



**HAL**  
open science

## Faire le lien entre l'occupation des sols et l'évolution des rivières : présentation de travaux de recherche sur le bassin versant du Ratier

Marina Coquery, Flora Branger, Inès Creti, Adrien C. Meynier Pozzi, Nicolas Robinet

### ► To cite this version:

Marina Coquery, Flora Branger, Inès Creti, Adrien C. Meynier Pozzi, Nicolas Robinet. Faire le lien entre l'occupation des sols et l'évolution des rivières : présentation de travaux de recherche sur le bassin versant du Ratier. Journée publique de restitution, INRAE, RiverLy, Jun 2024, Pollionnay, France. 13 p. hal-04733933

**HAL Id: hal-04733933**

<https://hal.inrae.fr/hal-04733933v1>

Submitted on 13 Oct 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial 4.0 International License

**Faire le lien entre l'occupation des sols et l'évolution des rivières :  
présentation de travaux de recherche sur le bassin versant de  
l'Yzeron/Ratier (69) et de la Claduègne (07)**

-

**Enquêtes de terrain, suivis de qualité des eaux et modélisation  
hydrologique**

Unité de recherche RiverLy, INRAE (site de Lyon-Villeurbanne)

Laboratoire Pacte, Université Grenoble-Alpes / Cermosem

Institut des Géosciences de l'environnement (IGE), Université Grenoble-Alpes

Laboratoire d'écologie microbienne (LEM), Université Lyon 1 / VetAgro Sup



*A l'attention des habitants et usagers, partenaires, acteurs socio-économiques et de toutes les personnes rencontrées par nos équipes dans le cadre des projets de recherche autour de l'Yzeron/Ratier (69) et de la Claduègne (07).*



## 1. Contexte et objectifs

Les bassins versants de méso-échelle (10-100 km<sup>2</sup>), caractérisés par une utilisation mixte des sols et des géologies hétérogènes, sont particulièrement sensibles aux changements d'occupation et d'usage des sols et au changement climatique. Les petits cours d'eau sont souvent intermittents et peuvent être impactés par le développement urbain, par les activités touristiques et certaines pratiques agricoles. Ces cours d'eau ont une très faible capacité de dilution, exacerbée par des étés secs plus longs, et ils réagissent souvent rapidement à de forts épisodes de pluie, qui deviennent également plus fréquents. Dans un avenir proche, l'artificialisation croissante des surfaces ainsi que le changement climatique pourraient aggraver ces impacts et entraîner une dégradation critique de la qualité de l'eau dans ces bassins versants.

Depuis 2017, plusieurs projets ont été menés en collaboration par 4 équipes de recherche qui sont présentées ci-après. L'objectif général de ces projets vise à comprendre l'origine de l'eau des rivières, son devenir et les transferts associés (éléments chimiques et microbiologiques) dans des petits bassins versants à usage mixte. Comment l'eau est-elle impactée par l'évolution du climat et l'occupation du sol et les usages ? Comment prédire les futures quantité et qualité des eaux dans ces bassins de méso-échelle ?

Les quatre équipes de recherche impliquées font partie d'organismes publics de recherche :

- RiverLy est une unité de recherche d'INRAE qui allie des compétences en hydrologie, hydraulique, chimie environnementale, écologie, écotoxicologie, et microbiologie pour développer des approches innovantes permettant d'appréhender la qualité, le fonctionnement et les dynamiques des hydrosystèmes. Ces recherches interdisciplinaires visent à mieux prendre en compte les risques naturels et anthropiques pour une meilleure gestion et restauration des cours d'eau.

- Le laboratoire PACTE produit des connaissances transversales sur les transformations de nos sociétés dans leurs dimensions politiques, territoriales, sociologiques et écologiques. Le Cermosem est une antenne de l'Université Grenoble Alpes, rattachée à l'Institut d'Urbanisme et de Géographie Alpine et au laboratoire de recherche PACTE. Il a ouvert ses portes en 1994 dans le cadre d'un partenariat entre le Conseil départemental de l'Ardèche, l'EPLEFPA d'Aubenas (Ministère de l'Agriculture), la Région Auvergne-Rhône-Alpes, le rectorat de l'Académie de Grenoble et l'université. Le Cermosem développe des activités en forte adéquation avec les caractéristiques et les demandes des territoires sud-rhônealpins.

- L'unité mixte de recherche Ecologie microbienne-Lyon (LEM, Université Lyon 1 & VetAgro Sup) a pour objectifs d'étudier les contributions des micro-organismes au fonctionnement de biocénoses complexes impliquant un large spectre d'interactions depuis la symbiose jusqu'aux phénomènes de parasitisme. Les recherches couvrent les champs de l'écologie, biologie des populations et communautés microbiennes, physiologie, génétique, et biochimie microbienne. Ils impliquent l'étude des métabolites, propriétés, et déterminants génétiques explicatifs du succès de certaines espèces ou de l'émergence de certains assemblages microbiens dans les sols ou milieux aquatiques.

