
Rapport de stage individuel

5^{ème} année

Diagnostic de l'occupation du sol et de
l'utilisation des produits chimiques sur le
bassin versant de l'Yzeron (Rhône) : *utilisation
combinée d'enquêtes et de données cartographiques
pour identifier les sources de contaminants et leur
localisation*

Université Grenoble Alpes –
Laboratoire IGE
Cermosem, Le Pradel, 07170 Mirabel

Tuteur entreprise :
Pauline Dusseux
Maître de conférence

Tuteur académique :
Séraphine Grellier

Mila Bétemps
IUT
2020-2021

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Julie JOSSE, ma collègue, colocataire, co-stagiaire et amie, avec qui j'ai partagé ce stage durant 5 mois. Merci d'avoir toujours su prendre l'initiative, pour toutes tes idées et compétences. Tout cela n'aurait pas été possible sans toi.

Merci ensuite à M. Nicolas ROBINET et Mme Pauline DUSSEUX, qui nous ont encadrées tout au long de ce stage, fournit matériel et conseils, même durant leurs vacances.

Merci à tous les collègues du Cermosem, du laboratoire Pacte, de l'INRAe, avec qui les échanges étaient toujours constructifs, l'ambiance amicale et qui nous ont partagé leur savoir et leurs passions.

Merci à Mme Séraphine GRELLIER pour avoir été une encadrante toujours réactive.

Merci au personnel du SAGYRC, notamment Mme Claire MARCEL qui nous a familiarisé avec le bassin versant du Ratier, et m'a gracieusement prêté leurs locaux pour mes premiers entretiens.

Merci à Maxime VERMEIL, sans qui la base de données n'aurait sûrement pas vu le jour sous une forme si aboutie.

Merci à tout le personnel du centre Olivier de Serres, qui nous ont permis un premier pas dans le monde de l'agriculture, de l'élevage et de la viticulture.

Merci à toutes les personnes interrogées dans le cadre de cette étude, exploitants, élus, personnels, citoyens.

Merci enfin à tous les autres stagiaires, Louise, Maxence, Fallou, Coline, Chloé, Camille, Ulysse et Léopold, pour leur présence et leur joie de vivre.

Table des matières

Remerciements.....	2
Table des matières	3
Table des figures.....	5
1. Introduction.....	6
1.1 Contexte.....	6
1.1.1 La pollution de l'eau	6
1.1.2. Détection des sources de pollution dans un bassin versant.....	7
1.2 Présentation de la mission.....	8
1.2.1 Le projet IDESOC.....	8
1.2.1.1 Contexte du projet.....	8
1.2.1.2. Objectifs et méthodologie	8
1.2.2 Zones d'études	9
1.2.2.1 Une comparaison entre deux bassins versants	9
1.2.2.3 Bassin versant de l'Yzeron.....	11
1.2.2.4 Sous bassin du Ratier/Mercier.....	11
1.2.3 Structure d'accueil.....	13
1.2.4 Notre mission	13
1.2.4.1 Objectif et étapes de réalisation	13
1.2.4.2 Attentes et difficultés prévues	14
2. Enquêtes de terrain.....	15
2.1 Découverte du terrain, organisation des questionnaires et premiers essais.....	15
2.1.1 Recherches bibliographiques et prise de connaissance du terrain	15
2.1.2 Échantillonnage des acteurs à interroger	15
2.1.3 Mise en place des grilles d'entretien et ressources cartographiques.....	16
2.1.4 Entretiens exploratoires et corrections.....	17
2.2 Déroulement et difficultés	17
2.3 Retranscription et premiers résultats	18
2.3.1 Méthode de retranscription	18
2.3.2 Premiers résultats	18
2.3.2.1 Produits phytosanitaires	19
2.3.2.2 Engrais et fumiers.....	19
2.3.2.3 Produits vétérinaires.....	20
2.3.2.4 Produits de lavage	20
2.3.2.5 Autres observations.....	20
2.4 Retour et perspectives	20
3. Construction d'une base de données	21
3.1 Type de base de données et PostgreSQL	21
3.2 Étapes de construction de la base de données	21
3.2.1 Données de bases et sélection des informations	21
3.2.2 Réunion des classes d'occupation du sol	22
3.2.3 Création des tables	24
3.2.3.1 La table parcelle et la table exploitant.....	24
3.2.3.2 Les tables de pratiques selon les occupations du sol.....	25
3.2.3.3 La table des bâtiments, de produits de lavage et produits vétérinaires	25
3.3 Requêtes.....	25
3.4 Retours sur la base de données.....	26
4. Classification et télédétection.....	26

4.1 Télédétection.....	26
4.2 Images Sentinel-2 et extension OTB.....	26
4.3 Objectifs.....	27
4.4 Étapes mises en place.....	27
4.4.1 Sélection des images et prétraitements	27
4.4.1.1 Sélection des images	27
4.4.1.2 Découpage et redimensionnement	27
4.4.1.3 Concaténation et traitement des masques.....	28
4.4.1.4 Création des indices et interpolation par les masques.....	28
4.4.2 Échantillonnage et essais	28
4.4.2.1 Classes envisagées et échantillons	28
4.4.2.2 Évaluation des échantillons et validation	29
4.4.2.3 Entraînement du classifieur et classification	29
4.4.2.4 Évaluation de la classification.....	30
4.4.2.5 Post-traitements	30
4.5 Classification finale et comparaison.....	30
4.5.1 Classification retenue.....	30
4.5.2 Comparaison avec OSO	31
4.5 Perspectives	31
5. Sources de pollution	32
5.1 Requêtes de la base de données	32
5.2 Indices de pollution.....	32
6. Bilan sur le projet.....	34
6.1 Bilan global et pistes d'amélioration	34
6.2 Bilan personnel.....	35
Bibliographie	36
Annexes.....	38
Annexe 1. Localisation des deux sites d'étude sur les sites ateliers de la ZABR.....	38
Annexe 2. Grilles d'entretien auprès des acteurs.....	39
A- Questionnaires destinés aux exploitants agricoles.....	39
B- Questionnaires destinés aux centres équestres.....	44
Annexe 3. Schéma de la construction de la base de données.	49
Annexe 4. Tables créées selon les occupations du sol	50
Annexe 5. Requêtes SQL	50
A- Les parcelles qui reçoivent du fumier, le type de fumier et les saisons d'épandage.....	50
B- Les parcelles sur lesquelles des animaux traité aux antibiotiques pâturent	51
Annexe 6. Détail des indices sélectionnés.....	51
Annexe 7. Étapes de classification.....	52
Annexe 8. Exemple de profils.....	53
Annexe 9. Classification originale	54
Annexe 10. Carte de la classification OSO	54

Table des figures

Figure 1. Éléments de comparaison entre les deux bassins versants.....	10
Figure 2. Carte de localisation du bassin versant du Ratier dans le bassin versant de l'Yzeron et du Rhône.....	12
Figure 3. Structure organisationnelle du projet IDESOC et lieu du stage	13
Figure 4. Classes créées pour les différents polluants.....	18
Figure 5. Carte des différentes parcelles interrogées	18
Figure 6. Répartition des produits selon le type de culture	19
Figure 7. Informations intégrées ou non à la base de données.....	22
Figure 8. Carte exprimant la différence entre les parcelles données par le RPG et le cadastre.....	22
Figure 9. Tableau de correspondance entre les classes du RPG et celles recrées après nos observations de terrain.....	23
Figure 10. Carte des occupations du sol.....	23
Figure 11. Schéma complet de la base de données	24
Figure 12. Composition de la table des parcelles	25
Figure 13. Bandes utilisées et longueurs d'onde associées.....	27
Figure 14. Dates des images sélectionnées pour la classification	28
Figure 15. Indices sélectionnés	28
Figure 16. Évolution du NDVI sur l'année 2020 par classe	29
Figure 17. Nombres d'échantillons par classe	29
Figure 18. Classification avec réduction de bruit.....	30
Figure 19. Matrice de confusion correspondante	31
Figure 20. Carte de localisation de trois sources de pollution.....	32
Figure 21. Niveaux d'indices et pourcentage correspondants	33
Figure 22. Pourcentage pour les différentes classes.....	33
Figure 23. Carte de pollution en produits phytosanitaire selon les indices calculés	33
Figure 24. Carte de pollution en produits phytosanitaires - Indices et détails des parcelles enquêtées	33

1. Introduction

1.1 Contexte

1.1.1 La pollution de l'eau

L'entrée dans l'Anthropocène est corrélée avec un impact important des activités humaines sur notre écosystème. Avec une augmentation prévue de plus de 50% de la demande en eau potable (T.M 2017), la pression sur les ressources en eau se fait de plus en plus présente. Une des nombreuses problématiques évoquées est celle de la pollution de l'eau, que ce soit sur la scène internationale ou locale.

Deux types de pollutions sont distinguables: les pollutions ponctuelles, rejetées directement dans l'eau ou sur les sols, et les pollutions diffuses, dont l'origine géographique est difficilement localisable. Cette dernière correspond notamment à la conséquence des "traitements appliqués sur les sols et la végétation" (Eau France 2019). Cela prend en compte les traitements agricoles, mais aussi revêtements de chaussée ou encore peintures qui sont entraînés par ruissellement après des épisodes pluvieux vers les cours d'eau, ou s'infiltrant dans le sol (Eau France 2019 ; Viman et al. 2010).

Dans tous les cas, une grande variété de substances peuvent être considérées comme polluantes: éléments nutritifs, comme les nitrates et phosphates notamment utilisés en agriculture, la matière organique, comme les fumiers, les micropolluants pouvant être de plusieurs origines (pesticides, médicaments...), des déchets... (Eau France 2019).

Un des facteurs les plus importants de la pollution dans les cours d'eau est l'augmentation des zones périurbaines. Ces dernières sont caractérisées par un développement urbain rapide et important en termes de densité ou distribution spatiale, et par un flux journalier de travailleurs. Elles sont également associées à des sols imperméabilisés, entourés de forêts éparses et de terres agricoles (Navratil et al. 2013). Cette modification du milieu naturel et la pression engendrée par l'urbanisation (sachant qu'il est projeté que plus de 60% de la population mondiale vivra en milieu urbain en 2030 (Braud et al. 2013)), influence le cycle de l'eau et son cours naturel. Cela implique alors une augmentation des crues, de l'érosion et des problèmes de pollution (via les ruissellements, les rejets, les eaux usées...) (Braud et al. 2013). Ainsi, Armon et Starosvetsky présentent les égouts comme le facteur majeur de pollution ponctuelle dans le monde (Armon, Starosvetsky 2015).

En plus de cela, des pollutions d'origine agricole sont également possibles. Différents effluents existent, que ce soit après une irrigation, une pulvérisation de produits phytosanitaires, le lavage de matériel de transformation ou encore la conséquence de la pluie ruisselant sur les cultures. Cette complexité, couplée à des pratiques agricoles diverses et en constante évolution rendent difficiles la localisation précise de l'origine des pollutions, et donc leur remédiation. Ainsi, la structure complexe des bassins versants périurbains, qui mêlent à la fois des zones naturelles, agricoles et urbaines permet difficilement de différencier les types de pollution (agricole/ urbaine...).

1.1.2. Détection des sources de pollution dans un bassin versant

Si certaines pollutions, notamment ponctuelles, sont visibles à l'œil nu, entraînant des décès d'individus, des changements de turbidité, de couleurs, d'odeurs, certaines sont plus difficilement perceptibles. Il s'agit alors de les caractériser et de déterminer leur origine. Plusieurs études ont été menées sur cette question, utilisant diverses méthodes et ressources.

Il convient premièrement de définir la notion de source. Si d'un point de vue moléculaire la source pourrait être le type, l'origine (par exemple animale, d'un produit phytosanitaire particulier, ou encore médicamenteuse), une analyse plus géographique et cartographique comprendrait le mot source comme un lieu spatialisé particulier (par exemple dans le cas d'une conduite d'eau usées cassée, l'endroit exact de la cassure). Combiner les deux définitions de sources, et ainsi définir à la fois le type et la localisation de la pollution sur un terrain d'étude particulier, semble être un objectif optimal. Cependant, si la détection spatiale est faisable pour les pollutions ponctuelles, la difficulté de cette dernière est intrinsèque aux pollutions diffuses. Les sources géographiques seraient alors plus générales et multiples (Armon, Starosvetsky 2015).

Sans se focaliser sur un territoire particulier, Armon et Starosvetsky (2015) font un état des lieux des origines globales des pollutions ponctuelles (comprenant entre autre fosses septiques, mines, rejets par les industries), ainsi que de potentiels indicateurs pour leur détection (comme des organismes vivants). D'autres études, comme celle menée par Jaffrézic et al se concentrent sur un type particulier, ici les produits pharmaceutiques, en prenant en compte à la fois pollutions diffuses et ponctuelles, mais souhaitant différencier leur origine (animale ou humaine). Ils utilisent pour cela des analyses chimiques. Ils expriment la difficulté d'identifier les sources et les chemins pris par les contaminants, notamment due à leur similitudes (Jaffrézic et al. 2017).

Pour les pollutions diffuses, Liu et al évaluent un modèle (parmi de nombreux) de simulation de bassin versant, permettant à l'aide de différents paramètres (météorologique, de pente, de relevés de pollution, de types de sols ou encore d'occupation du sol et d'équations) de prévoir les pollutions diffuses (quantités, nature) (Liu et al. 2008). Ongley et al s'étendent sur le sujet en évaluant la pertinence de plusieurs modèles sur des terrains spécifiques (Ongley et al. 2010), qui sont ensuite utilisés, avec des données d'occupation du sol, pour les réglementations et régulations (Duncan 2014). Ainsi, l'accent n'est pas mis sur l'identification (presque impossible) de l'origine spatiale précise des contaminants, mais plutôt sur leurs gestions globales sur le bassin. D'autres paramètres sont à prendre en compte, comme la temporalité avec des variations saisonnières définies par les pratiques agricoles (Jaffrézic et al. 2017).

Une grande variété d'études existent ainsi sur le vaste sujet des contaminants, avec des approches différentes. Ce stage se concentre sur une méthode innovante de détection des sources de pollution à la fois diffuses et ponctuelles dans des bassins versants périurbains de méso-échelle (~10-103 km²), via l'utilisation combinée d'enquêtes, de cartographie, de télédétection et de mesures chimiques et hydrobiologiques. Ainsi, les deux définitions de source sont combinées, et les types sont liés à leur origine géographique. Pour les pollutions diffuses, une connaissance aigüe du territoire et de ses usages permettrait de les appréhender plus facilement. Les expérimentations ont lieu sur deux bassins, celui de la Claduègne (07) et celui du Ratier (69).

1.2 Présentation de la mission

1.2.1 Le projet IDESOC

1.2.1.1 Contexte du projet

Depuis 2001, le bassin versant du Rhône fait l'objet d'une attention particulière via la création d'un vaste réseau de laboratoire de recherche (19 unités en 2020), la Zone Atelier Bassin du Rhône (ZABR). Cette dernière, au travers de 4 grandes thématiques d'étude (se focalisant sur la gouvernance, les flux, le changement climatique ou encore les polluants), a comme objectif de promouvoir et valoriser les recherches effectuées, tout en favorisant le transfert d'informations. Labellisée "Zone Atelier" par le CNRS, la ZABR permet une connaissance fine des dynamiques présentes sur le bassin versant, et coordonne des programmes pluridisciplinaires "destinés à apporter des éléments pour l'aide à la décision en matière de gestion durable des cours d'eau"(ANON. 2021). L'étude des polluants de diverses origines (agricoles, urbaines, industrielles) et leurs impacts sur la biodiversité fait partie du thème majeur "Flux polluants, Ecotoxicologie, Écosystèmes" (FPPE). 2 questions principales définissent cette thématique :

- "Comment l'évolution des pratiques et les actions de gestion de l'eau permettent-elles de diminuer les intrants et de réduire les impacts sur les écosystèmes aquatiques ?
- Comment la présence de nouveaux polluants, la transformation/ remobilisation dans le milieu des pollutions historiques, et le mélange de contaminants impactent les communautés d'organismes et les fonctions des écosystèmes ?" (ANON. 2021)

Plus de 79 projets de recherche différents se penchent sur ces problématiques dans le cadre de ZABR.

En plus de cela, certaines zones du bassin versant du Rhône sont également des observatoires de l'infrastructure de recherche Observatoires de la Zone Critique : Application et Recherche (OZCAR). Regroupant plus de 60 sites et dans une dynamique également pluridisciplinaire, OZCAR tend à mesurer "à long terme des paramètres biologiques, chimiques et physiques des eaux souterraines, fluviales, glaciaires, des sols et des zones humides en France et des territoires d'outre-mer"(OZCAR 2021). Lancée en 2015, cette initiative regroupe les observatoires et projets de recherche étudiant la Zone Critique, soit la "zone superficielle et très fine de notre planète, qui se situe à l'interface entre l'atmosphère et la croûte terrestre continentale" (OZCAR 2021). Complexe, cette zone est étudiée par de nombreuses disciplines (géologie, hydrologie, géomicrobiologie...) qui parfois peinent à communiquer. Le réseau OZCAR a alors comme objectif de centraliser et partager les informations, tout en développant de nouveaux projets de recherche autour d'une question commune: "comment suivre, décrire et simuler l'adaptation de la Zone Critique à une planète changeante (climat, occupation des sols, pratiques)" (OZCAR 2021). Cela permet aux sites concernés d'avoir une instrumentation conséquente, avec différents points de suivis.

1.2.1.2. Objectifs et méthodologie

C'est dans ce cadre que le projet "Identification et caractérisation des sources de contaminants dans des bassins versants d'usage mixte : approche intégrée", ou plus communément projet IDESOC, voit le jour. Travail conjoint entre les équipes de recherches de l'INRAE de Lyon et des universités de Grenoble et Lyon, et soutenu par l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse (RMC), le projet part du constat de la difficulté d'identifier toutes les sources diffuses de pollution dans des bassins versants de méso-échelle d'usage mixtes. Le projet propose alors une méthodologie innovante et pluridisciplinaire avec comme objectif principal "d'identifier les sources ponctuelles et diffuses de contaminants lors d'événements hydrologiques contrastés à l'exutoire de petits bassins versants d'usage mixte"(Coquery 2020). Pour cela, une approche intégrée est mise en place en plusieurs étapes:

- **Tâche 1:** "Diagnostic de l'occupation des sols et de l'utilisation des produits chimiques sur les bassins versants"(Coquery 2020). L'objectif de cette étape est d'obtenir une carte des sources

potentielles de contamination mêlant occupation du sol et pratiques. Cela passe par la réalisation d'enquêtes de terrain détaillées auprès des différents acteurs des bassins versants (agriculteurs, élus, habitants...), dans le but d'identifier les pratiques et éventuels produits utilisés. L'usage de données cartographiques, notamment via la télédétection, permettra de compléter les informations obtenues. Ainsi, des séries temporelles d'images satellites seront utilisées afin de classer les différents usages du sol et pratiques. Cette tâche est l'objet de ce rapport de stage.

- **Tâche 2:** "Acquisition de données expérimentales pour l'identification des sources de contaminants à différentes échelles (spatiales et temporelles)". En se basant sur les résultats précédents, les sources potentielles identifiées seront échantillonnées. Des échantillons d'eau et de sols seront prélevés au plus près des sources, et plus en aval. Ils seront ensuite analysés avec des paramètres simples avec "une combinaison de paramètres "low-cost" permettant de représenter les sources de contaminants chimiques" (Coquery 2020).
- **Tâche 3:** "Validation de la méthodologie de traçage des sources par combinaison d'études de terrain et de laboratoire"(Coquery 2020). Cette dernière tâche combinera expérimentation de laboratoire et expérimentations de terrain afin de valider ou non la méthodologie adoptée.

Cette approche, en plus de s'affranchir de l'analyse souvent onéreuse de contaminants organiques, permet de proposer une méthodologie à moindre coût. De plus, la comparaison entre les deux bassins étudiés est une manière de vérifier que les sources ont une signature biogéochimique retrouvable quel que soit le bassin. Cela permettrait alors d'appliquer cette méthodologie directement dans d'autres zones similaires.

