



Institut Agro Dijon IFI 3<sup>ème</sup> Année – Spécialité Agronomie

Dominante Ressources, Données, Diagnostics, Changements Climatiques

Promotion 2019-2022

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Réalisé du 14 mars au 29 juillet 2022

PROBLEMATIQUE DES NITRATES DANS LES RIVIERES DU CHAROLAIS-  
BRIONNAIS-MORVAN : PROPOSITION DE DEMARCHE POUR LA SELECTION DE  
ZONES ATELIERS

Par : Marie LALLEMAND

Enseignante référente : Marjorie UBERTOSI

Tutrice de stage : Pascale MORETTY-VERDET,

Chambre d'Agriculture de Saône-et-Loire,

18 rue de Flacé, 71 000, MACON

Nombre de pages : 46

Année de soutenance : 2022

## Remerciements

A l'issue de ce stage particulièrement enrichissant, je tiens avant tout à remercier Pascale Moretty-Verdet, responsable du service Territoires à la Chambre d'Agriculture de Saône-et-Loire, et maître de stage durant ces six derniers mois. Votre disponibilité, votre sens du détail et votre écoute m'ont beaucoup apporté. J'ai été ravi de travailler avec vous.

Un grand merci à Marjorie Ubertosi, enseignante-chercheuse à l'Institut Agro Dijon et tutrice de ce stage. Merci pour votre regard avisé, vos conseils, vos encouragements ainsi que vos relectures qui ont permis la rédaction de ce mémoire.

J'adresse mes remerciements à l'ensemble des partenaires avec lesquels j'ai pu travailler : agents de la DREAL, de l'AELB, du SRISE, des syndicats de rivières. Et tout particulièrement Bernard Gaessler, Elise Grimbert et Nathalie Delara, agents de la DDT Saône-et-Loire, pour leurs savoirs, leur suivi et leur sympathie.

Je souhaite remercier Jean Blancheteau, conseiller agro-environnement à la Chambre d'Agriculture. Merci pour ton aide et ton soutien sans faille tout au long de ces derniers mois.

Un grand merci à toute l'équipe du service Territoires de la Chambre d'Agriculture, et plus largement à l'ensemble du personnel pour votre accueil chaleureux et votre amitié à mon égard.

Enfin, j'adresse une pensée particulière pour des soutiens de l'ombre ; Gabrielle, pour m'avoir écouté et conduit chaque jour de la gare à la Chambre d'Agriculture. Je remercie amis et famille qui m'accompagnent et me guident chaque jour : Arthur, Lucie-Anne, Mathilde, Pauline, Zoé, Charlène, Clara et maman.

## Résumé

### Méthode de sélection – Nitrates – Instrumentation – Cartographie – Territoire

Lors de la révision des zones vulnérables au titre de la Directive Nitrates de 2020, des dépassements du seuil de concentration en nitrates de 18 mg/L ont été observés dans les cours d'eau du territoire du Charollais-Brionnais-Morvan. Cette augmentation brutale a impliqué une suggestion de zonage avec de fortes extensions (128 communes) et l'incompréhension des acteurs locaux qui se sont opposés à la proposition de classement. En contrepartie du non-classement, l'Etat formule une obligation d'étude pour une compréhension globale des dynamiques nitrates à échelle du territoire. Ce mémoire fait suite à trois études déjà menées par le CoPil du projet, et constitue un premier pas vers une (ré-)instrumentation et la construction de pratiques agricoles alternatives sur le territoire. Pour rendre possible de tels changements, la sélection de zones ateliers d'étude représentatives du territoire doit être réfléchie et pertinente, afin de favoriser l'obtention de financements et pour la bonne conduite du projet. La présente étude comprend une caractérisation de la zone d'étude et de sa relative homogénéité agricole, puis la description d'une zone atelier idéale où les données sont présentes, suffisantes et contrastées, et enfin, l'application de deux méthodes de sélection. L'application d'un arbre décisionnel à classification hiérarchique descendante est efficace, rigoureuse mais limite une vision d'ensemble des résultats. Une méthode de scoring palie ce défaut mais demande un temps de traitement important. L'intégration à l'étude des savoirs et expériences des experts locaux a permis la sélection de 7 cours d'eau. A ce mémoire feront suite la délimitation des zones ateliers et la mise en place, l'hiver prochain, de prélèvements hebdomadaires des taux de nitrates.

## Abstract

### Selection method - Nitrates - Instrumentation - Mapping - Territory

When the vulnerable zones under the Nitrates Directive are revised in 2020, exceedances of the nitrate concentration limit of 18 mg/L have been observed in the waterways of the Charollais-Brionnais-Morvan territory. This sudden increase implied a suggestion of zoning with strong extensions (128 municipalities) and the misunderstanding of the local actors who opposed the classification proposal. In return for not being classified, the State formulates a study obligation for a global understanding of nitrate dynamics on a territory scale. This thesis follows three studies already conducted by the Steering Committee of the project, and is a first step towards the instrumentation and construction of alternative agricultural practices on the territory. To make such changes possible, the selection of representative study areas of the territory must be well thought out and relevant, in order to facilitate the obtaining of funding and for the successful conduct of the project. The present study includes a characterization of the study area and its relative agricultural homogeneity, then the description of an ideal study area where data are present, sufficient and contrasted, and finally, the application of two selection methods. The application of a decision tree with a descending hierarchical classification is efficient and rigorous, but limits the overall view of the results. A scoring method compensates for this weakness but requires a significant amount of processing time. The integration of the knowledge and experience of local experts into the study allowed the selection of 7 rivers. This thesis will be followed by the delimitation of study zones and the implementation, next winter, of weekly nitrate sampling.

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Contextualisation de l'étude</b>	4
1.1	Nitrates et sciences	4
1.2	Nitrates et réglementation	6
1.3	Historique de l'étude	8
1.3.1	La campagne de révision des zones vulnérables 2018 – 2019	8
1.3.2	Création du COPIL	10
1.3.3	Construction de l'étude	10
1.3.4	Phase 3 : Identifier des zones ateliers	13
1.3.5	Problématique	13
<b>2</b>	<b>Matériels et méthodes</b>	14
2.1	Données et logiciels	14
2.2	Présentation de la zone d'étude	16
2.3	Unités hydrologiques	19
2.4	Méthode de sélection de mise en œuvre	20
2.4.1	Critères de choix	20
2.4.2	Méthode de sélection par arbre décisionnel à classification hiérarchique descendante	22
2.4.3	Méthode de sélection par scoring	23
<b>3</b>	<b>Résultats</b>	24
3.1	Application de la méthode par arbre décisionnel à classification hiérarchique descendante	24
3.2	Application de la méthode par scoring	28
3.3	Sélection finale	30
<b>4</b>	<b>Perspectives</b>	32
<b>5</b>	<b>Retour d'expérience et limites de l'étude</b>	32
5.1	Les données	32
5.2	Les critères de choix	33
5.3	Les méthodes	33
5.3.1	Limites et avantages des arbres décisionnels	33
5.3.2	Limites et avantages du scoring	34
5.3.3	La méthode dans une application future	34

## Liste des figures

- Figure 1 : Relation entre flux spécifiques annuels en azote et usage agricole, (Dupas et al., 2014).
- Figure 2 : Résultats des concentrations en nitrates à différentes fréquences de prélèvements : d'un échantillonnage à la demi-heure (a), à des échantillonnages à l'heure ( b), au jour (c), à la semaine (d), et au mois (e), distribué de façon aléatoire, (Jones et al., 2012).
- Figure 3 : Carte des zones classées vulnérables en Europe, en France et en Bourgogne-Franche-Comté, (Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2020).
- Figure 4 : Comparaison des communes classées en zones vulnérables au titre de la Directive Nitrate en 2017 (violet) et celles ajoutées lors de la proposition de zonage de l'automne 2020 (rouge) sur le territoire du Charolais-Brionnais-Morvan.
- Figure 5 : Descriptif de la démarche mise en œuvre par la Chambre d'Agriculture de Saône-et-Loire.
- Figure 6 : Localisation des huit cours d'eau et stations étudiés par la DREAL en 2021.
- Figure 7 : Evolutions des concentrations en nitrates de 8 stations entre 2010 et 2020, (DREAL Bourgogne Franche-Comté, 2021).
- Figure 8 : Localisation des stations de prélèvements nitrates présentant au moins une analyse entre 2010 et 2021 et celles ayant fait l'objet d'un dépassement ( $p90 > 18$  mg/L) lors de la campagne de mesures 2018-2019.
- Figure 9 : Localisation des stations de mesures de débits présentant des données jusqu'en 2022 sur notre zone d'étude.
- Figure 10 : Occupation des sols sur la zone d'étude, Corine Land Cover 2012.
- Figure 11 : Localisation cartographique des bassins d'alimentation de captage, des stations d'épuration et des points de captage sur la zone d'étude.
- Figure 12 : Les différents types de sols majoritaires par UCS.
- Figure 13 : Comparaison des découpages par bassins versants topographiques (à gauche) et par masses d'eau (à droite) de la zone d'étude.
- Figure 14 : Présentation d'un arbre de classification hiérarchique (Chevalier et al., 2012).
- Figure 15 : Carte des BV suivant leur degré d'intégration dans la zone d'étude.
- Figure 16 : Enchaînement des critères de l'arbre décisionnel décidé par le collectif.
- Figure 17 : Arbre décisionnel à classification hiérarchique descendante, version (i) : « BV entièrement inclus dans la zone d'étude ».
- Figure 18 : Arbre décisionnel à classification hiérarchique descendante, version (ii) : « Les BV ont au moins 50% de leur surface dans la zone d'étude ».
- Figure 19 : Arbre décisionnel à classification hiérarchique descendante, version (iii) : « sont considérés tous les BV, quel que soit leur pourcentage de surface inclus dans la zone d'étude ».
- Figure 20 : Rivières sélectionnées à l'issue de l'étude des méthodes de sélection
- Figure 21 : Exemple fiche d'identité d'un cours d'eau sélectionné – le Mesvrin.

Figure 22 : Arbre décisionnel à classification hiérarchique descendante, test de permutation des critères.

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Provenance et caractéristiques des données récupérées

Tableau 2 : Bassins versants sélectionnés par méthode de classification hiérarchique descendante, version (i) : « BV entièrement inclus dans la zone d'étude ».

Tableau 3 : Bassins versants sélectionnés par méthode de classification hiérarchique descendante, version (ii) « Les BV ont au moins 50% de leur surface dans la zone d'étude ».

Tableau 4 : Extrait des résultats par méthode de scoring sur 7 bassins versants.

## Liste des abréviations, acronymes et sigles

AELB	Agence de l'Eau Loire Bretagne
BAC	Bassin d'Alimentation de Captage
BFC	Bourgogne Franche-Comté
BV	Bassin Versant
CA 71	Chambre d'Agriculture de Saône-et-Loire
COPIL	Comité de Pilotage
CoTech	Comité Technique
DDT	Direction Départementale des Territoires
DRAAF	Direction Régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt
DREAL	Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
GISSol	Groupement d'Intérêt Scientifique sur les Sols
GREN	Groupe Régional d'Expertise Nitrates
INRAe	Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement
ndlr	Note de la rédaction
PAN	Programme d'Actions National
PAR	Programme d'Actions Régional
PDF	Portable Document Format
RMT	Réseau Mixte et Technologique
RU	Réserve Utile en eau
SAU	Surface Agricole Utile
SIRIS	Système d'Intégration des Risques par Interaction des Scores
SRISE	Service Régional de l'Information Statistique et Economique
STEP	Station d'Epuration
UCS	Unités Cartographiques des Sols
UGB	Unité de Gros Bétail
UTS	Unités Typologiques de Sols

## Introduction

En 2020, les services de l'état ont engagé la 7ème révision des zones vulnérables au titre de la Directive Nitrates. Le classement s'est basé sur la campagne d'analyses nitrates d'octobre 2018 à septembre 2019. Les concentrations relevées ces dernières années se trouvent fortement augmentées sur plusieurs départements français. Ces derniers présentent des dépassements du seuil des 18 mg de nitrates par litre dans leurs cours d'eau. Le dépassement de cette limite réglementaire induit généralement à la classification en « zone vulnérable » de la ou des communes concernées. Les surfaces classées doivent alors répondre à un programme d'action, listant un ensemble d'obligations permettant, *a priori*, de diminuer le risque de relargage en nitrates dans les sols et les cours d'eau. Ces mesures s'appliquent notamment sur les surfaces agricoles, et influent donc sur les modes de production.

Parmi les départements touchés par de fortes teneurs en nitrates ces dernières années, la Saône-et-Loire a observé des pics de concentration dans ses cours d'eau en hiver 2018 et 2019. Dans la suggestion de zonage soumise à la concertation au cours de l'automne 2020, l'ouest de la Saône-et-Loire était fortement concerné par des propositions extensions, passant d'une trentaine de communes classées en 2017, à plus de 120 en 2020. Suite à la surprise, l'incompréhension s'est manifestée parmi les acteurs de la profession agricole. Le système herbager extensif présente peu de risque au relargage des nitrates et il recouvre très majoritairement l'ouest de la Saône-et-Loire, aussi appelé pays du Charolais-Brionnais-Morvan. Le programme d'action de la Directive Nitrates est très adapté à des systèmes en polyculture élevage à forte dominance de culture. Dans le contexte de la Saône-et-Loire, il est probable que ces actions soient inefficaces. Par ailleurs, le diagnostic formulé par les services de l'état se base sur un échantillon très faible d'analyses (une par mois par cours d'eau étudiés en moyenne), les dynamiques en jeux sont donc difficilement identifiables.

C'est en se basant sur ces arguments que la Chambre d'Agriculture Régionale a porté une demande de dérogation et s'est opposée à la proposition de zonage de 2020. En contrepartie du non classement, les acteurs du territoire se sont engagés à la réalisation d'une étude visant la compréhension des phénomènes en présence et du lien entre pratiques agricoles et qualité de l'eau. La Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement (DREAL) représente l'Etat et veille à la bonne conduite de l'étude. La DREAL a mandaté la Chambre d'Agriculture de Saône-et-Loire dans la création d'un COPIL et la réalisation de ce projet.

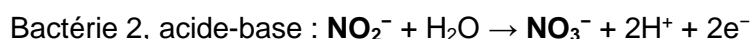
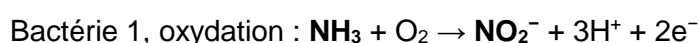
A la suite d'un état des lieux des modes de production agricoles et de la qualité des eaux sur un ensemble de cours d'eau du territoire, la Chambre d'agriculture de Saône-et-Loire aspire à construire une méthode de sélection de zones ateliers. Sur ces échelles réduites de territoire, des analyses plus fines des taux de nitrates et des pratiques agricoles mises en œuvre permettront une meilleure compréhension des phénomènes à grandes échelles. La finalité de ces observations mènera à la recherche d'un programme d'action adapté au territoire, en mentionnant notamment des pratiques alternatives.

Le présent mémoire s'attache à exposer une méthode de sélection de zones ateliers rigoureuse et pertinente, permettant l'identification de surfaces propices à des enquêtes, des expérimentations sur la qualité des eaux et la co-construction de pratiques alternatives avec les agriculteurs du territoire sélectionné.

# 1 Contextualisation de l'étude

## 1.1 Nitrates et sciences

Dans la nature, l'azote est présent sous deux formes : sous forme libre ( $N_2$ , azote atmosphérique) ou sous forme combiné (minérale ou organique). L'ensemble des phases de transformation de l'azote est compris dans le « le cycle de l'azote ». La transformation de l'azote organique en azote minéral commence par la décomposition de la matière organique (faune ou flore qui se meurt, déjections...) par des bactéries et champignons du sol, jusqu'à l'obtention d'acides humiques (molécules organiques complexes). Cette humification induit la désamination des acides aminés par la microfaune du sol et produit de l'ammonium. L'ammonium devient de l'ammoniaque par réaction acido-basique. Enfin, l'azote subit un processus de nitrification en présence d'oxygène et par l'intermédiaire de bactéries spécifiques, (West Manier, 2019). L'ammoniaque devient nitrite et les ions nitrites deviennent nitrates d'après les équations suivantes (Wikipédia, 2022) :



La plupart des espèces en prairies ou en grandes cultures ne sont pas en mesure de fixer l'azote libre atmosphérique  $N_2$ , c'est pourquoi la disponibilité en nitrates dans le sol est essentiel à leur croissance. Le nitrate est un ion très soluble dans l'eau et est donc facilement capté par les racines, il est « bio-disponible ». C'est dans ce cadre que des intrants azotés (organiques ou chimiques) sont utilisés en agriculture. Cependant la disponibilité en azote dans les sols doit être mesurée et équilibrée : des surplus en azote non utilisés par les plantes implique un grand risque de lixiviation, c'est-à-dire, un grand risque de transport des substances dissoutes (en l'occurrence les nitrates), dans la couverture pédologique et vers la profondeur et les aquifères (Aquaportail, 2009).

La figure 1 illustre la relation entre les flux spécifiques annuels d'azote en kg/ha/an et l'usage agricole estimé par Corine Land Cover 2006 (Dupas et al., 2014).

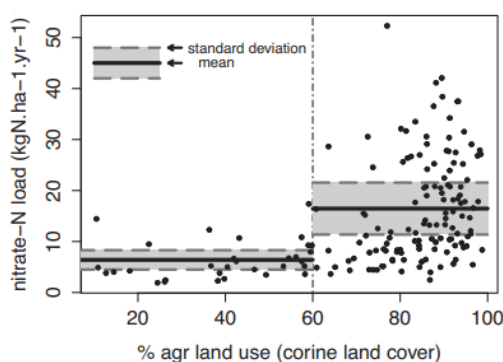


Figure 1 : Relation entre flux spécifiques annuels en azote et usage agricole, (Dupas et al., 2014).

Le graphique présenté par la figure 1 identifie les pertes de nitrates à échelle de petites surfaces en tête de bassins versants. Les bassins versants occupés par plus de 60% de zones



agricoles ont des pertes conséquentes en nitrates. Ce seuil marqué prouve l'impact de l'agriculture sur les relargages en nitrates dans les cours d'eau. Cette corrélation a permis un raisonnement sur la nécessaire élaboration de plans de fumures, permettant d'équilibrer les apports en intrants azotés avec les besoins de la culture en place.

Les nitrates emportés dans les cours d'eau polluent à la fois les eaux usées, les eaux de surface et souterraines. Lorsqu'ils sont présents en faibles quantités, ils permettent le développement de la végétation et des organismes des milieux aquatiques. S'ils s'accumulent de façon excessive, ils permettent une croissance incontrôlée de la végétation, ce qui favorise l'eutrophisation, (Aizat *et al.*, 2017). L'eutrophisation est le processus au cours duquel l'excès d'éléments nutritifs dans l'eau entraîne la prolifération d'algues. Lorsque ces algues meurent et se décomposent, cela consomme une grande quantité d'oxygène dissous. Ce dernier se raréfiant, seuls peu d'organismes arrivent à survivre. Ces zones sont parfois appelées « zones mortes », (Resmer, 2022). D'après le Conseil canadien des ministres de l'environnement (,2012), certaines espèces de poissons, d'invertébrés ou d'amphibiens sont très sensibles aux variations nitrates : dès 10 mg/L des dommages peuvent être observés si l'exposition dure dans le temps. Les excès de nitrates répétés peuvent donc être à l'origine de désastre écologique (Conseil canadien des ministres de l'environnement, 2012).

La santé publique peut également être très impactée par de trop forts taux de nitrates. D'après l'OMS, la teneur maximale admissible en nitrates dans l'eau potable ne doit pas dépasser 50 mg/L pour un adulte. Si cette limite est dépassée, l'individu s'expose à de graves troubles. Le nitrate pénétrant l'organisme peut interagir avec des amines secondaires ou tertiaires et former des complexes cancérigènes. Par ailleurs, le nitrate est une molécule pouvant oxyder l'hémoglobine en méthémoglobine de façon irréversible. Ce phénomène touche notamment les enfants. La méthémoglobine empêche le sang d'assurer son rôle de transporteur d'oxygène, les organes sont donc asphyxiés, jusqu'à la mort, (Wierzbicka, 2019).

Les éléments décrits précédemment expliquent en quoi il est extrêmement important de contrôler fréquemment, et de façon précise, les teneurs en nitrates des eaux. À cette fin, des stations de surveillance de qualité des eaux sont présentes sur une partie des cours d'eau. Des prélèvements réguliers y sont effectués et analysés en laboratoire. La figure 2 présente l'influence de la fréquence d'échantillonnage sur l'estimation des taux de nitrates sur un an en comparant des fréquences d'analyses à la demi-heure, à l'heure, au jour, à la semaine, et au mois (Jones *et al.*, 2012). Ce comparatif identifie de façon très visuelle les manquements qu'implique un nombre de prélèvements insuffisant sur une période donnée. Actuellement, en France, la majorité des cours d'eau sont suivis avec une fréquence d'échantillonnage d'une analyse par mois ou moins. Une vision peu précise induit un diagnostic réduit, et donc une compréhension des enjeux de pressions / réponses très limitée. Pour évaluer la pression des nitrates sur un cours d'eau, on utilise généralement le calcul du percentile 90 (p90) annuel, c'est-à-dire, la valeur en dessous de laquelle se trouvent au moins 90 % des données de l'année. Par exemple, si seulement 10 analyses ont été réalisées sur l'année, le p90 correspond à la 2<sup>ème</sup> valeur la plus forte. De la même manière, dans le cas d'une fréquence d'une analyse par jour sur un an, le p90 correspond alors au 36<sup>ème</sup> taux le plus élevé. Comme le montre la figure 2, les événements de pics de nitrates sont minoritaires et restreints sur leur durée. Un faible nombre d'analyse implique que si l'une d'elle est réalisée au moment d'un pic, le p90 a plus de risque d'être élevé et donc d'identifier une forte pression des nitrates sur ce cours d'eau. Augmenter les cyclicités de prélèvement permet aussi, d'un point de vue réglementaire, d'autoriser des forts taux ponctuels si les taux sont bas la majorité du temps.

