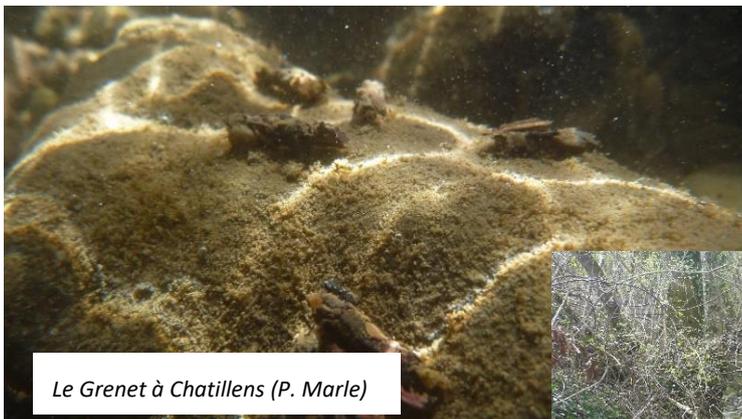


Mémoire de stage

DIAGNOSTIC ÉCOLOGIQUE D'UN AFFLUENT DU LAC DE MORAT. MISE EN ÉVIDENCE DES PRINCIPALES CAUSES D'ALTÉRATION ET PROPOSITION D'ACTION VISANT À RESTAURER LA QUALITÉ ÉCOLOGIQUE DE LA BROYE



Le Grenet à Chatillens (P. Marle)



Le Carrouge à Bressonnaz (P. Marle)

Écrit par : Lucie MIGLIORE

Encadrant : Pierre MARLE

Direction générale de l'environnement, Ch. des Boveresses 155, 1066 Epalinges

Tuteurs universitaires : Hervé DECOURCIERE et François DEGIORGI

Jury : Pierre-Marie BADOT (Professeur), Catherine BERTRAND (Professeure), Hervé DECOURCIERE (Hydroécologiste), François DEGIORGI (Maître de Conférences), Eric LUCOT (Maître de Conférences), Pierre MARLE (Hydrobiologiste)

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Pierre MARLE, mon tuteur de stage, pour sa confiance et les connaissances qu'il a su partager avec moi. Je le remercie aussi pour sa disponibilité et la qualité de son encadrement.

Je souhaite également remercier Nathalie MENETREY, cheffe de la section Biologie des Eaux, pour m'avoir conseillée au cours de mon stage et consacré de son temps. Ainsi, que Florence DAPPLES, Cheffe de la Division Protection des eaux, et toute l'équipe de la division Protection des eaux, pour leur accueil, leurs conseils et leur bienveillance.

Mes remerciements vont à Phillipe SAVARY et Julien GIRARDIER, police faune-nature, pour leurs observations et informations vu sur le terrain.

Je tiens à remercier Pascal Mulattieri, hydrobiologiste à Bio'Eau, le bureau d'étude Aquabug pour leur travail de détermination des invertébrés. Ainsi que le Centre ecotox pour leurs conseils sur l'utilisation des « Ostracodtoxkit ».

Je souhaite adresser mes remerciements à l'équipe pédagogique du Master QuEST pour avoir assuré un suivi tout au long de la formation et de mon stage. Merci à Hervé DECOURCIERE, tuteur universitaire, pour la correction des listes faunistiques et ses conseils.

Enfin, un grand merci à ma famille, Maeva et Valentin pour m'avoir conseillé dans la rédaction de ce rapport et leur gentillesse de l'avoir relu.

Table des matières

1.	Introduction	10
2.	Matériel et méthodes	12
2.1.	Contexte	12
2.1.1.	Contexte géographique	12
2.1.1.	Contexte hydrologique	14
2.1.2.	Contexte géologique	15
2.1.3.	Occupation du sol	15
2.1.4.	Contexte climatique et températures	18
2.1.5.	Historique.....	19
2.2.	Méthodes	20
2.3.	Physico-chimie	22
2.3.1.	Nutriments	22
2.3.2.	Micropolluants et quotient de risque pour la faune et la flore aquatique	22
2.4.	Macroinvertébrés	23
2.4.1.	IBCH : Protocole d'échantillonnage	23
2.4.2.	IBCH : Tri et détermination	25
2.4.3.	IBCH : Méthode de calcul de l'indice	26
2.4.4.	Calcul de la biomasse	29
2.4.5.	Traitement des données	29
2.5.	Tests écotoxicologiques	30
2.5.1.	Détermination des sites d'échantillonnage	30
2.5.2.	Prélèvements de sédiments sur le terrain	33
2.5.3.	Evaluation de la qualité des sédiments	33
2.6.	Températures.....	34
3.	Résultats.....	34
3.1.	Physico-chimie	34
3.1.1.	Nutriments	34
3.1.2.	Micropolluants.....	35

3.2.	Macroinvertébrés	36
3.2.1.	L'indice IBCH	37
3.2.2.	Composition du peuplement	40
3.2.3.	Traits biologiques et écologiques	44
3.3.	Suivis écotoxicologiques	46
3.4.	Evolution des températures	48
4.	Discussions	48
4.1.	Eaux superficielles.....	48
4.1.1.	Etat des lieux.....	48
4.1.2.	Solutions.....	51
4.2.	Sédiments.....	52
4.2.1.	Tests écotoxicologiques et faunes benthiques.....	52
4.2.2.	Solutions.....	54
4.3.	Habitats	54
4.3.1.	Qualité morphologique.....	54
4.3.2.	Solutions	55
4.4.	Critiques.....	56
4.4.1.	Chimie : micropolluants.....	56
4.4.2.	Ostracodtookit	56
4.4.3.	Compartiment biologique	57
5.	Conclusions	57
6.	Bibliographie	58
7.	Annexes.....	63

Table des figures et tableaux

Figure 1. Carte de la Suisse avec le canton de Vaud en contour noir et le bassin versant de la Broye en rouge.	12
Figure 2. Carte du bassin versant de la Broye et de ses affluents (le point violet représente la station de mesure des valeurs de débit et des températures).....	13
Figure 3. Mesure des débits et températures de la Broye sur une année (Office fédéral de l’environnement OFEV, 2023).....	14
Figure 4. Carte géologique simplifié du canton de Vaud, avec le bassin versant de la Broye (contour noir) (La géologie vaudoise en bref ... État de Vaud, s. d.).	15
Figure 5. Carte géologique de notre secteur d’étude à l’échelle 1 :500000 (Office fédéral de topographie swisstopo, s. d.).	15
Figure 6. Surface totale (barre) et pourcentage (étiquette) d'occupation du sol du bassin versant de la Broye selon le Corine Land Cover 2018 (CLC 18).	16
Figure 7. Carte de l'occupation du sol (CLC 18) du bassin versant de la Broye (CORINE Land Cover Schweiz - Projets - WSL, 2018).....	17
Figure 8. Représentation des frontières de la zone biogéographique de la grande région du Plateau (en vert) selon l’Office fédéral de l’environnement (OFEV) (NCCS, 2022).....	18
Figure 10. Carte de la Suisse avec la somme annuelle des précipitations (en mm) pour la période 1991-2020. La ville de Payerne est représentée par le point jaune (Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse, 2021).....	18
Figure 9. Carte de la Suisse avec des données de température moyenne annuelle (en °C) pour la période 1991-2020. La ville de Payerne est représentée par le point jaune (Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse, 2021).	Erreur ! Signet non défini.
Figure 11. Diagramme ombro-thermique de la ville de Payerne (simulation 2023) (Meteoblue, 2023).	18
Figure 12. Evolution de l'écomorphologie de la Broye de 1864 à nos jours.....	19
Figure 13. La Broye en amont de Lucens, 2023 (P. Marle).	19
Figure 14. Evolution des notes IBCH (sur 1) de quatre stations (Palézieux-Gare, Bressonnaz, amont Lucens et amont Payerne) de la Broye en fonction des années.	20
Figure 15. Situation du bassin versant de la Broye et localisations des différentes stations de prélèvements.	21
Figure 16. Etiquette de prélèvement IBCH sur la Bressonne à Cullayes.....	25

Figure 17. Graphique de la Valeur VT de 1 à 14 ramenée à une échelle métrique de 0 à 1 (Stucki et al., 2019).....	27
Figure 18. Carte des rejets connus et leurs atteintes supposées sur le milieu naturel et leurs influences sur les invertébrés sur le bassin versant de la Broye. Données issues du rapport sur l'épuration de la moyenne Broye (Vuilleumier et al., 2022).	32
Figure 19. Deux plaques de sédiment test et une de sédiment référence.....	33
Figure 20. Abondance par m ² par station, issu des résultats IBCH.....	37
Figure 21. Note IBCH (à gauche) et sa robustesse (à droite) de l'IBCH évalué entre 0 et 1. La couleur des barres représente la classe de qualité associée relative aux SMG. Valeurs issues des résultats IBCH réalisés sur 22 stations du bassin versant de la Broye.	38
Figure 22. Classe de variété (VT ; à gauche) et Groupe indicateur (GI ; à droite) évalués entre 0 et 1. La couleur des barres représente la classe de qualité associée relative au SMG. Valeurs issues des résultats IBCH réalisés sur 22 stations du bassin versant de la Broye.	38
Figure 23. Carte des classes de qualité IBCH (cercle) accompagné de la classe de qualité de la robustesse (contour) sur le bassin versant de la Broye.	39
Figure 24. Variété familiale et générique des stations du bassin versant de la Broye.	40
Figure 25. AFC des stations en fonction de leur peuplement. Les taxons communs entre x = [-1.5 ; -0.5] et y = 0 ont été retirés pour faciliter la lecture.....	41
Figure 26. Nombre d'espèces d'EPT (Ephémère, Plécoptère et Trichoptère) présent sur les différentes stations en fonction de leur catégorie de menace (DD = Données insuffisantes, LC = Non menacé, NT = Potentiellement menacé et VU = Vulnérable).....	44
Figure 27. Pourcentage de taxons polluo-résistants et/ou saprobiontes et/ou ubiquistes.	45
Figure 28. Abondance totale de la famille des Elmidae et Gammaridae.....	45
Figure 29. Proportion des préférences thermiques par station.	46
Figure 30. Nombre d'ostracodes survivants par sédiment test (Les tests sur la BROYE PALÉZIEUX-GARE/LUCENS/CORCELLES ont été réalisé 2 fois (points bleus). La ligne rouge représente la valeur où la mortalité est considéré sévère.	47
Figure 31. Évolution des températures moyennes mensuelles RCP2.6 (à gauche) et RCP8.5 (à droite) - (Sauvin & Steiger, 2023).....	48
Figure 33. Substrat colmaté par le rejet de fosse à purin sur le Neyrevaux à l'aval de Peney (P. Marle 27/04/2023).	52
Figure 32. Substrat colmaté par le petit lait sur la Broye à Palézieux-Gare (P. Marle 19/04/2023).	52

Tableau 1. Débits moyens et températures moyennes mensuelle de l'année 2022 mesurés sur la Broye par la station Payerne (Office fédéral de l'environnement (OFEV), 2023).	14
Tableau 2. Evaluation du suivi des micropolluants organique selon l'OEau et les classes de l'évaluation des risques.....	23
Tableau 3. Fenêtres d'échantillonnage prioritaires recommandées en fonction de l'altitude (Stucki et al., 2019).....	23
Tableau 4. Déterminateur par station.....	25
Tableau 5. Détermination des classes de variété.	27
Tableau 6. IBCH-Q des rivières et stations étudié.....	27
Tableau 7. Classe de qualité IBCH (Stucki et al., 2019).	28
Tableau 8. Détermination du groupe faunistique indicateur (Stucki et al., 2019).	28
Tableau 9. Station des suivis écotoxicologiques.	31
Tableau 10. Percentile 90 des concentration annuelle 2022 des nutriments et leurs classes de qualité dans les différentes stations sur le bassin versant de la Broye. Les valeurs de critère de qualité viennent du SMG (Lietchi, 2010) et se trouve en Annexe 2	35
Tableau 11. Classe de qualité chimique et risques liés aux micropolluants.	35
Tableau 12. Proportion des individus (barres de couleurs) et nombre d'individus faisant partie de des groupes indicateurs 6 à 9.....	43

Table des annexes

Annexe 1. Percentile 90 des concentrations annuelles de 1991 à 2022 des nutriments et leurs classes de qualité dans les différentes stations sur le bassin versant de la Broye.....	63
Annexe 2. Appréciation des valeurs mesurées, répartition en classes d'état chimique et classement de l'état chimique en fonction des paramètres (Lietchi, 2010).....	64
Annexe 3. Grille d'échantillonnage IBCH (Stucki et al., 2019).....	64
Annexe 4. Protocole SMG (Système Modulaire Gradué) « Ecomorphologie» et «Aspect général» (Stucki et al., 2019).....	65
Annexe 5. Listes faunistiques des 8 stations déterminés à la famille par le bureau d'étude Biol'Eau	66
Annexe 6. Protocole laboratoire (Stucki et al., 2019).....	67
Annexe 7. Diagramme décisionnel pour la détermination du régime d'écoulement IBCH (régime IBCH-Q) (Stucki et al., 2019).....	68

Annexe 8. Données issues du rapport sur l'épuration de la moyenne Broye (Vuilleumier et al., 2022).....	69
Annexe 9. Fiche d'échantillonnage du sédiment (Casado et al., 2022).....	70
Annexe 10. Tests de contact avec les sédiments effectués. Les seuils de toxicité sont utilisés pour classer les échantillons selon la sévérité des effets mesurés (Casado-Martinez, 2023).....	71
Annexe 11. Script R studio et résultat du test de corrélation de Pearson.....	72
Annexe 12. Concentrations instantanées des métaux, ne respectant pas les objectifs de l'OEaux, dans 7 stations du bassin versant de la Broye.....	73

Glossaire

IBCH : Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau en Suisse (Stucki et al., 2019).

Macroinvertés benthiques : l'ensemble des organismes animaux pluricellulaires invertébrés vivant sur ou dans les substrats aquatiques. Ils ont une taille d'au moins 500 µm (Verneaux, 2021).

OFEV : Office fédéral de l'environnement, veille une utilisation durable des ressources naturelles tout en garantissant la sécurité de la population contre les menaces naturelles et en préservant l'environnement contre les dommages excessifs (Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication, 2023).

Système Modulaire Gradué (SMG) : série de méthodes de relevé et d'évaluation de l'état des eaux (Liechti et al., 1998)

Taxons eurythermes : taxons supportant des larges variations de température (Tachet et al., 2010).

Taxons polluo-résistants : taxons pouvant se maintenir dans un milieu perturbé par la présence d'une pollution (Verneaux, 2021).

Taxons psychrophiles : taxons préférant les eaux froides (température > 15 °C) (Tachet et al., 2010).

Taxons saprobiontes : taxons se nourrissant de déchets (Tachet et al., 2010).

Taxons thermophiles : taxons préférant les eaux chaudes (température > 15 °C) (Tachet et al., 2010).

Taxons ubiquistes : taxons pouvant vivre partout, qui s'adaptent facilement aux milieux les plus divers (Verneaux, 2021).

Résumé

Cette étude a pour objectif de réaliser un diagnostic écologique sur le bassin versant de la Broye. L'état écologique de la Broye et de ses principaux affluents a été apprécié, avec le compartiment biologique (22 stations IBCH (macroinvertébrés benthiques)), le compartiment chimique des eaux (sept stations du suivi des nutriments et une station du suivi des micropolluants) et le compartiment physique (thermie). Des tests écotoxicologiques, pour évaluer la toxicité du sédiment, à partir d'ostracodes (*Heterocypris incongruens*), ont été appliqués sur une dizaine de stations. Bien que les affluents apportent de l'eau plus fraîche et de la diversité biologique à la Broye, nos analyses montrent que le bassin versant de la Broye a une qualité chimique, biologique et thermique « moyenne ». Les cours d'eau de ce bassin versant sont principalement impactés en aval, essentiellement par l'agriculture, les rejets de STEP et la chenalisation du lit principal de la Broye. Des propositions d'action visant à améliorer la qualité écologique du bassin versant de la Broye sont proposés dans ce rapport.

Abstract

The aim of this study is to carry out an ecological assessment of the Broye River and its tributaries. The ecological status of the Broye River and its main tributaries was assessed, including the biological compartment (22 « IBCH » stations (based on aquatic macroinvertebrates)), the chemical compartment of the surface waters (7 stations based on nutrient contents and one station based on micropollutants) and the physical compartment (thermal regime). Ecotoxicological tests based on ostracods (*Heterocypris incongruens*) were also applied on ten stations to assess sediment toxicity. Even if the tributaries provide cooler water and biological diversity to the Broye River, our analyses showed that the Broye River basin has « medium » chemical, biological and thermal quality. The watercourses in this catchment area are mainly impacted in downstream, by agriculture, effluent of wastewater treatment plant and channelisation of the Broye River. Proposals for action to improve the ecological quality of the Broye catchment are set out in this report.

1. Introduction

Le diagnostic écologique permet de déterminer l'état écologique d'un milieu. Dans les cours d'eau, cet état écologique est déterminé en fonction de plusieurs compartiments : la **biologie** (poissons, invertébrés aquatiques, macrophytes...), la **physicochimie** (nutriments, éléments toxiques, thermie, oxygène...), l'**hydrodynamisme** et l'**écomorphologie** (hydrologie, transit sédimentaire et morphologie du cours d'eau) (Liechti et al., 1998). L'évaluation de l'état écologique permet de cerner les enjeux territoriaux, guidant ainsi l'orientation du programme d'action visant à préserver ou réhabiliter les écosystèmes aquatiques (Lemerle & Minssieux, 2018).

Les écosystèmes en « bon état » rendent une multitude de services aux sociétés humaines, par exemple un service culturel et récréatif, une ressource en eau... (Roux-Michollet et al., 2013). De ce fait, l'OFEV (Kunz et al., 2016) a défini le bon état des eaux de surface comme étant des systèmes pouvant garantir un fonctionnement naturel durable des écosystèmes et satisfaire les usages humains. Aujourd'hui, face aux pressions multiples que subissent les cours d'eau Suisse, il devient indispensable de pouvoir évaluer l'état des écosystèmes aquatiques à partir d'outils et d'indices normalisés tel que l'IBCH (Office fédéral de l'environnement OFEV, 2019) ou des tests écotoxicologiques comme le test ostracode et chironome (Casado-Martinez, 2023).

L'utilisation de ces indices et outils donnent souvent lieu à une note, qui donneront des classes d'états pour chaque compartiment (très bonne, bonne, moyenne, médiocre et mauvaise). Ces classes d'état écologiques ont été mise en place, au niveau Suisse, par le Système Modulaire Gradué (SMG) (Baumann & D. Langhan, 2010) permettant ainsi une comparaison spatiale et temporelle de l'état des cours d'eau.

Le SMG comporte un module pour mesurer l'état de l'hydrologie (Régime des débits, des crues...) (Pfaundler et al., 2011), mais aussi de l'écomorphologie (Zeh Weissman et al., 2009). Une bonne écomorphologie correspond à une diversité de faciès d'écoulement, des berges non artificialisées, des sédiments mobiles, une ripisylve diversifiée, un corridor fluvial boisé (Malavoi, 2007). La qualité biologique selon le SMG repose sur la présence ou l'absence d'espèces/taxons, appelés bioindicateurs, dans un milieu. Les bioindicateurs les plus étudiés pour le diagnostic écologique d'un milieu aquatique sont les diatomées (DICH), les macrophytes, les macroinvertébrés benthiques (IBCH) et les poissons (Schager & Peter, 2004). Ensuite, la qualité chimique des cours d'eau est déterminée par des Critères de Qualité Environnemental (CQE), qui sont les concentrations pour chaque substance chimique en dessous desquelles aucun effet nuisible sur les organismes et le milieu aquatiques n'est noté (Korkaric et al., 2017). En cas de mauvaise qualité chimique, pouvant être causée par une pollution industrielle (pollution aux métaux, médicaments...), une pollution agricole

(pesticides, engrais...) ou des rejets de stations d'épuration (STEP), des bioessais écotoxicologiques sont parfois proposés comme par exemple le test YES (Yeast Estrogen Screen) (Kienle et al., 2017) ou encore l'Ostracodtoxkit (ISO 14371 - Water quality - Determination of freshwater sediment toxicity to avec l'espèce : *Heterocypris incongruens* (Ramdohr, 1808) (Crustacea, Ostracoda) (MicroBioTests). Enfin, le SMG permet aussi d'évaluer le régime thermique d'un cours d'eau. Cette évaluation est basée sur une comparaison avec une condition de référence (Basler et al., 2011). En raison des impacts du changement climatique, les températures des cours d'eau ont connu une hausse significative ces dernières décennies. En effet, la hausse des températures de l'eau peut impacter les processus chimiques et biologiques (Caissie, 2006). Les cours d'eau les plus impactés sont ceux situés à basses altitudes, notamment ceux sur le Plateau Suisse (Schindler Wildhaber et al., 2022). Une étude portant sur l'évolution des températures a révélé que les cours d'eau dont les températures d'eau relativement chaudes actuellement, (e.g. comme celui de la Broye dans le canton de Vaud), auront des températures dépassant les 25 °C presque chaque année dès 2030-2040. Vers la fin du siècle, dans le cas de scénarios d'émissions élevées, la température de l'eau dépassera ce seuil pendant environ deux mois par an (Michel et al., 2021).

Aujourd'hui, environ 15% des cours d'eau du canton de Vaud sont artificialisés ou fortement modifiés (soit 425 km de cours d'eau sur un total de 2792 km, sans inclure les ruisseaux souterrains (205 km, soit 7%))(Hohl et al., 2005). Ces altérations morphologiques et hydrologiques constituent une des principales causes à l'origine des déséquilibres des communautés macrozoobenthiques (Wüthrich, 2021). Les cours d'eau du plateau, où se concentrent les activités agricoles, économiques et une dense urbanisation, subissent des contaminations aux pesticides et médicament (Schindler Wildhaber et al., 2022). Les zones les plus touchées sont les plaines du Rhône, de l'Orbe, et de la Broye (Hohl et al., 2005). Pourtant, ces grands cours d'eau ont un potentiel écologique élevé. Ils méritent donc une attention particulière pour leur restauration et leur préservation.

L'objectif de ce mémoire est de faire un diagnostic sur l'un des trois bassins versants les plus anthropisés du canton de Vaud : le bassin versant de la Broye. Un bassin versant regroupe l'ensemble des terres où ruissellent et s'infiltrent toutes les eaux qui alimentent un cours d'eau (Thibault, 1997). La Broye est l'un des plus grands cours d'eau du canton de Vaud qui avec ses affluents, représentent la principale source d'approvisionnement en eau pour les agriculteurs du secteur (Morard & Stauffer, 2014). En tant qu'affluent du lac de Morat, la Broye bénéficie d'un cortège d'espèces bien spécifique (Mac Nally & Wallis, 2011) mais aujourd'hui menacés (e.g. la truite lacustre (*Salmo trutta f. lacustris*) (Linnaeus, 1758)) (Zaugg, 2022) ou encore l'éphémère *Caenis rivulorum* (Eaton, 1884) (Wagner et al., 2010), en danger dans la liste rouge). En effet des dernières données piscicoles ont montré la présence de

population de barbeau, toutefois la truite et l'ombre sont devenus rares et le nase (autrefois abondant) a aujourd'hui complètement disparu (Morard & Stauffer, 2015).

Bien que la Broye et ses affluents aient été partiellement restaurés (Morard & Stauffer, 2015), la qualité thermique (en 2015, la température était supérieure à 25°C pendant environ 20 jours) (Schindler Wildhaber et al., 2022), biologique (classe d'état de l'IBCH moyenne en 2019) et chimique (les concentrations en pesticides dépasse l'Annexe 2 de l'OEaux ; DGE-PRE, 2022) de ses eaux est encore parfois en dessous des exigences légales (Annexe 1 de l'Ordonnance sur la protection des eaux (OEaux), 1998). Ainsi, dans cette présente étude, l'état écologique de la Broye et de ses principaux affluents sera apprécié. Le compartiment biologique (22 stations IBCH (macroinvertébrés benthiques)), le compartiment chimique des eaux (sept stations de suivi sur les nutriments et une station de suivi sur les micropolluants) et le compartiment physique avec l'étude du régime thermique des eaux (deux stations) seront suivis. Dans certains cas, afin d'évaluer certains rejets impactant mais aussi pour faciliter l'analyse des résultats biologiques IBCH, plusieurs tests écotoxicologiques seront appliqués sur une dizaine de stations. L'état écologique de la Broye sera ensuite comparé à son état historique à l'aide de données biologiques et physico-chimiques anciennes. Ainsi, il sera possible d'identifier les pressions et dysfonctionnements présents sur le bassin versant de la Broye et, par la suite, proposer des actions visant à restaurer la qualité écologique de cette rivière et de ses affluents.

2. Matériel et méthodes

2.1. Contexte

2.1.1. Contexte géographique

La zone d'étude se situe sur le bassin versant de la rivière la Broye, présente à la fois dans le canton de Vaud (VD) et de Fribourg (FR) en Suisse (**Figure 1**). Ce secteur est localisé au Nord-Est de la ville de Lausanne et au Sud-Ouest de la ville de Fribourg (**Figure 2**).

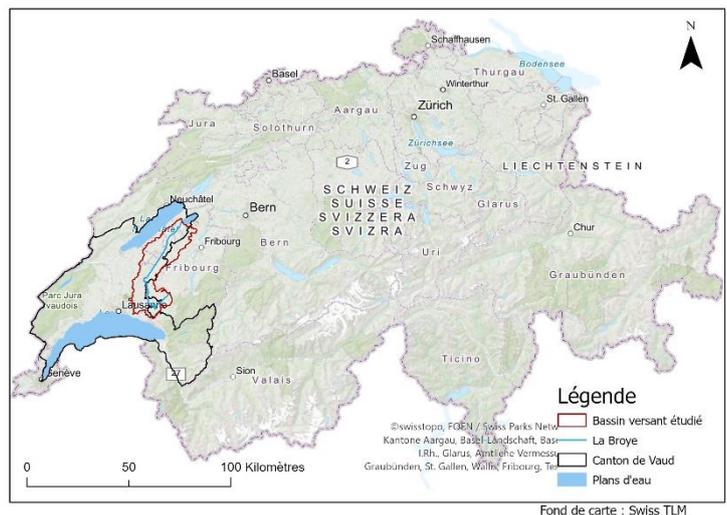


Figure 1. Carte de la Suisse avec le canton de Vaud en contour noir et le bassin versant de la Broye en rouge.

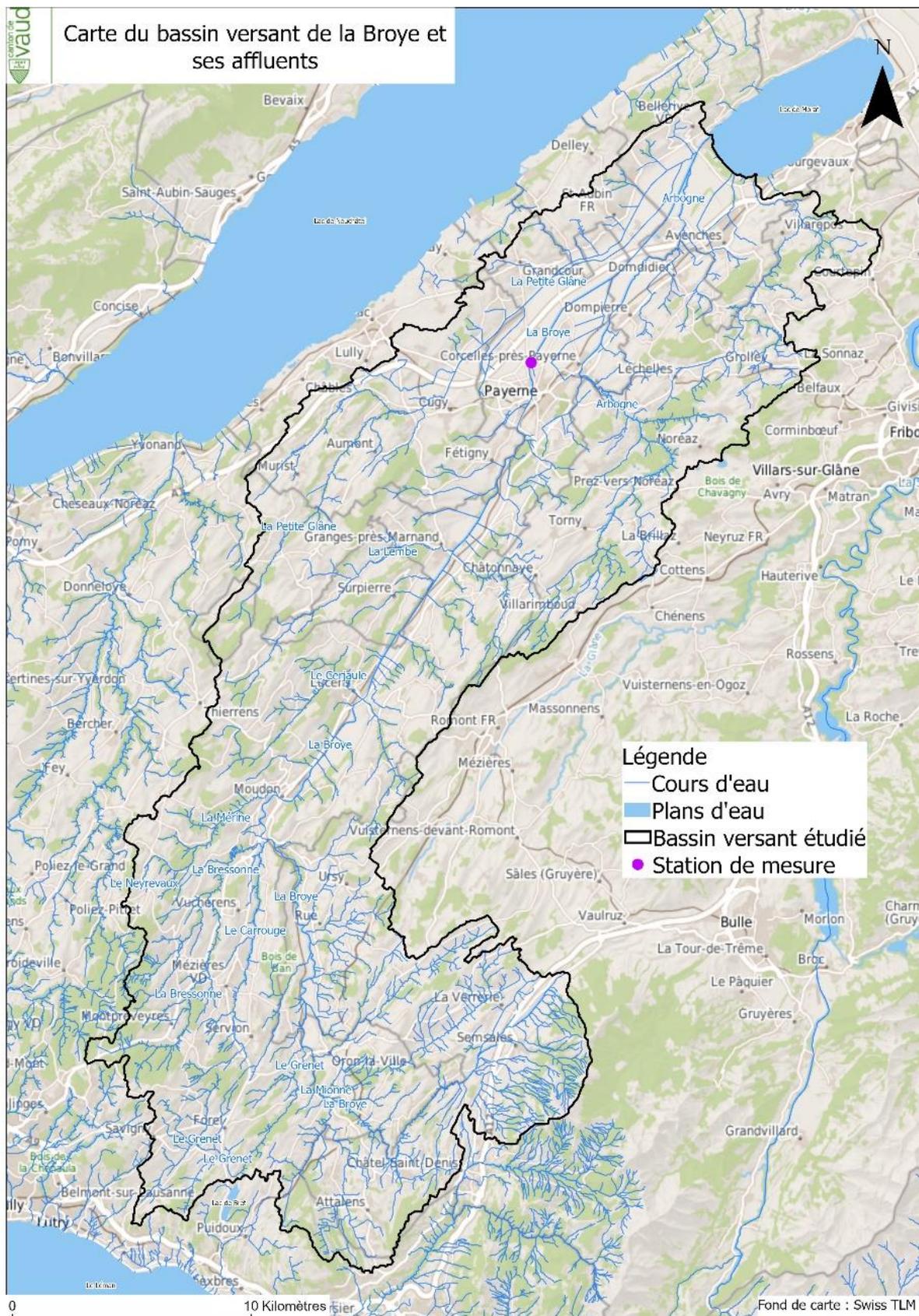


Figure 2. Carte du bassin versant de la Broye et de ses affluents (le point violet représente la station de mesure des valeurs de débit et des températures).

