

Rapport de stage individuel

5^{ème} année

Priorisation par bassins versants sur le canton de Vaud

Direction Générale de l'Environnement du Canton de Vaud

Chemin des Boveresses 155
1066 Epalinges - Suisse



Tutrices entreprises

Emilie Hanus et Florence Dapples

Tutrice académique

Francesca Di Pietro

Mathilda Reynaud

IMA

2020-2021

Remerciements

Le projet présenté dans ce rapport fut une opportunité professionnelle importante qui m'a permis de développer des ambitions dans un domaine spécifique, la cartographie. Le travail présenté ci-après a été possible grâce à la collaboration de l'ensemble de mes collègues de travail que je tiens à remercier.

Durant cette période de 6 mois, j'ai pu m'intégrer au sein de l'équipe de PRE qui a su m'accueillir et me fournir les outils nécessaires à la bonne exécution de ce projet. L'ensemble des collaborateurs a participé au travail réalisé pendant mon stage qui s'inscrit dans la nouvelle dynamique de gestion des eaux superficielles du canton de Vaud. Leur participation ainsi que leur accueil ont été une véritable source de motivation.

Le suivi de mon stage a été réalisé par Florence Dapples et Emilie Hanus, elles ont su m'orienter tout au long de mon projet tout en me formant sur plusieurs aspects en lien avec celui-ci. C'est avec motivation et patience qu'Emilie a su me transmettre ses connaissances en termes de gestion et de protection des eaux. Son suivi et ses conseils m'ont permis de garder une ligne directrice, ce qui m'a permis de répondre au mieux aux objectifs de ce projet. Florence Dapples m'a également permis de comprendre les enjeux liés à la protection des eaux de surface. Ses compétences pluridisciplinaires m'ont permis de m'adapter aux différentes missions qui m'ont été confiées. Je tiens vivement à vous remercier, votre confiance m'a permis de me sentir intégrée et impliquée au sein de l'ensemble des collaborateurs.

L'opportunité offerte, d'une part, par la DGE et d'autre part, par Polytech Tours va durablement s'inscrire dans mes perspectives professionnelles. En effet, les missions qui m'ont été confiées correspondent entièrement à mes ambitions professionnelles. Ayant pu travailler en autonomie, j'ai acquis de nouvelles compétences dans plusieurs domaines tels que la gestion et le traitement des données.

Enfin, je tiens à remercier l'ensemble de l'équipe pédagogique du Département Aménagement et Environnement. Leur suivi ainsi que leur implication ont contribué au bon déroulement de mon année scolaire. Je tiens particulièrement à remercier Mme. Francesca Di Pietro qui a su se rendre disponible pour répondre à mes questions et qui a contribué à la réussite de mon projet.

Glossaire

Région biogéographique	Zone caractérisée par des conditions climatiques et des peuplements écologiques homogènes
Demande Biologique en Oxygène pendant 5 jours, DBO₅	Concentration en oxygène nécessaire pour biodégrader, en 5 jours, les matières organiques présentes dans 1L d'eau
Demande chimique en oxygène, DCO	Concentration en oxygène nécessaire pour éliminer les matières organiques présentes dans 1L d'eau
Abattement	Rapport entre la concentration en entrée et la concentration en sortie, mesure le taux d'élimination d'une pollution
Pollution aigüe	Pollution survenue sur une courte durée mais ayant des effets importants
Pollution chronique	Pollution continue causée par des émissions répétées ou des polluants rémanents
Normes de Qualité Environnementales - NQE	Norme à respecter qui considère les risques écotoxicologiques des substances concernées
Quotient de Risque - QR	Quotient caractérisant le taux de dépassement entre une valeur mesurée et la concentration admissible
Taxon primaire	Désigne les espèces réalisant la photosynthèse et caractérisées comme producteurs primaires
Groupe indicateur, GI	Groupe de taxons caractérisé par une polluo-sensibilité
Variété, VT	Diversité des taxons récoltés
Effet additif	<i>Accumulation des risques engendrés par le mélange de substances</i>
Percentile 90, P90	<i>Valeur seuil pour laquelle 90 % des valeurs sont inférieures</i>
Indice Biologique Global Normalisé, IBGN	<i>Indice pour la bioévaluation des milieux aquatiques</i>

IBCH¹⁰ ou IBCH¹⁹

IBCH version 2010 ou version 2019

Q₃₄₇

Débit d'étiage, d'une STEP ou d'une rivière, dépassé 347 jours par an ou 95% du temps

Modèle Builder

Outil disponible sous ArcGis afin d'automatiser les opérations cartographiques

Système de projection

Référentiel permettant de projeter des informations géographiques sur une surface non plane

Table des matières

Remerciements	2
Glossaire.....	3
Table des illustrations	7
I. Introduction	9
II. Contexte.....	10
A. Territoire suisse.....	10
1. Gestion de l'eau en Suisse	10
2. Comparaison avec la France	11
3. Evolution actuelle	11
B. Présentation du canton de Vaud	12
1. Gestion des cours d'eau - Stratégie mise en place	12
III. Présentation de la structure.....	13
A. Direction Générale de l'Environnement, DGE	13
B. DIREV.....	14
1. Division Protection des Eaux	14
2. Réseaux de mesures	14
II. Cadre du projet	17
A. Organisation du projet	17
B. Objectifs du travail réalisé	18
C. Missions réalisées et rôle	18
III. Matériels et méthodes	19
A. Données à disposition	19
1. Chimie	19
2. Biologie.....	21
3. EPU	21
B. Cadre méthodologique.....	23
1. Echelle spatiale	23
C. Méthodologie	25
1. Approche sectorielle.....	25
2. Approche intégrative	28
3. Approche intersectorielle	33
IV. Résultats et discussion	34
A. Résultats obtenus.....	34
1. Qualité biologique sur le canton de Vaud.....	34
2. Evaluation de la qualité sur le bassin de la Venoge	35

B. Réalisations	39
1. Cartes et schémas.....	39
2. Oral DGE	39
3. Restitution des données	39
C. Discussion.....	39
V. Perspectives d'amélioration	40
VI. Conclusion.....	41
Bibliographie	42
Sitographie	44
Annexes.....	45
Table des annexes	45

Table des illustrations

Figure 1 Régions biogéographiques en Suisse	10
Figure 2 Localisation du canton de Vaud (Rouge), source : wikipedia.fr	12
Figure 3 Schéma des objectifs de la mesure 11	13
Figure 4 Localisation des STEP	15
Figure 5 Seuils définis par le SMG - I : Valeur obtenue, O : Seuils de l'OEaux	16
Figure 6 Classes de qualité biologique	16
Figure 7 Définition des objectifs de l'étude	18
Figure 8 Comparaison des valeurs IBCH ¹⁰ et IBCH ¹⁹ sur les trois dernières campagnes de mesure	21
Figure 9 Interaction entre les niveaux de spatialisation	23
Figure 10 Bassins versants vaudois créés pour l'étude	24
Figure 11 Définition des intrants impactants les eaux superficielles	25
Figure 12 Spatialisation de la qualité biologique obtenue pour les stations avec l'IBCH ¹⁹ et le SPEAR	26
Figure 13 Modèle Builder pour la projection de valeurs de qualité biologique	27
Figure 14 Carte de calculs théoriques de la qualité biologique sur le canton	28
Figure 15 Adaptations apportées sur la Tinière	28
Figure 16 Qualité biologique obtenue sur le bassin de la Venoge	29
Figure 17 Symbologie pour la qualité chimique	30
Figure 18 Symbologie pour l'évaluation des STEP	30
Figure 19 CLC Suisse élaboré par le WSL découpé en fonction du canton de Vaud	30
Figure 20 Pré-traitements réalisés sur les couches composant le fond de carte	32
Figure 21 Projection finale de la qualité biologique	34
Figure 22 Occupation du sol sur le bassin de la Venoge	35
Figure 23 Taux d'imperméabilisation et densité du réseau routier sur le bassin de la Venoge	35
Figure 24 Proportion des systèmes d'ANC sur le bassin de la Venoge	36
Figure 25 Qualité chimique évaluée sur le bassin de la Venoge	36
Figure 26 Evaluation des médicaments sur le bassin de la Venoge	36
Figure 27 Evaluation des pesticides sur le canton de Vaud - O Station de la Venoge	37
Figure 28 Evaluation des métaux sur le bassin de la Venoge	37
Figure 29 Evaluation des STEP sur le bassin de la Venoge	37
Figure 30 Schéma du cours d'eau de la Venoge	38
Tableau 1 Paramètres suivis pour le réseau de chimie générale.....	15
Tableau 2 Valeurs exploitées et seuils de qualité pour la chimie	19
Tableau 3 Seuils de qualité pour les métaux	19

Tableau 4 Catégories de micropolluants dits ruraux	20
Tableau 5 Catégories de micropolluants dits urbains.....	20
Tableau 6 Seuils de qualité des micropolluants	20
Tableau 7 Seuils de qualité pour le SPEAR.....	21
Tableau 8 Notation du fonctionnement des STEP	22
Tableau 9 Notation des risques de rejet des STEP.....	23
Tableau 10 Définitions des classes de qualité via Arcade	27
Tableau 11 Sources des données exploitées et catégorisation - * : Eléments dits ponctuels	31
Tableau 12 Largeur appliquée aux routes et aux voies ferroviaires (m)	32
Tableau 13 Typologie des systèmes d'ANC.....	33

I. Introduction

La gestion des cours d'eau en Suisse se distingue de la gestion pratiquée en France qui est régit par la Directive Cadre sur l'Eau, DCE, mise en application en 2000 (Parlement Européen 2000). Malgré des ambitions similaires, cette différence majeure induit une vision distincte de la politique de gestion et de protection des cours d'eau entre l'Union Européenne, UE, et la Suisse. Souhaitant développer une gestion uniforme et non restreinte par les frontières, l'UE a construit un cadre législatif sur lequel les pays concernés peuvent appuyer leurs lois nationales. Extérieure à cette union, la Suisse a forgé sa propre législation adaptée aux enjeux constatés ainsi qu'à son organisation territoriale.

Comparée à la France, la Suisse possède une gestion administrative décentralisée laissant une part conséquente des pouvoirs à l'échelle cantonale, ce découpage peut s'apparenter aux régions françaises (Bonin et al. 2012). Malgré leurs différences, l'UE et la Suisse placent à la même importance l'échelle des bassins versants. Ces entités géographiques sont considérées comme fondamentales pour une meilleure gestion des cours d'eau. Précisée depuis 1964 dans la loi relative au régime et à la répartition des eaux et à la lutte contre leur pollution (Assemblée nationale et Sénat 1964), la gestion par grands bassins versants est désormais incontournable sur le territoire français. La Confédération Suisse permet, contrairement à la France, à chaque canton de développer sa propre stratégie et n'impose pas une gestion par bassins (OFEV 2012). Malgré la volonté des cantons de contribuer activement à la préservation de leurs cours d'eau, la mise en place d'une telle gestion nécessite une adaptation des outils de travail utilisés.

Dans l'objectif de promouvoir et d'accompagner les cantons, la Confédération a rédigé un guide d'accompagnement de cette approche intégrée dans l'Agenda 21 (OFEV 2012; Chaix et al. 2011). Aujourd'hui, la plupart des cantons n'ont pas développé de stratégie de gestion par grands bassins. Toutefois, une réelle dynamique se met en place au sein de plusieurs cantons comme celui de Fribourg ou de Vaud. Par le biais de sa publication sur la Stratégie de surveillance et de protection de la qualité des eaux superficielles (Direction générale de l'environnement (DGE) et al. 2019), le canton de Vaud montre son ambition de développer une méthode de gestion par grands bassins versants. Cette stratégie repose sur plusieurs objectifs phares pour l'amélioration de la qualité des eaux de surface. Dans cet arsenal de mesures, la mesure n°11 concerne le développement de la gestion des cours d'eau par bassins versants. L'objectif majeur de cette mesure est d'élaborer une stratégie de priorisation des territoires afin d'appréhender l'ensemble des enjeux auxquels se confrontent la préservation des eaux superficielles. L'intérêt est de comprendre les spécificités de chaque région afin de pouvoir améliorer et préciser la législation et le suivi cantonal. Or, l'élaboration d'une telle planification nécessite de prendre en considération un ensemble de paramètres permettant de réaliser une modélisation suffisamment représentative de l'état des cours d'eau pour l'ensemble du canton.

Le projet présenté dans ce rapport s'articule autour de la problématique suivante : Comment développer une stratégie de priorisation par bassins versants à partir de la modélisation de la qualité des eaux superficielles sur le canton de Vaud ? Cette problématique est confrontée à plusieurs enjeux qui obligent à adapter la méthodologie adoptée. Les questions sous-jacentes se concentrent sur les échelles spatio-temporelles à exploiter ainsi que sur la transversalité des données utilisées. Ce rapport présente la méthodologie développée pour l'exploitation des données de qualité dont dispose la Direction Générale pour l'Environnement, DGE, ainsi que leur valorisation. L'objectif principal étant de développer *un outil décisionnel majeur pour la surveillance et la protection des eaux superficielles vaudoises*.

II. Contexte

A. Territoire suisse

Située à la frontière de quatre pays, la Suisse est un bassin culturel riche dont la diversité est préservée. Découpée en 26 cantons, la culture du pays se décline au travers de ces entités territoriales. En effet, ces dernières sont indépendantes et représentent de fortes déclinaisons des cultures française, allemande et italienne. La préservation de cette interculturalité est caractérisée par les quatre langues officielles qui sont l'allemand, le français, l'italien et le romanche. Le territoire suisse est caractérisé par une variété de paysages condensés sur près de 41000km². Représentée à la fois par des zones montagneuses et des vallées qui sont caractéristiques des régions biogéographiques¹. Ces reliefs influencent le système hydrographique et les processus hydrologiques par la création conditions climatiques particulières (Figure 1).

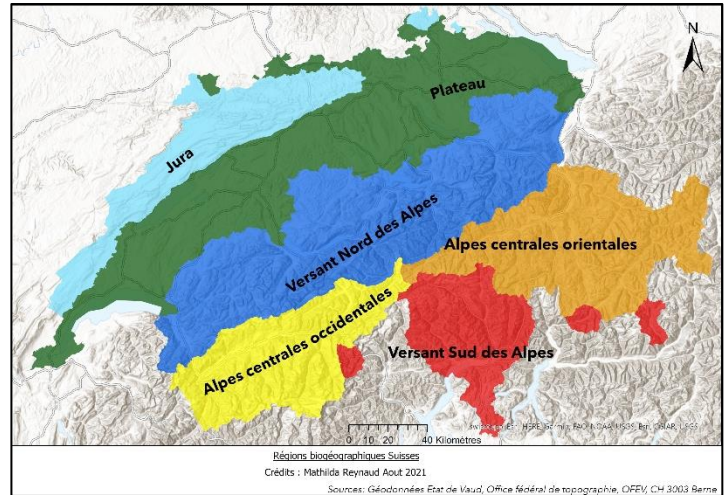


Figure 1 Régions biogéographiques en Suisse

C'est à partir de ces régions biogéographiques que l'Office Fédéral de l'Environnement, OFEV, a élaboré une méthodologie afin de définir les typologies de cours d'eau à partir de tronçons de référence (Schaffner et al. 2013). Ces différentes typologies montrent l'influence du contexte montagnard sur le réseau hydrographique Suisse (Annexe 1). En effet, l'ensemble du réseau est dense avec un linéaire de près de 65000 km réparti sur du pays. De plus, le pays dénombre de nombreux lacs avec près de 1600 lacs dont la superficie est supérieure à 0,5 ha. L'ensemble de ces espaces fait partie intégrante de la culture Suisse et représente un patrimoine écologique considérable. La mise en place de moyens de gestion et de protection est alors fondamentale pour assurer la pérennité de ces milieux. Cependant, les activités anthropiques ainsi que la surexploitation accentuée par le changement climatique sont à l'origine de dégradations et de déficits remarquables qui impactent, entre autres, l'état biologique des cours d'eau suisses (Kunz et al. 2016). Par conséquent, le suivi des caractéristiques qualitatives ainsi que l'élaboration d'un cadre juridique précis permet d'enclencher une dynamique globale sur l'ensemble du pays.

1. Gestion de l'eau en Suisse

A l'échelle européenne, la Suisse est membre de l'Agence Européenne pour l'Environnement, AEE. Cette institution a pour objectif d'accompagner les pays membres vers les meilleures pratiques pour la protection de l'environnement. Cette coopération est effective grâce à la mise à disposition des mesures d'évaluation de la qualité environnementale à l'échelle nationale. La mise en commun de ces mesures internes contribue au réseau européen d'informations et d'observations pour l'environnement, Eionet. Ce dernier permet de coordonner les mesures et d'assurer un développement cohérent sur l'ensemble du territoire européen.

A l'échelle nationale, la législation a évolué afin de répondre aux problématiques émergentes comme le dérèglement climatique afin d'assurer un cadre de vie sain pour la population et pérenniser le patrimoine environnemental. La Loi pour la Protection de l'Environnement, LPE, élaborée en 1983 (Assemblée fédérale de la Confédération suisse, 1983) a permis d'engager une

¹ Zone caractérisée par des conditions climatiques et des peuplements écologiques homogènes

nouvelle dynamique nationale orientée vers la protection des ressources fondamentales ainsi que la préservation des Hommes et de l'environnement dans lequel ils évoluent. Cette nouvelle démarche a engendré l'élaboration de la Loi fédérale sur la protection des eaux en 1991 (L'Assemblée fédérale de la Confédération suisse 1991) qui représente le cadre légal fondamental pour la protection de la qualité des eaux et des milieux riverains. La mise en application de cette loi est régit par l'Ordonnance sur la protection des Eaux, OEaux, qui précise les références de qualité mais également les obligations vis-à-vis des milieux aquatiques (Conseil fédéral Suisse, 1998).

Contrairement à la France de nombreux pouvoirs sont décentralisés à l'autorité cantonale qui est l'interface entre les communes et la Confédération. L'aspect organisationnel des différentes compétences au sein du canton ainsi que les stratégies mises en œuvre varient d'un canton à l'autre. Toutefois, les cantons sont dans l'obligation de faire respecter les lois fédérales en mettant en place des mesures concrètes ainsi que des suivis par rapport à la qualité des cours d'eau.

Quant aux communes, elles réalisent également un suivi qualitatif des eaux à une échelle plus locale. La coopération entre le Canton et les communes est fondamentale afin de limiter les conflits entre ces deux entités et ainsi permettre l'élaboration de plans d'actions pérennes. Le canton joue alors un rôle important de conseiller pour les communes. Les cours d'eau sont suivis à l'échelle communal et les résultats sont accessibles au public (Hildbrand et al. 2021).

2. Comparaison avec la France

En termes de politique de gestion de l'eau, la France et la Suisse présentent des différences considérables. En Suisse, les compétences de gestion des cours d'eau sont détenues en grande partie par les cantons qui doivent garantir de la qualité des cours d'eau sur le territoire. Ces entités administratives doivent s'organiser et assurer la protection des eaux de surface. Par conséquent, la méthode de gestion suisse permet de limiter le nombre d'intermédiaires entre l'échelle fédérale et l'échelle locale. Quant à la France, elle s'organise selon de nombreux organismes compétents en termes de gestion des eaux qui ne sont pas systématiquement en lien avec des entités administratives. Cette hiérarchie entremêlée cause des problèmes de compréhension importants entre les directives nationale et les entités locales. Par conséquent, la mise en place de moyens de gestion peut engendrer ces conflits d'intérêts.

Toutefois, cette distinction entre les entités administratives et les entités gestionnaires peut faciliter la gestion intégrée des cours d'eau grâce à l'unité géographique du bassin versant. En effet, la gestion organisée par bassin versant permet d'avoir un regard centré sur le cours d'eau et ainsi réduire les conflits possibles entre administrations. La mise en place de cette technique de gestion fut initiée par la Directive Cadre sur l'Eau, DCE adoptée en 2000 à l'échelle européenne (Parlement Européen 2000). L'objectif de cette méthode de gestion est d'appréhender les problématiques présentes sur chaque masse d'eau afin d'avoir une action ciblée grâce à l'action des Agences de l'Eau. L'intérêt étant de mettre en place des actions qui auraient un effet possible sur l'ensemble du territoire concerné.

3. Evolution actuelle

L'Agenda 21 est un réseau de professionnels sensibilisés au devenir des ressources en eau et des milieux aquatiques. Cette association a pour objectif de mettre en place des groupes de discussions centrés sur la protection des milieux aquatiques et la meilleure gestion des ressources. Cette organisation préconise les orientations majeures à suivre pour protéger l'ensemble de ces milieux patrimoniaux. C'est grâce à ces groupes de discussions que la réflexion de la gestion intégrée par bassin versant a été menée. Ils mettent l'accent sur la sectorisation des différents aspects liés à la qualité des eaux. Cette segmentation cause d'importants déficits en termes de gestion transversale

et pluridisciplinaire des milieux aquatiques. L'objectif de cette démarche est d'harmoniser à l'échelle nationale cette gestion et ainsi permettre un suivi global des masses d'eau par la Confédération (Chaix et al. 2011). Cependant, cette nouvelle démarche nécessite une réorganisation des méthodes d'évaluation ainsi qu'une homogénéisation des mesures au sein de chaque canton mais aussi entre chacune de ces administrations. Le concept de la gestion intégrée par bassin versant a émergé depuis 2012 au niveau de la Confédération qui concrétise la démarche à suivre et fournit des instruments pour la mise en place d'une telle gestion (OFEV, 2012). Toutefois, l'application de ces mesures reste une difficulté majeure pour les cantons qui ne bénéficient pas de subventions particulières et qui doivent s'adapter aux contraintes de leur territoire. Par conséquent, le développement de cette méthode de gestion se différencie d'un canton à l'autre. Par exemple, le canton de Genève et le canton de Fribourg ont développé des méthodologies distinctes pour cette nouvelle stratégie de gestion.

Le canton de Genève s'est basé sur ses six bassins versants hydrologiques. Chacun est soumis à la rédaction d'un Schéma de Protection, d'Aménagement et de Gestion des Eaux, SPAGE. Ce document de planification permet au canton d'adopter une vision sur le long terme de l'aménagement des cours d'eau. Cinq plans ont été rédigés indépendamment entre 2010 et 2019 et le dernier est en cours d'élaboration. La stratégie adoptée par le canton de Genève ne se base pas sur une vision globale du territoire mais plutôt pour une gestion indépendante de chaque bassin (Office cantonal de l'eau, 2012).

Tandis que le canton de Fribourg a développé un Plan Sectoriel de la Gestion des Eaux, PSGE, publié en janvier 2021 (Mennel et al. 2021). Ce canton a mis en place une méthodologie ayant pour objectif d'avoir une vision intersectorielle de la gestion des cours d'eau en prenant en compte la globalité des facteurs impactant la qualité des cours d'eau. La finalité de ce plan a permis de déterminer les caractéristiques principales des bassins versants et en déduire les mesures phares à adopter pour intégrer efficacement les cours d'eau à leur territoire. L'élaboration de ce plan s'axe sur plusieurs thématiques qui présentent des impacts non négligeables sur la qualité des eaux. Cette vision thématique a permis de comprendre l'importance de la transversalité pour la gestion des eaux.

B. Présentation du canton de Vaud

Le canton de Vaud est situé à l'Ouest de la Suisse au niveau de la frontière française (Figure 2). Ce canton a une population de plus de 800 000 habitants répartis sur près de 300 communes et la capitale fédérale est Lausanne. Entre lacs et montagnes, l'altimétrie varie entre plus de 3000m pour le sommet le plus haut des Diablerets et 370m au niveau du Léman. Quant au réseau hydrographique, il représente un linéaire de 4000km s'écoulant sur toute la superficie du canton qui est d'environ 3000km² (Lecomte et al. 2012). Ce réseau est également ponctué par la présence de lacs importants comme le lac de Joux ou de Neuchâtel. Toutefois, le Léman reste le plus important avec un volume de près de 90 Milliards de m³.

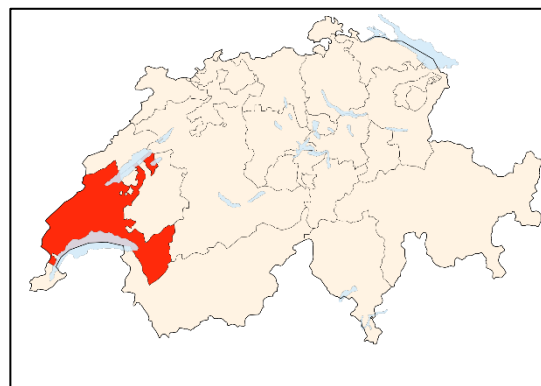


Figure 2 Localisation du canton de Vaud (Rouge),
source : wikipedia.fr

1. Gestion des cours d'eau - Stratégie mise en place

Le suivi de la qualité des eaux de surface est organisé selon plusieurs réseaux de mesures en fonction des paramètres évalués. Le rôle du canton est d'assurer la surveillance et la protection des eaux de surface. Pour répondre à cet objectif, la DGE a élaboré en 2019 la Stratégie de surveillance et

de protection des eaux superficielles (Direction générale de l'environnement (DGE) et al. 2019). D'une part, cette stratégie permet de communiquer sur le rôle de la DGE au sein du canton tout en expliquant les travaux réalisés. D'autre part, cette stratégie présente un arsenal de mesures qui sont des objectifs d'évolution à moyen et long termes. Ces mesures concernent les perspectives d'évolution des réseaux de mesures pour chaque section de la DGE.

Parmi ces mesures, la mesure n°11 consiste en une *analyse spatiale des données de qualité des eaux superficielles et sources de charges polluantes*. L'élaboration de ce projet de stage est fondée sur cette mesure qui a pour objectif de déterminer les bassins versants déficitaires sur le canton de Vaud. Initialement prévu à l'horizon 2020, cette mesure consiste en une valorisation des mesures effectuées afin de comprendre les sources de pollutions présentes pour enfin avoir une évaluation globale à l'échelle cantonale. (Figure 3)

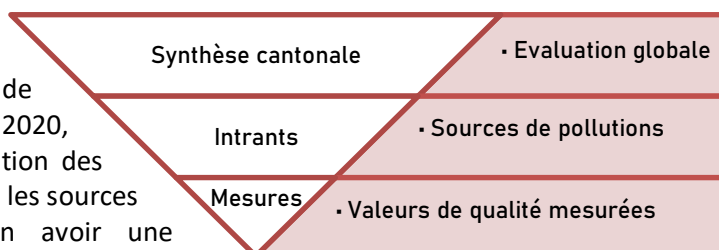


Figure 3 Schéma des objectifs de la mesure 11

Cette évaluation doit permettre d'adapter les mesures pour la protection des eaux de surface afin qu'elles soient plus intégratives des problématiques territoriales. Par conséquent, cet outil décisionnel doit être basé sur une évaluation multiparamétrique de la qualité des eaux afin de ressortir une représentation la plus complète possible des eaux de surface. La gestion actuelle découpée par les différentes sections s'heurte à des problèmes de communications et de cohérence sur l'ensemble du territoire.