- L'Institut des Géosciences de l'Environnement (IGE) est spécialisé en Sciences de la Planète et de l'Environnement. L'IGE mène des recherches sur le climat, l'anthropisation de notre planète et les risques environnementaux en combinant glaciologie, hydrologie, océanographie, mécanique, microbiologie environnementale, sciences atmosphériques et environnementales, sciences interdisciplinaires menées avec les sciences humaines et sociales et les acteurs socio-économiques.

## 2. Les observatoires : bassins versants de l'Yzeron-Ratier (69) et de la Claduègne (07)

Du point de vue scientifique, les observatoires (Services Nationaux d'Observation), financés par l'Etat Français, ont pour but d'acquérir des données sur le long terme (plusieurs dizaines d'années) suivant des protocoles précis. Les données collectées sont bancarisées et mise à disposition du public. Les deux observatoires de la Claduègne et de l'Yzeron/Ratier (Figure 1) ont été instrumentés afin de (i) mieux comprendre les transferts d'eau et de matière associée depuis les versants jusqu'aux cours d'eau, puis dans les cours d'eau, au cours des événements extrêmes, mais également le reste du temps, (ii) analyser l'évolution des événements à fort impact dans un contexte de changement global. Du point de vue sociétal, les activités menées visent à répondre à des besoins exprimés : de prévision intégrée (météorologique, hydrologique et en termes d'impacts), de gestion de ces phénomènes extrêmes (crues, mais aussi sécheresses), et d'anticipation.

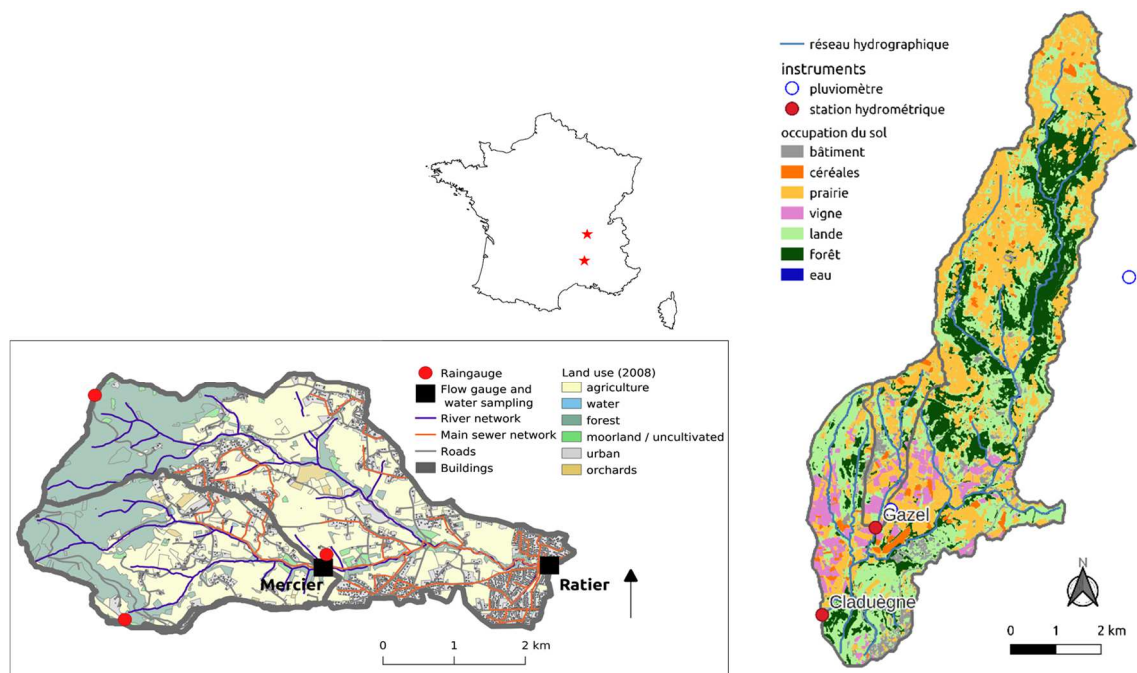


Figure 1 : Bassin versant de l'Yzeron-Ratier (à gauche), bassin versant de la Claduègne (à droite).

