H2				
												18	GAL	V1	H2				
												19	BLO	V1	H2				
												20	GAL	V5	H3				
												21							
												22							

Résultats bruts station BNT3-7

Station : BNT3-7		n prélevement																									
Cours d'eau : Biennette	Phases	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	DCE	IBG-DCE	IBGN	MAG20		
	Substrat	A	A	B	B	A	A	B	C	C	C	C	C	B								Total	Total	Total	Total		
	Vitesses	BRY	LIT	GAL	GRA	ROC	BRY	GAL	GRA	GAL	BLO	BLO	GAL	GRA	BLO	GAL	GRA	BLO	GAL	BLO	GAL	12 placettes	8 placettes	8 placettes	20 placettes		
	Hauteur	V5	V1	V5	V3	V5	V3	V3	V1	V1	V3	V1	V5	V3	V5	V3	V1	V3	V1	V1	V5						
ORDRE	FAMILLE	GENRE	H1	H3	H1	H1	H3	H2	H2	H1	H1	H1	H1	H2	H2	H2	H1	H2	H2	H2	H3	A+B+C	A+B				
PLECOPTERES	<i>Leuctridae</i>	<i>Leuctra</i>	14	58	9	82	1	6	34	153	22	24	13	4	54		9	46	2	17	1	5	407	204	357	554	
	<i>Nemouridae</i>	<i>Protonemura</i>	995		17	6	70	156				10			1	19	2		32		6	22	1273	1263	1244	1336	
	<i>Perlidae</i>	<i>Perla</i>								2		2		5						1			9	0	2	10	
EPHEMEROPTERES	<i>Baetidae</i>	<i>Indéterminé</i>	11		6	3	2	5															27	27	27	27	
		<i>Baetis</i>	35		40	19	20	30	8	10	14	45	3	22	6	21	7		88	8	59	72	264	173	162	507	
		<i>Ephemerellidae</i>		25	6	14		332	94	108		20	89	2	23	81	8	20	82	35		4	682	552	579	943	
		<i>Heptageniidae</i>								3			2				1						3	0	3	6	
		<i>Leptophlebiidae</i>	<i>Habroleptoides</i>														1						0	0	0	1	
TRICHOPTERES	<i>Hydroptilidae</i>	<i>Hydroptila</i>	1		1		3							8					1		1	15	7	5	17		
		<i>Allotrichia</i>														6			5		9	6	6	0	20		
		<i>Hydropsychidae</i>	6																		1	6	6	6	7		
		<i>Limnephilidae</i>		4		4		1				1							3				9	9	9	13	
			<i>Halesus</i>		3																		3	3	3	3	
		<i>Odontoceridae</i>	<i>Odontocerum</i>	1	8	6	52		2	111		3	2	1	13			4	12	2			184	69	180	217	
		<i>Sericostomatidae</i>	<i>Sericostoma</i>		2			2										3					4	4	4	7	
		<i>Rhyacophilidae</i>	<i>Rhyacophila (n+)</i>	48	12	1		1	9	1	3	1	1	2	3		2	1	6	2	6	15	80	72	75	114	
COLEOPTERES	<i>Dytiscidae</i>	<i>Hydroporus (I+a)</i>		4	1		1		6	2							1	1				14	12	14	19		
		<i>Oreodytes (I+a)</i>							2						1							2	0	2	4		
		<i>Elmidae</i>	470				12	426	1	13		1		1	1	2	1		1	2		1	926	911	922	932	
		<i>Esolus (I+a)</i>	19		6	5	5		3	5		7		13	3			1	2	2			63	38	43	71	
		<i>Limnius (I+a)</i>	7		4	7			4	14		2	5	1	3	1			3		1	4	46	22	36	57	
		<i>Riolus (I+a)</i>	108				20	71					6				4	1		2	4	1	209	203	199	217	
		<i>Oulimnius (I+a)</i>						5															5	5	5	5	
		<i>Helophoridae</i>	<i>Helophorus</i>																	1			0	0	0	1	
		<i>Scirtidae</i>	<i>Hydrocyphon</i>	6		2							7										15	8	8	18	
			<i>Elodes</i>	4																			4	4	4	4	
		<i>Hydraenidae</i>	<i>Hydraena</i>	51		7	4	2	19	2	1		7		6			1		3		1	99	85	86	122	
	DIPTERES	<i>Athericidae</i>				1	2		3				4	2	1								7	11	6	6	20
		<i>Ceratopogonidae</i>																	1				0	0	0	1	
<i>Chironomidae</i>		<i>(n+)</i>	1663	33	6	9	88	76	4	12	1	8	8	2	11	7	5	22	11	5	5	29	1909	1886	1891	2005	
		<i>Empididae</i>	4																				4	4	4	4	
		<i>Psychodidae</i>	43				1	4		1													49	48	49	49	
		<i>Simuliidae</i>	<i>(n+)</i>	88		2		57	4	1	3	1	3		6		6	1		4	12	28	171	158	155	429	
		<i>Stratiomyidae</i>			2																		2	2	2	2	
		<i>Limoniidae</i>		2		1				1	2								1		1		6	4	6	8	
		<i>Tipulidae</i>			1														1				1	1	1	2	
		<i>Viviparidae</i>	<i>Viviparus</i>		1																		1	1	1	1	
<i>Oligochètes</i>			1		1	16		5	21	1	2	4	1	1		3	4	1	2		3	48	23	44	66		
PLANAIRE	<i>Dugesidae</i>	<i>Dugesia</i>	52		1		1			1												2	55	54	55	57	
<i>Hydracariens</i>					1			6											1	1	2	7	7	7	11		

Protocole d'échantillonnage station BCH5-7

RIVIERE :		Bief de la Chaille	STATION :		Aval Bief de la Chaille			Fixation / conservation : Alcool 95°			
DATE :		22/06/2017	HEURE :		11h30	CODE St° :	BCH5-7				
Préleveurs :		Kévin AGNELOT Alexis BOURLIER	Phases :			A	B	C			
VITESSES SUPERFICIELLES (cm/s)			>150	150 à 75	75 à 25	25 à 5	<5				
SUPPORTS			Habitabilité	V2 ()	V4 (N6)	V5 (N5)	V3 (N3)	V1 (N1)	Recourt %	Dom. / Marg.	Nb. Privt
Bryophytes		v5>v3>v1>v4 11 (S9)		14	V = 1 20	6	10	10	D	1 + 4	
Spermapytes immergés (Hydrophytes) HYI		10 (S8)									
Elements organiques grossiers : litières LIT		9 (S7)					I = 2 / III	1	M	2	
Chevelus racinaires, supports ligneux CHV, BRC		8 (S7)									
Sédiments minéraux de grande taille (galets, pierres) 2,5 cm à 25 cm GAL		v3>v5>v1>v4 7 (S6)		XI = 15	IX = 7 19	VI = 3 XII = 18	X = 11	75	D	5 + 1	
Blocs >25 cm, inclus dans une matrice de galets BLO		v3>v5>v1 6 (S1)			13	VII = 5	17	6	D	1 + 2	
Granulats grossiers (graviers) 0,2 cm à 2,5 cm GRA		v3>v5>v1>v4 5 (S5)		16	8	VIII = 4	12	7	D	1 + 3	
Spermapytes émergents de la strate basse (Hélophytes) HEL		4 (S4)									
Sédiments fins avec débris organiques fin, vases <=0,1 mm VAS		3 (S3)									
Sables et limons < 0,2 cm SAB LIM		2 (S2)									
Algues ALG		1 (S0)									
Surf. uniformes dures nat. ou artif. (roches, dalles, marnes, argiles) ROC, DAL, MAR		0 (S1-S0)					II = 9, IV	1	M	2	
			100								
Classe			1 (3)	2 (5)	3 (4)	4 (2)	5 (1)				
Hauteur cm			< 5	5 - 25	25 - 50	50 - 100	> 100				

N	N° Privt	Subs.	V	H
1	14	BRYO	V4	H2
2	V = 1	BRYO	V5	H1
3	20	BRYO	V6	H2
4	6	BRYO	V3	H2
5	10	BRYO	V1	H2
6	I = 2	LIT	V1	H3
7	III	LIT	V1	H4
8	XI = 15	GAL	V4	H3
9	IX = 7	GAL	V5	H1
10	19	GAL	V5	H2
11	VI = 3	GAL	V3	H1
12	XII = 18	GAL	V3	H2
13	X = 11	GAL	V1	H1
14	13	BLO	V5	H3
15	VII = 5	BLO	V3	H2
16	17	BLO	V1	H2
17	16	GRA	V4	H3
18	8	GRA	V5	H2
19	VIII = 4	GRA	V3	H2
20	12	GRA	V1	H2
21	II = 9	DAL	V1	H1
22	IV	DAL	V1	H2

Résultats bruts station BCH5-7

Station : BCH5-7			n prélevement																										
Cours d'eau : Bief de la Chaille	Phases	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C	C	C	1	3	4	5	10	14	16	17	18	20	DCE	IBG-DCE	IBGN	MAG20		
	Substrat	LIT	LIT	DAL	DAL	BRY	GAL	BLO	GRA	GAL	GAL	GAL	GAL	BRY	BRY	BRY	BRY	GAL	BLO	BLO	GRA	GRA	GRA	Total	Total	Total	Total		
	Vitesses	V1	V1	V1	V1	V5	V3	V3	V3	V4	V5	V3	V1	V4	V5	V3	V1	V5	V5	V1	V4	V5	V1	2 placettes	8 placettes	8 placettes	20 placettes		
	Hauteur	H3	H4	H1	H2	H1	H1	H2	H2	H3	H1	H2	H1	H2	H2	H2	H2	H2	H3	H2	H3	H2	H2	A+B+C	A+B		2 placettes exclus		
ORDRE	FAMILLE	GENRE																					A+B+C	A+B		2 placettes exclus			
PLECOPTERES	Leuctridae	Leuctra	63	102	2				3	1	32	7	4	25	8			6	7	9	37	38	11	247	203	141	253		
	Nemouridae	Amphinemura															4							0	0	0	11		
		Protonemura	37	43	6	7	988		3	25		44	21	24	6	573	873	418	266	3	1		11	4	1	1204	1109	1496	3304
		Perlodidae							5	2	63						9	3	2							119	72	73	131
		Perlodes							28	3	2															67	33	33	67
	Perlidae	Perla						2																	2	2	2	2	
EPHEMEROPTERES	Baetidae	Indéterminé																							0	0	1	19	
		Baetis	25		16	15	15	18	44	15	105	76	93	29	44	149	53	30	45	118	8	29	20	451	148	266	932		
		Ephemerellidae		31	45	103	20	3	24	27	3	4	21	4	6	19	106	112	6	15	62	17		312	280	211	521		
		Heptageniidae																							29	12	12	39	
	Leptophlebiidae	Habroleptoidea																						1	0	0	1		
TRICHOPTERES	Hydroptilidae	Allotrichia			1	1															2			2	2	0	3		
		Hydroptila			1																3			2	2	2	6		
		Autre Limnephilinae	52	75																				23	136	130	55	86	
		Drusus						1										1	1						5	3	4	7	
		Melampophylax																							1	0	0	1	
		Odontoceridae	Odontocerum																						9	0	0	9	
		Psychomyiidae	Tidones																							0	0	1	1
		Sericostomatidae	Sericostoma																							0	0	0	1
	Rhyacophilidae	Rhyacophila	4	4		4	58	1	1	1	12	5	7	2	34	13	17	7	4	2	2	9	1	99	73	88	180		
COLEOPTERES	Dytiscidae	Graphoderus (+a)																							0	0	0	1	
		Hyphydrus (+a)	1	1																					2	2	1	1	
		Oreodytes (+a)																							0	0	0	1	
		Elmidae					71				35		7	2	36	75	95	79							115	71	166	405	
		Esolus (+a)				3	8	13					17	14		4				1	7		11	15	113	82	94	148	
	Limnius (+a)					55	9	1	14			11	3	3		3				9		8	4	20	93	79	86	140	
	Riolus (+a)					152	4	1	3			5		68	339	196	40			5		5	2	181	172	358	826		
	Hydraenidae	Hydraena		6		4	3	5	8	6	15	9	2	49	26	16	37	2	5		24	20	6	49	17	67	234		
DIPTERES	Athericidae				1								1	1										1	1	6	4	4	10
	Chironomidae	(n+)	101	71	92	218	1305	18	145	35	133	41	31	19	582	391	381	540	6	3	11	37	8	27	2209	1985	2034	3906	
	Empididae														6	2	1								0	0	1	9	
	Psychodidae														12	3									1	1	1	18	
	Simuliidae	(n+)				32	102	1				6	7	4	27	6	7	3			1		1		153	136	118	166	
	Tabanidae					16																			16	16	16	16	
AMPHIPODES	Gammaridae	Gammarus	36	34																				2	104	84	59	159	
	Oligochètes		8					8																7	51	40	55	115	
PLANAIRE	Dugesidae	Dugesia					11																		11	11	12	72	
Hydracriens																									0	0	3	29	