III. Présentation de la structure

A. Direction Générale de l'Environnement, DGE

La Direction Générale de l'Environnement est fondée en 2013 à partir de la fusion de trois services distincts qui étaient respectivement le Service Faune Forêt et Nature, SFFN, le Service Environnement et Energie, SEVEN et le Service Eaux, Sols et Assainissement, SESA. Ce regroupement a permis de considérer les interactions entre ces domaines. La dynamique actuelle est axée sur la transversalité entre les sections dans l'objectif d'avoir une vision globale et pluridisciplinaire des enjeux environnementaux. La DGE est composée de trois directions qui sont à l'image des services fusionnés avec la Direction de l'énergie, DIREN, la Direction de l'environnement industriel, urbain et rural, DIREV et la Direction des ressources et du patrimoine naturel, DIRNA (Annexe 1). L'ensemble de la DGE dénombre plus de 350 collaborateurs qui contribuent à la limitation des impacts environnementaux.

Chacune de ces directions est spécialisée dans des domaines distincts même si des interactions sont possibles entre elles. La DIREN se concentre sur la politique énergétique et son application sur le canton de Vaud. Quant aux travaux de la DIRNA, ils sont axés sur la préservation de ressources naturelles et la protection du patrimoine naturel vaudois. Tandis que la DIREV a pour objectif de comprendre et réduire l'impact des activités anthropiques sur l'environnement. C'est au sein de cette dernière que le projet de gestion par bassins versants s'articule. Toutes ces directions sont concernées par l'élaboration d'un tel projet ; en effet, la gestion par bassin versant nécessite d'appréhender la majeure partie des polluants présents sur le territoire. Or, la durée imposée pour ce projet ne permet pas de créer une telle coopération entre les directions. Par conséquent, ce projet portera essentiellement sur les données disponibles au sein de la DIREV.

B. DIREV

La DIREV est scindée en trois divisions qui sont spécialisées sur différentes composantes environnementales impactées par les activités anthropiques. La division air, climat et risques technologiques, ARC, se concentre sur les nuisances pouvant porter atteintes au milieu environnant les populations. La division Protection des Eaux, PRE, contribue à la préservation des ressources en eaux ainsi qu'à la surveillance de la qualité des eaux superficielles. Tandis que la division Assainissement, ASS, oriente ses travaux sur les rejets directs de polluants dans le milieu ainsi qu'à la mise en conformité des produits chimiques mis sur le marché.

1. Division Protection des Eaux

Initiée par Florence Dapples avec la rédaction de la stratégie de protection et de gestion des eaux superficielles, ce projet est orienté sur les sections composant la division PRE. Ces sections évaluent plusieurs facteurs de la qualité des eaux de surfaces. La section Epuration, EPU, représentée par Claude-Alain Jaquerod s'intéresse à l'efficacité des stations d'épuration, STEP, ainsi qu'à la surveillance de leurs rejets dans le milieu. La section Assainissement Urbain et Rural, AUR, gérée par Caroline Villard, est spécialisée sur la conformité des installations agricoles, la surveillance de l'état des canalisations ainsi que sur les installations d'assainissement non collectif. La section Chimie des eaux gérée par Cécile Plagellat concerne la surveillance de la chimie des eaux par le biais de plusieurs réseaux de suivi. Quant à la section Biologie des eaux, elle est représentée par Nathalie Menétrey et, est spécialisée dans la surveillance de la qualité biologique des cours d'eau vaudois.

L'organisation effective entre les sections au sein de PRE permet d'avoir un suivi de la qualité des cours d'eau à partir de leur utilisation et ce jusqu'à leur rejet dans le milieu naturel. Axée sur l'analyse globale de la qualité des eaux superficielles, cette étude doit permettre de mieux comprendre les enjeux auxquelles sont confrontées ces sections ainsi que de comprendre leurs relations.

2. Réseaux de mesures

Les missions principales de la division PRE consistent en l'évaluation et le suivi de la qualité des eaux de surface sur le canton de Vaud. Ce suivi est réalisé selon plusieurs réseaux de mesures qui doivent respecter les bases légales imposées à l'échelle de la Confédération. L'organisation de ce suivi repose essentiellement sur l'OEaux mais également sur le Système Modulaire Gradués, SMG, qui a été élaboré en 1998 par l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, OFEFP (Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, OFEFP 1998). La méthodologie d'évaluation présentée par ce document a été affinée et déclinée en plusieurs volets spécifiques correspondant au paramètre évalué. La normalisation de la méthode permet aux cantons d'avoir une évaluation fiable et homogène sur l'ensemble du territoire Suisse. Au sein de la division PRE, trois réseaux de suivi sont organisés au sein des sections EPU, CHIMIE et BIOLOGIE.

a) Epuration Urbaine, EPU

La section EPU organise le suivi du fonctionnement des 153 stations d'épuration présentes sur le canton de Vaud (Figure 4). L'évaluation des STEP consiste en une comparaison de la qualité des eaux en entrée et en sortie selon 8 paramètres qui sont le pH, les matières en suspension, MES, le Carbone Organique, CO, la Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours², DBO₅, la Demande Chimique en Oxygène³, DCO, l'ammonium, NH₄, les nitrites, NO₂ et le phosphore total, Ptot. Les prélèvements sont réalisés par les exploitants selon une fréquence d'une fois par mois chaque

² Concentration en oxygène nécessaire pour biodégrader, en 5 jours, les matières organiques présentes dans 1L d'eau

³ Concentration en oxygène nécessaire pour éliminer les matières organiques présentes dans 1L d'eau

année. Le ou les échantillons récoltés correspondent à des échantillons de 24h en entrée et en sortie. Les stations les plus petites ne traitant pas d'eaux fortement polluées ne fournissent qu'un échantillon en sortie. Les STEP sont alors évaluées à minima 12 fois par an. Des prélèvements supplémentaires sont réalisés pour les stations recevant plus de 50 000 EH (Conseil fédéral Suisse 1998). Outre les paramètres physico-chimiques, la section réalise un suivi des débits pour avoir une appréciation du dimensionnement des ouvrages. L'OEaux réglemente le nombre minimal de prélèvements à réaliser et précise les dépassements tolérés ainsi que ceux qui sont inadmissibles. En fonction des paramètres, l'évaluation du fonctionnement de la station peut reposer sur la concentration en sortie mais également sur le pourcentage d'abattement⁴. Comme le suivi est organisé selon 12 prélèvements à l'année, l'OEaux prévoit deux dépassements admissibles sur l'année puisque le fonctionnement des stations peut être très dépendant des conditions climatiques.

Ces prélèvements permettent d'avoir un suivi annuel des stations sur l'ensemble du canton. Chaque prélèvement permet de remplir une fiche de suivi ponctuel (Annexe 3) puis l'étude annuelle permet de rendre compte de la stabilité de fonctionnement de l'ouvrage. L'élaboration du bilan annuel personnalisé permet à la section EPU de rendre compte de l'évaluation annuelle réalisée sur un ouvrage tout en mettant en évidence les problèmes ou les bonnes pratiques pour l'exploitation. (Annexe 4). Enfin, l'équipe EPU réalise également un bilan annuel et cantonal sur l'épuration vaudoise (Jaquerod et al. 2019). Ce document permet de communiquer auprès de la population vaudoise de l'état actuel des stations d'épuration mais également des objectifs élaborés par la DGE. Ce bilan est également envoyé aux exploitants afin de communiquer vis-à-vis de la dynamique actuelle de la gestion des STEP.

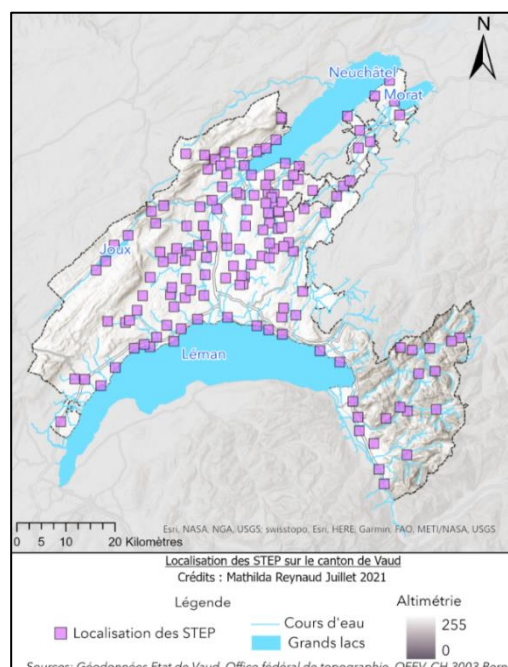


Figure 4 Localisation des STEP

b) Chimie générale

La section Chimie réalise le suivi de la qualité des eaux selon plusieurs réseaux de mesures qui dépendent du type de paramètres analysés.

Le réseau nutriments et chimie générale permet le suivi des nutriments et des métaux sur 90 sites répartis sur l'ensemble du canton de Vaud (Annexe 5 et Annexe 6). Ce réseau évalue la qualité des eaux de surface selon 12 paramètres, 6 nutriments et 6 métaux (Tableau 1). Les sites suivis sont scindés en deux catégories qui n'ont pas la même fréquence d'évaluation, elles correspondent aux sites principaux, 27 sites, et aux sites secondaires, 63 sites. Tous les sites principaux sont évalués chaque année, les nutriments sont évalués 1 fois par mois et les métaux sont évalués 6 fois par an. Tandis que le suivi des sites secondaires est organisé selon 5 régions hydrographiques, chaque année une seule région est suivie. Par conséquent, tous les sites du réseau secondaire sont évalués 12 fois pour les nutriments et 6 fois pour les métaux tous les 5 ans.

Tableau 1 Paramètres suivis pour le réseau de chimie générale

NUTRIMENTS						MÉTAUX					
COD	NH ₄	NO ₂	NO ₃	PO ₄	Ptot	Cd	Cr	Zn	Pb	Ni	Cu

⁴ Rapport entre la concentration en entrée et la concentration en sortie, mesure le taux d'élimination d'une pollution

A partir de ces mesures, l'évaluation de la qualité chimique est basée sur le SMG volet *Nutriments* (Liechti 2010). Ce document réprécise les bases légales définies par l'OEaux (Conseil fédéral Suisse 1998) et permet d'élaborer une évaluation selon 5 classes de qualité allant de **Très bonne** codifiée en bleue à **Mauvaise** codifiée en rouge. Ces classes sont basées sur les seuils de qualité exigés dans l'OEaux (Figure 5).

Appréciation	Condition	Objectif
Très bonne	$I < \frac{1}{2} O$	Atteint
Bonne	$\frac{1}{2} O \leq I < O$	
Moyenne	$0 \leq I < 1,5 * O$	Non atteint
Médiocre	$1,5 * O \leq I < 2 * O$	
Mauvaise	$I \geq 2 * O$	

Figure 5 Seuils définis par le SMG -
I : Valeur obtenue, O : Seuils de l'OEaux

Ce volet précise également la stratégie d'évaluation de la qualité des cours d'eau en indiquant la valeur à conserver. Cette valeur indicatrice dépend du nombre de prélèvements réalisés. Dès qu'au moins 12 prélèvements ont été réalisés alors l'évaluation de la qualité se basera sur le percentile 90⁵, noté P90, des concentrations obtenues. Ce dernier correspond à la valeur seuil pour laquelle 90% de l'ensemble des échantillons évalués sont inférieurs. Si le cours d'eau a été analysé moins de 12 fois, il faut conserver la valeur maximale obtenue sur tous les échantillons. Concernant l'évaluation des métaux dans les eaux de surface, elle n'est pas précisée dans le SMG.

c) Réseau pollution diffuse

Concernant le réseau de pollutions diffuses, il existe deux types de prélèvements, le premier correspond à des échantillons de 3.5 jours permettant de mesurer la pollution aiguë⁶ tandis que le second correspond à des échantillons de 14 jours permettant de mesurer la pollution chronique⁷. L'évaluation de la qualité est basée sur deux normes, la première est définie par l'OEaux et la seconde par le centre écotoxicologique. L'OEaux précise des seuils de concentration à ne pas dépasser pour 3 médicaments et 19 pesticides organiques. La valeur de ces seuils dépend de l'utilisation de l'eau, si elle permet l'approvisionnement en eau potable ou non. L'évaluation de la qualité des eaux de surface basée sur la norme OEaux permet de définir une atteinte ou non de la qualité. Tandis que le centre écotoxicologique définit des Normes de Qualité Environnementales⁸, NQE. Ces seuils permettent de classer la qualité des cours d'eau selon 5 catégories comme dans le SMG. Cette évaluation est basée sur les quotients de risques⁹, QR, qui correspondent au rapport entre la concentration mesurée et la NQE. En outre, le centre définit pour chaque substance, le groupe taxonomique impacté parmi les Vertébrés, les Invertébrés et les Primaires¹⁰. Il n'existe pas de SMG pour les micropolluants, celui-ci est en cours d'élaboration, par conséquent, aucune méthodologie pour l'évaluation qualitative n'a été créée.

d) Biologie

L'évaluation de la qualité biologique est basée sur le SMG volet Macrozoobenthos (Office fédéral de l'environnement OFEV 2019). Il précise la méthodologie à respecter ainsi que les classes de qualité pour l'évaluation. De plus, il contient un rappel du calcul de l'Indice Biologique Suisse, IBCH, du Groupe Indicateur¹¹, GI ainsi que de la variété¹², VT. Ce volet classe également la qualité biologique en 5 catégories (Figure 6). Outre l'IBCH, la section biologie détermine également l'indice SPEAR qui permet de qualifier l'impact des

Classes	Seuils
Très bonne	$\geq 0.8 (\geq 80\%)$
Bonne	$0.6 - < 0.8 (<80\%)$
Moyenne	$0.4 - < 0.6 (<60\%)$
Médiocre	$0.2 - < 0.4 (<40\%)$
Mauvaise	$< 0.2 (<20\%)$

Figure 6 Classes de qualité biologique

⁵ Valeur seuil pour laquelle 90 % des valeurs sont inférieures

⁶ Pollution survenue sur une courte durée mais ayant des effets importants

⁷ Pollution continue causée par des émissions répétées ou des polluants rémanents

⁸ Norme à respecter qui considère les risques écotoxicologiques des substances concernées

⁹ Quotient caractérisant le taux de dépassement entre une valeur mesurée et la concentration admissible

¹⁰ Désigne les espèces réalisant la photosynthèse et caractérisées comme producteurs primaires

¹¹ Groupe de taxons caractérisé par une polluo-sensibilité

¹² Diversité des taxons récoltés

pesticides sur les invertébrés (Stucki 2016). Pour cette étude, la version 19.11 du SPEAR sera utilisée. Comme pour le réseau secondaire de chimie, le réseau de mesures biologiques est organisé selon un tournus de 5 ans, une année permettant l'évaluation d'une région hydrographique (Annexe 7). De cette façon, la qualité biologique est évaluée sur l'ensemble du canton au bout de 5 ans.

Les réseaux de suivi de la qualité chimique et biologique sont organisés afin que la région analysée pour la biologie soit réalisée 1 an après l'évaluation de la section chimie. De cette façon, il est possible d'observer des liens entre la qualité chimique d'une année « n » et les peuplements de l'année « n+1 ».

e) Autres réseaux

Micropolluants des STEP : Les micropolluants sont évalués pour 37 STEP et 26 sites rivières. Les prélèvements sont réalisés en même temps, les échantillons rivières sont effectués en instantanés tandis que les échantillons des STEP sont de 24h.

CHIMIE – Lac : La section réalise le suivi de 6 lacs sur le canton. Les lacs de Joux, Bret et Lioson sont suivis tous les ans avec une évaluation des éléments majeurs, de la chlorophylle et des micropolluants. Tandis que les lacs d'Aï, de Versvey et de Duzillet ne sont suivis que tous les 5 ans.

Réseau PollOrg : La qualité des eaux souterraines est également évaluée par le biais du réseau PollOrg. Ce réseau comporte 16 sites qui sont analysés 4 fois par an pour les nitrates et 2 fois par an pour les pesticides.

En complément de ces réseaux annuels, chaque section peut être amenée à réaliser des prélèvements supplémentaires en cas de pollution ou de dysfonctionnement avérés.

II. Cadre du projet

A. Organisation du projet

La réalisation d'un projet sur 6 mois nécessite d'avoir un suivi organisationnel à court et à long termes. D'abord, j'ai réalisé un planning prévisionnel pour préciser les étapes principales à réaliser ainsi qu'estimer le temps nécessaire pour chacune d'entre elles. Outre l'intérêt organisationnel, cette première phase permet de visualiser le projet et les travaux à réaliser pour répondre aux objectifs. Ce premier planning prévisionnel, réalisé avec Gantt Project, contient les grandes étapes et les dates initiales d'exécution des tâches. En parallèle, j'ai réalisé un planning de suivi dans lequel chaque jour est répertorié avec les tâches réalisées. Ce second planning a été réalisé avec Trello et me permet d'organiser les tâches par grandes thématiques. Ces dernières correspondent aux étapes principales présentées dans le Gantt Project. L'utilisation de ces deux outils me permet de constater quelles phases ont été retardées tout en ciblant à quel moment elles ont été retardées.

Certaines étapes ont, effectivement, été retardées à cause d'imprévus lors du traitement des données. Lors de ce stage j'ai contribué à l'élaboration même de ce projet qui a nécessité la réalisation de plusieurs essais afin de répondre au mieux aux attentes de la DGE. De plus, le traitement des données doit être rigoureux afin d'obtenir des résultats fiables. Pour cette étape, j'ai été confrontée à plusieurs difficultés liées à ma compréhension des fichiers mais également à l'intégrité des données fournies.

La réalisation de ce projet est fondée sur la coopération des sections. Les réflexions méthodologiques réalisées ont nécessité l'organisation de séances dans l'objectif d'avoir une ligne directrice précise. Plusieurs séances ont été organisées avec les différents chefs de sections afin qu'ils puissent contribuer pleinement au projet. De plus, cela m'a permis de comprendre les données mises à disposition ainsi que de concevoir l'articulation des données entre ces entités.

Enfin, ce projet repose en grande partie sur l'organisation des données pour faciliter son exploitation. En effet, la traçabilité des données est facteur essentiel pour que la méthodologie suivie puisse être vérifiée et ainsi assurer l'intégrité des données. Pour cela, il faut être rigoureux dans la nomenclature puisqu'elle permet de faciliter les traitements des données sous SIG.

B. Objectifs du travail réalisé

Le projet présente plusieurs attentes en termes de résultats mais également en termes de réalisations cartographiques (Figure 7). Les objectifs principaux correspondent à l'évaluation de la qualité des bassins versants afin de visualiser les bassins déficitaires. Ce premier objectif est lié à la compréhension des facteurs d'altération pour localiser les sources de pollution de chaque territoire.

Outre les résultats attendus, des sous-objectifs sont également importants pour cette étude. En effet, l'analyse réalisée doit permettre une meilleure coopération entre les sections en améliorant les échanges et le partage d'informations. Ce projet a été réfléchi de manière à adopter une stratégie de gestion intersectorielle mais également intégrative. Ce deuxième volet concerne la modélisation réalisée. Cette dernière doit être la plus représentative des caractéristiques territoriales afin d'avoir une modélisation la plus proche de la réalité possible. Enfin, ce modèle devra être évalué pour mesurer sa fiabilité. Cette évaluation se basera sur la comparaison entre les résultats obtenus et les observations de terrain. En adoptant cette stratégie intersectorielle et intégrative, les utilisateurs finaux de cet outil décisionnel sont acteurs de son élaboration. Cette position permet une meilleure implication tout en considérant les besoins de la DGE.



Figure 7 Définition des objectifs de l'étude

C. Missions réalisées et rôle

L'exécution de ce projet est axée sur une meilleure coopération entre les sections. C'est sur cet aspect que la stratégie de travail est primordiale puisque cette dernière doit permettre la participation de tous les acteurs contributifs. Pour chaque paramètre analysé, il est important de prendre contact avec la personne responsable de la structuration de ces données. Durant ces séances, il a fallu appréhender la méthodologie de recueil des données ainsi que les traitements déjà réalisés. Afin d'appréhender les méthodologies de récolte des données des sorties de terrains ont été réalisées. Puis, à partir de ces sources d'informations, il a fallu définir la valeur la plus représentative de la qualité des cours d'eau. Pour ces traitements supplémentaires, la coopération avec les responsables de section est primordiale. Cette démarche permet ; d'une part, d'avoir une modélisation la plus représentative et ; d'autre part, d'impliquer les collaborateurs au sein de ce projet.

Puis, l'organisation de plusieurs séances concernant le suivi du projet ont permis d'avoir des retours fréquents afin de mettre en place des réorientations dans l'objectif d'avoir des résultats de plus en plus satisfaisants. Ces suivis ont également permis de constater la présence d'erreur de modélisation qui ont pu être réparées avant la finalisation du projet.

Enfin, l'intégration au sein de l'équipe a permis une meilleure collaboration. Plusieurs séances de formations ont été organisées et ont permis un réel partage de connaissances entre tous les collaborateurs.

III. Matériels et méthodes

A. Données à disposition

La réalisation de ce projet est principalement axée sur le traitement des données de qualité pour pouvoir les valoriser sous SIG. Ces pré-traitements ont pour objectifs de faciliter leur intégration sur ArcGis. La première phase a alors consisté à recueillir et s'appropriier l'ensemble des données mises à disposition tout en respectant les préconisations des bases légales, SMG et OEaux (Cf. I.B.2).

1. Chimie

a) Nutriments

L'évaluation des nutriments est constituée de deux réseaux de mesures et est soumise aux exigences du SMG (Cf. I.B.2.b). Souhaitant avoir les valeurs les plus représentatives, il ne faut pas conserver des valeurs trop anciennes. De plus, il est essentiel de considérer la fréquence de prélèvement de chaque réseau. En se basant sur les prérogatives du SMG, il faut avoir au minimum 12 valeurs pour utiliser le percentile 90 et ne pas être trop péjorant. L'évaluation des nutriments est fortement influencée par l'hydrologie et peut varier considérablement d'une année à l'autre. En considérant ces facteurs, l'exploitation des valeurs du réseau principal sera réalisée avec le percentile 90 des 3 dernières campagnes de mesure c'est-à-dire entre 2018 et 2020. Tandis que la qualité du réseau secondaire sera évaluée à partir des prélèvements réalisés pendant les deux dernières campagnes. Les prélèvements du réseau secondaire sont échelonnés entre 2006 et 2020. De cette façon, l'influence de l'hydrologie sur les concentrations en nutriments est réduite et le traitement de données pourra être réalisé selon les préconisations du SMG (Tableau 2a). L'évaluation de la qualité est basée sur les seuils prévus dans le SMG (Tableau 2b).

Tableau 2 Valeurs exploitées et seuils de qualité pour la chimie

Réseau Principal	Réseau Secondaire
3 campagnes 2018/2020	2 campagnes 2006/2020
P90 des 36 valeurs	P90 des 24 valeurs

(b)

Qualité	P90
Très bonne	$P90 < 0.5$
Bonne	$0.5 \leq P90 < 1$
Moyenne	$1 \leq P90 < 1.5$
Médiocre	$1.5 \leq P90 < 2$
Mauvaise	$P90 \geq 2$

b) Métaux

Le réseau pour le suivi des métaux est récent avec des données disponibles depuis 2018. Le traitement des données est uniquement axé sur le réseau principal de mesures (Cf. I.B.2.b). Comme cette évaluation n'est pas explicitée par le SMG, il est nécessaire de définir quelle valeur peut être la plus représentative de la qualité observée. Deux traitements ont alors été réalisés. Le premier consiste en une évaluation de la moyenne des concentrations obtenues sur les trois dernières années. Tandis que le second est basé sur le percentile 90 des concentrations obtenues lors des trois dernières campagnes. Concernant les catégories de qualité, elles sont basées selon le SMG volet nutriments qui permet de définir des seuils selon les exigences de l'OEaux (Tableau 3) (Cf. Figure 5 - I.B.2.b).

Tableau 3 Seuils de qualité pour les métaux

Appréciation	Cr (µg/L)	Ni (µg/L)	Cu (µg/L)	Zn (µg/L)	Cd (µg/L)	Pb (µg/L)
Très Bonne	< 1	< 2.5	< 1	< 2.5	< 0.025	< 0.5
Bonne	1-2	2.5-5	1-2	2.5-5	0.025 - 0.05	0.5 - 1
Moyenne	2-3	5-7.5	2-3	5-7.5	0.05 - 0.075	1-1.5
Médiocre	3-4	7.5-10	3-4	7.5-10	0.075 - 0.10	1.5-2
Mauvaise	> 4	> 10	> 4	> 10	> 0.10	> 2

Après avoir comparé les valeurs obtenues avec la moyenne interannuelle et avec le P90, il s'avère que les résultats du P90 sont plus représentatifs de la qualité des eaux. En effet, la moyenne fournit des évaluations trop mélioratives de la qualité réelle puisque les résultats sont « lissés » et ne font pas ressortir les stations où les résultats sont éloignées des exigences de qualité OEaux. Le P90 est plus représentatif de ces valeurs extrêmes.

c) Micropolluants

Comme pour les métaux, le suivi des micropolluants au sein du réseau pollutions diffuses (Cf. I.B.2.c) n'a débuté qu'en 2018. L'ensemble des prélèvements réalisés entre 2018 et 2020 sont alors analysés. Ce traitement des données a été distingué en deux catégories de micropolluants : les **Médicament/Produits industriels** et les **Pesticides**. Afin de caractériser la qualité des cours d'eau sur le long terme, le réseau de mesure de 14 jours, qui évalue la pollution chronique, a été utilisé. Ce réseau concerne 32 stations et permet d'évaluer l'impact des micropolluants récurrents. Le traitement des données est identique pour les pollutions dites urbaines, **Médicaments/Produits industriels** et les pollutions dites rurales, **Pesticides**. Premièrement, il a fallu catégoriser les substances analysées en fonction de leur utilisation (Tableau 5 et Tableau 4). D'une part, cette classification simplifie la communication auprès des usagers en ciblant une catégorie de substances et non plus une substance unique. D'autre part, elle va permettre de considérer l'effet additif¹³ potentiel puisque le traitement des données proposé considère l'impact cumulé des substances d'une même catégorie observées dans un échantillon.

Tableau 5 Catégories de micropolluants dits ruraux

Pesticides
Insecticides
Fongicides
Herbicides

Tableau 4 Catégories de micropolluants dits urbains

Médicaments et Produits industriels
Antidouleur
Traitement neuronal
Régulateur métabolique
Régulateur endocrinien
Antibiotique
Antibiotique vétérinaire
Anticorrosif

Comme pour les métaux, le SMG des micropolluants est en cours d'élaboration ; par conséquent, il a fallu comparer les valeurs obtenues avec les moyennes interannuelles et les P90. En suivant la méthodologie explicitée ci-dessous, la valeur du P90 a été conservée puisqu'elle était plus représentative de la qualité des cours d'eau.

L'étude de l'impact des micropolluants consiste en une évaluation du quotient de risque qui permet de considérer les NQE définies par le centre écotoxicologique (Cf. I.B.2.c). Ce quotient est déterminé pour chaque substance détectée dans tous les prélèvements considérés. A l'aide d'un tableau croisé dynamique, il est alors possible de déterminer, pour chaque échantillon, la somme des quotients de risque des substances appartenant à une catégorie créée. Le résultat obtenu correspond aux risques cumulés de chaque catégorie de substances. A partir de ces cumuls de risques, il est possible de déterminer le P90 des 3 dernières campagnes, 2018/2020. C'est à partir de cette valeur que la qualité des cours d'eau est évaluée selon la classification proposée pour le SMG qui est en cours d'élaboration (Tableau 6). Outre les seuils de qualité proposés par le centre écotoxicologique, les valeurs ont également été comparées aux seuils de l'OEaux afin de savoir s'il y avait une atteinte ou une non atteinte de la qualité des cours d'eau. Cependant, cette évaluation n'a pas été conservée pour l'étude.