### - Yzeron / Ratier (69) : Observatoire de terrain en hydrologie urbaine (OTHU)

Le bassin versant du Ratier est suivi depuis 2017 dans le cadre de l'OTHU. La présence de stations de mesures expérimentales permet un suivi hydrologique général de long terme sur le bassin. Le programme vise en particulier à estimer les flux d'eau et de contaminants produits par le bassin, et de mesurer leur impact sur les petits cours d'eau. Des données de débits et pluviométrie sont disponibles au pas de temps horaire depuis 2012 pour le Ratier et 1997 pour le Mercier, sous bassin versant du Ratier (<https://bdoh.irstea.fr/YZERON/>). Le bassin versant a une aire de 19 km<sup>2</sup>, avec une occupation du sol hétérogène représentative d'un milieu péri-urbain : de l'amont vers l'aval, des forêts, puis des zones agricoles en transition péri-urbaines, et des zones urbaines plus denses. Le bassin versant est en pleine transformation avec un changement rapide de l'occupation du sol : densification de l'urbain existant et nouvelles habitations sur les zones agricoles. Un modèle hydrologique a été développé sur le Ratier ; il prend en compte les différentes spécificités des milieux péri-urbains venant perturber le chemin de l'eau (surfaces imperméables drainées ou non sur le bassin, réseau d'assainissement et déversoirs d'orage).

- **Claduègne (07) - l'Observatoire Hydrométéorologique Méditerranéen Cévennes-Vivarais (OHMCV) :**

Les activités de cet observatoire s'inscrivent dans le contexte méditerranéen, hotspot très probable du changement climatique avec une intensification du cycle hydrologique sur le pourtour européen occidental ponctué par de plus longues périodes de sécheresse, et dont certains territoires sont soumis à une pression anthropique accrue. Les observations réalisées visent à documenter le fonctionnement hydrométéorologique des bassins versants de cette région et se concentrent sur l'étude des événements de pluies intenses et des crues rapides aux impacts sociétaux parfois catastrophiques. Des transports importants de matière sont associés à ces phénomènes de crue et sont des sources de nutriments, de sédiments et de contaminants vers l'aval.

### **3. Les principaux projets de recherche depuis 2017**

PHARMA-BV (2017-2019, financement Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse - Zone Atelier Bassin du Rhône, AERMC-ZABR) : « Origine et devenir des contaminants pharmaceutiques dans les bassins versants agricoles ». L'objectif était d'identifier l'usage de micropolluants (pharmaceutiques et pesticides principalement) sur le bassin, d'identifier leurs concentrations dans le bassin versant de la Claduègne et d'évaluer les transferts dans les sols en conditions contrôlées en laboratoire.

Conscéquans (2019-2021, financement Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse - Zone Atelier Bassin du Rhône). « Construction et analyse par modélisation de scénarios de gestion des eaux pluviales à différentes échelles et robustesse des ouvrages de gestion des eaux pluviales à la source face aux changements globaux ». L'objectif était de quantifier l'impact de scénarios de gestion des eaux pluviales à la source face aux changements globaux à l'échelle d'un bassin versant urbanisé. Le bassin versant de l'Yzeron était un des sites d'étude.

IDESOC (2021-2024, financement Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse - Zone Atelier Bassin du Rhône) : « Identification et caractérisation des sources de contaminants dans des bassins versants d'usage mixte : approche intégrée ». L'objectif est de localiser spatialement les sources d'eau et déterminer des traceurs « low-cost » pour estimer l'origine de l'eau et son cheminement dans le bassin versant.

ANR CHYPSTER (2021-2025, financement Agence Nationale de la Recherche, ANR) : « Approche intégrée biogéochimique, géographique et hydrologique pour déterminer les sources de contaminants sur des bassins versants d'usage mixte ».

BactResist (2022-2024, financement Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse - Zone Atelier Bassin du Rhône, AERMC-ZABR) : « Évaluation de la dissémination de gènes de résistance bactériens à l'échelle d'un petit bassin versant rural en lien avec la pédologie, l'usage des sols et le fonctionnement hydrologique ». L'objectif est de localiser spatialement les sources de gènes de résistance aux antibiotiques (Gènes *sul*, *tet*, *bla*CTX M) sur le bassin, de les quantifier et d'évaluer leur transfert dans le bassin versant et leur impact sur le fonctionnement biogéochimique des sols.

Ces projets ont été soutenus par plusieurs thèses de doctorat (Nico Hachgenei, Amine Boukra, Olivier Grandjouan, Angélique Dominguez Lage) et stages de Master Recherche.



#### 4. Etapes, méthodes et outils scientifiques mis en œuvre

L'originalité de ces recherches exploratoires est d'être pluridisciplinaires (sciences humaines et sociales, géographie, chimie, microbiologie, hydrologie...). C'est un travail au long cours qui se déroule en plusieurs étapes, mobilisant à chaque fois des méthodes et outils spécifiques, tous complémentaires (Figure 2).