1.2.2 Zones d'études

1.2.2.1 Une comparaison entre deux bassins versants

Le bassin versant du Rhône est un bassin de 97 800 km² navigant entre la Suisse et la France (Eau France 2018). 4^{ème} fleuve européen, le Rhône navigue des Alpes suisses à la Méditerranée sur 765 km. Aménagé depuis la moitié du XIX^{ème} siècle, le fleuve est utilisé comme moyen de transport, de ressources ou encore d'irrigation (Observatoire des sédiments du Rhône 2011). La vallée du Rhône s'est également grandement urbanisée avec les années, induisant de plus en plus de pollution (ANON. 2021). Les recherches se concentrent sur deux sous bassins versants du Rhône, sites ateliers de la ZABR faisant également partir du réseau OZCAR (voir annexe 1):

- le bassin versant de l'Yzeron, notamment les sous bassins versants emboîtés Mercier/Ratier (cf. partie 1.1.3.2). Cette zone fait partie de l'Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine (OTHU). L'OTHU étudie particulièrement les polluants générés par l'urbanisation et leurs impacts) (OZCAR 2021).
- le bassin versant de la Claduègne (07). Cette zone fait partie de la zone "Rivières Cévenoles" de la ZABR et de l'Observatoire Observatoire Hydrométéorologique Méditerranéen Cévennes-Vivarais (OHMC) d'OZCAR. Ce dernier se focalise sur "le risque hydrométéorologique associé aux pluies intenses et aux crues éclaircies en région méditerranéenne" (OZCAR 2021).

Ces deux bassins versants ont été choisis car ils ont des particularités communes, mais également des différences facilitant la comparaison (cf. Figure 1). Ainsi, tous deux bassins versants à la géologie contrastée, caractérisés par des cours d'eau intermittents et de fortes variations de débit (Coquery 2020), la Claduègne et le Ratier ont des utilisations du sol mixtes plus ou moins affirmées (agriculture, urbanisation, tourisme). De taille relativement petite, ces bassins versants sont, selon Giri

& Qiu, “particulièrement sensibles en termes de transfert de contaminants” (Giri, Qiu 2016). Cela a été confirmé par les anciens projets menés sur ces territoires.

Par exemple, le projet PHARMA-BV de 2019 sur la Claduègne a mis en lumière la présence de produits pharmaceutiques d’origine humaine et animale dans les eaux, avec un comportement différent selon leurs usages, malgré un bassin versant globalement peu contaminé (Martins et al. 2019). Cette étude est particulièrement intéressante car elle est précurseur du projet IDESOC, ayant suivi une méthodologie similaire. Ainsi, une campagne d’enquête a préalablement été menée auprès des différents acteurs du bassin versant, suivie par des échantillonnages de sols et des eaux. Les enseignements tirés de ce projet sont ainsi utilisés comme bases pour la mise en place du projet IDESOC.

Sur l’Yzeron, il a été montré que les crues, en lien avec le lessivage, induisent le transfert de pesticides dans les eaux, et que le débordement des égouts entraîne des apports de produits pharmaceutiques (Navratil et al. 2013 ; Coquery 2020). Les similitudes et particularités de chaque zone d’études sont présentées dans la figure 1.

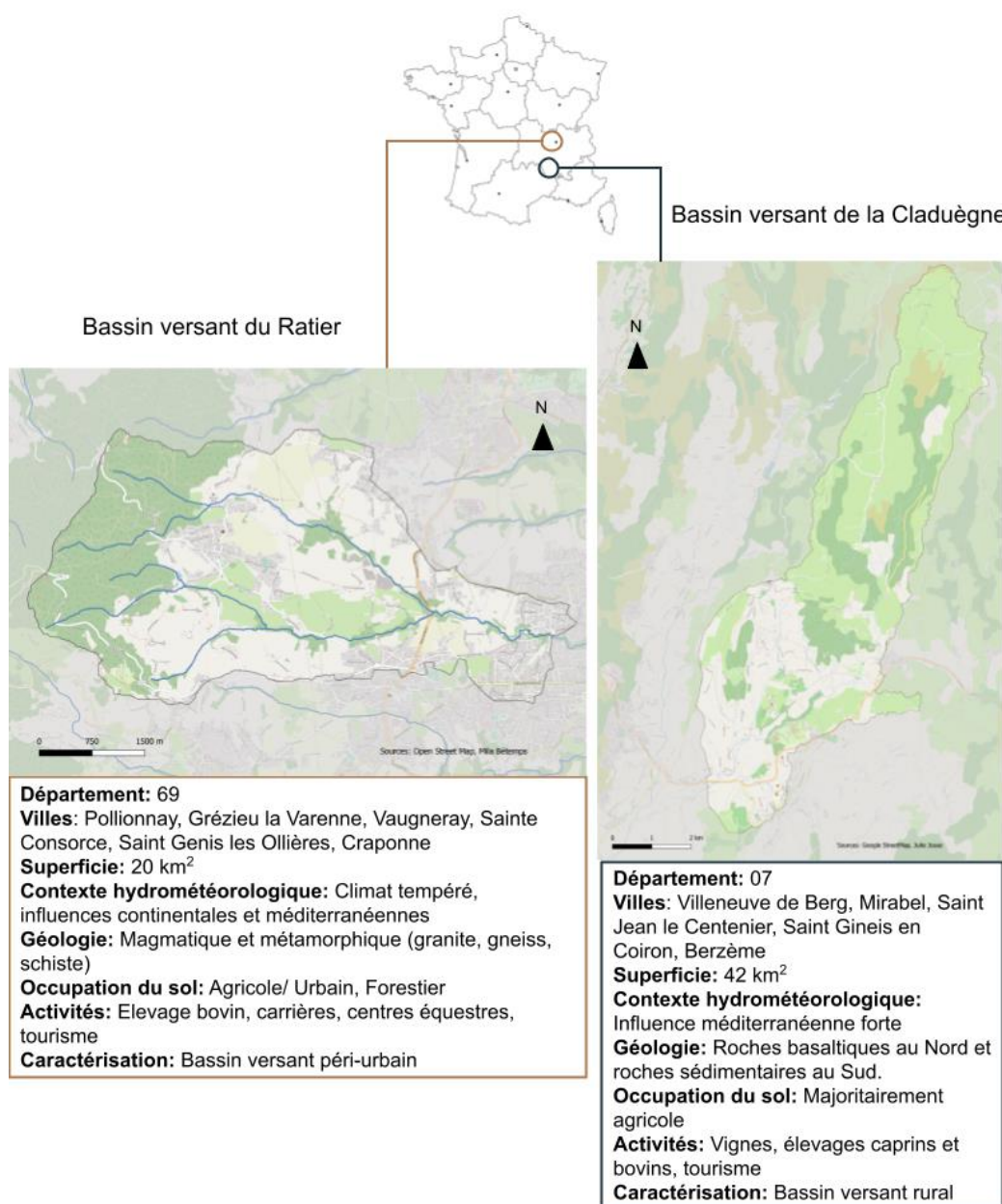


Figure 1. Éléments de comparaison entre les deux bassins versants

1.2.2.3 Bassin versant de l'Yzeron

Le bassin versant de l'Yzeron, un affluent du Rhône d'une superficie de 147 km², est depuis des dizaines d'années un sujet d'étude privilégié (Braud et al. 2013 ; Jacqueminet et al. 2013 ; Branger et al. 2013). Il fait également partie des zones des infrastructures de recherches ZABR et OZCAR (cf 1.2.1.1), lui permettant un appareillage conséquent. Situé à l'Ouest de Lyon, il s'étend des Monts du Lyonnais à la vallée de l'Yzeron, avec un exutoire dans la ville de Oullins. Caractérisés par une pédologie particulière, les sols du bassins sont "peu profonds et peu perméables conduisant à une faible capacité de stockage" (Labbas 2015). Bassin au XIX^{ème} siècle principalement agricole, l'Yzeron est aujourd'hui un parfait exemple de bassin péri-urbain, "avec une occupation du sol très hétérogène" (Labbas 2015). Les vignes et céréales ont progressivement laissé la place à la ville grandissante. Un dégradé se dessine, de la forêt et des Monts du Lyonnais en amont, en passant par des exploitations agricoles pour finir sur une zone fortement urbanisée. Le bassin aurait ainsi gagné "600 hectares d'espaces urbanisés entre 1990 et 2008" (Labbas 2015).

En plus de cela, le bassin est sous l'influence climatique continentale et méditerranéenne. Ainsi, de forts contrastes sont visibles tout au long de l'année, avec des cours d'eau à sec en été et des crues "importantes et rapides au printemps et en automne" (Labbas 2015). De nombreuses inondations ont ainsi eu lieu suite à ces épisodes. L'urbanisation grandissante et les sols peu profonds sont également facteurs des crues (Labbas 2015).

Ce stage se focalise sur un sous bassin de l'Yzeron, les bassins emboîtés du Ratier et du Mercier. Toutes les informations précédentes sur le bassin versant de l'Yzeron sont valables également pour ce sous bassin.

1.2.2.4 Sous bassin du Ratier/Mercier

Le bassin versant du Ratier, d'une superficie de 20km², est un sous bassin versant péri-urbain qui "présente des types d'occupations des sols et des niveaux d'anthropisation variables" (Martins et al. 2019). Il est défini par ses lignes de crêtes, mais la limite étudiée ici est fixée à la station exutoire de mesures. Les deux cours d'eau principaux sont le Mercier et le Ratier. Subissant le même climat que l'entièreté de l'Yzeron, le bassin subit de fortes crues au printemps et en automne, et des sécheresses importantes en été. Ainsi, le Ratier est à sec à cette période de l'année. Une majorité des sols sont des roches métamorphiques peu perméables.

Comprenant le village de Pollionnay et une partie des villes de Sainte Consorce, Vaugneray, Grezieu-la-Varenne, Saint-Genis-les-Ollières et Craponne, la partie ouest du bassin versant est occupée par une forêt se transformant en des exploitations agricoles et prairies pour finir sur une zone urbanisée vers l'est. Les occupations et usages du sols sont ainsi corrélés:

- des usages touristiques relativement faibles vers l'Ouest, dans les Monts du Lyonnais (avec par exemple un camping). Cette partie du bassin est considérée comme la plus vierge de pollution.
- des usages agricoles (notamment de l'élevage bovin, du maraîchage et des prairies) dans la partie plus en aval du bassin. Il est notable également une forte présence de centres équestres. Les pollutions provenant de cette partie seraient ainsi majoritairement d'origines agricoles (produits phytosanitaires, vétérinaires, fumiers...).
- des usages domestiques et urbains dans la partie la plus à l'est. Cette partie du bassin versant semble être la plus impactée par les pollutions, notamment venant du réseau unitaire des eaux usées. Construits en parallèle des rivières, les conduits trop perméables sont parfois insuffisants, notamment lors des crues, et les eaux usées communiquent avec les cours d'eau. Si des travaux sont mis en place au fur et à mesure pour renouveler le réseau de canalisations, c'est un travail de longue haleine. De plus, de nombreux déversoirs d'orage ponctuent le territoire, et associés aux fréquentes crues et des pentes importantes, induisent un

déversement d'eaux usées sur les parcelles et dans les cours d'eau. Un problème de dimensionnement de réseau est constaté.

Les principales activités industrielles sont des carrières le long du Ratier. Historiquement territoire comprenant de nombreuses blanchisseries, ces dernières ont fermé leurs portes. Une ancienne station d'épuration de la ville de Pollionnay, dont les déversements se ressentaient sur les cours d'eau, a également fermé. La totalité des eaux usées du bassin sont traitées à la station d'épuration de Pierre Bénite. Certaines habitations, notamment isolées, ont un assainissement individuel.

Ce sous bassin a été choisi comme terrain d'étude pour sa représentativité (en termes d'occupation du sol et d'usages notamment), pour ses équipements et anciennes études réalisées dessus et sa taille relativement petite. En effet, devant mener des enquêtes se voulant exhaustives auprès des acteurs du bassin, il s'agissait de pouvoir mener efficacement cette mission dans le temps imparti.

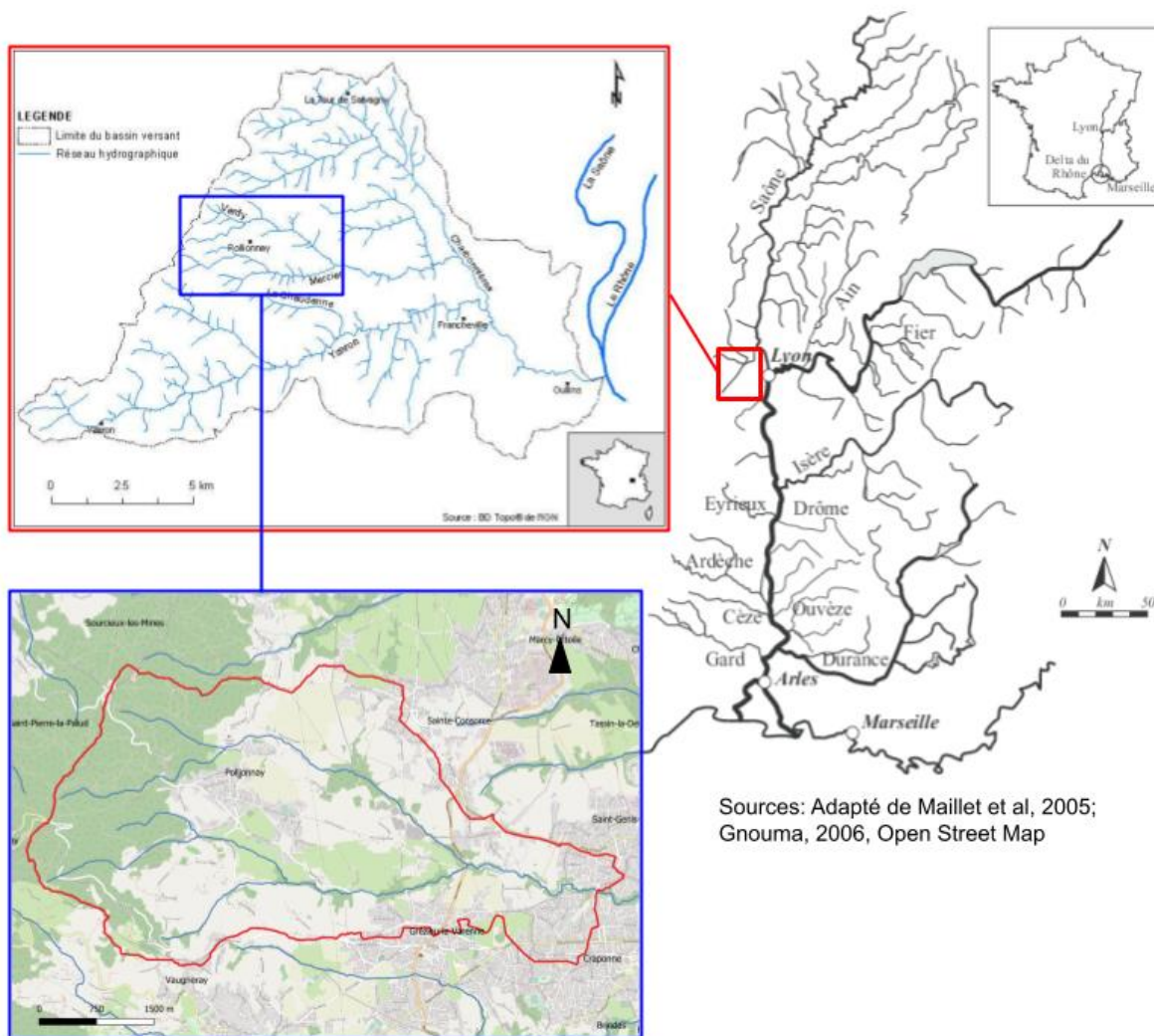


Figure 2. Carte de localisation du bassin versant du Ratier dans le bassin versant de l'Yzeron et du Rhône

1.2.3 Structure d'accueil



Figure 3. Structure organisationnelle du projet IDESOC et lieu du stage

Le stage a lieu au Cermosem, une antenne du laboratoire Pacte et de l'université de Grenoble située à Mirabel, en Ardèche (07). Pacte est l'un des 4 laboratoires de recherche impliqués dans le projet IDESOC (cf. figure 3), et le seul focalisé sur les sciences sociales. Unité mixte de recherche du CNRS, de l'Université Grenoble Alpes (UGA) et de Sciences Po Grenoble, c'est un UMR fondamentalement interdisciplinaire, rassemblant entre autres géographes, sociologues, urbanistes ou encore cartographes. Il est organisé en 5 équipes: Environnements, Régulations, Gouvernance, Justice sociale et Villes et territoires. L'équipe Environnements est mobilisée dans le cadre d'IDESOC. La figure 3 schématise la structure organisationnelle du projet ainsi que la place de ce stage dans celle-ci.

Le Cermosem, ayant ouvert ses portes en 1994, est une antenne de l'Université Grenoble Alpes (UGA), rattachée à Pacte et à l'Institut d'Urbanisme et de Géographie Alpine (IUGA). Situé sur le domaine Olivier de Serres comprenant également un centre de formation

en agriculture et une ferme expérimentale, le Cermosem accueille en plus des chercheurs, des étudiants du Bac+3 à Bac+8 en formation en tourisme, patrimoine ou encore environnement.

Le stage est réalisé sous la tutelle de M. Nicolas Robinet, assistant ingénieur cartographe, et de Mme Pauline Dusseux, maîtresse de conférence et spécialisée en cartographie et télédétection.

1.2.4 Notre mission

1.2.4.1 Objectif et étapes de réalisation

La mission, réalisée du 10 mars au 27 août 2021, soit sur une durée de 5 mois et demi, correspond à la réalisation de la tâche 1 du projet IDESOC (Diagnostic de l'occupation des sols et de l'utilisation des produits chimiques sur les bassins versants). Le but est ainsi de réaliser des enquêtes auprès des acteurs des territoires et d'utiliser les résultats ainsi que des données cartographiques et de télédétection afin de pré identifier les sources de pollution dans les bassins versants ainsi que leur nature. Au vu des recherches déjà effectuées et de l'état des connaissances, notamment sur les pollutions urbaines, spécialisation de l'OTHU, les questionnements seront premièrement focalisés sur les pollutions agricoles bien moins connues. Au-delà de la simple utilisation de produits chimiques, nous nous sommes intéressées également aux pratiques annexes, comme l'épandage de fumiers, qui peuvent propager ces produits.

Les deux bassins versants de la Claduègne et du Ratier sont étudiés en parallèle par deux stagiaires. Mon stage se concentre sur le bassin versant du Ratier, qui sera le focus de ce rapport, et ma collègue Julie Josse s'est focalisée sur la Claduègne. Notre travail étant complémentaire, toutes les étapes décrites ici ont également été réalisées en parallèle par Julie. Si certaines compétences relevaient plus de l'une ou l'autre stagiaire (étant issue d'une formation en traitement d'image et télédétection, Julie m'a guidé pour le travail s'y rapportant, tandis que j'ai pu lui apporter mon expérience sur le déroulement d'entretiens), une majorité des actions ont été réalisées conjointement, et la méthodologie a été réfléchi à deux.

La réalisation des objectifs a été divisée en plusieurs parties. La durée approximative de chaque étape a été ajoutée.

1. Découverte des bassins versants et prise de connaissance des problématiques associées et études réalisées - 1 semaine
2. Construction de questionnaires d'enquêtes et premiers essais - 2 semaines
3. Enquêtes auprès des différents acteurs - 2 mois
4. Mise en forme des compte rendus d'entretiens - 2 mois, en parallèle
5. Réalisation d'une base de données. Nous avons ajouté cette étape en nous rendant compte de la diversité et de la complexité des informations recueillies lors des entretiens. La base, plus amplement présentée partie 3, est requêtable et nous permet d'extraire à la demande des informations sous forme de couches visibles sous QGis - 1 mois
6. Classification de l'occupation du sol en utilisant la télédétection. Cette étape nous permet de réaliser une carte d'occupation du sol la plus précise possible à l'échelle du bassin versant, en utilisant des images satellitaires sur toute l'année 2020. Couplée aux résultats de la base de données, les différentes sources de pollution sont ainsi visibles - 2 mois

Différentes présentations de l'avancement du projet ont également été menées auprès des différents partenaires, à l'INRAe à Lyon ou à l'université de Grenoble.