Résultats bruts station BIE6-6

Station : BIE6-6		Numéro de prélèvement																											
Cours d'eau : Bienne	Phases	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C	C	C	1	3	5	8	10	11	12	14	DCE	IBG-DCE	IBGN	MAG20				
	Substrat	GRA	GRA	GRA	GRA	BRY	GAL	GAL	BLO	BRY	GAL	BLO	BLO	BRY	BRY	BRY	GAL	GAL	BLO	GRA	GRA	Total	Total	Total	Total				
	Vitesses	V4	V5	V3	V1	V5	V5	V3	V5	V3	V4	V3	V1	V4	V3	V1	V4	V3	V5	V1	V1	12 placettes	8 placettes	8 placettes	20 placettes				
	Hauteur	H2	H2	H3	H4	H1	H2	H2	H2	H2	H2	H3	H2	H2	H3	H3	H3	H3	H3	H4	H2								
ORDRE	Famille	Genre																					A+B+C	A+B					
PLECOPTERES	<i>Leuctridae</i>	<i>Leuctra</i>	21	14	29	16		12	24	27		19	5				26	37	38	24	2	167	143	111	294				
	<i>Nemouridae</i>	<i>Amphinemura</i>										1										1	0	0	1				
		<i>Protonemura</i>	6	2	3	4	384	1			186	7	15		153	116	162	4	1	2	2	608	400	591	1054				
		<i>Perla</i>										1								1		1	0	0	2				
EPHEMEROPTERES	<i>Baetidae</i>	Indéterminé					3	5				2				4	9	5		6	10	8	10	34					
		<i>Baetis</i>	140	21		6	150	68	76	235	96	181	89	11	51	228	40	72	44	39	126	169	1073	696	735	1842			
	<i>Ephemerellidae</i>	<i>Seratella</i>	14	12	22	65	594	4	28		424	7	46	14	25	344	346	9	187	58	7	10	1230	739	1130	2216			
	<i>Heptageniidae</i>	<i>Ecdyonurus</i>																6	3				0	0	0	9			
		<i>Rhithrogena</i>	38	5		4		18	22	13		24		5				28	11	32			129	100	58	200			
	<i>Siphonuridae</i>	<i>Siphonurus</i>														1							0	0	0	1			
TRICHOPTERES	<i>Hydroptilidae</i>	<i>Hydroptila</i>																1					0	0	0	1			
		<i>Drusus</i>		2	1																		3	3	3	3			
	<i>Odontoceridae</i>	<i>Odontocerum</i>		2		1																	3	3	2	3			
	<i>Sericostomatidae</i>	<i>Sericostoma</i>			1																		1	1	1	1			
	<i>Rhyacophiliidae</i>	<i>Rhyacophila (n+)</i>	8	3	1	3	15	3	4	2	27	9	6	2	27	34	8	20	15	3	11	1	83	39	61	202			
COLEOPTERES	<i>Dytiscidae</i>	<i>Oreodytes (I+a)</i>		1	2	2														2			5	5	3	7			
	<i>Elmidae</i>	<i>Elmis (I+a)</i>					16	1	1	1	65		1	1	2	90	37		3				85	18	84	217			
		<i>Esolus (I+a)</i>	4	5	5	1	1	3	2	1		1	1					1					24	22	18	25			
		<i>Limnius (I+a)</i>	6	2	6	4	1	6	2	1		1						1	5	1	1		29	28	18	37			
		<i>Riolus (I+a)</i>									2		2				2		1				4	0	4	7			
		<i>Hydraenidae</i>	<i>Hydraena</i>	2						1	1					1		1			2		4	4	2	8			
DIPTERES	<i>Athericidae</i>										1								1				1	1	1	2			
	<i>Blepharecidae</i>	(n+)	2								1								1				3	2	0	3			
	<i>Chironomidae</i>	(n+)	117	26	72	63	1262	213	9	23	375	1356	80		933	1174	660	103	6	102	9	4	3596	1785	2060	6587			
	<i>Empididae</i>															1							0	0	0	1			
	<i>Psychodidae</i>											2				1							2	0	0	3			
	<i>Simuliidae</i>	(n+)	29	6		4		8	3	12	18	32	4		211	92	10	6	1	8	27	11	116	62	51	482			
	<i>Limoniidae</i>		1	3	5				1										1					10	10	9	11		
	<i>Tipulidae</i>		1																				1	1	1	1			
AMPHIPODES	<i>Gammaridae</i>	<i>Gammarus</i>		2		1	9				58					53	68		19	3	2		70	12	69	215			
GASTEROPODES	<i>Ancylidae</i>	<i>Ancylus fluviatilis</i>		1																			1	1	1	1			
		<i>Radix</i>															1		3	1			0	0	0	5			
	<i>Oligochètes</i>		6	6	4	27	15	17	7	6	9	9	3			14			3	1	6		109	88	67	133			
PLANAIRE	<i>Dugesidae</i>	<i>Dugesia</i>	1		1					1	3		1	1		13	3		1	1			8	3	6	26			
	<i>Hydracriens</i>		7		3					3	13					52	8	2		1	1		26	13	19	90			

Protocole d'échantillonnage station BIE11-0

RIVIERE :	Bienne	STATION :	BIE11-0			Fixation / conservation : Alcool 95°					
DATE :	22/06/2017	HEURE :	15h15	CODE St° :	06084650						
Préleveurs :	Alexis BOURLIER Kévin AGNELOT	Phases :	A	B	C						
VITESSES SUPERFICIELLES (cm/s)			→	>150	150 à 75	75 à 25	25 à 5	<5			
SUPPORTS			↘	Habitabilité	V2 ()	V4 (N6)	V5 (N5)	V3 (N3)	V1 (N1)		
Bryophytes			11 <small>(S9)</small>		15	V / 1	6	11	11	D	1 + 3
Spermaphytes immergés (Hydrophytes) HYI			10 <small>(S8)</small>								
Elements organiques grossiers : litières LIT			9 <small>(S7)</small>								
Chevelus racinaires, supports ligneux CHV, BRC			8 <small>(S7)</small>								
Sédiments minéraux de grande taille (galets, pierres) 2,5 cm à 25 cm GAL			7 <small>(S6)</small>		16	VI / 2	XI / 7	12	22	D	2 + 2
Blocs >25 cm, inclus dans une matrice de galets BLO			6 <small>(S1)</small>		20	VII / 5	X / 17	19	25	D	2 + 2
Granulats grossiers (graviers) 0,2 cm à 2,5 cm GRA			5 <small>(S5)</small>			13	VIII / 3	8	18	D	1 + 2
Spermaphytes émergents de la strate basse (Hélophytes) HEL			4 <small>(S4)</small>								
Sédiments fins avec débris organiques fin, vases <=0,1 mm VAS			3 <small>(S3)</small>								
Sables et limons < 0,2 cm SAB LIM			2 <small>(S2)</small>				II / 9 IV / 21	I / 4 III / 22	4	M	4
Algues ALG			1 <small>(S0)</small>								
Surf. uniformes dures nat. ou artif. (roches, dalles, marnes, argiles) ROC, DAL, MAR			0 <small>(S1-S0)</small>			18	XII / 14	IX / 10	20	D	2 + 1
Recout %									100		
Classe				1 (3)	2 (5)	3 (4)	4 (2)	5 (1)			
Hauteur cm				< 5	5 - 25	25 - 50	50 - 100	> 100			

N° Privt	Subs.	V	H
1	BRY	V5	H2
2	GAL	V5	H2
3	GRA	V3	H2
4	SAB	V1	H1
5	BLO	V3	H4
6	BRY	V3	H2
7	GAL	V3	H4
8	GRA	V1	H2
9	SAB	V3	H3
10	DAL	V1	H1
11	BRY	V1	H2
12	GAL	V1	H5
13	GRA	V5	H1
14	DAL	V3	H3
15	BRY	V4	H2
16	GAL	V4	H2
17	BLO	V3	H3
18	DAL	V5	H3
19	BLO	V1	H3
20	BLO	V4	H2
21	SAB	V3	H2
22	SAB	V1	H2