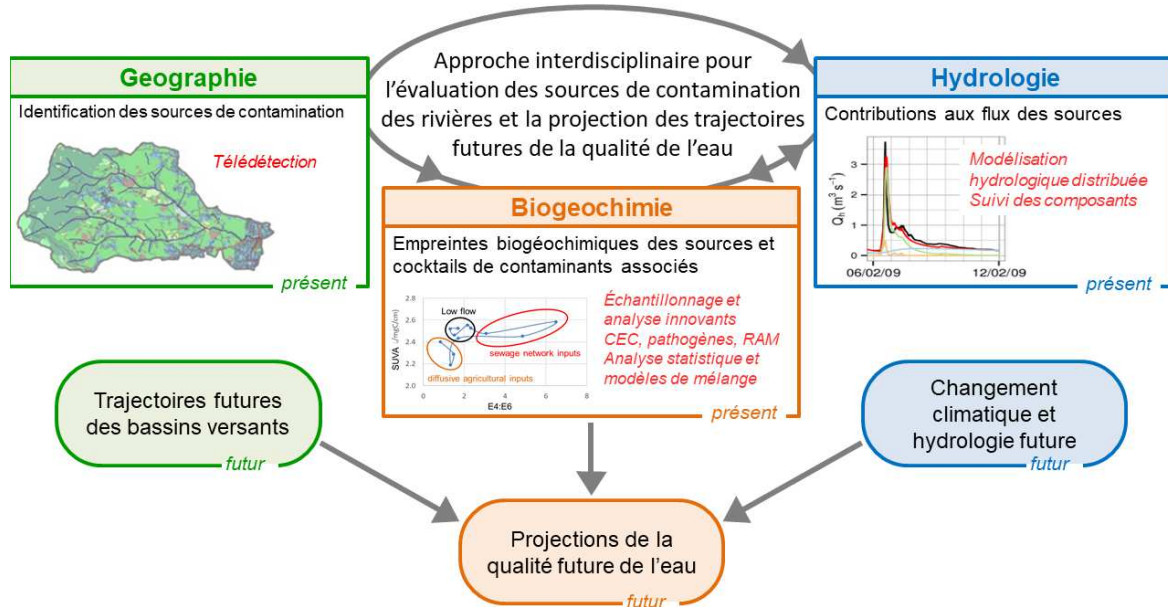


Figure 2 : Schéma général montrant la méthodologie empruntée (combinaison d'outils biogéochimiques, géographiques et hydrologiques) (source : projet ANR Chypster).

#### Étape 1 : Mieux connaître et documenter le milieu et les activités humaines associées

##### Enquêtes

Objectif : Identifier et localiser toutes les substances liées aux activités humaines utilisées sur la zone d'étude. Cette étape est primordiale pour les étapes suivantes, car elle permet d'identifier les sources potentielles de contamination.

Profils et structures d'appartenance des personnes interviewées : mairies, communautés de communes, hôpitaux, gestionnaires de réseaux d'assainissement, SAUR, vétérinaires, chambre d'agriculture, syndicats de gestion des eaux (SAGE), campings, centres équestres, agriculteurs, forestiers, carrières...

##### Cartographie

Objectif : Obtenir la cartographie la plus précise possible, à différentes époques, de l'occupation et l'usage des sols, et du réseau hydrographique.

##### Identification des « sources » représentatives des différents milieux

Ces données d'enquêtes et de cartographie, couplées à des reconnaissances de terrain, ont permis de définir une dizaine de sites de prélèvements appelés « sources » à l'amont des différents ruisseaux affluents du Ratier et de la Claduègne. Ces sites sont représentatifs de zones ou milieux homogènes en termes de géologie, d'occupation et d'usage de sol (ex. : forêts, prairies avec ou sans élevage, cultures, zones urbaines...). L'objectif est d'échantillonner des eaux de ces ruisseaux et des rejets ponctuels, que l'on appelle « source » dans notre approche. L'approche suivie est résumée sur la Figure 3.