2.1.1. Contexte hydrologique

La Broye coule sur plus de 80 km. Elle prend sa source à Semsales (FR), passe par Moudon (VD) et Payerne (VD), et se jette dans le lac de Morat (Morard & Stauffer, 2015). La surface de son bassin hydrographique est de 660 km². Elle possède 18 affluents dont, pour les plus importants (et suivis dans le cadre de cette étude), le Grenet, la Mionne, la Bressonne, le Carrouge, la Mérine, le Cerjaula, la Lembe, la Petite Glâne et l'Arbogne (**Figure 2**).

La Broye présente un débit moyen interannuel de 7.7 m³/s pour une température moyenne de l'eau de 10,8 °C (période 1920-2019) à Payerne (Office fédéral de l'environnement OFEV, 2023). Durant l'année 2022, le débit moyen annuel était de 5,6 m³/s pour une température moyenne annuelle de l'eau de 12.8°C (**Tableau 1**). L'année 2023 a été une année assez chaude, puisque la température de l'eau de la Broye a dépassé les 25°C du 22 au 24 août avec des débits de 0,4 m³/s (**Figure 3**).

Tableau 1. Débits moyens et températures moyennes mensuelle de l'année 2022 mesurés sur la Broye par la station Payerne (Office fédéral de l'environnement (OFEV), 2023).

Mois	Débit moyen (m ³ /s)	Température moyenne (°C)
Janvier	7.5	3.6
Février	8.8	4.8
Mars	3.8	7.5
Avril	5.7	10.7
Mai	2.3	17.6
Juin	1.8	20.8
Juillet	1.1	22.6
Août	1	21.5
Septembre	6.6	16
Octobre	6.3	13.7
Novembre	9	9.2
Décembre	13	5.5
Moyenne annuelle	5.6	12.8

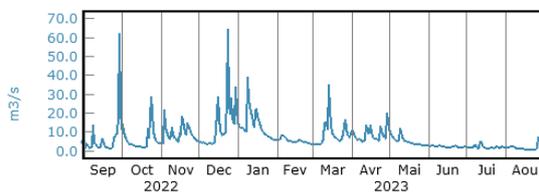


Figure 3. Mesure des débits et températures de la Broye sur une année (Office fédéral de l'environnement OFEV, 2023).

2.1.2. Contexte géologique

Le secteur d'étude se situe sur le bassin molassique (**Figure 4**). La Broye s'écoule essentiellement sur des alluvions du quaternaire et des dépôts molassiques du tertiaire (**Figure 5**). La molasse est une roche sédimentaire détritique. Elle se forme pendant des périodes de soulèvement tectonique, d'érosion et de sédimentation. La molasse est généralement constituée de sables, graviers et d'argiles (Rousset, 2012). La molasse est une géologie perméable et poreuse, elle peut montrer un fort risque d'érosion et de transfert (Ribeyreix-Claret, 2001).

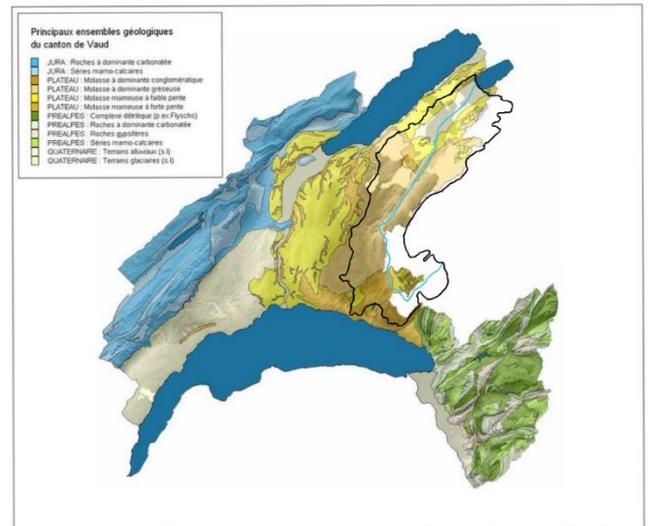


Figure 4. Carte géologique simplifiée du canton de Vaud, avec le bassin versant de la Broye (contour noir) (La géologie vaudoise en bref... | État de Vaud, s. d.).

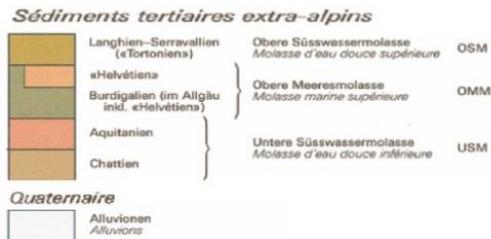
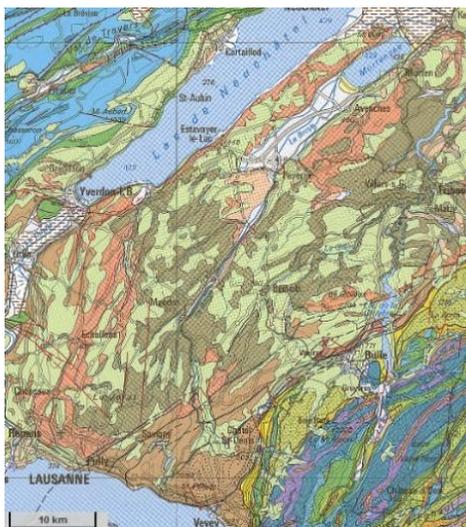


Figure 5. Carte géologique de notre secteur d'étude à l'échelle 1:500000 (Office fédéral de topographie swisstopo, s. d.).

2.1.3. Occupation du sol

Le bassin versant de la Broye est principalement occupé par des terres arables non-irriguées (67% du bassin versant) (**Figure 6**) et des terres agricoles (modèles de cultures complexes (=mosaïque de petites parcelles de terre cultivée avec des cultures annuelles, pâturages et/ou cultures permanentes (European Topic Centre on Urban, land and soil systems, 2017)), terres principalement occupées par l'agriculture avec des zones importantes de végétation naturelle et pâtures) (**Figure 7**).

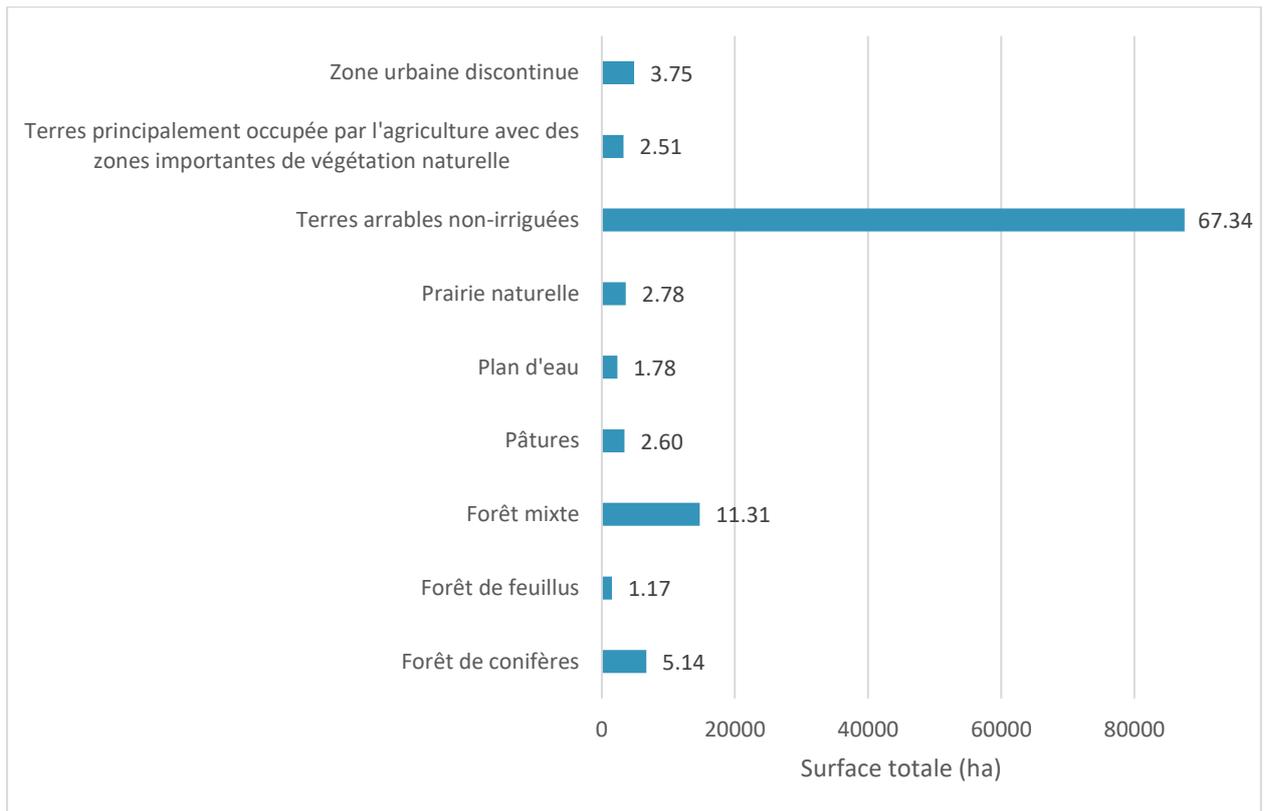


Figure 6. Surface totale (barre) et pourcentage (étiquette) d'occupation du sol du bassin versant de la Broye selon le Corine Land Cover 2018 (CLC 18).

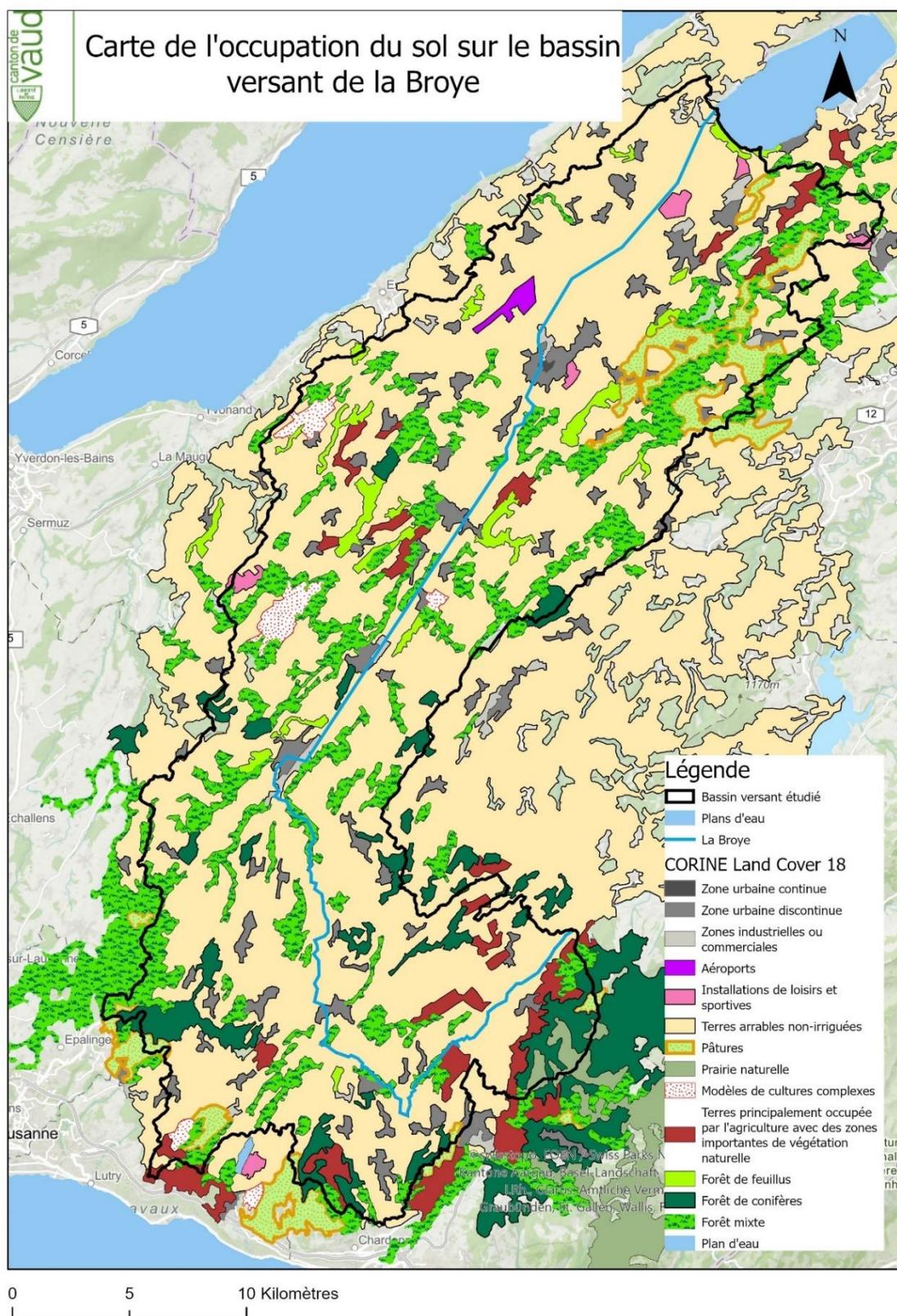


Figure 7. Carte de l'occupation du sol (CLC 18) du bassin versant de la Broye (CORINE Land Cover Schweiz - Projets - WSL, 2018).

2.1.4. Contexte climatique et températures

Le bassin versant de la Broye est situé sur le plateau Suisse (**Figure 8**) représenté par un climat tempéré et humide caractérisé par des changements de saison marqués entre l'hiver et l'été (NCCS, 2022a).

La température moyenne annuelle sur le Plateau est comprise entre 8 et 12 °C (**Figure 9**),

les valeurs les plus élevées étant atteintes au bord du Léman et au pied sud du Jura (Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse, 2021). Les précipitations sont comprises entre 900 et 1300 mm par an sur le bassin versant de la Broye (**Figure 10 et 11**).



Figure 8. Représentation des frontières de la zone biogéographique de la grande région du Plateau (en vert) selon l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) (NCCS, 2022).

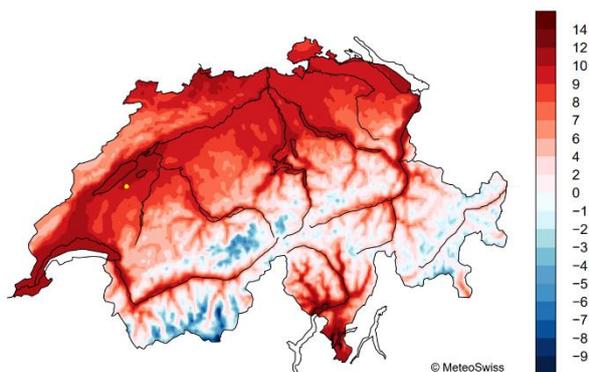


Figure 9. Carte de la Suisse avec des données de température moyenne annuelle (en °C) pour la période 1991-2020. La ville de Payerne est représentée par le point jaune (Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse, 2021).

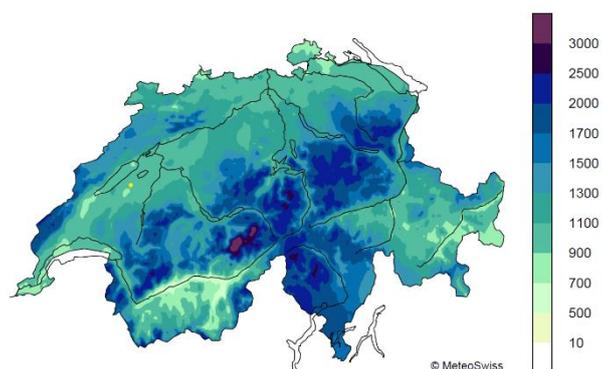


Figure 10. Carte de la Suisse avec la somme annuelle des précipitations (en mm) pour la période 1991-2020. La ville de Payerne est représentée par le point jaune (Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse, 2021).

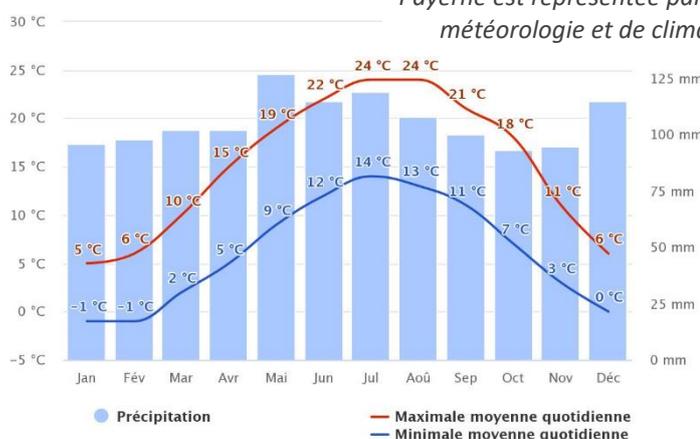


Figure 11. Diagramme ombro-thermique de la ville de Payerne (simulation 2023) (Meteoblue, 2023).

2.1.5. Historique

Depuis le dix-neuvième siècle, la Broye a subi plusieurs travaux de correction, sous forme d'une chenalisation (Demierre, 1917) et d'endiguement pour limiter au maximum les inondations des terres dans le but de protéger et pérenniser les cultures (Delarze et al., 2011) (**Figure 12**). Ces travaux ont eu pour effet une incision

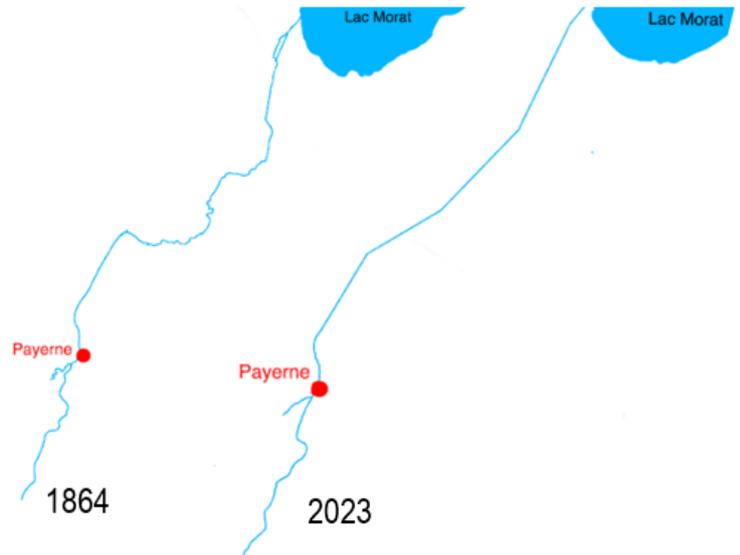


Figure 12. Evolution de l'écomorphologie de la Broye de 1864 à nos jours.

du lit entraînant une déconnexion des systèmes latéraux, qui ont mené à la dégradation du régime thermique et hydrologique de la Broye et de certains affluents (Morard & Stauffer, 2015).



Figure 13. La Broye en amont de Lucens, 2023 (P. Marle).

En 2010, la Confédération Helvétique a initié un programme national de restauration des cours d'eau. Dans la loi sur la protection des eaux (LEaux), le terme « revitalisation » fait référence à la réhabilitation des fonctions naturelles des cours d'eau qui ont été modifiées par des actions telles que l'endiguement, la correction, la canalisation ou l'enfouissement (RS 814.20 - Loi fédérale

du 24 janvier 1991 sur la protection des eaux (LEaux)). Dans le cadre de cette initiative, plusieurs projets de restauration ont été réalisés, notamment au niveau de l'embouchure du lac de Morat (Ecoscan sa, 2020) et dans le secteur de Payerne (Direction générale de l'environnement - division EAU, 2015). Malgré ces projets, la Broye a encore l'aspect d'un chenal rectiligne (**Figure 13**) et reste peu favorable au développement des espèces piscicoles (Morard & Stauffer, 2015).

En revanche, une amélioration de la qualité biologique est notée, elle passe de médiocre dans les années 90 elle était médiocre à moyenne et à partir de 2015 elle est bonne (**Figure 14**). Ceci est lié à l'amélioration de la qualité chimique (**Annexe 1**).

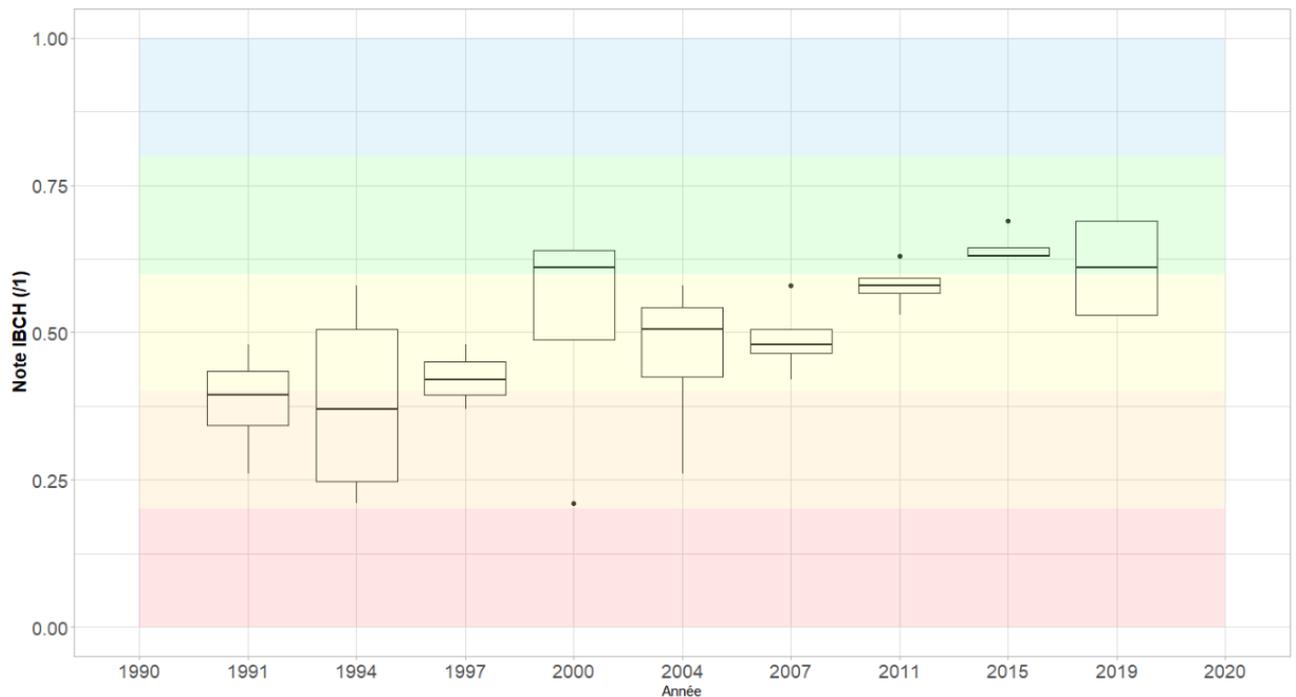


Figure 14. Evolution des notes IBCH (sur 1) de quatre stations (Palézieux-Gare, Bressonnaz, amont Lucens et amont Payerne) de la Broye en fonction des années.

2.2. Méthodes

L'état écologique de la Broye et de ses principaux affluents a été évalué avec les suivis et les prélèvements suivants (**Figure 15**) :

- Suivi de la qualité chimique des eaux sur sept stations (nutriments) et une station (micropolluants),
- Suivi de la qualité biologique à partir de prélèvements de macroinvertébrés benthiques (22 stations IBCH),
- Suivi des régimes thermiques des eaux (deux stations),
- Suivi écotoxicologiques « Ostracodtookit » (ISO 14371) (10 stations).

Les cartes ont été réalisées avec le logiciel Arcgis pro (v2.7.1) et le traitement des données avec le logiciel R studio (v4.1.3) et Excel (2022).

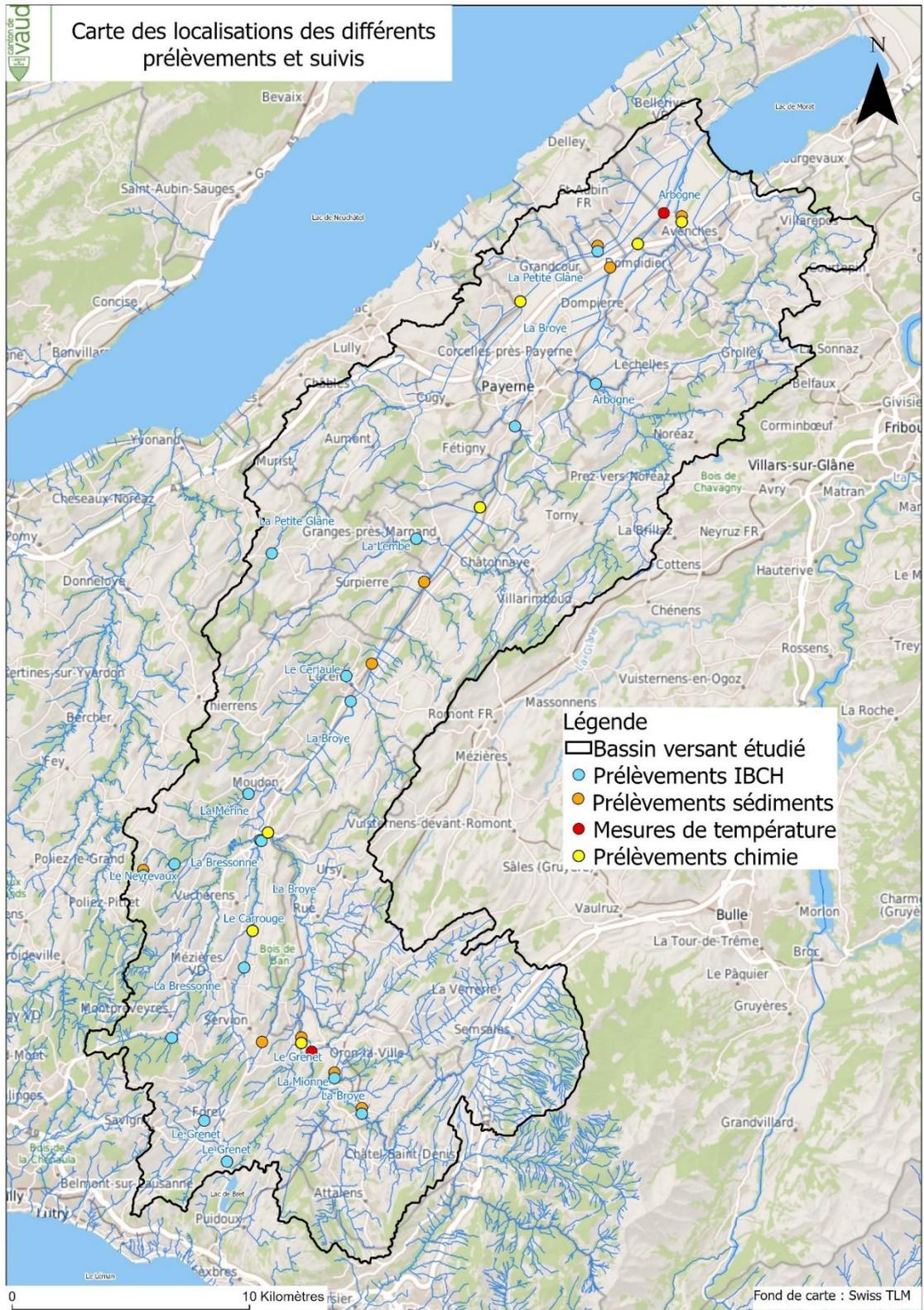


Figure 15. Situation du bassin versant de la Broye et localisations des différentes stations de prélèvements.

2.3. Physico-chimie

Les résultats physico-chimiques présentés dans ce rapport ont été fournis par le laboratoire de chimie des eaux de la division Protection des eaux du canton de Vaud.

2.3.1. Nutriments

L'annexe 2 de l'OEaux (RS 814.201) impose une évaluation de la qualité chimique se basant sur les nutriments.

Ainsi, dans le cadre de cette étude les paramètres étudiés sont : le phosphore total, les orthophosphates, les nitrates, les nitrites, l'ammonium et le carbone organique dissous (COD). Les résultats des analyses chimique sont agrégées sous forme d'indices (SMG) afin d'apprécier la qualité chimique des échantillons (Lietchi, 2010). Ces indices peuvent ensuite être confrontés aux normes et aux objectifs établis dans un système qui comporte cinq niveaux d'états distincts (**Annexe 2**).

Certaines stations sont suivies tous les ans, comme celle de « Domdidier » sur la rivière de la Broye (réseau principal), et d'autre tous les 5 ans (réseau secondaire). La station « Domdider » sur la Broye est aussi une station fédérale du réseau national NAWA (Observatoire national de la qualité des eaux de surface) de surveillance des eaux de surface mis en place par l'OFEV (Direction Général de l'environnement (DGE) et al., 2019).

Afin de compléter nos analyses, les classes du SMG ont été comparées à celles de Nisbet et Verneaux pour l'ammonium et les nitrites (Nisbet & Verneaux, 1970).