Résultats bruts station BIE11-0

Cours d'eau : Bienne		n prélèvement																												
Station : BIE11-0	Phases	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	DCE	IBG-DCE	IBGN	MAG20			
	Substrat	B	B	B	A	B		C		A	C				C			C				A	A	Total	Total	Total	Total			
	Vitesses	V5	V5	V3	V1	V3	V3	V3	V1	V3	V1	V1	V1	V5	V3	V4	V4	V3	V5	V1	V4	V3	V1	12 placettes	8 placettes	8 placettes	20 placettes			
	Hauteur	H2	H2	H2	H1	H4	H2	H4	H2	H3	H1	H2	H5	H1	H3	H2	H2	H3	H3	H3	H2	H2	H2							
ORDRE	FAMILLE	GENRE																					A+B+C	A+B						
PLECOPTERES	<i>Leuctridae</i>	<i>Leuctra</i>		75	89	4	9	21	47	11			7	44	29	4		3	4		5		9	4	245	190	256	352		
	<i>Nemouridae</i>	<i>Protonemura</i>	847			1		58					34	2	6		310	1		2	2	4			848	848	906	1267		
	<i>Pertidae</i>	<i>Perla</i>					1		1					1				1							2	1	2	4		
		<i>Dinocras</i>																							0	0	0	1		
EPHEMEROPTERES	<i>Baetidae</i>	<i>Indéterminé</i>						6		1														0	0	7	7			
		<i>Baetis</i>	23	13	4	1	271	49	2	3			1	25		6	7	8	6	11	166	4	31	1	334	313	366	631		
		<i>Procladius bifidum</i>					2														2				2	2	2	4		
		<i>Ephemerellidae</i>	<i>Serratella</i>	47	27	39	41	14	971	12	8	34	164	374	111	1	29	4			33	8	89	4	14	4	458	220	1159	2010
		<i>Ephemeridae</i>	<i>Ephemera</i>																					1		4	1	1	0	0
		<i>Heptageniidae</i>	<i>Indéterminé</i>																								0	0	0	2
			<i>Ecdyonurus</i>						2									3									1	0	2	15
			<i>Rhithrogena</i>			22				5								2	3								27	22	27	39
			<i>Epeorus</i>																				1	2			0	0	0	1
		<i>Siphonuridae</i>	<i>Siphonurus</i>					2																			9	5	2	9
TRICHOPTERES	<i>Glossosomatidae (N)</i>																									8	0	0	8	
	<i>Hydroptilidae</i>	<i>Hydroptila</i>																								1	0	0	1	
	<i>Limnephilidae</i>	<i>Autre Limnephilinae</i>						7																		4	0	7	15	
		<i>Drusus</i>				1																		1		2	2	1	1	
		<i>Melampophylax</i>																								3	0	0	3	
		<i>Odontoceridae</i>	<i>Odontocerum</i>		1	3	24			18	23	1		1										41	4	97	96	46	71	
	<i>Sericostomatidae</i>	<i>Sericostoma</i>				2				4														1	7	7	2	6		
	<i>Rhyacophilidae</i>	<i>Rhyacophila (n+)</i>	13	1	1	1	4	7	1					3		5	1	8	5	1	2	1	3	1	24	21	28	57		
COLEOPTERES	<i>Dytiscidae</i>	<i>Indéterminé</i>																								1	1	1	2	
		<i>Oreodytes (I+a)</i>		3	7	3	1	2	2																1	24	17	18	25	
	<i>Elmidae</i>	<i>Elmis (I+a)</i>	221	5	1	6	2	222		2	1	2	18	3	6		58	1	8	2		6	2		246	236	459	566		
		<i>Esolus (I+a)</i>	14	14	8	2	11	11	1	5	1		1	1	7	6	6			1				1	1	60	52	66	89	
		<i>Limnius (I+a)</i>	3	9	11	14	4	10	1	33	7			2	8	2							1	1	9	59	58	85	105	
		<i>Riolus (I+a)</i>	27			2			5							2		9					1			30	30	34	47	
	<i>Hydraenidae</i>	<i>Hydraena</i>	7	8	8										20	1	9	3					1		25	24	23	58		
DIPTERES	<i>Athericidae</i>																									0	0	0	1	
	<i>Blepharecidae</i>	<i>(n+)</i>		3			7											22		7		24			10	10	10	63		
	<i>Chironomidae</i>	<i>(n+)</i>	226	23	49	14	132	784	13	6	16	7	1293	19	17	7	543	2	8	87		6	4	19	518	483	1247	3252		
	<i>Empididae</i>		4								1		1				1								5	5	4	7		
	<i>Psychodidae</i>		1														2								1	1	1	3		
	<i>Simuliidae</i>	<i>(n+)</i>	83	2			32	33	16								175	733		2	586	6	79	2	149	119	166	1776		
	<i>Limoniidae</i>		11	1		6						4				2									22	22	18	24		
AMPHIPODES	<i>Gammaridae</i>	<i>Gammarus</i>	31	1	2	36		436		43	41	47	268	4		6				1	12		134	103	395	348	549	928		
GASTEROPODES	<i>Ancylidae</i>	<i>Ancylus fluviatilis</i>							1																	1	0	1	1	
		<i>Radix</i>						3																		1	0	3	10	
	<i>Oligochètes</i>			3	10	15				8	19		6		7		2						13	2	62	62	36	64		
PLANAIRE	<i>Dugesidae</i>	<i>Dugesia</i>	7	43		1		17							1	9		6			3	3	2		53	51	68	94		
	<i>Hydracariens</i>		3		7			9																	92	86	19	99		

Protocole d'échantillonnage station BIE19-5

RIVIERE :	BIENNE	STATION :	Longchaumois	Fixation / conservation : Alcool 95°						
DATE :	23/06/2017	HEURE :	9h	CODE St° :	BIE19-5					
Préleveurs :	Alexis BOURLIER Kévin AGNELOT	Phases :	A	B	C					
VITESSES SUPERFICIELLES (cm/s)		→	>150	150 à 75	75 à 25	25 à 5	<5	Recouv %	Dom. / Marg.	Nb. Privt
SUPPORTS		↔ Habitabilité	V2 (1)	V4 (N6)	V5 (N5)	V3 (N3)	V1 (N1)			
Bryophytes	11 (S9)		XI / 10	IX / 6 20	V / 1 15	III / 13	32	D	4 + 2	
Spermaphytes immergés (Hydrophytes) HYI	10 (S8)									
Elements organiques grossiers : litières LIT	9 (S7)									
Chevelus racinaires, supports ligneux CHV, BRC	8 (S7)									
Sédiments minéraux de grande taille (galets, pierres) 2,5 cm à 25 cm GAL	7 (S6)			XII / 7	VI / 2 16	11	22	D	2 + 2	
Blocs >25 cm, inclus dans une matrice de galets BLO	6 (S1)		12	VII / 5 19	X / 9	IV / 14	28	D	3 + 2	
Granulats grossiers (graviers) 0,2 cm à 2,5 cm GRA	5 (S5)				8	VIII / 3 17	16	D	1 + 2	
Spermaphytes émergents de la strate basse (Hélophytes) HEL	4 (S4)									
Sédiments fins avec débris organiques fin, vases <=0,1 mm VAS	3 (S3)									
Sables et limons < 0,2 cm SAB LIM	2 (S2)					I / II / 4 / 18	2	M	2	
Algues ALG	1 (S0)									
Surf. uniformes dures nat. ou artif. (roches, dalles, marnes, argiles) ROC DAL MAR	0 (S1-S0)									
Recouv %							100			
Classe		1 (3)	2 (5)	3 (4)	4 (2)	5 (1)				
Hauteur cm		< 5	5 - 25	25 - 50	50 - 100	> 100				
N° Privt	Subs.	V	H							
1	BRY	V3	H1							
2	GAL	V3	H1							
3	GRA	V1	H2							
4	SAB	V1	H1							
5	BLO	V5	H3							
6	BRY	V5	H1							
7	GAL	V5	H3							
8	GRA	V3	H2							
9	BLO	V3	H3							
10	BRY	V4	H1							
11	GAL	V1	H3							
12	BLO	V4	H1							
13	BRY	V1	H2	Comme prévu par la norme lorsque Sable pas assez représenté pour prélever.						
14	BLO	V1	H2							
15	BRY	V3	H2							
16	GAL	V3	H2							
17	GRA	V1	H3							
18	SAB	V1	H2							
19	BLO	V5	H2							
20	BRY	V5	H2							
21										
22										

Résultats bruts station BIE19-5

Station : BIE19-5		Numéro de prélèvement	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20				
Cours d'eau : Bienne		Phases	B	B	B	A	B	C	C		C	C			A	A				A			DCE	IBG-DCE	IBGN	MAG20
		Substrat	BRY	GAL	GRA	SAB	BLO	BRY	GAL	GRA	BLO	BRY	GAL	BLO	BRY	BLO	BRY	GAL	GRA	SAB	BLO	BRY	Total	Total	Total	Total
		Vitesses	V3	V3	V1	V1	V5	V5	V5	V3	V3	V4	V1	V4	V1	V1	V3	V3	V1	V1	V5	V5	12 placettes	8 placettes	8 placettes	20 placettes
		Hauteur	H1	H1	H2	H1	H3	H1	H3	H2	H3	H1	H3	H1	H3	H1	H2	H2	H2	H3	H2	H2	H2			
ORDRE	Famille	Genre																					A+B+C	A+B		
PLECOPTERES	<i>Leuctridae</i>	<i>Leuctra</i>	2	31	11	1	22	8	15	18	1				4	49	1		84	2	9		146	122	108	264
	<i>Nemouridae</i>	<i>Protonemura</i>	222					597	8		2	373	4	28	70		57					304	1272	292	827	1665
	<i>Perlidae</i>	<i>Perla</i>		1			1			4	4		3	1			1		2			6	10	3	10	23
		<i>Dinocras</i>		4					19				21					8					15	44	4	23
EPHEMEROPTERES	<i>Baetidae</i>	Indéterminé								9								1				9	0	9	10	
		<i>Baetis</i>	2	5			198	11	62	8	38	37	1	53	6	4	1	3			26	13	363	215	286	468
	<i>Ephemerellidae</i>	<i>Seratella</i>	381	83	49	3	54	128	26	12	13	236	5		351	16	119	11	63	19	8	182	1359	956	736	1759
	<i>Heptageniidae</i>	Indéterminé								2				1								1	6	4	2	9
		<i>Ecdyonurus</i>		6												4			4	2	2	3	12	12	6	21
		<i>Epeorus</i>												4									0	0	0	4
		<i>Rhithrogena</i>					4		21	24			2	1					13			1	25	4	49	66
<i>Siphonuridae</i>	<i>Siphonurus</i>				1						1											2	1	1	2	
TRICHOPTERES	<i>Hydroptilidae</i>	<i>Hydroptila</i>					1				3		1									4	0	1	5	
		<i>Allotrichia</i>										1											1	0	0	1
	<i>Hydropsychidae</i>	<i>Hydropsyche</i>					4	9			2		4				5		1	1		16	1	13	26	
	<i>Limnephilidae</i>	Autre <i>Limnephilinae</i>		3															2			1	3	3	3	6
<i>Odontoceridae</i>	<i>Odontocerum</i>	1	2	17	1	1			2		2		2	1	2	1		11	2	4		29	27	24	49	
<i>Sericostomatidae</i>	<i>Sericostoma</i>			4							1					1						5	4	4	6	
<i>Rhyacophilidae</i>	<i>Rhyacophila (n+l)</i>	5	4			1	5	4	1	2	9	1	16	3		3				2	6	33	13	20	62	
COLEOPTERES	<i>Dyticidae</i>	<i>Oreodytes (l+a)</i>									1				1			5				2	1	0	7	
	<i>Elmidae</i>	<i>Elmis (l+a)</i>	175	13	2		2	181	15	1	3	248	8	5	151	4	181	3	18	2	4	188	796	349	389	1204
		<i>Esolus (l+a)</i>		4	1		12	1	8	35	1	4	1	3	2	3	2	7	9	2		3	38	24	61	98
		<i>Limnius (l+a)</i>		7			12	1	12	9	3	6	1	6		13	6	1	9	6	2	3	60	38	41	97
		<i>Riolus (l+a)</i>	4				1					7				12		5				3	24	16	5	32
<i>Hydraenidae</i>	<i>Hydraena</i>		1			3	3	8	9		6				2	3		6		3	7	23	6	24	51	
DIPTERES	<i>Anthomyiidae</i>						11															11	0	11	11	
	<i>Athericidae</i>						1												2		1	1	0	1	4	
	<i>Blepharecidae</i>	(n+l)											15									0	0	0	15	
	<i>Chironomidae</i>	(n+l)	57	13	236	2	42	730	25	18	3	713	5	14	110	13	239	4	27	4	13	783	1948	477	1123	3051
	<i>Simuliidae</i>	(n+l)	4		4		45	123	10		29	208	3	1187		6	10	6				141	429	59	186	1776
	<i>Stratiomyidae</i>																			1			0	0	0	1
<i>Limoniidae</i>		1		3															1		1	4	4	4	6	
AMPHIPODES	<i>Gammaridae</i>	<i>Gammarus</i>	11	9	28	4	1	12	1	3		8	5		3	24	55	2	22	2	24	103	82	69	214	
	<i>Oligochètes</i>		1		23		3		1										3	4		32	31	28	35	
PLANAIRE	<i>Dugesidae</i>	<i>Dugesia</i>	3	1	2		2	2	1	14		5				3	2		2		4	16	8	25	41	
<i>Hydracariens</i>					1	1		14				7				13					21	23	2	16	57	