Tableau 6 Seuils de qualité des micropolluants

Qualité	Seuils ECOTOX	Seuils OEaux
Très bonne	QR < 0.1	Atteinte
Bonne	0.1 ≤ QR < 1	
Moyenne	1 ≤ QR < 2	Non-atteinte
Médiocre	2 ≤ QR < 10	
Mauvaise	QR ≥ 10	

Grâce aux seuils définis par le centre écotoxicologique, il est également possible de visualiser l'impact des pesticides sur les trois groupes taxonomiques étudiés (Cf. 16I.B.2.c). Pour cette analyse, il faut suivre la méthodologie présentée pour chaque substance et chaque groupe taxonomique

¹³ Accumulation des risques engendrés par le mélange de substances

2. Biologie

L'évaluation de la qualité biologique est réalisée depuis les années 90 et l'ensemble de ces données sont mises à disposition. Les méthodologies ont évolué passant de l'IBGN¹⁴ à l'IBCH^{10 15} pour désormais utiliser l'IBCH¹⁹. L'ensemble des résultats obtenus depuis les années 90 ont été adaptés selon l'évolution des indices. Grâce à ces données, il est alors possible de réaliser des études tendanciennes de la qualité biologique ou des études comparatives des indices. L'étude présentée est axée sur les IBCH¹⁹ évalués sur les trois dernières campagnes de mesure. L'exploitation de l'ensemble de ces résultats permet de réduire l'effet de l'hydrologie puisque cette dernière influence fortement les populations d'invertébrés. Le traitement des données a consisté en la détermination de la moyenne des IBCH¹⁹, des IBCH¹⁰ et des indices SPEAR sur les trois dernières campagnes de mesure. Puis les résultats des IBCH ont permis de classer la qualité des stations considérées selon les catégories présentées précédemment (Cf. I.B.2.d). L'indice SPEAR n'est pas précisé par le SMG mais son évaluation se base également sur 5 classes de qualité (Tableau 7) (Stucki 2016). L'analyse des moyennes interannuelles obtenues pour l'IBCH¹⁰ et l'IBCH¹⁹ permet de comparer les évaluations qualitatives réalisées en fonction de ces deux indices. Les résultats obtenus montrent que les résultats coïncident en majeure partie (Figure 8). Par conséquent, l'évaluation de la qualité pour cette étude sera réalisée avec l'IBCH¹⁹.

Tableau 7 Seuils de qualité pour le SPEAR

Classes	Seuils
Très bonne	≥ 44
Bonne	44 – ≥ 33 (<80%)
Moyenne	33 – ≥ 22 (<60%)
Médiocre	22 – ≥ 11 (<40%)
Mauvaise	< 11 (<20%)

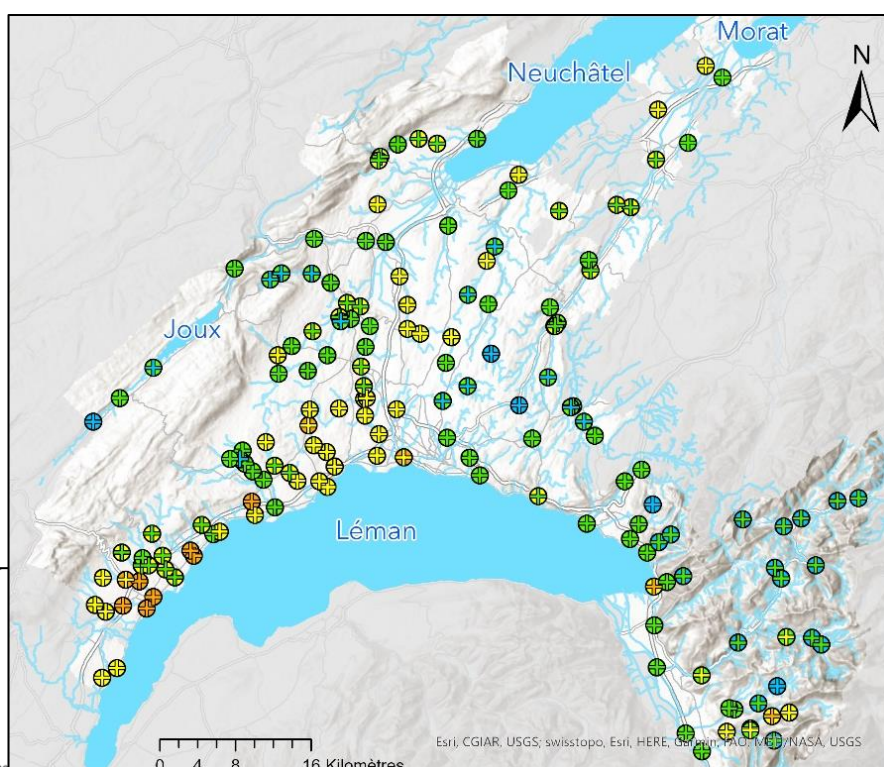
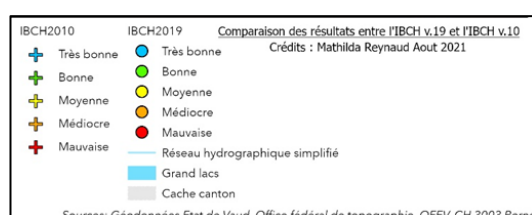


Figure 8 Comparaison des valeurs IBCH¹⁰ et IBCH¹⁹ sur les trois dernières campagnes de mesure

3. EPU

L'évaluation des stations d'épuration a été entièrement élaborée pour cette étude. A l'aide du travail de Malika Gyger, qui s'intéresse aux industries polluantes sur le canton de Vaud, l'évaluation des STEP a été réalisée selon deux notations distinctes. Ces deux notations ont pour objectif de qualifier, d'une part, le fonctionnement d'une station et, d'autre part, l'impact de celle-ci sur le milieu récepteur. Ces notations sont définies par plusieurs critères auxquels des points sont attribués en fonction de la situation de la STEP. C'est la somme de ces points qui correspond à la note finale de la station. L'évaluation qualitative a été réalisée selon 5 classes. De cette façon, il sera possible de visualiser des corrélations entre les paramètres de qualité. Les données utilisées pour

¹⁴ Indice Biologique Global Normalisé – Indice pour la bioévaluation des milieux aquatiques

¹⁵ IBCH version 2010 ou 2019

cette étude datent principalement de 2019 puisque le suivi annuel des STEP a été interrompu en 2020 à cause de la crise COVID-19.

Le fonctionnement des ouvrages a été évalué selon 3 indicateurs : l'appréciation des **déversements**, le **nombre de dépassements** et le **nombre moyen de paramètres dépassés**. La notation des **déversements** a été élaborée selon une appréciation faite par Guillaume Crosset-Perrotin, équipe EPU, qui a évalué la fréquence des déversements directs dans le milieu en 2020. La notation s'échelonne en 3 catégories notées de 0 à 2 (Tableau 8a). Le **nombre de dépassements** correspond à l'évaluation du nombre de fois que la station n'a pas respecté les normes fixées par l'OEaux que ce soit en termes de rendement épuratoire ou de concentration en sortie. Pour cet indicateur, les données utilisées ont été mesurées en 2019 et il ne tient pas compte du paramètre pH. La notation a été élaborée selon 6 catégories et ne pécjore pas les stations ayant au maximum 2 dépassements sur l'année (Cf.I.B.2.a) (Tableau 8b). Enfin le **nombre moyen de paramètres dépassés** correspond à la moyenne annuelle du rapport entre le nombre de paramètres dépassés, sans le pH, et le nombre de paramètres normés. Ce rapport permet de caractériser le nombre de paramètres pour lesquels le rejet est insatisfaisant vis-à-vis de la norme. Les données utilisées proviennent des analyses de 2019. Cet indicateur est noté selon 6 catégories (Tableau 8c). La somme des points obtenus pour ces trois indicateurs permet de définir la qualité globale du fonctionnement des STEP selon 5 catégories (Tableau 8d).

Tableau 8 Notation du fonctionnement des STEP

(a)

Fréquence	Points
Rare ou inexistant	0
Par temps de pluie	1
Fréquent	2

+

(b)

Nb dépassements	Points
0	0
<=2	1
>2-<=4	2
>4-<=6	3
>6-<=8	4
> 8	5

+

(c)

Moyenne obtenue	Points
0	0
<=0.2	1
>0.2 - <=0.4	2
>0.4 - <=0.6	3
>0.6 - <=0.8	4
> 0.8	5

=

(d)

Notation globale	
Somme points	Qualité
<=2	Très bonne
>2-<5	Bonne
>=5-<8	Moyenne
>=8-<10	Médiocre
>=10	Mauvaise

Le risque de rejet des STEP pour le milieu récepteur est évalué grâce à 3 indicateurs qui correspondent au **nombre de dépassements annuels**, la **gravité des dépassements** et l'**effet de dilution**. L'évaluation du **nombre de dépassements** est réalisée à partir des concentrations moyennes annuelles en sortie de STEP. Cet indicateur ne prend pas en compte les non-conformités en termes de rendement épuratoire puisqu'ils ne représentent pas l'impact des rejets sur le milieu. Ce nombre de dépassements a été évalué sur l'année 2019 et ne prend pas en compte le pH puisqu'il n'est pas cohérent de déterminer un pH moyen sur l'année. Comme pour l'évaluation du fonctionnement le nombre de dépassements a été noté selon 6 catégories (Tableau 9a). L'indicateur de **gravité de dépassement** correspond au taux de dépassement de la concentration moyenne annuelle en sortie par rapport à la norme en vigueur. Il est défini par le rapport entre la concentration moyenne annuelle en sortie et la norme législative. Pour les stations qui ne sont pas normées, la norme la plus basse a été appliquée puisque l'objectif est d'analyser l'impact potentiel sur le milieu récepteur et non le fonctionnement de l'ouvrage. La notation a été réalisée en 6 catégories (Tableau 9b). Enfin, la notation de l'**effet de dilution** a été élaborée par Malika Gyger et Claude-Alain Jaquerod. Elle consiste en une appréciation de la proportion des débits de rejet des STEP vis-à-vis des débits d'étiage, Q_{347}^{16} , des cours d'eau récepteurs. Le postulat initial précise que *si le débit de cours d'eau est inférieur au débit de rejet alors l'épuration naturelle sera moins efficace et les rejets seront plus impactants*. La notation est basée selon 5 classes (Tableau 9c). Cette évaluation est réalisée pour chaque paramètre analysé, mis à part le pH ; chaque STEP a alors 7 notes de risque de rejet, une par paramètre (Tableau 9d).

¹⁶ Débit d'étiage, d'une STEP ou d'une rivière, dépassé 347 jours par an ou 95% du temps

Tableau 9 Notation des risques de rejet des STEP

(a)			(b)			(c)			(d)	
Nb dépassements	Points		Gravité	Points		Effet de dilution	Points		Notation globale	
0	0		<1	0		>25.1	1		Somme points	Qualité
<=2	1	+	=1 - <= 1.1	1	+	10.1 - 25	2	=	<=4	Très bonne
>2 - <=4	2		1 - <=1.2	2		5.1 - 10	3		>4 - <=7	Bonne
>4 - <=6	3		1.2 - <=1.3	3		1 - 5	4		>7 - <=10	Moyenne
>6 - <=8	4		1.3 - <=1.4	4		< 1	5		>10 - <=12	Médiocre
> 8	5		>1.4	5					>12	Mauvaise

B. Cadre méthodologique

1. Echelle spatiale

Cette étude répond à plusieurs enjeux en se positionnant au centre de diverses problématiques environnementales. Elle correspond à la mise en relation de plusieurs paramètres pour l'évaluation de la qualité des eaux superficielles. La gestion par bassin versant oriente la méthodologie de travail vers une harmonisation des données mais aussi vers une gestion plus intégrative des caractéristiques territoriales. Les objectifs portés par cette étude obligent à développer un regard orienté vers l'ensemble du canton. Cette échelle spatiale permet de concevoir les principaux enjeux en termes de protection des cours d'eau. Or, cette dimension ne permet pas d'avoir une appréciation précise et localisée des impacts. Afin d'améliorer ce manque de précision, cette étude est découpée en deux phases. Premièrement, elle est réalisée au niveau cantonal pour visualiser les régions les plus soumises à la dégradation des milieux. Puis, une analyse par bassins versants permettra de concevoir les facteurs les plus impactants et ainsi d'orienter les politiques à mettre en place.

Le choix de l'échelle d'étude pour les bassins versants est essentiel et doit permettre d'appuyer les décisions pour la protection et la préservation des espaces aquatiques. L'objectif étant de remonter l'information obtenue par les stations jusqu'aux bassins versants cantonaux en ayant une compréhension des relations présentes entre ces niveaux de spatialisation (Figure 9).

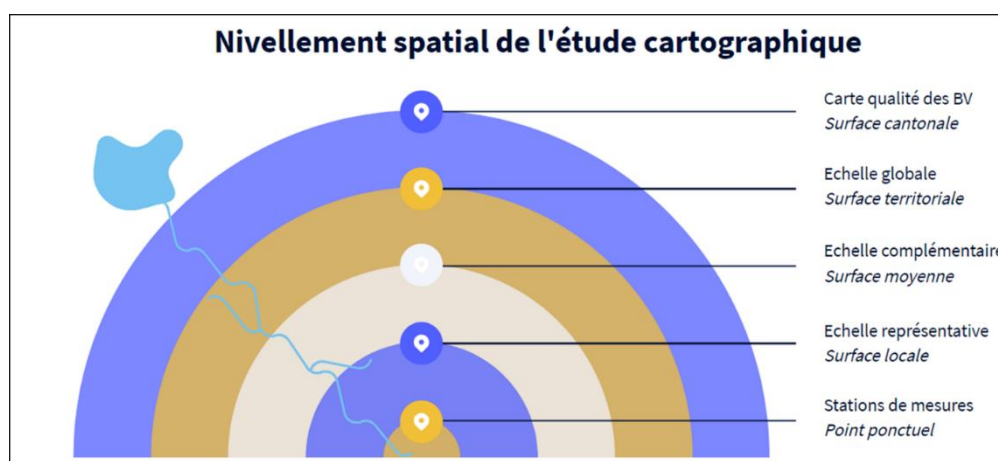


Figure 9 Interaction entre les niveaux de spatialisation

Premièrement, l'étude a été réalisée à l'aide des bassins versants préalablement créés par la Confédération. Ces derniers ont été élaborés à plusieurs échelles spatiales. En effet, la Confédération a défini des bassins d'une surface de 2km², 40km² et 150km² (Annexe 8). Ce découpage répond à la problématique puisqu'elles permettent de superposer différents niveaux de visualisation complétant ainsi les lacunes d'informations présentes à une échelle inférieure. De plus, la construction de ces bassins a été réalisée grâce à un échelonnement spatial. Ainsi, chaque bassin versant est codifié avec des identifiants H1 et H2. Ces derniers permettent de construire l'ensemble du bassin versant amont d'une entité précise. Ces bassins répondent aux attentes méthodologiques de cette étude ; cependant, ils ne sont pas représentatifs du territoire vaudois. Or, l'échelle spatiale choisie est primordiale et doit être un outil de communication important. Par conséquent, les bassins versants utilisés pour cette étude doivent être représentatifs des cours d'eau majeurs.

Pour cela, deux solutions ont été envisagées. Premièrement, les outils mis à disposition par le logiciel ArcMap 10.6 permettent, grâce à l'extension Spatial Analyst et à l'outil *WATERSHED*, de construire les bassins de drainage à partir d'un Modèle Numérique de Terrain, MNT. Or, le territoire vaudois est très spécifique avec la présence de grands lacs qui sont alimentés par de petits cours d'eau. Par conséquent, les résultats obtenus montrent ; d'une part, de très grands bassins versants comme l'Orbe ou la Broye et ; d'autre part, des bassins versants très limités autour des lacs (Annexe 9). Cette disparité ne permet pas d'élaborer une stratégie territoriale satisfaisante.

Dans l'objectif de construire une gestion cohérente sur l'ensemble du territoire, une seconde solution a été exploitée. Elle consiste en la construction des bassins versants vaudois à partir du découpage déjà réalisé par la Confédération. Ces nouvelles entités permettent d'établir une échelle cantonale de gestion tout en légitimant les choix politiques qui vont découler de la planification cantonale. De plus, la réalisation de cartes basées sur les bassins versants vaudois permettra de communiquer plus simplement auprès de la population. Cette construction a été réalisée en collaboration avec Emilie Hanus et Florence Dapples qui ont orienté cette démarche. A partir des bassins versants de 2km² situés en aval et de leurs codes H1 et H2, il a été possible de réaliser une requête sur ArcGIS Pro. Cette dernière a permis de reconstruire l'ensemble des bassins amonts. En parallèle, une photo-interprétation des réseaux hydrographiques a permis d'avoir plus de précision sur les connectivités hydrologiques. Cette approche intégrative permet d'avoir une meilleure appropriation des spécificités du territoire. Les bassins créés sont plus représentatifs du territoire et plus intégratifs que les bassins de 150km² définis par la Confédération.

L'utilisation commune des bassins versants de la Confédération, de 2 et 40 km², et des bassins vaudois créés permet d'exploiter plusieurs échelles spatiales de visualisation en allant d'un niveau ponctuel à un niveau cantonal. Pour ces raisons, la création des bassins versants vaudois est une solution cohérente pour répondre aux enjeux de ce projet. Cette échelle cantonale remplace les bassins versants initiaux de 150km² tout en conservant les découpages initiaux. Désormais, les 34 bassins vaudois créés représentent l'échelle cantonale de priorisation (Figure 10).

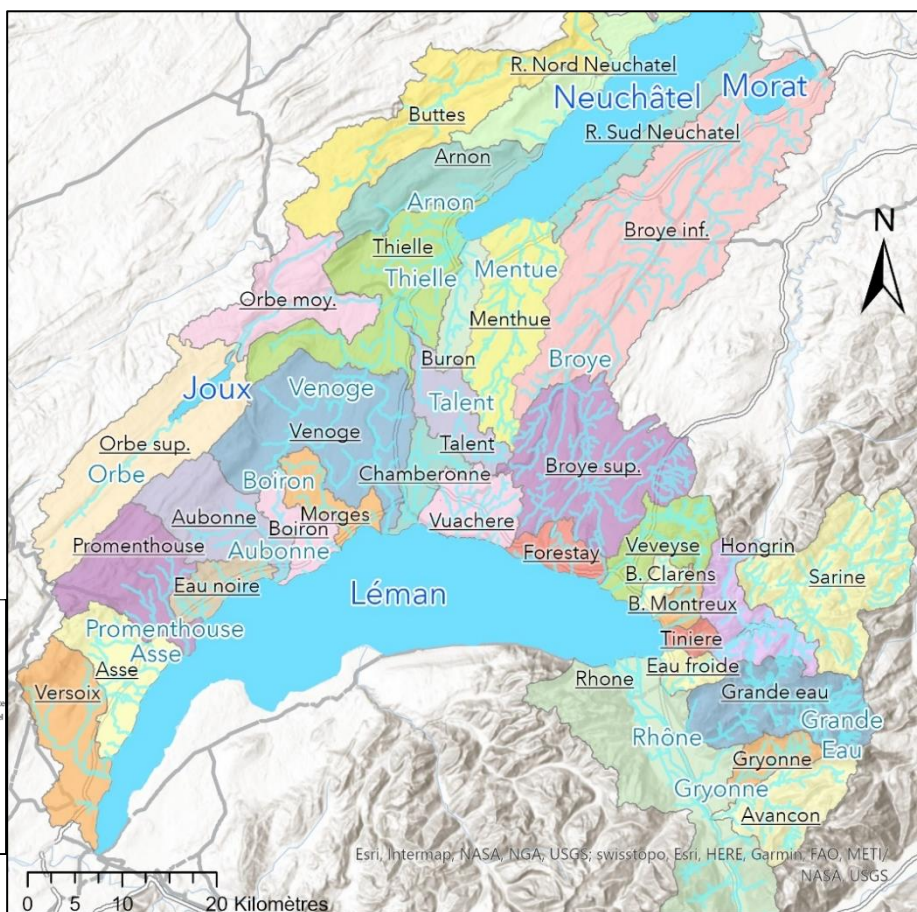
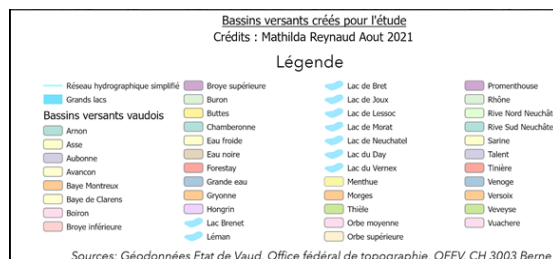


Figure 10 Bassins versants vaudois créés pour l'étude

C. Méthodologie

La méthodologie adoptée a évolué tout au long du projet puisque de nombreux essais ont été réalisés afin d'aboutir à un résultat cohérent. Au cours de cette étude, plusieurs approches ont été utilisées et ont permis de préciser au fur et à mesure l'étude réalisée. Les approches adoptées durant ce stage correspondent à une **approche sectorielle**, une **approche intégrative** puis une **approche intersectorielle**.

1. Approche sectorielle

La première phase de ce projet a consisté à adopter une **approche sectorielle** dans l'objectif de comprendre les enjeux et visualiser les intrants impactants les eaux superficielles (Figure 11). Cette première étape a permis de localiser les sources de pollutions potentielles vis-à-vis de paramètres évalués par les sections. L'objectif de cette première réflexion consiste à comprendre comment les activités anthropiques influencent les eaux superficielles. Pour visualiser l'ensemble de ces enjeux plusieurs réunions ont été organisées avec les chefs de sections. Ces réunions ont également permis d'appréhender la législation Suisse vis-à-vis de la qualité des cours d'eau. Ce premier état de l'art a contribué à l'élaboration d'indicateurs de qualité des eaux spécifiques à chaque section.

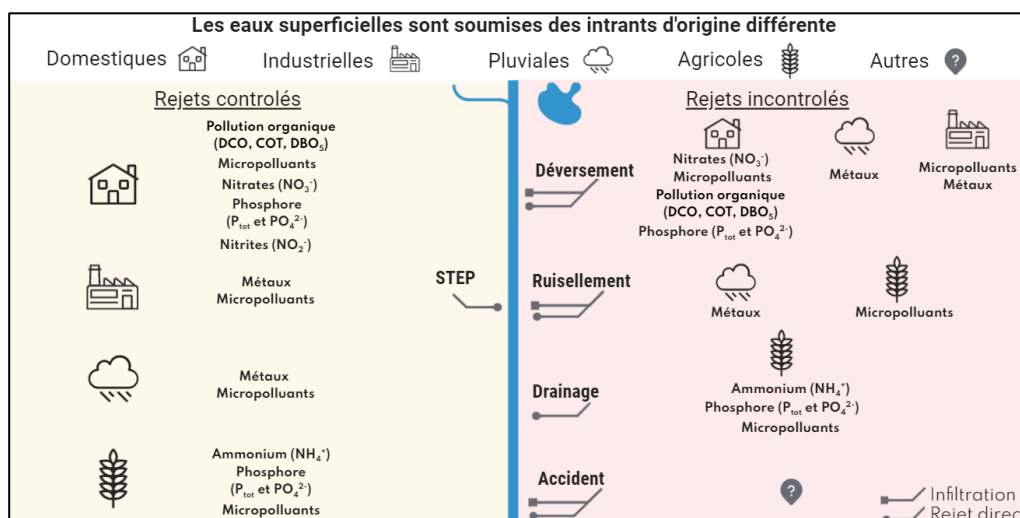


Figure 11 Définition des intrants impactants les eaux superficielles

La mise en commun de ces informations a permis de construire un tableau synthétique des indicateurs de qualité évalués par chaque section ainsi que les attentes en termes de qualité des eaux de surface. C'est à partir de ces indicateurs que le recueil des informations a été organisé. Cette étape a consisté à comprendre sous quelle forme les données sont disponibles et ainsi commencer à visualiser les traitements nécessaires et leur valorisation. Malgré cette première réflexion, certains questionnements concernant la spatialisation ne sont pas encore résolus (Annexe 10). En parallèle, la réalisation d'un inventaire des données mises à disposition permet d'avoir une compréhension plus complète des travaux réalisés au sein de la DGE. Cette étape a également orienté l'élaboration des indicateurs de qualité exploitables. Cette première approche a permis de créer les fondations de ce projet puisqu'elle a permis à chaque chef de section de contribuer à son élaboration. De plus, cette première réflexion méthodologique a permis d'appréhender les attentes de la DGE tout en incluant l'ensemble des enjeux et bases légales qui vont orienter ce projet jusqu'à son terme.

C'est à partir de ces indicateurs que le traitement des données puis leur spatialisation ont été réalisés. Après la phase de traitement des données (Cf. III.A), la spatialisation de la qualité obtenue

à l'échelle de la station a été réalisée pour la chimie et la biologie à l'aide de Modèles Builder¹⁷. Ces derniers permettent d'automatiser les procédures exécutées sur ArcGis et ainsi simplifier l'exploitation des données. La méthodologie consiste en la création d'un fichier Excel spécifique à l'importation des données sous SIG. Ce dernier ne doit pas contenir de caractères spéciaux et chaque colonne ne doit contenir qu'un type de données avec un en-tête unique. Puis, il faut que les intitulés de colonne, appelée champ sous SIG, soient explicites pour que cette future table attributaire puisse être aisément réutilisée. Les informations contenues dans ce fichier dépendent des objectifs de la spatialisation ; toutefois, il doit contenir les coordonnées X et Y, voire Z si nécessaire, pour chaque objet à spatialiser (Annexe 11a). Afin de limiter au maximum les erreurs de manipulation, l'évaluation de la qualité a été automatisée grâce à une formule Excel (Annexe 11b). Puis, des règles de mises en formes automatiques ont été appliquées sur les valeurs de qualité (Annexe 11c) pour avoir une double vérification de la classe de qualité obtenue. Le modèle Builder créé pour l'importation des données permet, d'abord, de convertir les données d'une table Excel en table attributaire, exploitable sous ArcGis, puis de spatialiser cette table à partir des champs X et Y. Pour cette étape, le choix de système de projection¹⁸ est essentiel, le système utilisé par la Suisse est le **CH1903+**. L'explication du Modèle Builder est présenté en Annexe 12. Dès que les stations de mesure ont été spatialisées, il suffit de modifier la symbologie pour visualiser la qualité obtenue à partir des prélèvements (Figure 12).