2.3.2. Micropolluants et quotient de risque pour la faune et la flore aquatique

L'évaluation du suivi des micropolluants organiques consiste à analyser une centaine de substances sur des échantillons composites continus 14 jours de mars à octobre sur la station « Domdidier » de la Broye. Les substances mesurées sont des fongicides (Azoxystrobine, Cyprodinil et Epoxiconazole), des insecticides (Chlorpyrifos, Diazinon, Imidaclopride, Pirimicarbe, Thiaclopride et Thiaméthoxame), herbicides (Diuron, Isoproturon, MCPA, Métazachlore, Métolachlore, Métribuzine, Nicosulfuron, Terbutylazine, Terbutryne) et les médicaments anti-inflammatoires (Diclofénac) et antibiotiques (Azithromycine et Clarithromycine). Pour chaque échantillon et chaque paramètre, la concentration obtenue est comparée avec les limites légales de l'Annexe 2 de l'OEaux (RS 814.201, état 01.01.2021). Le site évalué est considéré comme pollué (**Tableau 2**) si une exigence n'a pas été respectée dans au moins un échantillon pendant cette période (Ordonnance sur la protection des eaux (OEaux), 1998).

Le risque de la présence de ces substances pour la faune et la flore aquatique est évalué en 5 classes de risques (**Tableau 2**). Le risque est calculé en comparant les concentrations

environnementales individuelles obtenues dans les échantillons avec les critères de qualité environnementale chronique mis en place par le centre ECOTOX (Centre ecotox, 2023).

Ces critères de qualité environnementale chronique se basent sur des notions de danger, d'exposition et d'impact sur les différents organismes (INERIS, 2023). Le risque causé par le mélange de ces substances est aussi déterminé selon le type de substance mais aussi en fonction de la classe taxonomique de la faune aquatique (primaire, vertébré et invertébré).

Tableau 2. Evaluation du suivi des micropolluants organique selon l'OEaux et les classes de l'évaluation des risques.

Evaluation selon OEaux	Détermination des risques
Dépassement	Très Faible
Aucun dépassement	Faible
Aucune donnée	Modéré
	Elevé
	Très élevé
	Pas évalué

Le laboratoire d'analyse des eaux de surface de la DGE, fait une analyse instantanée des métaux tous les deux mois. Elle est réalisée sur 7 stations du bassin versant de la Broye. Cette méthode prend en mesure la concentration du Zinc, Cadmium, Chrome, Cuivre, Nickel et Plomb.

2.4. Macroinvertébrés

2.4.1. IBCH : Protocole d'échantillonnage

Les résultats biologiques présentés dans ce rapport sont issus de prélèvements de la faune benthique effectués par le laboratoire de biologie des eaux de la division Protection des eaux du canton de Vaud.

La période d'échantillonnage de la faune benthique en Suisse s'étend de début mars à mi-juin en fonction de l'altitude des stations (**Tableau 3**), des caractéristiques climatiques et hydrologiques de l'année en cours (Stucki et al., 2019). Pour le bassin versant de la Broye, les prélèvements ont été effectués entre le 4 avril et le 27 avril 2023 suivant une période de stabilité hydrologique d'au minimum sept jours comme définie dans les méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau avec le macrozoobenthos (Stucki et al., 2019).

Tableau 3. Fenêtres d'échantillonnage prioritaires recommandées en fonction de l'altitude (Stucki et al., 2019).

Altitude	Période
200-600 m	Début mars à mi-avril
601-1000 m	Fin mars à début mai
1001-1400 m	Début avril à fin mai
1401-1800 m	Mi-avril à mi-juin
>1800 m	Début mars à fin juin

La surface d'échantillonnage correspond à un tronçon représentatif du cours d'eau étudié dont la longueur est de dix fois la largeur moyenne du lit mouillé du cours d'eau. Au sein de cette surface, huit placettes de prélèvement sont positionnées à l'aide de la grille d'échantillonnage substrats-vitesses de courant (**Annexe 3**).

Pour compléter les analyses, une cartographie des habitats est effectuée. De plus, certains paramètres extraits des Modules Ecomorphologie (Hütte et Niederhauser, 1998) et Aspect général (Binderheim et Göggel, 2007) issus des SMG de la Confédération (repris dans la méthode Macrozoobenthos) sont renseignés (**Annexe 4**).

Huit couples substrat-vitesse, différents sont échantillonnés dans le tronçon de la rivière étudié. Seuls les substrats présents sur au moins 1 % de la surface totale du tronçon étudié sont pris en compte.

Chaque prélèvement doit être effectué dans un couple substrat-vitesse différent en commençant par le substrat le plus habitable à la vitesse de courant la plus favorable et en essayant de distribuer les prélèvements une première fois dans tous les substrats disponibles. L'habitabilité des substrats et vitesses est indiquée respectivement dans la colonne S=substrat (habitabilité décroissante de 10 à 0) et dans la ligne V=vitesse (habitabilité décroissante de 5 à 1) (**Annexe 3**). Si moins de huit substrats différents sont présents, alors les prélèvements sont répétés une deuxième fois dans les substrats les plus habitables mais à une vitesse différente, en privilégiant le deuxième couple substrat-vitesse le plus favorable.

Les prélèvements sont effectués avec un filet Kicknet normé 25x25 cm de maille 500 µm et normalement réalisés à l'aide de la technique du « kick-sampling » qui consiste à soulever la faune benthique à l'aide d'un travail du pied sur une placette équivalent à une surface d'un pied carré du lit de la rivière. Afin de permettre une meilleure appréciation du substrat, les échantillonnages peuvent aussi être réalisés « à la main » en suivant la méthode IBG (Verneaux & Galmiche, 1982) . Dans certains cas, lors d'une vitesse de courant élevée ou si la profondeur ne permet pas de prélever à la main, la technique du kick-sampling est employée.

Avant leur fixation dans de l'éthanol dénaturé à 80 % en vue de leur conservation ultérieure, les prélèvements sont débarrassés sur le terrain des particules en suspension par tamisage mais aussi des parties grossières comme des végétaux, des branches, des grosses feuilles ou des galets/pierres.

Le sable et les graviers sont éluutriés. Cette étape consiste, dans une bassine d'eau, à soulever et mettre en suspension la matière organique par un mouvement de la main puis à passer l'échantillon dans un tamis à maille 500 µm. La matière minérale reste ainsi déposée au fond alors que les invertébrés restent, pour la plupart, dans le tamis. Une dernière étape d'observation du substrat minéral du bac permet de récupérer à la pince les individus mal récupérés par l'éluatriation (trichoptères à fourreaux, mollusques etc.) et de les mettre

directement dans le bocal de prélèvement. Ces deux étapes sont répétées jusqu'à ce que plus aucun macroinvertébrés ne soit visibles dans le bac d'élutriation. Ainsi, le matériel minéral fin est également rejeté au cours d'eau afin d'éviter l'abrasion des organismes dans les bocaux de prélèvements et donc de pouvoir garantir leur bon état morphologique pour l'identification.

Finalement, les huit prélèvements sont conservés ensemble dans le même bocal, avec de l'éthanol 80 %, formant ainsi un échantillon par station. Tous les bocaux sont étiquetés à double (une étiquette dans le bocal et une à l'extérieur). Sur ces étiquettes sont indiquées la date, le nom de la structure ayant effectué les prélèvements, le nom du cours d'eau et de la station, les coordonnées GPS de la station (système CH1903+) et l'altitude (**Figure 16**).

HELVETIA__VD_BRE_BRO_0776.7			
BRESSONNE - CULLAYES			
2546544 / 1158215	777 m	VD_04963	
Leg. DGE-PRE Hydrobiologie		20.04.2023	

Figure 16. Etiquette de prélèvement IBCH sur la Bressonne à Cullayes.

De retour au laboratoire, l'alcool 80 % des échantillons est remplacé le même jour du prélèvement par de l'alcool de même concentration que celui ajouté sur le terrain. Ces derniers sont conservés dans une armoire ou dans un local aéré jusqu'à l'étape du tri et de la détermination au laboratoire.

2.4.2. IBCH : Tri et détermination

La majorité du tri et de la détermination des échantillons a été effectuée au laboratoire de Biologie des eaux de la Division Protection des eaux du canton de Vaud. Seuls huit échantillons ont été sous-traités par un bureau d'études (**Tableau 4**).

Tableau 4. Déterminateur par station.

Station	Déterminateur	Détermination
GRENET_CORNES DE CERFS, BROYE_PALEZIEUX-GARE, MIONNE_PALEZIEUX-VILLAGE, BRESSONNE_CULLAYES, CARROUGE_LE BORGEAU, CARROUGE_BRESSONNAZ, BRESSONNE_BRESSONNAZ, BROYE_BRESSONNAZ, MÉRINE_AMONT MOUDON, BROYE_AMONT LUCENS, CERJAULE_AMONT LUCENS, LEMBE_AMONT GRANGE-MARNAND, BROYE_AMONT PAYERNE, PETITE-GLANE_GRANDCOUR PAYERNE (14)	Section hydrobiologie de la Direction de l'environnement (DGE)	Genre (Liste faunistique : Listes faunistiques Broye et affluents 2023.xlsx)
GRENET_AVAL STEP LE PIGEON, GRENET_CHATILLENS, NEYREVAUX_AVAL PENEY, NEYREVAUX_AVAL MOULIN PENEY, PETITE GLANE_CHAMPTAUROZ, PETITE GLANE_MISSY, ARBOGNE_AMONT CORCELLES, ARBOGNE_HARAS FEDERAL (8)	Bureau d'étude	Famille (Liste faunistique : Annexe 5)

Dans le protocole IBCH, le tri se fait dans des bacs de tri, sans tamisage préalable (sauf si du matériel organique ou minéral abondant est présent). Depuis 2011, le laboratoire de Biologie des eaux de la Division DGE-PRE a mis en place une méthode de tri pour quantifier la biomasse des invertébrés basée sur les prélèvements benthiques (voir chapitre 2.4.4). Ainsi, un tamisage de l'échantillon par six tamis de différentes mailles (5 mm, 3 mm, 2 mm, 1 mm, 0.8 mm et 0.6 mm) est effectué. Chaque produit de tamis est déposé individuellement dans un bac de tri (Stucki et al., 2019).

L'IBCH retient les familles comme unité taxonomique à atteindre, à l'exception de quelques groupes faunistiques pour lesquels l'embranchement ou la classe sont suffisants (**Annexe 6**). Afin d'obtenir le plus de précision lors du traitement des listes faunistiques, les invertébrés des échantillons traités en interne ont été déterminés à la loupe binoculaire jusqu'au genre. La détermination au genre permet de connaître plus finement les préférences écologiques des taxons, mais aussi démontrer un problème d'habitats. Tous les individus sont dénombrés par tamis et conservés dans de l'éthanol en vue de leur conservation. Lorsqu'un taxon dépasse les 100 individus par station, l'abondance est estimée. Cependant, les éphémères, plécoptères et trichoptères (« EPT » ci-après) sont tous déposés dans des flacons séparés, en vue de leur détermination ultérieure à l'espèce par des experts.

2.4.3. IBCH : Méthode de calcul de l'indice

L'IBCH se détermine à partir de la variété taxonomique (**VT**) et du groupe indicateur (**GI**) le plus sensible. Les valeurs VT et GI sont ramenées à une échelle métrique entre 0 et 1, où 1 correspond à une station en très bon état et 0 en mauvais état.

La VT et le GI deviennent des valeurs indicatrices supplémentaires attribuables, pour chacune d'elles, à cinq classes de qualité. Elles permettent d'affiner l'évaluation du tronçon de cours d'eau analysé.

La valeur VT se détermine à partir du nombre de taxons échantillonnés et est corrigée par le régime d'écoulement IBCH (régime IBCH-Q) du cours d'eau analysé (**Tableau 5**). L'IBCH-Q est défini en fonction de la région (Jura, Suisse romande, Nord ou Sud des Alpes) et du bassin versant : sa localisation (Rhin, Aar, Rhône ou Inn), son régime pluviométrique et son altitude moyenne (**Annexe 7**). Cette correction est effectuée pour prendre en compte la typologie des cours d'eau. En effet un cours d'eau des Alpes n'aura pas le même fonctionnement et donc la même variété qu'un cours d'eau du plateau (Stucki et al., 2019). Les IBCH-Q pris en compte dans cette étude sont notés dans le **Tableau 6**.

Enfin la valeur de la classe de variété VT est ramenée à une échelle métrique entre 0 et 1 selon la relation illustrée par la **Figure 17**.

Tableau 5. Détermination des classes de variété.

Richesse taxonomique	≥ 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
Classe de variété VT	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

Tableau 6. IBCH-Q des rivières et stations étudié

Rivières et station	IBCH-Q
Arbogne, Petite Glâne	10
Bressonne_Bressonnaz, Broye, Carrouge, Grenet_Chatillens et Aval STEP le Pigeon, Cerjaule, Mérine, Mionne, Lembe	12
Bressonne_Cullayes, Grenet_Cornes de Cerfs, Neyrevaux	17

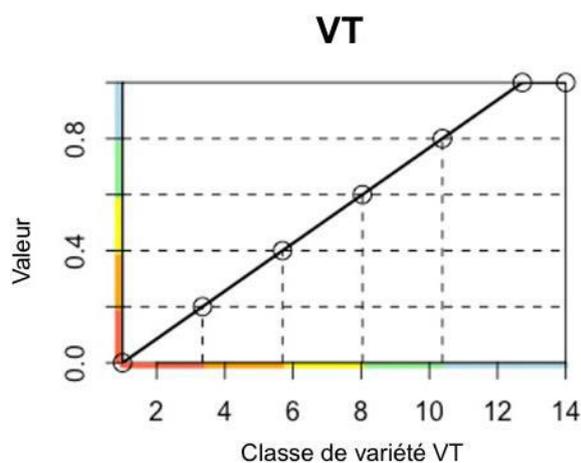


Figure 17. Graphique de la Valeur VT de 1 à 14 ramenée à une échelle métrique de 0 à 1 (Stucki et al., 2019).

La valeur du **GI** est déterminée sur la base du **Tableau 8** en recherchant le groupe indicateur le plus élevé présent dans l'échantillon pour autant qu'il soit représenté par un nombre suffisant d'individus (généralement $n \geq 3$ individus et $n \geq 10$ individus pour les taxons marqués d'un astérisque*).

Une fois le **VT** et le **GI** obtenus, l'IBCH est calculé à l'aide de la formule suivante : **IBCH = (0,62 x VT) + (0,38 x GI)**, avec un IBCH compris entre 0 et 1. Cette note permet d'estimer l'état biologique du milieu (**Tableau 7**).

Tableau 7. Classe de qualité IBCH (Stucki et al., 2019).

Etat biologique	Note IBCH
Très bon	≥ 0.8 (≥ 80%)
Bon	0.6 – < 0.8 (<80%)
Moyen	0.4 – < 0.6 (<60%)
Médiocre	0.2 – < 0.4 (<40%)
Mauvais	< 0.2 (<20%)

Tableau 8. Détermination du groupe faunistique indicateur (Stucki et al., 2019).

Taxon indicateur	GI	Valeur GI	Classe de qualité
<i>Chloroperlidae</i>	9	1	très bon
<i>Perlidae</i>			
<i>Perlodidae</i>			
<i>Capniidae</i>	8	0.97	très bon
<i>Brachycentridae</i>			
<i>Philopotamidae</i>			
<i>Beraeidae</i>	7	0.84	très bon
<i>Glossosomatidae</i>			
<i>Goeridae</i>			
<i>Odontoceridae</i>			
<i>Taeniopterygidae</i>	6	0.7	bon
<i>Leuctridae</i>			
<i>Leptophlebiidae</i>			
<i>Lepidostomatidae</i>			
<i>Sericostomatidae</i>			
<i>Ephemeridae</i>	5	0.56	moyen
<i>Hydroptilidae</i>			
<i>Heptageniidae</i>			
<i>Nemouridae</i>			
<i>Polymitarcidae</i>			
<i>Potamanthidae</i>	4	0.42	moyen
<i>Leptoceridae</i>			
<i>Polycentropodidae</i>			
<i>Psychomyidae</i>			
<i>Rhyacophilidae</i>	3	0.28	médiocre
<i>Limnephilidae*</i>			
<i>Hydropsychidae</i>			
<i>Ephemerellidae*</i>			
<i>Aphelocheridae</i>	2	0.24	mauvais
<i>Baetidae*</i>			
<i>Caenidae*</i>			
<i>Elmidae*</i>			
<i>Gammaridae*</i>			
<i>Mollusca</i>	1	0	mauvais
<i>Chironomidae*</i>			
<i>Asellidae*</i>			
<i>Hirudinea</i>			
<i>Oligochaeta*</i>			

2.4.4. Calcul de la biomasse

Le laboratoire de Biologie des eaux de la Division DGE-PRE ayant réalisé un étalonnage du poids des différents taxons par tamis (voir section 2.4.2), la biomasse totale en invertébrés de chaque échantillon a ainsi pu être estimée. Ces poids théoriques ont été assignés pour chaque famille ou groupe d'invertébrés que l'on peut trouver dans le canton de Vaud. Néanmoins, ces poids sont estimatifs car le poids des adultes et larves de coléoptères n'ont pas été différenciés. Les fourreaux des trichoptères n'ont pas été comptés dans les pesages car ils ne sont pas sécrétés par l'insecte. En revanche, pour les mollusques, les coquilles sécrétées par l'organisme ont été prise en compte dans le calcul des poids moyens (Stucki et al., 2019).

Le calcul de la biomasse de l'échantillon se fait automatiquement dans le tableau de calcul de l'IBCH. Ainsi, il a été possible d'utiliser la biomasse d'invertébrés comme indicateur complémentaire pour évaluer l'état biologique des cours d'eau.

2.4.5. Traitement des données

Description et composition du peuplement

Afin de connaître les similitudes de peuplements d'invertébrés benthiques entre les stations, une AFC (Analyse Factorielle des Correspondances) a été réalisée sur les listes faunistiques obtenues sur les 14 stations déterminées au genre (Tableau Excel : [Listes faunistiques Broye et affluents 2023.xlsx](#)). L'AFC peut être utilisée lorsque le nombre de modalités des variables est tel que la lecture du tableau de contingence est complexe. Sur le plan mathématique, elle revient à faire un ACP (Analyse des composantes principales) du tableau de contingence avec la métrique du χ^2 (khi2). Les axes du graphique représentent le pourcentage de variation entre les variables quantitatives : ici, les abondances des invertébrés. Sur le plan factoriel, plus les points des stations sont éloignés entre eux, plus leur différence, en terme de peuplement, est grande (Pressac & Mell, 2017). A l'inverse, deux stations proches sur le plan factoriel montrent les ressemblances en termes de peuplement d'invertébrés benthiques.

Afin de détailler l'analyse sur le peuplement benthique et le milieu, le pourcentage d'abondance des taxons ubiquistes, polluo-résistants, et saprobiontes, ont également été déterminés pour chacune des stations (Décourcière & Degiorgi, 2004). La composition des groupes indicateurs les plus sensibles/vulnérables sont étudiés, et déterminés par la grille du protocole IBCH. Les groupes indicateurs de la classe 9 à 6 ont été sélectionnés pour les analyses, car ils sont représentatifs d'une bonne qualité chimique (**Tableau 8**). Enfin, la proportion d'individus de Gammaridae et d'Elmidae (larve et adulte) par rapport à la quantité totale des individus ont été calculés. Ces taxons étant connus pour être sensibles aux perturbations toxiques (Tachet et al., 2010), ils permettront de juger de la qualité chimique de l'eau en termes de pollution aux pesticides et en manque d'oxygène dissous (Adam et al.,

2009). L'utilisation de toutes ces métriques faunistiques permet de mieux déterminer le niveau d'atteinte sur le milieu naturel.

Trait écologique : température

Il est utile de connaître la proportion de taxons psychrophiles, thermophiles et eurythermes dans la communauté. La sensibilité des différents taxons à la température est étudiée en utilisant les traits biologiques et écologiques des genres, caractérisé par Tachet (Tachet et al., 2010). Ces modalités ont été définies en utilisant un système de codage flou (Chevene et al., 1994 ; Dolédec & Statzner, 1994). Dans ce système des scores allant de 0 (aucune affinité) à un maximum arbitraire, souvent cinq (forte affinité), sont donnés pour expliquer la relation d'un taxon avec un trait particulier (Tachet et al., 2010). Or, les genres ou espèces ne sont pas affiliées à seulement un de ces traits. C'est pourquoi l'exemple a été pris sur la méthode de Schmera et al. (Schmera et al., 2014), qui correspond à standardiser les valeurs des trois traits (psychrophile, thermophile et eurytherme) afin que leur addition soit égale à 1. La proportion de chaque trait pondéré avec l'abondance par station est calculée de la façon suivante :

$$\text{Proportion du trait par station} = \Sigma (n \times t) / N$$

Avec :

- n = nombre d'individus du genre sur la station
- t = valeur du trait du taxon
- N = nombre d'individus total sur la station

Une fois la proportion des traits par station obtenue, le régime thermique, à partir des communautés, a pu être déterminé.

2.5. Tests écotoxicologiques

Le test écotoxicologique utilisé est appelé test Ostracodtookit normalisé : ISO 14371. Ce biotest utilise des ostracodes, de l'espèce *Heterocypris incongruens*, pour déterminer la toxicité du sédiment.

2.5.1. Détermination des sites d'échantillonnage

Lorsque les résultats IBCH sont difficilement interprétables, e.g. quand une station présente de faibles abondances de taxons sensibles aux toxiques tels que les Gammaridae (< 50 individus), des tests écotoxicologiques ont été appliqués. De cette manière, cinq tests ont été mis en place sur des stations déjà concernées par des prélèvements IBCH. Des tests écotoxicologiques ont également été utilisés lorsqu'un rejet ou une pollution est supposé impactant mais pour lesquelles aucune station biologique proche ne permet d'en évaluer l'effet sur les communautés benthiques en place. Ainsi, cinq tests écotoxicologiques sur des stations non échantillonnées via l'IBCH ont pu être mis en place à proximité de rejets ou

pollutions. Ces stations ont été placées stratégiquement proches de rejets présumés impactant sur le milieu naturel et les invertébrés, indiqués dans le rapport sur l'épuration de la moyenne Broye (**Annexe 8**) (Vuilleumier et al., 2022) ou via la Police Faune Nature du secteur étudié (**Figure 18**).

Dix stations de suivi sont échantillonnées et testées (**Tableau 9**). Les stations de la Broye à la STEP de Lucens, STEP de Corcelles-Pré-Payerne sont testées deux fois, afin de vérifier la reproductibilité de la méthode.

Tableau 9. Station des suivis écotoxicologiques.

RIVIÈRE	STATION	EFFLUENT	CONTEXTE
ARBOGNE	HARAS FEDERAL	BROYE	IBCH
BROYE	PALEZIEUX-GARE	LAC DE MORAT	IBCH
BROYE	STEP LUCENS	LAC DE MORA	Rejets
BROYE	STEP HENNIEZ	LAC DE MORA	Rejets
BROYE	STEP CORCELLES-PRE-PAYERNE	LAC DE MORA	Rejets
GRENET	CHATILLENS	BROYE	IBCH
MIONNE	PALÉZIEUX-VILLAGE	BROYE	IBCH
NEYREVAUX	AVAL PENEY	MÉRINE	Rejets
PARIMBOT	STEP SERVION	BROYE	Rejets
PETITE GLANE	MISSY	BROYE	IBCH

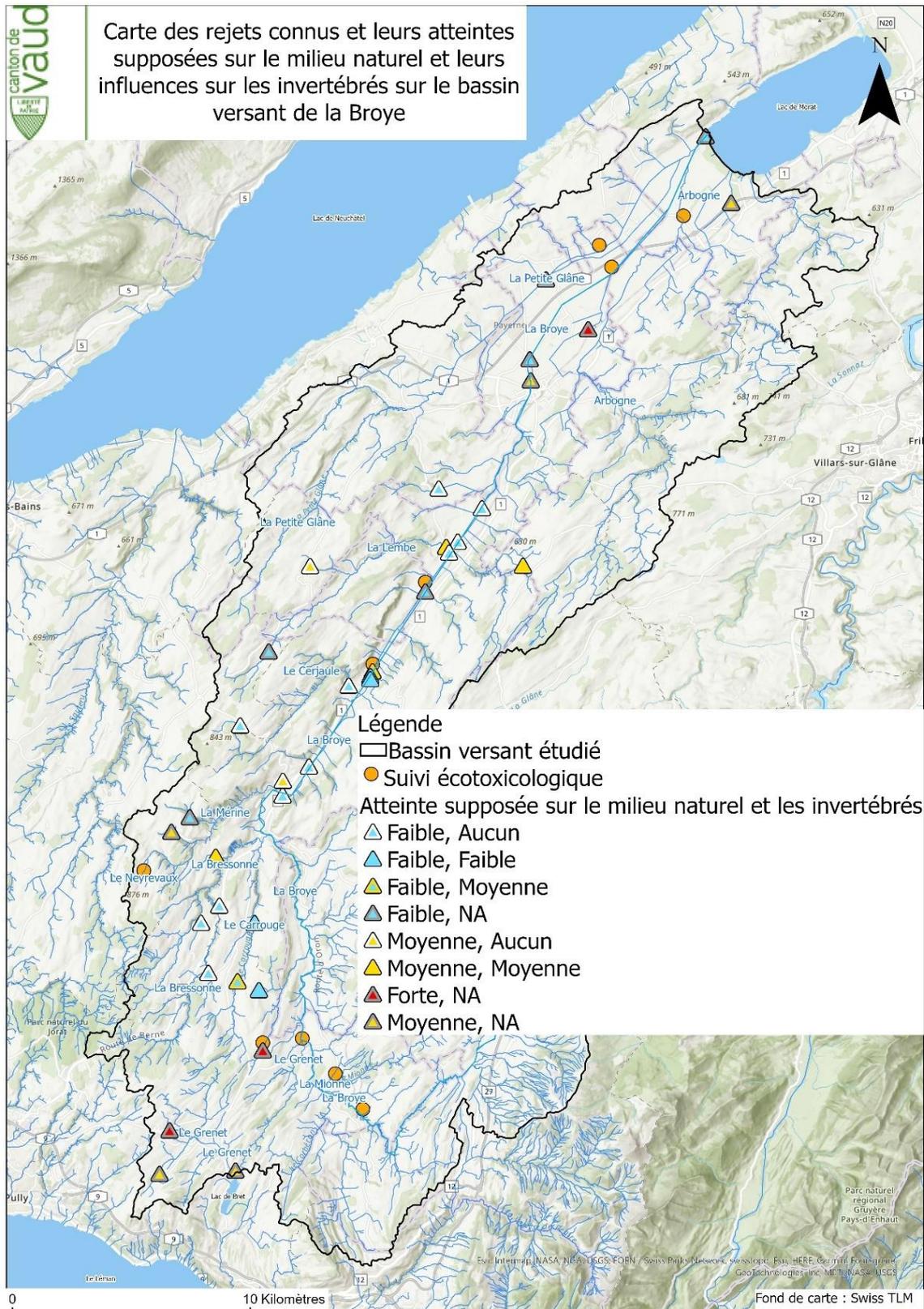


Figure 18. Carte des rejets connus et leurs atteintes supposées sur le milieu naturel et leurs influences sur les invertébrés sur le bassin versant de la Broye. Données issues du rapport sur l'épuration de la moyenne Broye (Vuilleumier et al., 2022).

2.5.2. Prélèvements de sédiments sur le terrain

Sur chaque station, les prélèvements ont été effectués sur au moins trois points, distants de plusieurs mètres, afin d'obtenir un échantillon représentatif de la zone étudiée. Dans la majorité des cas (exceptés très petits cours d'eau), le sédiment a été prélevé sur des zones près de la rive droite, près de la rive gauche et au milieu du lit, dans des zones immergées en permanence. Seul le sédiment supérieur (entre 2 et 10 cm), et de préférence constitué de particules fines, a été prélevé. L'eau en excès a été éliminée en évitant les pertes de particules fines, ainsi que les cailloux, les feuilles et autres brindilles. La couleur (changement de couleur au contact de l'air), l'odeur ou la consistance de l'échantillon de sédiment prélevé ont été rapportés (**Annexe 9**) (Casado et al., 2022).

Les échantillons sont transportés et conservés au froid (4-8 °C) et à l'obscurité afin de bloquer toute activité biologique et d'éviter toute transformation chimique au sein du sédiment.

2.5.3. Evaluation de la qualité des sédiments

Le sédiment a été testé dans les 30 jours suivant la date du prélèvement. L'évaluation de la qualité du sédiment a été effectuée en suivant le test Ostracodtookit normalisé : ISO 14371. Ce biotest utilise des juvéniles d'ostracodes, de l'espèce *Heterocypris incongruens*, pour déterminer la toxicité du sédiment. L'éclosion des cystes, une structure renfermant les œufs (Hssaida et al., 2017), se fait après l'ajout d'eau standard et de nourriture (éléments fournis dans le kit). Après 52 heures d'incubation à 25°C et éclairé à 3000-4000 lux, les juvéniles ont éclos.

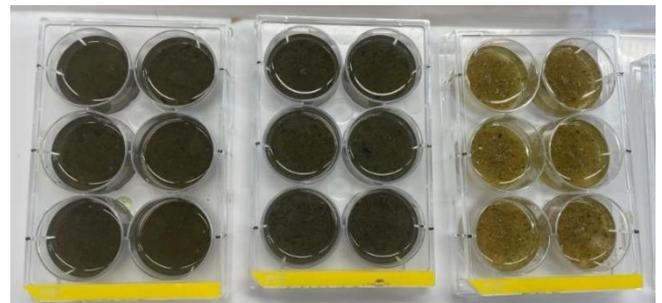


Figure 19. Deux plaques de sédiment test et une de sédiment référence.

Avant le début de l'expérience, 10 ostracodes sont placés dans le lugol afin de servir de référence pour montrer l'inhibition ou non de la taille des individus. Par la suite, les juvéniles sont placés par 10 dans les échantillons de sédiment. Chaque échantillon possède six répliquats qui sont positionnés dans une plaque de test à puits multiples (6 puits), correspondant à un sédiment test (**Figure 19**). Pour comparer la mortalité et l'inhibition de croissance, un test d'un sédiment de référence est mis en place (sédiment fourni dans le kit).