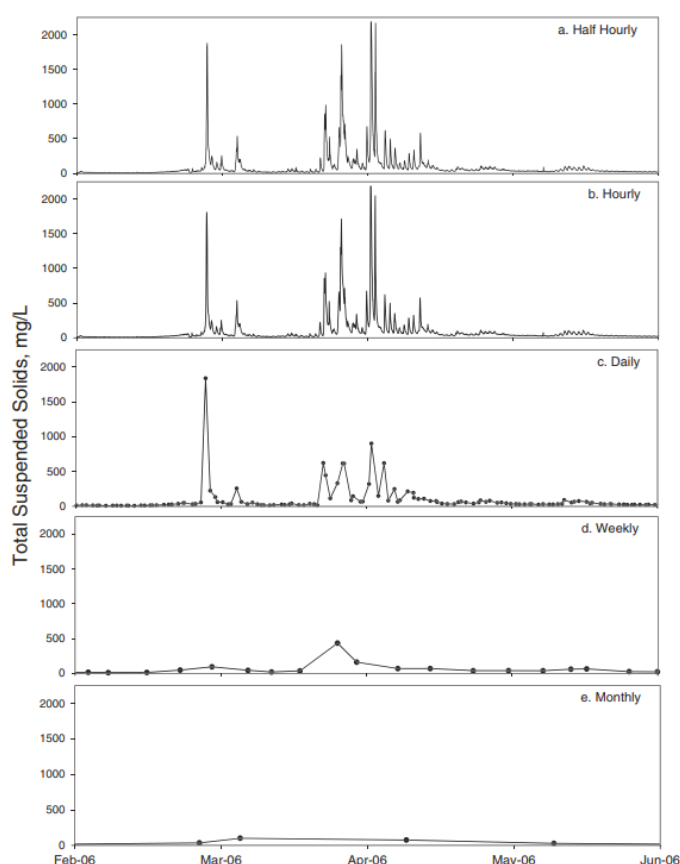


Figure 2 : Résultats des concentrations en nitrates à différentes fréquences de prélèvements : d'un échantillonnage à la demi-heure (a), à des échantillonnages à l'heure (b), au jour (c), à la semaine (d), et au mois (e), distribué de façon aléatoire, (Jones et al., 2012).

Un débit d'analyse à un prélèvement par jour permet d'appréhender les phénomènes de dynamiques des nitrates sans perdre trop d'informations. La réglementation nitrates se base aujourd'hui sur des profils d'analyses à un prélèvement par mois environ.

## 1.2 Nitrates et réglementation

Une augmentation des taux de nitrates est observée depuis plusieurs décennies dans les cours d'eau et les sols français. Une directive européenne, la Directive Nitrates, est établie en 1991 avec pour objectif de « réduire les pollutions par les nitrates agricoles, ainsi que l'eutrophisation et les risques d'eutrophisation des eaux continentales et marines, de surface et souterraines », (Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2020). Pour la mettre en œuvre, les teneurs en nitrates des différentes masses d'eau sont surveillées. Dans sa transposition en droit français, les analyses de l'année en cours sont étudiées tous les 4 ans, et des « zones vulnérables » sont définies. Sont désignées comme vulnérables les zones où les teneurs en nitrates mesurées dans les eaux superficielles et/ou souterraines sont proches ou supérieures à un seuil fixé. En France, les concentrations seuils en nitrates sont : de 18 mg/L dans les cours

d'eau, et de 50 mg/L pour les eaux destinées à l'alimentation en eau potable. Un programme d'actions s'applique sur ces zones afin de protocoliser un code des bonnes pratiques agricoles. Depuis les années 90, une grande quantité d'études ont été réalisées dans le but de comprendre au mieux les dynamiques de l'azote et d'adapter de la façon la plus efficace possible les mesures.

En France, le Programme d'Actions National (PAN) comporte 8 mesures : six d'entre elles sont imposées par la directive européenne « nitrate », deux sont des mesures supplémentaires ajoutées par le droit français. Ces mesures ont été négociées avec la Commission Européenne. D'autres dispositifs sont complémentaires du PAN pour améliorer la qualité de l'eau ; Les programmes d'actions régionaux (PAR). Leur objectif est de renforcer et compléter les mesures du PAN dans les zones vulnérables en fonction des spécificités régionales et locales, (DRAAF Bourgogne Franche-Comté, 2018).

#### LA RÉGLEMENTATION « NITRATES » DU NIVEAU EUROPÉEN AU NIVEAU RÉGIONAL (MTE/MAA)

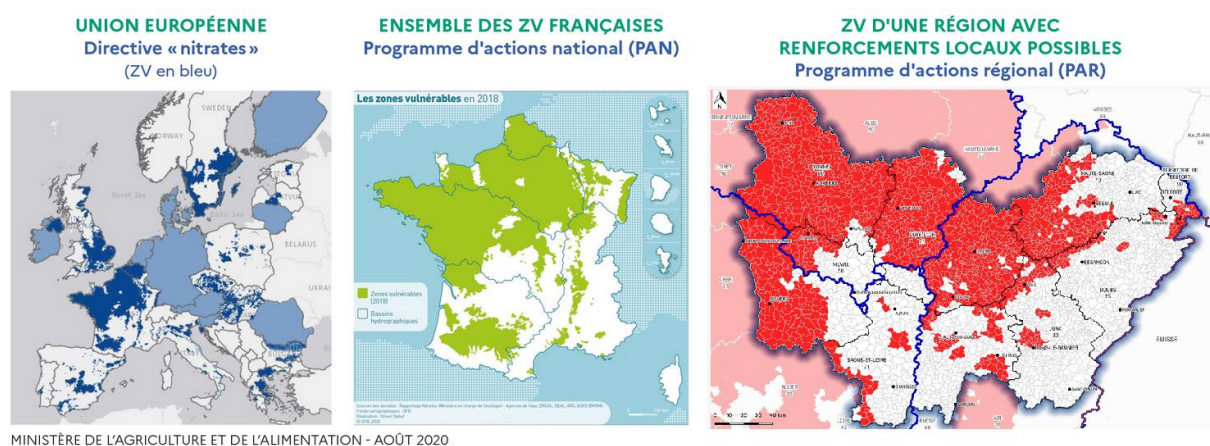


Figure 3 : Carte des zones classées vulnérables en Europe, en France et en Bourgogne-Franche-Comté, (Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2020).

Alors que certains pays ont opté pour une application de la Directive sur l'ensemble de leur territoire (Allemagne par exemple), la France a préféré identifier les zones spécifiques de risques de pollution aux nitrates : les zones vulnérables françaises s'étendent sur 68 % de la surface agricole, soit 62 % des exploitants du territoire. Elle concerne notamment le nord et l'ouest du pays, fortement marqué par la présence de grandes cultures et/ou d'élevages intensifs. A l'inverse, les zones montagneuses ne sont quasiment pas concernées, (Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2020).

En outre des stratégies européenne, française et régionale de mises en œuvre de la Directive Nitrate, la gestion des surveillances et des délimitations des zones vulnérables sont partagés par les bassins hydrographiques : douze bassins (7 en métropole et 5 d'outre-mer) sont délimités par le partage de leurs eaux superficielles. Parmi eux, le bassin Loire Bretagne, englobant tout ou partie de 36 départements entre Quimper et St-Etienne. Ce bassin hydrographique englobe notamment la partie Ouest du département de la Saône-et-Loire, aussi appelé territoire du Charolais-Brionnais-Morvan.

## 1.3 Historique de l'étude

### 1.3.1 La campagne de révision des zones vulnérables 2018 – 2019

En juillet 2020, l'exercice de révision des zones vulnérables au titre de la Directive Nitrates a été engagé en se basant sur la campagne d'analyses nitrates d'octobre 2018 à septembre 2019. De nombreux dépassements du seuil des 18 mg de nitrate/L ont été observés dans les cours d'eau, avec des pics hivernaux en 2018 et 2019. Dans la première proposition de zonage soumise à la concertation au cours de l'automne 2020, l'ouest de la Saône-et-Loire s'est trouvé fortement concerné par des extensions (123 communes, figure 4).

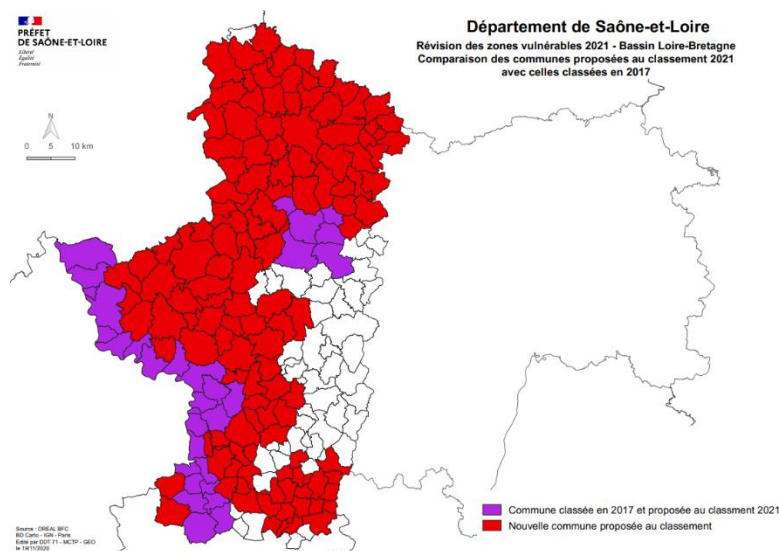


Figure 4 : Comparaison des communes classées en zones vulnérables au titre de la Directive Nitrates en 2017 (violet) et celles ajoutées lors de la proposition de zonage de l'automne 2020 (rouge) sur le territoire du Charolais-Brionnais-Morvan.

Cette proposition de classement a générée la surprise et l'incompréhension des acteurs locaux, dont le territoire est très majoritairement marqué par l'élevage extensif allaitant. La profession s'est opposée à cette proposition de zonage et la Chambre Régionale d'Agriculture a porté la demande de dérogation devant les services de l'État. Les arguments avancés contre la proposition de zonage ont été :

- les points de mesures intégrés dans le diagnostic ont moins de 10 analyses de concentrations en nitrates. Dans ces conditions, le calcul d'un p90 et son interprétation sont invalides et ne reflètent pas les dynamiques réelles du territoire (cf. figure 2 vu précédemment)
- le programme d'actions de la Directive Nitrates comporte des obligations qui peuvent être très contraignantes et sont majoritairement inadaptées à des systèmes agricoles en élevage extensif tels que ceux du Charolais-Brionnais-Morvan. Les actions proposées sont très adaptées à des systèmes agricoles de type polycultures-élevage à majorité de culture (80 % de cultures), ce qui est l'exact opposé du territoire d'élevage de l'ouest Saône-et-Loire (80 % de prairies en moyenne).

Concernant ce deuxième point, on identifie notamment des obligations peu contraignantes, d'autres très contraignantes, et enfin, d'autres qui n'auront certainement pas d'impacts sur la qualité des eaux car inadaptées au territoire.

Le respect de distance d'épandage n'est pas une contrainte forte sur ce territoire, les agriculteurs de cette zone ont d'ores et déjà une bonne gestion de ces pratiques.

L'application d'un calendrier d'épandage est une contrainte faible sur ce secteur car il imposerait de ne pas importer de fertilisant de mi-novembre à fin-janvier. La fertilisation sur ce territoire est quasi-exclusivement l'utilisation de fertilisants organiques en prairies, en dehors de cette période d'interdiction. Par ailleurs, cette obligation englobe également le respect du plafond d'azote organique de 170 kg par ha de SAU et par an (toutes terres, tout fertilisants, et tout animaux pris en compte) qui est elle-même une obligation discutable et peu objective car elle identifie la quantité d'azote organique et non la quantité d'azote disponible.

L'étude de l'équilibre de la fertilisation pourrait être une mesure ayant un impact : les agriculteurs du secteur sont généralement mal informés sur cet aspect. Cependant cela ne pose généralement que peu de dérive du fait que la plupart de leurs cultures sont des prairies.

L'interdiction de retournement des prairies impacterait peu les systèmes agricoles car c'est une pratique globalement évitée sur le secteur, mais qui donc impacterait également très peu la qualité de l'eau.

L'obligation de couverture du sol n'impacterait qu'une très faible partie de la surface du Charolais-Brionnais-Morvan (majorité de prairies, quelques cultures de maïs), et est donc une mesure peu efficace dans la préservation de la qualité de l'eau de ce territoire.

Le maintien de bandes enherbées en bords de cours d'eau n'est pas toujours appliqué actuellement et demanderait des aménagements.

L'obligation de mise aux normes bâtiments d'élevage est quant à elle très contraignante. Cette mesure demanderait de gros investissements. Des aménagements seraient nécessaires sur un quart des installations en entravées, alors que ces dernières sont plutôt amenées à disparaître d'ici quelques années (Blancheteau, 2022)

Les mesures liées aux stockages des effluents d'élevage constituent les mesures les plus contraignantes. Les élevages en bovins allaitants du Charolais-Brionnais-Morvan ont généralement besoin entre 4 et 5 mois de capacité de stockage. Actuellement, peu d'exploitations disposent de telles capacités (et stockent donc en bout de champs).

En résumé, le programme d'actions proposé par la Directive Nitrates comporte des mesures qui sont pour la plupart inadaptées, certainement sans impacts, ou engendrent des contraintes fortes et coûteuses au cœur d'un territoire et d'une filière déjà en danger. L'élevage allaitant du Charolais-Brionnais-Morvan est marquée par des filières de qualité (Charolais, Label Rouge) qui subit une baisse d'intérêt par les consommateurs en raison des crises économiques actuelles (baisse du pouvoir d'achat).

La dérogation portée par la Chambre régionale d'Agriculture a été acceptée sous condition d'une obligation d'étude. En contrepartie du non classement, la Chambre régionale s'engage à mener un projet de R&D afin de comprendre les raisons de tels taux de nitrates et d'identifier des pratiques agricoles alternatives qui seraient adaptées au territoire et efficaces quant à l'amélioration des qualités de l'eau.

### 1.3.2 Création du COPIL

L'obligation d'étude a mené à la création d'un comité de pilotage (COPIL). À partir de cette étape, la DREAL s'est positionnée comme représentante de l'État et s'assure de la bonne conduite de l'étude. Son rôle fut aussi celui de rassembler les différents membres du COPIL. Par ailleurs, la Chambre d'agriculture de Saône-et-Loire a été mandatée par la Chambre régionale de l'agriculture pour prendre l'étude au nom de la profession. La composition finalisée du COPIL est constituée de 3 types d'acteurs :

- Représentants de l'état : DDT, DREAL, DRAAF, Agence de l'eau Loire Bretagne, conseil départementale.
- Représentants de la profession agricole : Chambre régionale de l'agriculture, Chambre d'agriculture de Saône-et-Loire et Chambre d'agriculture de la Nièvre, Syndicats de rivières.
- Équipe recherche constituée d'experts : membre du Groupe Régional d'Expertise Nitrates (GREN), de l'INRAe, enseignants-chercheurs de l'Institut Agro Dijon.

Les différents membres du COPIL apportent des compétences et des connaissances différentes qui sont complémentaires. L'intégration d'un grand nombre d'acteurs permet également l'accès possible à un plus grand nombre de base de données. Leurs différents niveaux de vision du territoire (plus ou moins larges) mettent en perspectives les observations et décisions prises. En parallèle de ce COPIL, s'est constitué un comité technique (CoTech), en comité plus restreint, composé de la DDT, la DREAL, Marjorie Ubertosi de l'INRAe et la chambre d'agriculture de Saône-et-Loire.

### 1.3.3 Construction de l'étude

L'étude sur l'évolution des teneurs en nitrates comprend quatre axes de travail, détaillés sur la figure 5.

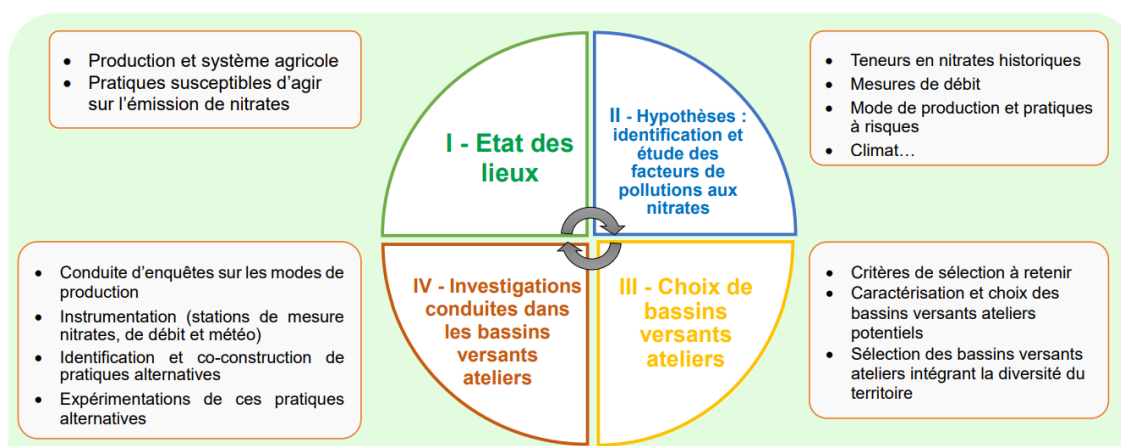


Figure 5 : Descriptif de la démarche mise en œuvre par la Chambre d'Agriculture de Saône-et-Loire.

Les premières et deuxièmes phases décrites par la figure 5 ont été réalisées en 2021 et 2022, grâce à la réalisation de trois études.

La première d'entre elles, réalisée en janvier 2021 par la DREAL, est une « Analyse et synthèse des données physico-chimiques, hydrométriques et biologiques sur 8 stations DCE (*Directive Cadre sur l'Eau, ndlr*) du Charolais ». Les localisations des 8 stations de prélèvements sont identifiées sur la figure 6. La figure 7 représente quant à elle un graphique de leurs évolutions de concentrations en nitrates entre 2010 et 2020. On notera que la DREAL a choisi d'y relier les points d'analyses afin d'en faciliter la lecture.

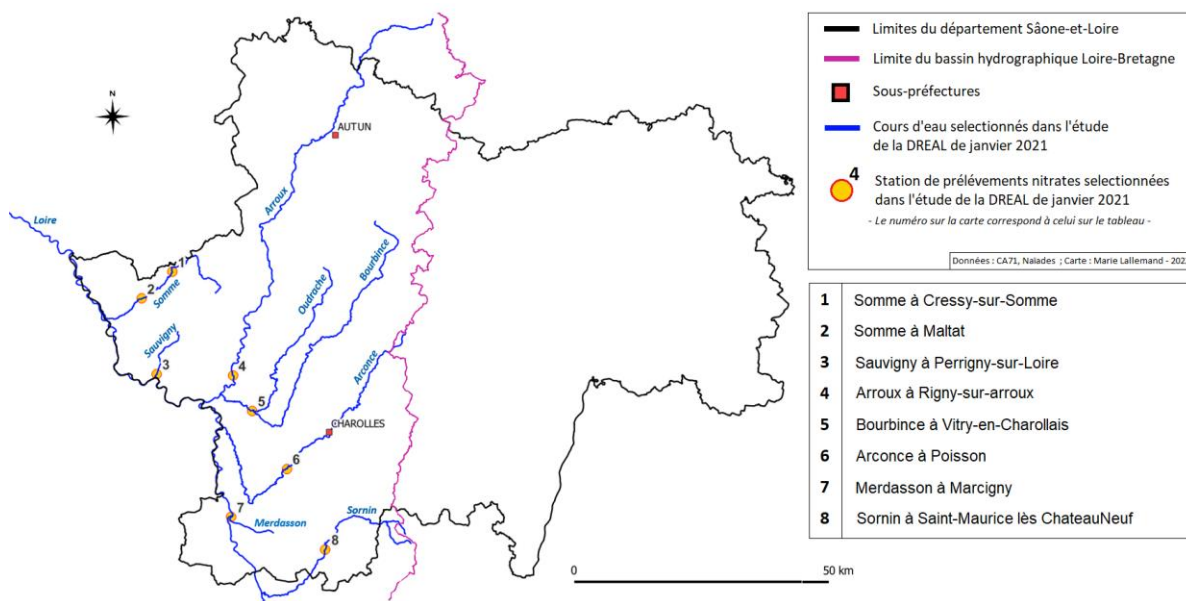


Figure 6 : Localisation des huit cours d'eau et stations étudiés par la DREAL en 2021.