Protocole d'échantillonnage station BIE28-0 :

RIVIERE :		Bienne		STATION :			Pont Cheneviers			Fixation / conservation : Alcool 95°				
DATE :		22/06/2017		HEURE :		17H30		CODE St° :		BIE28-0				
Préleveurs :		Kévin AGNELOT Alexis BOURLIER		Phases :			A		B		C			
VITESSES SUPERFICIELLES (cm/s)				→		>150	150 à 75	75 à 25	25 à 5	<5				
SUPPORTS				↘		Habitabilité	V2 ()	V4 (N6)	V5 (N5)	V3 (N3)	V1 (N1)	Recouvt %	Dom. / Marg.	Nb. Privt
Bryophytes				v5>v3>v4>v1 11 (S9)			12	V = 1	7	17		10	D	1 + 4
Spermaphytes immergés (Hydrophytes) HYI				10 (S8)										
Elements organiques grossiers : litières LIT				9 (S7)						I = 2 / III		1	M	2
Chevelus racinaires, supports ligneux CHV, BRC				8 (S7)										
Sédiments minéraux de grande taille (galets, pierres) 2,5 cm à 25 cm GAL				v3>v1>v5>v4 7 (S6)			18	XII = 13	VI = 3	20	X = 8	30	D	3 + 2
Blocs >25 cm, inclus dans une matrice de galets BLO				v5>v3>v4 6 (S1)			XI = 16	VII = 6	19			30	D	2 + 1
Granulats grossiers (gravier) 0,2 cm à 2,5 cm GRA				v3>v1>v5 5 (S5)				14	VIII = 4	9		15	D	1 + 2
Spermaphytes émergents de la strate basse (Hélophytes) HEL				4 (S4)										
Sédiments fins avec débris organiques fin, vases <=0,1 mm VAS				3 (S3)										
Sables et limons < 0,2 cm SAB LIM				v5>v3>v1 2 (S2)				II = 5	IV = 10	15		4	M	2 + 1
Algues ALG				1 (S0)										
Surf. uniformes dures nat. ou artif. (roches, dalles, marnes, argiles) ROC DAL MAR				0 (S1-S0)							IX = 11	10	D	1
				Recouvt %								100		
				Classe		1 (3)	2 (5)	3 (4)	4 (2)	5 (1)				
				Hauteur cm		< 5	5 - 25	25 - 50	50 - 100	> 100				

N	N° Privt	Subs.	V	H
1	12	BRYO	V4	H2
2	V = 1	BRYO	V5	H3
3	7	BRYO	V3	H3
4	17	BRYO	V1	H3
5	I = 2	LIT	V1	H2
6	III	LIT	V1	H4
7	18	GAL	V4	H3
8	XII = 13	GAL	V5	H3
9	VI = 3	GAL	V3	H2
10	20	GAL	V3	H3
11	X = 8	GAL	V1	H1
12	XI = 16	BLO	V4	H3
13	VII = 6	BLO	V5	H3
14	19	BLO	V3	H3
15	14	GRA	V5	H4
16	VIII = 4	GRA	V3	H2
17	9	GRA	V1	H3
18	II = 5	SAB	V5	H3
19	IV = 10	SAB	V3	H3
20	15	SAB	V1	H2
21	IX = 11	DAL	V1	H2

Résultats bruts station BIE28-0

Station : BIE28-0			n prélèvement																												
			5	6	18	19	2	9	13	16	8	11	12	21	1	3	4	7	10	14	15	17	20	Taxons		Taxons IBG Equivalent		Taxons IBG		MAG20	
Phases			A	A	A	A	B	B	B	B	C	C	C	C	BRY	BRY	BRY	GAL	GAL	BLO	GRA	GRA	SAB	Total	Total	Total	Total				
Substrat			LIT	LIT	SAB	SAB	BRY	GAL	BLO	GRA	GAL	GAL	BLO	DAL	BRY	BRY	BRY	GAL	GAL	BLO	GRA	GRA	SAB	12 placettes	8 placettes	8 placettes	20 placettes				
Vitesse			V1	V1	V5	V3	V5	V3	V5	V3	V5	V1	V4	V1	V4	V3	V1	V4	V3	V5	V1	V1	V1								
Hauteur			H2	H4	H2	H2	H3	H2	H3	H2	H3	H1	H3	H2	H2	H3	H3	H3	H3	H4	H2	H2									
ORDRE	Famille	Genre																					A+B+C	A+B		1 placette exclue					
PLECOPTERES	<i>Leuctridae</i>	<i>Leuctra</i>	10	7	7	13		4	2					4		4			20	4			4	47	43	24	70				
		<i>Protonemura</i>	2				2							2		61								10	4	12	75				
		<i>Perlidae</i>	<i>Perla</i>						1					1					3					2	1	1	5				
		<i>Dinocras</i>					35		1						59	30	5		3				36	35	65	133					
EPHEMEROPTERES	<i>Baetidae</i>	<i>Indéterminé</i>																						0	0	0	3				
		<i>Baetis</i>				3	63	7	31	1	5	6	139	3	26	4	3	18	11	4				258	105	112	324				
		<i>Caenidae</i>	<i>Caenis</i>	2	5	23			1					6		4	2		2			2		37	31	7	42				
		<i>Ephemerellidae</i>	<i>Seratella</i>	36	15	5	4	74	5	2	2	5		14	12	43	163	108	9	29	9	7	6	174	143	287	533				
		<i>Ephemeridae</i>	<i>Ephemera</i>				2															4	11	3	15	15	13	33			
		<i>Heptageniidae</i>	<i>Ecdyonurus</i>				2		10					2	3					2				23	12	10	25				
			<i>Rhithrogena</i>																5					0	0	0	5				
	<i>Siphonuridae</i>	<i>Siphonurus</i>	6				17																23	23	23	23					
TRICHOPTERES	<i>Hydroptilidae</i>	<i>Hydroptila</i>																						0	0	0	8				
		<i>Hydropsyche</i>				2	116	1	2		1		1			1		1	4	5				123	121	120	134				
		<i>Limnephilidae</i>	<i>Autre Limnephilinae</i>	3	19		2	3			2		1	1				4						31	29	9	16				
			<i>Drusus</i>				1																	1	1	0	1				
			<i>Anabolia</i>																					3	0	3	3				
		<i>Leptoceridae</i>	<i>Mystacides</i>	1																				1	1	1	1				
		<i>Odontoceridae</i>	<i>Odontocerum</i>	5	6	11							1			9			1	1	7	7	2	31	30	22	52				
		<i>Sericostomatidae</i>	<i>Sericostoma</i>	38	24		11	1	1	1	8			1	2				13		10	22	4	181	180	145	208				
		<i>Rhyacophilidae</i>	<i>Rhyacophila</i>			1		3	1	4		1		3	5	1	2							13	9	10	21				
	COLEOPTERES		<i>Laccophilus (I+a)</i>				1																	4	1	2	4				
			<i>Oreodytes (I+a)</i>												1		3						1	0	0	1	5				
		<i>Elmidae</i>	<i>Elmis (I+a)</i>				3	490			2		18	15	489	135	18	10	22	1				530	493	627	1205				
			<i>Esolus (I+a)</i>				19	201	18	2		7		25	6	130	49	2	16	38	7	6	3	336	298	328	613				
			<i>Limnius (I+a)</i>			15	6		2	1		4		2	4	10	2		6	28		4	14	5	34	24	20	103			
			<i>Riolus (I+a)</i>					65		2				3		9	31							70	67	98	131				
			<i>Oulimnius (I+a)</i>						1			2												3	1	1	3				
		<i>Scirtidae</i>	<i>Hydrocyphon</i>							1						1					1			1	1	1	1	3			
		<i>Hydraenidae</i>	<i>Hydraena</i>	1				5		2				1		8			1					10	8	8	19				
DIPTERES		<i>Athericidae</i>				2	1													1				2	4	3	2	7			
	<i>Blepharocidae</i>	(n+l)													1								1	0	1	2					
	<i>Chironomidae</i>	(n+l)	117	173	11	85	411	22	11	35	47	84	29	31	490	134	87	8	45	62	44	11	7	1056	865	825	1771				
	<i>Psychodidae</i>						1						1		1									2	1	1	3				
	<i>Simuliidae</i>	(n+l)			3	6	89	27	9			63	60	15	17	8		4	13		15		4	272	134	199	333				
	<i>Limoniidae</i>			1																1			1	1	1	2					
HETEROPTERES	<i>Corixidae</i>	<i>Micronecta</i>																1	1				1	0	1	3					
AMPHIPODES	<i>Gammaridae</i>	<i>Gammarus</i>	2																				3	2	3	4					
GASTEROPODES	<i>Ancylidae</i>	<i>Ancylus fluviatilis</i>				1			2									5					3	3	2	8					
	<i>Planorbidae</i>	<i>Bathymphalus contortus</i>	1																				1	1	1	1					
	<i>Lymnaeidae</i>	<i>Radix</i>	4	2		4	1	3		2		5			1		1		3	1	4		1	21	16	15	30				
<i>Oligochètes</i>			11	11		8			3		7	1	3								7	2	44	40	24	42					
PLANAIRE	<i>Dugesidae</i>	<i>Dugesia</i>																	2				0	0	0	2					
	<i>Hydracariens</i>						5					2			23								7	5	7	44					

Protocole d'échantillonnage station BIE36-5

RIVIERE :		BIENNE		STATION :		Moulin de lison		Fixation / conservation : Alcool 95°									
DATE :		23/06/2017		HEURE :		12h30		CODE St° :		BIE40-3							
Préleveurs :		Alexis BOURLIER Kévin AGNELOT		Phases :		A		B		C							
VITESSES SUPERFICIELLES (cm/s)				→		>150		150 à 75		75 à 25		25 à 5		<5			
SUPPORTS				↙ Habitabilité		V2 ()		V4 (N6)		V5 (N5)		V3 (N3)		V1 (N1)			
Bryophytes				11 (S9)						I / 1						1 M 1	
Spermaphytes immergés (Hydrophytes) HYI				10 (S8)													
Elements organiques grossiers : litières LIT				9 (S7)								IV / 8		II / 2		3 M 2	
Chevelus racinaires, supports ligneux CHV, BRC				8 (S7)													
Sédiments minéraux de grande taille (galets, pierres) 2,5 cm à 25 cm GAL				7 (S6)				14		V / 3		16		XI / 9		25 D 2+2	
Blocs >25 cm, inclus dans une matrice de galets BLO				6 (S1)		15		VI / 6		18		IX / 11		20		40 D 3+3	
Granulats grossiers (gravier) 0,2 cm à 2,5 cm GRA				5 (S5)						VII / 4		17		XII / 10		16 D 2+1	
Spermaphytes émergents de la strate basse (Hélophytes) HEL				4 (S4)													
Sédiments fins avec débris organiques fin, vases <=0,1 mm VAS				3 (S3)													
Sables et limons < 0,2 cm SAB LIM				2 (S2)										III / 5		2 M 1	
Algues ALG				1 (S0)				12		VIII / 7		19				13 D 1+2	
Surf. uniformes dures nat. ou artif. (roches, dalles, marnes, argiles) ROC DAL MAR				0 (S1-S0)													
Recouvt %																100	
Classe				1 (3)		2 (5)		3 (4)		4 (2)		5 (1)					
Hauteur cm				< 5		5 - 25		25 - 50		50 - 100		> 100					