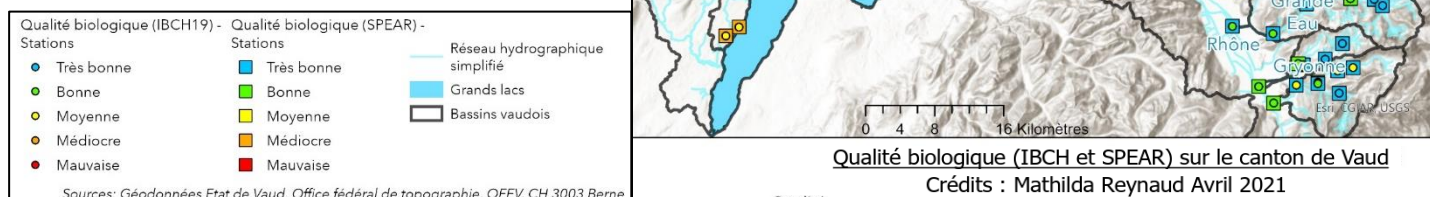


Figure 12 Spatialisation de la qualité biologique obtenue pour les stations avec l'IBCH¹⁹ et le SPEAR

A partir de cette spatialisation, il faut remonter l'information jusqu'au niveau cantonal afin de visualiser la qualité des eaux superficielles. Cette étape est scindée en plusieurs étapes intermédiaires qui doivent permettre d'avoir une projection couvrante. La première étape consiste à projeter les valeurs de qualité sur chaque niveau spatial présenté précédemment (Cf. III.B.1). Ces niveaux correspondent aux bassins versants de 2 km², 40 km² et aux bassins vaudois créés (Figure 10). La méthodologie proposée pour cette projection repose sur trois règles, ces dernières assurent la répétabilité des résultats et permettent d'homogénéiser les géotraitements entre les sources de données.

- Si plusieurs valeurs de qualité sont sur une même entité de projection - **Conserver la valeur la plus péjorante**,

¹⁷ Outil disponible sous ArcGis afin d'automatiser les opérations cartographiques

¹⁸ Référentiel permettant de projeter des informations géographiques sur une surface non plane

- Lors de la mise en commun de plusieurs projections - **Conserver la projection faite sur l'échelle la plus fine,**
- Si plusieurs valeurs de qualité identiques sont sur une même entité de projection - **Conserver la valeur la plus récente ou récurrente.**

En respectant ces énoncés, il faut réaliser trois projections distinctes, une par échelle spatiale, puis la superposition de ces niveaux de projection permet de visualiser comment les projections des mailles supérieures complètent les informations manquantes sur les mailles inférieures. Concernant les géotraitements SIG, ils consistent à appliquer les valeurs de qualité ponctuelles sur les entités surfaciques grâce à des jointures spatiales. Ces étapes ont également été automatisées à l'aide d'un modèle Builder (Figure 13). L'exemple présenté ci-dessous concerne la projection de la qualité biologique sur les bassins de 2km².

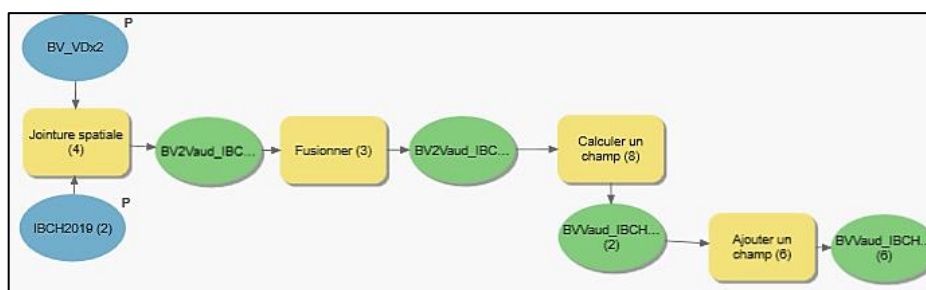


Figure 13 Modèle Builder pour la projection de valeurs de qualité biologique

La première étape, réalisée avec l'outil *JOINTURE SPATIALE*, permet d'appliquer les valeurs mesurées au niveau de la station sur le bassin dans lequel elles se trouvent. Comme plusieurs stations peuvent se situer sur un même bassin et qu'il faut conserver l'ensemble de ces valeurs, l'opération de jointure doit être « Joindre un à plusieurs » (Annexe 13a). Cette opération copie le polygone du bassin autant de fois qu'il y a une station de mesure sur sa surface. A cette étape le bassin versant est caractérisé par autant de valeurs de qualité qu'il y a de stations de mesure. Puis, l'outil *FUSIONNER* permet de fusionner toutes les informations de qualité concernant un même bassin. Grâce à cet outil, il est possible de réaliser des statistiques ou des calculs comme la somme des valeurs fusionnées. D'après les règles de projection, le type de statistiques à réaliser est « minimum » afin de conserver la plus petite valeur d'IBCH mesurée sur un bassin. Le résultat obtenu représente chaque bassin versant caractérisé par la valeur de qualité la plus péjorative (Cf. I.B.2.d) (Annexe 13b). Toutefois, la table attributaire de cette couche ne contient plus les évaluations qualitatives préalablement construites. Il faut alors recréer ce champ et calculer les classes de qualité à l'aide d'un code Arcade qui est le langage développé pour ArcGis (Tableau 10). Ce modèle Builder a été réalisé pour projeter les valeurs de qualité sur les bassins versants de 2 et 40 km² ainsi que sur les bassins vaudois créés.

Tableau 10 Définitions des classes de qualité via Arcade

```
When(
$feature.MIN_IBCH2019_Moy > 0 &&
$feature.MIN_IBCH2019_Moy < 0.2, "Mauvaise",
$feature.MIN_IBCH2019_Moy >= 0.2 &&
$feature.MIN_IBCH2019_Moy < 0.4, "Mediocre",
$feature.MIN_IBCH2019_Moy >= 0.4 &&
$feature.MIN_IBCH2019_Moy < 0.6, "Moyenne",
$feature.MIN_IBCH2019_Moy >= 0.6 &&
$feature.MIN_IBCH2019_Moy < 0.8, "Bonne",
$feature.MIN_IBCH2019_Moy >= 0.8, "Tres bonne",
"<Nul>")
```

Les résultats témoignent de l'importance de l'échelle spatiale choisie. En effet, les trois projections obtenues (Annexe 14, Annexe 15 et Annexe 16) montrent que la fiabilité de la projection diminue avec les mailles les plus larges. Cette spécificité montre également l'importance de la règle de projection n°2 qui permet de conserver les résultats les plus précis c'est-à-dire projetés sur les mailles les plus fines. Basée sur cette règle, la superposition de ces trois projections va permettre d'obtenir une carte dans laquelle les informations des mailles les plus fines vont être complétées par les projections faites sur les mailles supérieures (Annexe 17). L'objectif étant de conserver les

informations de qualité les plus précises. La combinaison de ces projections a également été réalisée à l'aide d'un modèle qui permet de prioriser les projections faites sur les mailles les plus fines.

Cette méthodologie a été réalisée avec les données de chimie et biologie. Cependant, les projections de la qualité chimique n'ont pu être exploitées sous ce format. En effet, il était nécessaire d'avoir une projection par paramètre, ce qui engendrait la création de 6 cartes indépendantes. Cette séparation des données ne répondait pas aux objectifs du projet. En effet, ce dernier doit permettre de prioriser les bassins versants en fonction des différentes données de qualité disponibles. De plus, le réseau de suivi n'est pas suffisamment couvrant sur le territoire. Par conséquent, les interpolations ne sont pas assez précises. L'étude à l'échelle cantonale sera basée sur les données de qualité biologique. Cet indicateur est intégratif de l'impact des pressions influençant les milieux. Par conséquent, ce paramètre est caractéristique des perturbations extérieures. De cette façon, il sera possible de localiser les territoires impactés au niveau cantonal puis, à l'échelle du bassin versant, identifier les paramètres dégradants la qualité biologique (Figure 14).

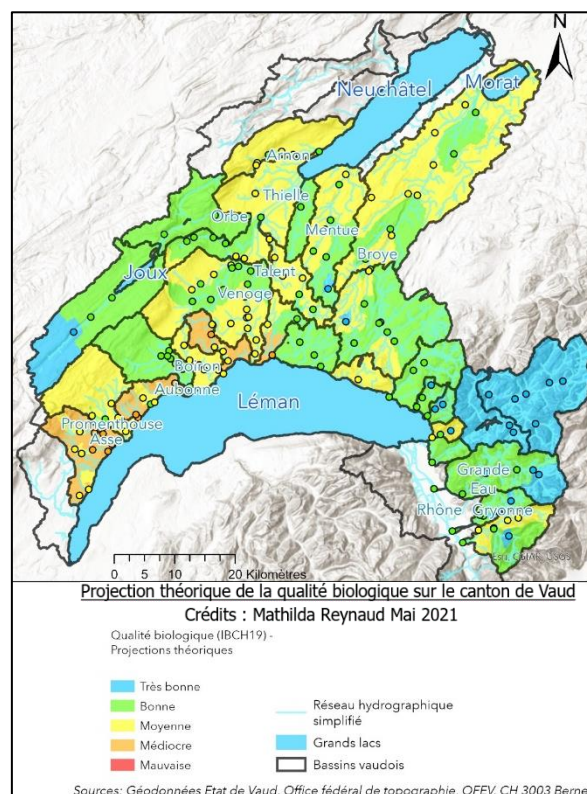


Figure 14 Carte de calculs théoriques de la qualité biologique sur le canton

2. Approche intégrative

a) Evaluation qualitative

En choisissant la qualité biologique comme paramètre fondateur de la priorisation par bassin versant, il faut que sa représentation soit la plus précise possible. Il est nécessaire d'adopter une **approche intégrative** pour intégrer, d'une part, les spécificités territoriales et, d'autre part, les observations faites lors des prélèvements. Cette approche est orientée vers le territoire et doit permettre de localiser les facteurs impactants les eaux de surface. L'utilisation de la biologie est cohérente puisqu'elle permet d'avoir une évaluation au niveau cantonal tout en étant représentative des pressions anthropiques.

Malgré la pertinence de la carte de biologie construite pour cette étude, elle présente des imprécisions géographiques puisque la méthodologie adoptée ne considère pas la continuité hydrologique des cours d'eau (Annexe 18). Pourtant, cette caractéristique est primordiale afin de supposer la diffusion des pollutions. Toutefois, cette diffusion ne peut être incluse puisqu'il faudrait identifier la longueur de propagation des pollutions dans le cours d'eau. Afin de considérer ce facteur et en se basant sur la continuité fluviale, des adaptations cartographiques ont été réalisées à partir du postulat suivant : *La qualité biologique mesurée à une station donnée reflète la qualité des eaux en amont de cette station.* C'est à partir de ce postulat que les adaptations ont été réalisées. Ces modifications cartographiques précisent l'analyse réalisée et corrigent les imprécisions précédemment constatées (Annexe 20). Ces adaptations permettent d'avoir une visualisation plus précise et révèle, pour certain bassin, une gradation de la qualité d'amont en aval. Par exemple, le bassin versant de la Tinière est caractérisé par une telle gradation (Figure 15).

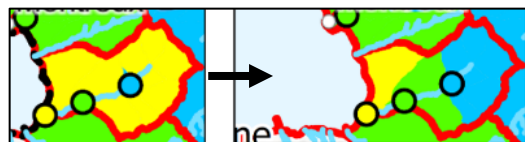


Figure 15 Adaptations apportées sur la Tinière

C'est à partir de cette nouvelle visualisation que la priorisation est réalisée. Puis, l'étude se précise à l'échelle des bassins versants en se basant sur les autres indicateurs de la qualité des eaux comme les mesures de chimie ou les STEP.

b) La Venoge

Afin de développer la méthodologie, l'étude sera axée sur un bassin directeur, celui de la Venoge (Cf. III.B.1). Ce cours d'eau a un linéaire de 40km traversant un bassin de 240km². Il appartient au patrimoine vaudois et est au cœur de plusieurs opérations de restaurations afin de réduire d'impact de l'endiguement (Rieder 2021). L'ensemble des paramètres exploités pour cette étude sont analysés sur ce bassin versant et près de 20 STEP sont présentes sur ce territoire. De plus, la qualité biologique est moyenne sur l'ensemble du bassin sauf pour l'ensemble d'un affluent de la Venoge, le Veyron (Figure 16). Ces caractéristiques permettent d'exploiter au maximum la méthodologie créée et ainsi évaluer de sa fiabilité. De plus, le Veyron fait partie du recensement **Perle de rivière** élaboré par WWF (WWF 2018) et nécessite une protection accrue. Cette étude permettrait alors de cibler les enjeux majeurs de ce territoire.

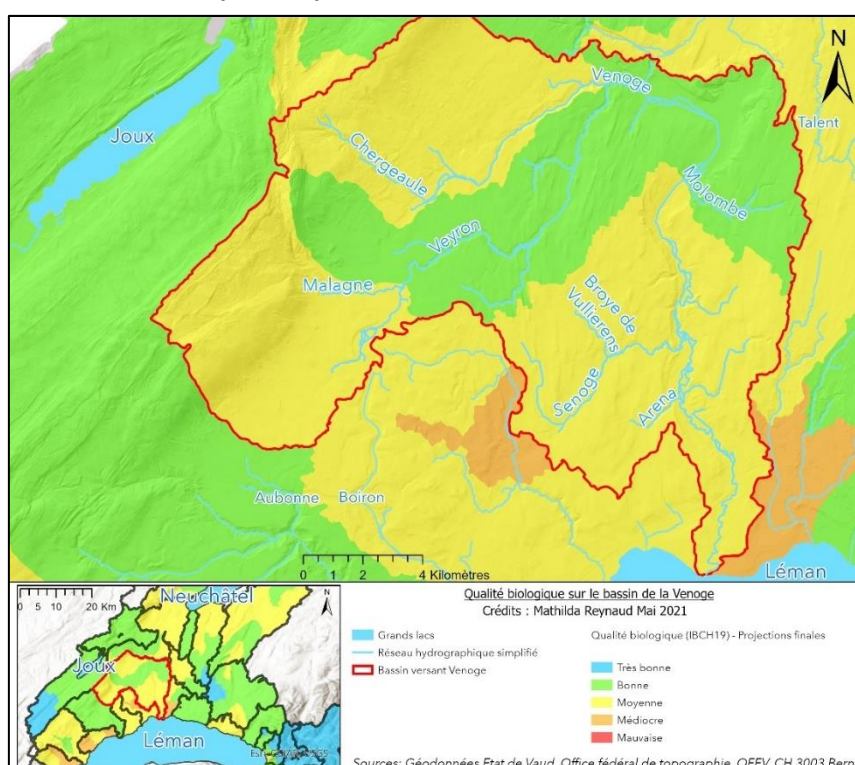


Figure 16 Qualité biologique obtenue sur le bassin de la Venoge

L'étude des paramètres de qualité va permettre de préciser les sources de dégradation possibles. Leur évaluation ne sera pas projetée sur des entités surfaciques. Cette phase de l'étude se concentre donc sur les évaluations ponctuelles des stations de chimie et des STEP. L'enjeu principal de cette phase est de réussir à visualiser le plus d'informations possibles sur une même carte afin d'avoir une évaluation complète des paramètres constitutifs d'un même réseau de mesure. Plusieurs méthodes de valorisation vont alors être utilisées pour que ces cartes puissent être exploitées afin d'assurer la communication de la qualité des eaux vis-à-vis de la population.

L'utilisation de la symbologie sur ArcGis est essentielle pour la construction des cartes. Plusieurs outils sont disponibles et permettent de mettre en valeur différents types de données. Une bonne connaissance de ces outils peut être un atout afin d'adapter leur utilisation selon les besoins de l'étude. L'utilisation des diagrammes a pour objectif de montrer la répartition de plusieurs catégories au sein d'un même lot de données. Cette représentation pourrait être exploitée pour cette étude puisqu'elle permettrait de visualiser plusieurs paramètres de qualité, un paramètre correspondant à une part du diagramme, tout en visualisant la qualité obtenue, représentée par la colorisation de la part concernée (Figure 17). En se basant sur les travaux d'Elise Folly qui a travaillé sur la thématique de priorisation par bassin versant sur le canton de Fribourg (Mennel et al. 2021), cette représentation a été réalisée pour l'évaluation des paramètres chimie ainsi que pour l'évaluation des risques de rejet pour les STEP. La visualisation de l'état des STEP est basée, d'une part sur ces diagrammes pour le risques de rejet et, d'autre part, sur une pastille centrale de couleur permettant de caractériser le fonctionnement (Figure 18). Grâce à ces méthodes de visualisation, l'ensemble des données concernant la chimie des eaux et les STEP on été valorisées sur le canton de Vaud. Néanmoins leur exploitation ne sera réalisée que sur le bassin de la Venoge.

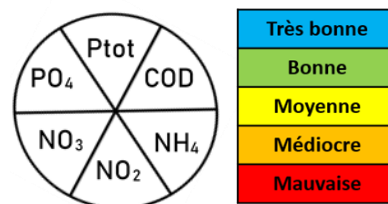


Figure 17 Symbologie pour la qualité chimique

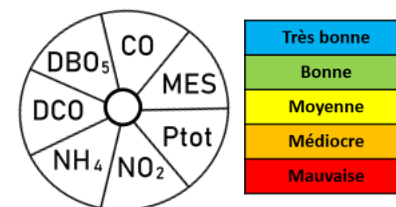


Figure 18 Symbologie pour l'évaluation des STEP

c) Occupation du sol

Outre les mesures réalisées par la section PRE, la qualité des eaux superficielles est fortement influencée par l'occupation du sol. Cette dernière a été cartographiée par l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage, WSL (Steinmeier 2013). Cette carte représente l'occupation du sol selon 5 catégories qui sont les surfaces artificielles, les surfaces agricoles, les forêts et zones semies naturelles, les zones humides et les masses d'eau (Figure 19). Cette cartographie permet d'avoir une première information sur l'occupation du sol dans chaque bassin versant. Néanmoins, elle n'est pas suffisamment précise pour une étude à l'échelle du bassin versant. En effet, cette cartographie doit pouvoir être utilisée à une échelle plus fine et contenir des informations sur les éléments constitutifs de ces grandes catégories. Par exemple, le réseau routier est une source de pollution non négligeable pour les eaux superficielles. Une cartographie plus précise permet alors d'avoir une appréciation de l'impact des routes sur les cours d'eau.

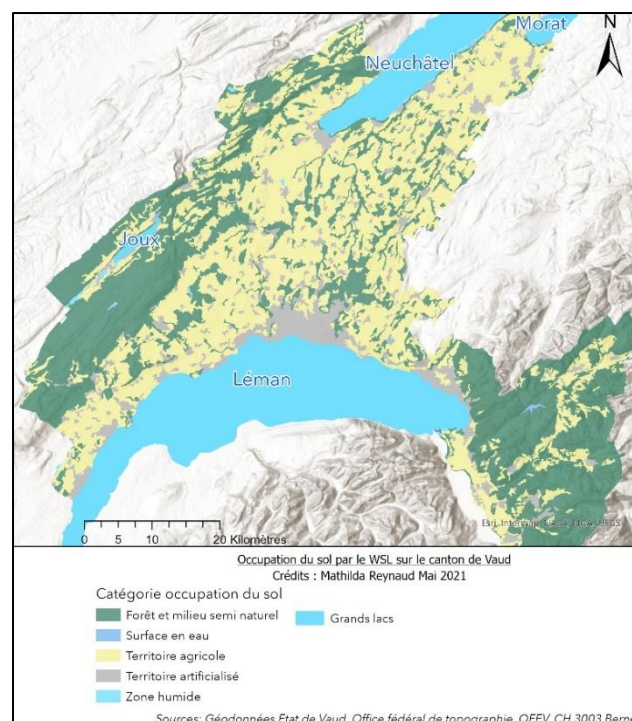


Figure 19 CLC Suisse élaboré par le WSL découpé en fonction du canton de Vaud

La création d'un fond de carte de l'occupation du sol, basé sur le travail du WSL, permet d'inclure les caractéristiques territoriales au sein de la notation des bassins versants. Cette réalisation nécessite le recueil de l'ensemble des données disponibles ainsi que leur agrégation afin d'obtenir un fond de carte surfacique complet. Or, ces données proviennent de sources diverses et ces agrégations entraînent des superpositions desquelles il faut déterminer l'information prioritaire

c'est-à-dire celle à conserver au détriment de la seconde. Pour cela, il faut définir des choix méthodologiques précis qui assureront la répétabilité de cette étude. Souhaitant visualiser les facteurs impactants les eaux de surface, les objets considérés comme ayant un impact certain sont prioritaires par rapport à ceux qui en ont le moins. De plus, l'objectif de cette carte est de visualiser, d'une part, les grandes catégories de l'occupation du sol et, d'autre part, cibler les objets impactants. Pour cela, les éléments les plus précis, appelés éléments ponctuels, seront conservés jusqu'à l'agrégation finale. Ces éléments concernent les routes, les bâtiments, les masses d'eau, etc. L'occupation du sol sera caractérisée selon 5 catégories inspirées des CLC européen et suisse : les milieux aquatiques, les territoires agricoles, territoires anthropisés, territoires naturels végétalisés et les territoires naturels non végétalisés. A partir de cette information, il est possible de commencer le recueil des données disponibles.

La plupart des informations utilisées proviennent du TLM3D qui est un atlas de plusieurs objets composants le paysage Suisse. Quant à l'agriculture, la localisation des parcelles est disponible avec l'inventaire des Surfaces Agricoles Utiles, SAU. Les surfaces d'alpages appartiennent également aux surfaces agricoles. Ces dernières font l'objet d'un inventaire annuel cantonal. Les zones humides sont inventoriées et validées grâce à des inventaires cantonaux et nationaux. La base de données GESREAU fournit des informations sur l'écomorphologie précisant la largeur des cours d'eau. Enfin les surfaces aquatiques sont inventoriées par les gardes-pêche. L'étape préliminaire a consisté à recueillir l'ensemble de ces données et de les catégoriser (Tableau 11).

Tableau 11 Sources des données exploitées et catégorisation -
* : Eléments dits ponctuels

TLM3D	GESREAU	Garde pêche
Bâtiments*	Ecomorphologie*	Masses d'eau*
Réseau ferroviaire*	Cours d'eau ordonnancés	SAU
Réseau routier*	Inventaires cantonaux	Parcelles agricoles
Arbre isolé	Zones alluviales*	Zones d'alpage
Couverture du sol	Hauts marais*	
Surfaces spécifiques	Bas marais*	
Zones bâties*		

Territoires anthropisés – Milieux aquatiques - Territoires agricoles -
Territoires naturels végétalisés - Territoires naturels non végétalisés

Grâce à ce jeu de données, il est possible d'avoir une visualisation complète de l'occupation du sol. Cependant, ces données nécessitent un traitement en amont afin de pouvoir être exploitées par différents opérateurs au sein de la DGE. Ces couches ont été réalisées en allemands et doivent alors être traduites. Pour ne pas dégrader l'intégrité des couches initiales, il faut alors les exporter et ajouter une colonne traduisant le type d'objet. Comme toutes ces données vont être agrégées, deux colonnes supplémentaires ont été ajoutées. La première précise la source initiale de la données et la seconde permettra de calculer l'aire pour connaître la répartition de chaque catégorie de l'occupation du sol. Ces premiers traitements vont permettre d'avoir un suivi des couches utilisées.

En amont de l'agrégation, il faut connaître ce que contienne chacune de ces couches puisque certaines informations peuvent déjà se recouper. En effet, les surfaces spécifiques contiennent des parcelles pouvant être classées comme parcelles agricoles, la couche des parcelles agricoles contient des espaces forestiers, etc. Il est nécessaire d'agréger l'ensemble des données qui seront catégorisées de la même façon. Outre cette catégorisation, plusieurs prétraitements sont nécessaires pour faciliter l'exploitation de ces couches. Les géotraitements réalisés pour ce fond de carte nécessite beaucoup de ressources et ne peuvent être réalisés avec la couche initiale. La couche des bâtiments a été préalablement aplanie pour n'avoir que l'emprise de la toiture correspondant à la géométrie visible. Concernant les réseaux routier, hydrographique et ferroviaire, il est nécessaire de créer une zone tampon caractérisant la largeur de ces linéaires. Pour les cours d'eau cette largeur est connue. Tandis que la largeur des routes ainsi que des voies ferrées ont été estimées avec plusieurs collaborateurs (Tableau 12).

Tableau 12 Largeur appliquée aux routes et aux voies ferroviaires (m)

Type d'objet	Autoroute	Chemin et portion de chemin	Route	Accès autoroute	Via ferrata et chemin balisé	Infrastructure (Station-service, place, etc.)	Voie ferrée
Largeur [m]	15	1 ou 2 m	3, 4, 6, 8 ou 10	8	1	Supprimer du réseau routier	4

Enfin, la caractérisation des parcelles agricoles a pour objectif de réaliser une étude plus précise sur les sources de pollutions puisque les produits utilisés dépendent du type d'agriculture exploitée. Cette spécification permet d'utiliser le fond de carte à une échelle plus fine pouvant aller jusqu'au tronçon de cours d'eau (Annexe 19Annexe 20). L'ensemble des pré-traitements réalisés sont explicités dans la Figure 20.