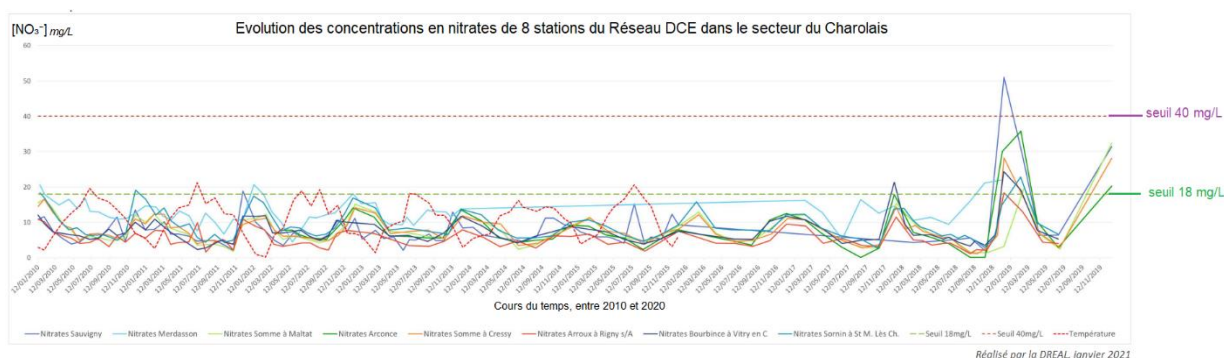


Figure 7 : Evolutions des concentrations en nitrates de 8 stations entre 2010 et 2020, (DREAL Bourgogne Franche-Comté, 2021).

Les variations observées sur la figure 7 illustrent deux états de fait. D'abord, des cyclicités annuelles sont visibles. Ensuite, bien que parfois proche du seuil des 18 mg de nitrates par litre,

ces cyclicités sont régulières et homogènes entre elles, entre 2010 et 2015/2016. En 2017/2018, apparaissent de fortes teneurs en nitrates, dépassants même le seuil de potabilité de 50 mg/L. Ces fortes teneurs s'observent aussi sur l'année 2019. La DREAL a conclu que ces dernières années de forts taux en nitrates correspondent à de fortes sécheresses subites sur le département sur la même période. Cette observation a constitué l'hypothèse de départ de l'étude : les sécheresses répétées, conséquences de changements climatiques, ont amené les cours d'eau à avoir de plus faibles débits et les cultures à moins assimiler les nitrates présents dans les sols.

Fin 2021, un groupe d'étudiants du master Sol, Eau, Milieux, Environnement de l'Université de Bourgogne à Dijon poursuit ce travail et réalise à leur tour une étude : « Analyse du lien entre l'impact du climat et les pratiques agricoles sur les concentrations en nitrates dans les masses d'eau du Charolais ». Ce diagnostic illustre d'un point de vue cartographique l'occupation des sols, la topographie et la diversité et les caractéristiques des sols du Charolais, notamment afin d'identifier les différentes pressions possibles responsables de l'augmentation des concentrations en nitrates (Olhaitz et al., 2021).

En 2022, Jean Blancheteau, conseiller agro-environnement à la Chambre d'Agriculture de Saône-et-Loire, reprend les précédents travaux réalisés et réalise un diagnostic de territoire du Charolais-Brionnais-Morvan : « Etats des lieux de l'agriculture et des pratiques agricoles susceptibles d'émettre des pollutions aux nitrates sur l'ouest de la Saône-et-Loire ». Une nouvelle fois, les sécheresses successives de 2018, 2019 et 2020 sont identifiées comme l'une des causes principales de l'apparition de pics de nitrates en entrée d'hiver. Ce diagnostic s'appuie sur de nombreuses autres références : « D'après Larue (1998), en cas de sécheresse la végétation utilise moins l'azote qui est à sa disposition, donc il y a plus d'azote lessivé. D'après Vertes *et al.* (1992), l'arrivée des précipitations en automne provoque un effet « chasse d'eau » qui lessive en une seule fois les nitrates normalement répartis sur plusieurs mois. D'après Simon *et al.* (1992), les précipitations sur sol chaud et sec entraînent plus de minéralisation, donc les pluies de sortie d'été créent également des nitrates. D'après Rognon (1994), les sécheresses provoquent une déstructuration des sols ». Jean Blancheteau (2022) identifie aussi les causes agricoles possibles : sont mentionnées des pratiques habituelles des exploitants et des pratiques d'adaptations à la sécheresse qui ont pu être impliquées dans la survenue des pics de nitrates. Il dresse alors la liste suivante :

- « Labours et sols cultivés à nus
- Evolution d'épandage des boues et des composts
- Une intensification agricole localisée autour des cœurs d'exploitations
- De mauvaises pratiques pour le stockage en plein champ et les dates d'épandages
- Une fertilisation pas assez fractionnée, à surveiller encore plus sur parcelle drainée
- Une pollution directe des cours d'eau par les troupeaux via l'abreuvement libre
- Une pratique importante du re-semis suite aux sécheresses » (Blancheteau, 2022)

Cette dernière étude illustre comment des choix de pratiques agricoles individuelles peuvent amener à des répercussions à échelle du territoire lorsqu'ils sont répétés. Ainsi, étudier les réelles pratiques mises en œuvre à de petites échelles est primordial dans la compréhension du système global. Cependant, quelles sont les zones les plus pertinentes à étudier dans la réalisation d'enquêtes visant à la compréhension des flux de nitrates ? C'est dans ce cadre que s'insère le présent mémoire.



### 1.3.4 Phase 3 : Identifier des zones ateliers

La troisième phase de la démarche consiste en l'identification de zones ateliers typiques du territoire afin de mettre en lumière les pratiques les plus à risques sur la qualité de l'eau et de proposer des alternatives à ces pratiques. Il est important d'avoir des zones ateliers typiques des pratiques du territoire afin de pouvoir extrapoler les observations Charolais-Brionnais-Morvan.

Sur ces zones, un premier projet de (ré-)instrumentation sera mené. D'abord, un suivi de prélèvements hebdomadaires permettra de confirmer la pertinence de la zone atelier. Puis, les analyses passeront en haut débit, avec un prélèvement tous les quarts d'heure, permettant une vision très nette et rigoureuse des variations de concentration en nitrates sur les cours d'eau ateliers. D'après Moatar *et al.* (2017) les capteurs de nitrates utilisés sont de plus en plus fiables malgré leur coût toujours très élevé. Ce rapport rappelle également l'importance d'un suivi régulier des teneurs en nitrates pour la bonne compréhension des dynamiques en présence. Au vu des références bibliographiques précédentes, la mise en place d'un relevé par semaine est le minimum à réaliser pour permettre un diagnostic recevable concernant les flux en nitrates sur un territoire.

Mener conjointement le diagnostic des pratiques agricoles mises en œuvre sur la zone atelier et sa ré-instrumentation permettront de tester en temps réel de nouvelles pratiques alternatives et d'en mesurer les effets sur le cours d'eau.

Enfin, la sélection de zones ateliers doit être réfléchie et robuste afin de ne pas mettre en péril toute la démarche de recherche appliquée mais aussi afin de consolider le projet dans sa demande de financement.

### 1.3.5 Problématique

Suite aux dépassements de seuils observés sur plusieurs cours d'eau du Charolais-Brionnais-Morvan ces dernières années, la moitié du département est susceptible d'être classé en zone vulnérable au titre de la Directive Nitrates. Cependant, ce diagnostic est contesté en raison d'un nombre d'analyses étudiées très faible et du caractère inadapté du programme d'action national, vis-à-vis des systèmes bovins allaitants herbagers extensifs conduits sur le territoire.

La Chambre d'Agriculture de Saône-et-Loire, mandaté par la DREAL, s'est alors emparée du sujet, a composé un COPIL et suit une démarche en quatre axes. Le troisième axe « Choix de bassins versants ateliers » se doit d'être rigoureux, tant vis-à-vis des éléments apportés par les études précédentes que par les actions qui seront ensuite menés sur place. Le présent mémoire propose une réponse à la problématique suivante :

#### **Quelle méthode appliquer pour la sélection de zones ateliers ?**

Il n'existe pas de méthode ou de critère fixes dans la littérature, permettant la sélection de zones ateliers. Aucune publication n'a permis de définir le procédé d'une telle démarche. Ainsi, le COPIL s'est attaché à construire la méthode par une démarche « essai-erreur » : une démarche itérative de présentation – discussions – validation fut proposée, avec une ré-

interrogation constante des critères de sélection. Le présent rapport est l'aboutissement de cette recherche d'une méthode efficace et pertinente.

## 2 Matériels et méthodes

### 2.1 Données et logiciels

La première étape du travail réalisé a été la caractérisation de la zone d'étude. Pour cela, un premier travail de recherche des données disponibles a été mené. Ces données sont soit des données publiques, soit issues d'un partage avec d'autres institutions. Le tableau 1 récapitule la provenance des données. Le partage de données entre services de l'état (AELB, DDT 71, DREAL BFC, SRISE BFC) a permis une meilleure caractérisation du territoire. Connaitre les caractéristiques de la zone d'étude globale est indispensable à l'identification des zones ateliers représentatives du territoire. L'ensemble des données récupérées et analysées ont été traitées à l'aide des logiciels de traitement Excel et de cartographie Qgis.

Tableau 1 : Provenance et caractéristiques des données récupérées

Donnée	Type	Provenance	Commentaires
Bassin d'alimentation de captage	Non-diffusées	CA71	Shapefield
Bassin hydrographique Loire-Bretagne	Non-diffusées	CA71	Shapefield
Cours d'eau	Non-diffusées	CA71	Shapefield
Limite des bassins versants topographique	Non-diffusées	CA71	Shapefield
Limites du département	Non-diffusées	CA71	Shapefield
Pentes	Non-diffusées	CA71	MNT et Shapefield Donnée associée : altitude
Point de captage	Non-diffusées	CA71	Shapefield
Station d'épuration	Non-diffusées	CA71	Shapefield
RPG 2017 et 2019	Non-diffusées	DDT 71	Shapefield Données associées : types de culture
Impluvium	Non-diffusées	DREAL BFC	Shapefield
Limite des masses d'eau superficielles	Non-diffusées	DREAL BFC	Shapefield
Stations nitrates	Non-diffusées	DREAL BFC	Etendue du 01/01/2010 au 31/12/2020 : Tableau Excel Données associées : Localisation, nombre de prélèvements analysés sur la station, teneur (mg/L) maximale observée depuis 2016, année de la teneur maximale observée
Corine Land Cover 2012	Publiques	Data.gouv	Shapefield Légende de niveau 3 : territoires artificialisés (code commençant par 1), territoires agricoles (code commençant par 2), forêts et milieux semi-naturels (code commençant par 3), surfaces en eaux (code commençant par 5)
Type de sols par UCS	Publiques	GéoPortail	Types de sols majoritaires par UCS
Relevés débits	Publiques	Hydro.eaufrance.fr	Extraction du 01/01/2015 au 19/05/22 : Tableau Excel Données associées : relevé de débits sur une station du Charollais (Ciry-le-noble), débit instantané (m³/s), débit spécifique
Stations débits	Publiques	Hydro.eaufrance.fr	Tableau Excel, mis à jour le 21/04/2022 Données associées : Localisation, bassin versant associé, date de début des données, date de fin si différentes de 21/04/2022, qualités des données, finalités de la station, disponibilité des courbes de tarage ou non
Relevés nitrates	Publiques	Naiades.eaufrance.fr	Extraction du 01/01/2010 au 01/01/21 : Tableau Excel Données associées : Localisation, date de prélèvement et d'analyse, teneur mesurée (mg/L)
Limites et noms des UCS	Sous convention	INRAe	Shapefield d'après IGCS
RU	Sous convention	INRAe	Tableau Excel Créé 2009, Dernière mise à jour 2019 Données associées : n° UCS, RU minimale et RU maximale (mm), surface UCS (m²), classe de RU

## 2.2 Présentation de la zone d'étude

Le territoire d'étude s'étend sur la zone Charolais, Brionnais, Autunois, Morvan. Il a été fait le choix de caractériser l'ensemble du territoire à l'intersection entre les limites du bassin hydrographique de la Loire et la limite du département de Saône et Loire. Les caractéristiques hydrographiques, agricoles et territoriales de ce territoire sont étudiées sous forme cartographique. La figure 8 illustre les principaux cours d'eau et les 87 stations de prélèvements présentant au moins une analyse des teneurs en nitrates entre 2010 et 2021.

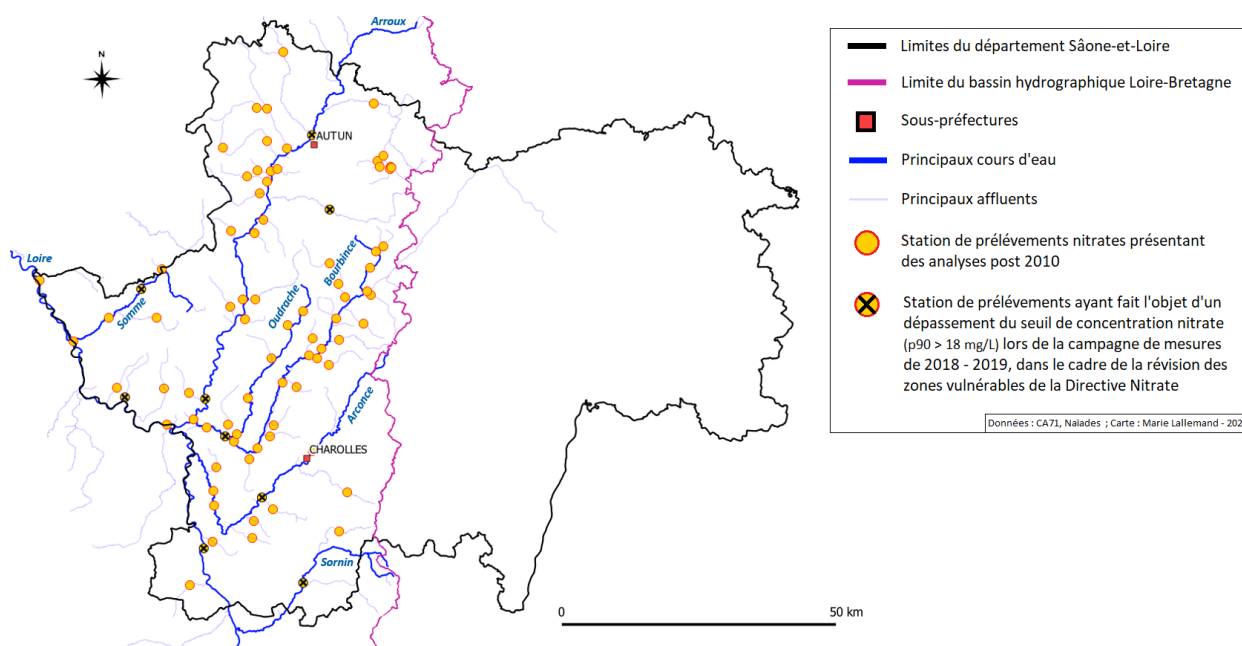


Figure 8 : Localisation des stations de prélèvements nitrates présentant au moins une analyse entre 2010 et 2021 et celles ayant fait l'objet d'un dépassement ( $p_{90} > 18 \text{ mg/L}$ ) lors de la campagne de mesures 2018-2019.

L'emplacement des stations est plus marqué sur la Bourbince, l'Oudrache et les affluents de l'Arroux. A l'inverse, peu de stations sont actives aux abords du Sornin.

La figure 9 relève les emplacements des différentes stations de mesures de débits présentant des données jusqu'en 2022 sur notre zone d'étude.

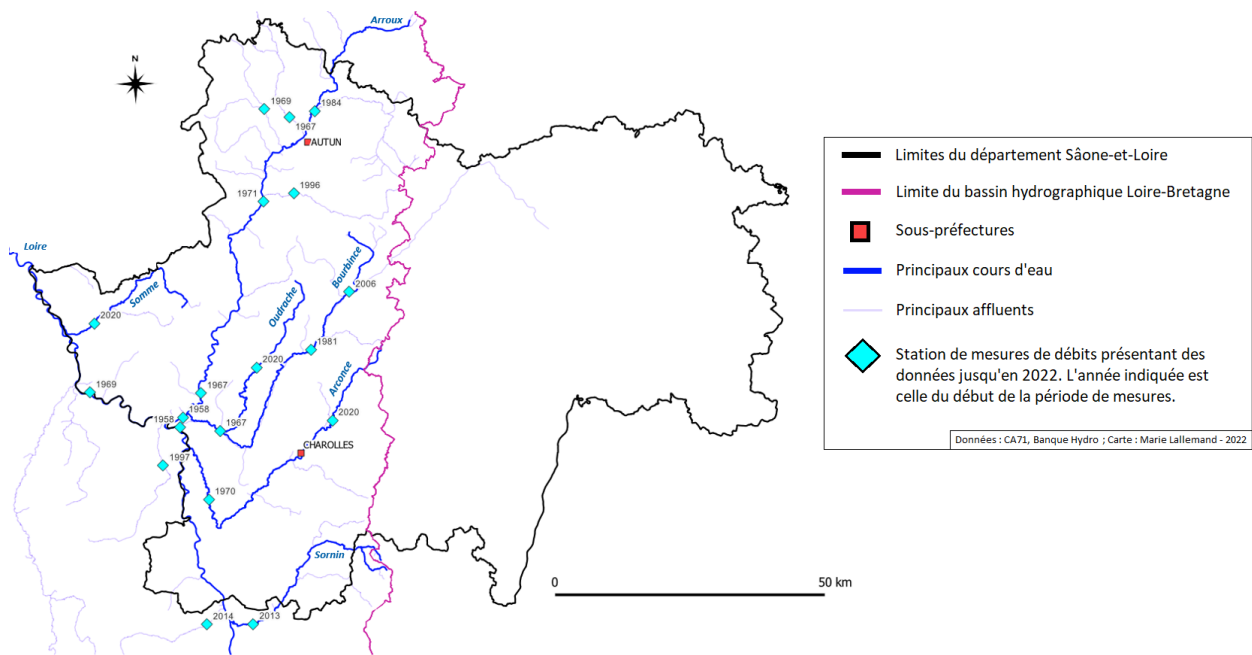


Figure 9 : Localisation des stations de mesures de débits présentant des données jusqu'en 2022 sur notre zone d'étude.

L'étude du Corine Land Cover 2012 permet de caractériser l'occupation du sol. La figure 10 identifie les différents types d'occupation biophysiques des sols. On y observe une forte dominance de terrains agricoles, forestiers, ou semi-naturels. Les forêts sont très présentes au nord de la zone d'étude, caractéristique du territoire du Morvan.

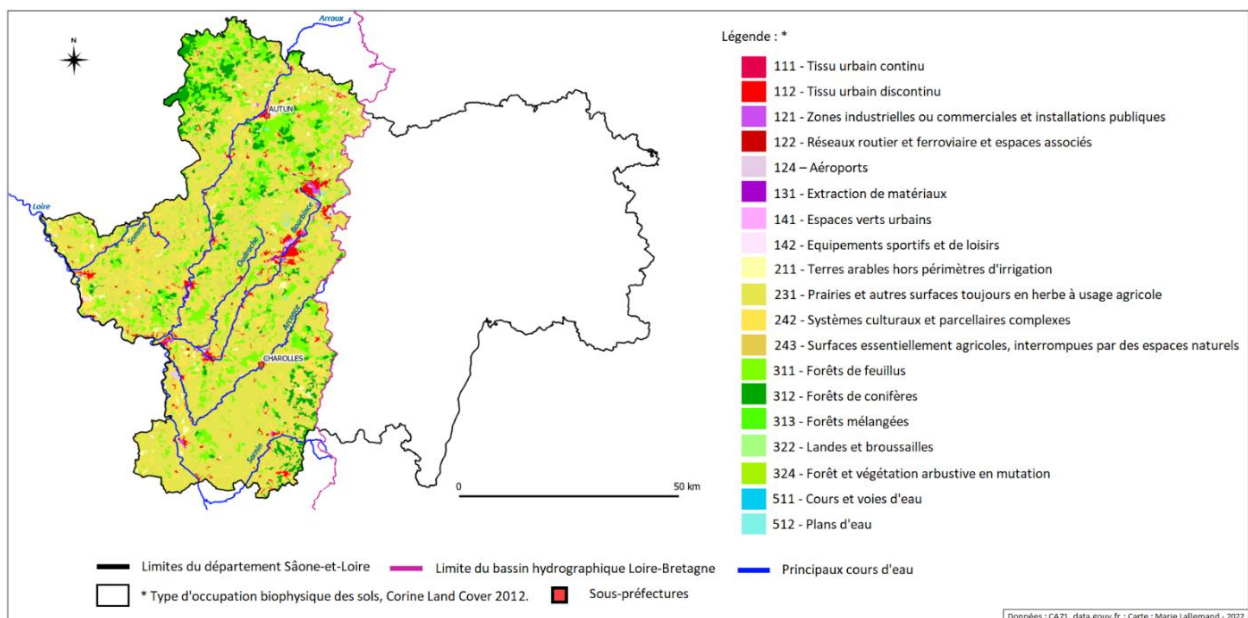


Figure 10 : Occupation des sols sur la zone d'étude, Corine Land Cover 2012.