Six jours après avoir été mis dans le sédiment, les ostracodes vivants sont comptés et mesurés. L'inhibition de la croissance est seulement prise en compte si le pourcentage de mortalité est inférieur à 30%, sinon le sédiment est considéré comme léthal pour les organismes.

2.6. Températures

Un travail sur l'évolution des températures des cours d'eau vaudois dans un contexte de changement climatique a été réalisé grâce à la collaboration de deux étudiantes de l'EPFL (Sauvin & Steiger, 2023). L'objectif de leur travail a été d'étudier le régime thermique et comprendre l'influence des températures de l'air sur les cours d'eau vaudois, dont deux stations sur la Broye : une en amont de Châtillens (coordonnées 2552441.8/1157631.3) et l'autre en aval de l'Hippodrome à Avenches (2567293.5/1193263.2). Les séries temporelles de températures de ces deux stations comprenant : une mesure par demi-heure entre les étés 2010 et 2022, mais aussi des projections climatiques à l'horizon 2050 et selon deux scénarios climatiques (NCCS, 2022b) : RCP 8.5 (le plus pessimiste) et RCP 2.6 (le plus optimiste). RCP8.5, simule des émissions d'une augmentation de températures de 4-5°C par rapport aux températures préindustrielles. Le scénario RCP2.6, quant à lui garde le réchauffement global en dessous de 2°C. Sous ce scénario, les températures se stabilisent et demeurent plus ou moins constantes (par rapport à celle d'aujourd'hui) dès 2050 (Sauvin & Steiger, 2023).

3. Résultats

3.1. Physico-chimie

3.1.1. Nutriments

La qualité des eaux du bassin versant de la Broye est plutôt moyenne. Les concentrations moyennes annuelles d'azote brut (5.4 mg/L) et des nitrates (5.4 mg/L) sont celles qui atteignent l'objectif de critère de qualité du SMG. Cependant, les concentrations moyennes annuelles de phosphore brut total (0.134 mg/L), des orthophosphates (0.078 mg/L) et des nitrites (0.094 mg/L) provoquent une baisse de qualité des eaux du bassin versant (**Tableau 10**).

Les concentrations les plus fortes de phosphore brut total et d'orthophosphates se situent à l'amont du bassin versant sur le Grenet ($P_{tot} = 0.279$ mg/L et $PO_4 = 0.239$ mg/L) et le Carrouge ($P_{tot} = 0.141$ mg/L et $PO_4 = 0.088$ mg/L). La Petite Glâne présente aussi une forte concentration des orthophosphates (0.082 mg/L).

La Broye à Domdidier indique une concentration moyenne annuelle de 0.310 mg/L de nitrites, ce qui représente une concentration élevée à l'origine d'une mauvaise qualité de l'eau de la rivière.

La concentration moyenne du COD (Carbone Organique Dissous) (4.6 mg CO_2 /L) et de l'ammonium (0.2 mg/L) sont à l'origine d'une qualité de l'eau moyenne sur l'ensemble des stations. La concentration moyenne d'ammonium est très faible dans le Grenet à Châtillens (0.043 mg/L) mais elle indique une qualité de l'eau médiocre sur la station de la Broye à Domdidier (0.4 mg/L). La concentration moyenne du COD sur le Broye à Domdidier (3.8 mg

CO₂/L) est source d'une bonne qualité de l'eau, cependant pour toutes les autres stations, la concentration moyenne de est à l'origine d'une qualité moyenne de l'eau et n'atteint pas les objectifs selon le SMG (Lietchi, 2010).

Tableau 10. Percentile 90 des concentration annuelle 2022 des nutriments et leurs classes de qualité dans les différentes stations sur le bassin versant de la Broye. Les valeurs de critère de qualité viennent du SMG (Lietchi, 2010) et se trouve en **Annexe 2**.

Station	Paramètre	Carbone organique dissout	Phosphore brut total	Orthophosphate		Azote total brut	Ammonium		Nitrates	Nitrites	
	Abbréviation	COD	Ptot	PO ₄		Ntot	NH ₄ ⁺		NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	
	Unité	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	Commentaire et classe de Nisbet et Verneaux	[mg /L]	[mg /L]	Commentaire et classe de Nisbet et Verneaux	[mg/L]	[mg /L]	Commentaire et classe de Nisbet et Verneaux
	Critère qualité	4.00 mg/L	0.070 mg/L	0.040 mg/L	1 : [PO ₄] < 0.01 mg/L 2 : 0.01 < [PO ₄] < 0.05 3 : 0.05 < [PO ₄] < 0.15 4 : 0.15 < [PO ₄] < 0.3 5 : 0.3 < [PO ₄] < 0.5 6 : [PO ₄] > 0.5	7.00 mg /L	0.400 mg /L ¹ 0.200 mg /L ²	1 : 0 < [NH ₄] < 0.01 mg/L 2 : 0.01 < [NH ₄] < 0.1 mg/L 3 : [NH ₄] ≥ 1 mg/L	5.600 mg /L	0.020 mg /L ³ 0.050 mg /L ⁴ 0.100 mg/L ⁵	1 : [NO ₂ -] < 0.01 mg/L 2 : [NO ₂ -] ≥ 0.01 mg/L 3 : 0.01 < [NO ₂ -] < 0.1 mg/L 4 : [NO ₂ -] ≥ 1 mg/L
GRENET_CHATILLENS		5.650	0.279	0.239	Forte productivité — rivières de prémontagne et de plaine (4)	3.690	0.043	Normale à douteuse (1)	3.580	0.018	Pollution insidieuse, perturbation du cycle de l'azote (2)
CARROUGE_VUILLIENS		4.700	0.141	0.088	Productivité moyenne (3)	3.030	0.066	Pollution insidieuse sensible (2)	3.000	0.033	Pollution sensible (3)
BROYE_BRESSONNAZ		4.710	0.118	0.045	eaux peu productives (2)	3.890	0.065	Pollution insidieuse sensible (2)	3.540	0.035	Pollution sensible (3)
BROYE_BRIT		4.530	0.122	0.020	eaux peu productives (2)	4.890	0.290	Pollution insidieuse sensible (2)	4.740	0.076	Pollution sensible (3)
BROYE_DOMDIDI		3.810	0.061	0.015	eaux peu productives (2)	4.900	0.376	Pollution insidieuse sensible (2)	4.600	0.310	Etat de pollution critique (4)
ARBOGNE_HARAS FEDERAL		4.910	0.093	0.057	Productivité moyenne (3)	9.690	0.317	Pollution insidieuse sensible (2)	10.270	0.103	Etat de pollution critique (4)
PETITE GLANE GRANDCOUR PAYERNE		4.36	0.124	0.082	Productivité moyenne (3)	8.26	0.367	Pollution insidieuse sensible (2)	8.36	0.085	Pollution sensible (3)
Moyenne des 7 stations		4.718	0.136	0.077	Productivité moyenne (3)	5.015	0.193	Pollution insidieuse sensible (2)	4.955	0.096	Pollution sensible (3)

Qualité chimique	Objectif
Très bonne	Atteint
Bonne	
Moyenne	Non atteint
Médiocre	
Mauvaise	

- 1 : Lorsque la température du prélèvement est inférieure ou égale à 10°C
- 2 : Lorsque la température du prélèvement est supérieure à 10°C ou lorsque le pH est supérieur à 9
- 3 : Lorsque la concentration en chlorure dans l'échantillon est inférieure ou égale à 10 mg/L
- 4 : Lorsque la concentration en chlorure dans l'échantillon est supérieure à 10 mg/L et inférieure ou égale à 20 mg/L
- 5 : Lorsque la concentration en chlorure dans l'échantillon est supérieure à 20 mg/L
- w : Maximum observé, il y a moins de 12 mesures annuelles pour ce paramètre

3.1.2. Micropolluants

Depuis 2018, les concentrations de pesticides et de médicaments dépassent la limite fixée par l'OEaux. En 2022, les risques sur les organismes sont principalement causés par les herbicides et les médicaments. Selon l'évaluation des risques, le risque sur les organismes induit par les insecticides est élevé en 2019 (**Tableau 11**). Cependant, une amélioration ne peut pas être noté car la méthode d'analyse après 2019 à changer et ne permet pas de détecter les insecticides ayant un seuil très faible.

Tableau 11. Classe de qualité chimique et risques liés aux micropolluants.

	Années	Qualité selon l'annexe 2		Risques sur les organismes			Risques induit par les			
		Médicaments	Pesticides 100 ng/L	Primaires	Invertébrés	Vertébrés	Herbicides	Fongicides	Insecticides	Médicaments
Broye	Domdidier	2018								
		2019								
		2020								
		2021								
		2022								

3.2. Macroinvertébrés

Sur les 22 stations IBCH étudiées, 176 prélèvements ont été effectués (8 prélèvements x 22 stations) dans le bassin versant de la Broye. Au total, 41 170 individus de 64 familles et 94 genres différents ont été triés et déterminés. Les taxons les plus communs sont les Chironomidae (avec 15 051 individus soit 35 % de l'abondance totale), des Simuliidae (avec 5702 individus soit 6 % de l'abondance totale) et des Baetidae (avec 2 943 individus soit 13% de l'abondance totale).

Les graphiques qui vont suivre présentent, sur l'axe des abscisses, la succession des stations du bassin versant de la Broye selon l'altitude et l'ordre amont-aval.

Les abondances par m² montrent une certaine hétérogénéité parmi les stations étudiées. La moyenne des abondances sur tout le bassin versant est de 3 586 individus/m² avec, pour le Grenet à Corne de Cerfs une abondance faible de 1 284 individus/m². Trois stations, situées sur des affluents (Mérine, Cerjaule et la Petite Glâne) se démarquent sensiblement avec des abondances supérieures à 6000 individus/m². L'abondance maximale étant atteinte sur la Petite Glâne à Grandcour Payerne avec 7 368 individus/m² majoritairement représenté par les *Caenis. sp* (55 % de l'abondance totale de la station). Sur la Mérine (6 888 individus/m²) et le Cerjaule (6 464 individus/m²), ces fortes abondances sont liées à la présence des familles de : Simuliidae (72 % de l'abondance totale de la Mérine en amont de Moudon) et Chironomidae (49 % de l'abondance totale du Cerjaule en amont de Lucens).

Sur la rivière de la Broye (abondance moyenne de 3 601 individus/m²), une baisse d'abondance est observée à Lucens (3 002 individus/m²) alors que les stations en amont (Bressonnaz et Palérierx-Gare) montrent des abondance 25% plus élevées situées autour de 4000 individus/m². La diminution de l'abondance est liée presque essentiellement à la diminution du nombre d'individus de Chironomidae (723 individus alors que les autres stations ont environ 1 00 individus) et le nombre de familles appartenant à l'ordre des plécoptères (deux familles : les Taeniopterygidae et les Nemouridae alors que les autres stations possède au moins trois familles de plécoptères). En aval à l'amont de Payerne l'abondance augmente à nouveau de quelques centaines d'individus avec l'augmentation du nombre de Chironomidae (1 113 individus contre 723 individus), faisant grimper l'abondance totale à 3400 individus/m² sur la station (**Figure 20**).

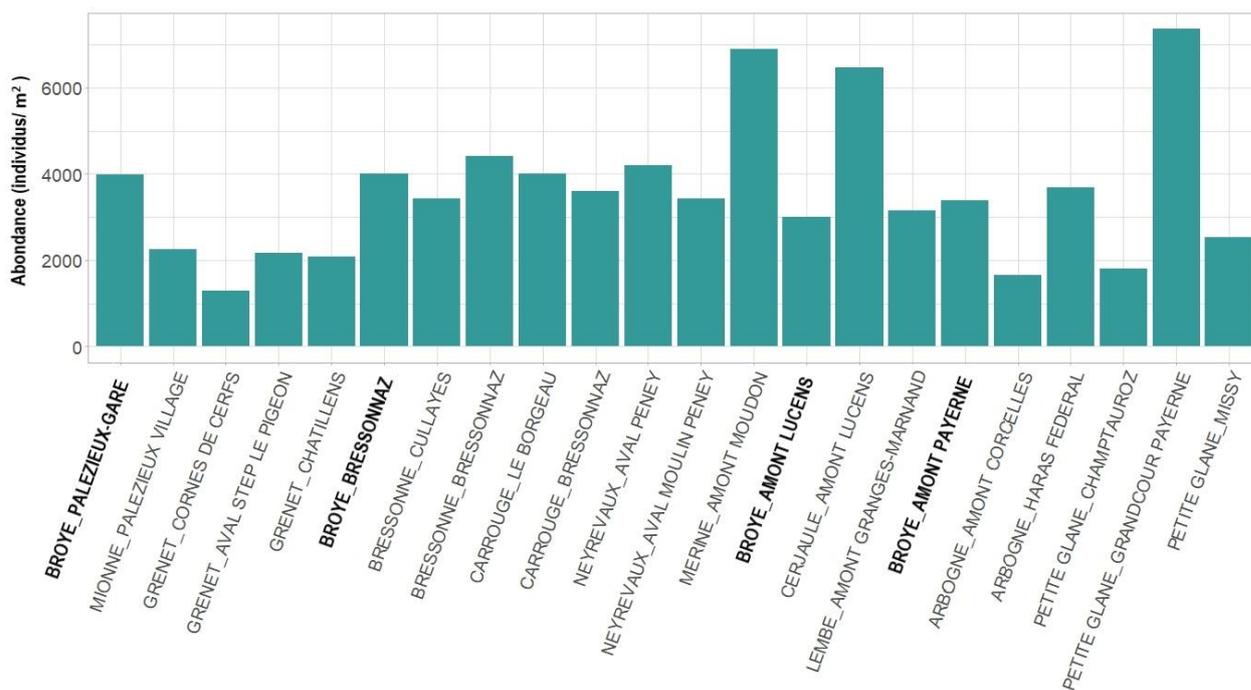


Figure 20. Abondance par m² par station, issu des résultats IBCH.

3.2.1. L'indice IBCH

Sur l'ensemble du bassin versant, les notes IBCH sont majoritairement « bonne » à « moyenne ». Cependant, la robustesse montre souvent une baisse de qualité de la classe « bonne » à « moyenne » pour les stations de la Broye en amont de Payerne et de Lucens, du Cerjaulle en amont de Lucens, du Grenet à Châtillens et de la Mionne à Palézieux-Village (**Figure 21 et 23**). La note IBCH la plus basse a été relevée sur le Neyrevaux à l'aval de Peney (0.42/1), alors que la Bressonne à Cullayes possède la meilleure note (0.86/1). Les classes de qualité « moyenne » semblent plus fréquentes sur le secteur aval du bassin versant de la Broye. Les GI « bon » représenté par les Taeniopterygidae et « très bon » représenté par les Perlodidae ont été retenus sur les $\frac{3}{4}$ des stations étudiées.

Pour la majorité des stations étudiées (exceptées celles situées sur l'Arbogne et le Neyrevaux), la note de la VT est plus basse que celle du GI. Par exemple, la Broye en amont de Payerne possède une VT de 0.5 (qualité médiocre) et un GI de 0.8 (très bonne qualité) (**Figure 22**). Dans l'axe amont-aval, l'état de la Broye reste relativement stable pour ce qui est de la note IBCH jugée « bonne », de la VT jugée « moyenne » (exceptée à Bressonnaz où la classe « bonne » a été attribuée) et du GI jugé « très bon ». A Bressonnaz, l'augmentation faible de la VT (de 0.51/1 à Palézieux-Gare à 0.68/1 à Bressonnaz) n'a pas permis, à l'IBCH, de franchir la classe « très bonne ».

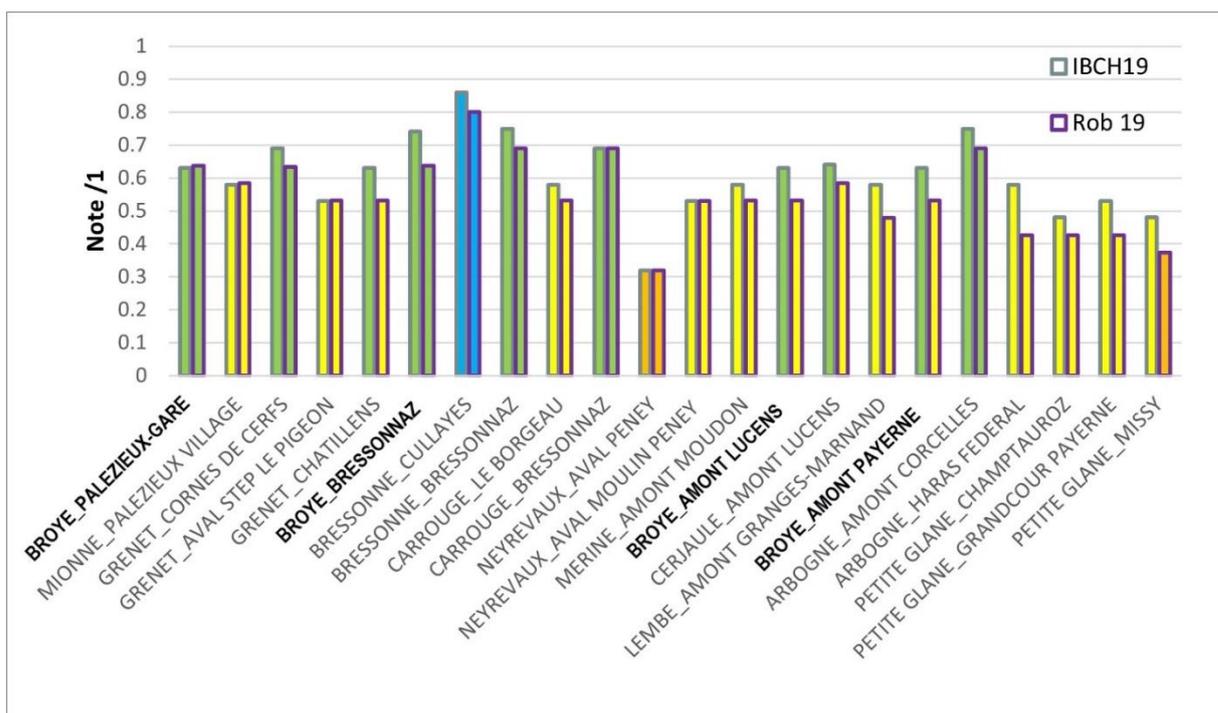


Figure 21. Note IBCH (à gauche) et sa robustesse (à droite) de l'IBCH évalué entre 0 et 1. La couleur des barres représente la classe de qualité associée relative aux SMG. Valeurs issues des résultats IBCH réalisés sur 22 stations du bassin versant de la Broye.

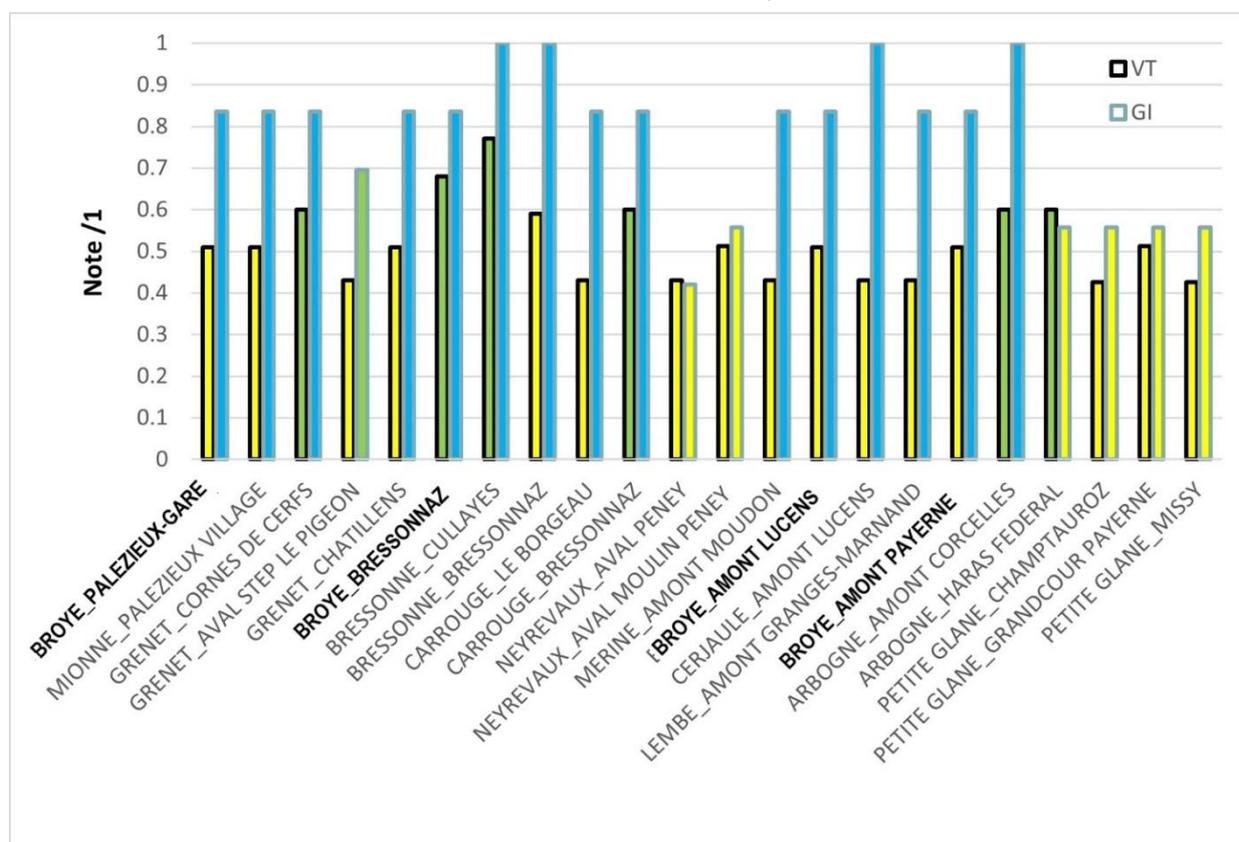


Figure 22. Classe de variété (VT ; à gauche) et Groupe indicateur (GI ; à droite) évalués entre 0 et 1. La couleur des barres représente la classe de qualité associée relative au SMG. Valeurs issues des résultats IBCH réalisés sur 22 stations du bassin versant de la Broye.

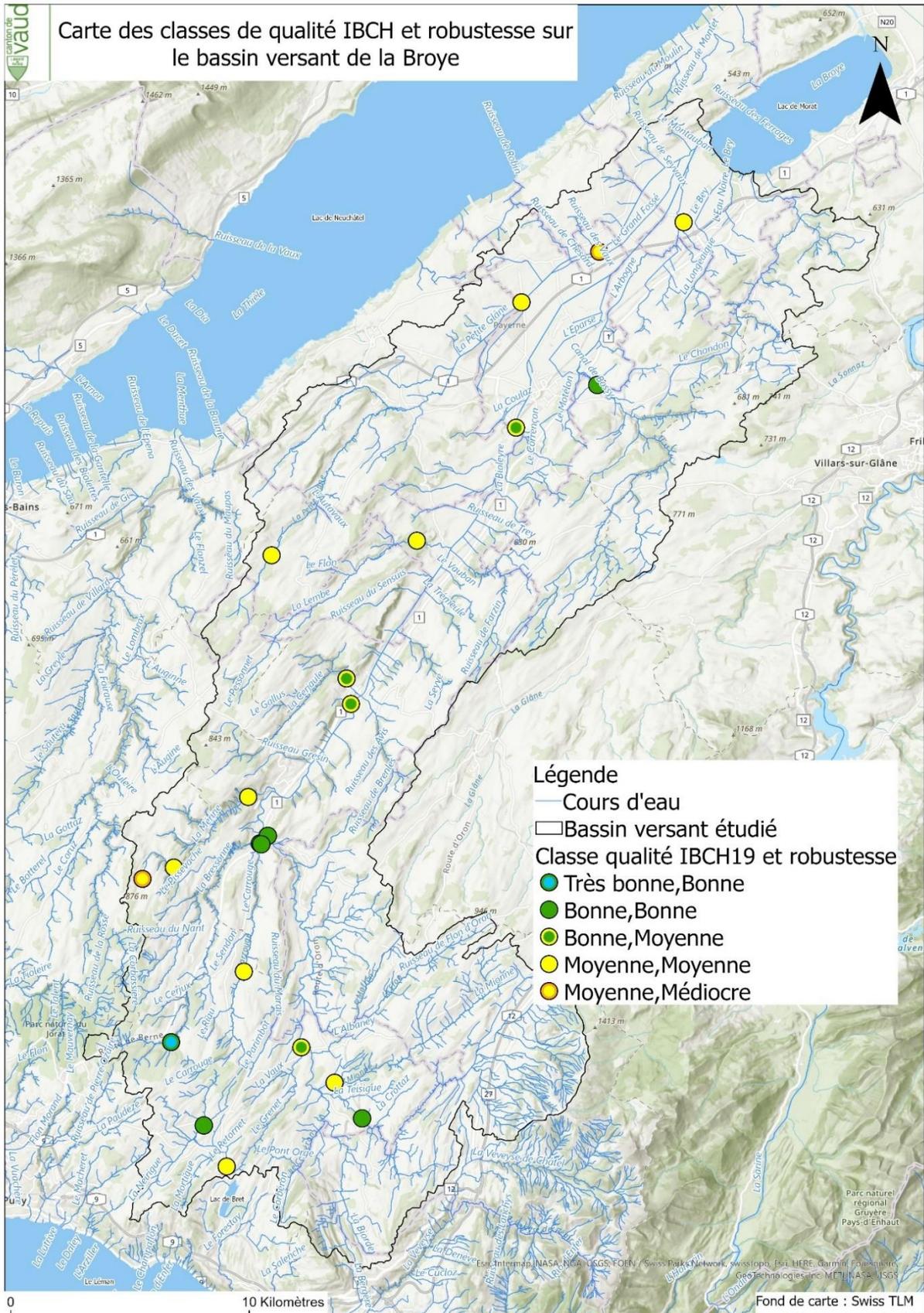


Figure 23. Carte des classes de qualité IBCH (cercle) accompagné de la classe de qualité de la robustesse (contour) sur le bassin versant de la Broye.

3.2.2. Composition du peuplement

Diversité du peuplement

Les diversités familiale et générique montrent une certaine homogénéité parmi les stations étudiées (**Figure 24**). La moyenne sur tout le bassin versant est de 28 familles et 42 genres avec, pour la Petite Glâne la diversité la plus faible : 21 familles et 28 genres. Trois stations, situées sur des affluents (La Bressonne à Bressonnaz et Cullayes et Le Carrouge à Bressonnaz) se démarquent avec une diversité familiale supérieure à 30 taxons et une diversité générique supérieure à 50 taxons.

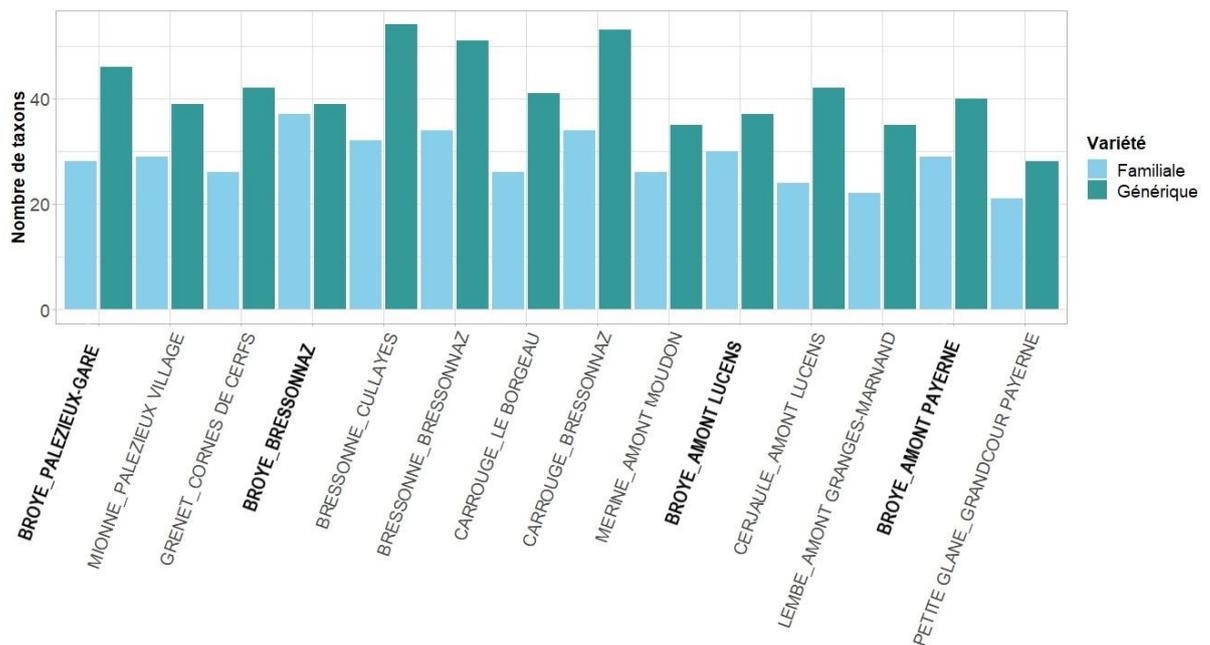


Figure 24. Variété familiale et générique des stations du bassin versant de la Broye.

Les deux premiers axes expliquent presque 32% de la variance totale (**Figure 25**). Alors que l'axe 1 s'apparente à un gradient de diversité biologique croissante, l'axe 2 montre plutôt une variabilité dans le type de peuplement. Le long de l'axe 1, deux groupes se démarquent :

- Le premier groupe, pour des valeurs de x négatives, comprend la Broye à l'amont de Payerne, Lucens et Bressonnaz et la Petite Glâne à Grandcour Payerne. Ces stations montrent une diversité biologique pauvre.
- Le second groupe, pour des valeurs de x positives, comprend le Carrouge à Bressonnaz et au Borgeau, la Lembe, la Mérine, le Cerjaule, la Bressonne à Bressonnaz et à Cullayes, la Mionne, la Broye à Palézieux-gare et le Grenet à Cornes de Cerfs. Ces stations illustrent une diversité biologique plus riche.