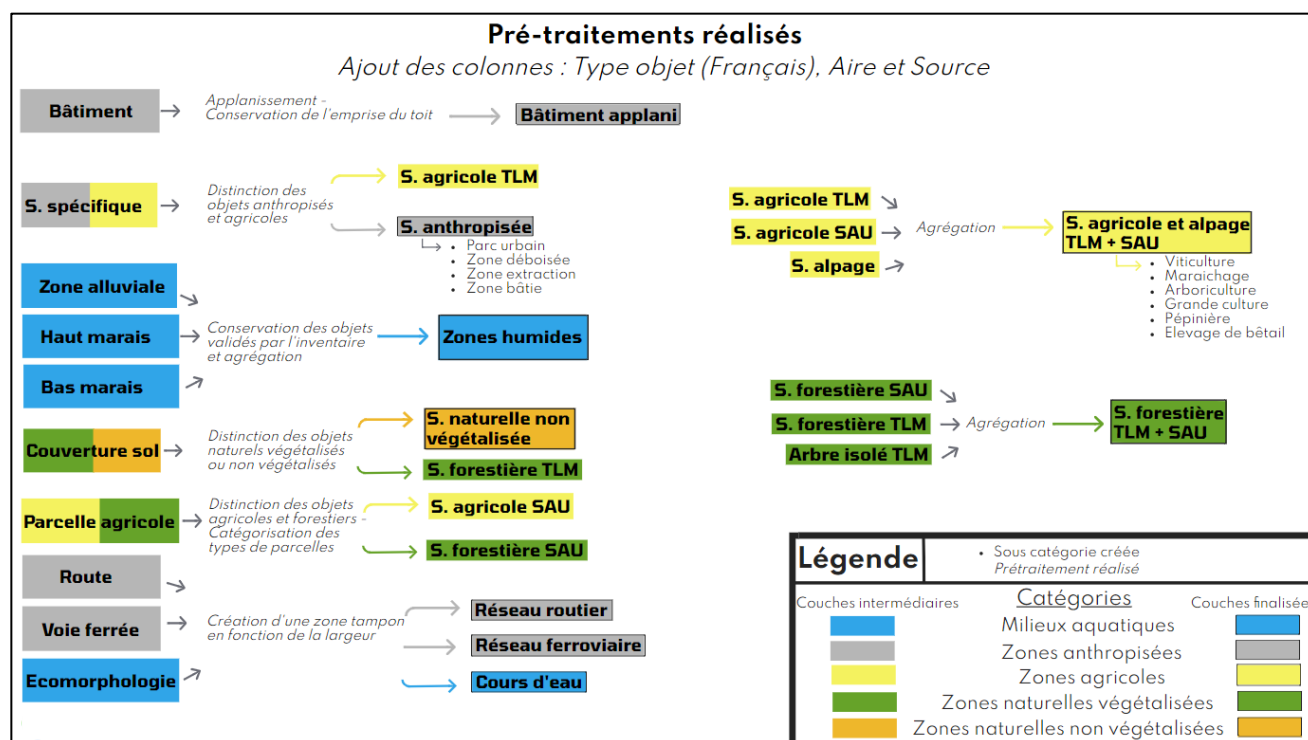


Figure 20 Pré-traitements réalisés sur les couches composant le fond de carte

Ce sont ces couches finalisées qui vont être agrégées pour l'élaboration du fond de carte. Cette méthodologie consiste à supprimer les superpositions entre ces couches en appliquant un ordre de priorisation. Les couches dites prioritaires correspondent aux couches dont la géométrie sera la moins transformée par la suppression des superpositions. Cet ordre doit permettre de conserver les données les plus précises possibles tout en conservant les couches ayant un impact important sur les cours d'eau. Le fond de carte ainsi créé représente l'occupation du sol d'un point de vue péjorant vis-à-vis des eaux de surface. Aux prémices de la méthodologie, il faut alors définir l'ordre d'après lequel les couches seront agrégées (Annexe 21).

d) Section AUR

La création de ce fond de carte permet d'appréhender les problématiques étudiées par la section AUR. En effet, les eaux de ruissellements représentent des sources de pollutions non négligeables. Leur impact peut être estimé selon la densité du réseau routier ou le niveau d'imperméabilisation. La majorité des eaux de routes ne sont pas traitées sur l'ensemble du canton. Rejetées directement dans les eaux superficielles, elles sont à l'origine d'intrants liés à l'usure des pneus ou aux hydrocarbures (Baumgartner, et al. 2019). Cet indicateur correspond au rapport entre la surface des routes et la surface du bassin versant, il ne prend pas en compte le réseau ferroviaire. L'occupation du sol permet de déterminer l'imperméabilisation des sols qui peut être à l'origine de pollutions particulières, elles impactent la dynamique des milieux. Outre l'aspect qualitatif, cet indicateur est révélateur de modifications au sein de la dynamique hydrologique. Cette imperméabilisation ne prend en compte que les surfaces anthropisées et pas les surfaces agricoles

dont l'imperméabilisation ne peut être évaluée pour cette étude. Enfin, la section AUR recense les installations d'assainissement non collectif, ANC. Ces installations peuvent entraîner des rejets de pollutions, majoritairement organique, dans le milieu récepteur. Les techniques de traitement ont évolué afin d'améliorer la qualité des rejets. Qualitativement, certaines installations sont considérées comme vétustes en ne traitant pas efficacement les eaux domestiques. L'évaluation de leur impact est réalisée selon leur efficacité supposée qui est seulement basée sur le type de traitement. Actuellement, le recensement des systèmes d'ANC ainsi que le suivi des rejets ne sont pas digitalisés régulièrement ; par conséquent, l'évaluation de leur impact sur le milieu récepteur ne peut être précisée. Sur le canton de Vaud, 7 types d'installations sont recensés et une seule est considérée comme étant non impactante : les Mini-STEP, MSTEP (Tableau 13). L'évaluation de leur impact potentiel est basée sur le système majoritairement présent sur le bassin.

Tableau 13 Typologie des systèmes d'ANC

Fosse de décantation	Fosse septique	Tranchée absorbante	Tranchée filtrante	Fosse digestive	Mini-STEP aérobie	Inconnu
----------------------	----------------	---------------------	--------------------	-----------------	-------------------	---------

3. Approche intersectorielle

L'ensemble des évaluations présentées permettent de connaître la qualité des eaux superficielles vis-à-vis de chaque indicateur. La priorisation des bassins versants nécessite la mise en commun de l'ensemble de ces paramètres afin d'obtenir une notation globale. Cette étape a pour objectif d'adopter une **approche intersectorielle**. Cette approche doit permettre de cibler les facteurs les plus impactants tout en comprenant la dynamique du territoire. Cette évaluation intersectorielle va être réalisée grâce à l'élaboration d'un schéma du cours d'eau de la Venoge, le bassin versant directeur de cette étude. C'est à partir de ce schéma conceptuel que sera évalué la notation ainsi que le schéma décisionnel du bassin versant.

a) Schéma de cours d'eau

L'objectif du schéma de cours d'eau est de visualiser l'ensemble des évaluations de qualité réalisées. Afin de considérer la qualité biologique mesurée sur le bassin de la Venoge, celui-ci est divisé en 4 sous-bassins. Cette sous-division va permettre de considérer la qualité biologique pour la notation. Les quatre sous-bassins correspondent au bassin amont, le Veyron, la Senoge et le bassin aval. La construction de ce schéma est basée sur la visualisation conceptuelle du linéaire de la Venoge et des affluents principaux. Il est alors possible de localiser les stations de mesures et les STEP en indiquant les évaluations de qualité réalisées. En parallèle, la répartition de l'occupation du sol ainsi que le système d'ANC prioritaire sur chaque sous-bassin permettent d'appréhender l'ensemble des intrants potentiels.

b) Notation par sous-bassin

La notation pour chaque sous-bassin est réalisée à partir du schéma de cours d'eau puisqu'il met en commun l'ensemble des évaluations. Cette notation finale est construite selon trois classes : atteinte, non-atteinte ou non évaluée. Elle consiste en un équilibre entre les indicateurs atteints notés +1, non-atteints notés -1 et non évalués notés 0 (Annexe 22). La somme de ces notes est rapportée selon le nombre de paramètres évalués. La note varie alors en -1 et 1 ; la qualité est considérée comme étant atteinte si la note est positive et non-atteinte si elle est égale ou inférieure à 0. Ce rapport permet d'avoir une évaluation équitable entre chaque sous-bassin sans péjorer les bassins où il y a le moins de paramètres évalués. La notation est réalisée grâce à un fichier Excel et certaines étapes ont été automatisées à l'aide d'un code Visual Basic, VBA (Annexe 23). Outre l'évaluation qualitative ce fichier Excel permet de créer le schéma décisionnel en précisant les paramètres péjorant un indicateur.

c) Schéma décisionnel

Le schéma décisionnel permet d'orienter les actions à mettre en place en ciblant les paramètres péjorants. Créé à partir d'une macro Excel, ce schéma met en relation les paramètres péjorants avec la source potentielle des intrants. Comme la qualité biologique est le paramètre fondateur de cette étude, le schéma décisionnel n'est dessiné que lorsque cet indicateur est qualifié comme étant non atteint. En effet, si la qualité biologique est atteinte alors le milieu est qualifié de fonctionnel, ce territoire est considéré comme non prioritaire. Toutefois, la note globale permet d'avoir un aperçu de la qualité globale du territoire concerné.

IV. Résultats et discussion

A. Résultats obtenus

Grâce à la valorisation de l'ensemble des indicateurs, la qualité des eaux superficielles du canton de Vaud peut être évaluée. La qualité biologique est le paramètre fondateur de cette étude et a été modélisée sur tout le territoire. Puis, la modélisation des paramètres complémentaires, a été réalisée ponctuellement. Enfin, une carte de l'occupation du sol a été élaborée pour le bassin de la Venoge. C'est à partir de ces trois digitalisations que la notation de la qualité des eaux du bassin de la Venoge a été réalisée.

1. Qualité biologique sur le canton de Vaud

Premièrement, la projection de la qualité biologique permet d'identifier les territoires sur lesquels les cours d'eau sont le plus impactés (Figure 21). Les bassins situés sur les rives du Léman sont majoritairement les bassins les plus dégradés avec une qualité biologique allant de moyenne à médiocre. Généralement, ces territoires sont fortement urbanisés et les pressions exercées sur les cours d'eau sont plus importantes. Quant à la région des Préalpes, située à l'Est du canton, elle présente des résultats satisfaisants avec une qualité biologique très bonne. Cette région est caractérisée par une urbanisation plus faible ainsi qu'un taux d'agriculture moindre. De plus, les cours d'eau présents sur ce territoire sont majoritairement des cours d'eau montagnards avec des pentes moyennes à fortes (Schaffner et al. 2013). Cette typologie contribue à l'autoépuration de ces eaux avec une meilleure oxygénation. Cette première visualisation permet de cibler les territoires les plus soumis aux pressions anthropiques ; néanmoins, l'analyse des paramètres complémentaires doit permettre de caractériser les facteurs de dégradation.

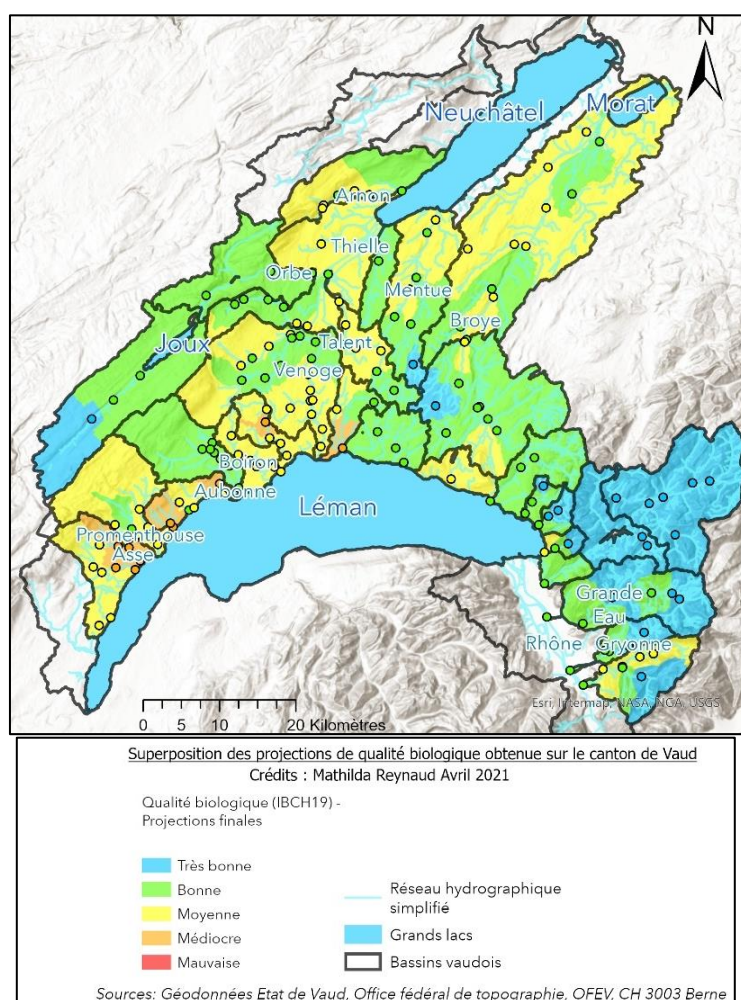


Figure 21 Projection finale de la qualité biologique

2. Evaluation de la qualité sur le bassin de la Venoge

L'évaluation réalisée sur le bassin de la Venoge montre que la qualité biologique est moyenne pour l'ensemble du territoire sauf pour un affluent ; le Veyron. Ce dernier est considéré comme proche de l'état naturel et appartient au référentiel Perle de rivière. Pour l'évaluation des paramètres complémentaires le bassin de la Venoge a été découpé en quatre sous-bassins en fonction de la qualité observée. Le premier sous bassin correspond à l'amont de la Venoge avec une qualité biologique moyenne. Le second sous bassin correspond au bassin du Veyron avec une qualité bonne. Puis, l'aval du bassin de la Venoge, caractérisé par une qualité moyenne, a été découpé en deux sous-bassins. Le premier correspond au bassin de la Senoge qui est un affluent important de la Venoge. Enfin, le dernier bassin inclut l'Arena et est caractérisé par une artificialisation plus dense (Figure 22).

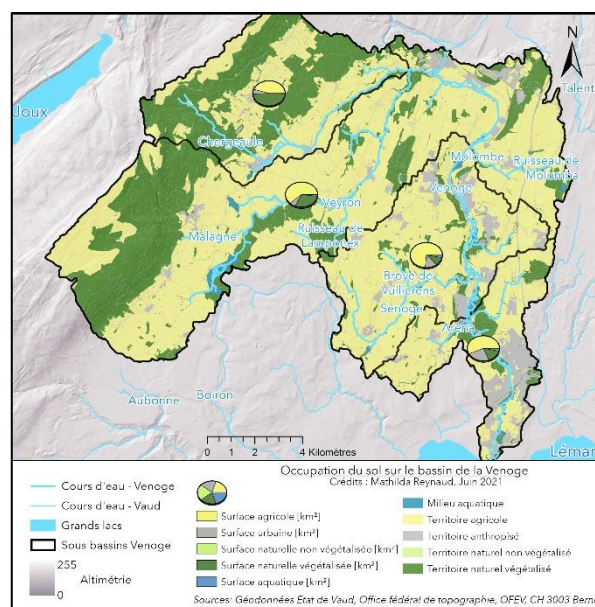


Figure 22 Occupation du sol sur le bassin de la Venoge

C'est à partir de ce découpage que les indicateurs concernant le taux d'imperméabilisation, la densité du réseau routier ainsi que système d'ANC majoritaire ont été évalués. Le taux d'imperméabilisation et la densité du réseau routier sont deux indicateurs fortement corrélés et traduisent l'occupation du sol (Figure 23a et Figure 23b). Sur le bassin de la Venoge, ils montrent une proportion considérable de zones urbaines sur la rive du Léman. Tandis que le bassin du Veyron, qui a la meilleure qualité biologique, présente le plus faible taux d'urbanisation. Ces premières constations permettent d'appréhender l'impact de l'urbanisation sur la Venoge.

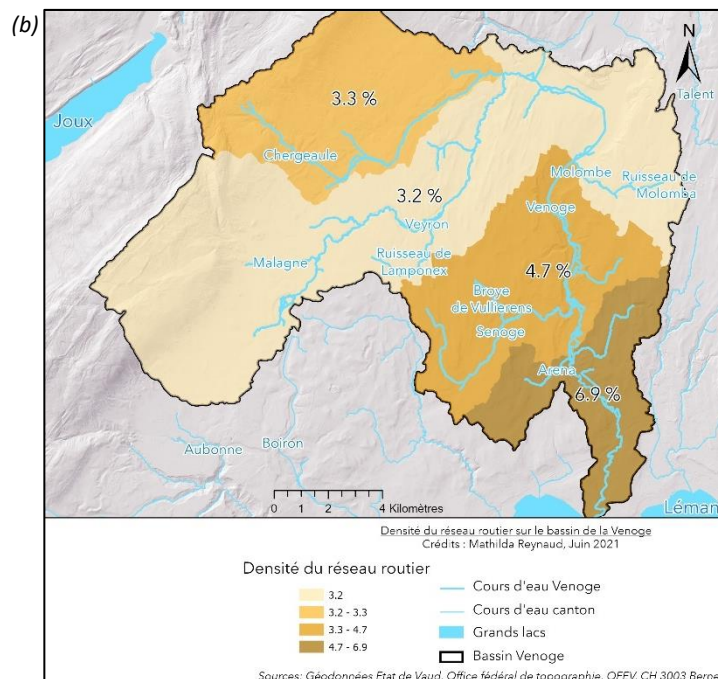
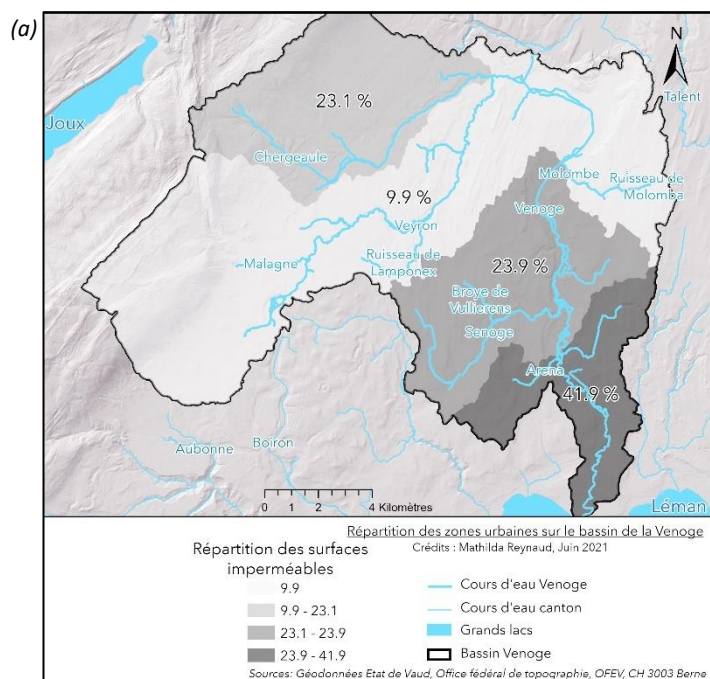


Figure 23 Taux d'imperméabilisation et densité du réseau routier sur le bassin de la Venoge

Le territoire de la Venoge est caractérisé par une présence considérable de surfaces agricole (Figure 22) ; par conséquent, les installations de systèmes d'ANC ont pu être importantes. Les systèmes observés sont considérés vétustes et ont un impact sur les eaux de surface. En effet, les systèmes majoritairement présents sont les fosses digestives et septiques ainsi que les tranchées filtrantes. Cependant, la proportion de mini-STEP reste considérable sur le bassin de la Senoge. Concernant le bassin aval, le recensement à disposition n'est pas complet et le type de système n'est pas connu pour la majorité des systèmes (Figure 24).

Concernant la qualité chimique du bassin de la Venoge. Elle est évaluée grâce à 7 stations secondaires et une station principale, située le plus en aval du bassin. L'ensemble des évaluations montre que la qualité est globalement moyenne sur l'ensemble du bassin (Figure 25). Cependant, deux paramètres dégradent la qualité des eaux, les orthophosphates, PO_4^{2-} et les phosphore total, Ptot. Ces paramètres sont principalement impactants en aval de la Senoge. La présence de phosphore sous toutes ces formes peut être influencé par plusieurs facteurs. Premièrement, la présence importante de zones agricoles (Figure 22) peut entraîner l'utilisation d'engrais qui ruissellent, lors des épisodes pluvieux, dans les cours d'eau. Deuxièmement, les STEP contribuent fortement à l'élimination de ces particules. La présence de stations vétustes ou trop petites peut être à l'origine de la non-élimination de ces substances. Concernant le suivi des micropolluants, d'origine urbaines ou rurales, ils ne sont pas suivis sur toutes les stations. Les médicaments et produits industriels sont suivis sur quatre stations tandis que les pesticides, comme pour les métaux, ne sont suivis que sur une seule station. L'influence des médicaments est relativement faible pour l'ensemble du bassin de la Venoge (Figure 26). Seul le paramètre antidouleur, AtD, présente une qualité médiocre après la confluence avec la Senoge. Quant aux pesticides, leur évaluation montre qu'ils exercent une influence plus importante sur les eaux (Figure 27). La présence marquée d'insecticides et d'herbicide corroborent les premières hypothèses sur l'influence de l'agriculture sur la qualité des eaux de surface. Concernant l'évaluation des métaux, seule la présence de cuivre impacte les eaux de surfaces (Figure 28). Ce dernier peut également être utilisé en agriculture pour prévenir des maladies bactériennes ou fongiques.

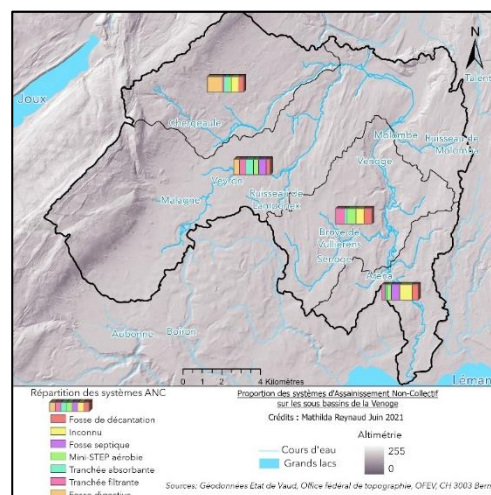


Figure 24 Proportion des systèmes d'ANC sur le bassin de la Venoge

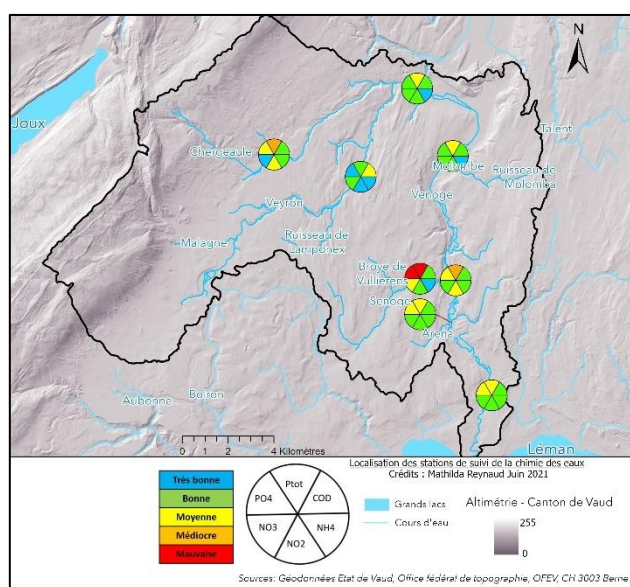


Figure 25 Qualité chimique évaluée sur le bassin de la Venoge

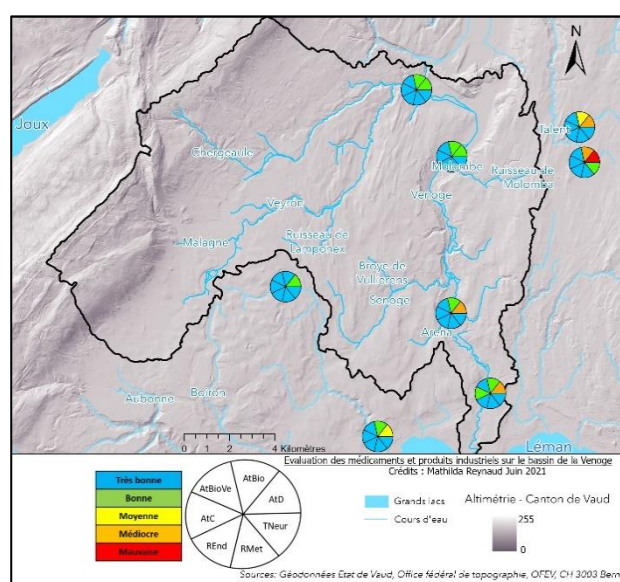


Figure 26 Evaluation des médicaments et produits industriels sur le bassin de la Venoge

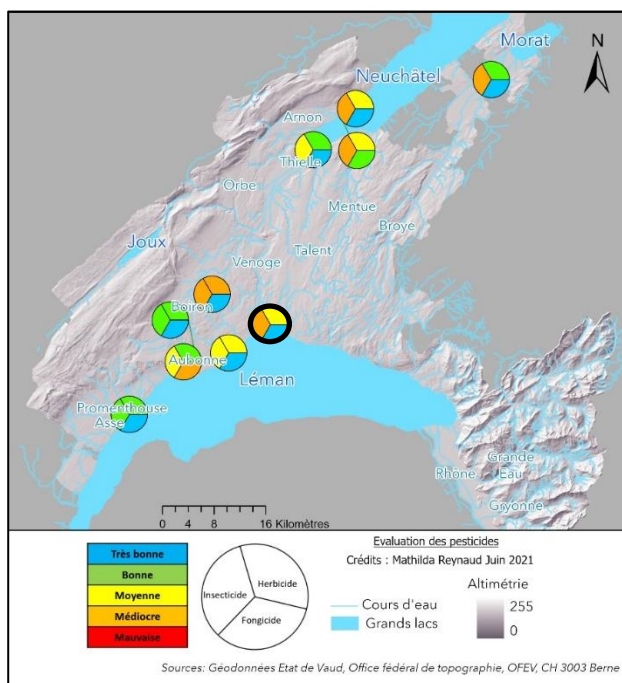


Figure 27 Evaluation des pesticides sur le canton de Vaud -
○ Station de la Venoge

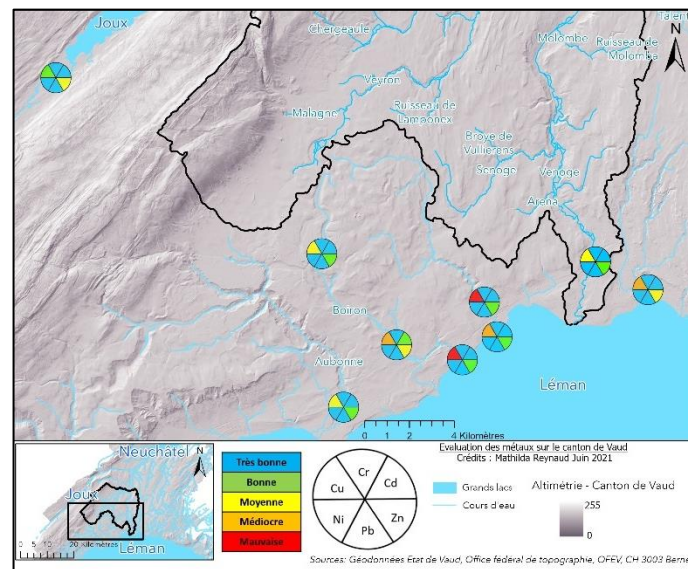


Figure 28 Evaluation des métaux sur le bassin de la Venoge

Le bassin versant de la Venoge comprend 17 STEP qui sont majoritairement présentes sur l'amont du bassin (Figure 29). L'évaluation de la qualité montrent des résultats panachés, majoritairement les notes obtenues sont acceptables. Cependant, trois STEP présentent des risques de rejets élevés pour le milieu récepteur. La seconde station de la Senoge, en amont de la Broye de Vullierens, a des rejets impactants pour le milieu vis-à-vis des paramètres Ammonium, NH_4 et Carbone Organique, CO. Cette évaluation ne permet pas de visualiser une corrélation entre les rejets de la STEP et la qualité chimique mesurée. La différence de temporalité entre les données de chimie et les STEP peut être à l'origine de cette différence. Toutefois, l'hypothèse de l'influence de la STEP ne peut être totalement réfutée. En parallèle, cette visualisation montre que le bassin de la Venoge comprend une densité importante de STEP. Cette caractéristique présage que les stations présentes peuvent être dimensionnées pour accueillir des flux de pollutions faibles. Or, la taille de la STEP influence les obligations en termes de rejets et de systèmes épuratoires. Par conséquent, la présence de nombreuses petites stations peut être fortement impactant sur l'ensemble du territoire.