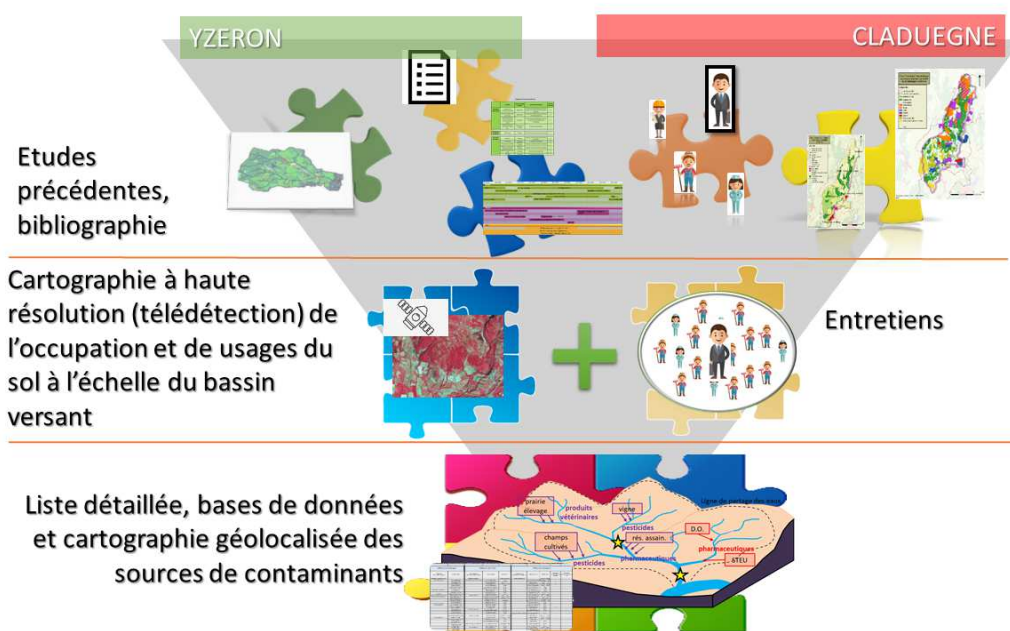


Figure 3 : Méthodologie d'enquêtes et de cartographie proposée pour identifier et cartographier les sources potentielles de contamination sur un bassin versant (projet Chypster).

## Étape 2 : Instrumenter la rivière

Sur le bassin du Ratier, il existe deux stations hydrométriques (Mercier et Ratier) qui sont équipées de capteurs limnimétriques pour mesurer la hauteur d'eau en continu. Une relation hauteur-débit est ensuite effectuée à partir d'une courbe de tarage régulièrement vérifiée à l'aide de jaugeages manuels. Plusieurs stations pluviométriques sont installées sur le bassin ; elles fonctionnent à partir d'augets basculeurs ou par pesée, et mesurent en continu les précipitations et la température de l'air. Des échantillonneurs automatiques d'eau de la rivière sont installés ponctuellement lors des campagnes de prélèvement (ex. : lors des événements pluvieux), pour la mesure des concentrations en éléments majeurs, éléments traces métalliques, contaminants organiques et des paramètres microbiens.

Sur le bassin de la Claduègne, il existe également deux stations hydrométriques (Gazel et Claduègne) sur des sections naturelles des rivières. A la station Claduègne, le niveau d'eau est mesuré à l'aide d'un radar. Au Gazel, le niveau d'eau est mesuré à l'aide d'une sonde de pression hydrostatique. De plus, à la station Claduègne, la vitesse de la surface de l'eau est mesurée par la technologie du radar sans contact. La station du Gazel dispose d'une caméra fixe, grâce à laquelle les vitesses peuvent être calculées. Des sondes dans la rivière mesurent en continu la conductivité électrique, la température et la turbidité. Des échantillonneurs automatiques d'eau de la rivière permettent d'obtenir des échantillons pour des mesures de la concentration en matières en suspension, en éléments majeurs (cations, anions) et selon les projets, en éléments traces métalliques, certaines substances prioritaires ou émergentes<sup>1</sup> (exemple : pesticides, médicaments), et certains paramètres microbiens.

<sup>1</sup> Les substances dites « prioritaires » sont réglementées et mesurées régulièrement dans les rivières par les programmes de surveillance mis en place par les agences de l'eau ; les substances « émergentes » désignent un ensemble hétérogène de substances, pour la plupart organiques, dont l'étude et la surveillance dans l'environnement sont relativement récentes. Elles ne sont en général pas incluses dans les réglementations actuelles, ni dans les programmes de surveillance du milieu aquatique.

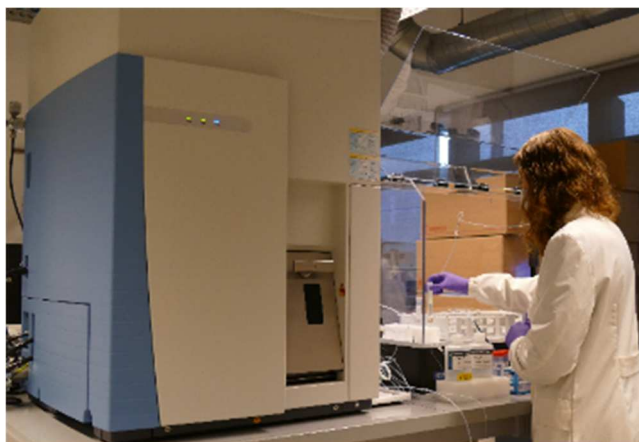
De plus, des échantillons d'eau sont prélevés manuellement sur l'ensemble des sites « sources » identifiés sur les deux bassins versants. Les apports de ces sources pouvant évoluer durant l'année, il est important de prendre en compte leur variabilité saisonnière en répétant les prélèvements dans plusieurs conditions hydrologiques et climatologiques.



Figure 4 : Echantillonneur automatique sur la station du Mercier, mesures sur site et échantillonnage des sources sur le bassin de l'Yzeron/Ratier.