Le partage de données entre services de l'état ont permis une meilleure caractérisation du territoire, par exemple, l'emplacement des différents bassins d'alimentation de captage, STEP, ou points de captage présentés sur la figure 11.

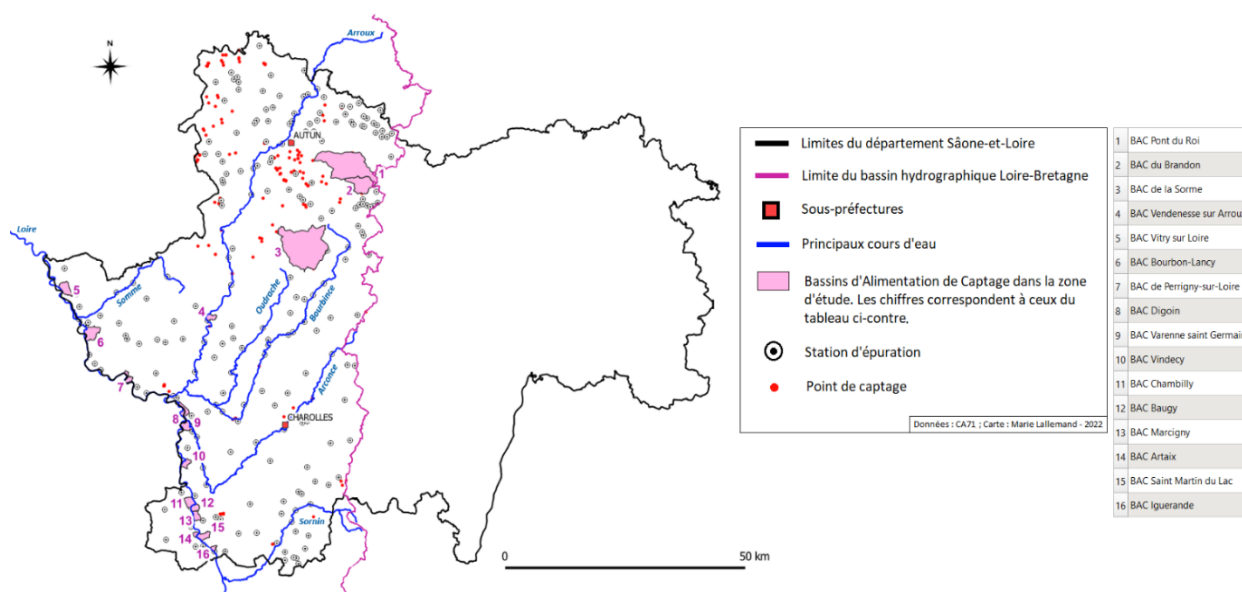


Figure 11 : Localisation cartographique des bassins d'alimentation de captage, des stations d'épuration et des points de captage sur la zone d'étude.

Les Unités Cartographiques des Sols (UCS) de Bourgogne renseignent sur la composition des sols. Une UCS est un ensemble cohérent de « portions de la couverture pédologique présentant des caractéristiques communes en termes de paysage et de répartition des sols », (GisSol, 2021). Chaque UCS est constituée d'un regroupement de différents types de sols : les unités typologiques de sols (UTS). Pour des raisons de lisibilité, la figure 12 représente les UTS dominants par UCS, défini par le Groupement d'Intérêt Scientifique sur les Sols (GIS Sol) et le Réseau Mixte et Technologique (RMT) Sols et Territoires, (Messant *et al.*, 2021). En réalité, on compte 62 pédopaysages différents sur la zone d'étude.

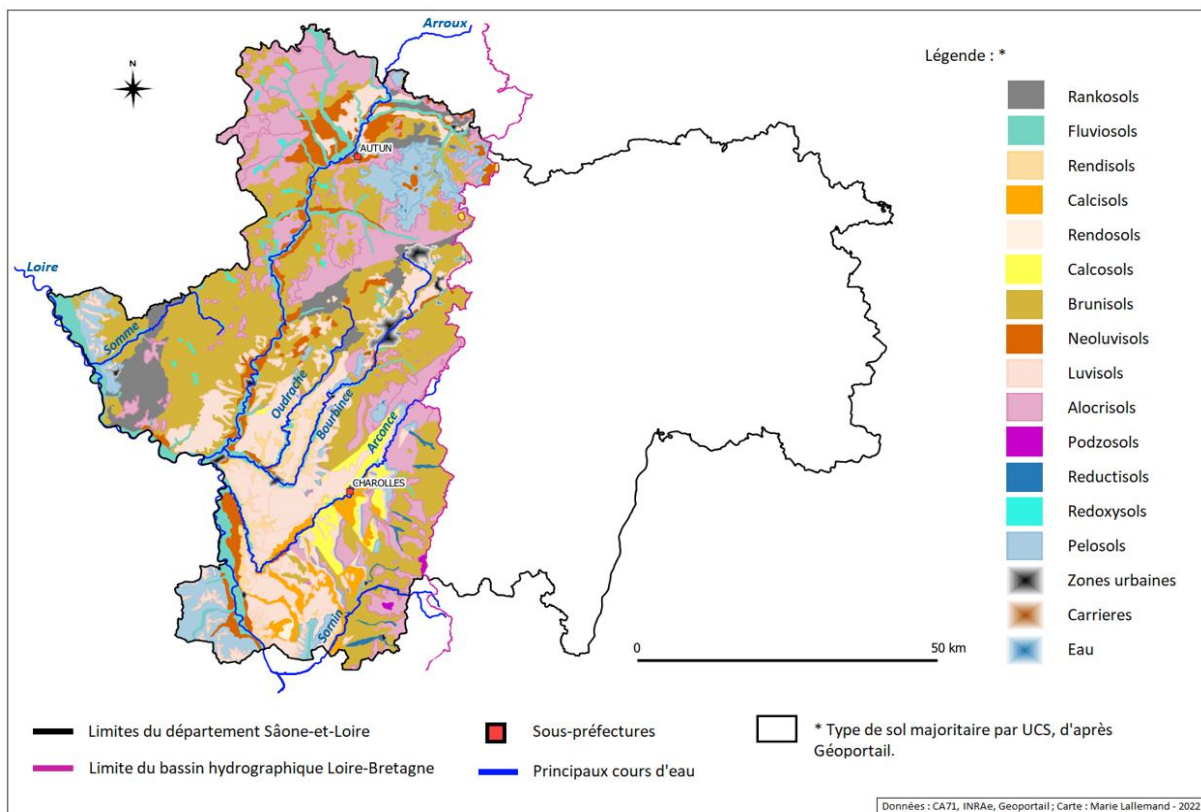


Figure 12 : Les différents types de sols majoritaires par UCS.

Les principaux types de sols de la zone d'étude sont les brunisols et alocrisols, ainsi que les luvisols et pélosols dans le sud de la zone d'étude, le long de la Loire. Toutes les données ci-dessus ont permis une première caractérisation de la zone d'étude.

### 2.3 Unités hydrologiques

Pour la suite de l'étude, il a ensuite été nécessaire de décider quelles entités élémentaires allaient être utilisées pour l'analyse. A disposition, deux découpages possibles : suivre les délimitations des bassins versants topographiques ou bien celles des masses d'eaux superficielles définies par l'Agence de l'eau Loire Bretagne. La figure 13 ci-après compare les découpages. La carte des bassins versants identifie 60 unités ; la carte des masses d'eau présente 105 unités. Ceci laisse à penser que le découpage en masses d'eau est plus fin car comporte plus d'unités. Cependant, même si parfois un bassin versant contient plusieurs masses d'eau, l'inverse est également vrai. Dans certaines zones les deux découpages sont concordants. Ainsi, même si le découpage en masses d'eau est effectivement plus fin à certains endroits, il est parfois plus large à d'autres. Par ailleurs, choisir le découpage par masse d'eau implique une augmentation notable (près du double) d'individus (unités hydrologiques) à traiter. Enfin, certaines masses d'eau sont délimitées par une très faible surface. Finalement, l'étude sera donc menée d'après les limites des bassins versants, d'en sélectionner, puis de réduire.

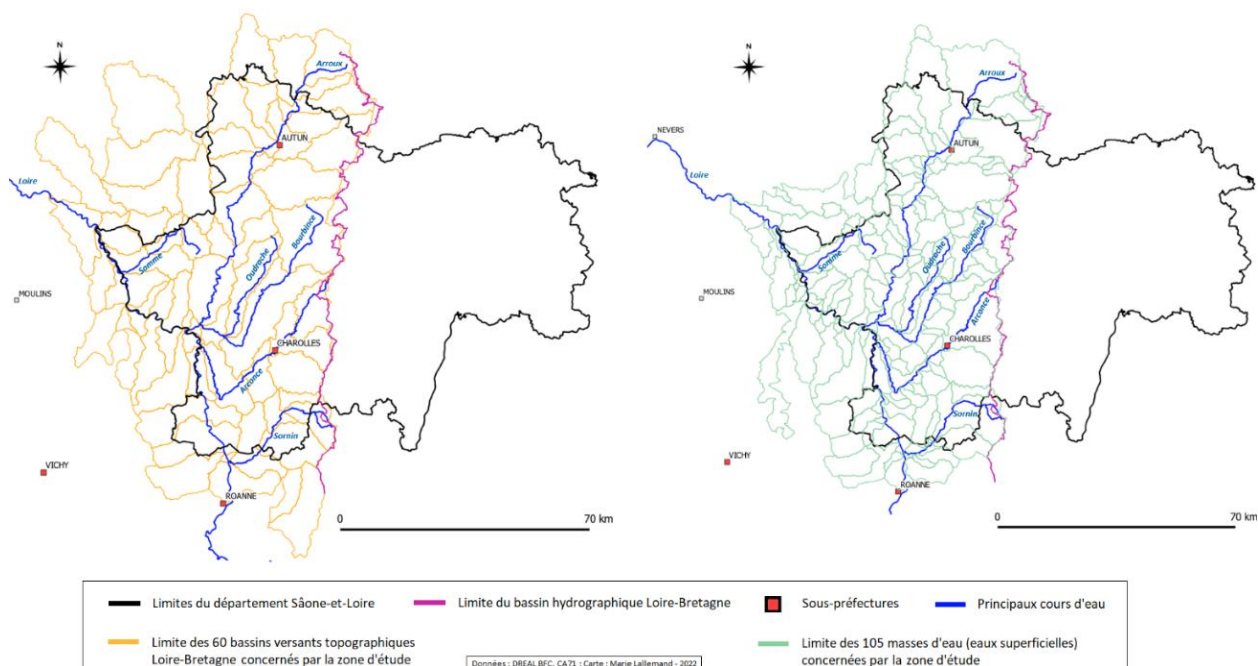


Figure 13 : Comparaison des découpages par bassins versants topographiques (à gauche) et par masses d'eau (à droite) de la zone d'étude.

Une partie importante des données collectées n'ont pas servi dans la démarche présentée dans la suite du travail. Ces données serviront ultérieurement lors de la délimitation finale des zones ateliers. Il s'agit notamment des cartes de pentes, d'altitudes, de réserve utile en eau (RU), d'analyses eaux souterraines, de haies, de forêts et les limites des impluviums. Un jeu de cartes a été créé à partir des données (données brutes ou retravaillées) ; d'autres cartes ont été données par les différents partenaires du COFIL. Ce jeu de données est présenté en annexe.

## 2.4 Méthode de sélection de mise en œuvre

### 2.4.1 Critères de choix

Une fois la zone d'étude analysée dans sa globalité, la deuxième étape est de définir le besoin. Quelles sont les caractéristiques d'une zone atelier idéale répondant au sujet d'étude ? Comme dit plus en amont, les zones ateliers doivent être représentatives du territoire et permettre d'avancer sur la compréhension globale de la dynamique des nitrates à échelle du territoire.

Jean Blancheteau, conseiller agro-environnement à la Chambre d'Agriculture, a réalisé en 2022 une analyse des pratiques agricoles d'une grande partie de la zone d'étude. Il étudie l'ensemble des bassins versants de la zone d'étude ayant plus de 50 % de leur surface en Saône-et-Loire, soit 35 bassins versants. Il y décrit un modèle agricole relativement homogène : les élevages de bovins allaitants extensifs sont très largement majoritaires, seule une dizaine d'exploitations sont de type bovin laitier. La zone d'étude comporte des exploitations avec :



- Entre 1 et 2 unités de travail humain.
- Entre 105 et 220 ha de SAU, comprenant entre 72% et 100% de surface en herbe, et de 0 à 25% de surface en grandes cultures.
- Entre 112 et 212 UGB par exploitation.
- Chargements entre 1,1 et 1,3 UGB/ha (seuil Directive Nitrate à 1.4 UGB/ha).
- Apports en azote minéral faibles (20% des surfaces en prairies).
- Apports en azote de fumure organique importants (80% des surfaces).
- Doses à l'hectare proches des moyennes nationales (20 kg N/ha).
- Conversion des prairies temporaires en prairies permanentes ces dernières années (annexe 5)
- Diminution des cheptels bovins marquée depuis 2016 (- 10% en moyenne).

L'hypothèse selon laquelle le territoire est, d'un point de vue agricole, plutôt homogène se vérifie. Les exploitations présentent des caractéristiques similaires, avec des évolutions semblables.

Suite à ce constat, les critères permettant de caractériser une zone atelier idéale sont plutôt situationnels : localisation, disponibilité des données. En effet, une zone atelier présentant un historique de données de débits ou de taux de nitrates permettrait de mieux comprendre le cheminement jusqu'à la situation actuelle. Par exemple, l'étude des taux de nitrates et des débits enregistrés lors des années de sécheresses passées permettra d'anticiper les taux lors des futures années sécheresses à venir. De même, une zone atelier ayant déjà présentée de forts taux de nitrates par le passé (par exemple lors de la dernière campagne de prélèvements 2018-2019) est un terrain d'étude intéressant car possiblement plus sensible aux variations de son environnement. La présence d'une station météorologique à proximité permettrait de corréliser les pics de nitrates observés et les températures et précipitations enregistrées. Enfin, la localisation de la zone atelier se doit d'être pertinente. En effet, plus il y aura de km linéaire et d'affluents en amont de la zone atelier, plus il sera difficile de faire le lien entre les analyses de la qualité de l'eau et les pratiques agricoles mises en œuvres sur la zone. Une zone atelier proche de la source du cours d'eau, en tête de bassin ou focalisée sur un affluent pourrait permettre de mieux comprendre le lien qualité / pratiques.

Au final, les caractéristiques idéales retenues pour une zone atelier sont :

- Présence d'au moins une station de mesure des taux nitrates
- Présence d'au moins une station de mesure de débit
- Périodes d'analyses larges, entre 2010 et 2021
- Grand nombre de prélèvements nitrates
- Présence d'un point ayant été sujet à dépassement lors de la dernière campagne 2018-2019 (p90 > 18 mg/L)
- Présence d'une station météorologique à proximité
- Localisation pertinente de la zone atelier, plutôt en amont du cours d'eau

En complément de ces critères principaux de la zone atelier idéale, il est important de prendre en compte un ensemble d'éléments identifiant la diversité du territoire et son dynamisme territorial. Par exemple, la présence ou non d'un bassin d'alimentation de captage sur la masse d'eau. Cet élément peut être une nouvelle source de données (données sur les eaux de surfaces

mais aussi souterraines, débit d'extraction...) et les agriculteurs de la zone seront certainement déjà sensibilisés aux problématiques « pratiques agricole / qualité de l'eau ».

Comme décrit précédemment le contexte agricole est plutôt homogène sur tout le territoire, les zones ateliers idéales seraient plutôt marquées par une diversité de situation géomorphologique ou biophysique. Les autres critères pouvant aider la sélection des zones ateliers sont donc :

- Le syndicat de rivière concerné (annexe 6)
- La présence d'agriculteurs moteurs
- La présence ou non d'industries à proximité des cours d'eau
- L'influence des assainissements individuels ou collectifs
- La présence ou non de STEP (influences possibles, soutien d'étiage, relargage, présence d'un canal...)
- Ratio prairies / culture / forêt contrastés par rapport au territoire global
- Différences de pentes ou d'altitudes (annexe 1 et 2)
- RU par UCS (annexe 3)
- Typologie des sols : géologie, pédopaysages, pH des sols différents, épaisseur des sols
- Densité des haies

Une fois les critères de sélection déterminés, l'étape suivante consiste en leur application. Pour cela, plusieurs méthodes sont possibles. Dans tous les cas, la méthode consiste à répartir les bassins versants (ou individus) selon des critères (ou variables). On peut donc écrire que la méthode recherchée permettra de classer « N individus, caractérisés par p variables X1, X2, ..., Xp en un certain nombre m de sous-groupes aussi homogènes que possible, chaque groupe étant bien différenciés des autres », (Chevalier *et al.*, 2012).

Les deux principales méthodes utilisées dans ce cas de figure sont les arbres décisionnels de classification hiérarchique descendante ou le scoring. Ces deux méthodes ont toutes deux des avantages et inconvénients différents.

#### 2.4.2 Méthode de sélection par arbre décisionnel à classification hiérarchique descendante

Un arbre à classification hiérarchique descendante est aussi appelé clustering divisif. En effet, on appelle cluster l'ensemble initial et tous les sous-ensembles qui découlent des divisions successives. Chaque division est l'application de l'un des critères. Chaque nœud est l'application d'une séquence de conditions logiques (du type « si », « alors », « sinon »). La figure 14 renseigne sur l'aspect et la nomenclature des parties d'un arbre à classification hiérarchique.

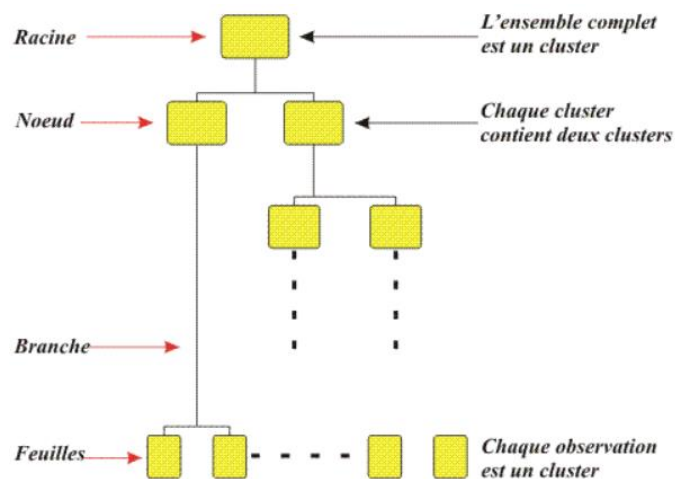


Figure 14 : Présentation d'un arbre de classification hiérarchique (Chevalier et al., 2012).

Le principal avantage de cette méthode est que la lecture de l'arbre est facile, accessible et permet une hiérarchisation absolue des critères. La principale limite de ce type de méthode est qu'elle peut s'avérer longue à exécuter lorsqu'il y a beaucoup de variables, (Gonzales, 2014). De plus, si l'on ne suit qu'une seule branche et que les individus sont éliminés au fur et à mesure, une visibilité restreinte des résultats est obtenue. Les arbres décisionnels sont de bons outils d'aide à la décision car ils peuvent prendre en compte des causes, des conséquences, et aussi des coûts ou des seuils. Les arbres de classification sont par exemple utilisés dans les clés de déterminations d'espèces.

### 2.4.3 Méthode de sélection par scoring

La méthode du scoring, quant à elle, permet de convertir les variables qualitatives (comme les critères) en variables quantitatives. Chaque critère se voit attribuer une valeur numérique (note ou score), (Saporta, 2009). Cette méthode permet un classement ordonné des individus, permet une lecture facilitée des résultats et n'ignore aucun individu (tous ont un score). Bien que le scoring promette que deux individus ayant les mêmes caractéristiques auront le même score, la réciproque n'est pas vraie. De ce fait, un individu avec un bon score ne remplit pas forcément les critères essentiels (Bounsiar et al., 2019). Le scoring est régulièrement utilisé comme outil d'aide à la décision, notamment en marketing, et aussi par exemple pour la mise en place du NutriScore. La méthodologie SIRIS (Système d'Intégration des Risques par Interaction des Scores) est une méthode de scoring utilisée en agriculture, notamment dans le cadre du classement des pesticides susceptibles d'être présents dans les milieux aquatiques. Sa particularité est que, en plus d'attribuer une valeur quantitative à chaque critère, ils sont aussi hiérarchisés entre eux. Ce « modèle » est donc plus performant (Pierre, 2012).