1.2.4.2 Attentes et difficultés prévues

En commençant le stage, si nous avions une idée générale des objectifs et de la marche à suivre, les spécificités des bassins nous étaient inconnues. Nous attendions alors des entretiens qu'ils nous apportent une connaissance particulière des zones d'étude, et des pratiques effectivement réalisées par chaque exploitant agricole notamment. Nous espérions ainsi récolter des données quantitatives et une liste assez précise des différents produits chimiques et autres pollutions possibles. Nous attendions de l'usage de la télédétection de pouvoir préciser les pratiques sur tout le bassin.

Nous anticipions cependant sur les entretiens car les questionnaires se veulent très précis et exhaustifs, et la thématique des polluants dans l'agriculture est un sujet toujours sensible. Nous voulions être honnêtes dans notre démarche sans rebuter, et avons crainte de ne pas obtenir d'informations détaillées. Nous souhaitions être certaines d'utiliser les bonnes terminologies et informations au sujet de l'agriculture, des différents types d'élevage ou pratiques agricoles. De plus, les produits exacts utilisés par les exploitants sont peu connus par les chercheurs, et il est difficile de discriminer facilement les pollutions provenant de sources urbaines ou rurales.

D'autres difficultés se posaient également au sujet des bassins versants eux-mêmes. Si nous étions basées sur le bassin de la Claduègne, permettant une facilité de prise de rendez-vous et de déplacement, une visite sur le bassin versant du Ratier nécessitait 5h de route aller-retour. Nous devons alors prendre en compte ce trajet dans la mise en place et les rendez-vous possibles.

Le temps imparti au projet ne nous a pas permis d'étendre de manière exhaustive le sujet des recherches aux autres pollutions. Les résultats présentés sont donc uniquement focalisés sur les sources de pollution agricoles.

2. Enquêtes de terrain

2.1 Découverte du terrain, organisation des questionnaires et premiers essais

La première étape à la réalisation des objectifs du projet IDESOC est donc de réunir des informations quantitatives (au possible) et qualitatives sur les éventuelles contaminants) pouvant se retrouver dans les cours d'eau. Possédant peu de connaissance au sujet des pratiques agricoles de chaque exploitant sur le bassin versant, les entretiens se voulaient les plus exhaustifs possibles. La méthodologie pour la mise en place de ces entretiens s'est déroulée en plusieurs phases :

2.1.1 Recherches bibliographiques et prise de connaissance du terrain

L'analyse des travaux antérieurs menés sur les deux bassins versants, notamment du projet Pharma BV de 2019, a posé une première base sur l'état des connaissances. Les informations données dans la partie 1.2.2 sont ainsi issues de ce travail exploratoire, complétées par des visites de terrain. Plusieurs échanges ont eu lieu avec des agents du Syndicat Mixte d'Aménagement de Gestion de l'Yzeron, du Ratier et du Charbonnières (SAGYRC), en charge la gestion et des aménagements des cours d'eau du bassin versant de l'Yzeron. Véritables experts des enjeux sur le bassin et des potentielles sources de contamination, ils ont été des partenaires de choix durant toute la durée du stage.

En plus de cela, une grosse collecte d'informations a été faite sur les pratiques culturelles et agricoles, sur l'élevage caprin et bovin, les calendriers de récoltes et les terminologies à adopter afin de proposer des questionnaires collant au plus près de la réalité des interrogés. Cela a également permis de lister les potentiels polluants issus de l'agriculture. Sont alors recherchés dans les entretiens des informations sur : les produits phytosanitaires, les fumiers, les engrais, les produits vétérinaires, les produits de lavage et toute autre source de pollution à leur connaissance.

2.1.2 Échantillonnage des acteurs à interroger

Au vu de la complexité des pollutions possibles et de la multiplicité de leurs origines, et souhaitant avoir un panorama le plus exhaustif possible sur les différentes pratiques et usages du sol dans un territoire spécifique, de nombreux acteurs étaient envisageables. Cependant, prenant en compte les objectifs du projet, le temps imparti et les connaissances déjà récoltées avec les travaux précédentes, l'accent a été principalement mis sur les catégories suivantes, dans un ordre de priorité. Chacun de ces acteurs est spécifique, et nécessite une grille d'entretien particulière correspondant à son profil :

- Exploitants agricoles. Ce sont en effet eux dont les informations sont les plus précieuses, et les plus inconnues au commencement du projet.
- Centres équestres, notamment pour le Ratier, où ces derniers occupent une place importante et où leur activité est de plus en plus répandue.
- Collectivités, notamment pour les informations relatives aux eaux usées, aux stations d'épuration, et aux pollutions urbaines. Leur apport est précieux, car il sont les "experts" du territoire (Martins et al. 2019), permettant d'avoir une vision globale sur les enjeux en vigueur.
- Associations (notamment de protection de l'environnement).

Si d'autres acteurs ont été envisagés, comme les stations d'épuration, personnels d'hôpitaux ou vétérinaires, ils faisaient déjà l'objet de nombreuses études et résultats, et les sources de contamination ainsi que leur nature sont déjà connues. Les premiers contacts avec les acteurs interrogés ont été faits via le partenariat avec le SAGYRC, puis par bouche-à-oreille.

2.1.3 Mise en place des grilles d'entretien et ressources cartographiques

L'entretien est l'outil principal de collecte de données brutes, qualitative et quantitative. C'est le lien qui unit chercheur et acteur du territoire, et la formulation des questions est ainsi primordiale. Avec une problématique générale comme celle des sources de pollution, les questions posées peuvent englober de larges thématiques. De plus, il s'agit d'adapter chaque entretien à chaque acteur. Ainsi, deux méthodes ont été retenues selon les acteurs interrogés, reprises de Martins et al:

- une méthode semi-directive, "favorisant les questions « ouvertes » et laissant place à une liberté dans le discours de l'interlocuteur" (Martins et al. 2019), il s'agit dans ce cas des discussions menées avec des acteurs généraux du territoire, comme les associations et collectivités. Le but est ici d'avoir des informations sur "les pratiques communes du territoire", des observations, des ressentis, des histoires parfois non limitées au bassin versant.
- une méthode plus "directive" pour les acteurs plus sensibles dont des données quantitatives sont attendues, comme les exploitants agricoles et les centres équestres. Les questions sont cependant adaptables à chaque personne interrogée afin de correspondre au mieux à sa situation.

Dans les deux méthodes, des entrevues physiques ont été favorisées, permettant un contact humain, une communication directe et une collecte plus qualitative d'informations. Quelques échanges ont néanmoins eu lieu par téléphone. Les guides d'entretiens ont été élaborés en prenant en compte la bibliographie et la connaissance du terrain, ainsi que les études précédentes menées sur les bassins. Ils comportent différentes parties, omettables selon les situations. Pour les agriculteurs, la structure était la suivante:

Structure d'une grille d'entretien

1. Informations générales (nom, production, SAU, CUMA, labels)
2. Par type de production (viticulture, cultures) :
 - Localisation des parcelles (à l'aide de cartes papiers)
 - Engrais, amendements, désherbage, lutte contre les maladies,
 - Épandages, quantités
 - Stockage, nettoyage
3. Pour les animaux :
 - Quels animaux, combien, où et à quelle période
 - Fumier, quantité, épandage, période
 - Produits vétérinaires
4. Transformation (si oui, bâtiment, lavage...)
5. Ressource en eau utilisée
6. Éventuelles adaptations au ruissellement
7. Éventuels contacts. Cette dernière catégorie a fait le lien avec les prochains enquêtés.

Les grilles d'entretiens, après approbation par les maîtres de stages et les différents partenaires du projet, ont également été revues par monsieur Vincent Vidal, formateur pour les licences professionnelles au centre de formation professionnelle et de promotion agricole (CFPPA) Olivier de Serres. Il nous a été d'une aide précieuse pour la finalisation des premiers questionnaires.

De plus, la nature spatiale du projet implique que les interrogés doivent définir la position de leurs parcelles. Pour ce faire, des cartes des bassins versants visualisant le parcellaire ont été

imprimées au format A3, à différents niveaux de résolution. Les personnes pouvaient alors colorier leurs terrains, qui étaient ensuite digitalisés sous forme de shape sous QGis. Les entretiens portaient sur l'année passée, soit l'année 2020.

2.1.4 Entretiens exploratoires et corrections

Les premiers entretiens "tests" ont été menés auprès du personnel de la ferme du Pradel, faisant partie du centre Olivier de Serres. Collaborateurs de longue date du Cermosem, ils nous semblaient les interlocuteurs privilégiés afin de tester la faisabilité du questionnaire, sa durée de réalisation en temps réel ainsi que le contenu des questions. Avoir un retour de personnes qualifiées en agriculture et en élevage était pour nous indispensable, afin d'avoir des questions les plus pertinentes possibles.

Après un premier contact par téléphone, semblé essentiel après les retours du projet Pharma-BV et une prise de rendez-vous, un entretien se déroulait en trois parties:

- Explication du projet, vérification du consentement de la personne interrogée, réponses aux éventuelles questions
- Informations générales sur l'enquête, l'exploitation, le détail des pratiques
- Identification des parcelles de l'intéressé sur les cartes fournies.

Quelques corrections mineures ont été apportées aux grilles d'entretien. Néanmoins, les retours ont été très positifs et la faisabilité dans une période d'une demi-heure à une heure, selon la complexité de l'exploitation est établie. Les ressources cartographiques utilisées durant ces rencontres, via l'identification par des couleurs de leurs parcelles par les interrogés, ont été également bien reçues. Les grilles d'entretien finales sont disponibles en annexe 2.

2.2 Déroulement et difficultés

Les entretiens se sont déroulés de début avril à la mi-mai. Les personnes ont toutes été réceptives à la démarche engagée et ont volontiers partagé leurs informations. Certaines, fort intéressées, ont souhaité un retour sur les résultats, et n'ont pas hésité à apporter un complément d'information plusieurs semaines plus tard. D'autres ont critiqué les cartes utilisées, qui avaient pris comme base le parcellaire, et ont suggéré de prendre le Registre Parcellaire Graphique (RPG) comme référence, ce qui a été fait par la suite. Le RPG est la base de données géographiques issues des déclarations PAC de chaque exploitant. Cette base est mise à jour chaque année, et correspond plus finement à la réalité des exploitations (voir partie 3.2.1).

Cependant, tout n'a pas été fait sans quelques difficultés. Premièrement, la distance géographique a ralenti la progression. Les entretiens étant réalisés en majorité en face à face, et nécessitaient pour le bassin versant du Ratier, se trouvant à 190 km du Cermosem, 5h de route aller-retour. Cela a ainsi impliqué qu'un nombre important de rendez-vous soient pris dans une même journée, coupant parfois court à certaines entrevues. De plus, il était préférable de venir aux entretiens avec la version informatique des cartes présentées en plus des versions papiers, ce qui permettait de zoomer à convenance.

Ensuite, la précision des informations récoltées est très variable selon les interrogés. Par exemple, si la plupart des enquêtés vont connaître la quantité de fumier qu'ils appliquent sur leurs parcelles, les quantités de produits phytosanitaires épandues sont très vagues. Certains vont être très précis dans leur dénomination, n'hésitant pas à montrer directement la composition des produits, tandis que d'autres (souvent par manque de disponibilité), vont juste donner une catégorie générale. Cette disparité dans les réponses implique une précision relative des sources qui en seront ensuite tirées.

Enfin, la période retenue pour les entretiens n'était pas la plus adaptée pour les producteurs, qui étaient très occupés. Il serait préférable dans l'avenir de les réaliser en hiver.

2.3 Retranscription et premiers résultats

2.3.1 Méthode de retranscription

Les informations récoltées ont premièrement été retranscrites dans des comptes rendus d'entretiens (qui ont ensuite fait la base de la base de données présentée en partie 3). Ces derniers rendent compte exactement de l'information comme elle a été perçue par l'enquêteur lors de l'échange. Certains termes, comme des noms de produits, ont cependant dû être vérifiés pour cause d'orthographe approximative. Les informations les plus importantes ont été également résumées au début de chaque compte rendu dans un tableau, pour faciliter leur accès.

Des classes ont été constituées pour regrouper les réponses sur les produits phytosanitaires, les engrais, les produits vétérinaires et les produits de lavage. Créées en regroupant les caractéristiques communes des réponses, et à l'aide d'une recherche bibliographique, elles sont ensuite utilisées dans la base de données, sont précisées dans la figure 4 ci-dessous.

	Produits phytosanitaires	Engrais	Vétérinaire	Lavage
Classes	Fongicides Herbicides Insecticides	Engrais azotés Engrais organiques Amendement organique Engrais potassique Engrais composé Engrais phosphaté	Antibiotique Antiparasite Anti-inflammatoire Antimicrobien Hormone	Détergent Détartrant Oxydant Désinfectant Javel

Figure 4. Classes créées pour les différents polluants

Toutes les informations ont été classifiées dans des tableaux à part avec (si possible), leurs noms, molécules et les quantités pour chaque exploitant.

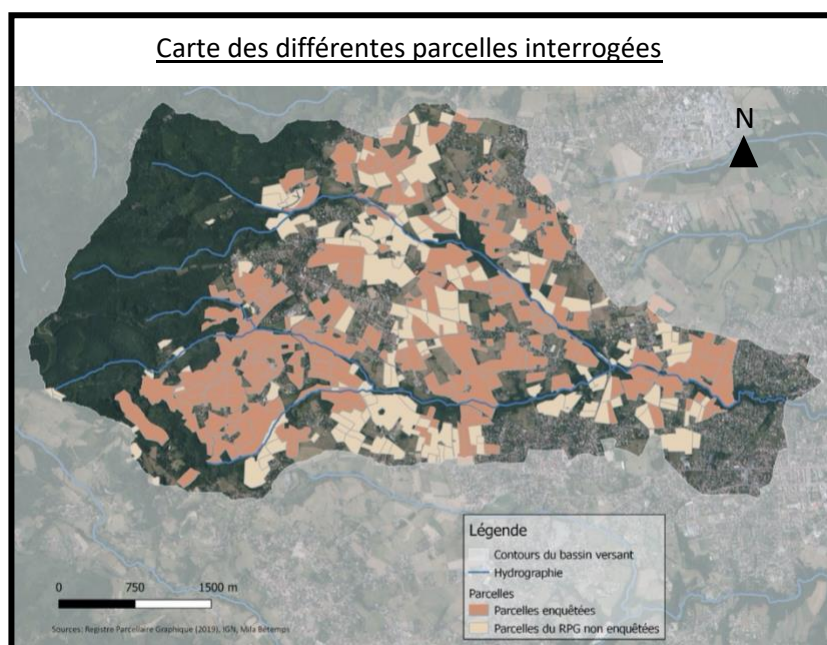
2.3.2 Premiers résultats

Ainsi, sur le bassin versant du Ratier ont été enquêtés

- 17 producteurs (majoritairement éleveurs bovins, mais également producteurs de fruits et légumes, de noisettes ou de safran).
- 5 centres équestres ou équivalents
- 2 carrières ou équivalents
- 2 associations
- 1 mairie

La figure 5 spatialise les différentes parcelles enquêtées sur le bassin versant. Cela représente environ 25% de la surface du bassin versant, et 70% de celle du RPG.

Figure 5. Carte des différentes parcelles interrogées



Sur 300 parcelles agricoles enquêtées, 55 sont en agriculture biologique, soit 18,3% d'entre elles. Ce sont majoritairement des maraîchers ou des vergers. Ont été relevés sur le bassin versant, par ordre décroissant d'importance (sachant que le même produit utilisé par plusieurs personnes n'est compté qu'une seule fois) :

	Produits phytosanitaires	Engrais	Vétérinaire	Lavage
Classes	6 Herbicides 4 Insecticides 1 Fongicide	3 Engrais azotés 3 Engrais organique 3 Amendement organique 1 Engrais potassique	9 Antiparasites 5 Antibiotiques 1 Hormone	5 Désinfectants 1 Détergent 1 acide (autre)

Il est à noter que ces observations ne correspondent que partiellement à la réalité. Certaines personnes, en indiquant seulement la présence d'herbicide par exemple, ne précisent pas leur nature ou quantité. Des informations ont pu être omises ou oubliées par les interrogés. De plus, chaque personne a une pratique différente. Certains traitements sont ponctuels et adaptés aux types de culture.

2.3.2.1 Produits phytosanitaires

Les produits phytosanitaires sont intéressants car leur type varie selon le type de culture. La figure 6 présente la répartition des produits phytosanitaires selon le type de culture.

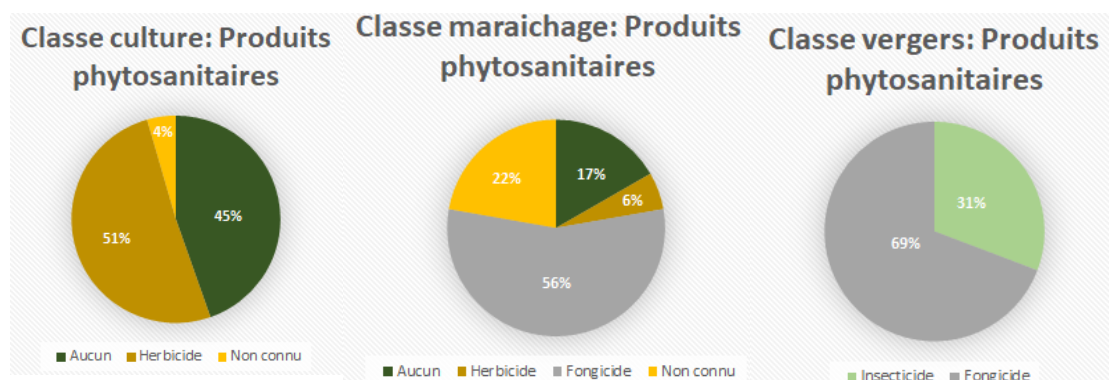


Figure 6. Répartition des produits selon le type de culture

Pour les cultures de céréales (classe culture), les produits majoritairement utilisés sont des herbicides, alors que les fongicides sont prédominants pour les fruits et légumes. Cela s'explique par la nature même des cultures, mais également par le manque d'eau. En effet, un interrogé a exprimé qu'il ne voyait pas l'intérêt de mettre des fongicides dans ses cultures, qui souffrent déjà du manque d'eau. Ces graphiques ne sont cependant pas à généraliser, étant uniquement tirés des informations recueillies qui sont incomplètes et sont relatives au nombre d'entretiens effectués.

2.3.2.2 Engrais et fumiers

La totalité des producteurs interrogés utilisent leurs propres production de fumier, ou pour les non éleveurs, des amendements organiques (notamment en agriculture biologique). Utilisés tout d'abord sur les parcelles cultivées les plus proches de l'exploitation, puis sur les prairies temporaires et les prairies permanentes, les fumiers ne sont pas compostés. La moyenne de quantité est de 30 t/ha, le double de celle constatée sur la Claduègne. Cela est explicable par la nature sableuse et relativement pauvre des sols. Des engrais sont parfois utilisés en complément des fumiers. Pour l'agriculture biologique, les amendements organiques (différenciable des engrais organiques car agissant sur la structure physique du sol et non la plante directement (Agrilor 2021) peuvent être très variés: bois de taille, bouchon, bactériosol concentré...

2.3.2.3 Produits vétérinaires

Les produits vétérinaires sont majoritairement utilisés pour les bovins et les chevaux, qui sont les principaux animaux rencontrés. Pour les bovins, si les antiparasites sont assez courants, les antibiotiques sont administrés au cas par cas. Il est notable que plusieurs éleveurs utilisent préférentiellement des techniques à base d'homéopathie et de concoctions, plutôt que d'utiliser des produits vétérinaires. Pour les chevaux, cela est souvent à la discrétion des propriétaires, les clubs ne divulguent ainsi pas cette information. Pour leurs propres écuries cependant, ils administrent des antiparasitaires systématiquement et antibiotiques quand nécessaire. Les vaccins n'ont pas été pris en compte dans cette étude.

2.3.2.4 Produits de lavage

Les produits de lavage sont ceux utilisés notamment pour une transformation ou pour le lavage des machines (matériel de traite, pulvérisateurs...). Des désinfectants divers sont notamment employés, avec des protocoles plus ou moins strictes selon la production ou la transformation réalisée.