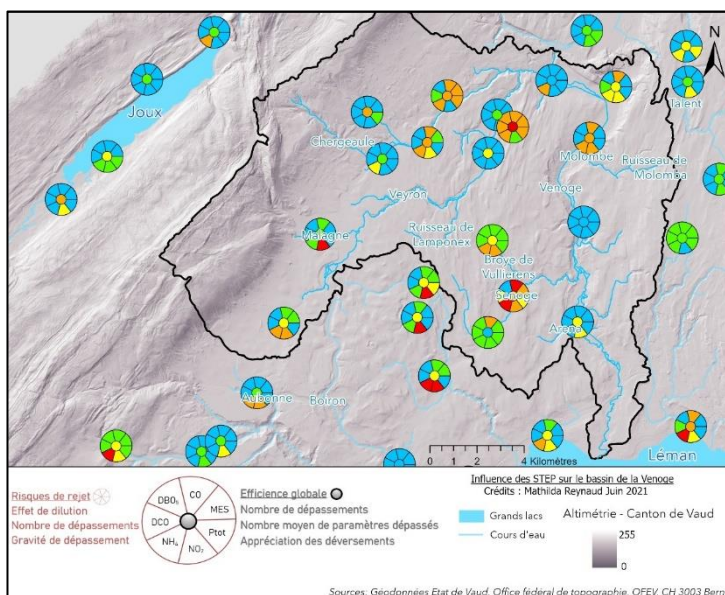


Figure 29 Evaluation des STEP sur le bassin de la Venoge

L'élaboration du schéma du cours d'eau de la Venoge permet de mettre en évidence des corrélations potentielles entre les paramètres étudiés (Figure 30). Cette visualisation montre l'influence de l'agriculture sur le territoire avec la dégradation de paramètres spécifiques à cette exploitation comme les pesticides ou l'influence de l'azote et du phosphore. Néanmoins, le Veyron est soumis à des pressions similaires au reste du bassin de la Venoge mais il présente une qualité biologique acceptable. Cette caractéristique peut être influencée par ses capacités auto-épuratrices. Ces dernières sont influencées par la présence de surfaces naturelles considérables et leur connectivité avec le cours d'eau. Cette hypothèse nécessite une étude hydromorphologique de ce linéaire. De plus, la notation élaborée montre que le sous-bassin amont et la Senoge sont les territoires les plus impactés. Malgré une forte pression anthropique, la bassin aval présente une dégradation moindre. Concernant le Veyron, il s'agit du seul bassin dont la qualité est globalement atteinte. Toutefois, la note de bassin montre que la qualité de ce cours d'eau peut être rapidement altérée. C'est alors l'équilibre de l'ensemble de ces paramètres qui contribue au maintien ou à la dégradation de la qualité. La moindre modification peut être à l'origine d'une dégradation ou d'une amélioration significative de la qualité des eaux. Cet équilibre est également lié à la notation créée.

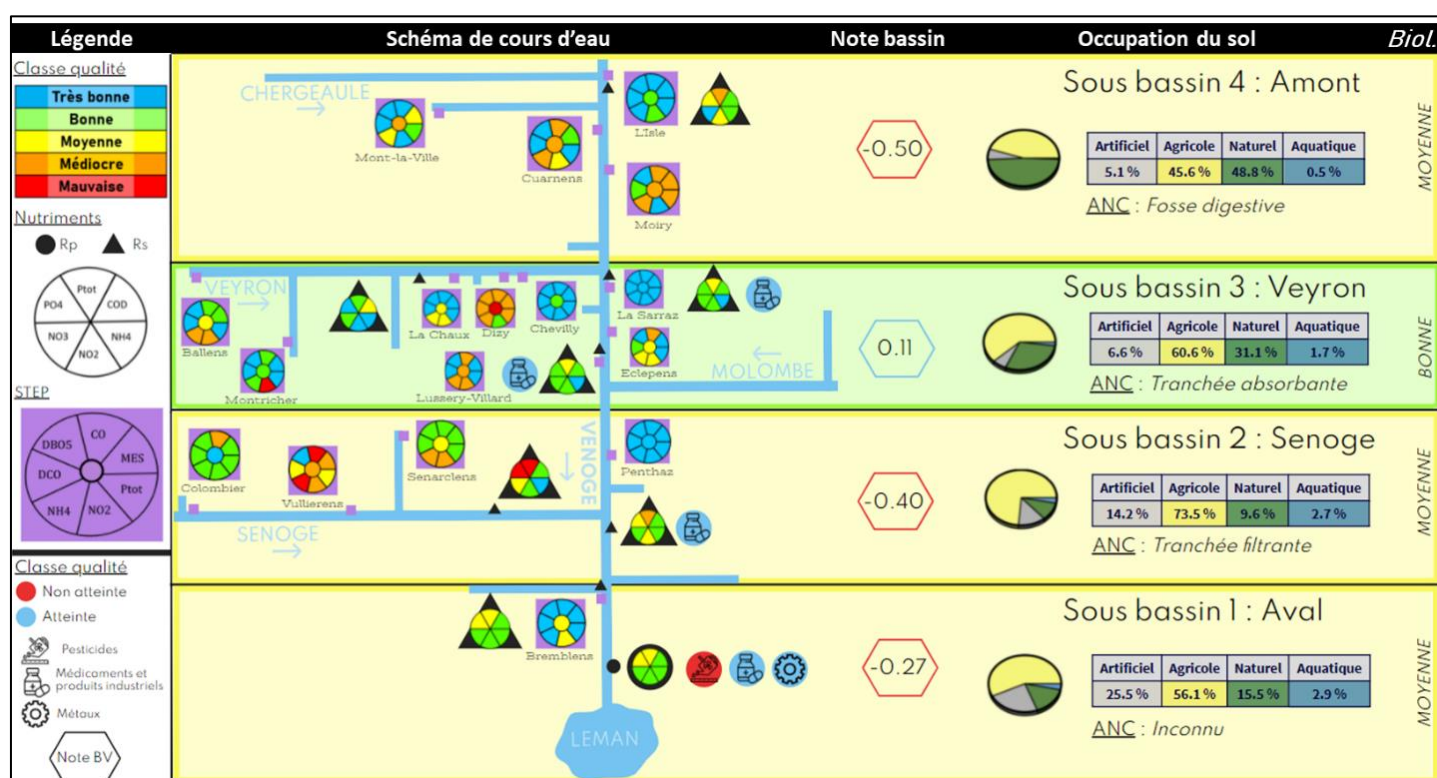


Figure 30 Schéma du cours d'eau de la Venoge

Les schémas décisionnels créés à partir de la notation permettent de cibler les sources de pollutions potentielles. Ce dernier n'a pas été dessiné pour le bassin du Veyron qui présente une qualité biologique acceptable. Ces schémas montrent que le bassin amont ainsi que celui de la Senoge sont fortement influencés par les rejets de STEP. Tandis que le bassin aval est influencé par l'ensemble des pollutions observée en amont mais aussi par la forte urbanisation (Annexe 24a, Annexe 24b et Annexe 24c).

B. Réalisations

1. Cartes et schémas

L'ensemble des cartes réalisées durant ce projet ont été mises à disposition des collaborateurs de la section PRE. Ces cartes répondent aux normes en contenant une échelle, une flèche du Nord, une légende ainsi qu'un titre. De nombreuses cartes ont été élaborées mais elles n'ont pas toutes été exploitées. Leur graphisme répond aux demandes formulées par chaque chef de section. Les cartes présentées dans ce rapport sont les cartes finales conservées pour l'étude. En complément, plusieurs schémas ont été créés pour transmettre plus simplement la construction du projet. L'ensemble de ces schémas sont inclus dans ce rapport.

En parallèle, j'ai également créé un fichier ArcGis Pro contenant les fichiers Lyr, utilisés pour la visualisation, des couches SIG créées pendant ce projet. Cette cartographie recense l'ensemble des évaluations exploitables et permet de simplifier leur visualisation sans avoir à recréer une symbologie. Ce fichier est consultatif et devra être mis à jour.

2. Oral DGE

Une présentation a également été réalisée afin de montrer l'ensemble du projet ainsi que son élaboration à une trentaine de collaborateurs. Cette présentation a permis d'agrandir le nombre d'acteurs contributifs. En effet, les retours obtenus ont permis d'apporter des adaptations méthodologiques. De plus, cette démonstration a permis de vérifier la fiabilité du modèle en fonction des observations faites sur le terrain. Enfin, cette première restitution a permis de vérifier l'efficacité de ce nouvel outil de communication.

3. Restitution des données

Une phase de restitution a également été réalisée pour assurer l'exploitation de ce projet. Cette étape a consisté en une élaboration des métadonnées des fichiers créés. Ces dernières contiennent une explication de la construction ainsi que du contenu du fichier. Ces métadonnées précisent également la sources des données initiales ainsi que la date et l'opérateur des mises à jour.

Cette restitution a également consisté à l'élaboration d'un fichier Excel explicatif du rangement des données. Ce fichier permettra à chaque utilisateur de retrouver simplement un fichier recherché (Annexe 25).

Enfin, un modèle de fichier Excel pour l'importation sous SIG a été créé afin de faciliter l'exploitation des données.

C. Discussion

Le projet présenté dans ce rapport a consisté à créer une visualisation simplifier de l'ensemble des données de qualité mise à disposition. Cette digitalisation nécessite une spatialisation des données disponibles sous format Excel. Cette méthodologie permet de valoriser cet important lot d'informations en créant un outil de communication fondateur de la stratégie de planification. Ces modélisations permettent d'avoir des résultats à l'échelle cantonale à partir des évaluations ponctuelles. Or, ces extrapolations ne peuvent être entièrement représentatives de la réalité. En effet, la méthodologie est adaptée aux données disponibles et ces dernières ne permettent pas de connaître la propagation des pollutions ou l'hydromorphologie des cours d'eau. Néanmoins, la projection de la qualité biologique sur l'ensemble du canton permet de rendre compte de la qualité globale du territoire. Ce réseau de mesure reste le plus fiable pour ces extrapolations puisqu'il est couvrant sur l'ensemble du territoire.

La réalisation de cette étude est axée sur l'intersectorialité de l'évaluation. Cet aspect peut être enrichissant pour la planification de la gestion des eaux. En effet, cette étude est modulable et peut être adaptée à différents objectifs d'études. Toutefois, ces paramètres complémentaires nécessitent un traitement rigoureux pour être importés sous ArcGis. Par conséquent, la mise à jour des données présentes ainsi que l'ajout de nouveaux paramètres ne peuvent être réalisés par tous les opérateurs. L'exploitation de ce projet doit être réalisée par un opérateur ayant des compétences en cartographie. Cet axe doit être amélioré afin que l'exploitation des données soit accessible à un grand nombre d'utilisateurs.

Néanmoins, ce projet fournit une première visualisation de la qualité des eaux de surfaces sur le canton de Vaud. Cette première proposition permet d'envisager l'avenir de cette nouvelle stratégie de planification. L'objectif étant d'améliorer cette première phase afin d'avoir des actions plus ciblées et plus adaptées aux enjeux territoriaux.

V. Perspectives d'amélioration

Premièrement, la réalisation de ce projet a été confrontée à plusieurs difficultés qui sont des axes d'amélioration certains pour l'ensemble des collaborateurs. Comme évoqué précédemment, le projet élaboré est adaptatif. Cependant, l'intégration des données nécessite une première digitalisation de ces dernières. En effet, l'intégration de données complémentaires permettrait de mettre en évidence de nouvelles problématiques territoriales. La digitalisation des pollutions accidentelles recensées ou des sites pollués permettrait d'envisager une nouvelle approche de la gestion des eaux superficielles. En effet, l'étude de la vulnérabilité des territoires apporterait de nouvelles connaissances sur l'impact ponctuel des activités anthropiques sur les eaux superficielles. Ces lacunes d'informations ont été constatées pour différentes sections et ont empêché d'approfondir la méthodologie développée.

Puis, le projet développé lors de ce stage est axé sur la qualité des eaux superficielles. Or, la qualité des eaux souterraines ou l'exploitation hydraulique sont des facteurs essentiels pour évaluer la qualité des milieux. Une coopération entre les directions permettrait de développer cette étude sur ces axes fondamentaux. Cependant cette perspective d'amélioration nécessite l'adaptation de la méthodologie actuelle afin d'inclure ces nouveaux paramètres.

Enfin, l'outil développé est également un bon indicateur de l'efficacité des réseaux de mesure. En effet, cette visualisation cartographique permet de constater de la répartition des stations. Par exemple, l'évaluation de la qualité chimique n'a pas pu être projetée sur les bassins versants cantonaux puisque le réseau de mesure n'est pas suffisamment couvrant. La visualisation réalisée permet alors de localiser les territoires qui ne sont pas évalués par le réseau de mesure.

VI. Conclusion

La gestion et la protection des eaux de surface sont des enjeux majeurs pour assurer la pérennité des milieux et des ressources. Adopter une nouvelle stratégie de planification est une solution nécessaire mais elle nécessite une refonte des méthodes actuelles. La gestion des cours d'eau doit désormais être orientée par une vision sur le long terme et être facilitée par les outils d'informations géographiques. La DGE du canton de Vaud, Suisse, a décidé de suivre cette dynamique en réalisant une stratégie de protection des eaux superficielles. Cette stratégie est basée sur la valorisation des données de qualité dans l'objectif de prioriser les bassins versants déficitaires.

Le projet présenté dans ce rapport a consisté à développer une méthodologie afin de localiser les bassins déficitaires et cibler les causes de dégradation. Pour répondre à cette problématique, il est nécessaire de mettre en commun l'ensemble des données de qualité afin d'obtenir une notation finale par bassin versant. Cette démarche **intersectorielle** permet d'avoir des informations de qualité provenant de sources diverses. Les résultats obtenus montrent que le traitement ainsi que la valorisation des données sont des étapes essentielles. Lors de ce projet, une notation finale, comprenant les dynamiques territoriales, a été élaborée pour le bassin de la Venoge. Cette notation permet de d'identifier les milieux à préserver vis-à-vis de ceux à restaurer grâce à une gradation de la note qui permet de **prioriser les territoires**. Le schéma de cours d'eau est une visualisation synthétique de l'ensemble des résultats et permet, avec le schéma décisionnel, de **cibler les facteurs d'altération**. Les résultats obtenus pour l'évaluation du bassin de la Venoge montrent des résultats cohérents entre les dynamiques territoriales, les mesures réalisées et les observations de terrain. La modélisation créée est représentative de la qualité des eaux et permet d'avoir des résultats **fiables**.

La construction de cet outil de communication met en valeur la qualité des eaux de surface du bassin de la Venoge. La bonne réalisation de ce projet a nécessité une prise en main des différents types de données. En effet, leur traitement ainsi que leur exploitation ont été cohérents afin d'obtenir des valeurs de qualité les plus représentatives. L'élaboration de ce projet repose sur l'adaptation continue de la méthodologie dans l'objectif d'obtenir des résultats les plus pertinents possibles. Par conséquent, le projet a été confronté à plusieurs difficultés liées à l'intégrité des données initiales ou à des essais méthodologiques non concluants.

Pour conclure, le projet présenté se positionne au cœur de la gestion des cours d'eau en adoptant une démarche multiparamétrique pour évaluer l'état des eaux de surface. Cette démarche permet d'avoir une évaluation globale de l'état des eaux et ainsi de lui attribuer une note finale. Contrairement à la gestion par bassins élaborée en France, le canton de Vaud désire développer une stratégie englobant l'ensemble du territoire grâce à la notation et à la comparaison entre chaque bassin versant. Ce projet s'inscrit dans une nouvelle dynamique qui peut évoluer en fonction des besoins territoriaux. L'aspect adaptatif de l'outil créé permet de maintenir la stratégie de protections des eaux sur le long terme. De plus, le caractère collaboratif de cette évaluation permet de rassembler un ensemble de compétences liées à la protection des eaux. La démarche adoptée pour ce projet permet de rassembler tous ces acteurs ayant les objectifs communs d'améliorer et de protéger les eaux du canton de Vaud.

Bibliographie

- Assemblée fédérale de la Confédération suisse, 1983. *Loi fédérale sur la protection de l'environnement*.
- Assemblée nationale et Sénat. 1964. « Journal officiel de la République française - Lois et Décret », 1964.
- Baumgartner, Daniel, Reto Flury, Natalie Muff, Silvia Oppliger, et Elias Winz. 2019. *Directive - Gestion des eaux urbaines par temps de pluie*.
- Bonin, Ludovic, André Evette, Pierre-André Frossard, Patrice Prunier, Damien Roman, Nicolas Valé, Frédéric Liébault, Patrice Mériaux, Michel Vennetier, et Caroline Zanetti. 2012. *Génie végétal en rivière de montagne - Connaissances et retours d'expériences sur l'utilisation d'espèces et de techniques végétales : végétalisation de berges et ouvrages bois*.
- Chaix, Olivier, Patrizia Dazio, Martin Pfaundler, et Stefan Vollenweider. 2011. « Gestion par bassin versant – Idées directrices pour une gestion intégrée des eaux en Suisse. », 2011, Agenda 21 pour l'eau édition.
- Conseil fédéral Suisse. 1998. *Ordonnance sur la protection des eaux - (OEaux)*.
- Direction générale de l'environnement (DGE), Direction de l'environnement industriel, urbain et rural (DIREV), Division protection des eaux (DGE-PRE), et Division Assainissement (DGE-ASS). 2019. « Stratégie de surveillance et de protection de la qualité des eaux superficielles ». Canton de Vaud - Département du territoire et de l'environnement.
- Hildbrand, Pierre-Antoine, Sébastien Apothéloz, Fereidoun Khajehnouri, Lucilia Pointet, et Amélie Savioz. 2021. « Rapport sur la qualité des cours d'eau lausannois ». 1. Lutry : Ville de Lausanne.
- Jaquerod, Claude-Alain, Gabrielle Hack, Guillaume Crosset-Perrotin, Florence Dapples, Caroline Villard, Charlotte Franck, Josselin Lapprand, et al. 2019. « Bilans 2019 de l'épuration vaudoise ». Canton de Vaud : Direction générale de l'environnement (DGE).
- Kunz, Manuel, Yael Schindler Wildhaber, Anne Dietzel, Irene Wittmer, et Vera Leib. 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, Berne. » État de l'environnement (1620) : 92.
- L'Assemblée fédérale de la Confédération suisse. 1991. *Loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux)*.
- Lecomte, E., P. Hohl, P. Rapin, P. Bujard, M. Miéville, et T. de Pablos. 2012. « Entretien des cours d'eau vaudois ». https://www.vd.ch/fileadmin/user_upload/themes/environnement/eau/fichiers_pdf/DIRNA_EAU/Entretien_des_cours_d_eau_vaudois.pdf.
- Liechti, Paul. 2010. « Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. Analyses physico-chimiques, nutriments - Office fédéral de l'environnement, Berne » L'environnement pratique (1005) : 44.
- Mennel, Eric, Nicolas Aebischer, Alexandre Fahrni, Christophe Joerin, Rachel Brulhart, Romain Ducommun, Elise Folly, Hugues Poulat, et Pascale Ribordy. 2021. « Planification cantonale de la gestion des eaux - Plan sectoriel de la gestion des eaux (PSGE) ». Givisiez : Etat de Fribourg - Service de l'environnement SEn.
- OFEV. 2012. « Gestion par bassin versant - Guide pratique pour une gestion intégrée des eaux en Suisse ». *Connaissance de l'environnement*, n° 1204.

- Office cantonal de l'eau. 2012. « SPAGE Outil cantonal de gestion intégrée des eaux par bassin versant ».
- Office fédéral de l'environnement OFEV. 2019. « Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau - Macrozoobenthos - niveau R », L'environnement pratique, Informations concernant la protection des eaux : 58.
- Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, OFEFP. 1998. « Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau en Suisse - Système Modulaire Gradué, SMG », L'environnement pratique, Informations concernant la protection des eaux (26) : 62.
- Parlement Européen. 2000. *Directive 2000/60/CE du Parlement Européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau.*
- Rieder, Caroline. 2021. « À Vaud l'eau – Redonner un « terrain de jeu » à une rivière, à quoi ça sert ? », 2021. <https://www.24heures.ch/redonner-un-terrain-de-jeu-a-une-riviere-a-quoi-ca-sert-927230258908>.
- Schaffner, Monika, Martin Pfaundler, Werner Gögel, Urs Helg, et Hugo Aschwanden. 2013. « Typologie des cours d'eau suisses. Une base pour l'évaluation et le développement des cours d'eau. Office fédéral de l'environnement, Berne. », 2013.
- Steinmeier, C. 2013. « CORINE land cover 2000/2006. Switzerland. Final report ». Schnee und Landschaft WSL. Birmensdorf: Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. <https://www.wsl.ch/de/publikationen/corine-land-cover-2000-2006-switzerland-final-report.html>.
- Stucki, Pascal. 2016. « Surveillance biologique des cours d'eau, bassin versant de La Birse, état 2015. Rapport sur mandat des offices de l'environnement des cantons de Berne, Jura et Bâle-Campagne ».
- WWF. 2018. « Perle de rivière - Le Veyron (VD) ».

Sitographie



- <https://www.bafu.admin.ch/>
- <https://www.eea.europa.eu/>
- <https://wa21.ch/themen/einzugsgebietsmanagement/leitbild/>
- <https://map.geo.admin.ch/>
- <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/catalogues-banques-donnees/cartes.assetdetail.1031487.html>
- <https://www.region-du-leman.ch/fr/Z4980/situation-geographique>
- <https://www.vd.ch/>
- <https://www.wsl.ch/fr/a-propos-du-wsl.html>
- <https://land.copernicus.eu/>
- <https://www.rts.ch/decouverte/monde-et-societe/histoire/l-histoire-suisse/8885640-chronologie.html>
- <https://www.lausanne.ch/vie-pratique/energies-et-eau/eau/qualite/cours-d-eau.html>
- www.centreecotox.ch
- <https://www.vd.ch/themes/environnement/eaux/lacs-et-cours-deau-amenagement-entretien-hydrologie/la-venoge/3-etudes/>
- <https://www.24heures.ch/redonner-un-terrain-de-jeu-a-une-riviere-a-quoi-ca-sert-927230258908>
- www.ge.ch
- <https://pro.arcgis.com/fr>
- <https://www.fr.ch/>

Annexes

Table des annexes

Annexe 1 Typologie des cours d'eau évaluée sur une partie du plateau suisse	46
Annexe 2 Organigramme de la Direction Générale de l'Environnement	46
Annexe 3 Fiche d'analyse remplie pour le suivi des STEPs	47
Annexe 4 Bilan personnalisé annuel des STEPs	47
Annexe 5 Réseaux principal et secondaire du suivi des nutriments	48
Annexe 6 Réseau de suivi des métaux.....	48
Annexe 7 Réseau de suivi de la qualité biologique.....	48
Annexe 8 Bassins hydrologiques définis par la Confédération	49
Annexe 9 Bassins de drainage créés avec l'outil ArcGis.....	50
Annexe 10 Extrait du recensement des indicateurs de la qualité des eaux de surface	50
Annexe 11 Préparation du fichier Excel pour l'importation sous ArcGis	51
Annexe 12 Explication du modèle Builder pour l'importation des données sous ArcGis	52
Annexe 13 Outils utilisés pour la projection des valeurs de qualité	52
Annexe 14 Projection de la qualité biologique sur les bassins de 2km ²	53
Annexe 15 Projection de la qualité biologique sur les bassins de 40km ²	54
Annexe 16 Projection de la qualité biologique sur les bassins de vaudois	55
Annexe 17 Superposition des projections de la qualité biologique.....	56
Annexe 18 Exemples d'imprécisions géographiques constatées.....	56
Annexe 19 Exemples d'adaptations géographiques réalisées	57
Annexe 20 Catégorisation des types d'exploitations agricoles.....	57
Annexe 21 Ordre d'agrégation retenue pour l'occupation du sol	58
Annexe 22 Seuils d'évaluation des paramètres pour la notation	58
Annexe 23 Extrait du fichier de notation.....	59
Annexe 24 Schémas décisionnels obtenus pour les sous-bassins de la Venoge.....	59
Annexe 25 Fichier de rangement	60

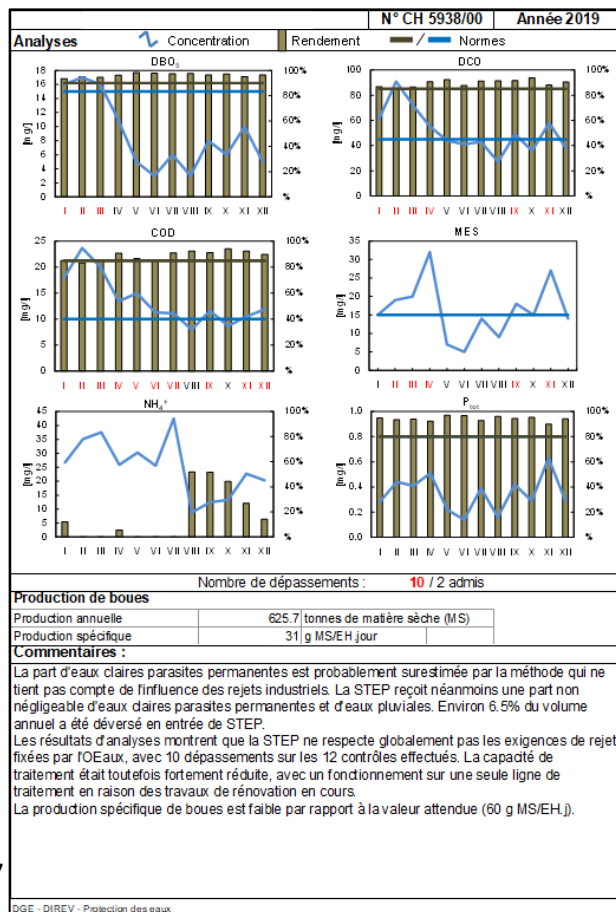
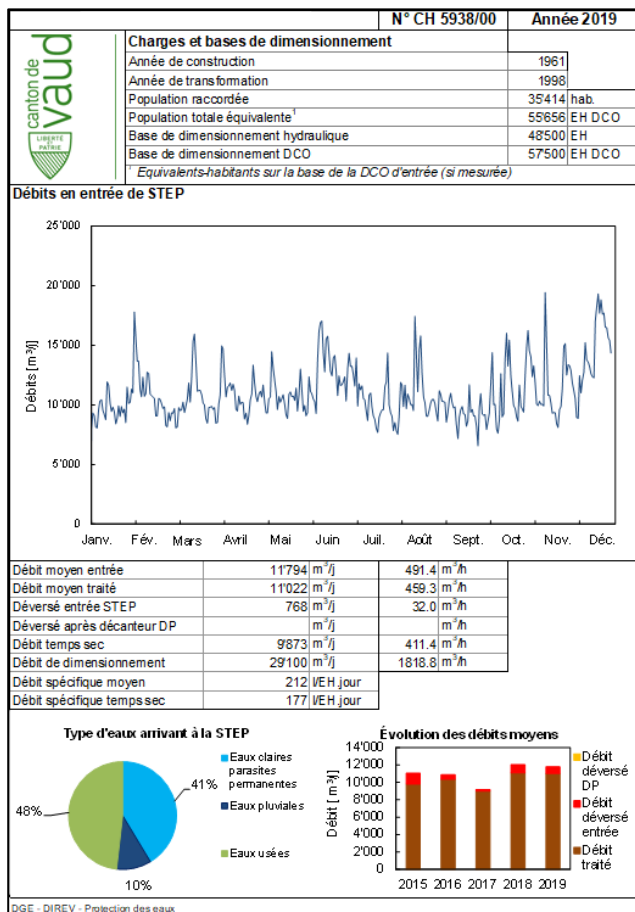
Annexe 3 Fiche d'analyse remplie pour le suivi des STEP

 Direction générale de l'environnement (DGE) Protection des eaux (PRE) CH-1066 Epalinges		RAPPORT D'ANALYSES STEP	
Prélèvement du 26.07.2021 au 27.07.2021 Inspecteur: Gil Mandor Chef de section: Claude-Alain Jaquero		Référence: 	
PLUVIOMETRIE (mm)		DEBITS (m3/j)	
Déversé entrée non		Entrée 4 230 Déversé DP 0 Sortie traitée 4 230	
ANALYSES		Norme	
pH [] Conductivité [$\mu\text{S}/\text{cm}$ à 25°] Mat. en suspension (MES) [mg/L] Carbone org. dissous (COD) [mg C/L] Carbone org. total (COT) [mg C/L] Dem. biochimique en oxygène à 5j (DBO5) [mg O2/L] Dem. chimique en oxygène (DCO) [mg O2/L] Ammonium (NH4) [mg N/L] * Nitrite (NO2) [mg N/L] Nitrate (NO3) [mg N/L] Azote Kjeldahl (NTK) [mg N/L] Azote total (Ntot) [mg N/L] Orthophosphates (PO4) [mg P/L] Phosphore total (Ptot) [mg P/L]		Entrée E21-03074 Sortie E21-03087 7.4 1 150 4 1 052 3 59 121 280 18.86 0.28 <1.00 25.82 27.1 1.72 3.99 8.0 1 052 <15 <10 <15 <45 <2.00 <0.30 <0.50	
RENDEMENTS		Norme	
Carbone organique [%] Demande biochimique en oxygène [%] Demande chimique en oxygène [%] Azote (Ammonium/Kjeldahl) [%] Phosphore total [%]		Rendement global Rendement traité 95 95 98 95 99 96 > 85 > 90 > 85 > 90 > 90	

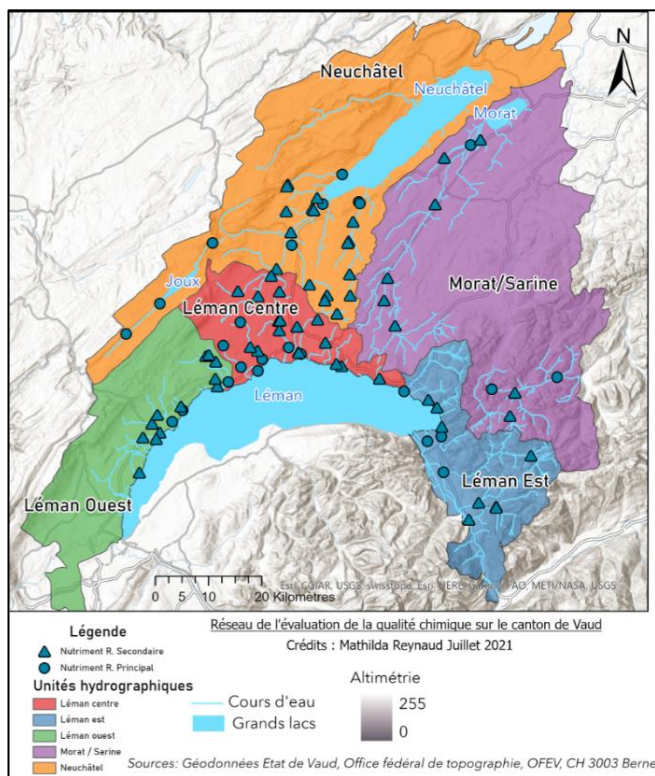
* La norme 'nitrite' est indicative.
 Le rendement traité est calculé sur la part d'eau traitée par la STEP, le rendement global tient compte des déversements lorsque ceux-ci sont mesurés.
 Les valeurs en gris ne correspondent pas aux normes ou objectifs.
 nd = non détecté ; n/a = pas de résultat

Ce rapport est valable sans signature. Il est émis par le chef de la section 'Epuración urbaine' après validation des sections participantes.