### Étape 3 : Analyser les échantillons prélevés

Suite aux prélèvements automatiques ou manuels, les échantillons d'eau sont ramenés au laboratoire, conservés au frais (4°C) ou congelés, filtrés, puis analysés selon différentes techniques en fonction des



analyses à réaliser. Par exemple, en chromatographie ionique pour les éléments majeurs, par spectrophotométrie UV visible pour la matière organique dissoute, par spectrométrie de masse à couplage inductif pour les éléments traces métalliques, et par spectrométrie de masse et chromatographie en phase liquide pour les substances organiques. Des analyses microbiennes sont aussi réalisées par PCR quantitatives en temps réels (qPCR) après filtration et extraction d'ADN.

Figure 5 : Spectrométrie de masse en phase à couplage inductif pour la mesure des éléments traces métalliques (source : RiverLy).



#### Étape 4 : Comprendre le chemin de l'eau et des substances associées

Les différentes données collectées durant les étapes 1 à 3 sont ensuite implémentées dans des équations mathématiques (« modèle de mélange biogéochimique ») qui permettent de mieux comprendre les chemins de l'eau et des substances associées. Le but est d'évaluer la contribution des différents types de milieux sur les débits à la rivière. Le modèle hydrologique, en cours d'application sur les deux bassins versants, prend en compte la topographie, la géologie, les types de sols et les usages. Il permettra de simuler des projections sur les changements futurs, en lien avec l'étude prospective paysagère (cf. étape 5).

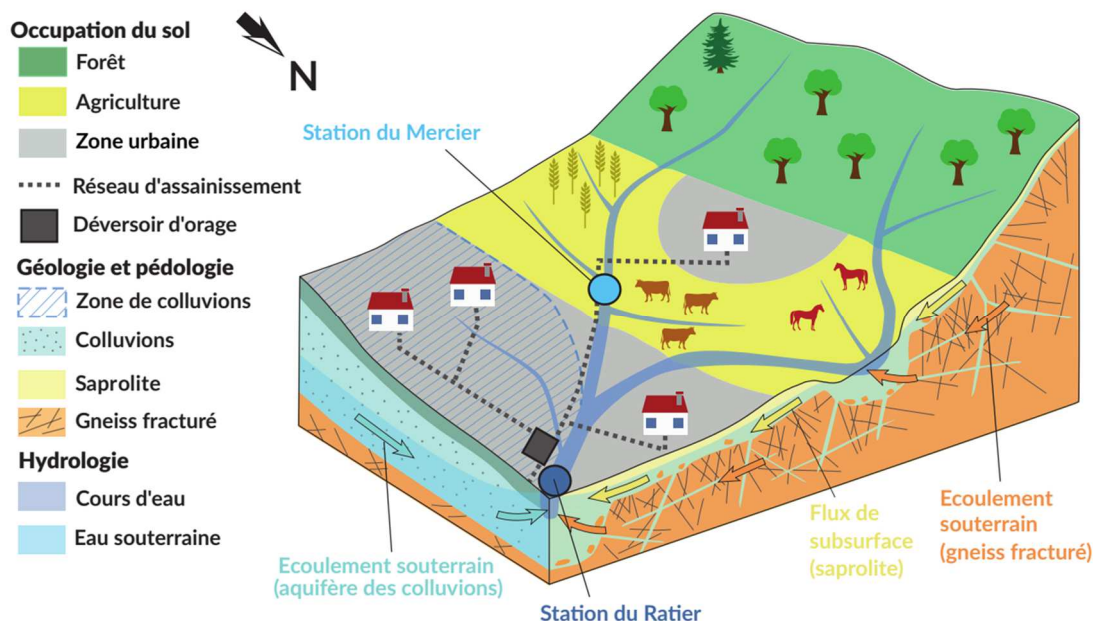


Figure 6 : Schéma montrant les types de flux d'eaux en surface et subsurface des sols, vers les cours d'eau et les nappes d'eau souterraine sur le bassin du Ratier (source : Grandjouan, 2024).

#### Étape 5 : Reconstruire le passé des paysages pour prédire l'avenir

L'objectif est de construire une prospective paysagère pour chacun des terrains d'étude, c'est-à-dire développer ce que l'on nomme des scénarios d'anticipation et ainsi faire des propositions de ce que pourrait être le paysage de demain. Pour cela, nous avons relevé les paysages historiques et leurs dynamiques depuis les années 1950, à partir d'images anciennes et d'images satellites. Les méthodes de télédétection constituent le cœur de l'approche et permettent d'extraire des informations paysagères (plus ou moins automatiquement) à partir de données d'imagerie.