## 3 Résultats

### 3.1 Application de la méthode par arbre décisionnel à classification hiérarchique descendante

L'ensemble des bassins versants attenants à la zone d'étude, c'est-à-dire 60 individus ont été utilisés. A chaque nœud de l'arbre un critère est appliqué : si l'individu n'y répond pas, il est éliminé, sinon, il passe au nœud (critère) suivant. De cette manière, il n'y a pas de retour en arrière et un individu éliminé au premier nœud n'est plus analysé par la suite. Ainsi, l'ordre d'application des critères choisis est important. Il aurait été possible de les hiérarchiser par variabilité décroissante, cependant un ordre « à dire d'expert » est décidé après discussion avec le collectif (figure 16). Le premier critère questionné est celui de l'intégration suffisante ou non des bassins versants dans la zone d'étude. En effet, l'intérêt d'étudier des bassins versants n'ayant qu'une faible partie de leur surface sur la zone d'étude est questionné. Un arbre décisionnel a donc été réalisé pour chacune des 3 modalités de ce critère :

- (i) les bassins versants ont au moins 100% de leur surface sur la zone d'étude
- (ii) les bassins versant ont au moins 50% de leur surface sur la zone d'étude
- (iii) pas de critères de surface.

Ces différences de paramètres permettent d'identifier si l'application du critère est trop restrictive. La figure 15 représente l'appartenance des bassins versants à l'une ou l'autre des catégories.

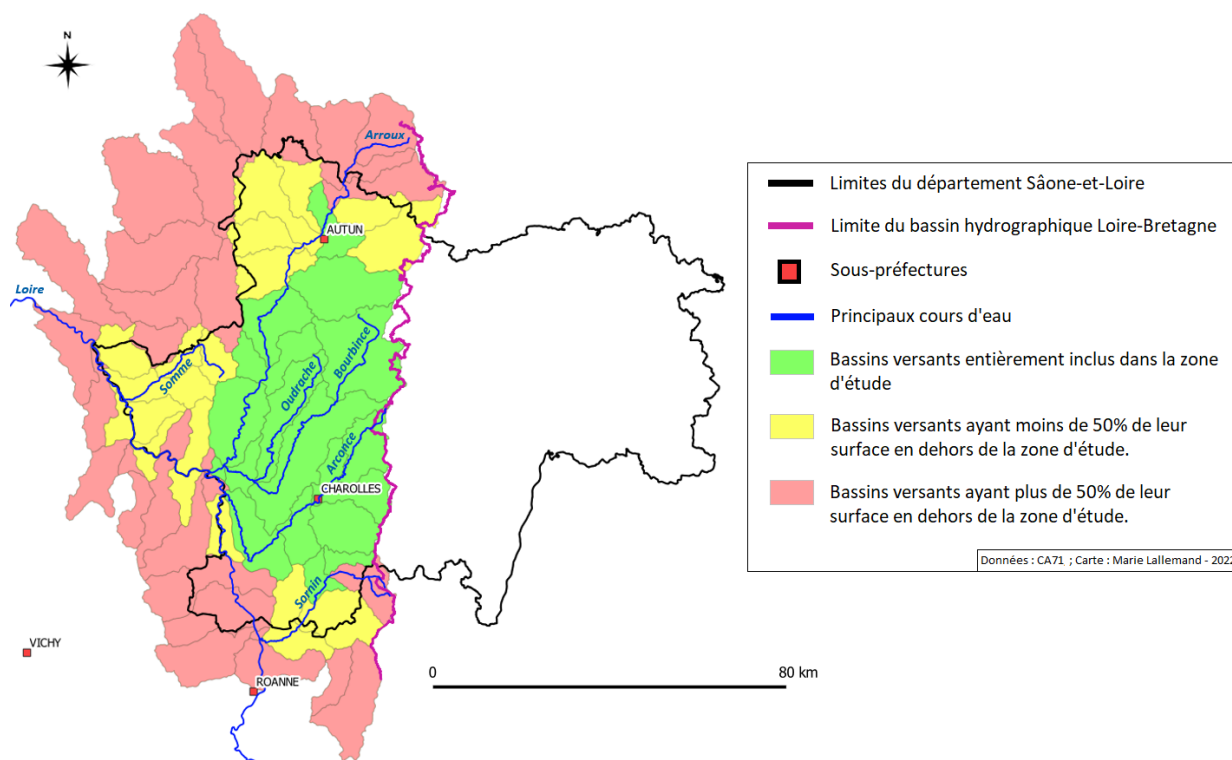


Figure 15 : Carte des BV suivant leur degré d'intégration dans la zone d'étude.

Par exemple, les bassins versants du Sornin ou de la Somme ne sont pas intégrés si seuls les bassins versants entièrement inclus dans la zone d'étude sont considérés. De ce fait, les stations nitrates rattachées à ces cours d'eau sont écartées bien qu'intéressantes : elles présentent des dépassements de seuil ( $p_{90} > 18 \text{ mg/L}$ ) lors de la dernière campagne de 2018-2019.

Le deuxième nœud (critère) appliqué est celui de la présence d'au moins une station de prélèvements nitrates sur la partie du bassin versant dans la zone d'étude. Le troisième nœud est la présence d'au moins une station de mesure de débits.

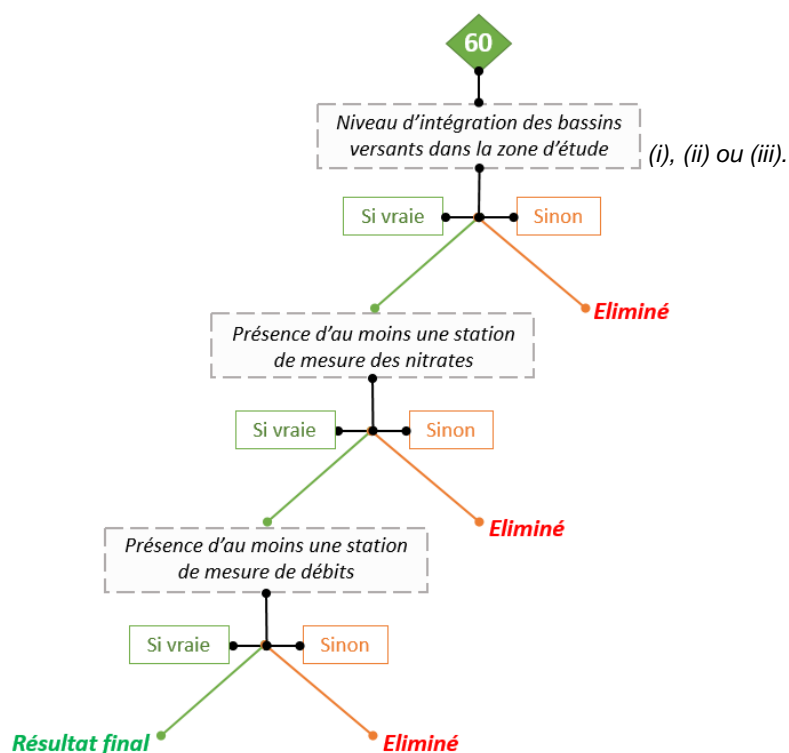


Figure 16 : Enchainement des critères de l'arbre décisionnel décidé par le collectif.

L'arbre décisionnel à classification hiérarchique descendante de la figure 17 intègre seulement les bassins versants entièrement inclus dans la zone d'étude (i).

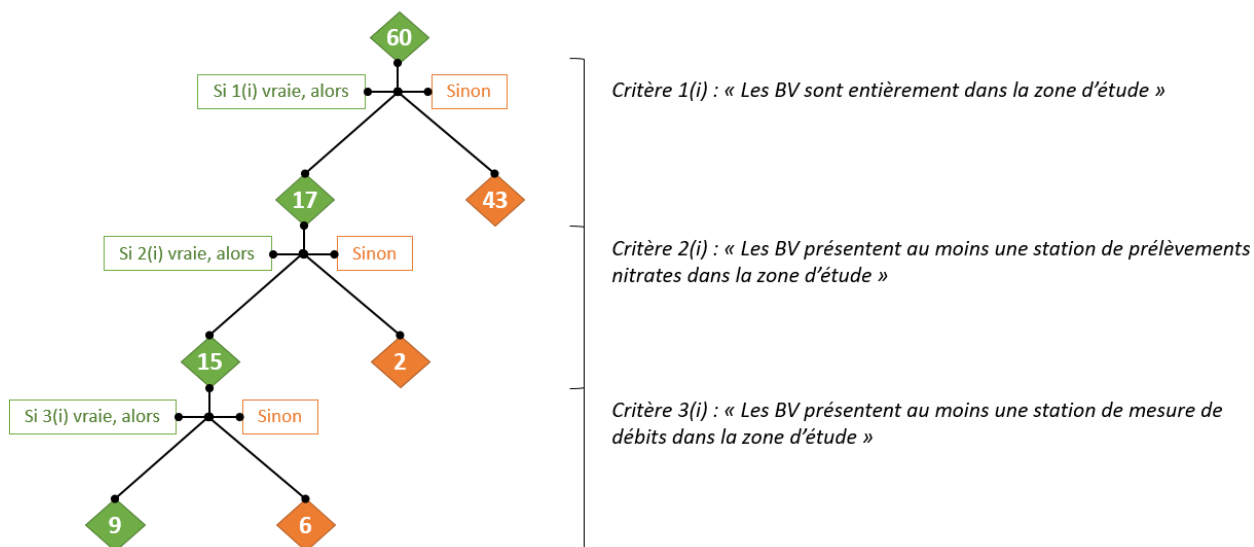


Figure 17 : Arbre décisionnel à classification hiérarchique descendante, version (i) : « BV entièrement inclus dans la zone d'étude ».

Tableau 2 : Bassins versants sélectionnés par méthode de classification hiérarchique descendante, version (i) : « BV entièrement inclus dans la zone d'étude ».

LA BOURBINCE DE LA LIMACE A L'OUDRACHE
LA BOURBINCE DE L'OUDRACHE A L'ARROUX
LA BOURBINCE DE SA SOURCE A LA LIMACE
L'ARCONCE DU RAU DE SERMAIZE A LA LOIRE
L'ARROUX DE LA DREE AU TERNIN
L'ARROUX DU MESVRIN AUX RAU DES PONTINS
L'ARROUX DU RAU DE VEILLEROT A LA BOURBINCE
LE MESVRIN & SES AFFLUENTS
L'OUDRACHE & SES AFFLUENTS

Le tableau 2 indique les 9 bassins versants restants à l'issue de cette méthode de sélection, lorsque seuls les bassins versants entièrement inclus dans la zone d'étude sont considérés. En appliquant ce critère, 43 bassins versants sont éliminés au premier niveau.

La figure 18 ci-dessous illustre quels sont les bassins versants restants à l'issue de l'arbre décisionnel suivant la modalité « les bassins versants ont au moins 50% de leur surface dans la zone d'étude » (ii).

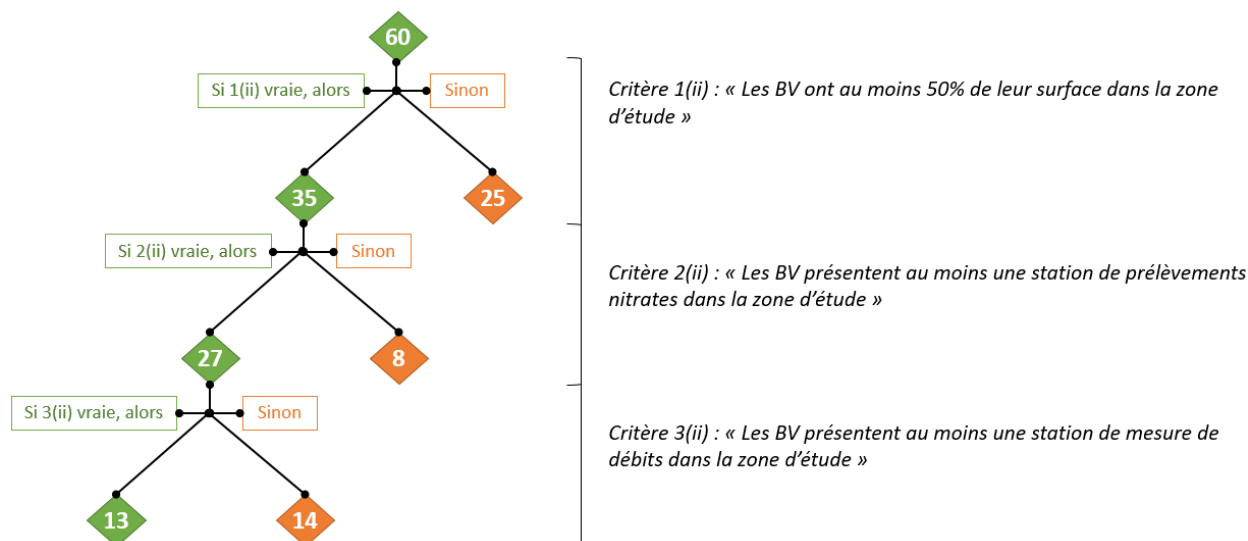


Figure 18 : Arbre décisionnel à classification hiérarchique descendante, version (ii) : « Les BV ont au moins 50% de leur surface dans la zone d'étude ».

Le tableau 3 indique les 13 bassins versants restants à l'issue de cette méthode de sélection. En surligné rouge, les 4 bassins versants s'ajoutant aux 9 de la première modalité (tableau 2). On y retrouve notamment un bassin lié à la Somme et plusieurs liés à l'Arroux.

Tableau 3 : Bassins versants sélectionnés par méthode de classification hiérarchique descendante, version (ii) « Les BV ont au moins 50% de leur surface dans la zone d'étude ».

LA BOURBINCE DE LA LIMACE A L'OUDRACHE
LA BOURBINCE DE L'OUDRACHE A L'ARROUX
LA BOURBINCE DE SA SOURCE A LA LIMACE
L'ARCONCE DU RAU DE SERMAIZE A LA LOIRE
L'ARROUX DE LA DREE AU TERNIN
L'ARROUX DU MESVRIN AUX RAU DES PONTINS
L'ARROUX DU RAU DE VEILLEROT A LA BOURBINCE
LE MESVRIN & SES AFFLUENTS
L'OUDRACHE & SES AFFLUENTS
LA LOIRE DU BRAS DU RAU DE LODDE AU ROUDON
LA SOMME DE LA VALENCE A LA LOIRE & LA LOIRE DE LA SOMME A L'ENGIEVRE
L'ARROUX DU MECHET AU MESVRIN
L'ARROUX DU TERNIN A LA CELLE

La figure 19 représente l'arbre décisionnel où « sont considérés tous les BV, quel que soit leur pourcentage de surface inclut dans la zone d'étude », c'est-à-dire sans inclusion minimum (iii). Cette modalité n'ajoute qu'un seul bassin versant à la précédente liste (tableau 3) : « La Loire du Blandenan au bras du rau de Lodde ».

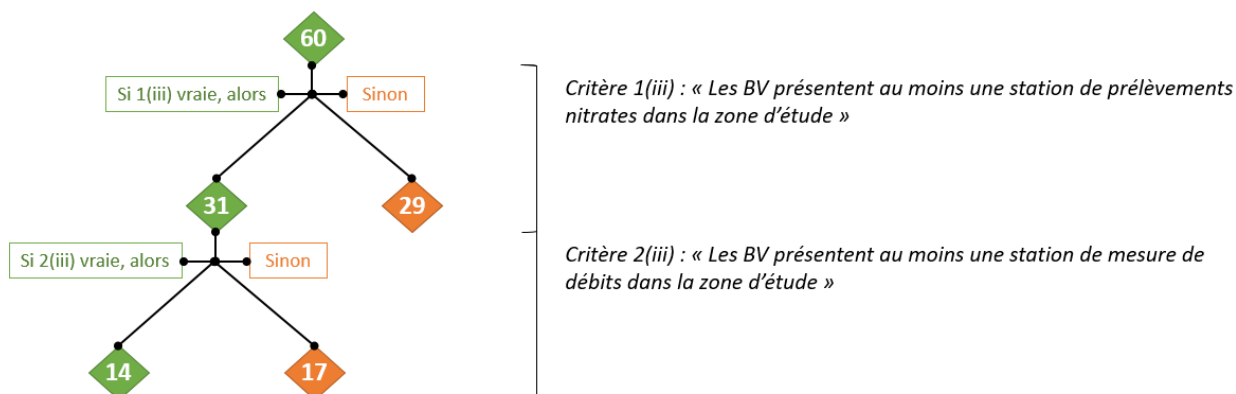


Figure 19 : Arbre décisionnel à classification hiérarchique descendante, version (iii) : « sont considérés tous les BV, quel que soit leur pourcentage de surface inclut dans la zone d'étude ».

### 3.2 Application de la méthode par scoring

Dans cette approche matricielle individuelle il n'y a pas de hiérarchisation des critères appliquées. Les 14 critères les plus fondamentaux sont interrogés, ce qui donne un tableau avec un individu par colonne et un critère par ligne. Chaque réponse peut-être « Oui » en vert, « Non » en rouge, ou « Moyen » en jaune.

Une pré-sélection des bassins versants potentiels a tout d'abord été réalisée en CoPil : les 15 individus choisis proviennent de l'exclusion des bassins versants du val de Loire (trop spécifiques, climat différent...) et de l'inclusion de bassins identifiés par la méthode des arbres décisionnels, ainsi que l'ajout d'autres bassins (tel que le Sornin) proposés par les experts du collectif grâce à leurs connaissances du terrain.



Le tableau 4 est un extrait sur 7 bassins versants des résultats par méthode de scoring.

Tableau 4 : Extrait des résultats par méthode de scoring sur 7 bassins versants.

BV	Arroux amont	Mesvrin	Oudrache	Sornin	Sermaize / Arconce	Somme	Limace
Nom de la masse d'eau	Arroux et affluents	Mesvrin et ses affluents	Oudrache et ses affluents	Sornin et affluents	Sermaize et affluents	Valence et ses affluents	Limace et affluents
Zone pertinente (amont, source...)	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Présence de station(s) de débit	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non	Moyen
Période de mesures débit suffisante	Oui	Oui	Moyen	Non	Non	Non	Oui
Présence de station(s) nitrates post 2010	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Nombre de mesures post 2010 suffisant	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Moyen
Présence de mesures 2018-2019	Oui	Oui	Non	Oui	Non	Non	Non
p90 > 18 mg/L ou proche, en 2018-2019	Oui	Non	Non	Oui	Non	Non	Non
Masse d'eau nouvellement proposée au classement en 2019	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
Masse d'eau déjà classé en 2017	Non	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non
Présence de données météo	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Non	Oui
Présence de BAC	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non
Animations présentes sur ces BAC	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non
Présence de points de captage	Oui	Oui	Non	Oui	Non	Non	Non
Absence de STEP	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non

Cette méthode permet un résultat très visuel mais permet aussi une remise en perspective des besoins de l'étude. Les bassins versants avec un score élevé sont facilement identifiables - Arroux amont, 12 critères validés - mais également ceux qui ne le sont pas – Limace, 8 critères invalidés et 2 moyens. Ce bassin versant au score très bas a amené le collectif à réfléchir « sur son cas »: ce cours d'eau a un score faible, mais il n'est pas inintéressant : en effet, il est une zone pertinente (de la source à sa confluence), présente des données météorologiques, et bien que moyennes, il présente des données de débit et de taux de nitrates. Son faible score est dû au fait qu'il s'agit un cours d'eau ne présentant pas de problème vis-à-vis de ses taux de nitrates. La sélection de cours d'eau en vue de l'implantation d'instrumentation et d'animation sur des zones ateliers doit permettre une meilleure compréhension des dynamiques nitrates de la zone d'étude. Un bassin versant n'ayant pas de problématique nitrates connue peut être un bon témoin à l'étude. Les quelques lacunes en données que le bassin présentent seront comblées par l'instrumentation envisagée dans les zone atelier.

### 3.3 Sélection finale

La figure 20 localise les 7 cours d'eau sélectionnés par le CoPil à l'issue de la présentation de ces méthodes de sélection. Il s'agit de rivières et non de bassins versants car le collectif souhaite une plus forte intégration des savoirs des experts locaux dans le choix des délimitations des zones ateliers.