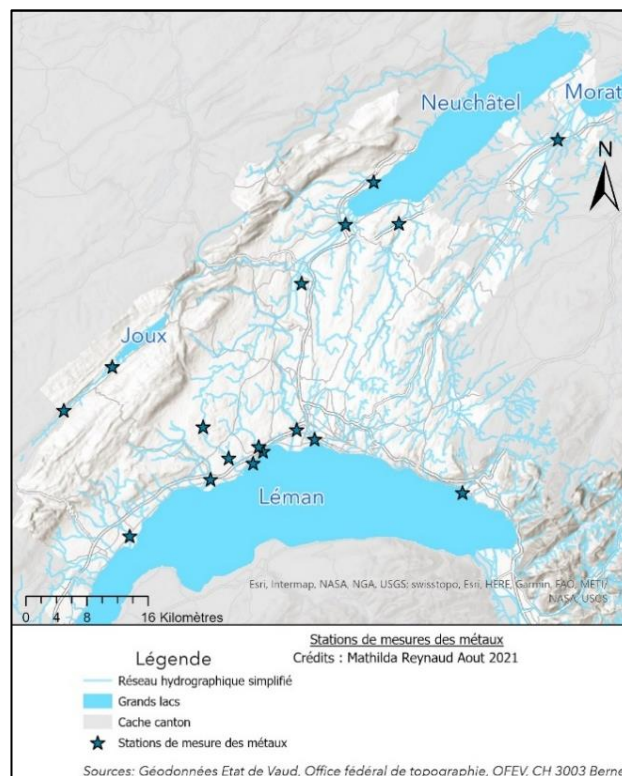
Annexe 4 Bilan personnalisé annuel des STEP



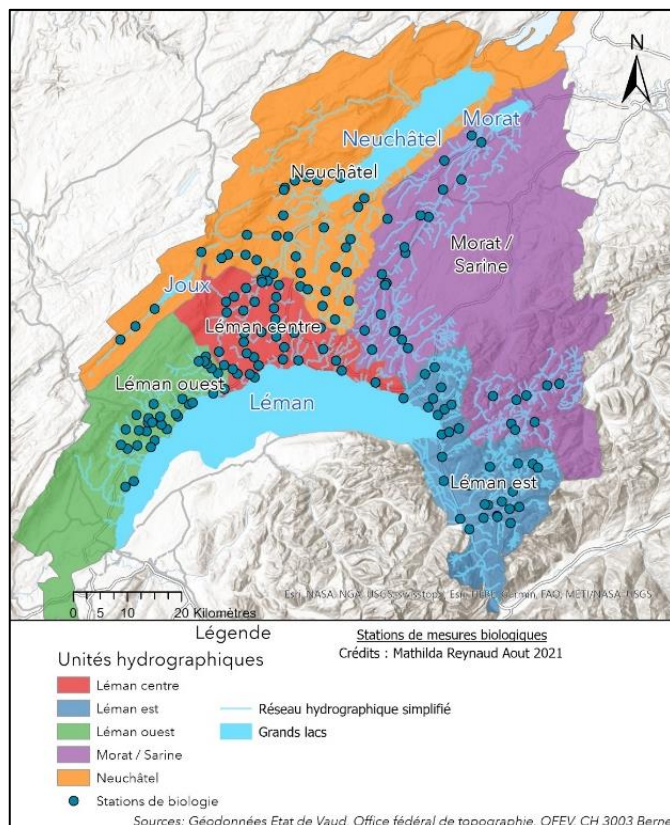
Annexe 5 Réseaux principal et secondaire du suivi des nutriments



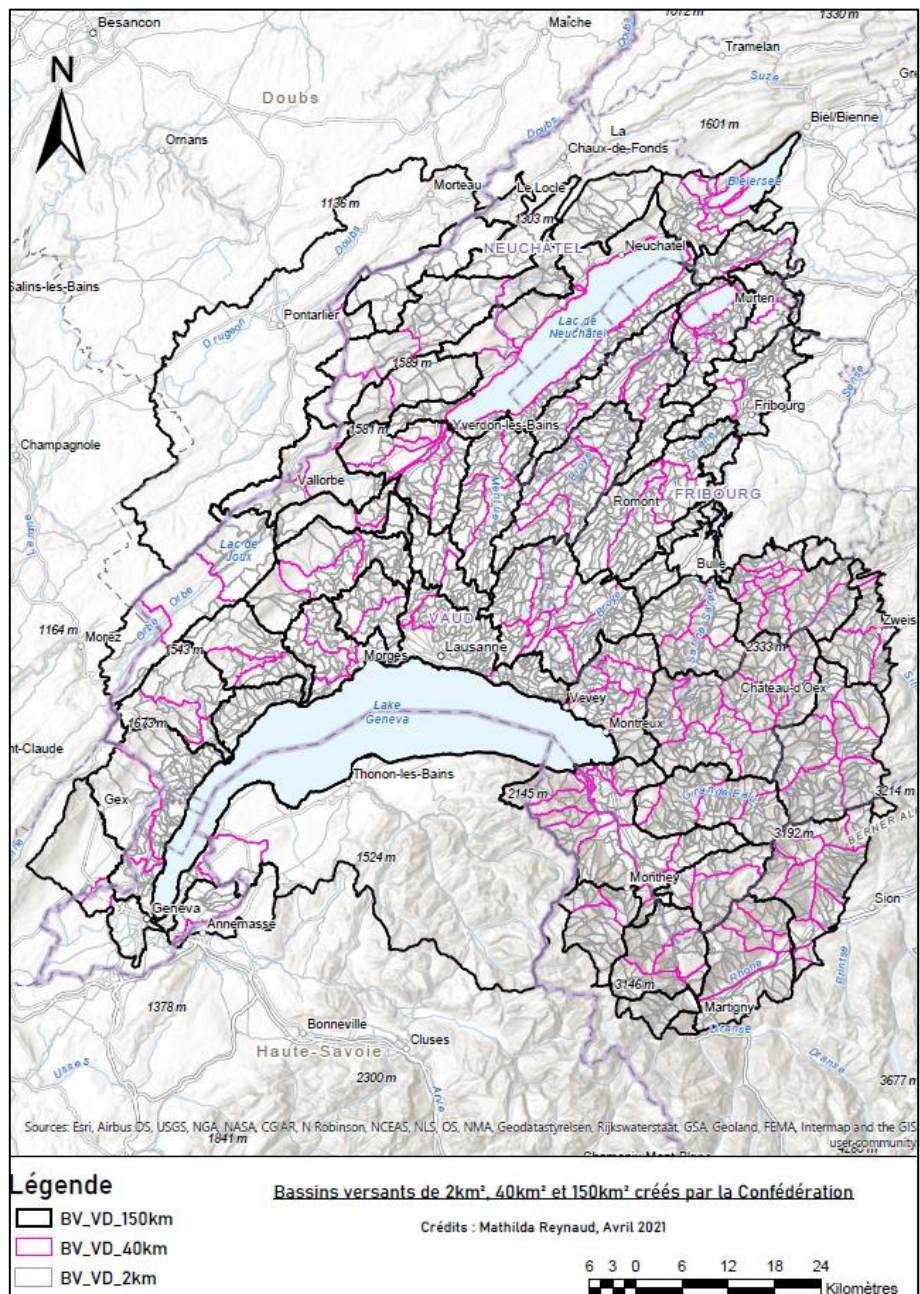
Annexe 6 Réseau de suivi des métaux



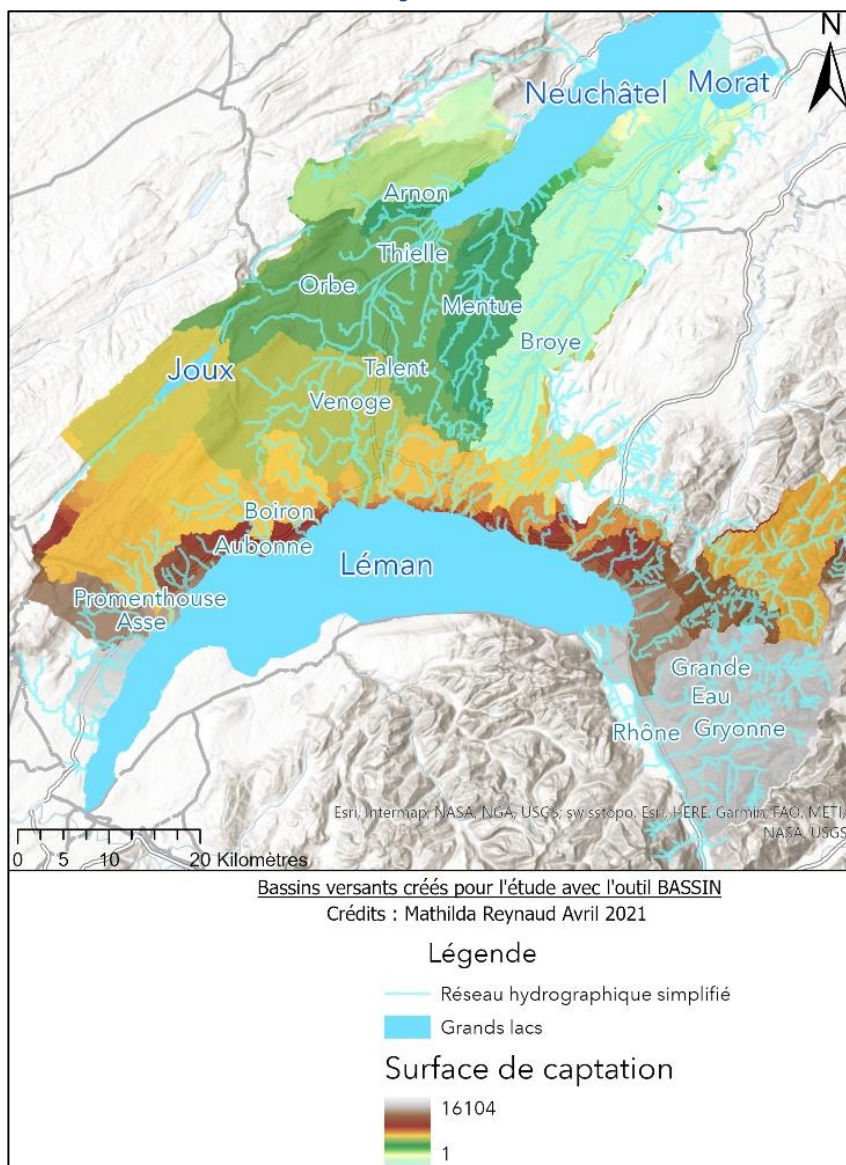
Annexe 7 Réseau de suivi de la qualité biologique



Annexe 8 Bassins hydrologiques définis par la Confédération



Annexe 9 Bassins de drainage créés avec l'outil ArcGis



Annexe 10 Extrait du recensement des indicateurs de la qualité des eaux de surface

Indicateurs	Données	Volume des données disponibles	Spatialisation	Fréquence de mesure															
Diversité des peuplements																			
	Combien de campagnes ? Sont-elles identiques ?			167 stations rivières + 8 lacs															
Comment sont composés les peuplements ?	Indice IBCH	2009-2021 (voir plus)	Ponctuelle Tronçon ?	1/an/région (4 ans)															
Intégration de la donnée		Méthode d'appréciation																	
Unité spatiale d'évaluation	Interprétation	Calculs	Notation																
Diversité des peuplements																			
Comment étendre les résultats à des sous bassins versants ou tronçons?	Facteurs pondérant ? Quelle temporalité est représentative ?																		
?	?	IBCH = (0,62 x valeur VT) + (0,38 x valeur GI), avec IBCH compris entre 0 et 1																	
		<table><tr><td>Données</td><td>VT (0-100)</td><td>Créer</td></tr><tr><td>Indicateur</td><td>0,62 x 100</td><td>62</td></tr><tr><td>Créer</td><td>0,38 x 100</td><td>38</td></tr><tr><td>Créer</td><td>0,2 x 100</td><td>20</td></tr><tr><td>Créer</td><td>0,2 x 100</td><td>20</td></tr></table>			Données	VT (0-100)	Créer	Indicateur	0,62 x 100	62	Créer	0,38 x 100	38	Créer	0,2 x 100	20	Créer	0,2 x 100	20
Données	VT (0-100)	Créer																	
Indicateur	0,62 x 100	62																	
Créer	0,38 x 100	38																	
Créer	0,2 x 100	20																	
Créer	0,2 x 100	20																	

(a)

Code_VD	X	Y	Riviere	Lieu_Prelev	Parametre
VD_ARN_NEU_0431.6	2542084	1186405	ARNON	AMONT LAC	NH4
VD_AUB_LEM_0390.0	2520709	1147450	AUBONNE	ALLAMAN LE COULET	NH4

NH4_18	Percentile	NH4_19	Percentile	NH4_20	Percentile	NH4_18_20	Percentile	Classe_Qualite	Rp_Rs
0.5015	0.9	0.253	0.9	1.135	1	0.374	0.9	Tres bonne	Rp
0.2466	0.9	0.1714	0.9	0.296	0.9	0.2605	0.9	Tres bonne	Rp

(b)

=SI(M2<0.5;"Tres bonne";SI(ET(0.5<=M2;M2<1);"Bonne";SI(ET(1<=M2;M2<1.5);"Moyenne";SI(ET(1.5<=M2;M2<2);"Mediocre";SI(M2>=2;"Mauvaise";""))))))

(c)

Modifier la règle de mise en forme

? X

Sélectionnez un type de règle :

- Mettre en forme toutes les cellules d'après leur valeur
- Appliquer une mise en forme uniquement aux cellules qui contiennent
- Appliquer une mise en forme uniquement aux valeurs rangées parmi les premières ou les dernières valeurs
- Appliquer une mise en forme uniquement aux valeurs au-dessus ou en dessous de la moyenne
- Appliquer une mise en forme uniquement aux valeurs uniques ou en double
- Utiliser une formule pour déterminer pour quelles cellules le format sera appliqué

Modifier la description de la règle :

Appliquer une mise en forme uniquement aux cellules contenant :

Valeur de la cellule ▼ comprise entre ▼ = 1.5 ↑ et = 2 ↑

Aperçu :

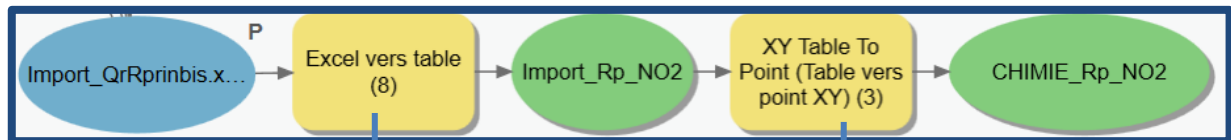
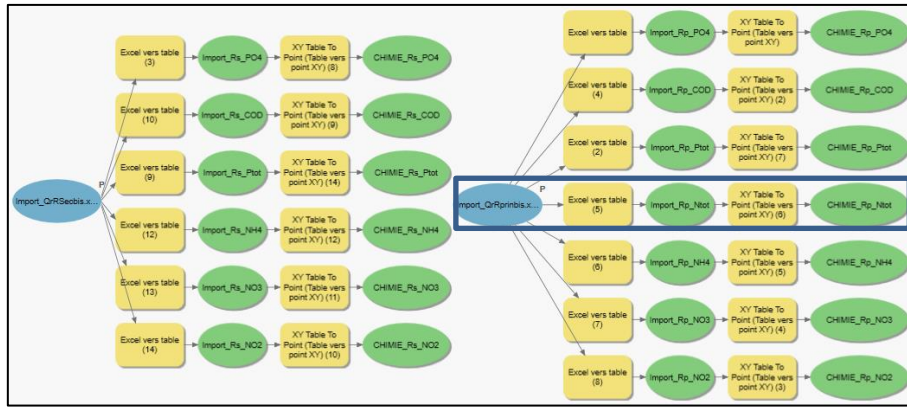
AaBbCcYyZz

Format...

OK

Annuler

Annexe 12 Explication du modèle Builder pour l'importation des données sous ArcGis



Excel vers table (8): Excel vers table

Paramètres Environnements Propriétés

Fichier Excel en entrée
Import_QrRprinbis.xlsx

Table en sortie
Import_Rp_NO2

Feuille
NO2

Ligne à utiliser pour les noms de champ
1

Plage de cellules

OK

Excel vers table

Convertit une table Excel en table attributaire exploitable sur ArcGis

XY Table To Point (Table vers point XY) (3): XY Table

Paramètres Environnements Propriétés

Table en entrée
Import_Rp_NO2

Classe d'entités en sortie
CHIMIE_Rp_NO2

Champ X
X

Champ Y
Y

Champ Z

Système de coordonnées
PROJCS[CH1903+ _LV95',GEOGCS[GCS_CH1903+',DATUM[

OK

Table vers point XY

Spatialise les entités selon leur coordonnées XY en fonction du système de projection choisi

Annexe 13 Outils utilisés pour la projection des valeurs de qualité

(a) Jointure spatiale (4): Jointure spatiale

Paramètres Environnements Propriétés

Entités cible
BV_VDx2:2

Joindre les entités
IBCH2019 (2)