Pour des valeurs de Y (axe 2) négatives, les stations de la Bressonne à Cullayes et Bressonnaz, du Cerjaule, de la Mérine, de la Lembe et du Carrouge à Bressonnaz et au Borgeau

montrent une diversité de genres de trichoptères à fourreaux (*Drusus*, *Sericostoma*, *Odontocerum* et *Silo*) alors que, pour des valeurs de Y positives les stations la Mionne, la Broye à Palézieux-Gare et le Grenet à Cornes de Cerfs illustrent une diversité de genre de trichoptères sans fourreaux (*Lype* et *Wormaldia*).

Parmi le groupe 2, les deux stations ayant le moins de similitude dans leur peuplement sont celles de la Bressonne à Cullayes et du Grenet à Cornes de Cerfs. En effet, le Grenet est plus représenté par les genres ayant une valeur de x supérieur à 1 (*Wormaldia* et *Habrophlebia*) alors que la Bressonne par les genres ayant une valeur de x inférieure à -0.5 avec les genres *Isoperla* et *Sericostoma*. Cependant, ces deux stations sont au même niveau sur l'axe des x, leur diversité est alors similaire (**Figure 25**).

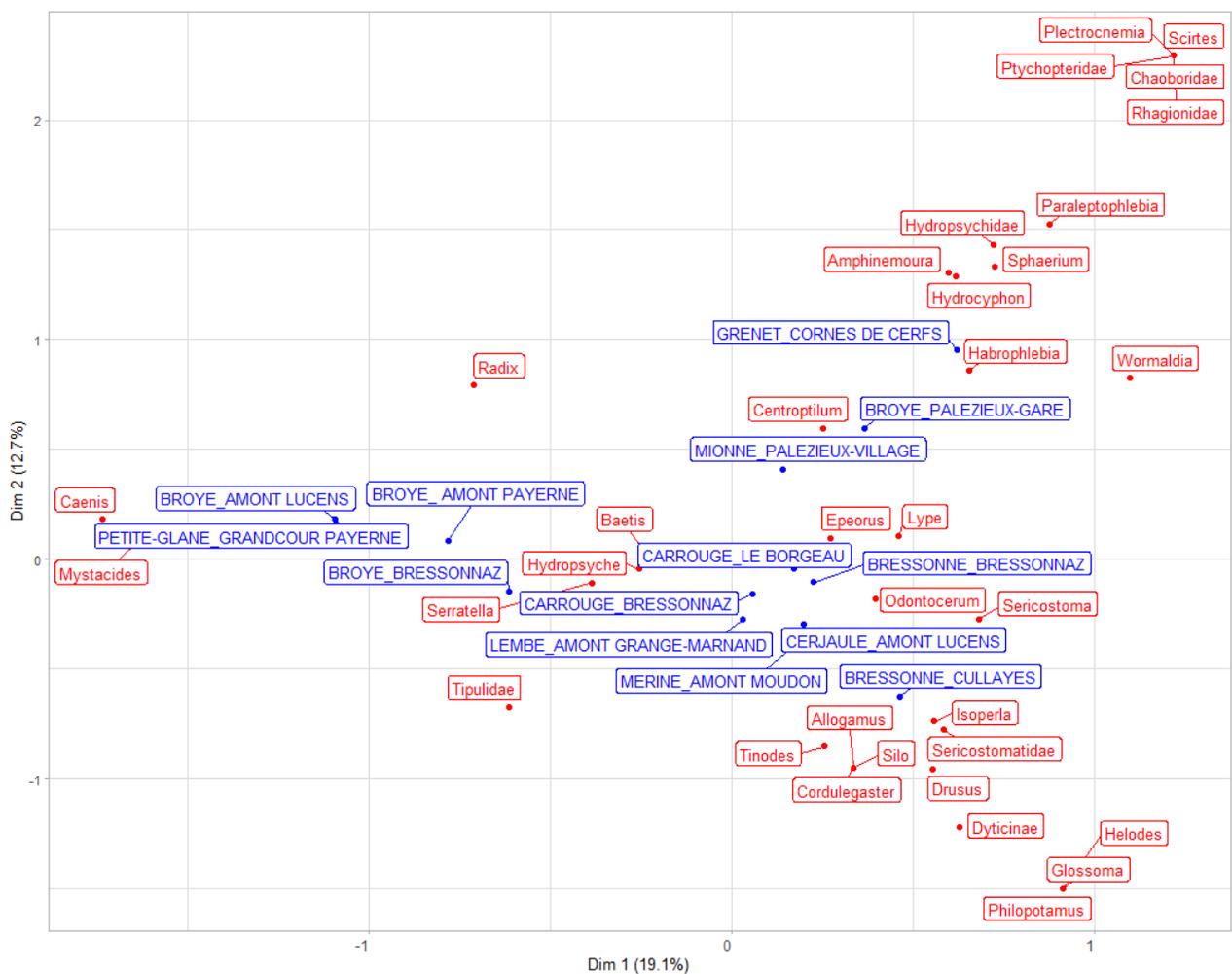


Figure 25. AFC des stations en fonction de leur peuplement. Les taxons communs entre $x = [-1.5 ; -0.5]$ et $y = 0$ ont été retirés pour faciliter la lecture.

Groupes indicateurs

La famille des Perlodidae (GI 9), essentiellement représentée par le genre *Isoperla*, a été identifiée sur six des stations étudiées : La Broye à Palézieux-Gare, la Bressonne à Cullayes, la

Broye à Bressonnaz, la Mérine en amont de Moudon, le Cerjaule en amont de Lucens et l'Arbogne en amont de Corcelles (**Tableau 12**).

La famille des Philopotamidae (*Philopotamus* et *Wormaldia* ; GI8) est uniquement présente sur la Bressonne, le Grenet à Cornes de Cerfs et la Bressonne à Cullayes (**Tableau 12**).

La famille des Taeniopterigidae représenté par le genre *Brachyptera* (*Brachyptera risi* (Morton, 1896) ; GI 7), est présente sur 15 stations : le Grenet à Cornes de Cerfs et Chatillens, la Broye à Palézieux-Gare, à Bressonnaz, en amont de Lucens et en amont de Payerne, la Mionne, la Bressonne à Cullayes et Bressonnaz, le Carrouge au Borgeau et Bressonnaz, la Mérine, le Cerjaule, la Lembe et l'Arbogne à Corcelles (**Tableau 12**). La Bressonne à Cullayes est la seule station avec la présence de Glossomatidae (GI 7).

La famille des Leptophlebidae représente la majorité des taxons du GI 6, sur le Grenet à Cornes de Cerfs elle représente 99.3 % des abondances des taxons appartenant au groupe indicateur 6. Les taxons sur cette même station, dont le GI est 6, sont les Leuctridae (0.3 % du GI 6) et les Epheméridae (0.4 %).

La Petite Glâne, le Neyrevaux et l'Arbogne au haras fédéral sont les stations n'ayant aucun GI entre 9 et 6 (**Tableau 12**).

L'Arbogne au haras Fédéral, la Petite Glâne à Grandcour Payerne et Missy ont pour taxon indicateur les Hydroptilidae (*Hydroptila sp*) (GI 5). La Petite Glâne à Champtauroz a pour groupe indicateur 5 la famille des Heptageniidae. Le Neyrevaux à l'aval de Peney est la station avec la note IBCH (0.42/1) la plus basse, avec comme GI les Rhyacophilidae (GI 4).

Tableau 12. Proportion des individus (barres de couleurs) et nombre d'individus faisant partie de des groupes indicateurs 6 à 9.

	GI 9	GI 8	GI 7	GI 6
BROYE_PALEZIEUX-GARE	1	0	12	326
GRENET_CORNES DE CERFS	0	2	17	2347
GRENET_AVAL STEP LE PIGEON	0	0	0	14
GRENET_CHATILLENS	0	0	4	45
MIONNE_PALEZIEUX VILLAGE	0	0	15	58
BROYE_BRESSONNAZ	3	0	18	23
BRESSONNE_CULLAYES	14	2	36	162
BRESSONNE_BRESSONNAZ	0	0	26	28
CARROUGE_LE BORGEAU	0	0	16	125
CARROUGE_BRESSONNAZ	0	0	14	28
NEYREVAUX_AVAL PENEY	0	0	0	0
NEYREVAUX_AVAL MOULIN PENEY	0	0	0	0
MERINE_AMONT MOUDON	2	0	75	6
BROYE_AMONT LUCENS	0	0	5	0
CERJAULE_AMONT LUCENS	54	0	149	37
LEMBE_AMONT GRANGES-MARNAND	0	0	4	0
BROYE_AMONT PAYERNE	0	0	16	2
ARBOGNE_AMONT CORCELLES	4	0	24	11
ARBOGNE_HARAS FEDERAL	0	0	0	1
PETITE GLANE_CHAMPTAUROZ	0	0	2	2
PETITE GLANE_GRANDCOUR PAYERNE	0	0	0	0
PETITE GLANE_MISSY	0	0	0	0

A partir des larves issues des prélèvements IBCH, les espèces d'éphémères, plécoptères et trichoptères ont été identifiés et dénombrés par catégorie de menace (Wagner et al., 2010). Huit des stations possèdent des taxons vulnérables : *Torleya major* (Klapalek, 1905), *Synagapetus iridipennis* (McLachlan, 1879) et *Baetis buceratus* (Eaton, 1870) (Figure 26). La Broye à Palézieux-Gare et Bressonnaz, la Bressonne à Cullayes et Bressonnaz, le Carrouge à Bressonnaz et la Mionne compte la présence de *T. major*. *S. iridipennis* est présent sur la Bressonne à Cullayes et *B. buceratus* sur la Broye en amont de Payerne et la Petite Glâne à Grandcour Payerne.

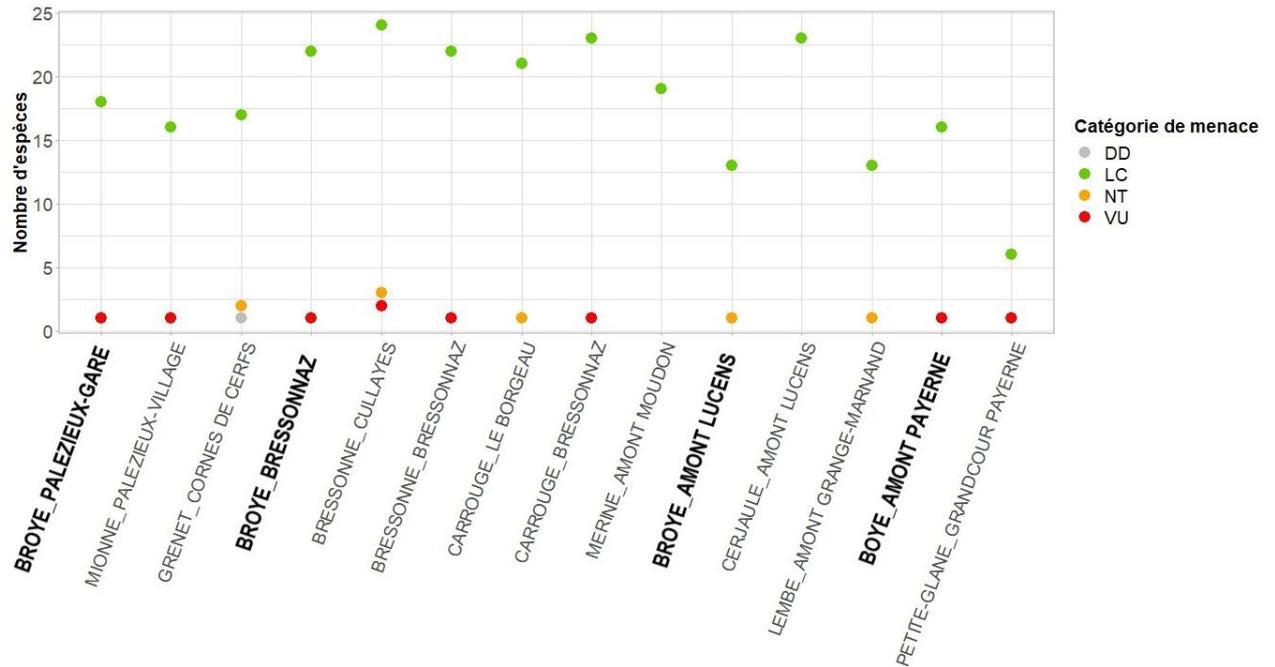


Figure 26. Nombre d'espèces d'EPT (Ephémère, Plécoptère et Trichoptère) présent sur les différentes stations en fonction de leur catégorie de menace (DD = Données insuffisantes, LC = Non menacé, NT = Potentiellement menacé et VU = Vulnérable).

3.2.3. Traits biologiques et écologiques

Les stations montrent un pourcentage de taxons polluo-résistants et/ou saprobiontes et/ou ubiquistes supérieurs à 60 %, excepté sur la Bressonne à Cullayes (45 %) (**Figure 27**). Sur la Broye un gradient amont-aval de la proportion de taxon ubiquiste est observés. La station en amont (Palézieux-Gare) est représentée par 67 % de de taxons polluo-résistants et/ou saprobiontes et/ou ubiquistes alors que sur la station la plus en aval à l'amont de Payerne, cette proportion atteint 95 %.

L'abondance totale de la famille des Gammaridae est supérieur à 400 individus dans le Carrouge à Borgeau, la Bressonne à Cullayes, le Neyrevaux en aval de Peney et au Moulin Peney, le Cerjaule en amont de Lucens et dans l'Arbogne en amont de Corcelles. Le nombre d'Elmidae est supérieur à 100 dans la Mionne, le Carrouge, la Bressonne et la Broye à Bressonnaz, la Broye et le Cerjaule à amont Lucens, l'Arbogne en amont de Corcelles et la Petite Glâne (**Figure 28**). Les stations ayant un nombre de Gammaridae très faibles sont celles du Grenet à l'aval STEP Pigeon, la Broye à Palézieux-Gare, la Mionne et le Grenet à Chatillens. Le Neyrevaux comprend très peu d'Elmidae.

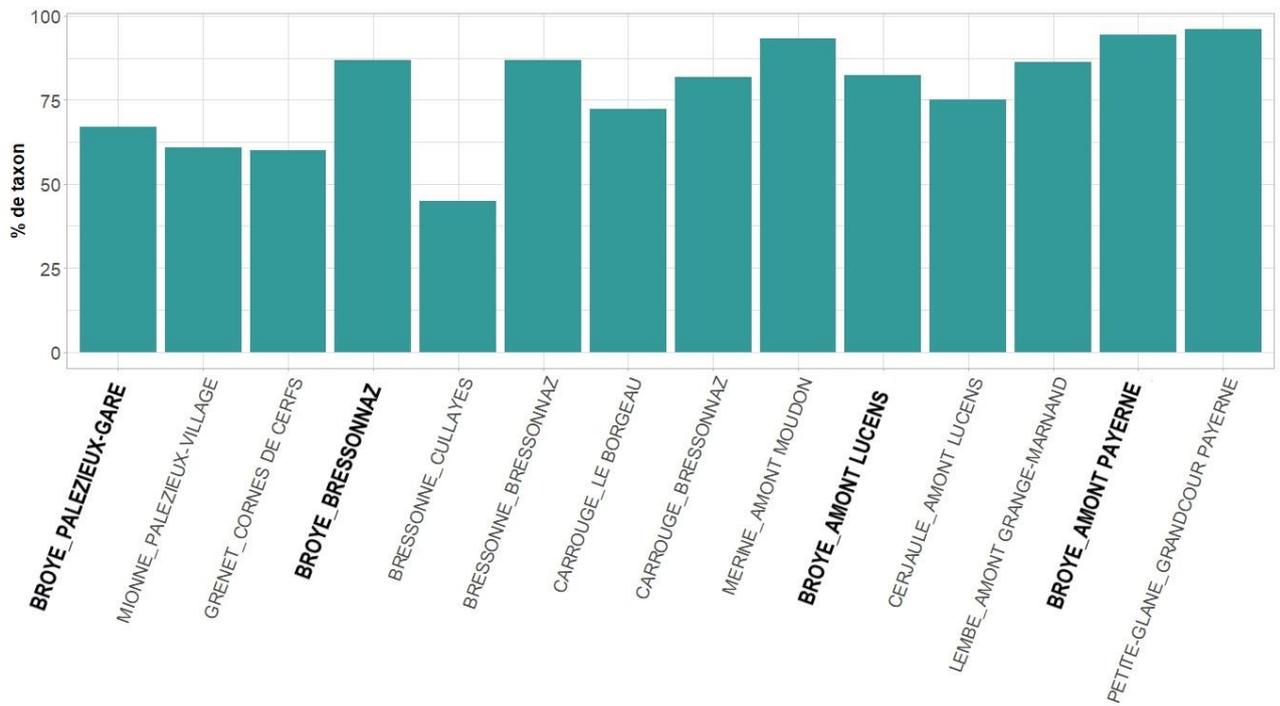


Figure 27. Pourcentage de taxons polluo-résistants et/ou saprobiontes et/ou ubiquistes.

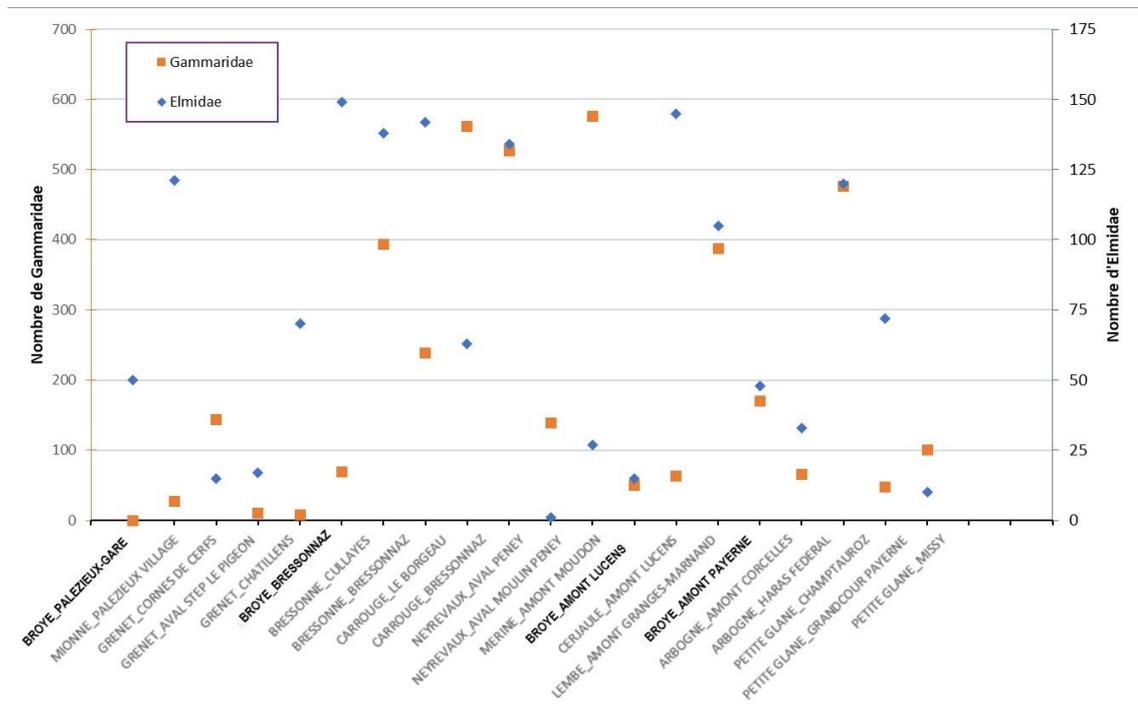


Figure 28. Abondance totale de la famille des Elmidae et Gammaridae.

La proportion des taxons eurythermes reste stable toutes stations confondues (entre 75-85 %). Ainsi, la majorité des variations de proportion s'observent entre les taxons psychrophiles et thermophiles. Cependant, pour les stations de la Mionne, de la Bressonne, du Carrouge et

du Cerjaulle plus de 12 % des taxons sont psychophiles. La Petite Glâne à Grandcour Payerne détient la proportion de taxons thermophiles la plus élevée (autour de 20 %) (**Figure 29**). Sur la station de la Broye à Bressonnaz une faible proportion de taxons psychrophiles (9 %) est remarquée, alors que, plus en aval, (station amont de Lucens), la proportion de taxons psychrophiles augmente jusqu'à 14 %. Les proportions des trois traits de la Broye en amont de Payerne est relativement semblable à celles de la Broye à Bressonnaz avec des proportions situées autour de 10%.

D'un point de vue plus général, ces résultats montrent que la proportion des taxons thermophiles augmente sur la partie avale du bassin versant (dès l'aval de Lucens) au détriment des taxons psychrophiles. Les affluents de la Broye possèdent en moyenne une proportion de taxons psychrophiles presque deux fois supérieur à celle de la Broye, respectivement 17 % et 10 %.

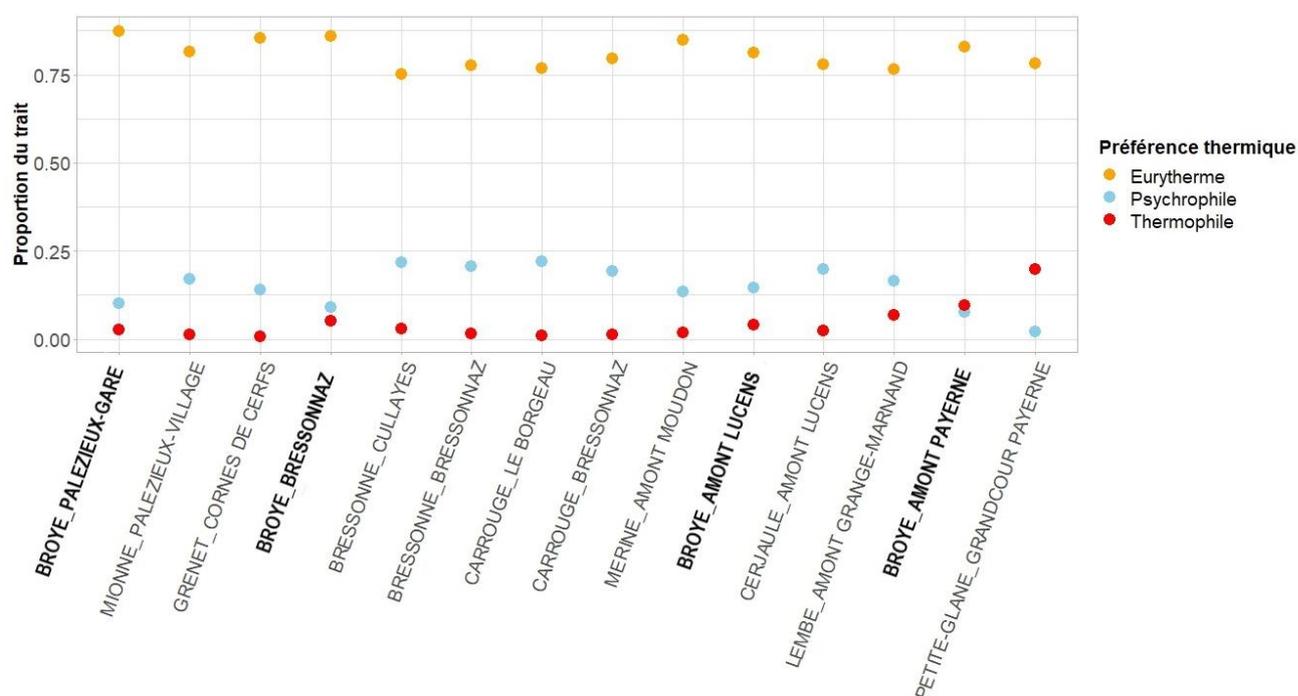


Figure 29. Proportion des préférences thermiques par station.

3.3. Suivis écotoxicologiques

Les bioessais se sont avérés hétérogènes. Les pourcentages de mortalité inférieurs à 20 % qui ne montrent aucun effet significatif de la toxicité du sédiment sur les ostracodes (**Annexe 10**) sont observés uniquement sur les sédiments de la Broye à Palézieux-Gare, du Parimbot, de la Petite Glâne, du fait d'un pourcentage de mortalité respectif de 18 % (médiane = 8 survivants), 17 % (médiane = 8 survivants) et 5 % (médiane = 9 survivants) (**Figure 30**). De plus, l'inhibition de la croissance observée pour la Broye de 5 %, de 7.5% sur le Parimbot et de 11% sur la Petite Glâne est considérée sans effet car en dessous de 35 % (**Annexe 10**).

En vue d'une grande variance observée entre le nombre de survivants par réplicats nous avons utilisé le deuxième test effectué sur la station de la Broye à Palézieux-Gare, Lucens et Corcelles (boîtes à moustaches et points bleus). Un problème est en effet survenu durant le premier test, à Palézieux-Gare le pourcentage de mortalité des ostracodes était de 18 % au premier test et de 63 % au second. Les causes de ce problème seront détaillées en discussion (4.4. Critiques).

La rivière de la Broye montre une augmentation de la toxicité de l'amont vers l'aval. Le pourcentage de mortalité à l'amont est de 63 % à Palézieux-Gare, de 70 % à Lucens 75 % à Henniez et 65 % à Corcelles. Une diminution de 10 % de la mortalité est observée à Corcelles, après l'affluence de la Petite Glâne dont le sédiment n'a aucun effet toxique sur les organismes.

Les affluents de la Broye possèdent des sédiments ayant moins d'impacts sur les micro-crustacés que le Broye.

Un test de corrélation de Pearson a été réalisé afin de vérifier la corrélation entre le pourcentage de mortalité des ostracodes et les notes IBCH et la proportion d'Elmidae et de Gammaridae. Statistiquement, ces trois variables ne sont pas corrélées ($\rho_{\text{mortalité-Elmidae}} = 0.4$, $\rho_{\text{mortalité-Gammaridae}} = 0.8$ et $\rho_{\text{mortalité-Note IBCH}} = 0.5 > 0.05$) (**Annexe 11**).

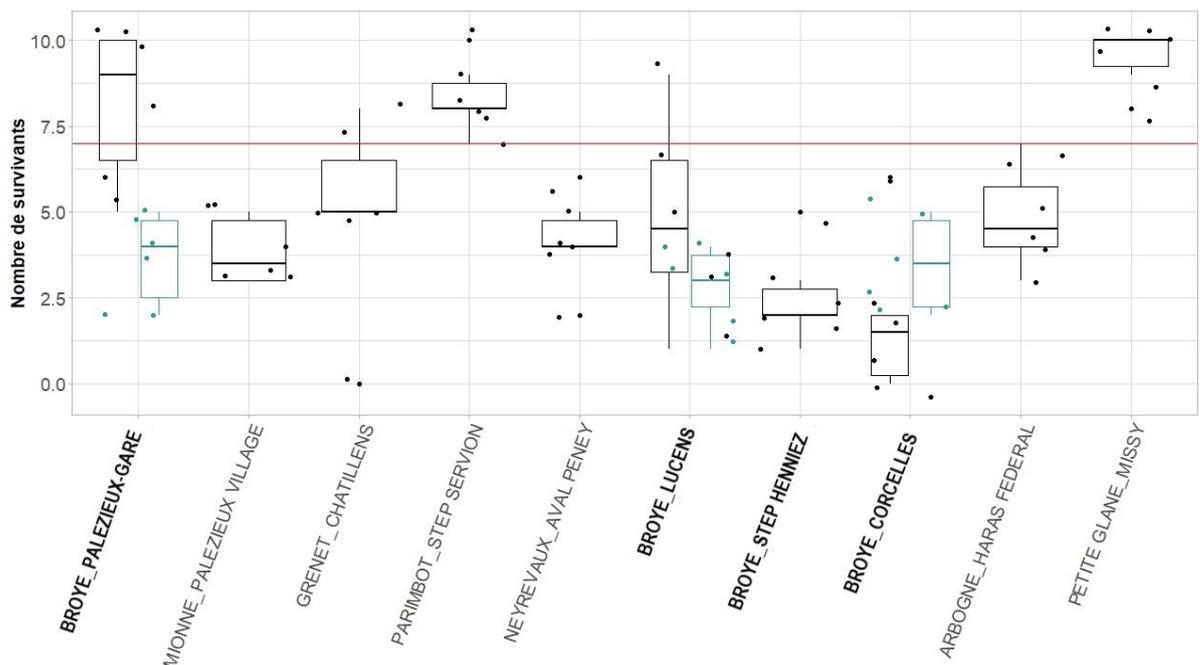


Figure 30. Nombre d'ostracodes survivants par sédiment test (Les tests sur la BROYE PALÉZIEUX-GARE/LUCENS/CORCELLES ont été réalisés 2 fois (points bleus). La ligne rouge représente la valeur où la mortalité est considérée sévère.

3.4. Evolution des températures

Le scénario RCP2.6 montre peu de différences entre les moyennes mensuelles des températures de l'eau actuelles et celles prévues en 2090-2100. Elles sont surtout en hiver, entre décembre et avril. Cependant, pour le scénario RCP8.5 un réchauffement (environ 2.5 °C) est visible tout au long de l'année. Les moyennes mensuelles de températures de l'eau les plus basses seront observés en janvier, février et décembre entre 7 et 9 °C. Les maximas seront observés durant les mois de juillet et août avec une moyenne mensuelle des températures de l'eau d'environ 22 °C (**Figure 31**).