2.3.2.5 Autres observations

De nombreuses informations complémentaires ont également été données sur le bassin versant en général. Ainsi, ce dernier diffère dans ses usages par rapport à la Claduègne. Il n'y a ainsi par exemple pas de vignes, et la majorité des exploitants sont éleveurs de bovins, pour le lait mais aussi la viande. Plusieurs carrières ou exploitation de roches sont présentes, et les centres équestres ont une grande présence, à la fois spatiale et économique. Une des angoisses majeures exposée par les interrogés est celle du manque d'eau, notamment en été, qui couplé à des sols superficiels, est fatal pour les récoltes. Certaines activités illégales, notamment de transferts de matériaux, décharges et remblais, ont été signalées.

A chaque personne était également posée la question plus générale suivante: selon elles, quelles sont les principales sources de pollution sur le bassin versant. Les réponses majoritaires sont les suivantes: - Les décharges illégales

- Les incivilités
- Les pneus
- Les plastiques agricoles
- Les conduites d'eaux usées

Ces résultats ont été présentés aux collaborateurs du projet IDESOC à la suite de cette première partie du stage lors de diverses réunions.

2.4 Retour et perspectives

Dans la perspective de répliquer la méthodologie du projet IDESOC sur d'autres zones d'étude, il s'agirait d'élargir les entretiens réalisés, en se mettant en relation avec des centres médicaux, vétérinaires ou stations d'épuration. Les informations pourraient ainsi être croisées entre ces différents acteurs.

Pour avoir des informations précises sur la totalité des parcelles, un temps d'entretien beaucoup plus long serait nécessaire avec l'exploitant. En effet, celui-ci devrait, pour chaque parcelle, faire l'historique sur une année des cultures réalisées, produits utilisés, bêtes qui auraient pâturé... alors que ces questions ont été posées généralement sur la totalité de leurs terrains. Un panel de personnes ressources pourrait également être suivi sur un temps plus long afin d'avoir des infos plus fiables dans le temps et l'espace. Cela pourrait alors prendre en compte la rotation exacte des cultures, et avoir précisément les informations sur les molécules chimiques utilisées.

Une personne référente en agriculture, connaissant intimement le territoire, serait un atout indéniable dans la mise en place des entretiens, la confirmation des informations recueillies et leur classification.

3. Construction d'une base de données

A la suite des entretiens réalisés, une nouvelle problématique est apparue: Comment retranscrire toutes les informations récoltées avec les parcelles données par les producteurs, affichables dans les logiciels de SIG?

Une base de données semblait être la solution la plus efficace. Permettant d'organiser et trier les nombreuses informations récoltées, et de les spatialiser, il est alors possible de formuler des requêtes et d'avoir une sortie des informations nécessaires sous Qgis, ou tout autre logiciel de SIG. Pour ce faire, le logiciel PostgreSQL a été utilisé.

3.1 Type de base de données et PostgreSQL

Une base de données peut être définie comme "une collection de données, possédant une certaine structure et gérées par des systèmes de gestion" (Juba, Volkov 2019). Plusieurs modèles de base de données existent. Au vu du large type d'informations récoltées de différents types (parcelles, bêtes, engrais, fumiers, périodes, produits phytosanitaires, transformation...), l'idéal serait de pouvoir les regrouper et les lier entre elles, afin par exemple de pouvoir déterminer l'usage du sol fait sur une parcelle, mais également quelles bêtes pâturent dessus, quels produits sont administrés et à quelle période, etc. Une base de données relationnelle semble alors pertinente. Composée de différentes tables reliées entre elles, elle permet d'organiser l'information en plusieurs catégories, tout en pouvant accéder à la totalité. Le langage Structured Query Language (SQL), est le plus employé dans ce type de base.

Un des logiciels les plus utilisés pour la création et la gestion d'une telle base est PostgreSQL. Logiciel open source développé depuis plus de trente ans, il prend sa source dans le projet POSTGRES imaginé en 1986 à l'université de Californie. Système de gestion de base de données relationnel-objet, PostgreSQL doit son nom à l'usage du langage informatique SQL. Il est reconnu comme un des système de gestion de base de données relationnelles open source le plus puissant sur le marché (Obe, Hsu 2018). D'autant plus précieux dans cette étude, PostgreSQL propose une extension spécialement dédiée pour l'analyse spatiale, PostGIS. Utilisée par des références en termes de cartographie (IGN, OpenStreetMap...), et dans de nombreux projets de recherche (Zimányi et al. 2020 ; Graser 2018 ; Sinkonde et al. 2018) PostGIS est disponible sur QGIS, permettant de visualiser directement les données géographiques. L'outil et l'interface pgAdmin4, permettant d'implanter, modifier et requêter les tables de la base a de plus été employé dans le cadre de cette étude.

3.2 Étapes de construction de la base de données

La construction de la base de données a été menée dans un processus d'essais et d'erreurs. Le schéma en annexe 3 illustre les étapes prises pour la construction de la base de données, détaillées ci-après.

3.2.1 Données de bases et sélection des informations

Les différentes données importées dans la base relèvent de plusieurs sources:

1. Les entretiens constituent la source majoritaire. Cependant, pour la mise en place d'une base de données relationnelle, les informations doivent être structurées. Toutes les informations recueillies ne sont ainsi pas intégrées dans la base de données par souci de lisibilité, ou car trop vagues. En effet, les pratiques, notamment au niveau des produits vétérinaires ou phytosanitaires, mais aussi au niveau des types de culture sont très variées dans l'espace et le temps. Les informations sont ainsi souvent incomplètes et les intégrer à un niveau de détail trop précis induirait de nombreuses erreurs.

Compris (quand information connue)

- Parcelles, occupation du sol (en classes), exploitant, si bio ou non, source de l'information,
- Nom, prénom de l'exploitant, nom de l'exploitation, date de création
- Emplacement des bâtiments, quels animaux, leur nombre, quelle activité, si transformation, si l'eau est récupérée
- Quels produits vétérinaires (en classes) pour quels animaux, les dates
- Quels produits de lavage dans quels bâtiments, composition, nom du produit
- Par occupation du sol: quels engrais (en classes), dates, quantité
- Par occupation du sol: quels fumiers (en classes), dates, quantité
- Par occupation du sol: quels animaux pâturent, dates
- Par occupation du sol: quels produits phytosanitaires (en classes), dates
- Par occupation du sol: Pour les vignes, nombre de rangs, travail sous rangs ou entre rangs

Non compris (quand information connue)

- Composition des produits phytosanitaires
- Composition des produits vétérinaires
- Composition des engrais
- Historique des pollutions
- Réseau des eaux usées
- Labels
- Ou ils lavent leurs machines
- Comment ils arrosent
- Toute autre information donnée lors des entretiens

Ces informations sont disponibles dans les comptes rendus d'entretiens, dans des tableaux Excel ou sous Qgis.

Figure 7. Informations intégrées ou non à la base de données

2. Le Registre Parcellaire Graphique (RPG), constitue la couche centrale dans la création de la base de données. Issu des déclarations PAC de chaque exploitant, le RPG est une base de données publique mise à jour chaque année. La figure 8 exprime la différence entre le RPG et ses différentes classes, et le parcellaire cadastral. Ainsi, au centre de l'image une parcelle cadastrale contient de très nombreuses classes du RPG. Pour ce dernier, les parcelles sont dessinées directement par les exploitants, et donnent des informations précises sur l'occupation du sol agricole. Le RPG le plus récent disponible lors de la mise en place est celui de 2019. Ainsi, certaines disparités peuvent exister avec les réponses données lors des entretiens, qui portaient sur l'année 2020.

3. La BD Topo de l'IGN, qui modélise les infrastructures sur tout le territoire français.

4. Les données publiques ouvertes en Auvergne Rhône Alpes (DataARA), qui comprennent des données sur les bâtiments agricoles.



Figure 8. Carte exprimant la différence entre les parcelles données par le RPG et le cadastre

3.2.2 Réunion des classes d'occupation du sol

Plusieurs classes d'occupation du sol ont été produites. Basées initialement sur le RPG, ces classes ont été retravaillées pour coller plus spécifiquement aux observations de terrain, et surtout aux réponses données. Certaines classes ont ainsi été regroupées, et d'autres créées, comme la classe décharge ou carrière. Elles sont présentées dans la figure 9.

RPG	Occupation du sol de la base de données	Raison de cette classification
Prairie permanente (18)	Prairie permanente	
Prairies temporaires (19) Fourrage (16) Céréales (1, 4)	Culture	Les résultats ne nous permettaient pas de les différencier. De plus, les prairies temporaires sont utilisées dans les rotations de culture.
Estives et Landes (17) (+ centres équestres)	Pâturage	Les parcelles enherbées des centres équestres sont utilisées pour le pâturage des chevaux

Légumes ou fleurs (25)	Maraîchage	
Vergers (20)	Verger	
Divers (28)	Autre	
	Carrière	Elle n'existe pas dans le RPG
	Décharge	Elle n'existe pas dans le RPG

Figure 9. Tableau de correspondance entre les classes du RPG et celles recrées après nos observations de terrain

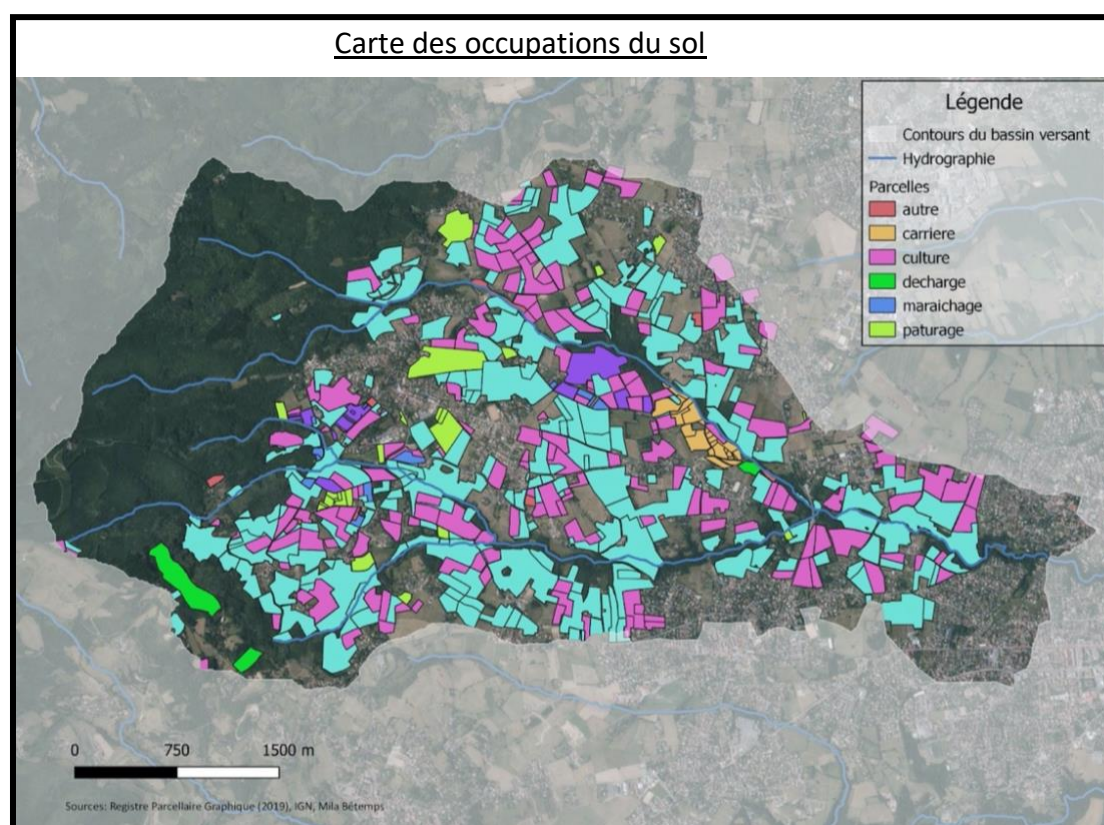


Figure 10. Carte des occupations du sol

Ces classes sont différentes sur les deux bassins versants. Ainsi par exemple la Claduègne aura une table dédiée à la vigne, et le Ratier une table pour le maraîchage. Dans tous les cas, les prairies permanentes et cultures peuvent être pâturées. En effet, pour ces dernières les terrains subissent une rotation sur plusieurs années, et certains animaux peuvent les occuper entre les périodes de cultures. La figure 10 visualise ces différentes occupation du sol sur le bassin.

3.2.3 Création des tables

Des tables sont ensuite créées à la base des réunions d'informations mises en place auparavant. Liées, elles constituent la base complète.

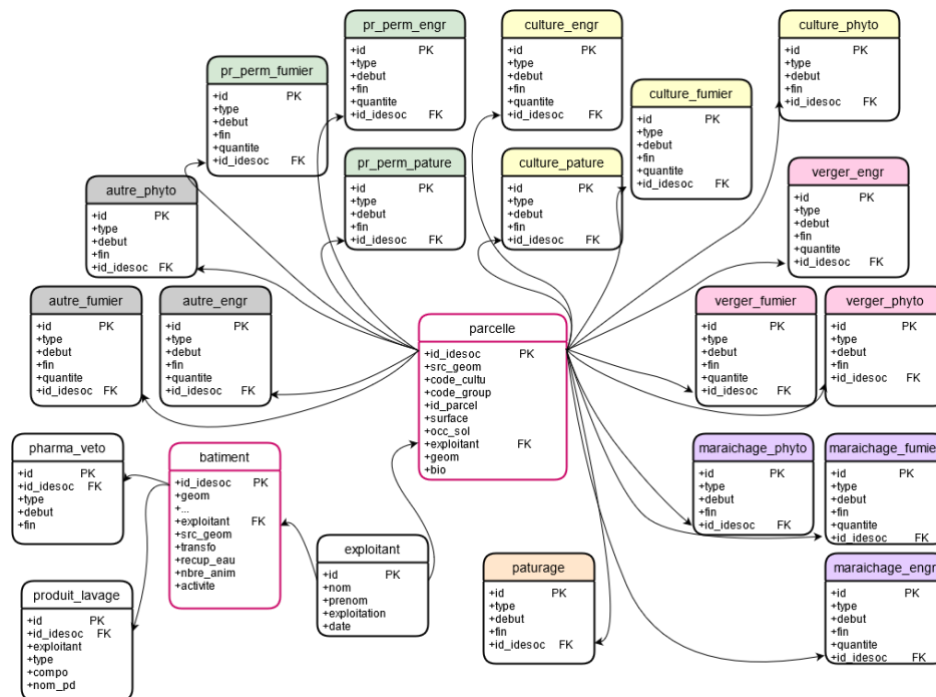


Figure 11. Schéma complet de la base de données

Les tableaux entourés de rose contiennent les informations spatialisées. PK correspond à primary key, l'identifiant unique requis par la base pour reconnaître chaque éléments des tables. FK correspond à foreign key, soit une primary key d'une autre table qui permet de faire la liaison entre les deux.

A savoir:

Les titres des colonnes sont souvent des abréviations. Quand rien n'est écrit dans les cases l'information n'existe pas ou ne nous est pas connue. Quand est écrit "aucun", par exemple dans les tables de fumiers ou engrais, nous savons qu'il n'y en a pas sur la parcelle associée. Pour la source de géométrie, "digitalisation" indique qu'une parcelle a été créée ou modifiée. Certaines parcelles indiquées "digitalisation" peuvent ainsi avoir dans la table des informations issues du RPG. Si certaines colonnes ont disparu par rapport au RPG, ou à la source d'origine, c'est qu'elles ne contenaient aucune information. L'id exploitant est le numéro 27 quand il n'est pas connu

3.2.3.1 La table parcelle et la table exploitant

La table des parcelles est la table principale de la base de données. Elle est construite selon la figure 12, en reprenant les informations du RPG et en les complétant par les enquêtes. Toutes les parcelles interrogées plus les non interrogées du RPG sont présentes.

A savoir sur la table des parcelles:

parcelle	
+id_idesoc	PK
+src_geom	
+code_cultu	
+code_group	
+id_parcel	
+surface	
+occ_sol	
+exploitant	FK
+geom	
+bio	

Figure 12. Composition de la table des parcelles

- Chaque parcelle a un identifiant unique, id_idesoc qui est la clef utilisée dans les autres tables pour identifier les parcelles
- src_geom correspond à la source de la géométrie: RPG ou digitalisation.
- code_cultu; code_group et id_parcel: informations du RPG
- Occupation du sol (occ_sol): verger, pâturage, prairie permanente, culture, maraichage, autre
- Numéro d'exploitant. Cela permet de relier les parcelles à la table des exploitants
- Géométrie. C'est cette donnée qui donne la parcelle sur QGis.
- Si la production est bio ou non. Exprimée par des opérateur booléens true ou false

La table exploitant comprend notamment un id unique pour chaque personne interrogée. Cette table peut être rendue anonyme si nécessaire.

3.2.3.2 Les tables de pratiques selon les occupations du sol

Les tables d'occupation du sol sont basées sur un modèle semblable. Selon les pratiques identifiées dans les parcelles, différentes tables sont produites par occupation du sol (voir annexe 4). Dans chaque table créée sont présents le type de produit ou de fumier, la date de début et de fin d'épandage et l'id_idesoc de la parcelle. La quantité déposée est également donnée si elle est connue.

3.2.3.3 La table des bâtiments, de produits de lavage et produits vétérinaires

La seconde table contenant des données spatialisées (ici des points) est la table des bâtiments. Elle a été créée en réponse à la complexité d'intégrer les produits de lavage et les animaux à la table des parcelles ou des exploitants. En effet, les produits de lavage sont majoritairement utilisés dans des bâtiments, où a également lieu la transformation éventuelle. Les animaux changent également très régulièrement de zones de pâturage, et sont en général rattachés à une stabulation. A cette table est liée la table des produits vétérinaires et celle des produits de lavage.

A savoir:

- Les animaux tout le temps à l'air libre sont tout de même associés à un bâtiment
- Quand il existe plusieurs bâtiments pour un type d'animaux, les animaux sont répartis par bâtiments. Il faut alors additionner tous les animaux des différents bâtiments de l'exploitant pour avoir son nombre total de bêtes.
- Quand le bâtiment exact n'est pas connu le point est placé à l'adresse de l'exploitant
- Seul le nombre de mère est compté pour les animaux sauf pour les volailles et les chevaux ou c'est le nombre total.

3.3 Requêtes

Différentes requêtes ont été testées pour évaluer la fiabilité et maniabilité de la base. Ces requêtes sont faites en langage SQL, directement dans l'interface pgAdmin de PostgreSQL. Après avoir testé la base, les partenaires du projet IDESOC ont pu nous envoyer leurs questionnement, et avoir des réponses directement. Par exemple ont été demandés :

- Les parcelles qui reçoivent du fumier, le type de fumier et les saisons d'épandage
- Les parcelles sur lesquelles des animaux traités aux antibiotiques pâturent

Le détail de ces requêtes en SQL sont disponibles en annexe 5. Elles nous permettent d'avoir une plus-value sur les informations recueillies, qui sont alors complétées avec d'autres sources (comme la BD Topo, les données DatARA), et montrent la puissance de la base de données.

3.4 Retours sur la base de données

Les retours sur la base de données, qui a été présentée aux différents partenaires du projet (INRAe, Laboratoire Pacte...) au cours de plusieurs réunions, ont été très favorables. Reconnue comme un outil à la fois efficace et pratique, avec une structure adaptée à chaque terrain d'étude (les bases sont différentes pour chacun des bassins), elle est partageable et utilisable par plusieurs utilisateurs sur un serveur commun. Les requêtes testées et réalisées sur commande, ont correspondu aux attentes des acteurs. Un guide complet à cette base de données, expliquant en détail sa réalisation, les différentes tables et leurs contenus ainsi que les requêtes, a également été réalisé, afin que tout un chacun puisse s'y familiariser et la prendre en main aisément. Ainsi, si la construction de cette base n'était pas prévue dans le projet initial, son ajout est justifié par son efficacité dans la retransmission des informations, notamment spatialisées.