Ces cartographies anciennes servent alors de base pour construire la prospective paysagère (Figure 7). Cette prospective est construite grâce à des entretiens menés avec des acteurs clés du territoire. Ce travail inclut les éléments suivants :

- un diagnostic territorial (dynamiques majeures, problématiques et opportunités) ;
- le développement de scénarios d'anticipation ;
- la modélisation cartographique de ces scénarios.



Figure 7 : Méthodologie suivie pour la construction des trajectoires paysagères - du passé vers le futur

## 5. Des exemples de résultats

### Carte d'occupation et d'usage des sols réalisée d'après les enquêtes de terrain

Sur le bassin versant du Ratier, les données récoltées pendant les enquêtes ont permis d'obtenir une classification plus précise de l'occupation du sol définie comme agricole, comprenant les classes culture, maraîchage, verger, prairie permanente, pâturage bovin, équin, caprin et ovin, carrière, décharge et autre (Figure 8). Les prairies permanentes correspondent à des parcelles qui ne sont pas utilisées dans les rotations de culture. La classe culture regroupe les zones de fourrages et de céréales, et également les prairies temporaires utilisées dans les rotations de culture.

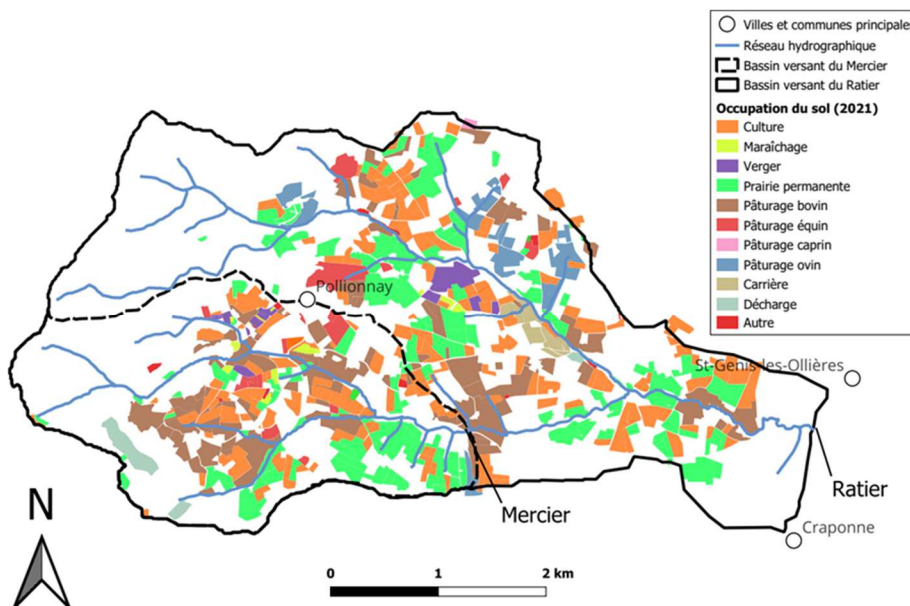
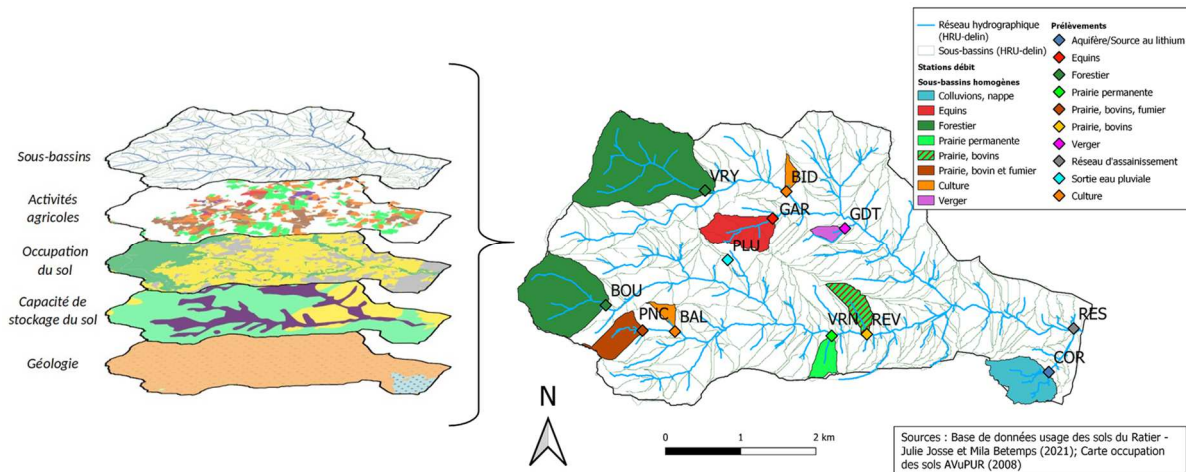


Figure 8 : Carte d'occupation du sol pour les parcelles enquêtées sur le bassin versant du Ratier pour l'année 2021, d'après le travail mené par Bétemps (2021).