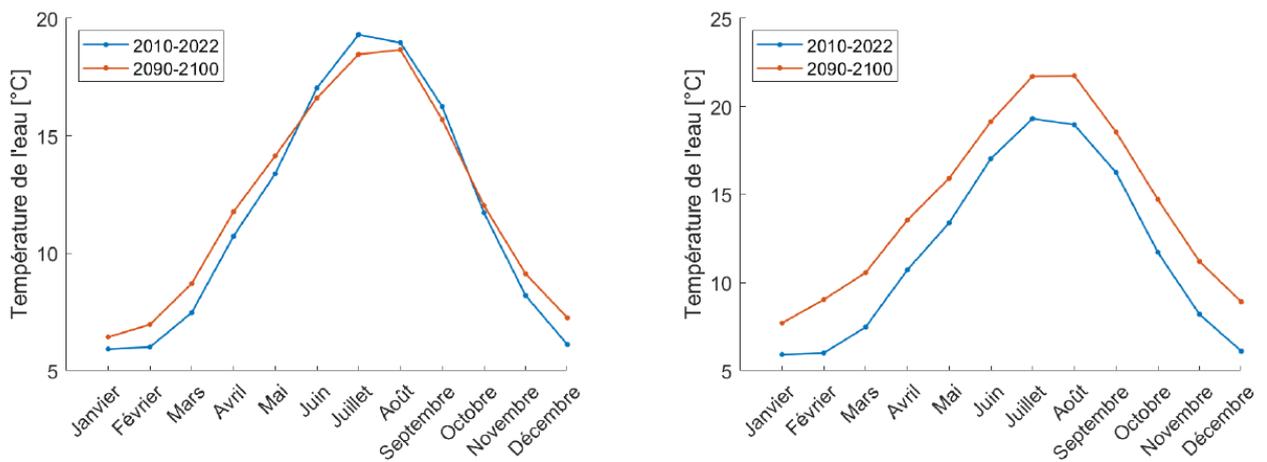


Figure 31. Évolution des températures moyennes mensuelles RCP2.6 (à gauche) et RCP8.5 (à droite) - (Sauvin & Steiger, 2023).

4. Discussions

L'objectif de ce mémoire est d'établir un diagnostic écologique des cours d'eau du bassin versant de la Broye. A partir d'une méthode multicritère basée sur différents compartiments (la chimie, la biologie, l'écotoxicologie et le régime thermique), la diversité des habitats, mais aussi la qualité des eaux superficielles et des sédiments de la Broye et de ses affluents a pu être évalués. A partir de ces évaluations, des hypothèses quant aux pressions et dysfonctionnements identifiés sur ce bassin versant seront proposées. Enfin, des actions visant à restaurer la qualité écologique de cette rivière et de ses affluents seront présentées.

4.1. Eaux superficielles

4.1.1. Etat des lieux

La qualité chimique des eaux du bassin versant de la Broye, malgré une amélioration depuis les années 1990, reste en dessous des objectifs de critères de qualité du SMG. En effet, les concentrations moyenne annuelle de phosphore brut total, des orthophosphates et des nitrites restent trop élevées sur les stations du Grenet, Carrouge, Petite Glâne et la Broye à Domdidier.

Les concentrations les plus fortes de phosphore brut total et des orthophosphates se situent à l'amont du bassin versant. Pour les orthophosphates et le phosphore, Nisbet et Verneaux (1970) estiment qu'une concentration supérieure à 0.1 ou 0.2 mg/L (observés sur les stations du Grenet, Carrouge, la Petite Glâne, la Broye à Brit et Bressonnaz) dans les eaux naturelles montre une pollution par des eaux usées contenant des phosphates organiques et des détergents synthétiques (STEP) ainsi que par les eaux de ruissellement (agriculture : engrais phosphaté). A la différence du SMG, les valeurs seuils et leurs interprétations issues de Nisbet et Verneaux (1970) se focalisent sur un fonctionnement optimal du point de vue biologique pour des cours d'eau de la zone à truites. A l'aval de Payerne, les concentrations moyennes des nitrites de la Broye sont plus élevées que sur sa partie amont (i.e. la Broye à Bressonnaz et à Brit) ou que sur certains de ses affluents comme le Grenet. La Broye à Domdidier a une concentration moyenne annuelle de nitrites de 0.3 mg/L, représentant une mauvaise qualité de l'eau selon le SMG. Nisbet et Verneaux (1970) considèrent qu'au-delà de 0.1 mg/L de nitrites (3 fois moins que sur la station) la pollution est considérée comme critique. Selon le SMG, la concentration moyenne annuelle des nitrates sur les 7 stations est considéré comme respectant les objectifs du SMG. Cependant, les eaux naturelles ne devraient pas avoir une concentration de nitrates dépassant la valeur seuil de 3 mg/L (Nisbet & Verneaux, 1970). Or, toutes les stations de mesures dépassent cette valeur seuil bien que certaines (e.g. exemples) soient considérées comme de bonne qualité par le SMG. Une forte concentration de phosphore peut être causée par l'apport d'engrais venant des cultures environnantes (Remy, 2008). A l'aval du bassin versant de la Broye une densification des zones urbaines, mais aussi des grandes cultures (e.g. pommes de terre, céréales, oléagineux, betteraves) est observées (Blättler et al., 2016; CORINE Land Cover Schweiz - Projets - WSL, 2018), dont la présence peut expliquer le dépassement des valeurs de nitrites, nitrates et phosphates.

La Broye à Domdidier montre des concentrations moyennes annuelles de pesticides dépassant la limite imposée par L'OEaux, ce qui renforce l'hypothèse de l'impact de l'agriculture sur le cours d'eau à l'aval. Le transfert de pesticides a d'ailleurs déjà été mis en évidence sur des plans d'eau Lorrain (Le Cor, 2021). Les pesticides posant le plus de risques sont les herbicides. Or, nous savons que ce sont les pesticides les plus utilisés dans les grandes cultures (Wittmer et al., 2014). Les herbicides sont pour la plupart des inhibiteurs d'hormones de croissance végétal (e.g. le glyphosate détecté plusieurs fois dans la Broye à Domdidier en 2021) (Michael, 2002), qui peuvent entraîner alors une inhibition de la croissance des microalgues (*Selenastrum capricornutum* (Korshikov, 1990) et *Skeletonema costatum* (Cleve, 1873)) et du zooplancton (*Ceriodaphnia dubia* (Richard, 1894) et *Acartia tonsa* (Dana, 1849) (Tsui & Chu, 2003). D'ailleurs selon l'évaluation des risques effectuée dans la présente étude, le risque de toxicité sur les organismes des substances relevées à Domdidier est élevé

(primaires, invertébrés et vertébrés). Les médicaments constituent également un risque sur les organismes, le diclofénac est toxique pour le foie des poissons (Cuklev et al., 2011). L'ibuprofène est le médicament le plus problématique sur la station, induit des effets sur la croissance des *Daphnia magna* (Heckmann et al., 2007) et la plante aquatique *Lemna minor* (Pomati et al., 2004), mais stimule la croissance des cyanobactéries *Synechocystis* (Khetan & Collins, 2007). Ces substances proviennent probablement des STEP qui ne peuvent pas encore les traiter (Seen et al., 2022).

La proportion de taxons ubiquistes, des taxons vulnérables (GI) peuvent illustrer une perturbation chimique : contamination à la matière organique ou contamination à un toxique (Décourcière & Degiorgi, 2004). Un gradient amont-aval d'augmentation de la proportion de taxons ubiquiste et/ou polluo-résistants et/ou saprobiontes est clairement observée dans le cadre de cette étude. De plus, le peuplement benthique de la Broye contient, en moyenne, 10 % de plus d'individus de taxons ubiquistes et/ou polluo-résistants et/ou saprobiontes (86 %) que ses affluents (76 %). De même, les valeurs de GI qui diminuent lorsque l'on se dirige vers l'aval révèle la perte de taxons polluo-sensibles (Perlodidae à Palézieux-Gare) au profit de taxons polluo-tolérantes (Hydroptilidae en amont de Payerne).

Cette diminution du caractère polluo-sensible des peuplements benthiques peut être la conséquence de plusieurs facteurs. Malgré l'arrivée du Cerjaule (de bonne qualité biologique), la Broye semble particulièrement impactée proche et en aval du secteur de Lucens. La STEP de Lucens accueille les rejets de sept industries (Vuilleumier et al., 2022) et les abords du cours d'eau sont occupés par une déchèterie, ce qui peut apporter une contamination aux métaux et micropolluants (e.g. microplastiques) dans le cours d'eau (Delahaye, 2000). Les données cantonales ne révèlent pas de présence en excès de deux produits industriels anticorrosifs (benzotriazole et méthylbenzotriazole) sur la station de suivi chimique de Domdidier. De ce fait, et avec l'absence de données concernant les métaux dans le bassin versant, il est donc difficile d'affirmer l'impact de ces rejets sur l'état écologique de la Broye.

La proportion des taxons thermophiles augmentent sur la partie avale du bassin versant (en aval de Lucens) au détriment des taxons psychrophiles. Les affluents ont en moyenne une proportion de taxons psychrophiles presque deux fois supérieure que dans la Broye. Ces résultats montrent l'intérêt qu'ont les affluents à apporter de l'eau fraîche à la Broye. Cet effet se ressent d'ailleurs sur les communautés benthiques échantillonnées. En effet, sur la Broye à Bressonnaz (station pourtant située à la sortie des gorges de la Broye) la proportion de taxons psychrophiles observée est environ 30% plus faible que sur la station placée à l'amont de Lucens et ce, à plusieurs kilomètres de l'arrivée du complexe Carrouge Bressonne (secteur Bressonnaz) et de la Mérine (secteur Moudon). Cette augmentation des taxons psychrophiles à l'amont de Lucens peut aussi résulter d'un apport phréatique important localisé permettant une baisse des températures de l'eau (Gentil et al., 1983). D'ailleurs, la présence épisodique et

localisée de quelques ombres communs (Savary, comm. pers.) sur ce même secteur suit ce raisonnement.

En aval du secteur de Lucens, l'augmentation de la proportion de taxons thermophiles résulte probablement des effets de la chenalisation et de l'absence d'une ripisylve dense (surtout sur la rive vaudoise). Ces conditions, énoncées dans Piegay & Maridet (1994), accentue certainement l'effet du changement climatique sur les eaux de la Broye. Enfin, même si la Broye possède un débit élevé, les rejets de STEP, cité plus tôt, peuvent également participer au réchauffement des eaux (Trichet-Arce, 2013).

Une des problématiques dont la Broye doit faire face est l'augmentation de ses températures. Certains affluents de la haute et moyenne Broye apportent encore de la fraîcheur mais pour encore combien de temps ? Les prévisions du RCP8.5 montrent une augmentation des températures de l'eau de 2.5 °C. Or, les taxons les plus polluo-sensibles sont généralement psychrophiles, c'est-à-dire liés à des eaux dont les températures ne dépassent pas 15 °C (Tachet et al., 2010). Le GI le plus représenté sur le bassin versant de la Broye sont les Taeniopterigidae (représentés par l'espèce *Brachyptera risi*), sur la plupart des stations en l'absence de ce taxon la note de GI diminue et donc la note IBCH également. Cette espèce a un optimum thermique de 14.4 °C et commenceront probablement à décliner lorsque la température dépassera trop longtemps les 16°C (Arbeitskreis KLIWA et al., 2016). En 2022, les températures moyennes mensuelles de mai à septembre ont dépassé les 16 °C, 2023 a montré les mêmes tendances. Alors si le scénario le plus pessimiste se produit les Taeniopterigidae sont voués à disparaître de la Broye car les températures des mois d'été seront trop hautes pour leur survie. Les autres taxons psychrophiles (*Isoperla grammatica*, *Wormaldia occipitalis*, *Odontocerum albicorne*) pourront également subir le même sort, tandis que les taxons thermophiles et eurythermes subsisteront mais au détriment de la qualité biologique des peuplements benthiques.

4.1.2. Solutions

La qualité chimique sur le bassin versant de la Broye est moyenne et entraîne le déclin et le dérèglement de la composition du peuplement macrobenthique. Il est possible d'améliorer sa qualité avec une surveillance et un traitement plus efficace des STEP (Knispel et al., 2005). Néanmoins, depuis 2015 la qualité chimique s'est améliorée (**Annexe 1**), il faut alors continuer les efforts pour atteindre une bonne qualité chimique des eaux. Pour le moment, toutes les STEP ne sont pas capables d'éliminer les médicaments avant de les rejeter dans le cours d'eau. Alors, afin de limiter leur contamination de ces substances dans le milieu, la communication est la clé : il faut inciter à une consommation responsable, réfléchie et sûre (Bocaly, 2010).

L'agriculture est aussi la cause d'apport de phosphates, nitrites et nitrates dans les cours d'eau avec les engrais, mais aussi les pesticides. Pour limiter ces contaminations, une agriculture

respectueuse de l'environnement serait plus adaptée, avec moins d'engrais et de pesticides. En complément, une bande enherbée ou une ripisylve d'au moins 10 m sur chaque rive de cours d'eau serait idéale, pour servir de zone tampon pour limiter les apports de nutriments ou substance dans le cours d'eau (Lacas, 2005).

De plus, par la mise en place de cultures alternatives ayant un besoin en eau modéré et faible (Munier-Jolain & Carrouée, 2003), la Broye et la nappe qui l'accompagne pourraient bénéficier d'une ressource en eau plus conséquente. En complément des différents projets de restauration effectués et en cours dans le bassin versant de la Broye, ces mesures permettraient de limiter le risque d'assèchement et d'augmentation des températures déjà observés depuis plus d'une vingtaine d'années sur la Broye (Sauvin & Steiger, 2023).

4.2. Sédiments

4.2.1. Tests écotoxicologiques et faunes benthiques



Figure 33. Substrat colmaté par le petit lait sur la Broye à Palézieux-Gare (P. Marle 19/04/2023).

été signalées sur la Broye à Palézieux-Gare (**Figure 32**) et le Neyrevaux à l'aval de Peney (**Figure 33**). Ces pollutions montrent clairement des problèmes toxiques très localisés. Sur la partie aval, les sédiments échantillonnés à l'aval des rejets de STEP semblent particulièrement problématiques (mortalité d'environ 60 %).

La rivière de la Broye montre une augmentation de la toxicité de l'amont vers l'aval. D'un point de vue général, les sédiments des affluents ont moins d'impacts sur la survie des ostracodes que les sédiments de la Broye. Cependant, à l'amont du bassin versant, des pollutions d'origines agricoles ont



Figure 32. Substrat colmaté par le rejet de fosse à purin sur le Neyrevaux à l'aval de Peney (P. Marle 27/04/2023).

L'ostracodtookit prend en compte toutes les formes de contaminants (métaux, pesticides...) présent dans le sédiments (Chial & Persoone, 2003). Ce biotest s'est révélé sensible aux bassins versant agricole et urbain, principalement à cause de la présence de pesticides et métaux (Casado-Martinez, 2023). Les analyses du laboratoire d'analyse des eaux de surface de la DGE, ont montré des concentrations de Cuivre au-dessus des valeurs limites de l'OEaux, en

juin et août 2022, sur l'Arbogne, la Petite Glâne, la Broye, le Carrouge et le Grenet (**Annexe 11**).

Ceci rejoint les observations faites plus haut (4.1. Eaux superficielles - 4.1.1. Etat des lieux) où à partir de Lucens les villes et cultures se densifient. Cependant, le bioessai effectué sur le sédiment de la Petite Glâne à Missy, dont le bassin versant est presque essentiellement agricole, n'a cependant pas montré d'effet particulièrement toxique (mortalité proche de 5%). Il est en effet possible que le sédiment de la Petite Glâne soit faiblement contaminé aux pesticides et métaux, malgré une concentration en nutriments (nitrates et nitrites) de ses eaux élevées.

De même pour le Parimbot, un ruisseau connu comme étant impacté par le rejet de la STEP de Servion, pour lequel le sédiment est considéré sans effet sur la survie et la croissance des ostracodes. Ces résultats montrent que le test ne réagit probablement pas ou peu aux pollutions liées à des apports de nutriments et que la qualité du substrat (majoritairement sableux sur la Petite Glâne) peut aussi faire varier la biodisponibilité des éléments toxiques lors des bioessais. Peu d'information concernant la sensibilité aux nutriments des ostracodes a été relevé dans la littérature scientifique.

L'absence de corrélation statistique entre les taux de mortalité, les abondances de Gammaridae et d'Elmidae et les résultats IBCH montre un intérêt dans l'application de tests écotoxicologiques en complément de la méthode IBCH. Ainsi, pour compléter l'analyse écotoxicologique, l'analyse de la proportion de Gammaridae sur les stations s'est révélée intéressante. En effet, les Gammaridae jouent un rôle clé dans le fonctionnement et la structuration de nombreux écosystèmes aquatiques par leur régime alimentaire omnivore à tendance détritivore ainsi que par leur importance dans les chaînes trophiques, prédateurs d'invertébrés et proies de nombreuses espèces de poissons (Macneil et al., 1997; Welton, 2006). Ce groupe taxonomique est très peu sensible aux contaminations à la matière organique puisqu'il s'agit d'un organisme broyeur se nourrissant de particules organiques (Tachet et al., 2010). Ces crustacés ayant un cycle de vie exclusivement aquatique, les individus ne peuvent échapper à un flux même transitoire de contaminants dans leur milieu. De plus, cette famille est très sensible aux perturbations toxiques, en particulier aux contaminations liées au traitement du bois (Adam et al., 2009). D'une manière générale, les gammars sont peu représentés sur la zone d'étude, moins de 30 % de l'abondance totale en invertébrés et les stations retenues pour les tests écotoxicologiques ont été sélectionnées pour un pourcentage inférieur à 10 % de l'abondance totale.

De plus, un cours d'eau en bonne santé devrait abriter plusieurs milliers d'individus par mètre carré. Les larves d'Elmidae utilisent des branchies trachéennes annales pour utiliser l'oxygène (O₂) dissous (Tachet et al., 2010). Les larves et adultes sont peu exigeants par rapport à la qualité physico-chimique de l'eau, mais sont sténotypes, c'est-à-dire exigeant vis-à-vis du

substrat et du courant (Tachet et al., 2010). Les cours d'eau ayant très peu d'Elmidae sont majoritairement des affluents comme le Neyrevaux, la Mérine, le Grenet et la Petite Glâne à Missy et Champtauroz. Ces cours d'eau sont majoritairement concernées par les activités agricoles et pourraient témoigner d'un substrat de mauvaise qualité. La Broye, quant à elle, semble moins concernée avec des abondances d'Elmidae plus ou moins « normales » (environ 50 individus par station) par rapports aux abondances relevées dans le bassin versant.

Le cours d'eau est sûrement sujet à une perturbation comme les HAP produit par une mauvaise combustion des énergies fossiles utilisées dans nos véhicules (Göggel et al., 2013). En effet, une route très fréquentée longe la Broye. Les HAP peuvent donc par ruissellement se retrouver dans l'eau. Mais ce n'est pas la seule source de contamination. Une ligne de chemin de fer traverse plusieurs fois le bassin versant en particulier à Palézieux-Gare où aucun gammare est dénombré. Or, l'entretien de ces ouvrages nécessite l'utilisation de nombreux produits biocides qui peuvent eux aussi se retrouver dans les eaux (Attinger et al., 2018). Enfin, la principale pression est l'industrie du bois qui utilise de la Cyperméthrine, un pesticide pour traiter les bois et les conserver (Adam et al., 2009). Les scieries sont historiquement installées le long des cours d'eau, la station du Cerjaulé est situé en aval d'une scierie (12 % de l'abondance de la station). Les pesticides utilisés se retrouvent donc très souvent dans les masses d'eau, dégradant les communautés biologiques.

4.2.2. Solutions

En plus des solutions proposées pour la réduction des risques pour les organismes (4.1. Eaux superficielles - 4.1.2. Solutions), nous pouvons ajouter une surveillance des eaux de ruissellement des routes et voie de chemin de fer. Une directive fédérale sur l'évacuation des eaux d'installation ferroviaires a été mise en place en 2018. Des mesures de protection sont alors prises en cas d'eau « claire » contaminée (Attinger et al., 2018). Or, les contaminations liées au réseau ferroviaires sont souvent par ruissellement, donc ponctuelle, elles sont alors difficiles à détecter. Il en va de même des contaminations par les eaux de routes.

4.3. Habitats

4.3.1. Qualité morphologique

La qualité des habitats des stations est mesurée avec la note VT. La VT est stable sur tout le continuum de la Broye. Cependant, plus les cours d'eau sont en aval plus l'hétérogénéité des habitats est censé augmenter favorisant l'installation d'espèces plus nombreuses et, par conséquent, un peuplement plus complexe. Une augmentation de la richesse spécifique est alors normalement observée (Verneaux, 1973). Ce qui n'est pas le cas de la Broye qui, par conséquent, manque cruellement d'habitats.

La Broye à Bressonnaz à une VT plus élevée car nous avons prélevé en rive gauche dans une partie du lit majeur, qui ne doit pas être en eaux toute l'année. Ce milieu lentique à considérablement fait augmenter la VT. La diversification des courants sur une station est aussi importante que la diversification des substrats. Dans un cours d'eau, une alternance rapide (milieu lotique) et de mouille (milieu lentique) est estimée favorable aux macroinvertébrés benthiques (Verneaux, 1973). La chenalisation des cours d'eau causes le déficit d'alternance de courant, empêche le cours d'eau d'être en crue, ce qui cause la pauvre diversité en substrat (ici majoritairement galets), donc du manque d'habitats : banalisation des habitats aquatiques (Wasson et al., 1995). La chenalisation peut aussi provoquer une déconnexion des annexes hydrauliques, qui sont des milieux tampons et des réservoirs de diversité biologique (Malavoi, 2007).

La perte d'habitat a un effet sur la faune. Cette diversité biologique pourtant encore bien présente dans les affluents et qui coordonne les notes VT et IBCH font que le bassin versant détient encore de véritables réservoirs biologiques. Cette diversité biologique dans les affluents s'organise d'ailleurs différemment entre les cours d'eau à substrats minéraux grossiers (Carrouge et Bressonne) riches en trichoptères à fourreaux (Limnephilidae, Sericostomatidae) ; et ceux plutôt forestier à substrats majoritairement meubles (les litières et limons l'amont du Grenet) riches en éphéméroptères Leptophlebiidae et en trichoptères sans fourreau comme ceux appartenant au genre *Wormaldia*.

4.3.2. Solutions

L'homogénéisation et la perte des habitats peuvent être « rétablie » par une restauration physique du cours d'eau. Si possible en mettant le cours d'eau dans son lit d'origine, en créant des zones d'érosion et en prenant en compte le dimensionnement du lit afin de permettre un bon transport de sédiments. Ainsi, la Broye pourra retrouver sa dynamique naturelle et pourra se déplacer latéralement : méandrer, déborder lors des crues, éroder et ainsi permettre la création d'habitats comme, par exemple, des annexes hydrauliques (Roux-Michollet et al., 2013). La création d'annexes hydrauliques peut permettre d'augmenter la capacité de restitution de l'eau lors des étiages sévères tout en augmentant la diversité des habitats aquatiques. Ces annexes hydrauliques sont d'ailleurs déjà intégrées dans plusieurs projets de restauration physique comme pour celui de la Petite Glâne par exemple.

En 2017, les travaux de renaturation de l'embouchure de la Broye et du lac de Morat commencent, une zone alluviale lacustre a été faite afin de créer une diversification des milieux. Des roselières ont été aménagées pour accueillir des populations d'oiseau (Ecoscan sa, 2020). Cette année, deux projets de restauration ont commencé, un sur la Broye à Payerne et un sur la Petite Glâne. Sur la Broye en plaine ville de Payerne 160 m de cours d'eau vont être restaurés. Il est prévu de mettre en place des aménagements favorables à la faune, comme des

caches à poissons qui favoriseront notamment le spiralin et l'ombre, des biotopes inondables, favorables aux amphibiens (*PROJET DE PAYERNE, 2023*). Les travaux sur la Petite Glâne se font sur un tronçon de 7 km de cours d'eau, avec pour but de lui rendre un aspect sinueux, mettre des installations favorisant la diversité d'habitat (souches, tas de bois...), et la connecter à des annexes hydrauliques (*AVANCEMENT DES TRAVAUX SUR LA PETITE GLÂNE, 2023*). L'efficacité des travaux de revitalisation pourront être fait 3 ans après la fin des travaux. Ces travaux de restauration viennent compléter le fait que la qualité chimique et biologique de la Broye s'améliore d'année en année.

4.4. Critiques

4.4.1. Chimie : micropolluants

Les résultats sur les micropolluants complètent nos analyses sur la qualité des peuplements benthiques du bassin versant de la Broye. Cependant, avec l'ajout de plus de stations de suivi des micropolluants (notamment sur la partie amont du bassin versant) mais aussi de substances utilisées pour le traitement du bois comme certains pyréthriinoïdes (cyperméthrine et perméthrine), des fongicides triazolés (propiconazole et tébuconazole) ou encore le carbamate IPBC sur la liste des substances recherchées (Adam, 2008), certaines hypothèses abordées dans cette étude pourraient être vérifiées.

4.4.2. Ostracodtoxicité

Les bioessais ont été concluants et complémentaires aux résultats IBCH. Cependant, sur les 3 tests de reproductibilité, un s'est révélé différent (Broye à Palézieux-Gare) malgré des conditions d'incubation des ostracodes semblables (i.e. température stable à 25°C et à l'obscurité pendant 6 jours). Cette différence est peut-être liée au changement d'opérateur pouvant influencer par exemple sur le nombre d'ostracodes mis en condition au début du test. En effet, du fait de la très petite taille des ostracodes après l'émergence (~200 microns), il n'est pas toujours garanti que le nombre de dix ostracodes par puit soit exactement respecté.

L'autre hypothèse, plus évidente cette fois, est que les ostracodes se soient reproduits durant l'incubation. En effet, plusieurs individus de petite taille (par rapport aux ostracodes issus du sédiment « référence ») ont parfois été observés dans les puits contenant des sédiments sableux comme le sédiment « référence » et le sédiment prélevé dans la Petite Glâne. Ces biais justifient le fait de réaliser les bioessais par un même opérateur, parfois même plusieurs fois sur le même sédiment, surtout lorsque celui-ci est sableux.

Ce dernier aspect montre également l'intérêt de mieux caractériser le sédiment aussi bien en termes de structure (i.e. déterminer sa teneur en sable, matière organique etc.) qu'en terme de substances polluantes présentes. Des analyses de HAP ou de certains métaux traces

auraient peut-être permis de mieux identifier certaines sources de contamination à l'origine de taux de mortalité des ostracodes parfois élevés.

4.4.3. Compartiment biologique

Pour compléter les hypothèses sur la perte d'habitat et la thermie, les poissons sont les bioindicateurs idéal. Les résultats et interprétation du peuplement piscicole sera faite lors d'un prochain rapport (pêches électriques prévu le 22 septembre 2023). L'analyse de ces indicateurs se fera en comparant le peuplement référence des biotypes de Verneaux avec le peuplement observé sur les différentes stations de pêche.

Il serai aussi idéal de faire une évaluation de la morphologie du cours d'eau pour évaluer la qualité des habitats avec la Méthode standard d'analyse de à l'échelle de la station (IAM) (Degiorgi et al., 2002).

5. Conclusions

Le bassin versant de la Broye a actuellement une qualité chimique, biologique et thermique moyenne. Même si depuis les années 1990, les améliorations de la qualité biologique et chimique sont claires, il faut poursuivre les efforts et engager le pas sur la préservation et la restauration d'un régime thermique viable pour les communautés biologiques attendues.

Les affluents de la Broye lui apportent de la fraîcheur et de la diversité biologique. De plus, certaines espèces présentent (e.g. *Wormaldia occipitalis* et *Isoperla grammatica*) sur les affluents de la Broye (e.g. Cerjaule et Bressonne) montrent un très bon potentiel biologique qui pourrait être prolongé en aval jusque dans la Broye si des mesures concrètes sont prises. Il est également important que ces affluents soient ou restent en bon état écologique, ce qui n'est pas toujours le cas du fait de pollutions localisées ou de l'impact supposé de certains micropolluants. Les perturbations sur les cours d'eau s'intensifient au fur et à mesure que l'on descend dans le bassin versant. L'agriculture et les rejets de STEP en sont actuellement la cause principale. La qualité biologique de la Broye est également bridée par sa chenalisation, qui diminue la diversité d'habitats et donc la diversité biologique et agissant également sur la dégradation de son régime thermique peu résilient face au changement climatique.

Pour l'amélioration de la qualité chimique, une surveillance et un traitement plus efficace des STEP ajoutés à une agriculture respectueuse de l'environnement avec moins d'engrais et pesticides seraient vivement recommandable pour améliorer le potentiel écologique de la Broye et de ses affluents. Une bande enherbée ou une ripisylves d'au moins 10 m sur chaque rive de cours d'eau peuvent servir de zone tampon pour limiter les apports de nutriments ou substance. L'aspect restauration physique doit être maintenu et l'accent doit dorénavant être mis sur plus de résilience face au changement climatique.

En perspective de ce travail il faudrait compléter nos analyses sur la qualité de l'habitat et la thermie avec le peuplement ichtyologique. En plus du protocole SMG sur l'« Ecomorphologie », la morphologie du cours d'eau peut être évalué par la Méthode standard d'analyse de la qualité de l'habitat aquatique à l'échelle de la station (IAM), qui donne une note et classe des qualité physique du milieu (Degiorgi et al., 2002).

Pour affiner nos hypothèses une analyse chimique des sédiments prélevés devrait être effectuée pour vérifier si le sédiment est contaminé par des métaux, HAP ou autres substances polluantes.