N° Prvt	Subs.	V	H
1	BRY	V5	H2
2	LIT	V1	H2
3	GAL	V3	H1
4	GRA	V3	H1
5	SAB	V1	H2
6	BLO	V5	H1
7	ALG	V3	H2
8	LIT	V3	H1
9	GAL	V1	H1
10	GRA	V1	H1
11	BLO	V3	H3
12	ALG	V5	H2
13	BLO	V1	H2
14	GAL	V5	H2
15	BLO	V4	H2
16	GAL	V3	H2
17	GRA	V3	H2
18	BLO	V5	H4
19	ALG	V3	H3
20	BLO	V3	H2
21			
22			

Résultats bruts station BIE36-5

Station : BIE36-5		n prélèvement	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20						
Cours d'eau : Bienne		Phases	A	A	B	B	A	B	B	A	C	C	C	C	C									DCE	IBG-DCE	IBGN	MAG20	
		Substrat	BRY	LIT	GAL	GRA	SAB	BLO	ALG	LIT	GAL	GRA	BLO	ALG	BLO	GAL	GRA	BLO	ALG	BLO	Total	Total	Total	Total				
		Vitesses	V5	V1	V3	V3	V1	V5	V3	V3	V1	V1	V3	V5	V1	V5	V4	V3	V3	V5	V3	V3	12 placettes	8 placettes	8 placettes	20 placettes		
		Hauteur	H2	H2	H1	H1	H2	H1	H2	H1	H1	H1	H3	H2	H2	H2	H2	H2	H4	H3	H2							
ORDRE	Famille	Genre																					A+B+C	A+B				
PLECOPTERES	Leuctridae	Leuctra				3		1			1								1	2			2	5	4	4	10	
	Nemouridae	Protonemura	51		2								4		8				2					53	53	53	67	
EPHEMEROPTERES	Baetidae	Indéterminé																1					2	0	0	0	3	
		Baetis	36		10		1	56	20			5		27	1	96	9					4		129	123	123	265	
		Procloëon bifidum														5								5	0	0	5	
	Caenidae	Caenis							2									4			2		2	2	2	2	8	
	Ephemereidae	Seratella	13	99	7	12		9	14	8	2	4	7	31	4	9	1	15		7			12	14	179	162	162	268
	Ephemereidae	Ephemerera		1																				1	1	1	1	1
	Heptageniidae	Indéterminé			2																			2	2	2	2	2
	Ecdyonurus												1										0	0	0	1	1	
TRICHOPTERES	Hydroptilidae	Hydroptila			1								1										2	1	1	1	5	
	Hydropsychidae	Hydropsyche	4					1	1									2					6	6	6	6	8	
	Odontoceridae	Odontocerum														1				1			0	0	0	0	2	
	Sericostomatidae	Sericostoma		65	3	31	1	1		33	1	1	1							2			137	134	134	140	140	
	Rhyacophilidae	Rhyacophila (n+)	9					8	1		1	1				17			4			20	18	18	18	42		
COLEOPTERES	Dysticidae	Oreodytes (I+a)								1													1	1	1	1	1	
	Elmidae	Elmis (I+a)	128	7	18		1	3			2	4			5	1	2	1	1				6	164	159	159	179	
		Esolus (I+a)	7	2	2	84	2	19	3			9	35	7	2			4	13		109		11	10	170	119	119	319
		Limnius (I+a)		6	2	9	1	1	1			2	4	2				4	2		8		2	2	28	20	20	46
		Riolus (I+a)	1							2					4									2	3	3	3	9
		Oulimnius (I+a)	2			1																			3	3	3	3
	Hydraenidae	Hydraena	1									1												2	1	1	1	2
DIPTERES	Anthomyiidae		3																				3	3	3	3	3	
	Athericidae		1																				1	1	1	1	2	
	Chironomidae	(n+)	621	31	15	15	6	81	302	57	17	2	45	304	11	61	84	92		18	52	233	83	1203	1128	1128	2130	
	Empididae								2				3	1	1	1		2					1	6	2	2	11	
	Psychodidae		1				2		1				3		1						1			8	4	4	9	
	Simuliidae	(n+)	30	2	5		5	62	13		2	1		117		112	10	5				18	120	117	117	382		
	Stratiomyidae																							0	0	0	0	
	Limoniidae												2				2		5		1	2		2	0	0	0	12
	Tipulidae			3		1	1																5	5	5	5	5	
AMPHIPODES	Gammaridae	Gammarus	12	52	3		1			3													71	71	71	71	71	
	Asellidae						1																1	1	1	1	1	
GASTEROPODES	Ancylidae	Ancylus fluviatilis	1		2	1										1	1	1		1			4	4	4	4	9	
		Radix		19	6			2			5	7		5		1							45	32	32	45	45	
		Viviparidae	Viviparus																					0	0	0	0	0
	Oligochètes		4	11		7	1			9		7	2					4		9		2	2	41	32	32	58	
	Hydracariens												11	4	1	12		5	15	10	1	1	12	0	0	0	60	

Protocole d'échantillonnage station BIE40-3

RIVIERE :		Bienne		STATION :			Chassal			Fixation / conservation : Alcool 95°																				
DATE :		23/06/2017		HEURE :		15h		CODE St* :		BIE40-3																				
Préleveurs :		Kévin AGNELOT Alexis BOURLIER		Phases :			A	B	C																					
VITESSES SUPERFICIELLES (cm/s)				➡		>150	150 à 75	75 à 25	25 à 5	<5																				
SUPPORTS				↘		Habitabilité	V2 ()	V4 (N6)	V5 (N5)	V3 (N3)	V1 (N1)	Recouvt %	Dom. / Marg.	Nb. Privt																
Bryophytes				v5>v3>v4>v1 11 (S9)			12	V = 1	7	16	7	D	1 + 4	3	7	BRYO	V3	H2												
Spermaphytes immergés (Hydrophytes) HYI				10 (S8)										4	16	BRYO	V1	H2												
Elements organiques grossiers : litières LIT				9 (S7)										5	IX = 13	GAL	V4	H4												
Chevelus racinaires, supports ligneux CHV, BRC				8 (S7)										6	VI = 2	GAL	V5	H4												
Sédiments minéraux de grande taille (galets, pierres) 2,5 cm à 25 cm GAL				v5>v3>v4>v1 7 (S6)			IX = 13	VI = 2	VIII = 4	X = 17	64	D	6	7	XI = 19	GAL	V5	H3												
Blocs >25 cm, inclus dans une matrice de galets BLO				v5>v3>v1>v4 6 (S1)			18	VII = 5	11	15	20	D	1 + 3	8	VIII = 8	GAL	V3	H2												
Granulats grossiers (gravier) 0,2 cm à 2,5 cm GRA				v1>v3>v5 5 (S5)				14	9	I = 3	3	M	2 + 1	9	XII = 20	GAL	V3	H1												
Spermaphytes émergents de la strate basse (Hélophytes) HEL				4 (S4)										10	X = 17	GAL	V1	H1												
Sédiments fins avec débris organiques fin, vases <=0,1 mm VAS				3 (S3)										11	XI = 19	GAL	V1	H3												
Sables et limons < 0,2 cm SAB LIM				v1 2 (S2)							II = 4	M	2	12	XII = 20	GAL	V1	H1												
Algues ALG				1 (S0)					IV = 10	III = 6	4	M		13	I = 3	GRA	V1	H3												
Surf. uniformes dures nat. ou artif. (roches, dalles, marnes, argiles) ROC, DAL, MAR				0 (S1-S0)										14	II = 4	SAB	V1	H2												
Recouvt %												100		15	III = 6	ALG	V3	H2												
						<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Classe</th> <th>1 (3)</th> <th>2 (5)</th> <th>3 (4)</th> <th>4 (2)</th> <th>5 (1)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hauteur cm</td> <td>< 5</td> <td>5 - 25</td> <td>25 - 50</td> <td>50 - 100</td> <td>> 100</td> </tr> </tbody> </table>					Classe	1 (3)	2 (5)	3 (4)	4 (2)	5 (1)	Hauteur cm	< 5	5 - 25	25 - 50	50 - 100	> 100								
Classe	1 (3)	2 (5)	3 (4)	4 (2)	5 (1)																									
Hauteur cm	< 5	5 - 25	25 - 50	50 - 100	> 100																									

Résultats bruts station BIE40-3

Station : BIE40-3		n prélevement	17	18	19	20	2	6	8	12	5	7	9	10	1	3	4	11	13	14	15	16					
Cours d'eau : Bienne		Phases	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C	C	C										DCE	IBG-DCE	IBGN	MAG20
		Substrat	GRA	SAB	ALG	ALG	BRY	GAL	GAL	BLO	GAL	GAL	GAL	GAL	BRY	BRY	BRY	BLO	BLO	BLO	GRA	GRA		Total	Total	Total	Total
		Vitesses	V1	V1	V1	V3	V5	V5	V3	V5	V3	V4	V3	V1	V4	V3	V1	V4	V3	V1	V5	V3		12 placettes	8 placettes	8 placettes	20 placettes
		Hauteur	H3	H2	H2	H2	H3	H4	H2	H3	H2	H2	H3	H2	H3	H2	H2	H2	H2	H2	H2	H3	H4				
ORDRE	Famille	Genre																					A+B+C	A+B			
PLECOPTERES	Leuctridae	Leuctra					2						1	3								1	2	6	2	2	9
	Nemouridae	Amphinemura																						0	0	0	0
		Protonemura			1		12									61		2	2					13	13	12	78
		Dinocras					1									2								1	1	1	3
EPHEMEROPTERES	Baetidae	Indéterminé					1																	1	1	1	1
		Baetis	2		31	11	20	34	2		4	10	6		36	16	23	1			1	8	120	100	85	205	
	Ephemerellidae	Seratella	4		11		64	5	9	4	6	4	9	23	96	73	77	3	1	2		2	139	97	159	393	
	Ephemeridae	Ephemera													1								0	0	0	1	
	Heptageniidae	Ecdyonurus							1										1	2		3	2	1	1	8	
TRICHOPTERES	Glossosomatidae	Glossosoma (n+l)										1											1	0	0	1	
	Hydropsychidae	Hydropsyche					16								54		2						16	16	16	72	
	Limnephilidae	Autre Limnephilinae																					0	0	0	1	
	Leptoceridae	Athripsodes	1		1									1									3	2	1	3	
	Odontoceridae	Odontocerum		1	3													1					5	4	1	6	
	Polycentropodidae	Plectrocnemia																					1	0	0	1	
	Sericostomatidae	Sericostoma	1	1	3		1								3								9	6	3	12	
	Rhyacophilidae	Rhyacophila (n+l)	1		2		8	1		1	6			45	1	6	5					19	12	11	76		
COLEOPTERES		Oreodytes (l+a)																				1	0	0	0	1	
	Elmidae	Elmis (l+a)	3		5	4	760	1	13	3	5	6		4	1407	462	186	1	1	1		1	804	789	1246	2863	
		Esolus (l+a)	68	15	3		6	16	1			22	34	30	7	49	49	1		5	37	23	195	109	155	366	
		Limnius (l+a)	12	8	15		2	4		1		8	21	15	5		3			1	2	14	12	86	42	27	123
		Riolus (l+a)	1						2						1								3	3	3	4	
		Hydrocyphon													1								0	0	0	1	
		Hydraenidae	Hydraena			1									2	4	4						1	1	4	11	
DIPTERES	Anthomyiidae														2							1	0	0	0	3	
	Athericidae			2		4		1				2		1	4								10	7	5	14	
	Chironomidae	(n+l)	8		561	741	476	10	8	25	10	12	22	11	1200	69	245	6	46	41	4	14	1884	1829	1337	3509	
	Psychodidae			1		1									1	1	2						2	2	3	6	
	Simuliidae	(n+l)	3	1	40	25	7	17	2	8	385	10			124	2	19	485				4	497	102	64	1131	
	Limoniidae		1	1	3	3		2				1		1								12	10	7	12		
AMPHIPODES	Gammaridae	Gammarus					59							73	327	30				1		1	59	59	386	491	
GASTEROPODES	Ancylidae	Ancylus fluviatilis	3		1				83	1		6		2						16	6		3	96	88	87	121
	Lymnaeidae	Galba truncatula		1																			1	1	1	1	
		Radix		1	1		1		37			1		9		2	4						50	40	41	56	
Oligochètes			7	4	4	69	1		4	6					2						6	18	95	95	91	123	
Hydracariens				9	17	9	76		4	4				3	131	62	43	1			1	1	122	119	164	361	