Elle est cependant toujours perfectible. En effet, certaines données recueillies auprès des acteurs étaient trop qualitatives et diversifiées pour être correctement intégrées sans générer des erreurs. Le fait que certaines parcelles peuvent avoir (par exemple) plusieurs types de produits phytosanitaires induit un affichage biaisé des couches résultant des requêtes (plusieurs polygones sur une même parcelle). Il s'agit alors de toujours vérifier la table attributaire pour ne pas manquer d'informations. De plus, le fait que le RPG date de 2019 et que les entretiens portent sur l'année 2020 est source d'erreurs qui pourraient être évitables lors d'études similaires.

4. Classification et télédétection

4.1 Télédétection

Malgré les nombreuses informations recueillies dans les étapes précédentes, l'occupation et l'usage du sol exact de tout le bassin versant est encore partiellement inconnu. Certaines parcelles agricoles ne sont par exemple pas répertoriées dans la base de données, ainsi que la forêt ou les zones plus urbanisées. Pourtant, avoir une cartographie de l'occupation du sol la plus précise possible est indispensable afin de déduire des sources de pollution. La télédétection, avec plus précisément l'usage de données à haute résolution temporelle et spatiale est un atout majeur pour combler ces lacunes (Inglada et al. 2015). La télédétection est, de manière générale, selon l'encyclopédie, "un ensemble de techniques permettant de mesurer à distance (c'est-à-dire sans contact) des grandeurs physiques caractéristiques des objets ou des phénomènes étudiés" (Encyclopædia Universalis 2021). La mise en place de satellites et l'amélioration des capteurs ont permis des avancées importantes dans de nombreux domaines (d'application spatiale, météorologie, océanographie, cartographie, environnement...). Les techniques peuvent se baser notamment sur différentes bandes spectrales.

4.2 Images Sentinel-2 et extension OTB

L'Agence Spatiale Européenne (ESA) développe depuis 2008 un nouveau réseau satellitaire dans le cadre du projet Copernicus de l'Union Européenne. Nommés Sentinel, ces satellites, lancés à plusieurs années d'intervalles, permettent un monitoring précis de la planète. Remplaçant d'anciens matériels devenus obsolètes, chaque mission se focalise sur différents aspects: observation des sols, des océans, de topographie, la qualité de l'air...

La mission Sentinel-2 a été lancée en 2015. Composée de deux satellites jumeaux, Sentinel-2A et Sentinel-2B suivant une orbite héliosynchrone et espacés de 180° autour de la Terre, elle permet d'obtenir des images multi-spectrales à grande résolution tous les 5 jours. 13 bandes spectrales, allant du visible au moyen infrarouge, sont fournies, à des résolutions spatiales allant de 10 à 60m (pour les bandes dédiées aux corrections atmosphériques) (ESA 2021). Toutes les données sont disponibles sur le site de Theia, le pôle de données et de services surfaces continentales créé fin 2012.

L'outil Orfeo ToolBox (OTB), développé par le CNES et disponible en extension sur QGIS, est un logiciel open source spécialement dédié au traitement d'images satellites (Grizonnet et al. 2017). Pouvant gérer des images à haute résolution et permettant une grande variété d'applications, OTB permet de mener tout le processus de classification, des images au résultat final.

4.3 Objectifs

En général, la classification a pour but "de regrouper dans des classes les objets (ou pixels) ayant des caractéristiques similaires" (Dusseux 2014). Quand elle est supervisée, une classification se base sur un échantillon connu par l'utilisateur pour séparer les objets. Ainsi, les données collectées sur le terrain lors des étapes précédentes pourront servir de base.

Dans cette étude, l'objectif final est d'avoir une carte de l'occupation du sol la plus précise possible sur la totalité du bassin versant, notamment pour les parcelles non enquêtées ou hors RPG. Une classification adaptée permettra, couplée à la base de données, de pouvoir identifier précisément les différents usages du sol sur le territoire. Dans l'idéal, il s'agirait également de pouvoir identifier les différentes pratiques, comme l'usage ou non de désherbant sur une parcelle.

Au-delà d'une classification se basant sur une date fixe, l'idée est ici d'utiliser des séries temporelles d'images satellites à haute résolution spatiale. Cette méthode, développée dans la thèse de Mme Pauline Dusseux, permet à l'aide de paramètres issus des données de télédétection, comme des indices de végétation (voir 4.4.1.4), de créer des profils temporels. Ces derniers, différents selon l'occupation du sol et les pratiques, sont utilisés pour discriminer des classes qui seront ensuite choisies pour la classification (Dusseux 2014). L'évolution, par exemple du couvert de végétation dans une année, permet ainsi plus facilement de différencier une prairie permanente d'un champ de maïs. La classification se fait également sur un regroupement d'images (stack) composé de plusieurs dates.

4.4 Étapes mises en place

Les différentes étapes réalisées pour la classification, avec le détail des outils utilisés, sont schématisées en annexe 6. Elles sont détaillées ci-après :

4.4.1 Sélection des images et prétraitements

4.4.1.1 Sélection des images

Le site Theia nous permet de sélectionner les images souhaitées. L'année étudiée est l'année sur laquelle ont porté les entretiens, soit l'année 2020. La dalle comprenant le bassin versant est choisie, puis sont sélectionnées toutes les images ne comprenant visuellement pas ou peu de couverture nuageuse (qui pourrait perturber les résultats). 25 images sont ainsi pré-sélectionnées. Sont disponibles pour chaque date des fichiers d'images contenant les fichiers .tif des différentes bandes et des masques de nuages (permettant de déterminer pour chaque date où se placent ces nuages). Sont utilisées dans la suite des traitements les bandes comprises dans la figure 13 suivante, ainsi qu'un masque (CLMR1).

Image d'origine FRE	Onde
B2	Bleu
B3	Vert
B4	Rouge
B5	Red Edge
B6	Red Edge 2
B7	Red Edge 3
B8	Proche infrarouge
B8A	Proche infrarouge étroit - NIR
B11	SWIR / MIR
B12	SWIR / MIR 2

Figure 13. Bandes utilisées et longueurs d'onde associées

4.4.1.2 Découpage et redimensionnement

Ces images sont ensuite découpées afin de correspondre au plus près du bassin versant et afin d'éviter une surcharge d'informations. Elles sont également redimensionnées, car si les images B2, B3, B4, B8 et CLM-R1 sont déjà à 10m de résolution, les autres sont à 20m.

4.4.1.3 Concaténation et traitement des masques

Ces différentes bandes (en dehors du masque) sont ensuite concaténées afin d'avoir une image par date. L'ordre des bandes dans l'image concaténée correspond à l'ordre des images B2 à B12 rentrées. Les masques sont également traités, ce qui permet de visualiser rapidement leur abondance pour chaque date. 5 de ces dernières ont ainsi été éliminées car trop nuageuses. Les masques sont ensuite concaténés pour obtenir un stack global de la présence de nuage sur l'année 2020.

Les 20 dates sont ainsi réparties comme visualisé sur la figure 14:

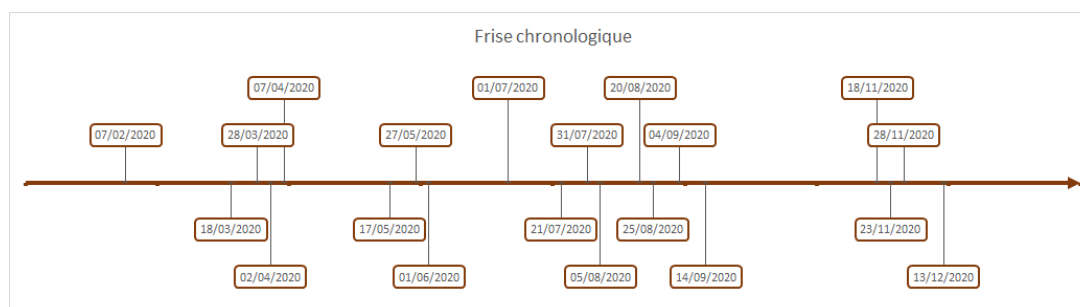


Figure 14. Dates des images sélectionnées pour la classification

4.4.1.4 Création des indices et interpolation par les masques

Différents indices radiométriques basés sur les différentes bandes spectrales sont ensuite créés afin de détecter plus finement des aspects spécifiques. Par exemple, les indices de végétation permettent de mettre en évidence la quantité et l'état de cette dernière (Wilson, Meyers 2007). Plusieurs indices, mesurant des aspects différents (eau, brillance, végétation...) des images ont été choisis (voir figure 15 et annexe 7). Ils peuvent être pris individuellement ou combinés. Pour les images nuageuses, une interpolation pour les données masquées a également été réalisée.

Nom de l'indice	Mesure	Bande utilisée	Formule
Normalized difference vegetation index (NDVI)	Indice de végétation	Red, NIR	$NIR - RED / NIR + RED$
Normalized difference water index (NDWI)	Indice d'eau	NIR, MIR/SWIR, Proche infrarouge (PIR)	$NDWI = PIR - MIR / PIR + SWIR$
Brightness index (BI)	Indice de brillance	Red, Green	$BI = R^2 + V^2 / 2$
Soil adjusted vegetation index (SAVI)	Indice de végétation	Red, NIR	$SAVI = 1 + L * (PIR - R) / (PIR + R + L)$
Leaf Area Index (LAI)	Indice de végétation	Red, NIR	Issu de log NDVI

Figure 15. Indices sélectionnés

4.4.2 Échantillonnage et essais

4.4.2.1 Classes envisagées et échantillons

11 classes d'occupation du sol sont premièrement envisagées pour la classification, au vu des connaissances acquises et de l'observation visuelle des images issues des différents indices: Sol nu, Culture, Prairie, Eau, Pâturage, Conifère, Feuillu, Maraichage, Verger, Eau, Bâti. Ces classes sont vouées à muter au fil des différents essais. L'usage de la connaissance acquise sur le terrain, de la base de données et d'orthophotographies (Google satellites, Bing Aerial) permet de sélectionner des échantillons à mettre dans ces différentes classes, qui serviront de base à la classification. Ces derniers doivent ainsi correspondre le plus finement possible aux classes désirées, selon des informations certaines. La sélection des échantillons a été améliorée au fur et à mesure des essais de classification.

4.4.2.2 Évaluation des échantillons et validation

Les différents échantillons sont évalués en calculant les profils temporels issus des différents indices (Dusseux 2014). Cela permet de comparer l'évolution dans le temps des différentes classes via les indices créés. Ainsi, les profils du NDVI correspondront à l'évolution de la végétation dans le temps. Idéalement, les différentes classes présenteraient des profils complètement séparés les uns des autres. A été réalisé en parallèle un calendrier agricole reprenant les dates approximatives de semence et récolte de chaque culture présente sur le bassin versant. Il permet de vérifier si les profils temporels, notamment d'évolution de la végétation dans l'année (avec des indices comme le NDVI) sont cohérents.

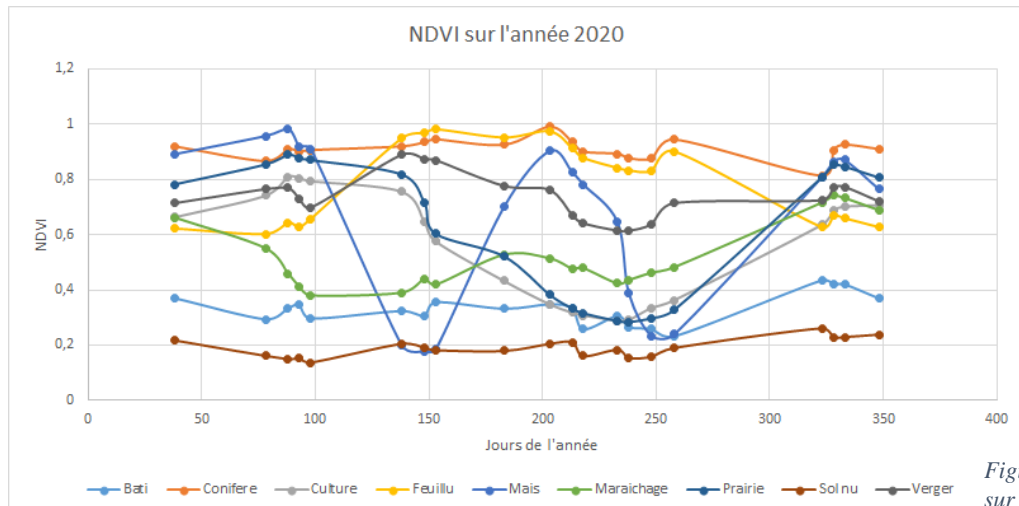


Figure 16. Évolution du NDVI sur l'année 2020 par classe

Les classes sont ainsi visiblement distinguables. Par exemple, le sol nu a un indice de végétation faible et relativement stable sur l'année, alors que le maraîchage a un indice de végétation plus élevé. Une distinction est également visible entre les conifères, toujours en feuilles, et les feuillus ayant un indice bien moins élevé en hiver.

Classe	Nombre d'échantillons
Bâti	70
Conifère	28
Culture	69
Feuillu	62
Maïs	3
Maraîchage	21
Prairie	112
Sol nu	18
Verger	47

Figure 17. Nombres d'échantillons par classe

Certaines classes avec des profils trop similaires, quel que soit l'indice, comme les classes de pâturage et de prairies, ont été réunies. La classe du maïs a été également créée, en réponse à un profil temporel très varié par rapport au reste de la classe des cultures. Ce profil correspond au calendrier agricole du maïs. La catégorie eau, trop variable (notamment avec des étangs subissant de l'eutrophisation avancée), a été également ôtée de la classification après différents essais. Quelques profils issus de la classification finale sont disponibles en annexe 8.

Le nombre d'échantillons finalement utilisés dans chaque classe est visible figure 17. Idéalement, un nombre d'échantillons similaires devrait être atteint. Cependant, au vu des spécificités de l'occupation du sol du bassin versant (ne comprenant par exemple que très peu de parcelles de maïs) le nombre d'échantillons a été adaptés, également en prenant en compte leur taille.

4.4.2.3 Entraînement du classifieur et classification

Après la validation des échantillons, il s'agit d'entraîner le classifieur avec 70% d'entre eux sélectionnés aléatoirement. Les 30% restants serviront à la validation du modèle construit. Random forest est l'algorithme choisi pour la classification. Il se base sur une combinaison de prédicteurs de végétation (arbre) de telle sorte à ce que "chaque arbre dépende des valeurs d'un vecteur aléatoire échantillonné indépendamment et avec la même distribution pour tous les arbres de la forêt" (Breiman 2001). La carte résultant de la classification est visible sous QGIS.

4.4.2.4 Évaluation de la classification

La classification est évaluée à la fois avec une observation visuelle de la carte et via des matrices de confusion (ou tableau de contingence). Ces dernières, basées sur les échantillons de validation, permettent d'estimer la précision de la classification via différents indicateurs:

- La précision globale, correspondant au ratio #pixels bien classés/#pixels de validation
- La précision, correspondant au ratio #pixels bien classés/#pixels de validation pour la classe
- Le rappel, correspondant au ratio #pixels bien classés/#pixels identifiés dans la classe
- L'indice de Kappa, qui est un indicateur statistique permettant d'estimer la fiabilité de la classification (Gaetano 2020).

Voir partie 4.5.1 pour l'analyse de la matrice de confusion de la classification retenue.

4.4.2.5 Post-traitements

La classification, réalisée par pixel, peut contenir des artéfacts indésirables. Il est alors possible de réduire le bruit sur une image. Ainsi, les pixels isolés prendront la classe majoritaire la plus proche (Gaetano 2020).

4.5 Classification finale et comparaison

4.5.1 Classification retenue

La classification retenue a été celle ayant la précision et l'indice de Kappa les plus satisfaisants. Elle est basée sur la combinaison de 4 des indices étudiés: NDVI, NDWI, BI, LAI. La version avec réduction de bruit est présentée en figure 18 (version originale en annexe 9).

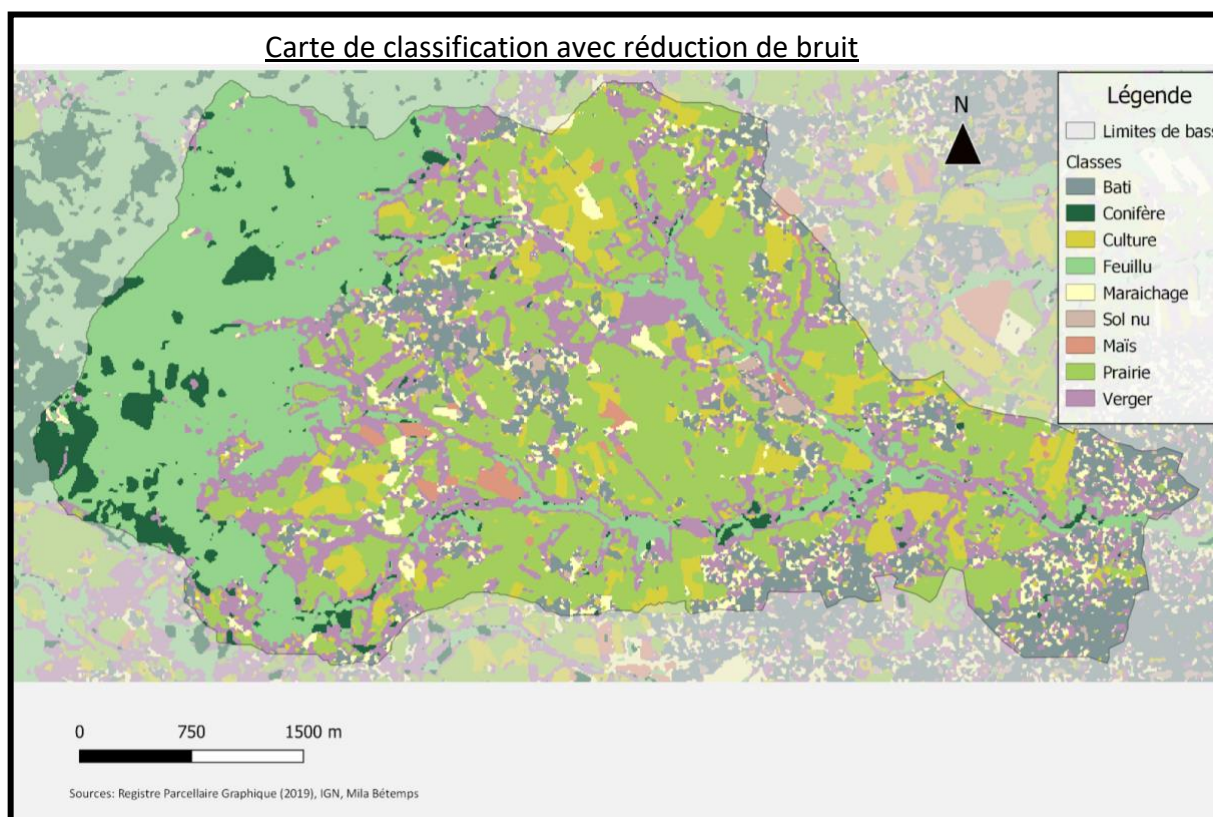


Figure 18. Classification avec réduction de bruit

La matrice de confusion correspondante est visible figure 19.

		Prédictions									Rappel
		Bati	Conifère	Culture	Feuillu	Maraichage	Sol nu	Mais	Prairie	Verger	
Références	Bati	113	0	0	0	1	17	1	1	0	84,962406
	Conifère	0	693	0	37	1	0	0	0	15	92,8954424
	Culture	40	0	1231	0	8	0	81	134	20	81,3077939
	Feuillu	0	84	0	2159	0	0	0	0	111	91,7162277
	Maraichage	6	0	0	0	57	0	0	2	0	87,6923077
	Sol nu	16	0	3	0	8	308	0	0	0	91,9402985
	Mais	0	0	0	0	0	0	126	0	1	99,2125984
	Prairie	0	0	241	0	13	0	0	1606	52	83,9958159
	Verger	0	0	16	30	1	0	0	32	214	73,0375427
	Précision	64,5714286	89,1891892	82,5620389	96,9901168	64,0449438	94,7692308	60,5769231	90,4788732	51,8159806	

Figure 19. Matrice de confusion correspondante

Les colonnes correspondent aux prédictions faites par le classifieur, les lignes aux polygones de validation. Les valeurs en diagonales correspondent aux pixels effectivement bien classés. La précision moyenne est de 87%, c'est à dire qu'en moyenne, 87% des pixels prédits par le classifieur appartiennent effectivement à cette classe. L'indice de Kappa associé est de 0.835452. Plus la valeur de cet indice se rapproche de 1, plus la classification est exacte.