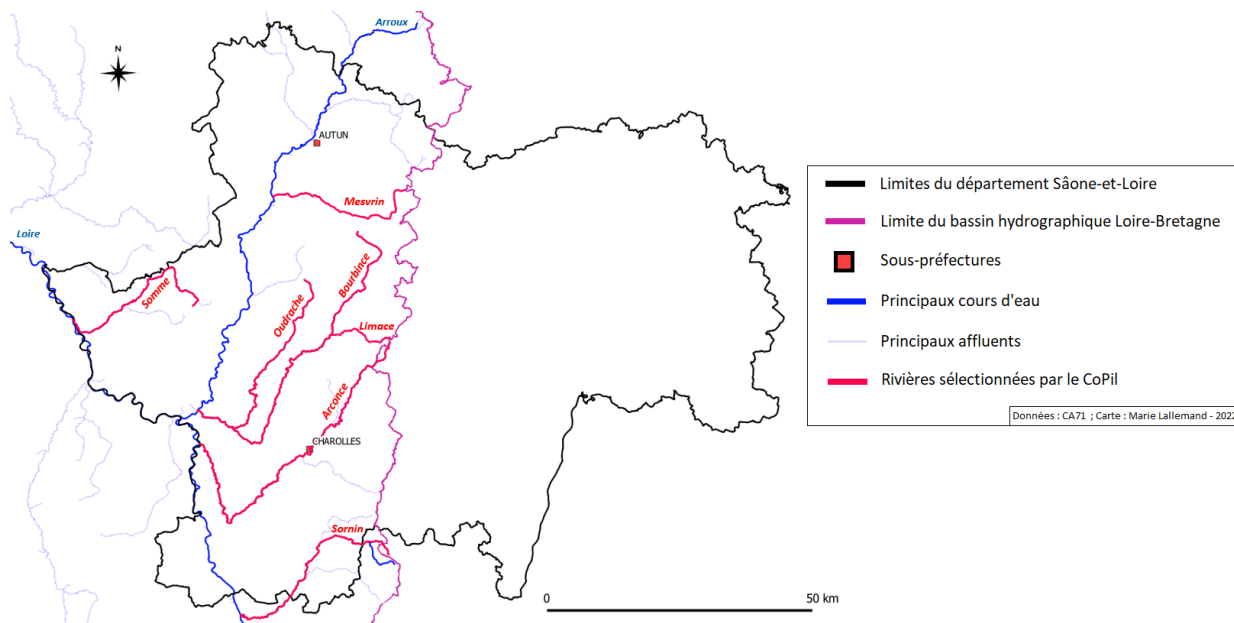
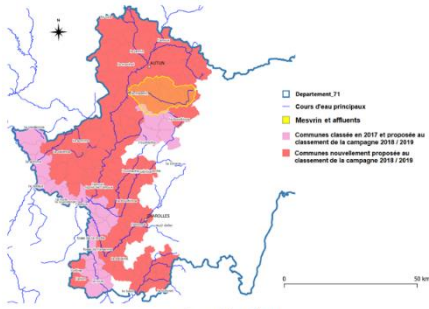
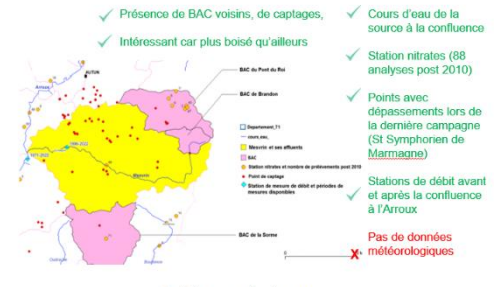


Figure 20 : Rivières sélectionnées à l'issue de l'étude des méthodes de sélection.

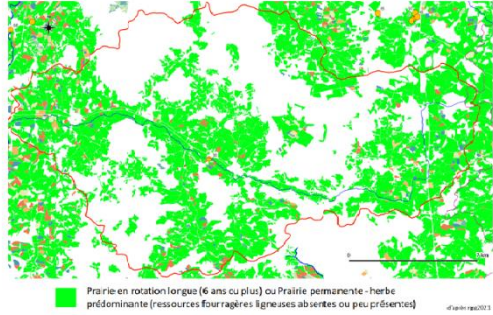
Des fiches d'identités regroupant les différentes caractéristiques des principaux bassins versants ont été réalisées. La figure 21 reprend les différents points abordés dans ces fiches, à savoir : localisation du cours d'eau ou bassin versant, récapitulatif des critères principaux, occupation du sol, principaux affluents du cours d'eau, niveau de réserve utile, localisation des sièges d'exploitations, pentes en degré, chronique des teneurs en nitrates entre 2010 et 2020 et autres caractéristiques (surfaces...) décrites par les « fiches stations » de l'Agence de l'Eau Loire Bretagne.



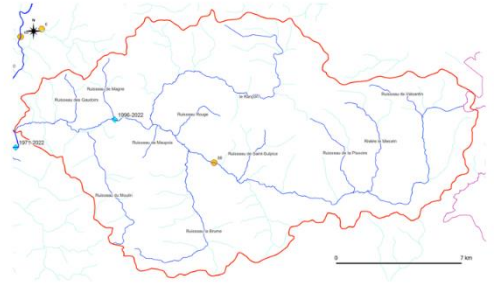
Localisation



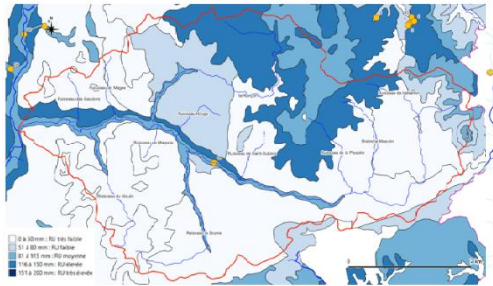
Critères principaux



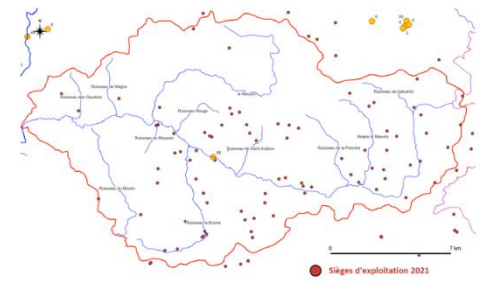
Occupation du sol - identification des prairies



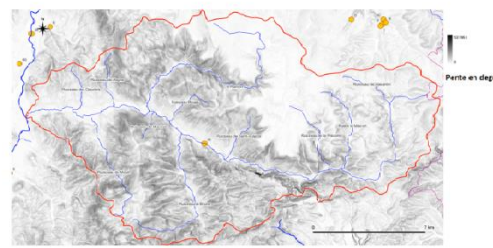
Principaux affluents du cours d'eau



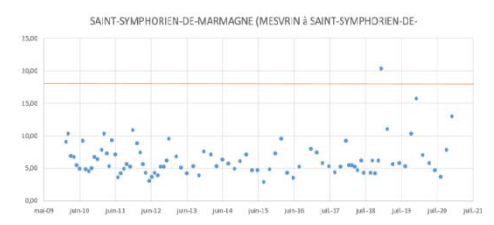
Réserve utile en eau



Localisation des sièges d'exploitation



Pentes en degré



Chronique des teneurs en nitrates entre 2010 et 2020

**Caractéristiques typologiques et d'occupation du sol**

Surface de bassin-versant			Linéaire de masse d'eau		
BV STA	BV ME	BV STA / BV ME	BV STA	ME	BV STA / ME
97 km <sup>2</sup>	239 km <sup>2</sup>	41 %	69 km	176 km	39 %

Hydro-écovégétation		
HER principale (niveau 2)	Pourcentage	
BV STA	87 - Morvan - Charolais	100 %
BV ME	87 - Morvan - Charolais	100 %

**Occupation du sol**

Occupation de sol principale (CLC 2018 niveau 2)		Pourcentage
BV STA	23 - Prairies	49 %
BV ME	23 - Prairies	47 %

Contexte piscicole		Surface de plans d'eau		
Contexte piscicole principal		Pourcentage	Surface (ha)	Pourcentage
BV STA	Salmonicole	100 %	116	1,2 %
BV ME	Salmonicole	100 %	211	0,88 %

Caractéristiques de bassin défini par l'AE LB

Figure 21 : Exemple fiche d'identité d'un cours d'eau sélectionné – le Mesvrin.

## 4 Perspectives

Dans l'optique de mieux intégrer les connaissances des experts du territoire et de délimiter les futures zones ateliers, le collectif a entamé les échanges avec les syndicats de rivières responsables des cours d'eau sélectionnés. L'implication des syndicats et des acteurs du territoire est essentiel à l'ancrage territorial de l'étude. Afin de les informer du travail réalisé jusqu'à présent, un flyer (annexe 8) a été réalisé par la Chambre d'Agriculture, en coopération avec la DDT Saône-et-Loire.

L'hiver prochain, les zones ateliers identifiées seront (ré-)instrumentées à hauteur d'un prélèvement hebdomadaire des taux de nitrates. Le collectif étudiera alors si les dynamiques observées à échelle de la zone atelier sont représentatives de ce qui se passe à échelle des rivières, et donc à échelle du bassin versant global.

## 5 Retour d'expérience et limites de l'étude

La démarche de sélection avait pour objectif de trouver une méthode permettant d'identifier des cours d'eau d'intérêts, permettant la mise en place de zones ateliers. A la question « Quelle méthode appliquer pour la sélection de zones ateliers ? », deux modèles de classification ont été testés et sept cours d'eau ont finalement été choisis. Bien que parvenu à un résultat, dans le cadre d'une application future des améliorations sont possibles.

### 5.1 Les données

Les bases de données utilisées ont présenté des niveaux de qualités différentes. Les bases de données publiques officielles encadrées les services de l'état (Banque Hydro, Naïades, data.gouv...) sont toujours très précises quant à leur fonction, leur date de dernière mise à jour, et leur métadonnées de manière générale. A contrario, les bases de données récupérées dans les archives non publiques, non diffusées, des services de l'état présentent rarement des métadonnées associées. Ainsi, il est fréquent qu'une couche Shapefile ou un fichier Excel n'ai pas d'informations associées quant à la date des données, l'auteur, si les données sont à jour, etc. Par exemple, la couche Shapefile localisant les stations d'épuration sur le territoire présente des erreurs : certaines stations sont maintenant inactives. Pour pallier ce problème, il est possible pour les tableaux Excel d'ajouter un feuillet « Lisez-moi » comprenant les métadonnées et de joindre à chaque couche Shapefile (ou dossier de couches) un document PDF rattaché, précisant l'auteur, la date de création, la date de dernière mise à jour (Bibliothèque et Archives Nationales du Québec, 2019). A ce type de document sont souvent ajoutées les significations des attributs. A minima, des titres de documents normés pourraient être instaurés, du type « Date de création + Nom dossier source + Mots clés + auteurs et mises à jour ». Cette méthode permettrait de mieux identifier le contenu des bases de données avant même de les ouvrir et constituerait un gain de temps précieux.

Quant à la qualité des données en elles-mêmes, elles sont généralement récentes et ont pu être vérifiées par les experts locaux lors des échanges du collectif, ce qui témoigne de leur solidité.

Les données concernant les stations nitrates et les prélèvements qui y sont rattachés ont été extraites en début de stage. Cette étude se base donc sur des données allant jusqu'au

01/01/2021. Il est légitime de se demander si l'intégration des nouvelles données disponibles peut invalider la démarche de sélection. Cette dernière repose partiellement sur la présence ou non d'une station nitrates sur le bassin versant et le nombre de prélèvements qui y ont été effectués ces dernières années. Ainsi, l'ajout de quelques mois de données implique seulement l'ajout d'un nombre négligeable de prélèvements (< 5 analyses), s'il y en a eu.

## 5.2 Les critères de choix

L'approche choisie quant à la formulation des critères de sélection se base surtout sur des réflexions scientifiques et cartésiennes et liées directement aux dynamiques nitrates. En effet, l'objectif de la démarche de critérisation est d'avoir une méthode mathématique robuste afin d'obtenir de bons démonstrateurs d'identification d'un bassin versant idéal. Cependant, la volonté d'un ancrage territorial fort de l'étude implique que même si un bassin versant peut être idéal aux yeux de la science, il ne l'est pas forcément du point de vue humain.

Au fur et à mesure que la délimitation des zones ateliers se précise, les critères en jeu s'éloignent du carcan scientifique. Ainsi, les critères choisis pour le niveau d'échelle de cette étude ont vocation à évoluer à mesure que la zone d'étude s'affine. Des critères spécifiques aux acteurs directs tels que les syndicats des eaux et agriculteurs, s'appliquent : possibilités de mise en œuvre du syndicat, âge des agriculteurs, présence d'éléments moteurs parmi les exploitants... La description du territoire idéal appliquée ici est donc propre au contexte du Charollais-Brionnais-Morvan, pour la descente d'échelle concernée et n'intègre donc que peu les dimensions sociales.

## 5.3 Les méthodes

### 5.3.1 Limites et avantages des arbres décisionnels

Les avantages apportés par la méthode des arbres de décision sont qu'elle est facile d'accès, visuelle et rigoureuse. Cependant, c'est également sa rigueur qui engendre son principal inconvénient : son caractère absolu empêche une vision d'ensemble, seul le résultat final est identifié, sans détails des réponses des individus à l'ensemble des variables.

Par ailleurs, la figure 22 vérifie que l'ordre des critères « présence d'au moins une station nitrates » et « présence d'au moins une station de débit » n'a pas d'influence.

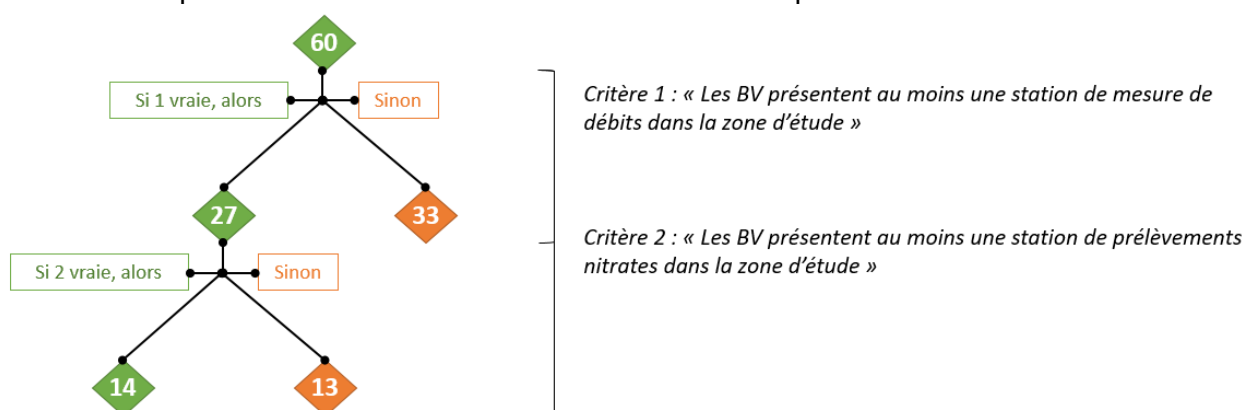


Figure 22 : Arbre décisionnel à classification hiérarchique descendante, test de permutation des critères.

Les 14 individus résultant de ce test sont les 14 mêmes bassins versants présentés par la dernière modalité de la méthode sur la figure 19. Permuter les critères de « station nitrate » et « station débit » n'a donc pas d'influence sur le résultat final.

La robustesse de la méthode par arbre décisionnel pourrait être aussi vérifiée par test statistique : par exemple, la robustesse est confirmée si l'échange de 2 individus issus de 2 groupes obtenus invalide l'arbre décisionnel.

### 5.3.2 Limites et avantages du scoring

L'application de cette seconde méthode permet d'avoir une meilleure vue d'ensemble des caractéristiques propres à chaque bassin versant, d'alimenter les discussions avec le collectif et d'intégrer les connaissances locales des conseillers du territoire. Par ailleurs, le scoring permet également d'identifier un bassin versant supplémentaire, ayant pour projet d'être un bassin témoin. Sans cette méthode de visualisation des données, cette possibilité n'aurait pas pu être envisagée. La limite principale de cette méthode est sa durée de mise en œuvre : un système de scoring avec un grand nombre de données et de variables demande un temps de traitement relativement long.

Par ailleurs, la réponse « Moyen » aux variables a été définie après discussions avec le collectif, et non par des moyens scientifiques appuyés par bibliographie, de même pour les valeurs seuils choisies. Par exemple, la période d'analyse des débits est jugée comme « moyenne » lorsque la station est présente, dispose de mesures actuellement, mais présente un faible historique : c'est-à-dire, un historique n'englobant pas les dernières années à fortes sécheresses (2018 et 2019 *a minima*). La définition des seuils d'acceptabilité des critères doit être cohérente avec les besoins de l'étude menée.

### 5.3.3 La méthode dans une application future

Bien que des avantages et limites des méthodes aient été détaillés individuellement, il est légitime d'interroger leur mise en application conjointe, notamment dans le cadre d'une future étude du même ordre.

Dans le cas de la méthode par arbre décisionnel, la modalité « les bassins versants doivent être entièrement inclus dans la zone d'étude » s'est montrée très restrictive : cette modalité doit-elle être testée lors d'une prochaine application ? L'importance de l'inclusion des bassins versants au sein de la zone d'étude dépend des besoins de l'analyse menée, son application est donc sujette à être ou non importante suivant l'étude. Dans tous les cas, traiter cette modalité, au moins d'un point de vue cartographique, permet de rendre visuel ce paramètre et donc de mieux le valider ou l'invalider.

Par ailleurs, la prévalence d'une méthode par rapport à l'autre (arbre décisionnel ou scoring) n'est ici pas identifiée.

En effet, choisir de n'appliquer que la méthode de classification par arbre décisionnel aurait empêché de nombreuses réflexions apportées par la méthode de scoring : le cours d'eau de la limace n'apparaît pas dans les résultats de la première méthode, là où il se distingue dans le scoring. C'est parce qu'il est atypique qu'il est intéressant.

A l'inverse, l'application unique de la méthode par scoring n'aurait pas permis de présélection. Ainsi, il aurait fallu traiter les 60 bassins versants possibles, ce qui demande un volume horaire de travail conséquent pour le seul remplissage des données. Cependant, dans une autre étude, si le temps le permet et/ou si le nombre d'individus n'est pas trop important, le scoring peut-être un bon indicateur. Dans le cadre d'étude où les résultats ont vocation à être présentés dans leur ensemble comme ici et/ou à être discuté, il est préférable de n'avoir qu'un nombre limité de variables (les plus capitales). Ce point permet que la lecture du tableau reste lisible et que les variables importantes ne se noient pas dans les plus secondaires.

Il serait possible de vérifier si une méthode peut se subtiliser à l'autre par un test de concordance (Desquilbet, 2022).

Les travaux exposés dans ce mémoire sont propres à la zone d'étude définie et à l'historique des données disponibles au moment de sa rédaction. Les procédés décrits de création d'un collectif, de démarche en co-construction, et les méthodes de caractérisation et de sélection sont reproductibles dans d'autres contextes à condition d'ajustements. Par exemple, réaliser ce travail sur un territoire à prévalence de grandes cultures implique une zone d'étude déjà très impactée par les nitrates (plus grandes utilisations d'intrants). De cette manière, les critères de zone atelier idéale ne seront pas les mêmes. Un territoire majoritairement en grandes cultures s'assurera d'abord de la bonne sensibilisation des agriculteurs de la zone, en privilégiant un apport de connaissances et de solutions alternatives aux intrants azotés.

La reproductibilité spatio-temporelle de la méthode pourrait être testée statistiquement par une application future (« grandement » distante temporellement et/ou spatialement de l'étude présentée ici). On parle de reproductibilité spatio-temporelle lorsque les conditions de mesures varient et que les opérateurs sont (quasi-)identiques, (Desquilbet, 2022) .

## Conclusion

Suite à la campagne 2018-2019 de révision des zones vulnérables au titre de la Directive Nitrates, les acteurs du Charollais-Brionnais-Morvan ont entamé une démarche d'étude des dynamiques nitrates. La très grande majorité des systèmes agricoles de ce territoire sont en élevage bovin extensif, avec une relative homogénéité des pratiques, ce qui est habituellement un facteur de protection contre des taux élevés en nitrates.

C'est dans ce cadre que la présente étude s'insère. Son objectif est de sélectionner des zones ateliers qui soient représentatives du territoire et favorables à la conduite d'un projet de co-construction avec les agriculteurs. L'identification de zones ateliers permettra d'y implanter une (ré-) instrumentation des suivis des taux de nitrates (et débits) mais aussi d'y conduire une enquête des pratiques agricoles mises en œuvres. Fournir une méthode rigoureuse de sélection des zones ateliers permet de favoriser l'obtention de financements et de contribuer à la bonne conduite du projet sur le terrain.

Au terme de cette étude, il est désormais possible de répondre à la question « Quelle méthode appliquer pour la sélection de zones ateliers ? ». Après une caractérisation de la zone d'étude et un tour d'horizon des données disponibles, c'est la définition d'une zone atelier idéale qui permet le choix des critères de sélection.

Deux méthodes de sélection ont été appliquées. La classification par arbre décisionnel s'est montrée efficace et rigoureuse, amenant à la présélection de 14 bassins versants. La méthode de scoring a été mise en œuvre sur un ensemble de bassins versants et a permis de réelles avancées dans la sélection et les discussions avec le collectif. Cette deuxième méthode a aussi initié la possibilité d'inclure une zone atelier témoin, « La Limace ».

Ce mémoire présente une méthode robuste, reproductible et intègre les savoirs et expériences des experts locaux. Il justifie la sélection de 7 cours d'eau propices à la délimitation en zones ateliers. L'hiver prochain, des prélèvements hebdomadaires des taux de nitrates auront lieu sur les zones ateliers délimités.



## Bibliographie

**AIZAT A., AHMAD AMSYAR A., SALLEHUDDIN I. and MOHD AMRI Y., 2017**, "Techniques in advancing the capabilities of various nitrate detection methods: a review.", *International Journal on smart sensing and intelligent systems*, Vol. 10, no. 2.

**Aquaportail, 2009**, "Lixiviation : définition, explications.", <https://www.aquaportail.com/definition-5233-lixiviation.html#:~:text=Lixiviation%E2%80%AF%3A%20d%C3%A9finition%2C%20explications%20La%20lixiviation%20correspond%20au%20transport%2C,ou%20substrat.%20Une%20lixiviation%20biologique%20est%20la%20biolixiviation.>

**Bibliothèque et Archives Nationales du Québec, 2019**, "Caractéristiques de présentation d'une fiche descriptive de métadonnées.", [https://www.banq.gc.ca/archives/archivistique\\_gestion/ressources/publications/gestion\\_integree/profils\\_m\\_etadonnees/1-guide/caracteristiques/](https://www.banq.gc.ca/archives/archivistique_gestion/ressources/publications/gestion_integree/profils_m_etadonnees/1-guide/caracteristiques/).