Résultats bruts station BIE51-1

Station : BIE51-1			n prélèvement																									
Cours d'eau : Bienne			Phases	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	DCE	IBG-DCE	IBGN	MAG20	
			Substrat	A	A	B	B	A	B	B	A	C		C	C	C									Total	Total	Total	Total
			Vitesse	BRY	LIT	GAL	GRA	SAB	BLO	ALG	BRY	GAL	GRA	BLO	ALG	BRY	GAL	GAL	GAL	GRA	BLO	ALG	GAL	12 placettes	8 placettes	8 placettes	20 placettes	
			Hauteur	V3	V1	V3	V3	V1	V5	V3	V5	V5	V1	V3	V5	V1	V1	V4	V3	V3	V5	V3	V5					
				H3	H4	H2	H4	H2	H2	H1	H2	H3	H2	H3	H2	H3	H3	H2	H4	H5	H3	H2	H4	A+B+C	A+B			
ORDRE	Famille	Genre																										
PLECOPTERES	<i>Leuctridae</i>	<i>Leuctra</i>			9	13						1	14	1		3	35		2	1				62	22	22	79	
	<i>Nemouridae</i>	<i>Protonemura</i>												2	2						3			2	0	0	7	
	<i>Perlidae</i>	<i>Perla</i>																					1	0	0	0	1	
EPHEMEROPTERES	<i>Baetidae</i>	<i>Indéterminé</i>										2		3				7						5	0	0	12	
	<i>Ephemerellidae</i>	<i>Seratella</i>	7		4			43	4	54		15		29	5	3		23			26	4	17	159	112	112	234	
	<i>Heptageniidae</i>	<i>Ecdyonurus</i>	116	230	12	6	3	2	7	23		1	6	4	17	221	37		6	8		1	5	2	662	399	399	706
TRICHOPTERES	<i>Hydroptilidae</i>	<i>Hydroptila</i>							3	1														4	4	4	4	
	<i>Hydropsychidae</i>	<i>Hydropsyche</i>				1		2			1			1	1					1	2			5	3	3	9	
		<i>Halesus</i>		4																				4	4	4	4	
		<i>Lepidostomatidae</i>	<i>Lepidostoma hirtum</i>		4																				4	4	4	4
		<i>Leptoceridae</i>	<i>Athripsodes</i>			1	2						1			1	3								7	3	3	8
		<i>Sericostomatidae</i>	<i>Sericostoma</i>		58	1	3	28						4		2	53			1					145	90	90	150
COLEOPTERES	<i>Rhyacophilidae</i>	<i>Rhyacophila (n+)</i>		1	1		3	10		12			1	13	1			7			10	1	2	40	27	27	62	
	<i>Dysticidae</i>	<i>Oreodytes (I+a)</i>			3							5												8	3	3	8	
	<i>Elmidae</i>	<i>Elmis (I+a)</i>	81		5	1	1	4	1	507				6	68	159	8	1	3	8	6	1		773	600	600	860	
		<i>Esolus (I+a)</i>		4	64	58	33	7		18	53	132	17	3	5	100	59	12	110	39	6	25		359	184	184	745	
		<i>Limnius (I+a)</i>	1	3	2	2	5	5	1	2	1		1			26	1	3	5	3			1	49	21	21	62	
		<i>Riolus (I+a)</i>						4		1				2	4									9	5	5	12	
		<i>Oulimnius (I+a)</i>	47	1		3				3			1			153	1		1	3	1			208	54	54	214	
		<i>Halipilidae</i>	<i>Brychius (I+a)</i>																	1	3	1		0	0	0	1	
DIPTERES	<i>Scirtidae</i>	<i>Hydrocyphon</i>		1								1							1				1	1	1	1	2	
	<i>Athericidae</i>		2										1	1				1					3	2	2	2	5	
	<i>Ceratopogonidae</i>					1	1						1							1			2	2	2	2	4	
	<i>Chironomidae</i>	<i>(n+)</i>	35	4	108	16	21	36	129	771	25	26	36	545	184	36	50	18	9	28	314	37		1401	1120	1120	2428	
	<i>Empididae</i>								6					2	1								3	7	6	6	12	
	<i>Psychodidae</i>												1										8	1	0	0	9	
	<i>Simuliidae</i>	<i>(n+)</i>	2		15	1	2	138		91	33		42	124	31	8	211			4	36	146		363	249	249	884	
	<i>Stratiomyidae</i>			1																				1	1	1	1	1
<i>Tabanidae</i>			1			2																	3	3	3	3	3	
<i>Tipulidae</i>					1										1	1							3	1	1	1	3	
HETEROPTERES	<i>Corixidae</i>	<i>Micronecta</i>	1	9			19	1	1			2			96	13		1					140	31	31	145		
AMPHIPODES	<i>Gammaridae</i>	<i>Gammarus</i>	25	8									3		19	5	1					2	78	51	51	79		
	<i>Asellidae</i>			1																			1	1	1	1	1	
GASTEROPODES	<i>Ancylidae</i>	<i>Ancylus fluviatilis</i>												1									1	0	0	1	1	
		<i>Radix</i>		5	1	1	9					1			2	5		4					23	16	16	28	28	
		<i>Erpobdellidae</i>	<i>Erpobdella</i>		4																			4	4	4	4	4
		<i>Glossiphoniidae</i>	<i>Glossiphonia</i>		1																			1	1	1	1	1
	<i>Piscicolidae</i>	<i>Piscicola geometra</i>					1																1	1	1	1	1	
<i>Oligochètes</i>				6		1	7					3				11		2	11			2	25	14	14	43		
<i>Hydracariens</i>						2			2	97	1	1		1	21	2	1		13				138	114	114	154		

Annexe 31 Classe d'abondance numérique et pondérale

nites des cotes d'abondance pour les estimations exhaustives (ex. pêches à 2 passage

	<i>inf1</i>	<i>SUP 1</i>	<i>SUP 2</i>	<i>SUP 3</i>	<i>SUP 4</i>	<i>SUP 1</i>	<i>SUP 2</i>	<i>SUP 3</i>	<i>SUP 4</i>
<i>cha</i>	8	75	150	300	600	5,00	10,00	20,00	40,00
<i>trf</i>	5	50	100	200	400	25,50	51,00	102,00	204,00
<i>tac</i>	1	3	5	10	20	2,75	5,50	11,00	22,00
<i>vai</i>	15	175	350	700	1400	4,50	9,00	18,00	36,00
<i>lof</i>	20	200	400	800	1600	8,00	16,00	32,00	64,00
<i>obr</i>	2	6	13	25	50	8,25	16,50	33,00	66,00
<i>lpp</i>	2	10	20	40	80	0,13	0,25	0,50	1,00
<i>bln</i>	6	38	76	152	304	8,00	16,00	32,00	64,00
<i>hot</i>	10	96	193	385	770	25,00	50,00	100,00	200,00
<i>tox</i>	3	17	35	69	138	12,50	25,00	50,00	100,00
<i>van</i>	5	28	55	110	220	10,00	20,00	40,00	80,00
<i>che</i>	5	28	55	110	220	19,00	38,00	76,00	152,00
<i>baf</i>	3	13	25	50	100	17,50	35,00	70,00	140,00
<i>lot</i>	0,5	2	4	8	16	6,25	12,50	25,00	50,00
<i>spi</i>	2	6	13	25	50	0,30	0,60	1,20	2,40
<i>gou</i>	6	58	115	230	460	5,00	10,00	20,00	40,00
<i>bro</i>	0,5	2	5	9	18	7,50	15,00	30,00	60,00
<i>per</i>	1	3	6	12	24	0,50	1,00	2,00	4,00
<i>bou</i>	3	18	35	70	140	0,40	0,80	1,60	3,20
<i>pes</i>	1	3	6	12	24	0,25	0,50	1,00	2,00
<i>rot</i>	1	4	8	15	30	0,50	1,00	2,00	4,00
<i>cco</i>	0,5	2	5	9	18	6,25	12,50	25,00	50,00
<i>car</i>	0,5	2	4	8	16	2,50	5,00	10,00	20,00
<i>tan</i>	0,5	3	5	10	20	3,75	7,50	15,00	30,00
<i>bre</i>	1	5	9	18	36	4,50	9,00	18,00	36,00
<i>pch</i>	1	4	8	15	30	1,00	2,00	4,00	8,00
<i>gre</i>	6	63	125	250	500	3,25	6,50	13,00	26,00
<i>gar</i>	15	170	340	680	1360	27,50	55,00	110,00	220,00
<i>brb</i>	5	30	60	120	240	2,75	5,50	11,00	22,00
<i>abl</i>	25	500	1000	2000	4000	15,75	31,50	63,00	126,00
<i>ang</i>	0,5	1	3	5	10	5,00	10,00	20,00	40,00
<i>san</i>	0,5	2	5	9	18	3,75	7,50	15,00	30,00
<i>bbg</i>	0,5	2	4	8	16	1,25	2,50	5,00	10,00
<i>epi</i>	4	23	46	92	184	0,30	0,60	1,20	2,40
<i>ept</i>	2	8	15	30	60	0,10	0,20	0,40	0,80
<i>psr</i>	5	25	50	100	200	0,03	0,06	0,12	0,24
<i>ble</i>	2	10	20	40	80	0,16	0,32	0,64	1,28
<i>sdf</i>	3	15	30	60	120	15,50	31,00	62,00	124,00

Nb / 10 ares

Kg/ha

Annexe 32 « bio-cénotypes »

In : Degiorgi F., Raymond J.-C., 2000. Utilisation de l'ichtyofaune pour la détermination de la qualité globale des écosystèmes d'eau courante, Guide technique, *CSP DR5*, 196 p.