6. Bibliographie

- Adam, O. (2008). Impact des produits de traitement du bois sur les amphipodes *Gammarus pulex* (L.) et *Gammarus fossarum* (K.) : Approches chimique, hydro-écologique et écotoxicologique. <https://univ-fcomte.hal.science/tel-02273297/document>
- Adam, O., Badot, P.-M., Degiorgi, F., & Crini, G. (2009). Mixture toxicity assessment of wood preservative pesticides in the freshwater amphipod *Gammarus pulex* (L.). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72(2), 441-449. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2008.07.017>
- Arbeitskreis KLIWA, Bayerisches Landesamt für Umwelt (BLfU), Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz (LfU RP), & Deutscher Wetterdienst (DWD). (2016). Ableitung von Temperaturpräferenzen des Makrozoobenthos für die Entwicklung eines Verfahrens zur Indikation biozönotischer Wirkungen des Klimawandels in Fließgewässern. https://www.kliwa.de/_download/KLIWAHeft20.pdf
- Attinger, R., Schaller, T., Meylan, B., Fischer, P., Weber, S., Schöbi, J., Isler, M., Rechsteiner, R., & Hasler, S. (2018). Directive—Evacuation des eaux des installations ferroviaires. Office fédéral des transports. https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/fr/dokumente/wasser/uv-umwelt-vollzug/entwaesserung_voneisenbahnanlagen.pdf.download.pdf/evacuation_des_eauxdesinstallationsferroviaires.pdf
- AVANCEMENT DES TRAVAUX SUR LA PETITE GLÂNE. (2023). Broye Source de Vie. <https://bsdv.ch/actualites/71-avancement-des-travaux-sur-la-petite-glane>
- Basler, E., Kirchhofer, A., Baumann, P., Dübendorfer, C., Moser, D., Kempter, T., Egloff, L., Müller, V., & Wanner, P. (2011). Rapport d'experts en vue d'un module Température pour le système modulaire gradué. Office fédéral de l'environnement OFEV. https://modul-stufen-konzept.ch/wp-content/uploads/2021/02/Rapport_experts_pour_module_T_2011_FR.pdf
- Baumann, P., & D. Langhan, S. (2010). Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau- Synthèse des évaluations au niveau R (région). Office Fédéral de l'Environnement OFEV. https://modul-stufen-konzept.ch/wp-content/uploads/2022/03/Synthese_FR.pdf
- Blättler, T., Eiselen, B., Huber, M., Knapp, L., Paus, M., & Pidoux, M. (2016). Étude sur l'agriculture romande—Stratégies d'avenir pour une agriculture romande dynamique. Haute école spécialisée bernoise. https://www.agora-romandie.ch/wp-content/uploads/2016-04_Rapport_final_Etude_sur_lagriculture_romande_BFH-HAFL.pdf
- Bocaly, M. (2010). Synthèse documentaire—Impacts des substances pharmaceutiques sur l'eau et les milieux aquatiques | OIEau—Eaudoc. <https://www.oieau.fr/eaudoc/notice/Synth%C3%A8se-documentaire-Impacts-des-substances-pharmaceutiques-sur-leau-et-les-milieux>
- Casado, C., Wildi, M., J.D. Ferrari, B., & Werner, I. (2022). Stratégie d'évaluation de la qualité des sédiments en Suisse. Centre Ecotox. https://www.oekotoxzentrum.ch/media/195610/0_final-report_sediment-strategy_fr_june-2022.pdf
- Casado-Martinez. (2023). Évaluation de la qualité des sédiments à l'aide d'une batterie de bioessais. Aqua & Gas. https://www.aquaetgas.ch/fr/eau/cours-d-eau/20230328_evaluation-de-la-qualite-des-sediments/
- Centre ecotox. (2023). Propositions de critères de qualité. Centre Ecotox. <https://www.centreecotox.ch/prestations-d-expert/criteres-de-qualite-environnementale/propositions-de-criteres-de-qualite>
- Chevene, Fran., Dolédec, S., & Chessel, D. (1994). A fuzzy coding approach for the analysis of long-term ecological data. *Freshwater Biology*, 31(3), 295-309. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1994.tb01742.x>
- Chial, B., & Persoone, G. (2003). Cyst-based toxicity tests XV—Application of ostracod solid-phase microbiotest for toxicity monitoring of contaminated soils. *Environmental Toxicology*, 18(5), 347-352. <https://doi.org/10.1002/tox.10135>
- RS 814.20—Loi fédérale du 24 janvier 1991 sur la protection des eaux (LEaux), 814.20. Consulté 18 août 2023, à l'adresse https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1992/1860_1860_1860/fr
- Ordonnance sur la protection des eaux (OEaux), (1998). https://fedlex.data.admin.ch/filestore/fedlex.data.admin.ch/eli/cc/1998/2863_2863_2863/20210101/fr/pdf-a/fedlex-data-admin-ch-eli-cc-1998-2863_2863_2863-20210101-fr-pdf-a.pdf

- Cuklev, F., Kristiansson, E., Fick, J., Asker, N., Förlin, L., & Larsson, D. G. J. (2011). Diclofenac in fish : Blood plasma levels similar to human therapeutic levels affect global hepatic gene expression. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 30(9), 2126-2134. <https://doi.org/10.1002/etc.599>
- Décourcière, H., & Degiorgi, F. (2004). Protocole Mag 20.
- Degiorgi, F., Morillas, N., & GRANDMOTTET, J. P. (2002). Méthode standard d'analyse de la qualité de l'habitat aquatique à l'échelle de la station : L'IAM.
- Delahaye, E. (2000). Les impacts physiques et sociétaux de l'aménagement et des grands travaux sur un espace fluvial : La basse Durance. / Physical and societal impacts of major river works : the case of the lower Durance. *Géocarrefour*, 75(4), 275-282. <https://doi.org/10.3406/geoca.2000.2479>
- Delarze, R., Hintermann & Weber SA, Mandaterre Sàrl, & Aquavision engineering sarl. (2011). Diagnostic de la plaine de la Broye Secteur Moudon – Lac de Morat. https://www.vd.ch/fileadmin/user_upload/themes/environnement/eau/fichiers_pdf/Broye_Rapport_diagnostic-Broye_int%C3%A9gral.pdf
- Demierre, H. (1917). Correction de la Broye et de ses affluents de Semsales jusqu'à l'embouchure dans le lac de Morat. *Bulletin technique de la Suisse romande*, 43(2). <https://doi.org/10.5169/seals-33138>
- Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication. (2023). Office fédéral de l'environnement OFEV. <https://www.uvek.admin.ch/uvek/fr/home/uvek/organisation/bundesaemter/bafu.html>
- Direction Général de l'environnement (DGE), Direction de l'environnement industriel, urbain et rural (DIREV), Division protection des eaux (DGE-PRE), & Division Assainissement (DGE-ASS). (2019). Stratégie de surveillance et de protection de la qualité des eaux superficielles. https://www.vd.ch/fileadmin/user_upload/themes/environnement/eau/fichiers_pdf/DIREV_PRE/Strategie-Eau-web-doublepage.pdf
- Direction générale de l'environnement - division EAU. (2015). Revitalisation de la Broye et irrigation des terres agricoles dans le secteur de Valbroye—Etude de faisabilité.
- Dolédec, S., & Statzner, B. (1994). Theoretical habitat templates, species traits, and species richness : 548 plant and animal species in the Upper Rhône River and its floodplain. *Freshwater Biology*, 31(3), 523-538. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1994.tb01755.x>
- Ecoscan sa (Éd.). (2020). Suivi écologique du projet de renaturation—Embouchure de la Broye à Slavaux.
- European Topic Centre on Urban, land and soil systems. (2017). Updated CLC illustrated nomenclature guidelines. https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/corine-land-cover-nomenclature-guidelines/docs/pdf/CLC2018_Nomenclature_illustrated_guide_20190510.pdf
- Gentil, S., Kosmelj, K., Lachet, B., Laporte, P., & Pautou, G. (1983). Classification statistique et modélisation des niveaux de la nappe phréatique près de Brégnier-Cordon, en relation avec les apports en eau et la température. *Revue de Géographie Alpine*, 71(4), 353-362. <https://doi.org/10.3406/rga.1983.2542>
- Göggel, W., Leu, C., Kunz, M., & Hürlimann, J. (2013). NAWA – Observation nationale de la qualité des eaux de surface. Office fédéral de l'environnement (OFEV). https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/fr/dokumente/wasser/uw-umwelt-wissen/nawa_nationale_beobachtungoberflaechengewaesserqualitaet.pdf.download.pdf/nawa_observationnationaledelequalitedeseauxdesurface.pdf
- Heckmann, L.-H., Callaghan, A., Hooper, H. L., Connon, R., Hutchinson, T. H., Maund, S. J., & Sibly, R. M. (2007). Chronic toxicity of ibuprofen to *Daphnia magna* : Effects on life history traits and population dynamics. *Toxicology Letters*, 172(3), 137-145. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2007.06.001>
- Hohl, P., Büttiker, B., Von Blücher, U., & Regard, E. (2005). Inventaire ecomorphologique de niveau regional des rivieres vaudoises. Département de la Sécurité et de l'Environnement. https://www.vd.ch/fileadmin/user_upload/themes/environnement/eau/fichiers_pdf/Plaquette_inventaire_ocomorphologique.pdf
- Hssaida, T., Benzaggagh, M., Riding, J. B., Huault, V., Essamoud, R., Mouflih, M., Jaydawi, S., Chakir, S., & Nahim, et M. (2017). Répartition stratigraphique et biozones des kystes de dinoflagellés au passage Jurassique moyen–Jurassique supérieur (Bathonien supérieur–Oxfordien inférieur) dans le Bassin de Guercif, Maroc nord-oriental. *Annales de Paléontologie*, 103(3), 197-215. <https://doi.org/10.1016/j.annpal.2017.06.001>
- INERIS. (2023). Définitions des concepts de base du risque chronique | Ineris. <https://www.ineris.fr/risques/comment-evaluer-risque/composantes-risque/definitions-concepts-base-risque-chronique>
- Khetan, S. K., & Collins, T. J. (2007). Human Pharmaceuticals in the Aquatic Environment : A Challenge to Green Chemistry. *Chemical Reviews*, 107(6), 2319-2364. <https://doi.org/10.1021/cr020441w>
- Kienle, C., Vermeirssen, E., Kunz, P., & Werner, I. (2017). Evaluation sommaire de la qualité de l'eau dans les cours d'eau pollués par des effluents d'épuration à l'aide de bioessais écotoxicologiques. Centre ecotox. https://modul-stufen-konzept.ch/wp-content/uploads/2021/02/2015_Evaluation_sommaire_cours-deau-pollues-par-des-effluents-bioessais-ecotox_Fr.pdf
- Knispel, S., Klein, A., Bernard, M., Bornard, C., Giffard, F., & Perfetta, J. (2005). Qualité biologique des cours d'eau du bassin versant Lémanique—Campagnes 1998—2004. <https://www.cipel.org/wp-content/uploads/catalogue/camp04-11-qualite-biologique-cours-d-eau.pdf>
- Korkaric, M., Kase, R., Junghans, M., & Centre Ecotox. (2017). Critères de qualité environnementale : Définition d'exigences chiffrées pour l'ordonnance sur la protection des eaux.

- Kunz, M., Schindler Wildhab, Y., Dietzel, A., & Wittmer, I. (2016). État des cours d'eau suisses—Résultats de l'Observation nationale de la qualité des eaux de surface (NAWA) 2011–2014. Office fédéral de l'environnement OFEV. https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/fr/dokumente/wasser/uz-umwelt-zustand/zustand_der_schweizerfliessgewaesser.pdf.download.pdf/etat_des_cours_deausuisses.pdf
- Lacas, J.-G. (2005). Processus de dissipation des produits phytosanitaires dans les zones tampons enherbées. Etude expérimentale et modélisation en vue de limiter la contamination des eaux de surface (p. 307) [Phdthesis, Doctorat en sciences de l'eau dans l'environnement continental, Université de Montpellier II]. <https://hal.inrae.fr/tel-02587117>
- Le Cor, F. (2021). Étangs et qualité des cours d'eau de têtes de bassins versants agricoles : Impact sur le devenir des pesticides et leurs produits de transformation [Phdthesis, Université de Lorraine]. <https://hal.univ-lorraine.fr/tel-03633053>
- Lemerle, L., & Minssieux, S. (2018). PRESERVER ET RESTAURER LES MILIEUX AQUATIQUES.
- Liechti, P., Sieber, U., Bundi, U., Frutiger, A., Hütte, M., Peter, A., Von Blücher, U., Peter Willi, H., Göldi, C., Kupper, U., Meier, W., & Niederhauser, P. (1998). Système modulaire gradué—Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau en Suisse. Office fédéral de l'environnement, des forêt et du paysage OFFEP. https://modul-stufen-konzept.ch/wp-content/uploads/2021/01/concept_SGM_cours_d_eau_FR.pdf
- Lietchi, P. (2010). Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. Analyses physico-chimiques, nutriments. Office fédéral de l'environnement (OFEV). https://modul-stufen-konzept.ch/wp-content/uploads/2021/01/Module-Analyses-physico-chimiques_nutriments_Juni2010_FR.pdf
- Mac Nally, R., & Wallis, E. (2011). Geometry of biodiversity patterning : Assemblages of benthic macroinvertebrates at tributary confluences. *Aquatic Ecology*, 45, 43-54. <https://doi.org/10.1007/s10452-010-9322-z>
- Macneil, C., Dick, J. T. A., & Elwood, R. W. (1997). The Trophic Ecology of Freshwater Gammarus Spp. (Crustacea:amphipoda) : Problems and Perspectives Concerning the Functional Feeding Group Concept. *Biological Reviews*, 72(3), 349-364. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1997.tb00017.x>
- Malavoi, J.-R. (2007). Les interventions humaines et leurs impacts hydromorphologiques sur les cours d'eau.
- Michael, J. L. (2002). Impact des herbicides sur les écosystèmes forestiers et aquatiques et la faune sauvage : L'expérience américaine. *Revue forestière française*, 54(6), 593-608. <https://doi.org/10.4267/2042/4947>
- Michel, A., Epting, J., Schaeffli, B., Lehning, M., & Huwald, H. (2021). Changements climatiques et températures des rivières. *Aqua & Gas*, 7/8, 70-77.
- MicroBioTests. Ostracodtoxkit—"Direct contact" Toxicity Test for Freshwater Sediment. https://www.microbiotests.com/wp-content/uploads/2019/07/ostracod-sediment-toxicity-test_ostracodtoxkit-f_standard-operating-procedure.pdf
- Morard, E., & Stauffer, O. (2014). Revitalisation de la Broye et irrigation des terres agricoles dans le secteur Valbroye—Etude de faisabilité. Direction générale de l'environnement - division EAU. file:///C:/Users/jimyqa/Downloads/2115_ValBroye_rapport_22Dec2014.pdf
- Morard, E., & Stauffer, O. (2015). Revitalisation et irrigation des terres agricoles dans le secteur de Payerne—Etude de faisabilité. Direction générale de l'environnement - division EAU.
- Munier-Jolain, N., & Carrouée, B. (2003). Quelle place pour le poids dans une agriculture respectueuse de l'environnement ? Argumentaire agri-environnemental. *Cahiers Agricultures*, 12(2), Article 2.
- NCCS, N. C. for C. S. (2022a). Climat du Plateau. <https://www.nccs.admin.ch/nccs/fr/home/regionen/grossregionen/mittelland.html>
- NCCS, N. C. for C. S. (2022b). Scénarios climatiques CH2018. <https://www.nccs.admin.ch/nccs/fr/home/das-nccs/themenschwerpunkte/neue-schweizer-klimaszenarien-ch2018.html>
- 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*, 161-190.
- Office fédéral de l'environnement OFEV. (2019a). Macrozoobenthos (IBCH), Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. https://modul-stufen-konzept.ch/wp-content/uploads/2021/01/Module_Macrozoobenthos_24_01_2020_FR.pdf
- Office fédéral de l'environnement OFEV. (2019b). Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/eaux/publications/publications-eaux/methodes-analyse-appreciation-cours-eau-vue-d-ensemble.html>
- Office fédéral de l'environnement (OFEV). (2023). Données et prévisions hydrologiques. [geo.admin.ch. https://www.hydrodaten.admin.ch/fr/seen-und-fluesse/stationen-und-daten/2034](https://www.hydrodaten.admin.ch/fr/seen-und-fluesse/stationen-und-daten/2034)
- Office fédéral de l'environnement OFEV. (2023). Hydrodata. [geo.admin.ch. https://map.geo.admin.ch](https://map.geo.admin.ch)
- Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse. (2021). Climat de la Suisse—MétéoSuisse. <https://www.meteosuisse.admin.ch/climat/climat-de-la-suisse.html>
- Pfaundler, M., Dübendorfer, C., Zysset, A., & Basler, E. (2011). Hydrologie—Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. Office fédéral de l'environnement OFEV. https://modul-stufen-konzept.ch/wp-content/uploads/2021/01/Module_Hydrologie_FR.pdf
- Piegay, H., & Maridet, L. (1994). Revue bibliographique—Formations végétales arborées riveraines des cours d'eau et potentialités piscicoles. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 333, 125-147. <https://doi.org/10.1051/kmae:1994025>
- Pomati, F., Netting, A. G., Calamari, D., & Neilan, B. A. (2004). Effects of erythromycin, tetracycline and ibuprofen on the growth of *Synechocystis* sp. and *Lemna minor*. *Aquatic Toxicology* (Amsterdam, Netherlands), 67(4), 387-396. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2004.02.001>
- Pressac, J.-B., & Mell, L. (2017). Analyse factorielle des correspondances sous R - Partie I.
- PROJET DE PAYERNE. (2023). Broye Source de Vie. <https://bsdsv.ch/actualites/72-projet-de-payerne>

- Remy, D. (2008). Pollution du littoral breton par des « marées vertes ». / Prolifération d'algues vertes dues à des excédents de nitrates (apports azotés agricoles) dans les cours d'eau. / Action de plusieurs associations en responsabilité contre l'Etat. / Faute de l'Etat. / Carence dans la mise en œuvre de la réglementation française : Carence de l'Etat dans l'instruction des dossiers d'installations classées agricoles et dans le contrôle du respect des règles de leur fonctionnement. / Carence dans la mise en œuvre de la réglementation européenne : transposition avec retard de la directive du 12 décembre 1991. / Appréciation du préjudice invoqué par les associations. / Réparation du préjudice moral subi par l'association agréée « Eaux et rivières de Bretagne ». Tribunal administratif de Rennes, 25 octobre 2007, Associations « Halte aux marées vertes », « Sauvegarde du Trégor », « Eaux et rivières de Bretagne », « De la source à la mer », nos 04630, 04631, 04636, 04637 et 04640. *Revue juridique de l'Environnement*, 33(4), 415-427. <https://doi.org/10.3406/rjenv.2008.4783>
- Ribeyreix-Claret, C. (2001). Agriculture et environnement en Gascogne gersoise : Érosion du sol et pollution diffusée par le phosphore : le cas du bassin versant d'Aurade (Gers) [These de doctorat, Toulouse 2]. <https://www.theses.fr/2001TOU20004>
- Rousset, B. (2012). La Molasse grise de Lausanne. De la roche sédimentaire détritique au matériau de construction séculaire. https://www.researchgate.net/publication/307545887_La_Molasse_grise_de_Lausanne_De_la_roche_sedimentaire_detritique_au_materiau_de_construction_seculaire
- Roux-Michollet, D., Clémens, A., Montuelle, B., & Marmonier, P. (2013). Prospective sur les actions de recherche sur la restauration et la remédiation écologique des milieux aquatiques. http://www.zabr.graie.org/zabrdoc/actualites/Prospective_ONEMA_2013.pdf
- Sauvin, N., & Steiger, N. (2023). Evolution des températures des cours d'eau vaudois dans un contexte de changement climatique : Évaluation et impacts attendus sur la faune aquatique.
- Schager, E., & Peter, A. (2004). Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau en Suisse—Poisson. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage OFFEP. https://modul-stufen-konzept.ch/wp-content/uploads/2021/01/Methode_poissons_niveau-r_FR.pdf
- Schindler Wildhaber, Y., Leu, C., & Kunz, M. (2022). Eaux Suisse—Etat de mesures. Office fédéral de l'environnement OFEV. https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/fr/dokumente/wasser/uz-umwelt-zustand/gewaesser-in-der-schweiz.pdf.download.pdf/UZ-2207-F_Gewa%CC%88sbericht.pdf
- Schmera, D., Podani, J., Erős, T., & Heino, J. (2014). Combining taxon-by-trait and taxon-by-site matrices for analysing trait patterns of macroinvertebrate communities : A rejoinder to Monaghan & Soares (). *Freshwater Biology*, 59(7), 1551-1557. <https://doi.org/10.1111/fwb.12369>
- Seen, N., Gaille, M., Del Río Carral, M., & Gonzalez Holguera, J. (2022). Santé et environnement -Vers une nouvelle approche globale (RNS Editions, Vol. 9782880495008). https://www.revmed.ch/content/download/868017/6912948/1?fileName=Sante%20et%20environnement_RMSditions-9782880495022.pdf
- Stucki, P., Martinez, N., Roth, T., & Kury, D. (2019). Macrozoobenthos (IBCH), Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. Office fédéral de l'environnement (OFEV). <https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/fr/dokumente/wasser/uv-umwelt-vollzug/methoden-zur-untersuchung-und-beurteilung-der-fliessgewaesser.pdf.download.pdf/methodes-danalyse-et-dappreciation-des-cours-deau.pdf>
- Tachet, H., Richoux, P., Bournaud, M., & Usseglio-Polatera, P. (2010). Invertébrés d'eau douce—Systématique, biologie, écologie—CNRS Editions (CNRS EDITIONS). <https://www.cnrseditions.fr/catalogue/ecologie-environnement-sciences-de-la-terre/invertebres-d-eau-douce-henri-tachet/>
- Thibault, S. M. J. (1997). Bassin versant. In *Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement* (p. 116). Lavoisier. <https://hal.science/hal-00577977>
- Trichet-Arce, E. (2013). Intérêt des traits fonctionnels des communautés macrobenthiques dans le diagnostic dynamique de récupération biotique d'un cours d'eau suite à des actions de restauration. http://docnum.univ-lorraine.fr/public/DDOC_T_2013_0274_TRICHET_ARCE.pdf
- Tsui, M. T. K., & Chu, L. M. (2003). Aquatic toxicity of glyphosate-based formulations : Comparison between different organisms and the effects of environmental factors. *Chemosphere*, 52(7), 1189-1197. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(03\)00306-0](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(03)00306-0)
- Verneaux, J. (1973). Cours d'eau de Franche-Comté (massif du Jura) : Recherches écologiques sur le réseau hydrographique du Doubs : Essai de biotypologie.
- Verneaux, J., & Galmiche, P. (1982). Une nouvelle méthode pratique d'évaluation de la qualité des eaux courantes. Un indice biologique de qualité générale (I.B.G.). *Annales scientifiques de l'Université de Besançon. Biologie animale*, 3, 11-21.
- Verneaux, V. (2021). Cours Invertébrés benthiques d'écosystème aquatique de L3 à l'université de Besançon.
- Vuilleumier, S., Curdy, R., Vulliemmin, K., San José, M., Italiano, J., & Nicod, J. (2022). Rapport technique- Association Epuration Moyenne Broye—PGEE régional Moyenne Broye.
- Wagner, A., Sartori, M., Lubini, V., Knispel, S., Vicentini, H., Stucki, P., Fivaz, F., & Gonseth, Y. (2010). Listes rouges Ephémères, Plécoptères, Trichoptères. Office fédéral de l'environnement (OFEV). https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/fr/dokumente/biodiversitaet/uv-umwelt-vollzug/rote_listen_eintagsfliegensteinfliegenkoecherfliegen.pdf.download.pdf/listes_rouges_ephemeresplecopterestic_hopteres.pdf
- Wasson, J. G., Malavoi, J. R., Maridet, L., Souchon, Y., & Paulin, L. (1995). Impacts écologiques de la chenalisation des rivières (p. 166) [Report, irstea]. <https://hal.inrae.fr/hal-02574026>

- Welton, J. (2006). Life-history and production of the amphipod *Gammarus pulex* in a Dorset chalk stream. *Freshwater Biology*, 9, 263-275. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1979.tb01508.x>
- Wittmer, I., Moschet, C., Simovic, J., Singer, H., Stamm, C., Hollender, J., Junghans, E. M., entre Ecotox Eawag-EPFL, Leu, C., & OFEV. (2014). Plus de 100 pesticides dans les cours d'eau—Une forte pollution des cours d'eau suisses révélée par le programme NAWA SPE. *Aqua & Gas*, 11. https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/fr/dokumente/wasser/fachinfo-daten/ueber_100_pestizideinflieessgewaessern.pdf.download.pdf/plus_de_100_pesticidesdanslescoursdeau.pdf
- Wüthrich, R. (2021). Biologischer Zustand der grossen Fliessgewässer, Fachbericht. Gutwasser GmbH. Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV). https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/fr/dokumente/wasser/uz-umwelt-zustand/gewaesser-in-der-schweiz.pdf.download.pdf/UZ-2207-F_Gewa%CC%88sserbericht.pdf
- Zaugg, B. (2022). Liste rouge des poissons et cyclostomes. Office fédéral de l'environnement (OFEV). https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/fr/dokumente/biodiversitaet/uv-umwelt-vollzug/rote_liste_der_gefaehrdetenartenderschweizfischeundrundmaeuler.pdf.download.pdf/liste_rouge_des_especies_menaceesensuissepoissonetcyclostomes.pdf
- Zeh Weissman, H., Köntzer, C., & Bertiller, A. (2009). Ecomorphologie des cours d'eau suisses. Office fédéral de l'environnement OFEV. https://modul-stufen-konzept.ch/wp-content/uploads/2021/02/Ecomorphologie-des-cours-deau-en-Suisse_FR.pdf

7. Annexes

Annexe 1. Percentile 90 des concentrations annuelles de 1991 à 2022 des nutriments et leurs classes de qualité dans les différentes stations sur le bassin versant de la Broye.

Station	Paramètre	Carbone organique dissout	Phosphore brut total	Orthophosphate	Azote total brut	Ammonium	Nitrate	Nitrite
	Abbréviation	COD	Ptot	PO ₄	Ntot	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻
	Unité	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]
	Critère qualité	4.00 mg/L	0.070 mg/L	0.040 mg/L	7.00 mg/L	0.400 mg/L ¹ 0.200 mg/L ²	5.600 mg/L	0.020 mg/L ³ 0.050 mg/L ⁴ 0.100 mg/L ⁵
GRENET_CHATILLENS	2022	5.650	0.279	0.239	3.690	0.043	3.580	0.018
	2018	5.140	0.258	0.110	4.610	0.110	4.130	0.032
	2015	4.130	0.160	0.143	4.41 (w)	0.030	2.790	0.012
	2011	4.49	0.155	0.123		0.06	4.46	0.025
	2007	4.490	0.155	0.123		0.060	4.460	0.025
	2004	3.79	0.255	0.217		0.044	3.75	0.02
CARROUGE_VUILLIENS	2022	4.700	0.141	0.088	3.030	0.066	3.000	0.033
	2018	3.520	0.120	0.089	2.740	0.048	2.470	0.010
	2015	3.950	0.290	0.120	3.58 (w)	0.082	3.100	0.043
	2011	4.04	0.173	0.153		0.09	4.08	0.034
	2007	4.76	0.228	0.128		0.076	3.7	0.047
	2004	3.45	0.353	0.242		0.55	4.27	0.092
BROYE_BRESSONNAZ	2022	4.710	0.118	0.045	3.890	0.065	3.540	0.035
	2018	5.080	0.128	0.070	14.460	0.082	13.990	0.060
	2015	3.790	0.065	0.045	5.95 (w)	0.100	4.800	0.064
	2007	4.79	0.181	0.082		0.069	3.34	0.032
	2004	0.47	0.13	0.078		0.089	4.14	0.075
	BROYE_BRIT	2022	4.530	0.122	0.020	4.890	0.290	4.740
2018		4.420	0.249	0.033	7.340	0.630	6.580	0.148
2015		3.84 (w)	0.108 (w)	0.039 (w)	6.58 (w)	1.264 (w)	5.15 (w)	0.285 (w)
2011		3.86	0.118	0.057		0.454	4.82	0.224
2007		6.13	0.495	0.109		0.066	4.74	0.047
2004		4.6	0.12	0.088		0.173	5.42	0.213
PETITE GLANE_GRANDCOUR PAYERNE	2022	4.36	0.124	0.082	8.26	0.367	8.36	0.085
	2018	4.13	0.1	0.06	7.84	0.453	7.72	0.072
	2015	3.12	0.08	0.047	7.32 (w)	0.506	6.82	0.054
	2011	4.49	0.314	0.129		0.331	7.9	0.101
	2007	5.56	0.523	0.166		0.104	8.29	0.048
	2004	4.43	0.271	0.111		0.13	10.26	0.077
BROYE_DOMDIDIER	2022	3.810	0.061	0.015	4.900	0.376	4.600	0.310
	2021	3.430	0.183	0.036	5.110	0.273	4.440	0.086
	2020	4.150	0.407 (w)	0.043 (w)	5.24 (w)	0.534	4.59 (w)	0.341 (w)
	2019	4.600	0.077	0.024	5.800	0.598	4.370	0.268
	2018	3.420	0.134	0.037	6.110	0.493	5.270	0.246
	2017	3.900	0.128	0.022	5.400	0.551	4.590	0.214
	2016	4.870	0.556	0.041	4.930	0.374	4.240	0.164
	2015	4.150	0.215	0.038	4.790	0.399	4.270	0.188
	2011	4.86	0.157	0.032		0.366	4.95	0.152
	2007	4.51	0.308	0.044		0.204	4.43	0.091
	2004	4.18	0.337	0.039		0.22	4.82	0.239
	2000	3.84	0.233	0.049		0.118	4.3	0.091
	1997	4.55	0.332	0.056		0.16	4.38	0.075
	1995	4.54	0.185	0.046		0.204	4.27	0.089
1991	4.54	0.283	0.076		0.121	5.22	0.24	
ARBOGNE_HARAS FEDERAL	2022	4.910	0.093	0.057	9.690	0.317	10.270	0.103
	2018	5.230	0.213	0.060	12.330	3.678	8.070	0.242
	2015	3.590	0.137	0.091	8.13 (w)	0.562	7.010	0.104
	2011	5.26	0.23	0.157		0.93	8.46	0.167

Annexe 2. Appréciation des valeurs mesurées, répartition en classes d'état chimique et classement de l'état chimique en fonction des paramètres (Lietchi, 2010).