**BLANCHETEAU J., 2022**, "Etats des lieux de l'agriculture et des pratiques agricoles susceptibles d'émettre des pollutions aux nitrates sur l'ouest de la Saône-et-Loire.", *Chambre d'Agriculture de Saône-et-Loire*.

**BOUNSIAR R., TEBANI S., 2019**, "Etude des indicateurs du développement et classification des pays africains : approche statistique.", *Université Mouloud Mammeri*, pp. 50-54.

**CHEVALIER F., LE BELLAC J., 2012**, "La classification.", *Faculté des Sciences Economiques de Rennes 1*.

**Conseil canadien des ministres de l'environnement, 2012**, "Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection de la vie aquatique.", pp. 6-9.

**DESQUILBET L., 2022**, "Guide pratique de validation statistique de méthodes de mesure : répétabilité, reproductibilité, et concordance.", *Ecole nationale vétérinaire d'Alfort*, pp. 4-5 et 38.

**DRAAF Bourgogne Franche-Comté, 2018**, "Les mesures du 6ème programme d'Actions Nitrates dans les zones vulnérables de la région Bourgogne Franche-Comté.", *Plaquette de communication*.

**DREAL Bourgogne Franche-Comté, 2021**, "Analyse et synthèse des données physico-chimiques, hydrométriques et biologiques sur 8 stations DCE du Charolais."

**DUPAS R., DELMAS M., DORIOZ J-M., GARNIER J., MOATAR F., GASCUEL-ODOUX C., 2014**, "Assessing the impact of agricultural pressures on N and P loads and eutrophication risk.", *Ecological Indicators*, Volume 48, p. 402.

**GisSol, 2021**, "Carte des sols sur le Géoportail.", *INRAe*, <https://www.gissol.fr/donnees/carte-sur-le-geoportail-4789>.

**JONES A., HORSBURGH J., MESNER N., RYEL R., STEVENS D., 2012**, "Influence of Sampling Frequency on Estimation of Annual Total Phosphorus and Total Suspended Solids Loads.", *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, DOI: 10.1111/j.1752-1688.2012.00684.

**LARUE J-P., 1998**, "Sécheresse et étiages : l'exemple du Cher du 1988 à 1992.", *Norois*, t. 45, n°179, pp. 453-471.

**MESSANT A., LEHMANN S., MOULIN J., LAGACHERIE P., JALABERT S., NORAZ A., LEMERCIER B., CHAFCHAFI A., MURE J.-P., LAROCHE B., SAUTER J., 2021**, "Diffusion des référentiels régionaux pédologiques sous la forme d'une carte des sols dominants (France métropolitaine - Hors Corse) accessible sur le Géoportail.", *Etude et Gestion des Sols*, vol. 28, pp. 57-69, hal-03121194.

**Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2020**, "Une réglementation ancienne pour réduire les pollutions de l'eau : de sa conception à sa mise en œuvre et ses effets sur l'agriculture et l'environnement.", *Programme d'actions national nitrates*, <https://programme-nitrate.gouv.fr/comprendre/reglementation-ancienne-reduire-pollutions-leau-sa-conception-a-sa-mise-oeuvre-ses-effets>.

**MOATAR F., MOSTAJIR B., SOUCHON Y., CHAUVIN C., DOMAIZON I., DORIOZ J.-M., HOEPFFNER N., HUMBERT J.-F., LEFEBVRE A., LEPAGE M., MIOSSEC L., MONTUELLE B., RIMET F., ROSEBERY J., USSEGLIO-POLATERA P., 2017**, "Surveillance de l'eutrophisation, indicateurs et trajectoires.", *L'eutrophisation : manifestations, causes, conséquences et prédictibilité. Rapport d'Expertise scientifique collective, Rapport CNRS- Ifremer-INRA-Irstea (France)*, pp. 136-404.

**OLHAITZ C., MINCHIN H., BRIDANT Z., REGIMBEAU J., THIOYE Y., 2021**, "Rapport d'étude : Analyse du lien entre l'impact du climat et les pratiques agricoles sur les concentrations en nitrates dans les masses d'eau du Charolais.", *Université de Bourgogne Franche-Comté*.

**PIERRE D., 2012**, "Moteur de calcul.", *SIRIS pesticides*, [https://siris-pesticides.ineris.fr/moteur\\_calcul](https://siris-pesticides.ineris.fr/moteur_calcul).

**RESMER K., 2022**, "Comprendre le cycle de l'azote.", *Parlons Sciences*, <https://parlonssciences.ca/ressources-pedagogiques/les-stim-en-contexte/comprendre-le-cycle-de-lazote>.

**ROGNON P., 1994**, "Les conséquences de la sécheresse sur la pédogénèse.", *Sécheresse*, vol. 5, n°3, pp. 173-184.

**SAPORTA G., 2009**, "Analyse discriminante, classification supervisée, scoring...", *Conservatoire National des Arts et Métiers*.

**SIMON J.-C., LE CORRE L., 1992**, "Le bilan apparent de l'azote à l'échelle de l'exploitation agricole: méthodologie, exemples de résultats.", *Fourrage*, n°129, pp. 79-94.

**VERTES F., DECAU M.L., 1992**, "Suivis d'azote minéral dans les sols : risque de lessivage de nitrate selon le couvert végétal.", *Fourrage*, n°129, pp. 11-28.

**WEST MANIER L., 2019**, "Autotrophie des plantes vis-à-vis de l'azote.", *Université d'Artois*, <https://www.studocu.com/fr/document/universite-dartois/biologie-physiologie-vegetale/autotrophie-des-plantes-vis-a-vis-de-lazote/10879634>.

**WIERZBICKA E., 2019**, "Novel methods of nitrate and nitrite determination – A review.", *Journal of Elementology*, ISSN : 1644-2296.

**Wikipédia, 2022**, "Le cycle de l'azote.", [https://fr.wikipedia.org/wiki/Cycle\\_de\\_l%27azote](https://fr.wikipedia.org/wiki/Cycle_de_l%27azote).

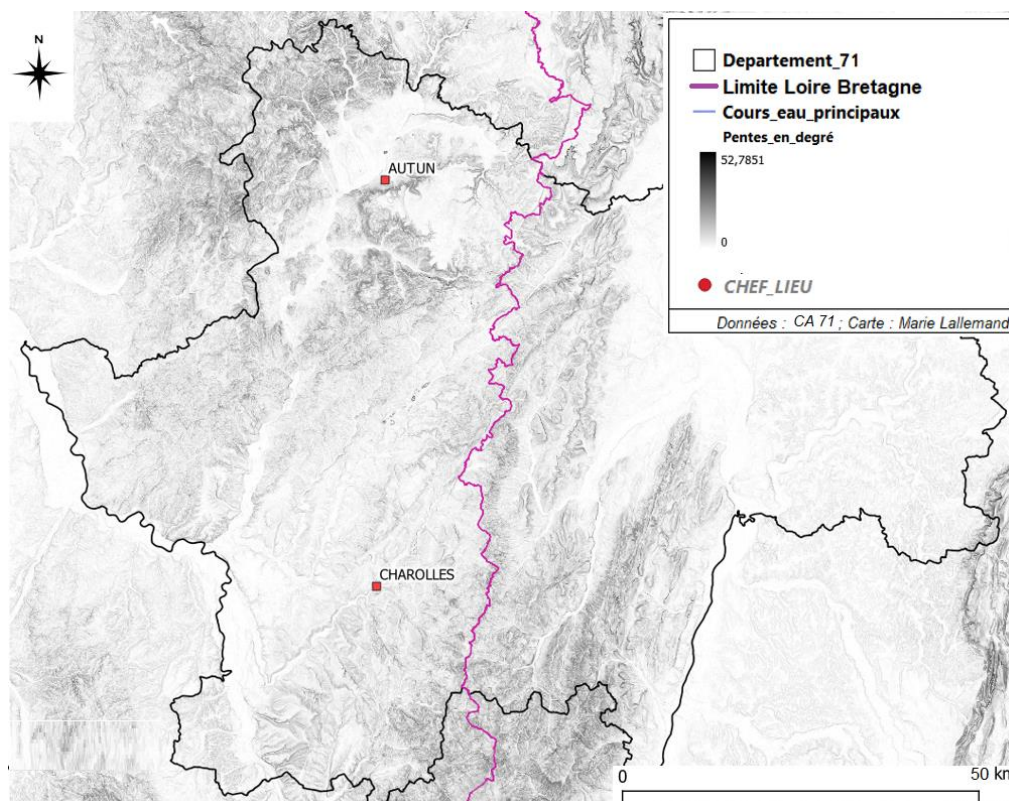
## Annexes

Pour rappel, le tableau 1 reprend les différentes sources et les caractéristiques des données utilisées.

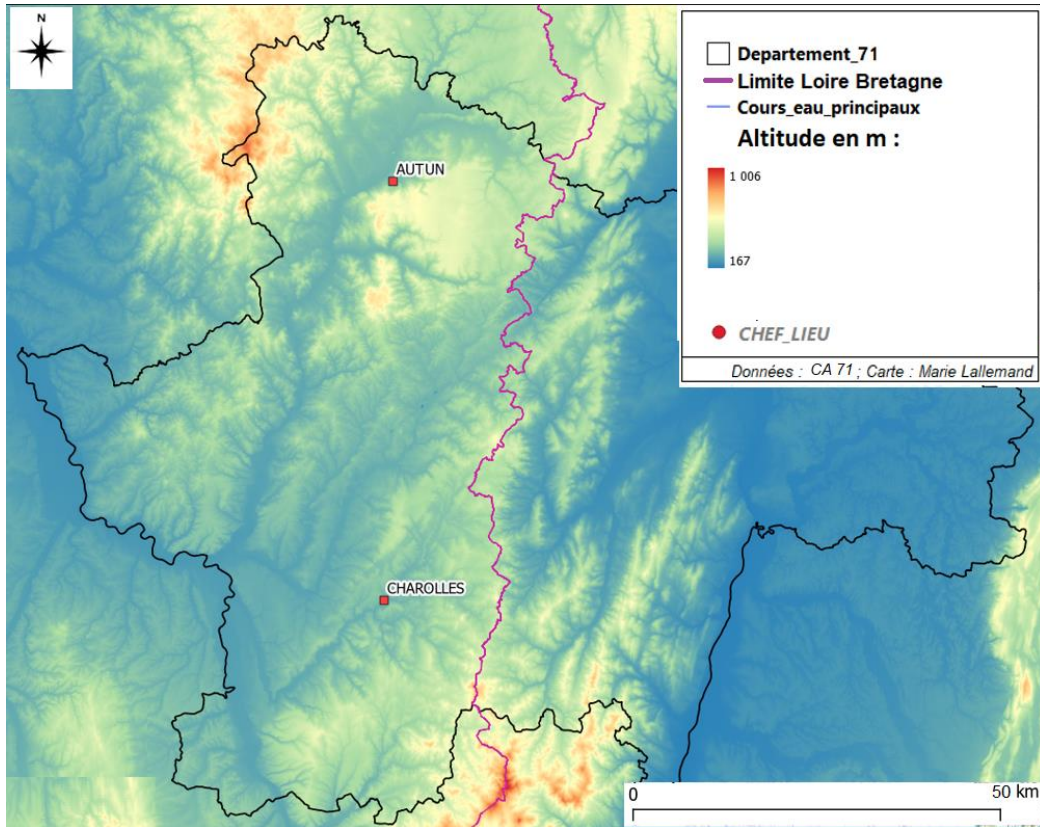
### Sommaire des annexes :

- Annexe 1 : Pentes en degré.
- Annexe 2 : Altitudes en mètre.
- Annexe 3 : RU par UCS.
- Annexe 4 : Limite des impluviums des 87 stations du territoire du Charolais-Brionnais-Morvan.
- Annexe 5 : Conversion des prairies temporaires en prairies permanentes ces dernières années.
- Annexe 6 : Syndicat de rivière du Charolais-Brionnais-Morvan.
- Annexe 7 : Délimitation des petites régions agricoles.
- Annexe 8 : Etat chimique des eaux souterraines, 2019.
- Annexe 9 : Densité de linéaires et surfaciques de haies agricoles.
- Annexe 10 : Types de peuplement forestiers en Saône-et-Loire.
- Annexe 11 : Flyer de communication co-construit par la Chambre d'Agriculture et la DDT.

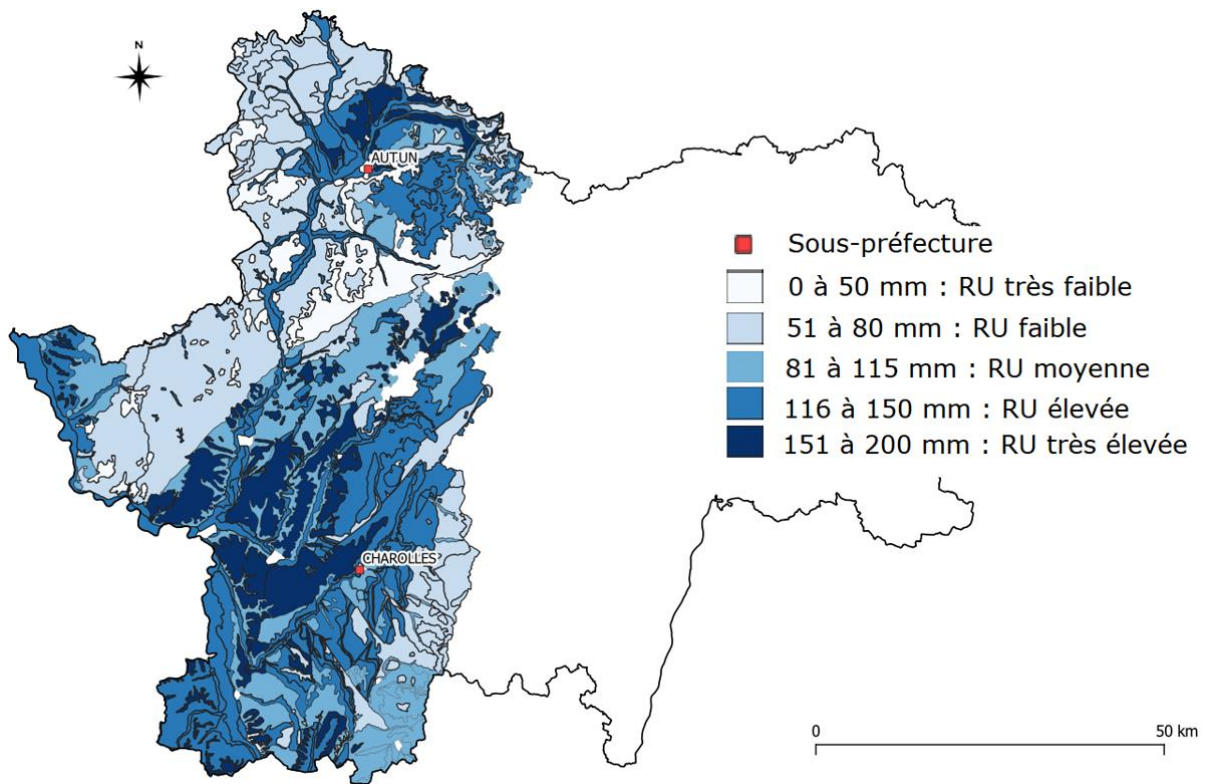
### Annexe 1 : Pentes en degré.



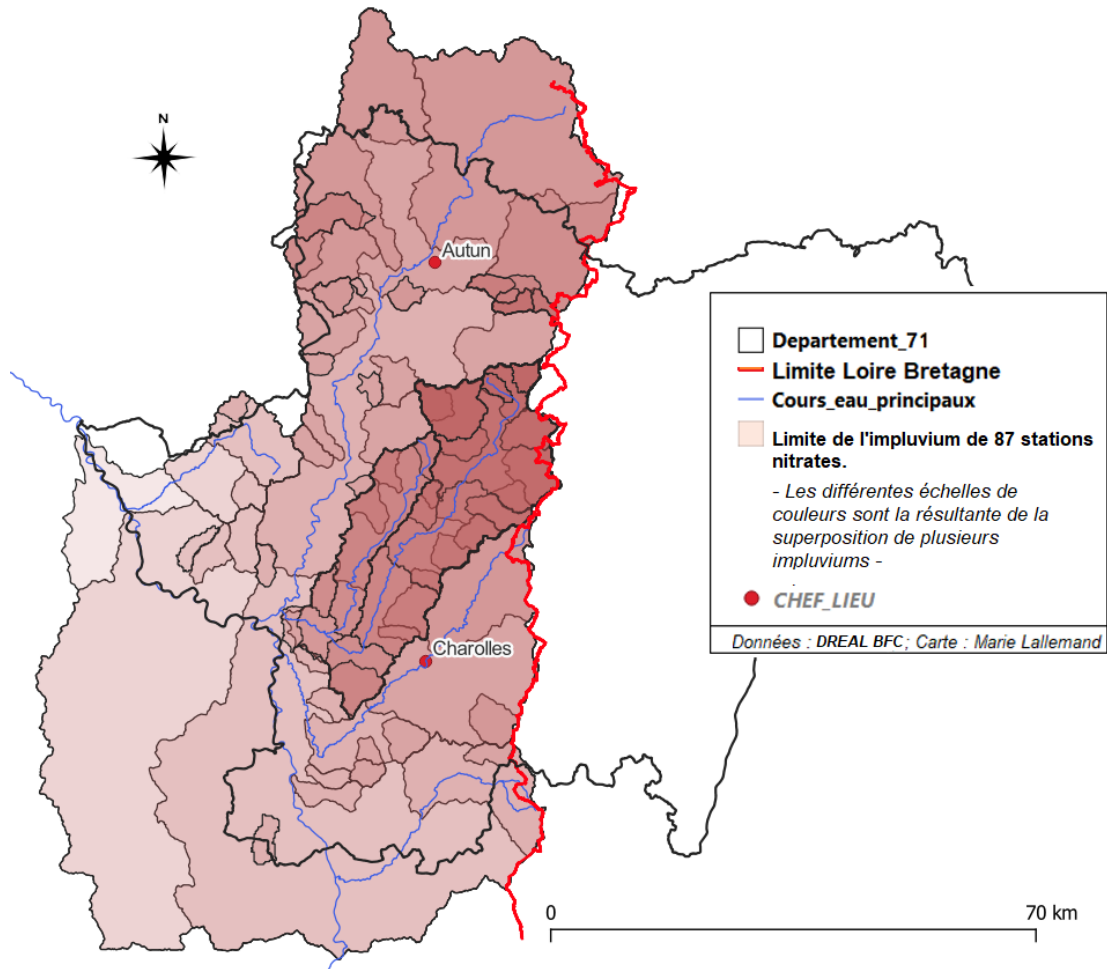
Annexe 2 : Altitudes en mètre.



Annexe 3 : RU par UCS.

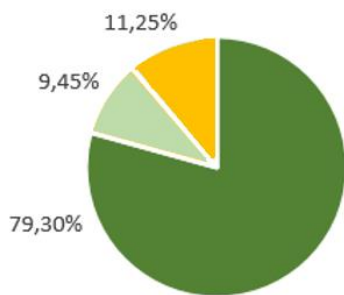


Annexe 4 : Limite des impluviums des 87 stations du territoire du Charolais-Brionnais-Morvan.



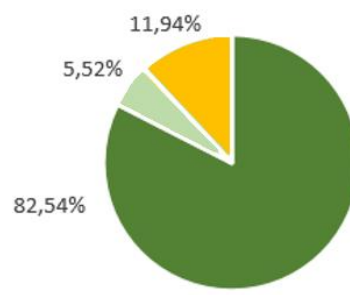
Annexe 5 : Conversion des prairies temporaires en prairies permanentes ces dernières années.