Cependant, toutes les classes ne sont pas égales. Par exemple, pour la classe "Verger", seuls 52% environ des pixels prédits par le classifieur correspondent réellement à des vergers. Cela s'explique par l'analyse de toute la colonne "Verger". Ainsi, il est visible que 111 pixels ont été compris par le classifieur dans les vergers, alors qu'ils appartiennent à la classe Feuillu. Ce n'est point étonnant, les deux classes étant constituées d'arbres et étant assez semblables, même si les profils temporels peuvent être plus éloignés. Il en est de même pour certaines parcelles de cultures qui se confondent avec des prairies, compréhensible au vu des profils temporels similaires qu'elles affichent. Ces confusions de classes peuvent être améliorées avec un échantillonnage plus précis, ou l'utilisation d'autres indices.

Dans tous les cas, la classification obtenue ne permet pas de différencier les différentes pratiques dans les classes créées. Ainsi, il nous est impossible ici de visualiser par exemple les parcelles en cultures qui ont été désherbées par rapport à celles qui ne le sont pas, ou encore les parcelles pâturées par rapport à celles non pâturées. Nous ne pouvons alors généraliser les pratiques observées sur les parcelles enquêtées à tout le bassin versant.

4.5.2 Comparaison avec OSO

Basée également sur les images Sentinel 2, l'occupation du sol OSO, couvrant l'entièreté de la France métropolitaine, est générée chaque année depuis 2016. Issue d'un processus entièrement automatique, la nomenclature possède 23 classes, certaines non applicables sur le bassin versant du Ratier. Une comparaison est alors possible entre cette classification pour l'année 2019 et celle effectuée durant cette étude (2020). La différence des années rend cependant ces observations relatives. Si deux classifications sont globalement similaires, celle réalisée ici correspond plus finement aux pratiques observées sur le terrain. Ainsi, les zones de maraîchage sont plus spécifiques au bassin. Les zones de vergers interrogées, existants cependant dans les classes possibles, ne sont pourtant pas visible dans OSO. La ripisylve le long des cours d'eau est également plus représentative de la réalité. Si la classification OSO distingue plus de classes de cultures, difficile à distinguer avec les indices utilisés, les classes créées ici sont plus proches spatialement de la réalité. La carte de classification issue d'OSO est disponible en annexe 10.

4.5 Perspectives

Des améliorations de la classification effectuée sont également possibles, notamment pour pouvoir essayer de visualiser des pratiques plus précises. En effet, d'autres techniques existent. Des pistes à développer sont:

- Le calcul d'autres indices. Ainsi, Sonobe et al. ont testé sur un territoire au Japon l'importance de plus de 82 indices pour la classification de type de cultures (Sonobe et al. 2018).
- Une homogénéité des échantillons en terme de quantité
- Une différenciation plus fine des classes
- L'utilisation d'autres images, comme les images THRS Pléiades à très hautes résolution (Crespin–Boucaud 2021). Cela permettrait peut-être de pouvoir différencier des pratiques culturales.
- D'autres méthodes de classification. Ainsi, d'autres algorithmes de classification que random forest, comme le support vector machine (SVM) sont utilisables (Sonobe et al. 2018)
- Des données de textures. En effet, "les valeurs de texture sont indépendantes de la radiométrie, ce qui permet d'ajouter des variables pour la classification" (Crespin–Boucaud 2021).

5. Sources de pollution

Deux manières de visualiser les sources de pollutions agricoles sont alors possibles.

5.1 Requêtes de la base de données

Premièrement, via une requête à la base de données. Il est alors possible de réaliser différentes cartes de localisation des sources de pollution. Un exemple a été réalisé dans la figure 20. Les parcelles où sont épandues les fumiers, engrais ou encore produits phytosanitaires y sont visibles. Une parcelle peut ainsi être concernée par ces trois sources de pollution. La table attributaire associée donne le détail de l'origine des fumiers (bovin, caprin), ainsi que la quantité, ou encore les types d'engrais ou de produits phytosanitaires. Cela permet d'avoir la précision des enquêtes de terrain.

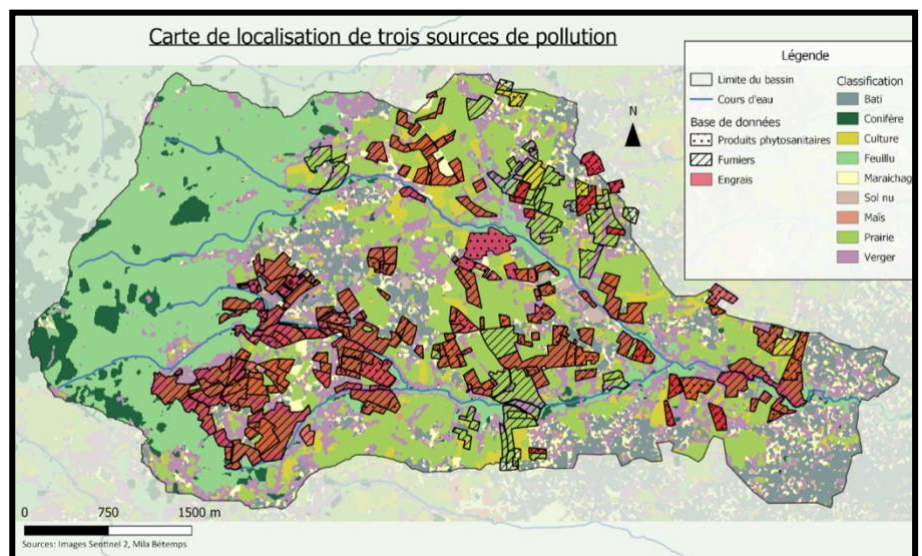


Figure 20. Carte de localisation de trois sources de pollution

5.2 Indices de pollution

Malgré les informations basées sur les enquêtes de terrain, la précision de la base de données ne peut s'appliquer aux parcelles non interrogées. La création d'un indice de pollution basé sur les entretiens et appliqué aux classes de la classification apparaît comme une alternative efficace. Celui-ci, évaluant le niveau de pollution agricole selon les classes, permettrait de visualiser par un niveau de couleur le niveau de contamination. Ainsi, par exemple, si la présence de fumier a été très largement exprimée dans les enquêtes et la base de données, un indice de pollution au fumier fort sera attribué aux prairies (où ces bêtes sont susceptibles de pâturer).

Concrètement, 4 niveaux d'indices ont été créés en se basant sur les pourcentage de parcelles concernées par une pollution pour toutes les parcelles sur lesquelles nous avons des informations. Ainsi par exemple, si pour le maraîchage, sur 14 parcelles pour lesquelles les informations sont connues, 11 sont concernées par les produits phytosanitaires, soit 80%. Cela correspond à un indice de niveau 3, et semble cohérent avec notre connaissance des pratiques sur le bassin versant. Les parcelles épandues par plusieurs produits ne sont comprises qu'une seule fois dans le calcul.

	Indice
0 - 30	1
31 - 60	2
61 - 80	3
81 - 100	4

Figure 21. Niveaux d'indices et pourcentage correspondants

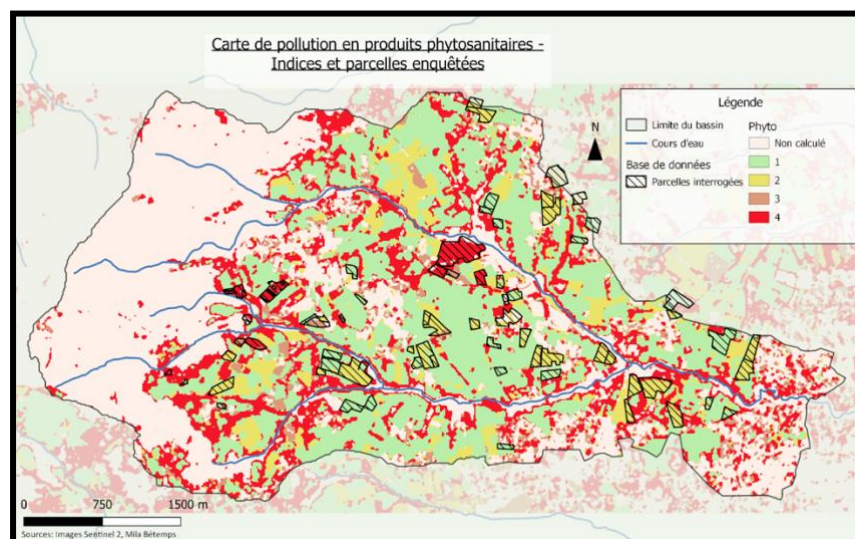
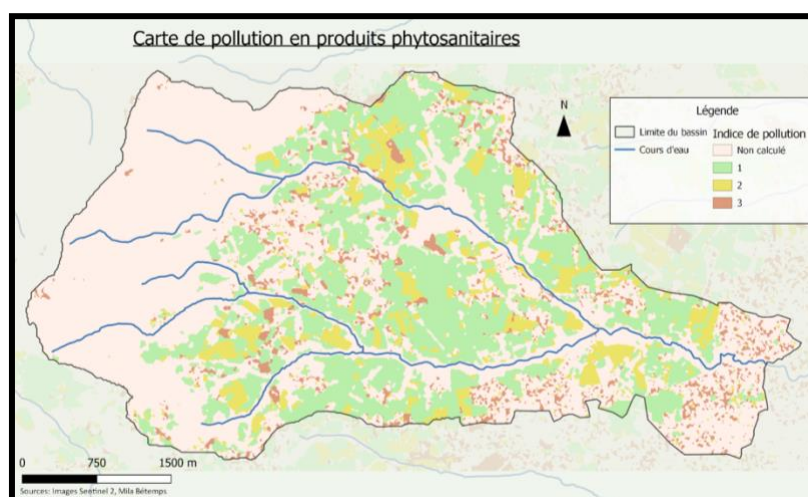
	Verger	Maraîchage	Prairies	Culture (et Maïs)
Phyto	100	80	30	60
Engrais	100	100	80	100
Fumier	70	100	100	100
Pâturage	0	0	54	0
Source de la base	Verger	Maraîchage	Prairies permanentes + PTR + Pâturage	Cultures - PTR

Figure 22. Pourcentage pour les différentes classes

Quelques adaptations ont dû être réalisées afin d'adapter les réponses de la base de données aux classes de la classification. Ainsi, par exemple, les prairies temporaires (notées PTR) sont comprises avec l'occupation "Culture" dans la base de données (cf 3.2.2.1), et dans la classe "Prairie" dans la classification. Afin d'appliquer les bons résultats aux bonnes classes, les informations spécifiques pour les prairies temporaires ont été extraites et une moyenne a été faite entre ces résultats et les autres résultats des composants de la classe prairie (prairies permanentes et pâturage). Ces indices peuvent ensuite être appliqués directement aux classes correspondantes sur la classification, afin d'avoir une image des pratiques polluantes sur la totalité du bassin versant (cf. figure 24).

Au vu de la confusion assez importante entre les vergers et les feuillus dans la classification, l'indice de produits phytosanitaires pour les vergers n'a pas été représenté ici. Cette seconde méthode, si elle permet d'avoir une image des pratiques sur le bassin versant, est cependant moins précise que la première. La combinaison des deux méthodes, en appliquant les résultats de la base de données sur les indices, semble la représentation la plus efficace.

Figure 23. Carte de pollution en produits phytosanitaires - Indices et détails des parcelles enquêtées



Ainsi, sont ici visibles à la fois les indices, témoins d'une pollution envisagée, et les informations de la base, qui sont une pollution avérée (pour l'année 2020). Les vergers sont ici compris.

Figure 24. Carte de pollution en produits phytosanitaire selon les indices calculés

6. Bilan sur le projet

6.1 Bilan global et pistes d'amélioration

Ce stage portait ainsi sur la phase 1 du projet IDESOC, le diagnostic de l'occupation des sols et de l'utilisation des produits chimiques sur deux bassins versants, en se focalisant sur le Ratier. Si les pollutions urbaines sur le terrain d'étude sont bien documentées, les pollutions agricoles et leurs origines sont moins connues. Les recherches se sont tout d'abord concentrées sur cet aspect. Cela est également dû au fait que si quelques entretiens, auprès des mairies notamment, ont pu être menés sur le sujet des pollutions urbaines, et certaines informations (comme le réseau des eaux usées) sont connues, il aurait fallu plus de temps pour pouvoir se focaliser sur ces pratiques. C'est donc un choix conscient que de réduire quelque peu le champ d'étude pour nous centrer sur les pollutions agricoles.

Une méthode innovante de collectes de données, se basant sur des entretiens semi-directifs et directifs, a permis de prendre connaissance des pratiques sur une grande majorité du bassin versant. Ces informations, organisées et complétées par d'autres sources, ont ensuite été rentrées dans une base de données créée spécialement pour les besoins du projet. Cette base requêtable permet d'extraire les diverses informations selon les types de pollutions recherchées (produits phytosanitaires, fumiers, produits vétérinaires...). Pour les parcelles inconnues, une classification de la totalité du territoire a été mise en place grâce aux outils de télédétection. Ainsi, les informations combinées de ces différentes étapes ont résulté en des cartes identifiant plus ou moins précisément les zones des différentes pollutions.

Cette expérience a également prouvé les forces et les faiblesses de cette méthode, dans l'optique de la dupliquer sur d'autres sites d'études. Ainsi, si les entretiens permettent une connaissance fine des pratiques sur le bassin versant, les réponses variées et parfois incomplètes ont rendu difficile la généralisation d'informations précises. Il a été choisi de ne pas inclure dans la base de données les noms et composition exacte des produits, afin de ne pas induire d'erreurs. Les résultats de la base de la base n'incluent alors pas toutes les informations récoltées. Enfin, si la télédétection permet une généralisation sur le bassin versant, le détail de chaque pratique n'a pas pu être visualisé (comme par exemple des fauches particulières ou encore le résultat de désherbages).

Des perspectives de résolutions de ces difficultés sont proposées dans le tableau suivant:

Phase du projet	Difficultés rencontrées	Perspectives de résolution
Entretiens	Diversité dans les niveaux de précision des réponses. Cela a induit une généralisation	Suivre des agriculteurs sur plusieurs années Mener des entretiens plus longs et détaillés sur chaque parcelle
	Bassin versant éloigné	Se baser sur la zone d'étude, permettant également de visiter le terrain régulièrement
	Période de déroulement des entretiens non adaptée	Mener les entretiens en hiver, ou lors de période non cruciales pour les exploitants
	Connaissances incomplètes en agriculture	Avoir un référent professionnel en agriculture dans l'équipe
Base de données	Années des sources de données différentes	Baser ses données sur une même année

Classification	Classes trop proches	Modifier les classes, chercher d'autres indices, d'autres méthodes de classifications
	Détails des pratiques non visibles	Utiliser d'autres méthodes et outils afin de distinguer les différentes pratiques, comme des textures ou des images à haute résolution

6.2 Bilan personnel

Si ce stage a été pour moi l'occasion de mettre en pratique des enseignements appris à Polytech Tours, comme les bases de données, la mise en place d'enquêtes sociologiques ou la cartographie, il a surtout été l'occasion de participer à un projet dans une démarche complète au niveau d'ingénieur. Ainsi, un problème de départ était présenté, et nous avons réussi à proposer des solutions adaptées pour fournir les réponses les plus précises possible, allant plus loin que la commande de départ (notamment via la mise en place de la base de données).

La grande diversité de thématiques abordées, qui pour certaines m'étaient peu familières, a été une motivation supplémentaire. Ce stage a ainsi demandé une adaptation rapide et une ouverture à de nouvelles connaissances indispensables au rôle d'un ingénieur. Il m'a fallu apprendre, intégrer et utiliser dans un contexte professionnel et dans des discussions avec des experts, des notions auparavant inconnues, notamment en agriculture ou télédétection.

Le fait de travailler en duo était également une expérience très formatrice. La valeur d'une communication efficace, notamment dans un projet comme celui-ci nécessitant des prises de décisions parfois rapides et un échange d'idées constant, était toujours démontrée. La reconnaissance du travail de l'autre et de ses compétences est également indispensable dans un échange efficace, afin de combiner au mieux nos capacités. Travaillant en parallèle, nous devons ainsi suivre la même démarche tout en nous adaptant aux particularités des terrains d'étude. Il s'est alors agi de nous reposer sur l'expérience de l'autre sur un domaine tout en proposant ses propres compétences sur un autre. Il n'y avait également aucune relation hiérarchique et nous étions maîtres de notre travail et collaborateurs à part entière sur le projet.

Si la pression pouvait être importante, notamment dans le fait que le travail effectué ici sert de base aux futures étapes du projet IDESOC, et que nous devons ainsi réfléchir de manière globale et non seulement sur ce stage, les échanges avec les différents acteurs étaient source d'assurance. Ainsi, les retours étaient ainsi très enthousiastes, et nous avions ainsi le rôle central de fédératrices d'un réseau d'acteurs autour de cette première étape du projet.

Je suis fière du travail présenté, notamment dans son évolution. Partant d'une idée qui nous semblait au départ assez floue, la construction du projet s'est faite à force de nos idées, nos propositions, nos essais et nos erreurs, afin de présenter une méthode à la fois innovante et efficace pour répondre à la demande. L'adaptation de tous les instants face aux problèmes rencontrés et à la réalité du bassin versant a mené à la précision de cette méthode, effective sur le terrain et non seulement dans la théorie.

Ainsi, ce stage a à la fois permis une affirmation de mes compétences techniques (en cartographie, gestion de projet ou encore communication) et savoirs être, mais également forgé une détermination et une méthode de pensée que je souhaite affirmer dans les années à venir.