Ce modèle biotypologique a été élaboré par Verneaux (1973) à partir de l'étude des caractéristiques biologiques et mésologiques de 123 stations jalonnant le réseau hydrographique contrasté du Doubs. Les prospections et prélèvements systématiques ont été répétés durant 6 années successives. Une analyse statistique de l'organisation spatiale des poissons et des insectes peuplant ces dites a alors permis, dans un premier temps, de distinguer **9 groupements socio-écologiques**, numérotés de B₁ à B₉.

Les espèces qui constituent ces associations ne sont **pas forcément co-cénotique**, c'est-à-dire qu'elles ne vivent pas systématiquement ensemble, mais elles présentent des **exigences écologiques voisines**. Ces groupements ou « **bio-cénotypes** » se succèdent le long d'un modèle longitudinal **abstrait** allant de la source à l'estuaire, mais ne se suivent pas forcément de façon géographique sur les cours d'eau. En effet, en parcourant une rivière, de la source vers l'aval, on observe fréquemment des lacunes ou des inversions de types, voire même des mosaïques écologiques complexes.

Le modèle biotypologique « permet **d'intégrer les diverses catégories de distribution** d'espèces, zonales ou non, régulières ou non relevés sur les systèmes d'eau courante d'un domaine biogéographique donnée » (Verneaux, 1976). Il constitue un « commun essentiel » sous la forme « d'une structure biologique typique ». Les écarts entre la structure individuelle d'un cours d'eau et ce référentiel peuvent alors être caractérisés puis interprétés en termes d'accidents écologiques ou de perturbations d'origines anthropiques.

Dans un deuxième temps, la pertinence de ce modèle, établi sur le bassin du Doubs, a été vérifiée et validée sur les autres bassins du réseau hydrographique français (240, puis 290 stations, Verneaux 1976-1977-1981). Seuls les cours d'eau méditerranéens ou côtiers ont été écartés. A cette occasion, un 10^{ème} écotype, correspondant à des systèmes apicaux (*eu crénon* ou source vraie) a été identifié et appelé B₀.

Dans un troisième temps, des descripteurs synthétiques du milieu ont été recherchés afin de prédire la composition du peuplement type d'un site d'eau courante. Dans cette optique, une formule a été établie par régression multiple non linéaire pour déterminer le niveau typologique théorique T_{th} d'une station (Verneaux 1976-1977).

$$T_{th} = 0,45T_1 + 0,30T_2 + 0,25T_3$$

Où : $T_1 = 0,55 \theta_{max} - 4,34$

$T_2 = 1,17 [\ln(d_0 \cdot D/100)] + 1,50$

$T_3 = 1,75 [\ln(S_m / (p \cdot l^2) \cdot 100)] + 3,92$

Avec θ_{max} : Moyenne des températures maximales des 30 jours consécutifs les plus chauds

d_0 : Distance à la source en km

D : Dureté calco-magnésienne, en mg/l

S_m : Section mouillée à l'étiage

p : Pente du lit en ‰

l : Largeur du lit mineur

En l'absence de perturbation du milieu, les 3 facteurs synthétiques déterminent en grande partie la présence et l'abondance des espèces électives du type écologique :

- Le **métabolisme thermique** aquatique est apprécié par la température maximale moyenne de l'eau des 30 jours consécutifs les plus chauds. Dans la pratique, on effectue la moyenne des températures maximales hebdomadaires du mois le plus chaud.
- Le **niveau trophique naturel** est mesuré par la distance à la source et par la dureté afin d'estimer le degré de minéralisation du cours d'eau en échappant aux interférences induites par les pollutions qui augmentent le taux de nutriments dissous dans l'eau.
- Les **caractéristiques morphodynamiques** du site considéré sont prises en compte à l'aide du coefficient de similitude hydraulique déterminé par la pente, la largeur du lit mineur et la section mouillée à l'étiage.

Références citées :

Verneaux J., 1973. Recherches écologiques sur le réseau hydrographique du Doubs: essai de biotypologie, *Thèse, Université de Besançon*, 257 pages.

Verneaux J., 1976. Biotypologie de l'écosystème « eau courante ». La structure biotypologique. *Compte rendu de l'académie des sciences de Paris*, 283, page 1663-1666.

Verneaux J., 1976. Biotypologie de l'écosystème « eau courante ». Les groupements socio-écologiques. *Compte rendu de l'académie des sciences de Paris*, 283, page 1791-1793.

Verneaux J., 1977. Biotypologie de l'écosystème « eau courante ». Déterminisme approché de la structure biotypologique. *Compte rendu de l'académie des sciences de Paris*, page 77-79.

Verneaux J., 1981. Les poissons et la qualité de l'eau. *Annales scientifiques de l'université de Franche-Comté*, 2, page 33-41.

Annexe 33 Résultats NTT sur les stations d'études

ANNEXE 1 Calcul du NTT sur les stations d'études

Code station	Cours d'eau	Commune	Altitude m	Tmm30 °C	Pente ‰	Distance à la source km	Dureté mg/L	Larg. moy. Eau m	Prof. Moy. m	Section mouillée m ²	Long. Station m	Surface éch. m ²	T1	T2	T3	Niveau typologique NT	Biocénotype B
BNT3-7	Biennette	Prémanon	776	11,1	19,29	3,7	66,3	4,2	0,18	0,756	66,5	279,3	1,77	2,55	1,29	1,9	B2
BCH5-7	Bief de la Chaille	Prémanon	785	10,9	27,35	5,7	52,6	5	0,4	2	108	540	1,66	2,78	1,77	2,0	B2
BIE11-0	Bienne	Tancua	618	11,7	7,33	11	66	11,6	0,6	6,96	192	2227,2	2,10	3,82	3,31	2,9	B3
BIE19-5	Bienne	Longchaumois	488	14,3	12,09	19,5	65,7	15	0,5	7,5	201	3015	3,53	4,48	1,67	3,3	B3,5
BIE28-0	Bienne	Saint-Claude	425	15,7	4,06	28	58,4	18	0,7	12,6	185	3330	4,30	4,77	3,84	4,3	B4,5

Annexe 34 Résultats bruts et calculés des pêches électriques effectué en 2017

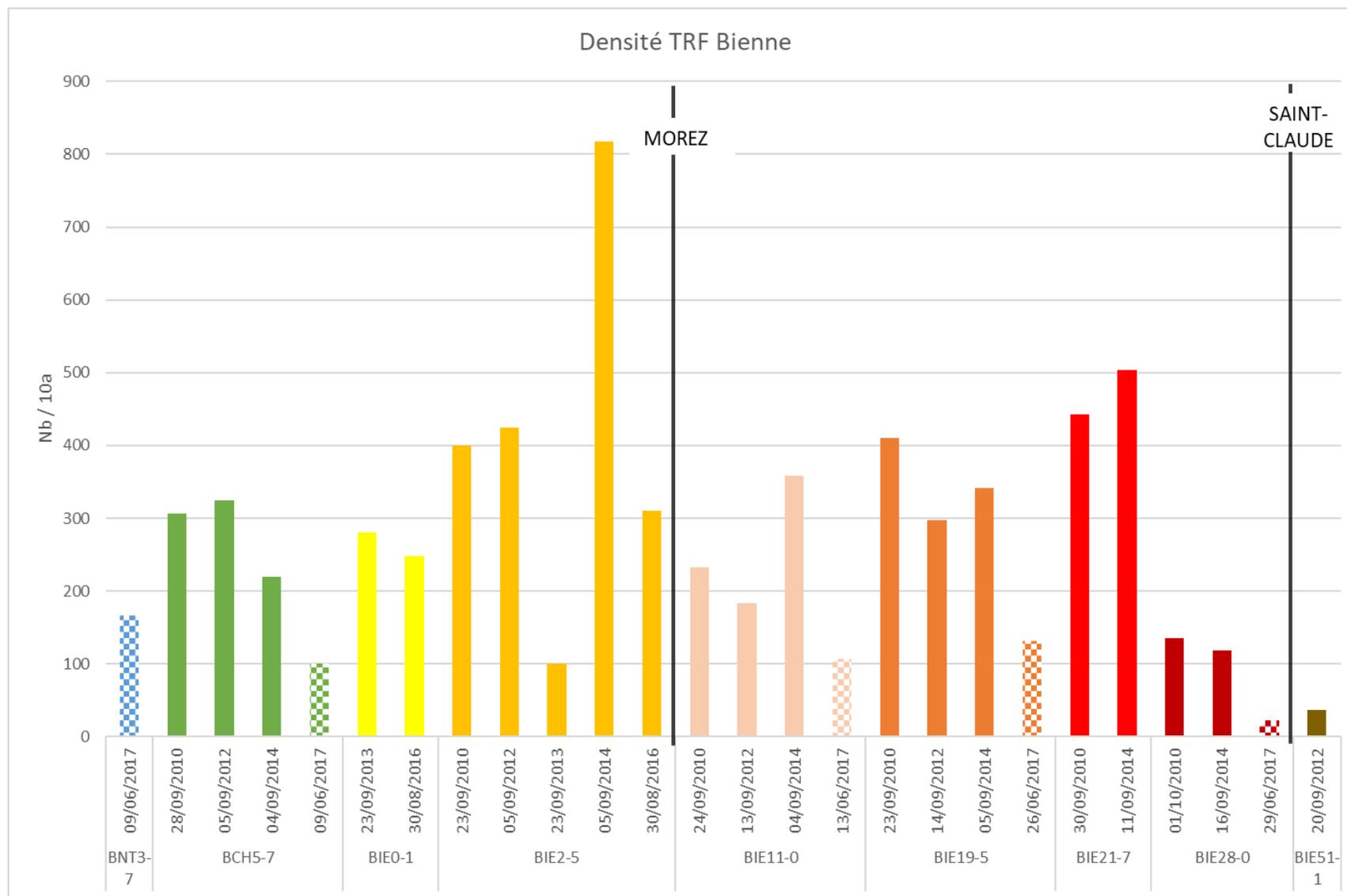
ANNEXE 2 Résultats bruts et calculés des pêches électriques effectuées en 2017

Station BNT3-7											
Bruts											
Date	Espèce	P1	P2	Nb total	Ind/10a	Biomasse (g)	g/ha				
2017-06-09	CHA	2	2	4	15,2	67	2537,9				
2017-06-09	TRF	38	6	44	166,7	2265	85795,5				
TOTAL	2	40	8	48	181,9	2332	88333,4				
Calculés											
Date	Espèce	P1	P2	Effectif estimé	Ind/10a	IC Ind/10a	Biomasse estimée (g)	g/ha	IC g/ha	CAN	CAP
2017-06-09	CHA	2	2	4	15,2	0	67	2537,9	0	1	1
2017-06-09	TRF	38	6	44	166,7	0	2265	85795,5	0	3	3
TOTAL	2	40	8	48	181,9		2332	88333,4			
Station BCH5-7											
Bruts											
Date	Espèce	P1	P2	Nb total	Ind/10a	Biomasse (g)	g/ha				
2017-06-09	TRF	48	6	54	100	4669	86463				
TOTAL	1	48	6	54	100	4669	86463				
Calculés											
Date	Espèce	P1	P2	Effectif estimé	Ind/10a	IC Ind/10a	Biomasse estimée (g)	g/ha	IC g/ha	CAN	CAP
2017-06-09	TRF	48	6	54	100	0	4669	86463	0	2	3
TOTAL	1	48	6	54	100		4669	86463			