Classe d'entités en sortie
BV2Vaud_IBCH19

Opération de jointure
Joindre un à plusieurs

☒ Conserver toutes les entités cible

Option de correspondance
Contient complètement

Champs

OK

(b) Fusionner (3): Fusionner

Paramètres Environnements Propriétés

Entités en entrée
BV2Vaud_IBCH19

Classe d'entités en sortie
BV2Vaud_IBCH19Min

Champ(s) de fusion
TEILEZGNR

Champ(s) statistique(s)
Terrain
IBCH2019_Moy

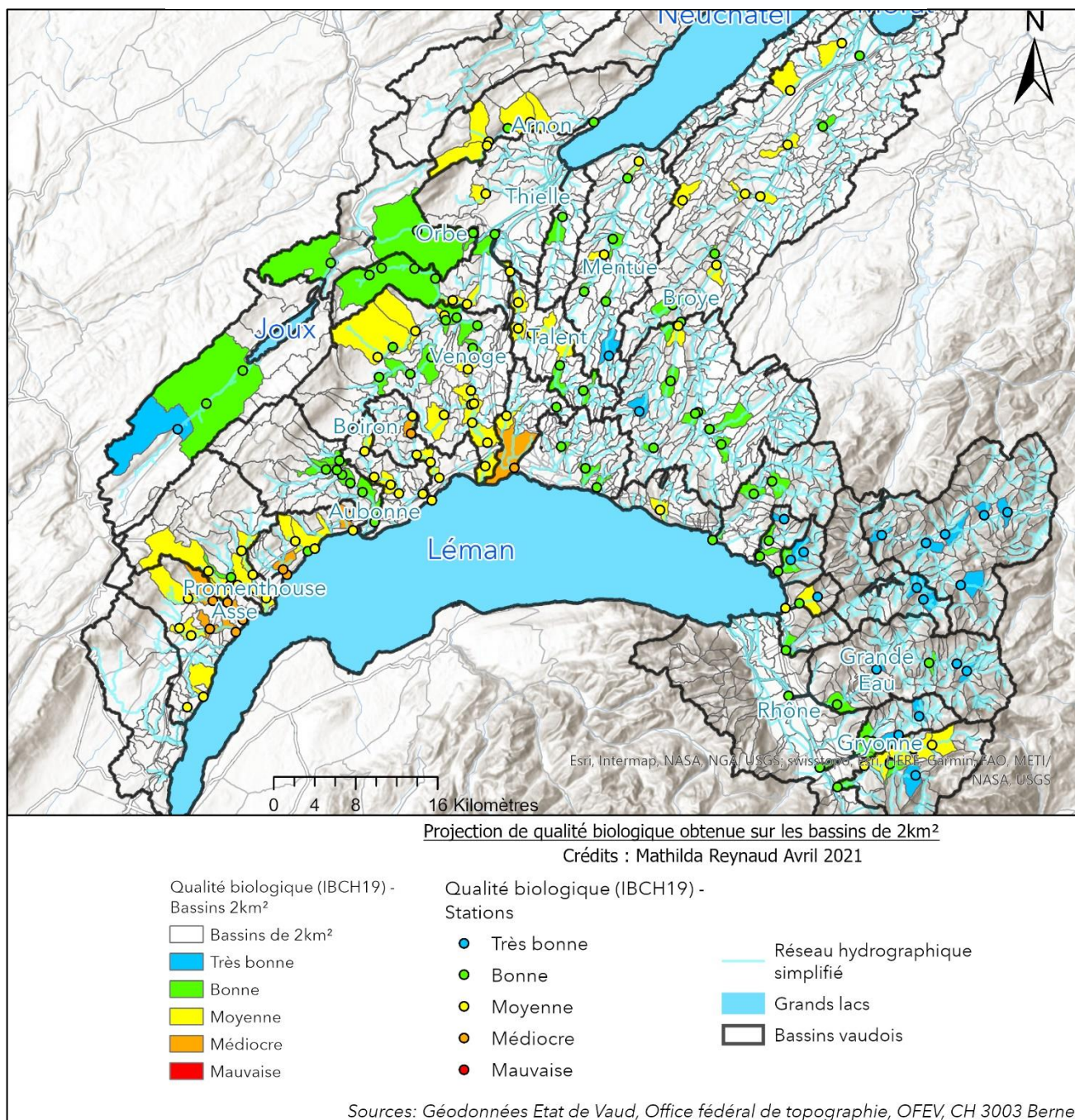
Type de statistique
Minimal

☐ Créer des entités multi-parties

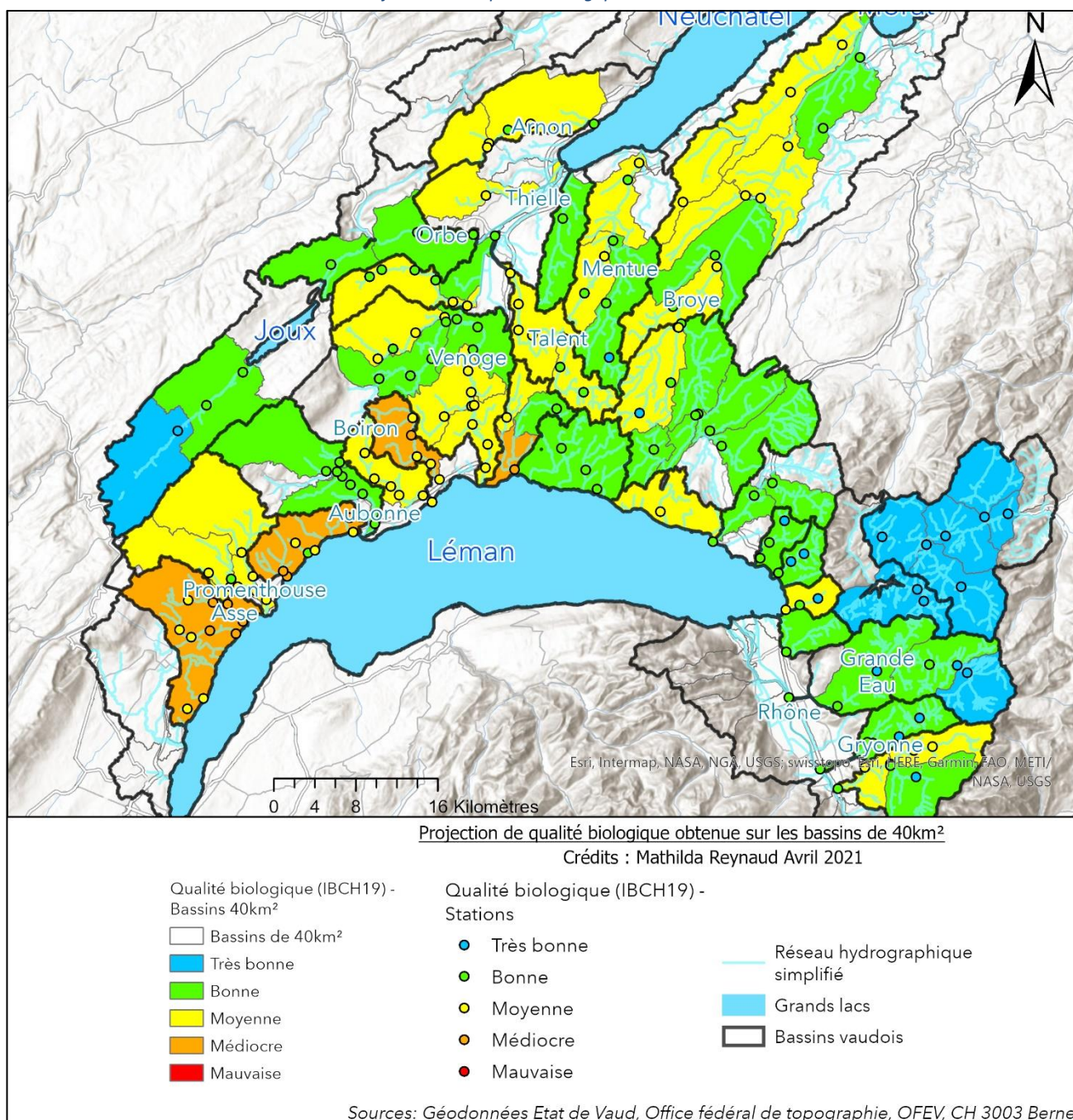
☐ Lignes non fractionnées

OK

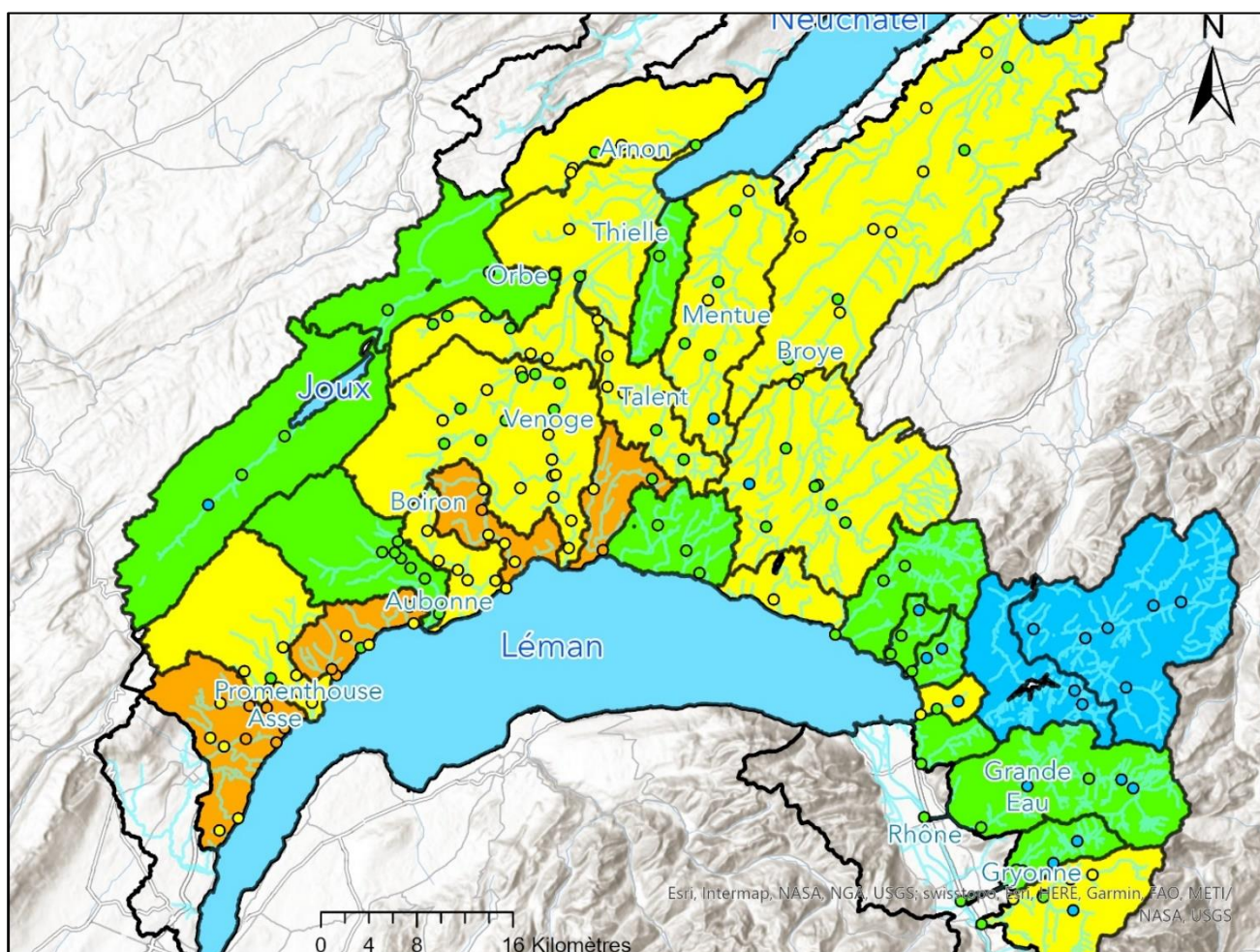
Annexe 14 Projection de la qualité biologique sur les bassins de 2km²



Annexe 15 Projection de la qualité biologique sur les bassins de 40km²



Annexe 16 Projection de la qualité biologique sur les bassins de vaudois



Projection de qualité biologique obtenue sur les bassins vaudois

Crédits : Mathilda Reynaud Avril 2021

Qualité biologique (IBCH19) -
Bassins vaudois

- Bassins vaudois
- Très bonne
- Bonne
- Moyenne
- Médiocre
- Mauvaise

Qualité biologique (IBCH19) -
Stations

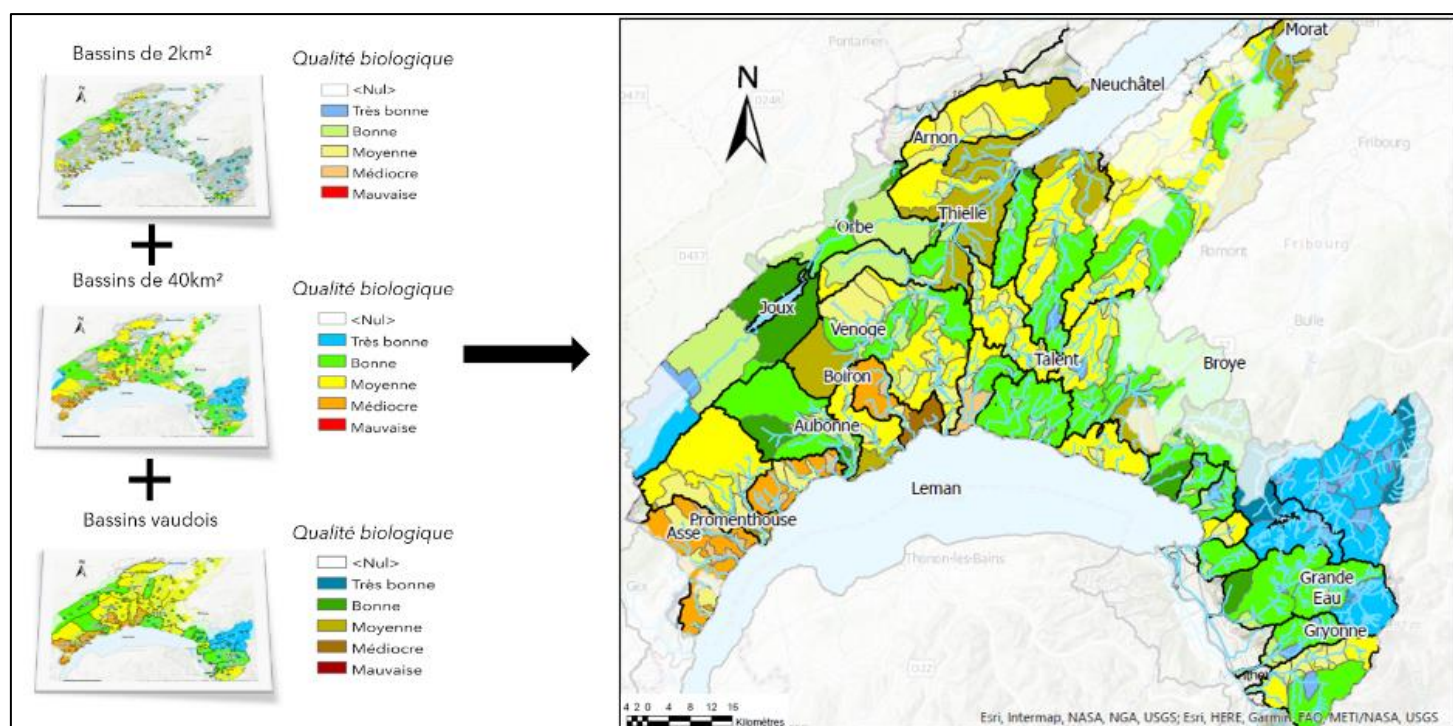
- Très bonne
- Bonne
- Moyenne
- Médiocre
- Mauvaise

Réseau hydrographique
simplifié

- Grands lacs
- Bassins vaudois

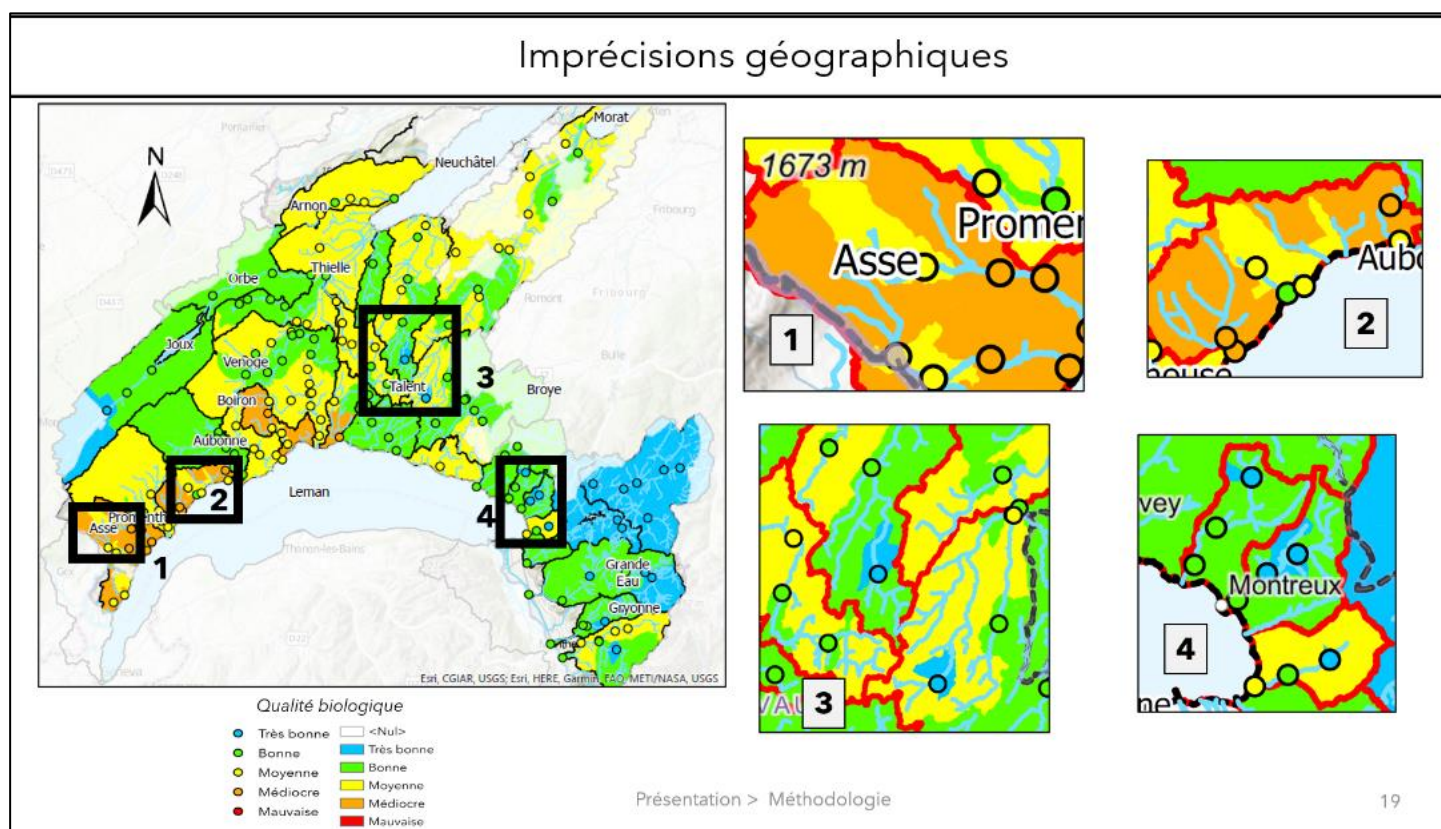
Sources: Géodonnées Etat de Vaud, Office fédéral de topographie, OFEV, CH 3003 Berne

Annexe 17 Superposition des projections de la qualité biologique

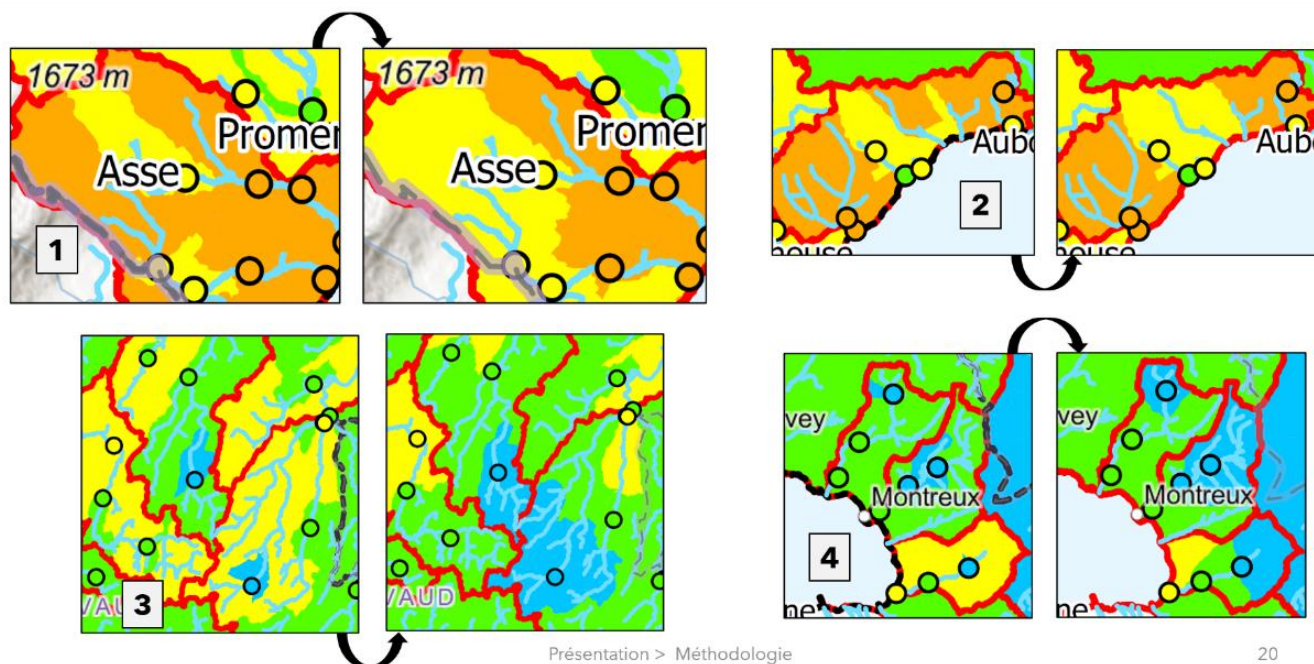


Annexe 18 Exemples d'imprécisions géographiques constatées

Imprécisions géographiques

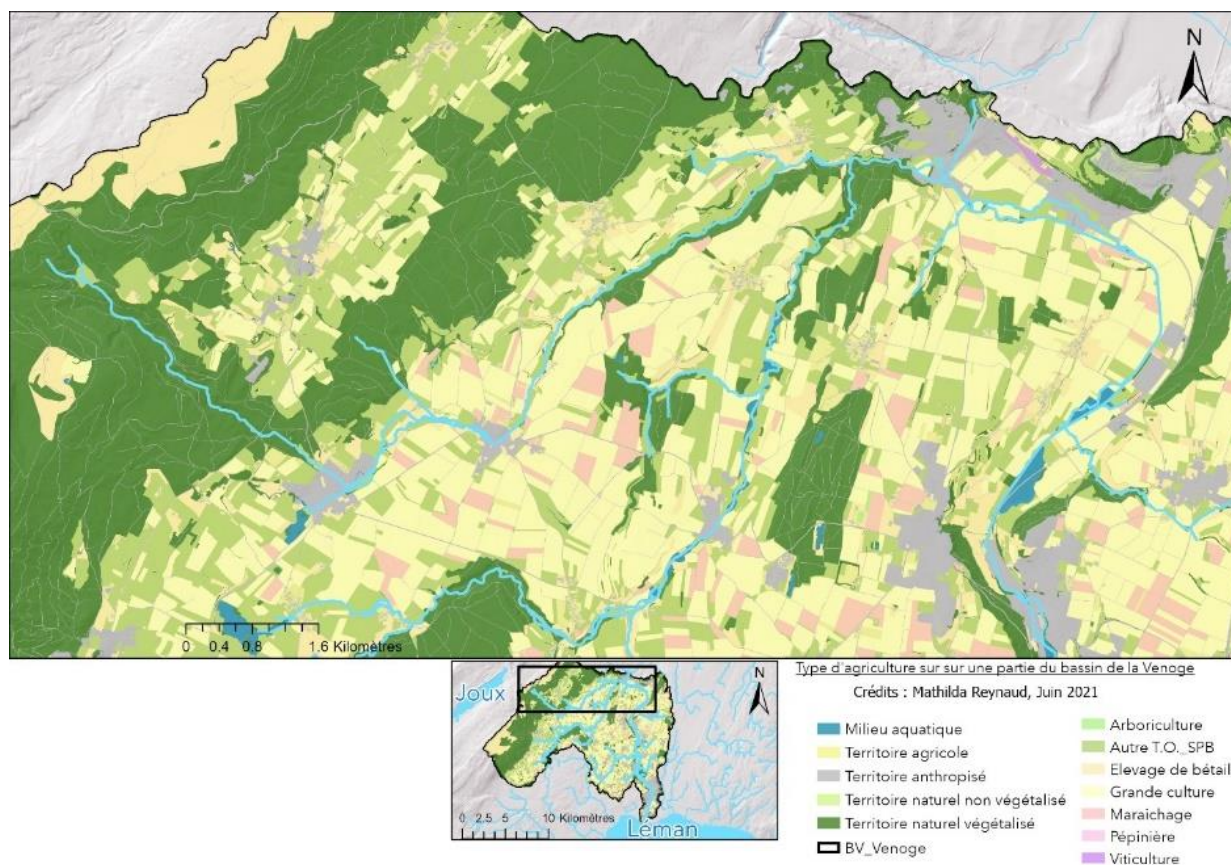


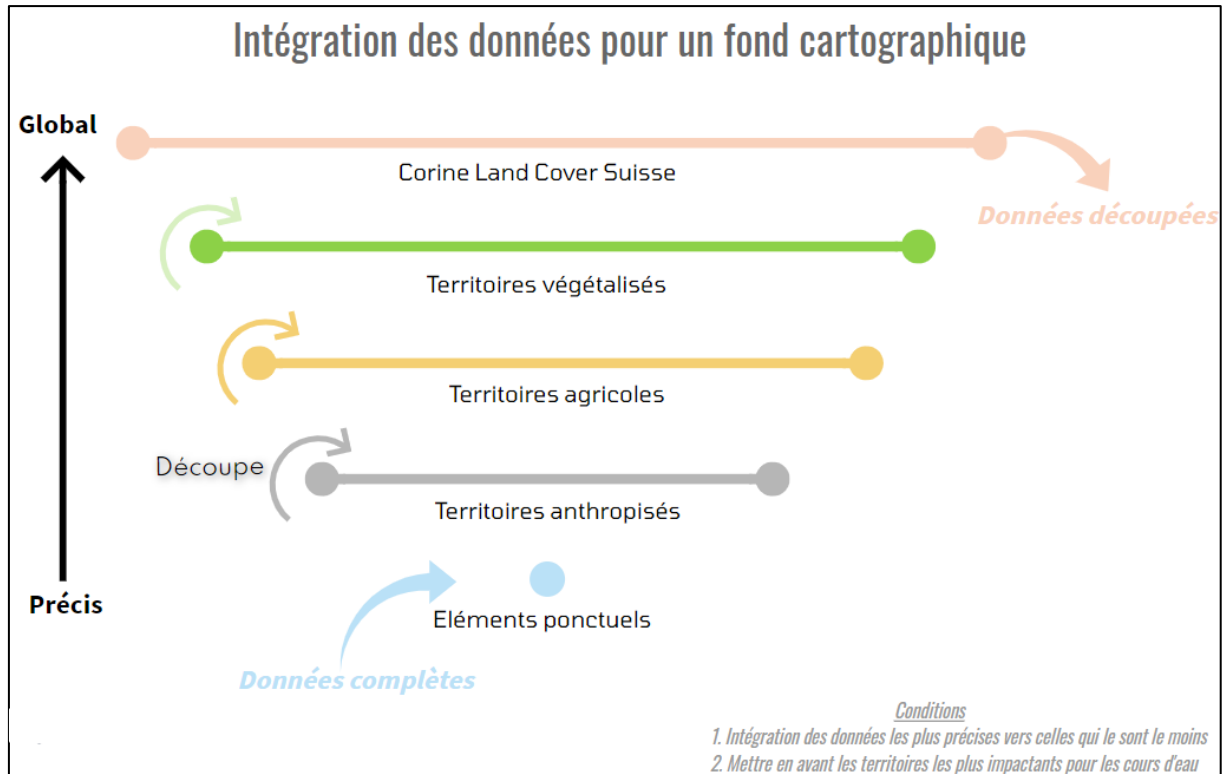
Adaptations méthodologiques



20

Annexe 19 Catégorisation des types d'exploitations agricoles





Eléments ponctuels

1. Bâtiments	2. Zones bâties	3. Routes	4. Voies ferrées	5. Cours d'eau	6. Zones humides	7. Etendues d'eau	8. Zones naturelles non végétalisées
--------------	-----------------	-----------	------------------	----------------	------------------	-------------------	--------------------------------------

Annexe 22 Seuils d'évaluation des paramètres pour la notation

Paramètres	Seuils		Non-évalué (0)
	Atteint (+1)	Non-Atteint (-1)	
BIOLOGIE	Très bonne/Bonne	Moyenne à Mauvaise	
CHIMIE	Plus de la moitié des paramètres: Très bonne/Bonne	Moitié ou plus des paramètres: Moyenne à Mauvaise	Pas de mesure
STEP - Fonctionnement	Plus de la moitié des STEP: Très bonne/Bonne	Moitié ou plus des STEP: Moyenne à Mauvaise	
STEP - Rejet	Plus de la moitié des paramètres: Très bonne/Bonne	Moitié ou plus des paramètres: Moyenne à Mauvaise	
ANC	Si Mini-STEP majoritaire	Si autre système majoritaire	Système inconnu majoritaire
Agriculture	-20%	20% ou plus	
Artificialisation	-20%	20% ou plus	
Naturalité	50%	-20%	
Densité route	-3%	3% ou plus	

Annexe 23 Extrait du fichier de notation

NOTATION BASSIN VERSANT				
Thème 1 : QUALITE DES EAUX SUPERFICIELLES				
QUALITE BIOLOGIQUE		Date campagne : 2010-2021		
Non Atteinte (-1pt)		-1		
QUALITE CHIMIQUE - NUTRIMENTS		Date campagne Rp : 2018-2020 Date		
Atteinte (+1pt)		1		
Paramètres peiorants	Plot	NO ₂	NO ₃	PO ₄
QUALITE CHIMIQUE - METAUX		Date campagne : 2018-2020		
Atteinte (+1pt)		1		
Paramètres peiorants				
MICROPOLLUANTS - MEDICAMENTS ET PRODUITS INDUSTRIELS		Date		
Atteinte (+1pt)		1		
Paramètres peiorants				
MICROPOLLUANTS - PESTICIDES		Date campagne : 2018-2020		
Non Atteinte (-1pt)		-1		
Paramètres peiorants				

Annexe 24 Schémas décisionnels obtenus pour les sous-bassins de la Venoge

(a)

BASSIN AMONT				
Occupation du sol		Infrastructures		
Agriculture	Urbanisation	STEP	ANC	Réseau routier
Phosphore	MES	CO	Phosphore	MES
Azote		MES	Azote	
		Ptot		
		NO ₂		
		NH ₄		

(b)

BASSIN LA SENOGE				
Occupation du sol		Infrastructures		
Agriculture	Urbanisation	STEP	ANC	Réseau routier
Phosphore	MES	CO	Phosphore	MES
Azote	Antidouleur	DBO ₅	Azote	
		DCO		
		MES		
		Ptot		
		NO ₂		
		NH ₄		

(c)

BASSIN AVAL				
Occupation du sol		Infrastructures		
Agriculture	Urbanisation	STEP	ANC	Réseau routier
Phosphore	Cuivre	NO ₂	Phosphore	Cuivre
Azote	Antidouleur		Azote	Herbicides
Cuivre				
Herbicides				
Insecticides				

Annexe 25 Fichier de rangement

BIOLOGIE - Explication couches			
> IBCH	> Fichier_Excel	<ul style="list-style-type: none"> > 2019IBCH3Camp > IBCH2010x2019_ImportSIG > IBCH_ImportSIG_Vide > v2010x2019_IBCH3Camp 	<p>Traitements des données pour avoir la moyenne des IBCHv2019 sur les 3 dernières campagnes de mesures</p> <p>Fichier avec feuilles organisées pour l'import des données sous SIG (IBCHv2010-IBCHv2019-IBCHglobal)</p> <p>Modèle de fichier Excel pour l'import des données</p> <p>Traitements des données pour avoir la moyenne des IBCH10 et 19 sur les 3 dernières campagnes de mesures</p>
	> Fichier_Lyr	<ul style="list-style-type: none"> > BVVaudx40x2_IBCH19 > QualitelIBCH10 > QualitelIBCH19 	<p>Projections sur BV vaudois des moyennes IBCH19 pour les trois dernières campagnes (Avec adaptations géographiques)</p> <p>Evaluation de la qualité avec l'IBCH 2010 sur le canton de Vaud</p> <p>Evaluation de la qualité avec l'IBCH 2019 sur le canton de Vaud</p>



POLYTECH[®]
TOURS

35 ALLÉE FERDINAND DE LESSEPS
37200 TOURS

Mathilda Reynaud

2020-2021

Priorisation par bassins versants sur le canton de Vaud

Résumé : Dans l'objectif de développer une nouvelle stratégie de gestion des eaux superficielles, le canton de Vaud souhaite considérer les entités de bassins versants comme fondateurs de cette nouvelle dynamique. C'est dans cet objectif que s'inscrit ce projet qui a consisté à développer une méthodologie d'évaluation multiparamétriques des eaux superficielles.

Mots Clés : Bassins versants – Cartographie – Eaux superficielles

Direction Générale de l'Environnement du Canton de Vaud

Chemin des Boveresses 155
1066 Epalinges - Suisse



Tutrices entreprises :

Emilie Hanus et Florence Dapples

Tutrice académique :

Francesca Di Pietro