Bibliographie

- AGRILOR, 2021. Amendement et engrais : quelles différences ? In : [en ligne]. 1 avril 2021. Disponible à l'adresse : <https://agrilor.fr/amendement-et-engrais%E2%80%AF-quelles-differences%E2%80%AF/>.
- ANON., 2021. Zone Atelier Bassin du Rhône. In : ZABR [en ligne]. 2021. Disponible à l'adresse : <https://www.zabr.assograie.org/qui-sommes-nous/>.
- ARMON, Robert H. et STAROSVETSKY, Janetta, 2015. Point Source Pollution Indicators. In : ARMON, Robert H. et HÄNNINEN, Osmo (éd.), *Environmental Indicators* [en ligne]. Dordrecht : Springer Netherlands. pp. 495-499. [Consulté le 18 août 2021]. ISBN 978-94-017-9498-5. Disponible à l'adresse : http://link.springer.com/10.1007/978-94-017-9499-2_29.
- BRANGER, F., KERMADI, S., JACQUEMINET, C., MICHEL, K., LABBAS, M., KRAUSE, P., KRALISCH, S. et BRAUD, I., 2013. Assessment of the influence of land use data on the water balance components of a peri-urban catchment using a distributed modelling approach. In : *Journal of Hydrology*. novembre 2013. Vol. 505, pp. 312-325. DOI 10.1016/j.jhydrol.2013.09.055.
- BRAUD, Isabelle, FLETCHER, T.D et ANDRIEU, H, 2013. Hydrology of peri-urban catchments: processes and modelling. In : *Journal of Hydrology*. 2013.
- BREIMAN, Leo, 2001. Random Forests. In : *Machine Learning*. 2001. Vol. 45, n° 1, pp. 5-32. DOI 10.1023/A:1010933404324.
- COQUERY, Marina, 2020. *Fiche projet 2021-7-n°action-IDESOC - RiverLy - Identification et caractérisation des sources de contaminants dans des bassins versants d'usage mixte: approche intégrée*. 2020. S.l. : s.n.
- CRESPIN-BOUCAUD, Arthur, 2021. Télédétection et intégration de connaissances via la modélisation spatiale pour une cartographie plus cohérente des systèmes agricoles complexes: Application aux Hautes Terres, à Madagascar. In : . 2021. pp. 326.
- DUNCAN, Ronlyn, 2014. Regulating agricultural land use to manage water quality: The challenges for science and policy in enforcing limits on non-point source pollution in New Zealand. In : *Land Use Policy*. novembre 2014. Vol. 41, pp. 378-387. DOI 10.1016/j.landusepol.2014.06.003.
- DUSSEUX, Pauline, 2014. *Exploitation de séries temporelles d'images satellites à haute résolution spatiale pour le suivi des prairies en milieu agricole*. Géographie. S.l. : Université Rennes 2.
- EAU FRANCE, 2018. Gouvernance Franco-Suisse des eaux du bassin versant du Rhône. In : *Eau France* [en ligne]. 5 septembre 2018. Disponible à l'adresse : <https://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr/axe-rhone/gouvernance-franco-suisse-des-eaux-du-bassin-versant-du-rhone>.
- EAU FRANCE, 2019. La pollution de l'eau et des milieux. In : *Eau France* [en ligne]. 11 avril 2019. Disponible à l'adresse : <https://www.eaufrance.fr/la-pollution-de-leau-et-des-milieux>.
- ENCYCLOPÆDIA UNIVERSALIS, 2021. *TÉLÉDÉTECTION* [en ligne]. S.l. : s.n. [Consulté le 19 août 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.universalis.fr/encyclopedie/teledetection/>.
- ESA, 2021. The Sentinel missions. In : [en ligne]. 2021. Disponible à l'adresse : https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/The_Sentinel_missions.
- GAETANO, Raffaele, 2020. TD: Cartographie de l'occupation du sol à partir d'images Sentinel-2 par apprentissage automatique. In : . S.l. 2020.
- GIRI, Subhasis et QIU, Zeyuan, 2016. Understanding the relationship of land uses and water quality in Twenty First Century: A review. In : *Journal of Environmental Management*. mai 2016. Vol. 173, pp. 41-48. DOI 10.1016/j.jenvman.2016.02.029.
- GRASER, Anita, 2018. Evaluating Spatio-temporal Data Models for Trajectories in PostGIS Databases. In : *GI_Forum*. 2018. Vol. 1, pp. 16-33. DOI 10.1553/giscience2018_01_s16.
- GRIZONNET, Manuel, MICHEL, Julien, PUGHON, Victor, INGLADA, Jordi, SAVINAUD, Mickaël et CRESSON, Rémi, 2017. Orfeo ToolBox: open source processing of remote sensing images. In : *Open Geospatial Data, Software and Standards*. décembre 2017. Vol. 2, n° 1, pp. 15. DOI 10.1186/s40965-017-0031-6.
- INGLADA, Jordi, ARIAS, Marcela, TARDY, Benjamin, HAGOLLE, Olivier, VALERO, Silvia, MORIN, David, DEDIEU, Gérard, SEPULCRE, Guadalupe, BONTEMPS, Sophie, DEFOURNY, Pierre et KOETZ, Benjamin, 2015. Assessment of an Operational System for Crop Type Map Production Using High Temporal and Spatial Resolution Satellite Optical Imagery. In : *Remote Sensing*. 22 septembre 2015. Vol. 7, n° 9, pp. 12356-12379. DOI 10.3390/rs70912356.

JACQUEMINET, C., KERMADI, S., MICHEL, K., BÉAL, D., GAGNAGE, M., BRANGER, F., JANKOWFSKY, S. et BRAUD, I., 2013. Land cover mapping using aerial and VHR satellite images for distributed hydrological modelling of periurban catchments: Application to the Yzeron catchment (Lyon, France). In : *Journal of Hydrology*. avril 2013. Vol. 485, pp. 68-83. DOI 10.1016/j.jhydrol.2013.01.028.

JAFFRÉZIC, A., JARDÉ, E., SOULIER, A., CARRERA, L., MARENGUE, E., CAILLEAU, A. et LE BOT, B., 2017. Veterinary pharmaceutical contamination in mixed land use watersheds: from agricultural headwater to water monitoring watershed. In : *Science of The Total Environment*. décembre 2017. Vol. 609, pp. 992-1000. DOI 10.1016/j.scitotenv.2017.07.206.

JUBA, Salahaldin et VOLKOV, Andrey, 2019. *Learning PostgreSQL 11: A beginner's guide to building high-performance PostgreSQL databases solutions*. S.l. : s.n.

LABBAS, Meriem, 2015. *Modélisation hydrologique de bassins versants périurbains et influence de l'occupation du sol et de la gestion des eaux pluviales : Application au bassin de l'Yzeron (130km²)*. S.l. : Université Grenoble Alpes,.

LIU, Jianchang, ZHANG, Luoping, ZHANG, Yuzhen, HONG, Huasheng et DENG, Hongbing, 2008. Validation of an agricultural non-point source (AGNPS) pollution model for a catchment in the Jiulong River watershed, China. In : *Journal of Environmental Sciences*. 2008. Vol. 20, pp. 599-606.

MARTINS, Jean, NORD, Guillaume, DUWIG, Céline, LEGOUT, Cédric, MOREL, Marie-Christine, SPADINI, Lorenzo, HACHGENEI, Nico, NÉMERY, Julien, MAO, Pascal, ROBINET, Nicolas, MARGOUM, Christelle, MIÈGE, Cécile, DAVAL, Amandine, MATHON, Baptiste, LIGER, Lucie et COQUERY, Marina, 2019. *Origine et devenir des contaminants pharmaceutiques dans les bassins versants agricoles. Le cas de la Claduègne (Ardèche)*. S.l.

NAVRATIL, O., BREIL, P., SCHMITT, L., GROSPRÊTRE, L. et ALBERT, M.B., 2013. Hydrogeomorphic adjustments of stream channels disturbed by urban runoff (Yzeron River basin, France). In : *Journal of Hydrology*. avril 2013. Vol. 485, pp. 24-36. DOI 10.1016/j.jhydrol.2012.01.036.

OBE, Regina et HSU, Leo, 2018. *PostgreSQL: Up and Running: A Practical Guide to the Advanced Open Source Database*. 3. S.l. : s.n.

OBSERVATOIRE DES SÉDIMENTS DU RHÔNE, 2011. *Système d'avancement*. S.l. Observatoire des sédiments du Rhône.

ONGLEY, Edwin D., XIAOLAN, Zhang et TAO, Yu, 2010. Current status of agricultural and rural non-point source Pollution assessment in China. In : *Environmental Pollution*. mai 2010. Vol. 158, n° 5, pp. 1159-1168. DOI 10.1016/j.envpol.2009.10.047.

OZCAR, 2021. QU'EST-CE QUE L'INFRASTRUCTURE DE RECHERCHE OZCAR ? In : *OZCAR* [en ligne]. 2021. [Consulté le 18 août 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.ozcar-ri.org/fr/ozcar-3/philosophie/>.

SINKONDE, Daniel, MSELLE, Leonard, SHIDENDE, Nima, COMAI, Sara et MATTEUCCI, Matteo, 2018. Developing an Intelligent PostGIS Database to Support Accessibility Tools for Urban Pedestrians. In : *Urban Science*. 22 juin 2018. Vol. 2, n° 3, pp. 52. DOI 10.3390/urbansci2030052.

SONOBE, Rei, YAMAYA, Yuki, TANI, Hiroshi, WANG, Xiufeng, KOBAYASHI, Nobuyuki et MOCHIZUKI, Kan-ichiro, 2018. Crop classification from Sentinel-2-derived vegetation indices using ensemble learning. In : *Journal of Applied Remote Sensing*. 18 mai 2018. Vol. 12, n° 02, pp. 1. DOI 10.1117/1.JRS.12.026019.

T.M., 2017. Pourquoi les besoins en eau vont exploser dans le futur. In : *Europe 1* [en ligne]. 2017. Disponible à l'adresse : <https://www.europe1.fr/sciences/pourquoi-les-besoins-en-eau-vont-exploser-dans-le-futur-3049682>.

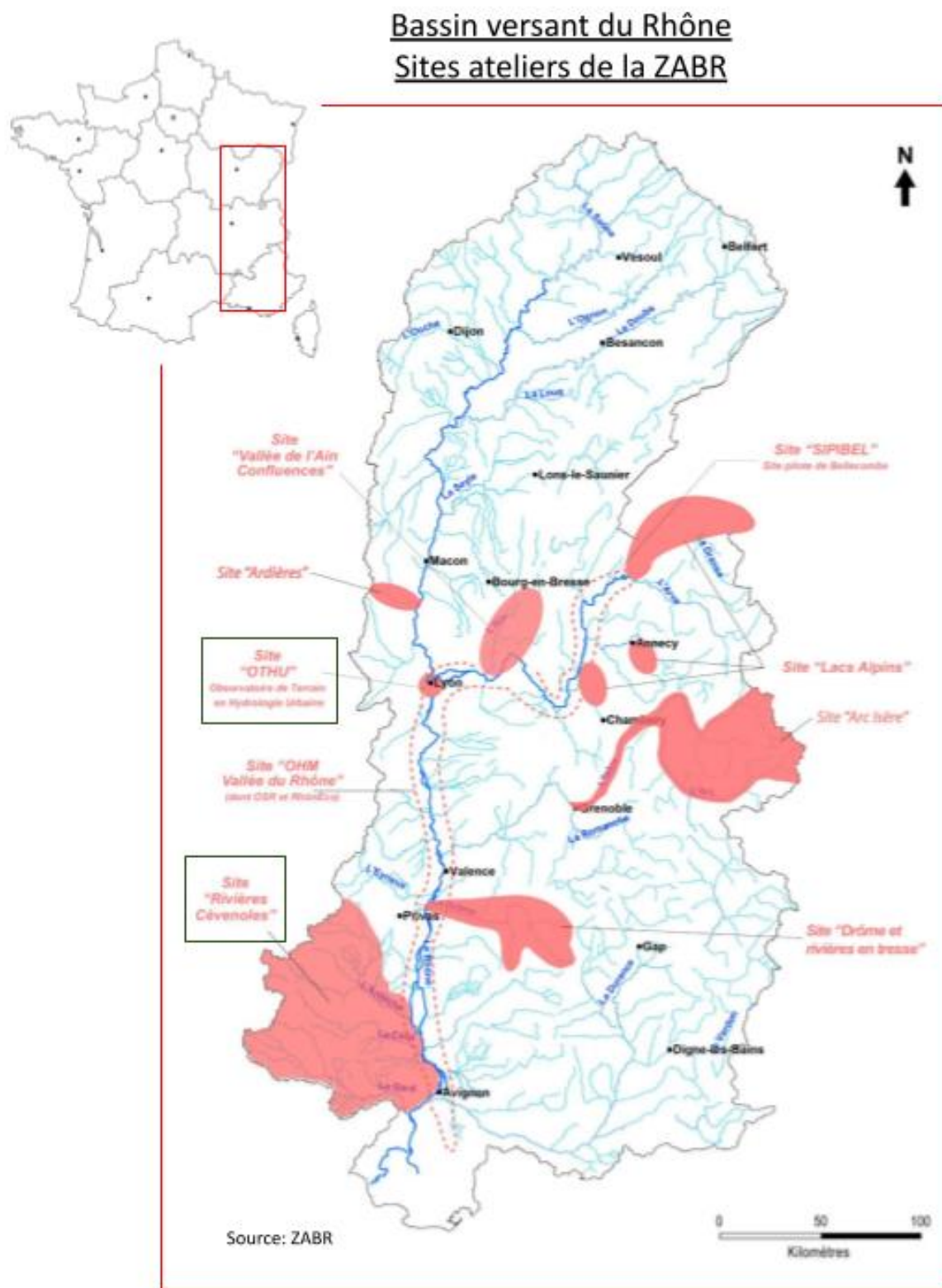
VIMAN, Oana V, OROIAN, Ioan et FLEŞERIU, Andrei, 2010. Types of water pollution: point source and nonpoint source. In : *AACL Bioflux*. 2010.

WILSON, T.B. et MEYERS, T.P., 2007. Determining vegetation indices from solar and photosynthetically active radiation fluxes. In : *Agricultural and Forest Meteorology*. juin 2007. Vol. 144, n° 3-4, pp. 160-179. DOI 10.1016/j.agrformet.2007.04.001.

ZIMÁNYI, Esteban, SAKR, Mahmoud et LESUISSE, Arthur, 2020. MobilityDB: A Mobility Database Based on PostgreSQL and PostGIS. In : *ACM Transactions on Database Systems*. 11 décembre 2020. Vol. 45, n° 4, pp. 1-42. DOI 10.1145/3406534.

Annexes

Annexe 1. Localisation des deux sites d'étude sur les sites ateliers de la ZABR



Annexe 2. Grilles d'entretien auprès des acteurs

A- Questionnaires destinés aux exploitants agricoles

Informations générales

Nom de l'interlocuteur et fonction (âge ?):	
Nom de l'entreprise et date d'installation :	
Tél :	Courriel :
Adresse :	

Généralité sur l'exploitation

La production en bref :
Surface agricole utile et localisation des parcelles : (voir carte)
Etes-vous propriétaire et/ou locataire ?
Faites-vous partie d'une Cuma ? Si oui laquelle ?
Avez-vous un Label ou un cahier des charges particulier ?

Viticulture

Date d'installation :
Surfaces des parcelles et localisation :
Quels « traitements » ?). Pour chaque catégorie demander: Quoi ? quand ? <ul style="list-style-type: none">Fertilisation: Utilisez-vous des amendements et/ou des engrais ? lesquels ?

- Gestion des adventices: Comment procédez-vous au désherbage ? mécanique ou chimique ?
- Quels sont vos moyens de lutte en cas de maladie ou de champignon ?

Comment est-ce épandu sur vos vignes ? (engrais, fumier, produits phyto etc...)

Connaissez-vous les quantités par hectare ? ou avez-vous les cahiers de traitement de l'année passée ?

Comment sont stockés les produits phytosanitaires ? les engrais ? les fumiers ?

Comment sont nettoyées les cuves, véhicules, bidons utilisés ? Et existe-il une aire de remplissage ? (Phyto, hydrocarbures, tonne à lisier etc...)

Procédez-vous à certaines étapes de transformation de vos produits ? Où, comment ? Quand ?
(Apportez-vous les raisins à la cop ? ou vous faites du vin sur place ?)

D'où vient votre ressource en eau ? Et pourquoi est-elle utilisée ? (Arrosage, irrigation, goutte à goutte, source etc...)

Avez-vous fait certaines adaptations pour réduire le lessivage ? (bandes enherbées, distances au cours d'eau ?)

Elevage

Quels animaux élevez-vous et combien ? (Quand ?)

Date d'installation ?

Pâturage : <ul style="list-style-type: none"> • Surface • Période • Localisation (carte) 			
Bâtiments : <ul style="list-style-type: none"> • Période • Localisation (carte) 			
Quelle nourriture :			
Ressource en eau ?			
Quels produits vétérinaires (quoi et quand) ? (anti-parasites, antibiotiques, hormones...) Quelles quantités ? <ul style="list-style-type: none"> • Traitements ponctuels ? • Traitements systématiques ? 			

Gestions des MO :

- Quel types de MO ?
- Comment-sont-ils récupérés (nettoyage des bâtiments) ?
- Où et comment sont-ils stockés ?
- Est-il composté (retourné 2 fois) ? et comment ?
- Epandez-vous les MO ? où ? à quelle période ?
- Utilisez-vous d'autres fertilisants sur vos pâtures ?
- De quelle manière sont épandus les MO et fertilisants ?
- Vendez-vous et donnez-vous les MO ? à qui ?
- Comment sont nettoyés les tonnes à lisier, cuves, et véhicules ? existe-t-il une aire prévue à cet effet ?
- Utilisez-vous des produits phytosanitaires (pour le désherbage par exemple) ?

Transformation :

Faites-vous la transformation de vos produits sur votre exploitation ? Comment ? Où ?

Comment gérez-vous les effluents de cette transformation ?

Si d'autres effluents existent, comment les gérez-vous ?

Production végétale

Quel type de production ? (Fourrage, fruit, céréales etc)

Surface des parcelles et leurs localisations ?

Date d'installation ?

D'où vient votre ressource en eau ? (Arrosage, irrigation, source etc...)

Quels « traitements » ?). Pour chaque catégorie demander: Quoi ? quand ?

- Fertilisation: Utilisez-vous des amendements et/ou des engrais ? lesquels ?
- Gestion des adventices: Comment procédez-vous au désherbage ? mécanique ou chimique ?
- Quels sont vos moyens de lutte en cas de maladie ou de champignon ?

Comment est-ce épandu sur vos parcelles ? (engrais, fumier, produits phyto etc...)

Connaissez-vous les quantités par hectare ? ou avez-vous les cahiers de traitement de l'année passée ?

Comment sont stockés les produits phytosanitaires ? les engrais ? les fumiers ?

Comment sont nettoyées les cuves, véhicules, bidons utilisés ? Et existe-il une aire de remplissage ? (Phyto, hydrocarbures etc...)

Avez-vous fait certaines adaptations pour réduire le lessivage ? (bandes enherbées, distances au cours d'eau ?)

Autre question:

Connaissez-vous d'autres personnes qui seraient susceptibles de nous aider ?

B- Questionnaires destinés aux centres équestres

Informations générales

Nom de l'interlocuteur et fonction :

Nom de l'entreprise et date d'installation :

Tél :

Courriel :

Adresse :

Généralité sur le centre

Les activités en bref :

Y'a-t-il des périodes d'activité plus importantes que d'autres ? Si oui lesquelles ?

Quelle est votre surface agricole utile ?

Où sont localisées vos parcelles ? Auriez-vous un plan, ou une liste des numéros de parcelles ?

Etes-vous propriétaire et/ou locataire ?
Faites-vous partie d'une Cuma ? Si oui laquelle ?
Avez-vous un Label ou un cahier des charges particulier à respecter ?

Animaux

Quels animaux avez-vous et combien ?			
Pâturage : <ul style="list-style-type: none"> • Quelle est la surface des pâturage (pouvez-vous si possible localiser les parcelles ?) • Période • Localisation (carte) 			
Bâtiments : <ul style="list-style-type: none"> • Période • Localisation (carte) 			
Quelle nourriture :			

<p>Quels produits vétérinaires (quoi et quand) ? (anti-parasites, antibiotiques, hormones...)</p> <p>Quelles quantités ?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Traitements ponctuels ? • Traitements systématiques ? 			
---	--	--	--

Avez-vous les carnets de traitement ?
<p>Gestions des matières organiques (MO) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quels types de MO produisez-vous ? (fumier, lisier...) • Comment-sont-ils récupérés (nettoyage des bâtiments) ? • Où et comment sont-ils stockés ? • Le fumier est-il composté (retourné 2 fois) ? • Epandez-vous les MO ? où ? à quelle période ?

- Utilisez-vous d'autres fertilisants sur vos pâtures ? Si oui, lesquels, à quelle période et en quelle quantité ?
- De quelle manière sont épandus les MO et fertilisants ?
- Vendez-vous et donnez-vous les MO ? à qui ?
- Comment sont nettoyés les tonnes à lisier, cuves, et véhicules ? Existe-t-il une aire prévue à cet effet ?
- Utilisez-vous des produits phytosanitaires (pour le désherbage par exemple) ? Si oui lesquels, où et en quelle quantité ?

Si d'autres effluents et déchets existent, comment les gérez-vous ?

Possédez-vous une station d'épuration interne, une fosse septique ou un autre système de retraitement et de gestion des déchets ? Si oui où se trouve t'il et comment fonctionne-t-il ?