Tab.2 > Appréciation des valeurs mesurées, répartition en classes d'état chimique

Appréciation	Condition/description	Objectif de qualité
très bon	L'indice obtenu* (I) est inférieur à la moitié de l'objectif visé (O)*	$I < \frac{1}{2} O$
bon	L'indice obtenu (I) est inférieur à l'objectif visé (O)	$\frac{1}{2} O \leq I < O$
moyen	L'indice obtenu (I) est inférieur à une fois et demie l'objectif visé (O)	$O \leq I < 1,5 \cdot O$
médiocre	L'indice obtenu (I) est inférieur au double de l'objectif visé (O)	$1,5 \cdot O \leq I < 2 \cdot O$
mauvais	L'indice obtenu (I) est égal ou supérieur au double de l'objectif visé (O)	$I \geq 2 \cdot O$

Classement, principe général

Les tableaux ci-dessous présentent séparément les critères applicables à chaque paramètre. Les différences par rapport aux proportions du tableau 2 sont commentées dans une note de bas de page.

Tab.3a > Classement de l'état chimique

Appréciation	Ortho-P [mg/L P]	P total non filtré* [mg/L P]	P total filtré [mg/L P]
très bon	jusqu'à < 0,02	jusqu'à < 0,04	jusqu'à < 0,025
bon	0,02 à < 0,04	0,04 à < 0,07	0,025 à < 0,05
moyen	0,04 à < 0,06	0,07 à < 0,10	0,05 à < 0,075
médiocre	0,06 à < 0,08	0,10 à < 0,14	0,075 à < 0,10
mauvais	0,08 et plus	0,14 et plus	0,10 et plus

Classement par paramètre

Tab.3b > Classement de l'état chimique

Appréciation	Nitrites [mg/L N] [†] (<10 mg/L Cr)	Nitrites [mg/L N] (10 à 20 mg/L Cr)	Nitrites [mg/L N] (>20 mg/L Cr)
très bon	jusqu'à < 0,01	jusqu'à < 0,02	jusqu'à < 0,05
bon	0,01 à < 0,02	0,02 à < 0,05	0,05 à < 0,10
moyen	0,02 à < 0,03	0,05 à < 0,075	0,10 à < 0,15
médiocre	0,03 à < 0,04	0,075 à < 0,10	0,15 à < 0,20
mauvais	0,04 et plus	0,10 et plus	0,20 et plus

Tab.3c > Classement de l'état chimique

Appréciation	Ammonium [‡] [mg/L N] (>10°C ou pH >9)	Ammonium [mg/L N] (<10°C)	Nitrates [§] [mg/L N]
très bon	jusqu'à < 0,04	jusqu'à < 0,08	jusqu'à < 1,5
bon	0,04 à < 0,2	0,08 à < 0,4	1,5 à < 5,6
moyen	0,2 à < 0,3	0,4 à < 0,6	5,6 à < 8,4
médiocre	0,3 à < 0,4	0,6 à < 0,8	8,4 à < 11,2
mauvais	0,4 et plus	0,8 et plus	11,2 et plus

Tab.3d > Classement de l'état chimique

Appréciation	N total [mg/L N]	DBO ₅ ¹⁰ [mg/L O ₂]	COD ¹¹ [mg/L C]	OOT [mg/L C]
très bon	jusqu'à < 2,0	jusqu'à < 2,0	jusqu'à < 2,0	jusqu'à < 2,5
bon	2,0 à < 7,0	2,0 à < 4,0	2,0 à < 4,0	2,5 à < 5,0
moyen	7,0 à < 10,5	4,0 à < 6,0	4,0 à < 6,0	5,0 à < 7,5
médiocre	10,5 à < 14,0	6,0 à < 8,0	6,0 à < 8,0	7,5 à < 10,0
mauvais	14,0 et plus	8,0 et plus	8,0 et plus	10,0 et plus

Annexe 3. Grille d'échantillonnage IBCH (Stucki et al., 2019).

IBCH : Grille d'échantillonnage						ID :
Cours d'eau :		Date :		Point de départ (X/Y) :		
Lieu :		Altitude :		Préleveur /se (leg) :		
Vitesses (classes en - cm/s)		V > 150	150 > V > 75	75 > V > 25	25 > V > 5	V < 5
Habitabilité (V: vitesse / S: substrat)	V*	2	4	5	3	1
Substrats recouvrement ↓	S**					
Blocs mobiles >250 mm	10					
Bryophytes	9					
Spermaphytes immergées (hydrophytes)	8					
Éléments organiques grossiers (litières, bois, racines)	7					
Sédiments minéraux de grande taille (pierres, galets) 250 mm > Ø > 25 mm	6					
Granulats grossiers 25 mm > Ø > 2,5 mm	5					
Spermaphytes émergents de strate basse (hélophytes)	4					
Sédiments fins +/- organiques "vases" Ø < 0.1 mm gouille marginale	3					
Sables et limons Ø < 2,5 mm	2					
Surfaces naturelles et artificielles (roches, dalles, sols, parois) blocs scellés	1					
Algues ou à défaut marnes et argiles	0					
AQps_ver_20210301		↑ habitabilité décroissante (10: très bonne, 0: minimale)		V* vitesse du courant, S** Substrat		
		↑ recouvrement: (1) faible (1-5%) / (2) peu abondant (6-10%) / (3) abondant (11-50%) / (4) très abondant (>50%)		substrat dominant :		
		Tronçon échantillonné / largeur moyenne [m] :		x 10 = longueur du tronçon [m] :		-

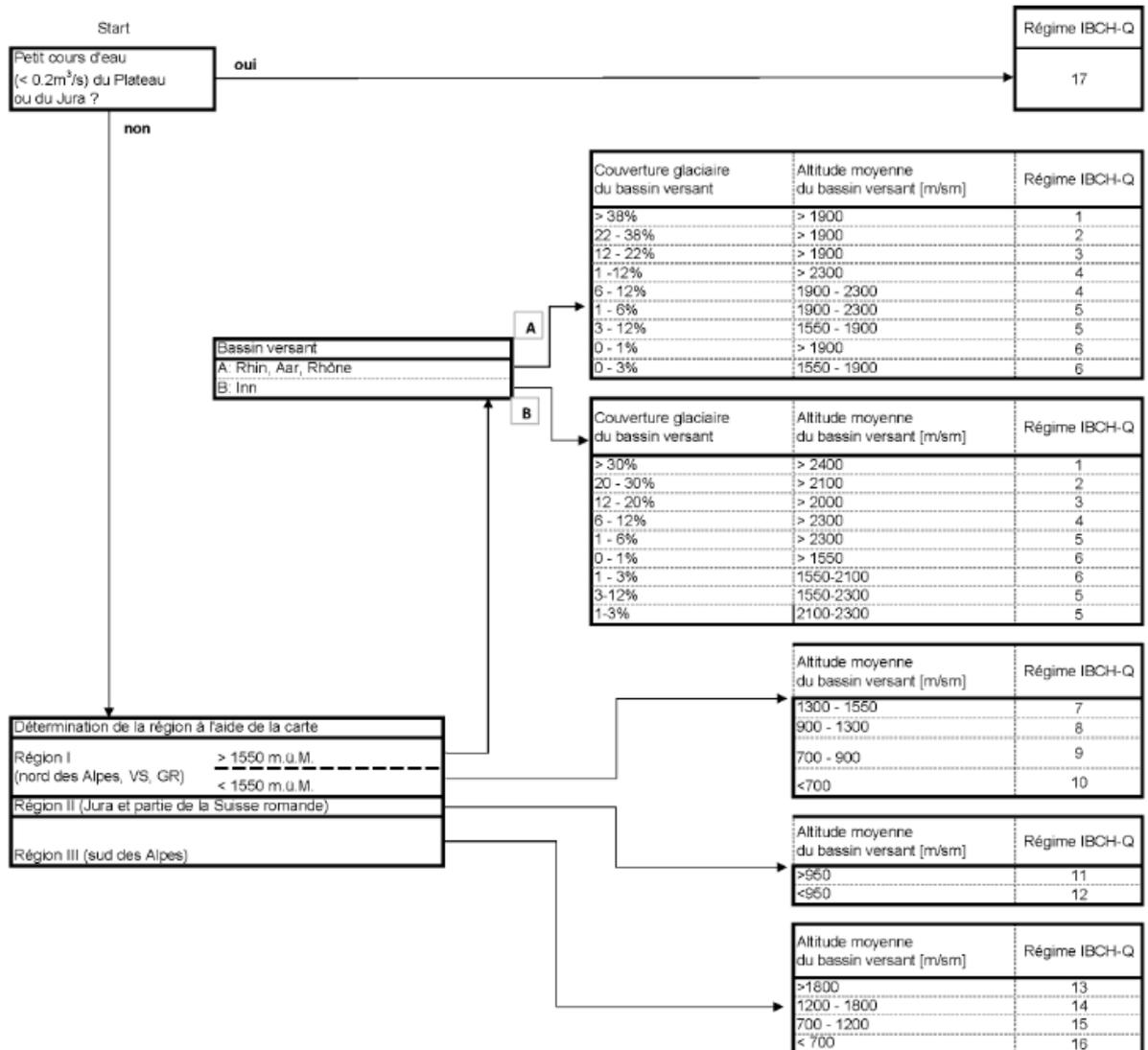
Annexe 5. Listes faunistiques des 8 stations déterminés à la famille par le bureau d'étude Biol'Eau.

Riviere_Station	ARBOGNE_HARAS FEDERAL	ARBOGNE_AMONT CORCELLES	GRENET_CHATILLENS	GRENET_AVAL STEP LE PIGEON	PETITE GLANE_MISSY	PETITE GLANE_CHAMPTAUROZ	NEYREVAUX_AVAL MOULIN PENEY	NEYREVAUX_AVAL PENEY
"NEMATHELMINTHES"	1	2		2	1		4	
Ancylidae (Tachet)	1							7
Asellidae	15			71	1			
Athericidae		1						
Baetidae	109	404	136	75	355	269	245	1039
Bithyniidae	1							
Caenidae	2			9	34			
Calopterygidae	1							
Ceratopogonidae	5	25	3	5	3	3		12
Chironomidae	423	295	258	745	580	321	407	532
Cordulegasteridae			1					
Dugesidae			3	1			1	
Dytiscidae					1			2
Elmidae	72	120	70	17	16	10	27	1
Empididae	24	26			11	1	2	
Ephemerellidae		2	1	2	1			
Ephemeridae	1	5	4					
Erpobdellidae	1				2			
Gammaridae	48	476	8	10	115	100	576	139
Gerridae			5					
Gomphidae				1				
Gyrinidae	1							
Heptageniidae	2	24	9	22		11	27	1
Hydracarina	25	5	1	5	17	1	4	2
Hydraenidae		1	2	3			1	
Hydrobiidae			1	2				
Hydrophilidae								2
Hydropsychidae	5	67	17	3	33	18	6	
Hydroptilidae	24			3	3		9	
Leptophlebiidae		4	37	10		2		
Leuctridae		2	1	4				
Limnephilidae			147	4		35	10	2
Limoniidae/Pediciidae	10	18	3		2	14	9	3
Lymnaeidae			3	2				
Nemouridae		229	1	13		2	216	2
Odontoceridae						2		
Oligochaeta	44	69	287	1145	29	70		315
Perlodidae		4						
Physidae	1							
Planariidae	4	1				22		
Psychodidae	3			1			2	
Psychomyiidae		5						
Ptychopteridae					1	2		
Rhyacophilidae	2	30	6	5		21	25	3
Scirtidae		2						
Sericostomatidae			3				2	
Simuliidae		2	31	10	64	2	1	30
Abondance	825	1819	1038	2170	1269	906	1574	2092
Variété	25	25	25	26	19	19	19	16

Annexe 6. Protocole laboratoire (Stucki et al., 2019).

IBCH	Protocole-Laboratoire	ID :																								
Cours d'eau : _____		Date : _____																								
Lieu : _____		Point de départ (X/Y) : _____																								
Altitude : _____		Déterminateur/trice : _____																								
LISTE DES TAXONS		Régime IBCH-Q : _____ VC : _____																								
PORIFERA Cnidaria BRYOZOA PLATYHELMINTHES Dendrocoelidae Dugesidae Planariidae "NEMATHELMINTHES" ANNELIDA Hirudinea Erpobdellidae Glossiphoniidae Hirudidae (Tachet) Pisicoidae Oligochaeta MOLLUSCA Gastropoda Acrotoxiidae Ancyliidae (Tachet) Bithyniidae Farrisidae (Tachet) Hydrobiidae Lymnaeidae Neritidae Physidae Planorbidae Valvulidae Viviparidae Bivalvia Corbiculidae* Dreissenidae* Sphaeriidae Unionidae ARTHROPODA Arachnida (Inf.-Cl.) Acari Hydracarina Crustacea Branchiopoda Amphipoda Corophiidae* Gammaridae Niphargidae Isopoda Asellidae Janiridae* Mysida Mysidae* Decapoda Astacidae Cambaridae* Insecta Ephemeroptera Ameletidae Baetidae Caenidae Ephemerellidae Ephemeridae Heptageniidae Leptophlebiidae Oligoneuridae Polymitarcyidae Polamantidae Siphonuridae Odonata Aeshnidae Calopterygidae Coenagrionidae Cordulegastridae Cordulidae Gomphidae Lestidae Libellulidae Platycnemididae Plecoptera Capniidae Chloroperlidae Leuctridae Nemouridae Perlidae Perlodidae Taeniopterygidae autres néozoaires	Heteroptera Aphelocheiridae Cortixidae Gerixidae Hebridae Hydrometridae Mesoveliidae Naucoridae Nepidae Nytoneclidae Plesidae Veliidae Megaloptera Sialidae Neuroptera Osmylidae Sisyridae Coleoptera Curculionidae Chrysomelidae Dryopidae Dytiscidae Elmidae Gyrinidae Helophoridae (Tachet) Hydraenidae Hydrochidae (Tachet) Hydrophilidae Hydroscaphidae Hygrobiidae Nolidae Psephenidae Scleridae Spercheidae (Tachet) Hymenoptera Trichoptera Apataniidae Gerseidae Brachycentridae Ecnomidae Glossosomatidae Goeridae Helicopsychidae Hydropsychidae Hydroptilidae Lepidostomatidae Leptoceridae Limnephilidae Molannidae Odontoceridae Philopotamidae Phryganidae Ptychopteroptidae Psychomyiidae Ptilocolepidae Rhyacophilidae Sericostomatidae Lepidoptera Diptera Arthomyiidae/Muscidae Athericidae Blephariceridae Ceratopogonidae Chaoboridae Chironomidae Culicidae Cylindrotomidae Dixidae Dolichopodidae Empididae Ephyridae Limoniidae/Pediciidae Psychodidae Ptychopteridae Rhagionidae Scathophagidae Sciomyzidae Simuliidae Stratiomyidae Syrphidae Tabanidae Thaumaleidae Tipulidae autres néozoaires	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2">Résultats IBCH</td> <td style="text-align: right;">Σ EPT :</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Préleveur(se) (leg) modifier si différent</td> <td style="text-align: right;">Σ Neozoaires* :</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td style="text-align: right;">Σ Abondances :</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2">Σ Taxons Neozoaires :</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">Valeurs VT</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Σ Taxons Pléistocène :</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">de 0 à 1</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Groupe indicateur GI (max.) :</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">IBCH_2019</td> </tr> </table>	Résultats IBCH		Σ EPT :	0	Préleveur(se) (leg) modifier si différent		Σ Neozoaires* :	0			Σ Abondances :	0	Σ Taxons Neozoaires :		0	Valeurs VT	Σ Taxons Pléistocène :		0	de 0 à 1	Groupe indicateur GI (max.) :		0	IBCH_2019
Résultats IBCH		Σ EPT :	0																							
Préleveur(se) (leg) modifier si différent		Σ Neozoaires* :	0																							
		Σ Abondances :	0																							
Σ Taxons Neozoaires :		0	Valeurs VT																							
Σ Taxons Pléistocène :		0	de 0 à 1																							
Groupe indicateur GI (max.) :		0	IBCH_2019																							
Kdpps_ver_20191106		SPEAR_2018 :	IBCH_2019_R																							

Annexe 7. Diagramme décisionnel pour la détermination du régime d'écoulement IBCH (régime IBCH-Q) (Stucki et al., 2019).



Annexe 8. Données issues du rapport sur l'épuration de la moyenne Broye (Vuilleumier et al., 2022).

Nom du rejet présumé impactant	Type	Origine	Coord. X gps (CH1903+)	Coord. Y gps (CH1903+)	Atteinte supposée sur le milieu naturel	Description et substances retrouvées (ou supposées) dans le rejet	Facilité d'accès au rejet	Influence du rejet sur les invertébrés
STEP de Bellerive	STEP	1990	2568975	1196580	Faible	Eaux usées épurées	?	
STEP de Combremont	STEP	1995	2552335	1178350	Moyenne	Eaux usées épurées	Facile	Aucun
STEP de Corcelles-près-Payerne	STEP	1972	2564035	1188395	Forte	Eaux usées épurées	Facile	
STEP de Denezey	STEP	1996	2550595	1174725	Faible	Eaux usées épurées	Facile	
STEP de Forel-Chercottaz	STEP	1972	2546000	1152575	Moyenne	Eaux usées épurées	Facile	
STEP de Forel-Pigeon	STEP	1973	2549195	1152715	Moyenne	Eaux usées épurées	Facile	
STEP de Grandcour	STEP	1992	2562260	1190505	Faible	Eaux usées épurées	Facile	
STEP de Granges-Marnand	STEP	1976	2558545	1179385	Faible	Eaux usées épurées	Facile	Aucun
STEP d'Henniez	STEP	1987	2557180	1177290	Faible	Eaux usées épurées	Facile	
STEP d'Hermenches	STEP	1990	2548365	1166025	Moyenne	Eaux usées épurées	Facile	Moyen
STEP de Lucens	STEP	1986	2554960	1173890	Faible	Eaux usées épurées	Facile	Moyen
STEP de Martherenges	STEP	1995	2547275	1167695	Faible	Eaux usées épurées	?	
STEP de Payerne	STEP	1967	2561575	1187120	Faible	Eaux usées épurées	Facile	
STEP de Savigny	STEP	1967	2546425	1154415	Forte	Eaux usées épurées	Facile	
STEP de Servion	STEP	1973	2550345	1157810	Forte	Eaux usées épurées	Facile	
STEP de Sottens	STEP	1992	2546501	1167078	Moyenne	Eaux usées épurées	Facile	
STEP de Trey	STEP	1993	2559565	1180805	Faible	Eaux usées épurées	Facile	Aucune
ZI Palaz-Payerne	Industriel		2 561'619	1 186'225	Moyenne	Exutoire eaux claires de la ZI de la Palaz à Payerne	Facile	
Avenches	??		2 570'049	1 193'753	Moyenne		Facile	
DO Granges-Marnand	DO		2'558'057	1'179'154	Moyenne	Exutoire dans la Lembe		Moyen
STEP Chatonnaye	STEP		2'561'291.24	1'178'362.78	Moyenne			Moyen
STAP Villeneuve	STAP		2'556'984	1'177'141	Moyenne			Fort
STAP Ménière	STAP		2'557'746	1'181'636	Faible			Aucun
DO CREMO Lucens	DO		2554872	1173676	Faible			Faible
DO Lucens	DO		2553960	1173279	Faible			Aucun
STAP Caseïne	STAP		2'554'869.32	1'173'552.56	Faible	STAP intercommunale, rejet dans la Broye		Faible
STAP Les Rutannes	STAP		2'549'393.36	1'171'591.55	Faible			Aucun
STAP route d'Oulens	STAP		2'551'580	1'172'029	Faible			Aucun
DO MOUDON	DO		2'552'286	1'169'847	Faible			Aucun
STAP Moudon	STAP		2'551'180.45	1'168'614.82	Faible			Aucun
DO communal Moudon	DO		2'551'189	1'169'244	Moyenne			Aucun
STAP de Ropraz	STAP		2'547'747.79	1'163'217.75	Faible			Aucun
STAP La Rape	STAP		2'548'516	1'163'944	Faible			Aucun
STAP Favayres	STAP		2'548'670	1'164'222	Faible			Aucun
DO Vulliens	DO		2'550'242	1'163'648	Faible	Exutoire du collecteur EC indiqué ne se jette pas directement dans le ruisseau le Carrouge		Aucun
STAP Vulliens	STAP		2'550'003	1'163'212	Faible	Exutoire unique dans le ruisseau Le Carrouge		Faible
STAP Ecorche Boeuf	STAP		2'548'057	1'161'095	Faible			Aucun
STAP Ferlens	STAP		2'550'184	1'160'365	Faible			Faible
STAP Clos du Moulin	STAP		2'549'284.67	1'160'738.83	Faible			Moyen
DO VALBROYE	DO		2'558'183	1'178'921	Faible	Exutoire EC dans la Broye		Aucun

Annexe 9. Fiche d'échantillonnage du sédiment (Casado et al., 2022).

Fiche de terrain - échantillonnage du sédiment	
Nom préleveur : _____	Organisation : _____
Téléphone/ email : _____	Date et heure : _____
Cours d'eau : _____	Coordonnées : x: _____ y: _____
Lieu : _____	Code station : _____
Objectifs de l'échantillonnage	
Schéma du site Longueur tronçon: _____ Largeur du cours d'eau : _____ <i>Précisez le sens du courant, la localisation ainsi que le nb de prélèvements, svp :</i>	
Activités dans la zone environnante	
<input type="checkbox"/> Zone naturelle	<input type="checkbox"/> Champs <input type="checkbox"/> type de culture: _____
<input type="checkbox"/> Zone de loisir	<input type="checkbox"/> Zone industrielle <input type="checkbox"/> type d'industrie: _____ <input type="checkbox"/> déversoire
<input type="checkbox"/> Zone résidentielle <input type="checkbox"/> jardin <input type="checkbox"/> déversoire d'orage	<input type="checkbox"/> Zone de décharge <input type="checkbox"/> Site contaminé <input type="checkbox"/> Berges <input type="checkbox"/> naturelles <input type="checkbox"/> artificielles
<input type="checkbox"/> Zone agricole <input type="checkbox"/> Pâturage <input type="checkbox"/> présence de bétails <input type="checkbox"/> aire d'alimentation	
Conditions météorologiques	
Jour d'échantillonnage	Jours précédant l'échantillonnage
<input type="checkbox"/> ensoleillé	<input type="checkbox"/> ensoleillé
<input type="checkbox"/> pluie (1 faible -> 3 forte)	<input type="checkbox"/> pluie (1 faible -> 3 forte)
<input type="checkbox"/> vent (1 faible -> 3 fort)	<input type="checkbox"/> vent (1 faible -> 3 fort)
<input type="checkbox"/> couverture nuageuse (1 faible -> 3 complète)	<input type="checkbox"/> couverture nuageuse (1 faible -> 3 complète)
<input type="checkbox"/> brouillard	<input type="checkbox"/> brouillard
<input type="checkbox"/> température (°C)	<input type="checkbox"/> température (°C)
Valeurs <i>in situ</i> mesurées	
Conductivité (µS/cm) :	Température (°C) :
Oxygène dissous (mg/L) et % :	Débit (m³/s) :
pH :	Autres :
Type d'échantillonneur utilisé:	
Description du sédiment échantillonné	
Couleurs et intensité (brun, gris, noir, jaune, etc.)	Type de substrat (sableux, silicieux, fins, boueux)
Odeurs et intensité (soufre, chlor, benzene, amoniaque, ferreux)	Organismes vivants (crustacées, insectes, etc.)

Annexe 10. Tests de contact avec les sédiments effectués. Les seuils de toxicité sont utilisés pour classer les échantillons selon la sévérité des effets mesurés (Casado-Martinez, 2023).

Espèce test	Groupe	Norme	Paramètre biologique	Classe de toxicité		
				Sans effet significatif	Effet modéré	Effet sévère
				Score = 0	Score = 1	Score = 2
<i>Heterocypris incongruens</i>	Crustacé, ostracode	ISO 14371 [12]	Mortalité	0-20% [15]	20-30%	> 30%
			Croissance* (inhibition)	0-35% [15]	35-70%	> 70%
<i>Chironomus riparius</i>	Insecte, chironome	AFNOR 90-339 [13]	Émergence (inhibition)	0-32% [16]	32-64%	> 64%
<i>Caenorhabditis elegans</i>	Ver, nématode	ISO 10872 [14]	Croissance (inhibition)	0-25% [17]	25-50%	> 50%
			Reproduction (inhibition)	0-50% [17]	50-75%	> 75%

* La croissance n'est évaluée que si la mortalité ne dépasse pas 30%.

Annexe 11. Script R studio et résultat du test de corrélation de Pearson.

```
##Test Pearson##
#H0 : Pas de corrélation entre le pourcentage de mortalité des ostracodes et la proportion de
#Gammaridae et Elmidae et la note IBCH#

#Elmidae et % mortalité ostracode#
xmorta <- correlation$Pourcent-mean(correlation$Pourcent)
yElmi <- correlation$Elmidae-mean(correlation$Elmidae)

r1<-sum(xmorta*yElmi)/(sqrt(sum(xmorta^2))*sqrt(sum(yElmi^2)))
r1 #0.1811397

t1 <- (r1/sqrt(1-r1^2))*sqrt(5-2)
t1 #0.3190205

d1 <- 5-2
1-pt(t1,d1) #0.3853167

pt(t1,d1,lower.tail=FALSE)#0.3853167

# On observe donc que la corrélation observée dans cet échantillon entre les Elmidae et le pourcentage de mortalité est de 0.18.
# Celle-ci correspond à une valeur de t de 0.3. La probabilité d'avoir une corrélation aussi élevée dans un échantillon si
#la corrélation dans la population est nulle est de 0.4.
#Etant donné que cette probabilité est supérieur au seuil de significativité = 0.05), on peut accepter H0 et
#conclure que la corrélation entre la proportion d'elmidae et le % de mortalité des ostracodes est negative

. . .

#Gammaridae et % de mortalité des ostracodes#

ygamma <- correlation$Gammaridae-mean(correlation$Gammaridae)

r2<-sum(xmorta*ygamma)/(sqrt(sum(xmorta^2))*sqrt(sum(ygamma^2)))
r2 #-0.5147999

t2 <- (r2/sqrt(1-r2^2))*sqrt(5-2)
t2 #-1.040066

d1 <- 5-2
1-pt(t2,d1)#0.3853167

pt(t2,d1,lower.tail=FALSE)#0.8126177

#On observe donc que la corrélation observée dans cet échantillon entre les Gammaridae et
#le pourcentage de mortalité des ostracodes est de 0.5. Celle-ci correspond à une valeur de t de -1.
#La probabilité d'avoir une corrélation aussi élevée dans un échantillon si la corrélation dans la population
#est nulle est de 0.8.
#Etant donné que cette probabilité est supérieur au seuil de significativité = 0.05), on peut accepter H0
#et conclure que la corrélation entre la proportion de Gammarre et le % de mortalité des ostracodes est negative.

. . .

#Note IBCH et % de mortalité des ostracodes#

yIBCH <- correlation$IBCH19-mean(correlation$IBCH19)

r3<-sum(xmorta*yIBCH)/(sqrt(sum(xmorta^2))*sqrt(sum(ygamma^2)))
r3 #0.0006139095

t3 <- (r3/sqrt(1-r2^2))*sqrt(5-2)
t3 #0.0012403

d1 <- 5-2
1-pt(t3,d1) #0.4995441

pt(t3,d1,lower.tail=FALSE)#0.4995441

#On observe donc que la corrélation observée dans cet échantillon entre les notes IBCH et le pourcentage de mortalité des ostracodes
#est de 0.0006. Celle-ci correspond à une valeur de t de 0.0012.
#La probabilité d'avoir une corrélation aussi élevée dans un échantillon si la corrélation dans la population est nulle est de 0.5.
#Etant donné que cette probabilité est supérieur au seuil de significativité = 0.05), on peut accepter H0 et conclure que la corrélation
#entre les notes IBCH et le % de mortalité des ostracodes est negative. |
```

Annexe 12. Concentrations instantanées des métaux, ne respectant pas les objectifs de l'OEaux, dans 7 stations du bassin versant de la Broye.

Riviere_station	Longitude	Latitude	Date	Paramètre	Valeur (µg/L)	LimiteOEaux (µg/L)	Objectif
ARBOGNE_HARAS FEDERAL	7.01930692	46.8863366	07.06.2022	Cuivre	3.01	2	Non atteint
			26.09.2022		2.31		Non atteint
BROYE_BRESSONNAZ	6.79328992	46.6518348	23.06.2022	Cuivre	3.19	2	Non atteint
			18.08.2022		2.99		Non atteint
BROYE_BRIT	6.90886402	46.7767794	23.06.2022	Cuivre	2.48	2	Non atteint
			18.08.2022		2.62		Non atteint
BROYE_DOMDIDIER	6.9950654	46.8777802	22.01.2018	Zinc	14.1	5	Non atteint
			14.05.2018		2.06		Non atteint
			04.02.2019	Cuivre	2.17	2	Non atteint
			27.05.2019		3.04		Non atteint
			03.02.2020		2.84		Non atteint
			18.08.2022		2.82		Non atteint
CARROUGE_VULLIENS	6.7852675	46.6142133	23.06.2022	Cuivre	9.16	2	Non atteint
			18.08.2022		7.36		Non atteint
GRENET_CHATILLENS	6.81261648	46.5715111	23.06.2022	Cuivre	3.93	2	Non atteint
			18.08.2022		4.23		Non atteint
PETITE GLANE_GRANDCOUR PAYERNE	6.93047159	46.8554629	23.06.2022	Cuivre	2.97	2	Non atteint
			18.08.2022		3.34		Non atteint