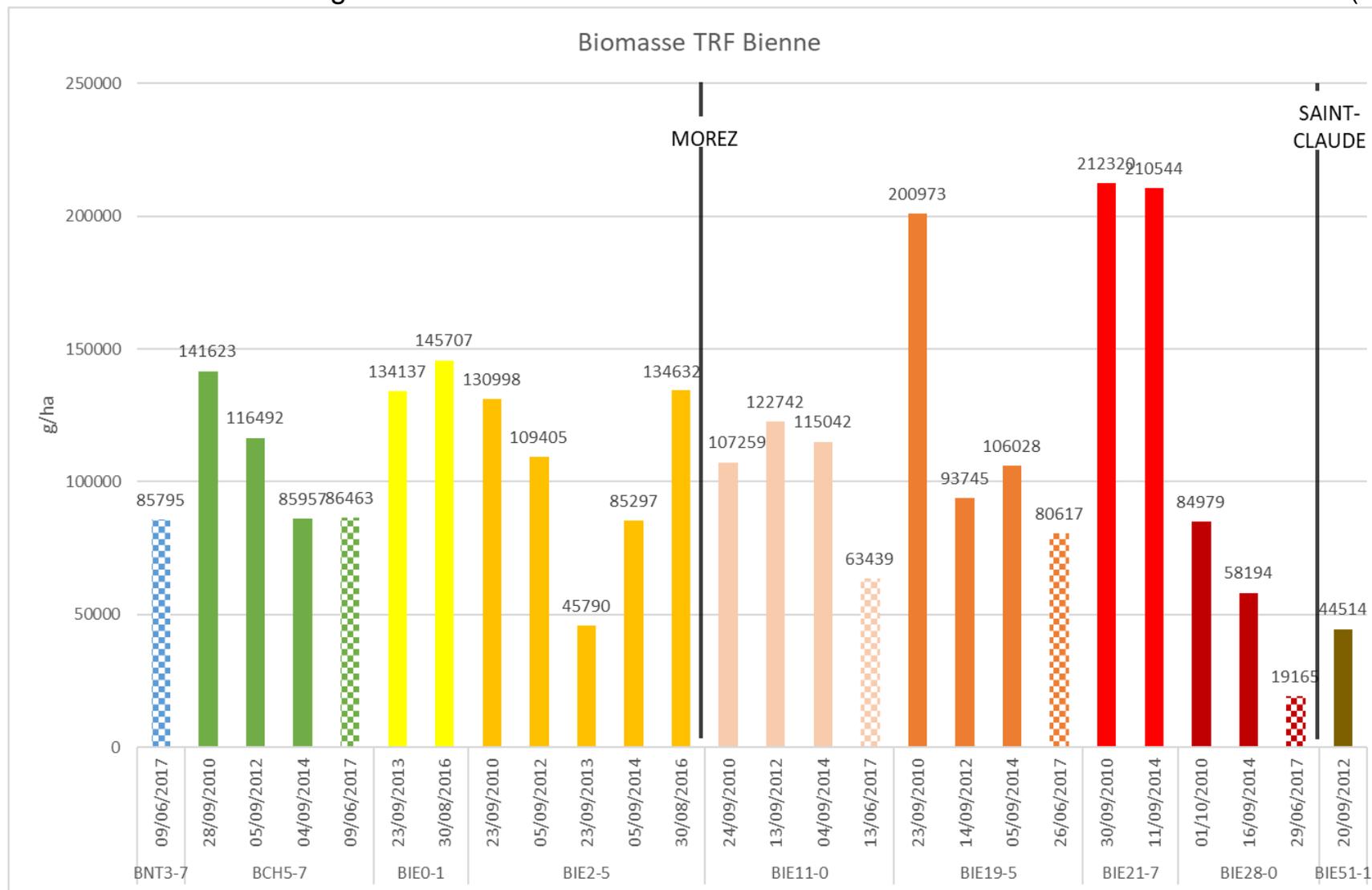
Station BIE11-0											
Bruts											
Date	Espèce	P1	P2	Nb total	Ind/10a	Biomasse (g)	g/ha				
2017-06-13	CHA	2	1	3	1,3	50	224,5				
2017-06-13	TRF	110	61	171	76,8	10763	48325,3				
TOTAL	2	112	62	174	78,1	10813	48549,8				
Calculés											
Date	Espèce	P1	P2	Effectif estimé	Ind/10a	IC Ind/10a	Biomasse estimée (g)	g/ha	IC g/ha	CAN	CAP
2017-06-13	CHA	2	1	3	1,3	0	50	224,5	0	0,1	1
2017-06-13	TRF	110	61	238	106,9	26,6	14129,2097	63439,3	763,5	3	3
TOTAL	2	112	62	241	108,2		14179,2097	63663,8			
Station BIE19-5											
Bruts											
Date	Espèce	P1	P2	Nb total	Ind/10a	Biomasse (g)	g/ha				
2017-06-26	CHA	6	0	6	2	118	391,4				
2017-06-26	LOF	1	0	1	0,3	3	10				
2017-06-26	TRF	397	0	397	131,7	24306	80616,9				
TOTAL	3	404	0	404	134	24427	81018,3				
Calculés											
Date	Espèce	P1	P2	Effectif estimé	Ind/10a	IC Ind/10a	Biomasse estimée (g)	g/ha	IC g/ha	CAN	CAP
2017-06-26	CHA	6	0	6	2	0	118	391,4	0	0,1	1
2017-06-26	LOF	1	0	1	0,3	0	3	10	0	0,1	1
2017-06-26	TRF	397	0	397	131,7	0	24306	80616,9	0	3	3
TOTAL	3	404	0	404	134		24427	81018,3			

Station BIE28-0											
Bruts											
Date	Espèce	P1	P2	Nb total	Ind/10a	Biomasse (g)	g/ha				
2017-06-29	CHA	4	0	4	1,2	67	201,2				
2017-06-29	LOF	30	9	39	11,7	165	495,5				
2017-06-29	TRF	51	18	69	20,7	5893	17696,7				
2017-06-29	VAI	133	35	168	50,5	493	1480,5				
TOTAL	4	218	62	280	84,1	6618	19873,9				
Calculés											
Date	Espèce	P1	P2	Effectif estimé	Ind/10a	IC Ind/10a	Biomasse estimée (g)	g/ha	IC g/ha	CAN	CAP
2017-06-29	CHA	4	0	4	1,2	0	67	201,2	0	0,1	1
2017-06-29	LOF	30	9	41	12,3	1,2	172	516,5	17,1	0,1	1
2017-06-29	TRF	51	18	77	23,1	3,3	6381,84211	19164,7	149,4	1	1
2017-06-29	VAI	133	35	179	53,8	3,3	520,5	1563,1	35,1	1	1
TOTAL	4	218	62	301	90,4		7141,34211	21445,5			

Annexe 35 Evolution longitudinale des densités de truites sur l'ensemble des stations d'inventaires (FJPPMA)



Annexe 36 Evolution longitudinale des biomasses de truites sur l'ensemble des stations d'inventaires (FJPPMA)



Annexe 37 Synoptiques du cuivre

ESPECES	VALEURS	EFFETS	REFERENCES
<i>Salmo trutta fario</i>	85 µg/L 61,5 µg/L (expo 96h)	100% de mortalité CL50	(Baldigo, 2001)
<i>Salmo trutta</i> / <i>Salvelinus fontinalis</i>	494-846 mg/kg/MS / 182-1113 mg/kg/MS (foie)	Déclin densité de population pour toute classe d'âge	(Moore, Luoma & Peters, 1991)
<i>Salmo trutta</i>	2394mg/kg/ MS (foie)	Lésions tissus (hépatocrites...), sévère perturbation de la fonction cellulaire.	(Farag <i>et al.</i> , 1995)
Impact sur la croissance			
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	4.6 à 9 µg/L/60j	Réduction poids et taille des poissons dès 20j	(Marr <i>et al.</i> , 1996)
<i>Oncorhynchus mykiss</i> / <i>Salmo trutta</i>	Variable (exposition eau + nourriture)	Impact du régime alimentaire plus marqué sur la croissance et le développement chez <i>Salmo trutta</i> . Amplifié quand eau + nourriture	(Woodward <i>et al.</i> , 1995)
Réduction de la réponse olfactive			
<i>Oncorhynchus kisutch</i>	5 µg/L (exposition 30min)	Réductions de 20% et 50% de la réponse olfactive, mort de la cellule sensorielle Le système olfactif de salmonidés pourrait ne pas être adapté à l'exposition continue au Cu	(Baldwin <i>et al.</i> , 2003; Sandahl <i>et al.</i> , 2004, 2007)
	0,44 µg/L - 1,42 µg/L	réduction de 29,2% de la réponse olfactive	(Hecht <i>et al.</i> , 2007)
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	25 µg/L (expo4h)	perte importante de neurones récepteurs olfactifs, aucune récupération à 50 µg/L Désorientation générale de l'individu	(Hansen <i>et al.</i> , 1999; Sloman <i>et al.</i> , 2002)
	30 µg/L (expo 48h)		
<i>Salmo trutta fario</i>	18 µg/L (expo 48h) 36 µg/L (expo 48h)	Réduction de 50% de la réponse olfactive Inhibition total des réponses olfactives	(Sloman <i>et al.</i> , 2002)
Effet comportementaux, Evitement			
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	2,4 µg/L	Comportement d'évitement sur tous les individus	(Hansen <i>et al.</i> , 1999; Meyer & Adams, 2010)
	0,84 µg/L	Réponse d'évitement dans 20% de la population	

	A long terme >2 µg/L	Incapacité à éviter en raison du mécanisme sensorielle affecté	
<i>Salmo trutta fario</i>	>55 µg/L 70 à 100 µg/L	Comportement d'évitement sur les juvéniles Réponse moyenne à l'évitement net	(Baldigo, 2001)
Effet sur la migration			
<i>Salmo salar</i>	20 µg/L	Barrière chimique, Migration en amont interrompue	(Sprague & Ramsay, 1965; Hecht <i>et al.</i> , 2007)
<i>Salmo trutta fario</i>	94 µg/L	Barrière chimique, Constatation d'une différenciation génétique entre 2 populations	Durrant et al. 2011
Reproduction affecté			
<i>Salmo trutta fario</i>	10 µg/L de Cu pendant 4 jours	Diminution significative de Production de gamètes la production gamète	Jaensson and Olsén 2010
	5 mg/L	Qualité des spermatozoïdes affectés (motilité et vitesse)	Lahnsteiner, Mansour, and Berger 2004
Réponse immunitaire			
<i>Salvelinus fontinalis</i>	6 µg/L de 5 à 20 heures	Augmentation des fréquences de toux	Drummond, Spoor, and Olson 1973
<i>Salmo trutta fario</i>	2.1 ppb (Chair)	Sensibilité accrue à la nécrose hématopoïétique infectieuse (NHI)	Élie and Girard 2014
<i>Salmo trutta fario</i>	7 à 10 ppb	Augmentation du taux de mortalités à la yersiniose	Aldrin 1987
<i>Salmo trutta</i>	213.12-335.25 mg/kg/MS (foie)	Réponses physiologiques	Olsvik et al. 2000