Répartition de la SAU en 2016



- Part des prairies permanentes dans la SAU
- Part des prairies temporaires dans la SAU
- Part des cultures dans la SAU

Répartition de la SAU en 2020

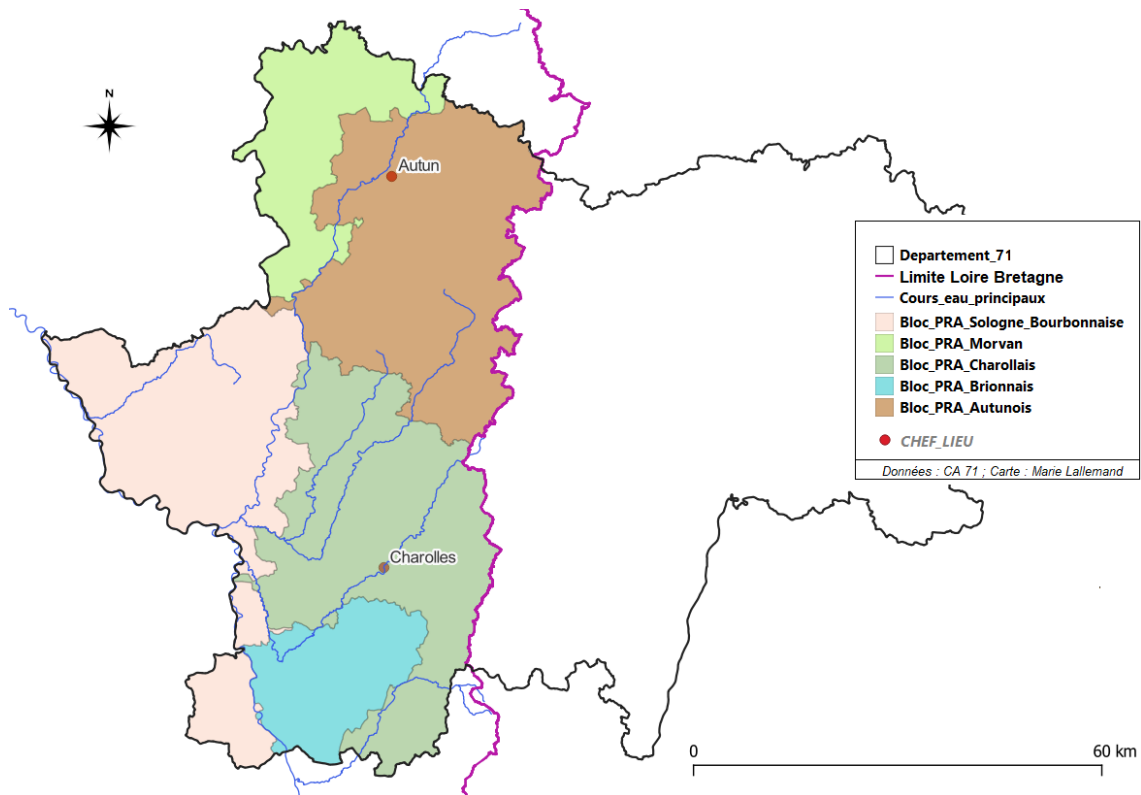


- Part des prairies permanentes dans la SAU
- Part des prairies temporaires dans la SAU
- Part des cultures dans la SAU

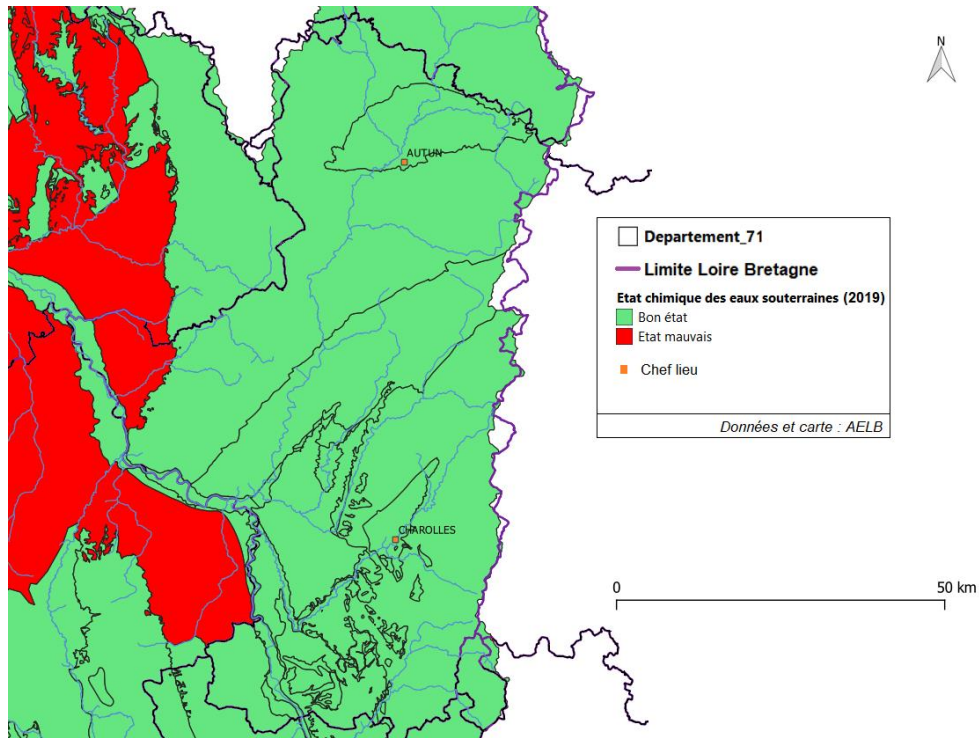
## Annexe 6 : Syndicat de rivière du Charolais-Brionnais-Morvan.



## Annexe 7 : Délimitation des petites régions agricoles.



## Annexe 8 : Etat chimique des eaux souterraines, 2019.

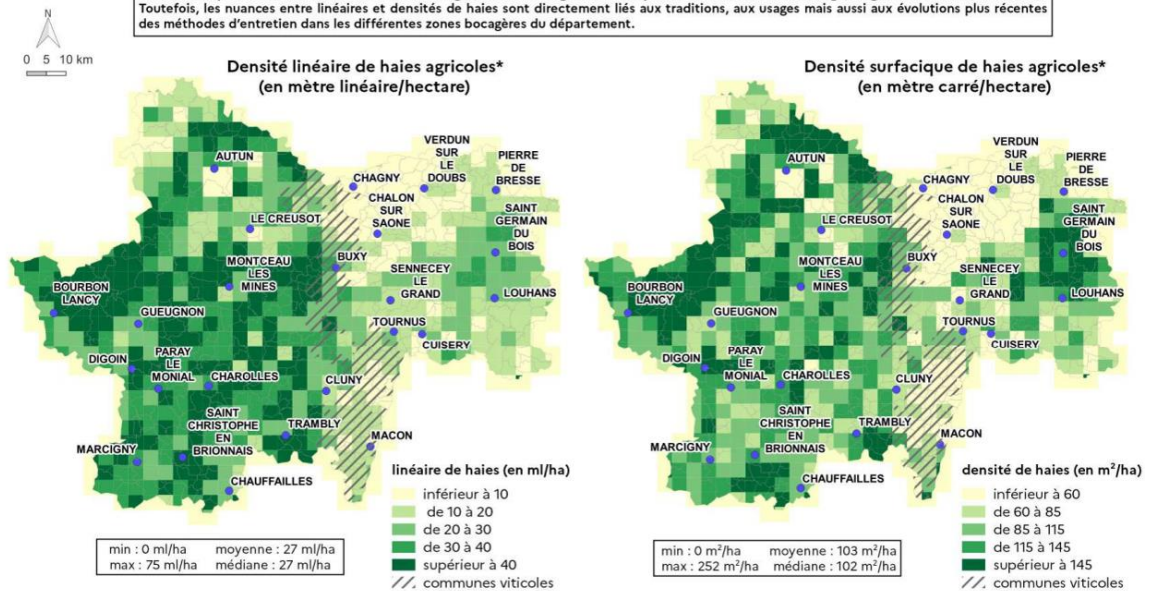


## Annexe 9 : Densité de linéaires et surfaciques de haies agricoles.

PRÉFET  
DE SAÔNE-ET-LOIRE  
Liberté  
Égalité  
Fraternité

### Département de Saône-et-Loire Densités linéaires et surfaciques de haies agricoles

Les données sont issues de la déclaration des exploitants agricoles dans le cadre de la politique agricole commune (PAC 2017). Pour certaines exploitations, viticoles notamment, l'absence de déclaration implique une absence de connaissance des linéaires de haies et bosquets effectivement en place. Les valeurs peuvent à ce titre être sous-évaluées. Les secteurs plus ou moins riches en éléments bocagers reflètent en général l'occupation du sol (secteurs d'élevage, de grandes cultures, urbains...). Toutefois, les nuances entre linéaires et densités de haies sont directement liés aux traditions, aux usages mais aussi aux évolutions plus récentes des méthodes d'entretien dans les différentes zones bocagères du département.

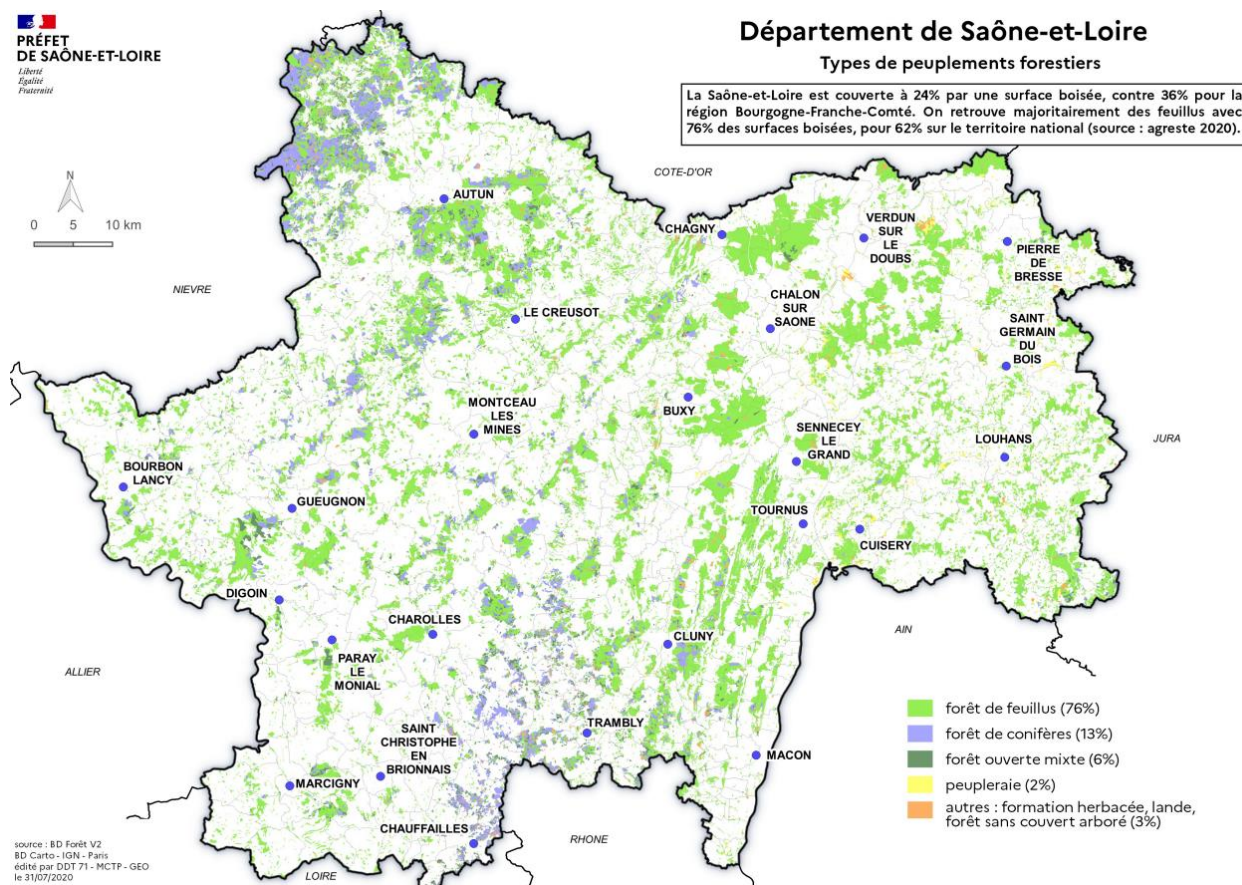


\* haies agricoles : haies + bosquets linéaires des surfaces non agricoles (SNA)

source : PAC 2017 - SNA  
 BD Cartho - IGN - Paris  
 édité par DDT 71 - MCTP - GEO  
 le 04/05/2021

Le carroyage utilisé a été confectionné pour être le plus représentatif possible des communes de Saône-et-Loire. Ainsi, chaque maille est d'une surface de 1444 hectares, ce qui correspond à la taille moyenne d'une commune du département.

## Annexe 10 : Types de peuplement forestiers en Saône-et-Loire.

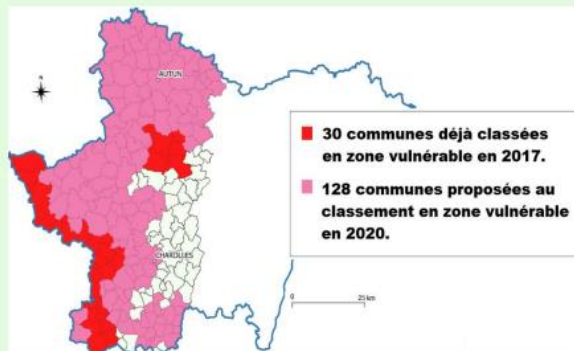
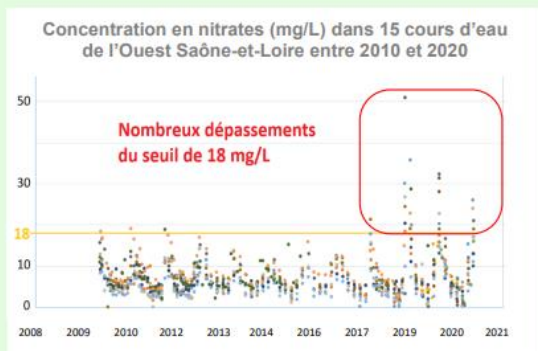




## La filière allaitante confrontée aux impacts du changement climatique doit faire face à des teneurs en nitrates élevées dans les cours d'eau

Les services de l'Etat ont engagé en 2020 la 7ème révision des zones vulnérables au titre de la Directive Nitrates. Le classement s'est basé sur la campagne d'analyses nitrates d'octobre 2018 à septembre 2019. Comme l'illustre le graphique ci-dessous, on observe de nombreux dépassements du seuil des 18 mg/L (seuil de classement en zone vulnérable) dans les cours d'eau avec des pics hivernaux en 2018 et 2019. Dans la suggestion de zonage soumise à la concertation au cours de l'automne 2020, l'ouest de la Saône-et-Loire était fortement concerné par des propositions d'extensions (128 communes, cf. carte ci-dessous).

### DES TENEURS EN NITRATES ETONNAMENT ELEVEES – DES PROPOSITIONS DE CLASSEMENT ETENDUES



### PREMIERS CONSTATS

Le territoire présentant globalement une faible pression azotée, il a été convenu que les mesures des programmes d'actions Directive Nitrates (basées sur la mise aux normes des bâtiments, de **couverts d'inter-cultures**, de gestion des **épandages** et des **effluents**...) ne semblaient, en première analyse, pas adaptées à la problématique rencontrée sur le territoire.

Il a été considéré que l'impact du **changement climatique** (alternance de sécheresses et de fortes pluies) pouvait constituer une cause majeure de l'évolution des taux de nitrates.

### PROPOSITION DE LA PROFESSION AGRICOLE

Fort de ce constat, les acteurs agricoles ont demandé un non classement de ce territoire en zone vulnérable au titre de cette révision, et se sont engagés à contribuer à une étude dans l'objectif de :

- ▲ Comprendre les dynamiques de transfert des nitrates vers les cours d'eau
- ▲ Co-construire avec les agriculteurs localement des pratiques **alternatives**
- ▲ Tester leurs impacts sur la **qualité de l'eau**

Des premiers travaux conduits par la DREAL BFC initient une recherche des origines possibles des forts taux en nitrates dans le Charolais-Brionnais.

### OBSERVATIONS PRINCIPALES :

- Longues sécheresses estivales : Sols très secs durant les étés 2018, 2019, 2020 (exemple : jusqu'à -70 % d'eau contenue dans les sols par rapport à la normale en Octobre 2018)
- Productions fourragères quasi-nulles ces étés-là
- Années de sécheresse suivies par des pics de nitrates hivernaux.

### Un lien vraisemblable avec le changement climatique :

Dans le contexte de changement climatique, les événements de 2018, 2019 et 2020 pourraient être de plus en plus fréquents.

Ainsi, une meilleure connaissance de l'impact des activités existantes sur les milieux naturels, en particulier dans ce contexte, est indispensable.

### CARACTERISATION DU CHAROLAIS – BRIONNAIS

Des élèves de Master de l'Université de Bourgogne - Dijon ont poursuivi le travail fin 2021 par une « Analyse du lien entre l'impact du climat et les pratiques agricoles sur les concentrations en nitrates dans les masses d'eau du Charolais ».

Longues sécheresses estivales en 2018, 2019 et 2020



Baisse de la bio-assimilation d'azote par les plantes



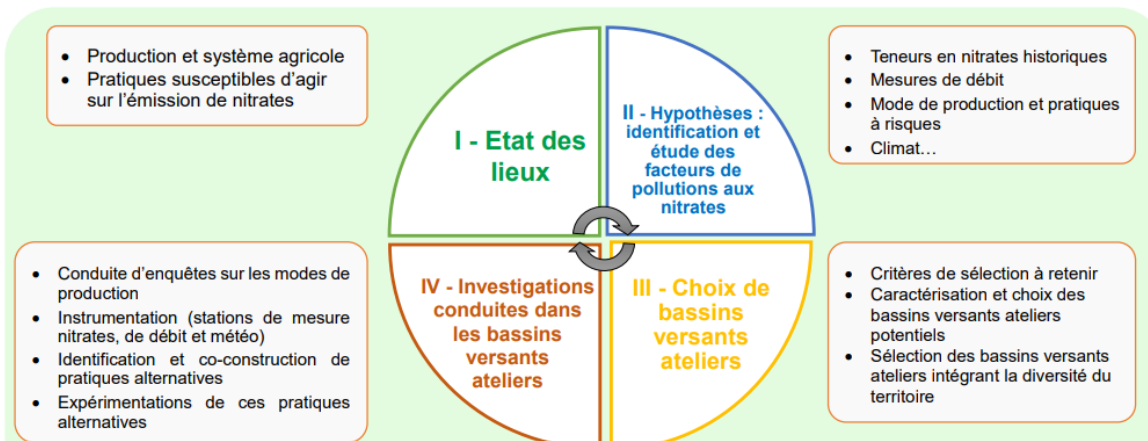
Retour tardif d'une pluviométrie forte



Lessivages hivernaux des sols amenant à des pics de teneurs en nitrates élevés au même moment.

## Etude de l'évolution des teneurs en nitrates sur l'Ouest du département dans un contexte de changement climatique

L'étude sur l'évolution des teneurs en nitrates comprend 4 axes de travail détaillés ci-dessous :



### I - ETAT DES LIEUX : L'AGRICULTURE SUR L'OUEST DE LA SAONE-ET-LOIRE

- ▲ Majoritairement de l'élevage **bovin allaitant extensif** avec une diversité de systèmes de production et de pratiques
- ▲ Environ **80%** de la surface agricole est en prairie
- ▲ Moins de **0,5%** de baisse de la SAU entre 2016 et 2020, alors qu'on enregistre une baisse du nombre d'UGB bovins de **8,2 %** entre 2015 et 2020. **Le chargement a donc diminué**, pour atteindre environ 1,2 UGB/ha de SAU en moyenne en 2020.
- ▲ Une production d'effluents d'élevage pratiquement intégralement sous forme de fumier
- ▲ Une pression relativement homogène sur des sols très différents (RU, pente, etc.)

### II - HYPOTHESES : IDENTIFICATION ET ETUDE DES FACTEURS DE POLLUTIONS AUX NITRATES

Dans un premier temps ont été étudiés l'ensemble des facteurs susceptibles d'émettre des nitrates. Puis dans un deuxième temps une étude sur les pratiques agricoles a été menée :

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▲ <b>Indépendante du changement climatique</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fertilisation non maîtrisée et/ou non fractionnée</li> <li>- Stockage des effluents</li> <li>- Evolution de l'intensification de certaines zones de l'exploitation</li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▲ <b>En lien avec le changement climatique et les sécheresses</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Accès et concentration des animaux aux cours d'eau</li> <li>- Pratique du resemis</li> </ul> </li> </ul> |
|--|--|

### III - CHOIX DES BASSINS VERSANTS ATELIERS

→ **Méthode de caractérisation d'un Bassin Versant Atelier idéal :**

Sélection parmi des bassins versants répondant au maximum à un ensemble de critères.

→ **Possibilité de corréler les mesures de teneur en nitrates observées**, notamment celles avec des dépassements du seuil de classement de 18 mg/L, **avec les pratiques agricoles et les expérimentations** : en choisissant une zone atelier en tête de bassin versant

→ **Principalement, avoir accès aux données suivantes :**

- Présence d'une station de relevés nitrates avec un historique de mesures suffisant (≈ 10 ans)
- Présence d'une station de débit
- Présence de données météorologiques

→ **Représenter la diversité du territoire :**

- |  |   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▲ <b>Modes de production agricole divers :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ratios différents de prairies naturelles et temporaires, de cultures, et de forêts</li> <li>- Chargement moyen et/ou temps de pâturage moyen</li> </ul> </li> <li>▲ <b>Un contexte territorial favorable :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Syndicat de rivière / collectivité dynamiques</li> <li>- Agriculteurs déjà sensibilisés à la démarche</li> <li>- Présence d'un collectif agricole, formel ou non, de GIEE, Bassin d'Alimentation de Captage...</li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▲ <b>Milieus physiques contrastés :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pentes</li> <li>- RU par UCS</li> <li>- Rejet d'assainissement</li> <li>- Types de sols (pH)</li> </ul> </li> </ul> |
|--|---|