Ressource en eau:

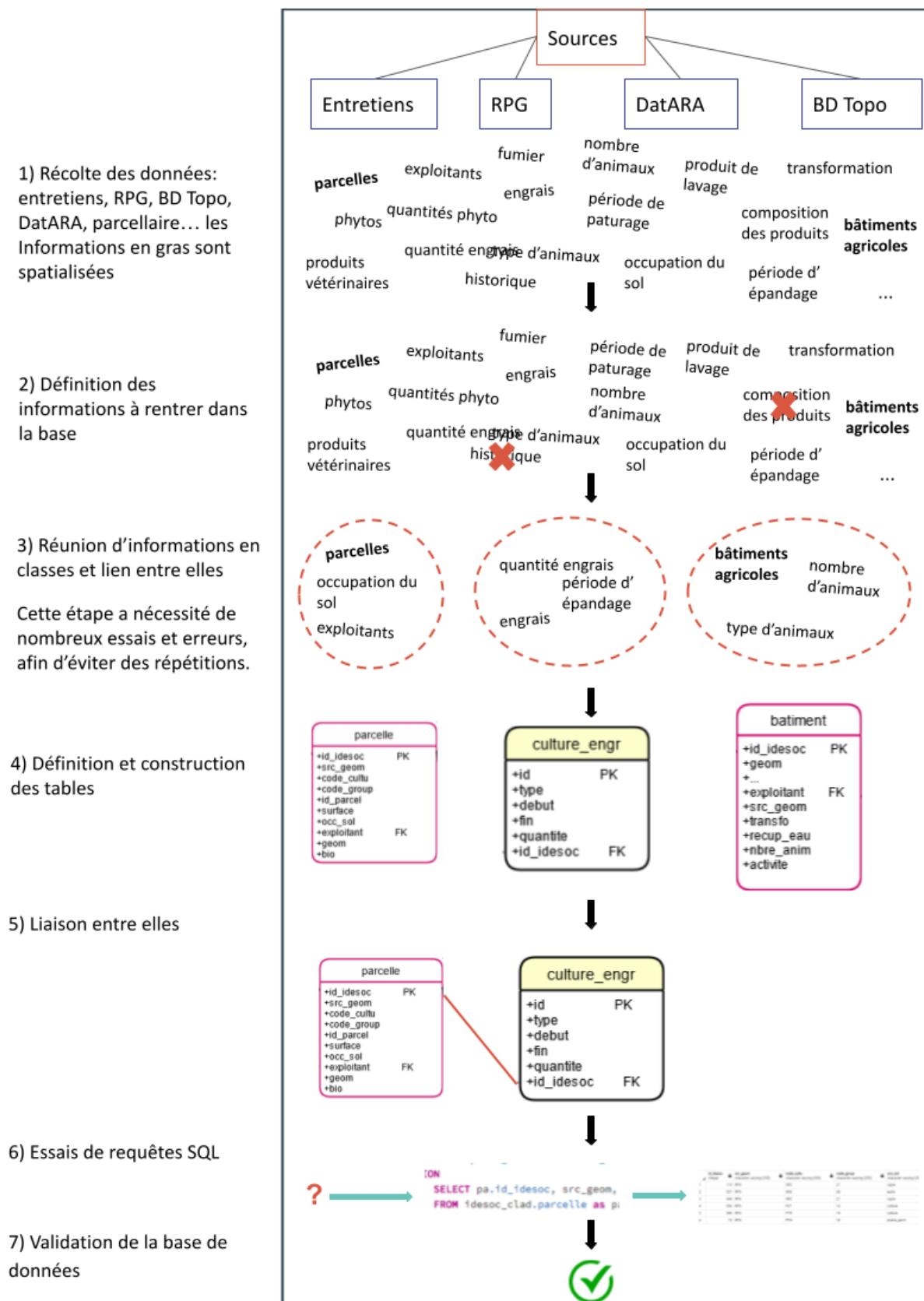
- D'où vient l'eau que vous utilisez ?
- Pour l'abreuvement

- Pour le nettoyage
- Pour les parcelles éventuelles
- Si de l'eau est versée sur vos parcelles, comme pour l'arrosage de la carrière, avez-vous fait certaines adaptations pour réduire le lessivage ? (bandes enherbées, distances au cours d'eau ?)

Autre question:

Connaissez-vous d'autres personnes qui seraient susceptibles de nous aider dans notre enquête ?

Annexe 3. Schéma de la construction de la base de données.



Il ne représente qu'une partie des données effectivement maniées.

Annexe 4. Tables créées selon les occupations du sol

Occ Sol BDD	Tables créées selon les pratiques observées par occupation du sol
Prairie permanente	<ul style="list-style-type: none"> • Pâtures • Fumier • Engrais
Culture	<ul style="list-style-type: none"> • Pâtures • Fumier • Engrais • Phyto
Pâturage	<ul style="list-style-type: none"> • Pâtures
Maraîchage	<ul style="list-style-type: none"> • Fumier • Engrais • Phyto
Verger	<ul style="list-style-type: none"> • Fumier • Engrais • Phyto
Autre	<ul style="list-style-type: none"> • Fumier • Engrais • Phyto
Carrière	<p>Toutes les pratiques ne sont pas observées partout. Les carrières et déchargent n'ont pas ces activités</p>
Décharge	

Annexe 5. Requêtes SQL

A- Les parcelles qui reçoivent du fumier, le type de fumier et les saisons d'épandage

```
CREATE TABLE idesoc_yzeron.tmp_parcel_fumier as SELECT pa.id_idesoc, src_geom, code_cultu,
code_group, occ_sol, surface, exploitant, geom, bio, id_parcel, aut.type, aut.debut, aut.fin
FROM idesoc_yzeron.parcelle as pa, idesoc_yzeron.autre_fumier as aut
where pa.id_idesoc = aut.id_idesoc and aut.type != 'aucun'
UNION
SELECT pa.id_idesoc, src_geom, code_cultu, code_group, occ_sol, surface, exploitant, geom,
bio, id_parcel, perm.type, perm.debut, perm.fin
FROM idesoc_yzeron.parcelle as pa, idesoc_yzeron.pr_perm_fumier as perm
where pa.id_idesoc = perm.id_idesoc and perm.type != 'aucun'
UNION
SELECT pa.id_idesoc, src_geom, code_cultu, code_group, occ_sol, surface, exploitant, geom,
bio, id_parcel, cul.type, cul.debut, cul.fin
FROM idesoc_yzeron.parcelle as pa, idesoc_yzeron.culture_fumier as cul
where pa.id_idesoc = cul.id_idesoc and cul.type != 'aucun'
UNION
SELECT pa.id_idesoc, src_geom, code_cultu, code_group, occ_sol, surface, exploitant, geom,
bio, id_parcel, verg.type, verg.debut, verg.fin
```



```

FROM idesoc_yzeron.parcelle as pa, idesoc_yzeron.verger_fumier as verg
where pa.id_idesoc = verg.id_idesoc and verg.type != 'aucun'
UNION
SELECT pa.id_idesoc, src_geom, code_cultu, code_group, occ_sol, surface, exploitant, geom,
bio, id_parcel, mar.type, mar.debut, mar.fin
FROM idesoc_yzeron.parcelle as pa, idesoc_yzeron.maraichage_fumier as mar
where pa.id_idesoc = mar.id_idesoc and mar.type != 'aucun'

```

B- Les parcelles sur lesquelles des animaux traité aux antibiotiques pâturent

```

WITH
pat as (select * from idesoc_clad.paturage where paturage.type is not null and paturage.type !=
'aucun'),
pr_perm_pat as (select * from idesoc_clad.pr_perm_pature where pr_perm_pature.type is not
null and pr_perm_pature.type != 'aucun'),
pr_temp_pat as (select * from idesoc_clad.pr_temp_pature where pr_temp_pature.type is not
null and pr_temp_pature.type != 'aucun')

select pa.* from idesoc_clad.parcelle as pa

where
( pa.id_idesoc in (select id_idesoc from pat) or
pa.id_idesoc in (select id_idesoc from pr_perm_pat) or
pa.id_idesoc in (select id_idesoc from pr_temp_pat))

and exploitant in (
with
antibio as (select id_idesoc from idesoc_clad.pharma_veto where pharma_veto.type
='antibiotique')

select exploitant from idesoc_clad.batiment_elevage
where (batiment_elevage.id_idesoc in (select id_idesoc from antibio)))

order by id_idesoc

```

Annexe 6. Détail des indices sélectionnés

Il s'agit des indices les plus courants dans la bibliographie.

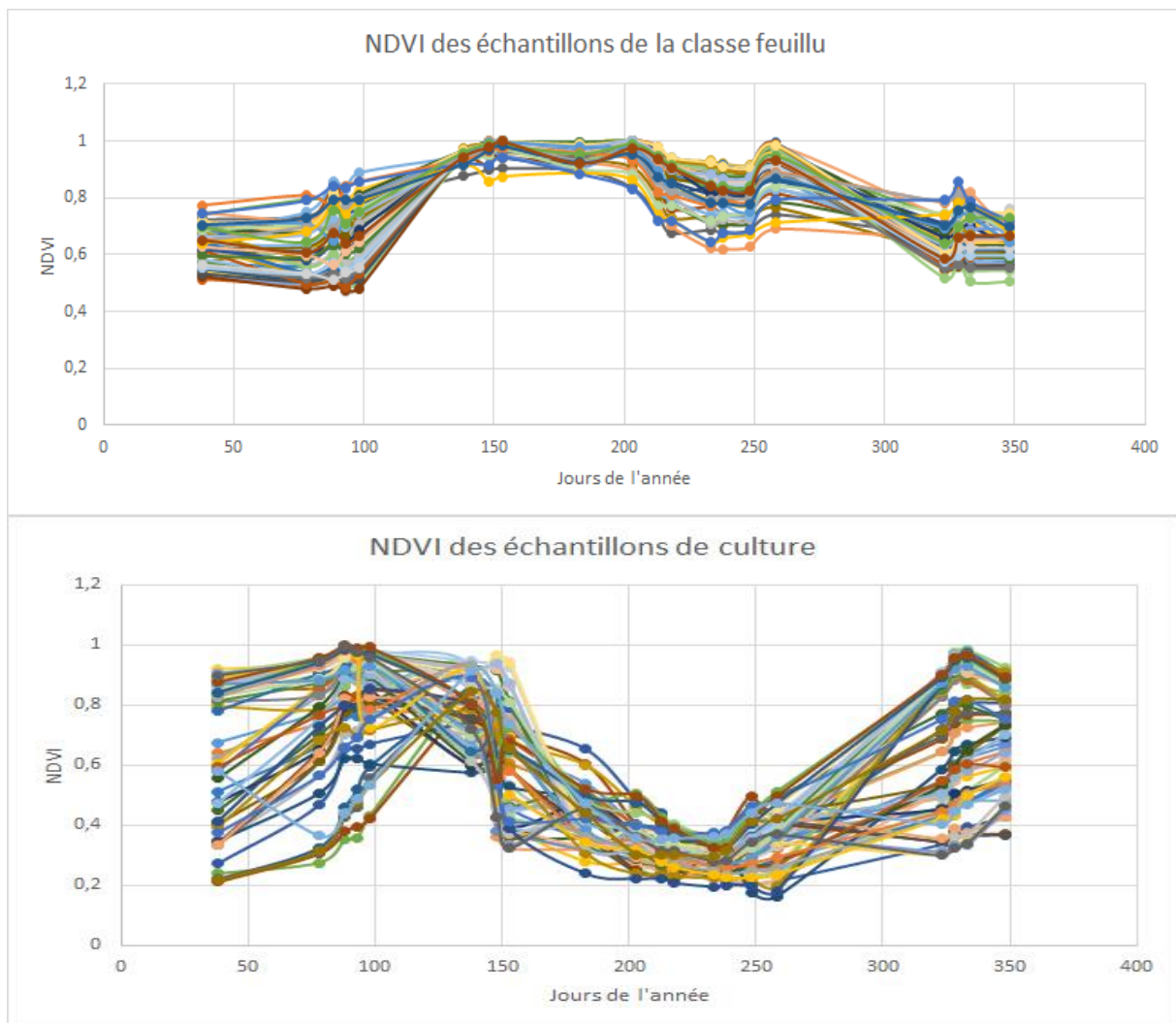
- L'indice de végétation par différence normalisée (NDVI), combine les bandes du rouge et du proche infra-rouge. Ainsi, l'activité chlorophyllienne permet de visualiser les zones végétalisées. Il est également possible de différencier les types de végétation en fonction des cycles.
- L'indice Hydrique par Différence Normalisé (NDWI), est sensible à l'eau contenue dans la végétation. Il utilise les bandes vertes et moyen infrarouge.
- Le Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) est un indice de végétation, utilisant les bandes proche infrarouge et rouge. Le facteur L (qui le différencie du NDVI) diminue l'influence de la brillance des sols nus dans les zones peu végétalisées.
- L'indice de brillance (BI) permet d'identifier les zones sans végétation. Il utilise ici uniquement des bandes du visible (rouge et verte).
- L'indice de surface foliaire (LAI) se base sur le log du NDVI (Wilson, Meyers 2007)

Annexe 7. Étapes de classification



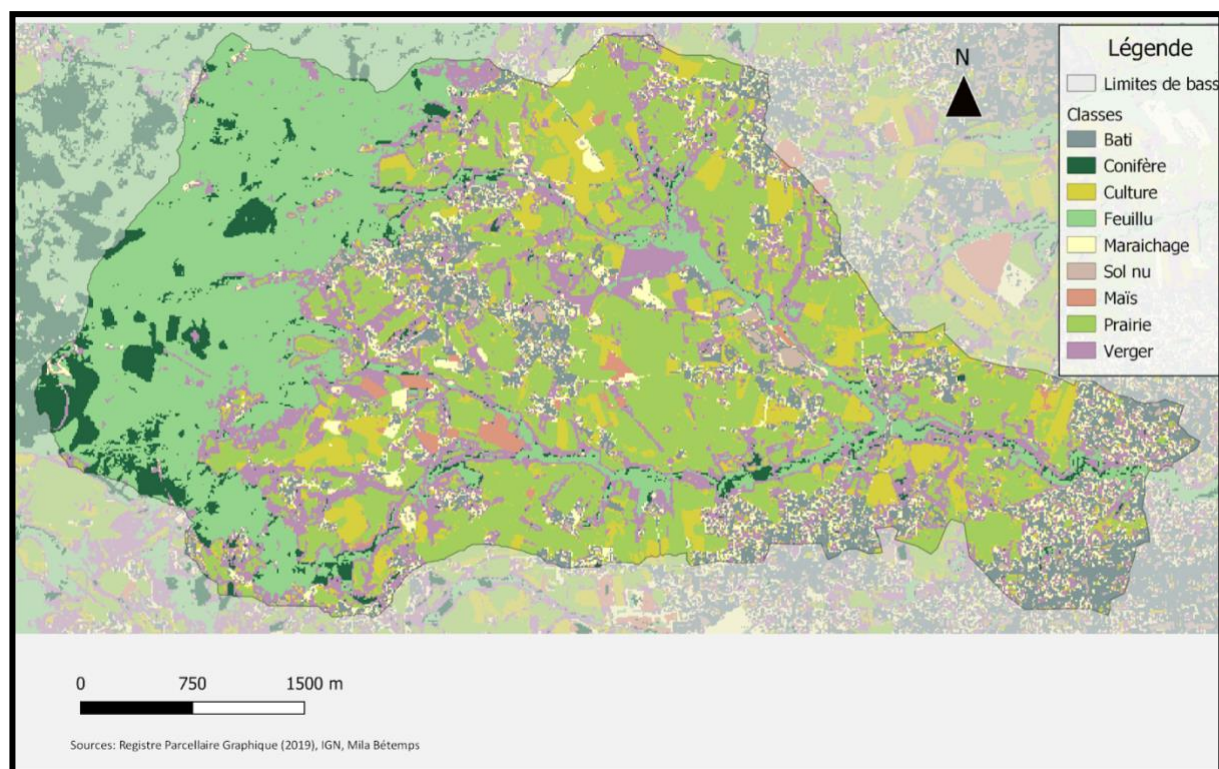
Réalisation : Julie Josse

Annexe 8. Exemple de profils

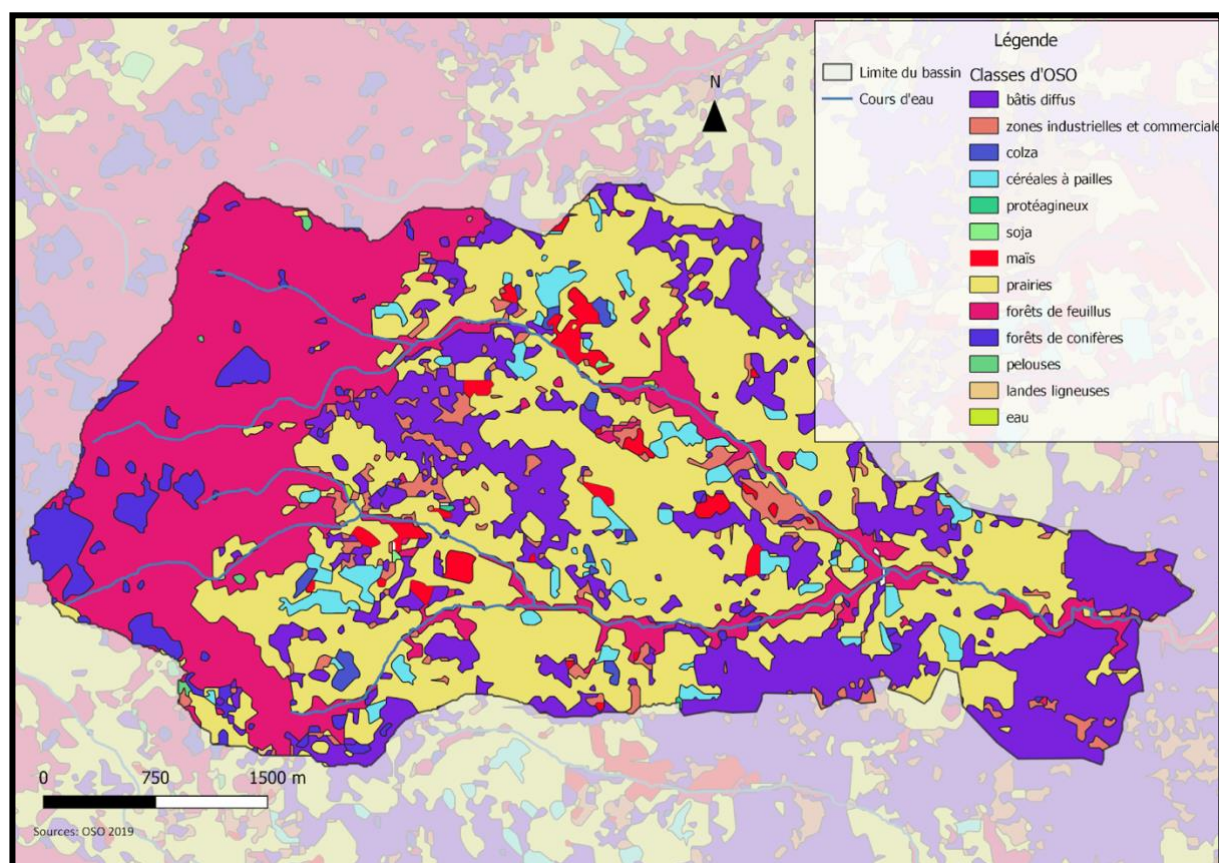


Ces deux profils correspondent aux NDVI sur l'année de tous les échantillons utilisés dans la classe feuillu et la classe culture. La différence de profil, notamment entre les jours numéro 150 à 250 est très visible. En effet, les feuillus vont avoir plus de végétation en été alors que les cultures vont en général être fauchées.

Annexe 9. Classification originale



Annexe 10. Carte de la classification OSO





Mila Bétemps
2020-2021

Diagnostic de l'occupation du sol et de l'utilisation des produits chimiques sur le bassin versant de l'Yzeron (Rhône): utilisation combinée d'enquêtes et de données cartographiques pour identifier les sources de contaminants et leur localisation

Résumé : Il est difficile de détecter, avec les connaissances actuelles, toutes les sources de pollutions agricoles dans un bassin versant. Ce stage constitue la première partie d'une méthode innovante pour identifier les contaminants et leur localisation. Ainsi, des entretiens semi-directifs, l'usage d'une base de données créée spécialement et des outils de télédétection permet de pré-identifier l'origine de différents type de contaminants (produits phytosanitaires, engrais, fumiers, produits vétérinaires...) sur un bassin versant d'usage mixte.

Abstract : This study aims to pinpoint the origin and localization of agricultural contaminants using an interdisciplinary method. Interviews with farmers, creation of a relational database and satellite images were used to create on demand maps depicting several sources of pollution in a periurban catchment.

Mots Clés : Pollution de l'eau, Occupation du sol, Télédétection, Bassin versant, Cartographie

Université Grenoble Alpes – Laboratoire IGE :
Cermosem – Le Pradel, 07170 Mirabel

Tuteur entreprise :
Pauline Dusseux
Maître de conférence

Tuteur académique :
Séraphine Grellier