## Définition des types de sources et sélection des points de prélèvement

L'identification des sous-bassins « sources » a été réalisée à partir des facteurs suivants : les classes de formations géologiques, les classes de capacité de stockage du sol, les classes d'occupation du sol, et les activités agricoles (cf. parcelles enquêtées, Figure 8). Pour identifier les sous-bassins homogènes avec toutes ces caractéristiques, ces données sont croisées avec les sous-bassins constituant le bassin versant du Ratier (309 sous-bassins entre 1 et 30 ha). Enfin, pour chacun des types de sources identifiés, un point de prélèvement a été sélectionné, en tenant compte des contraintes de terrain (Figure



9).

Figure 9 : Définition des types de sources et choix des sous-bassins homogènes échantillonnés sur le bassin versant de l'Yzeron/Ratier.

## Classification des types de sources

Parmi toutes les analyses réalisées, 15 traceurs ont été sélectionnés qui permettent de différencier les types de sources prédéfinies (voir les groupes de points d'une même couleur qui sont bien séparés sur la Figure 10). La Figure 10 (radars) montre aussi les empreintes caractéristiques de certaines sources. Par exemple, le carbone organique dissous (COD) et le sodium (Na) sont spécifiques des eaux du réseau d'assainissement ; un descripteur de la matière organique (S2) est typique des prairies.

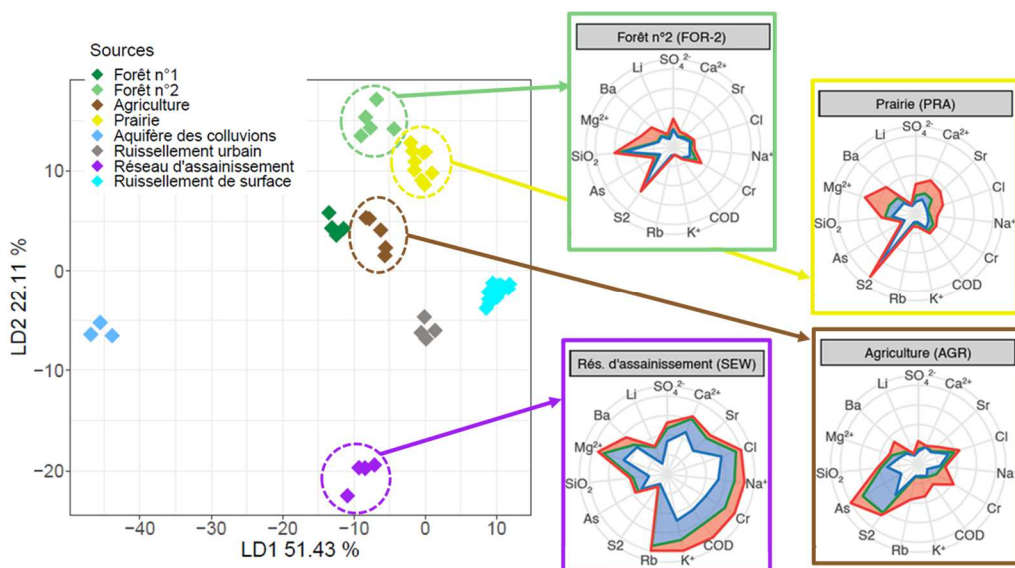


Figure 10 : Classification des types de sources grâce à leur composition biogéochimique et exemple d'empreintes de 4 types de sources (forêt, prairie, réseau d'assainissement, agriculture).

### Contribution des différentes sources au débit à l'exutoire

Un exemple de résultats de décomposition (modèle de mélange biogéochimique) est présenté pour un petit évènement hivernal (mars 2023) aux stations du Mercier et du Ratier. Les contributions du ruissellement urbain sont importantes (en gris sur la Figure 11) ; elles sont plus élevées pour le Ratier (environ 37% en moyenne) que pour le Mercier (environ 20%). Cette différence reflète la différence d'occupation de sol des surfaces urbaines imperméabilisées qui représentent 13% de la surface du bassin du Mercier et 21% de celle du Ratier. Des apports significatifs du réseau d'assainissement unitaire (en violet sur la Figure 11) sont détectés à l'exutoire du Mercier. Ce résultat est surprenant car le bassin versant du Mercier a été choisi initialement comme un bassin rural peu urbanisé, sans déversoir d'orage. Des analyses complémentaires, comme des pathogènes marqueurs de contamination fécale humaine ou des substances organiques de type pharmaceutique, confirment ces apports.

Les résultats du modèle de mélange sont comparés aux simulations du modèle hydrologique (Figure 11), ce qui permet de proposer des pistes d'amélioration du modèle hydrologique (ex : prise en compte d'apports d'eaux usées non traitées vers le cours d'eau du Mercier).

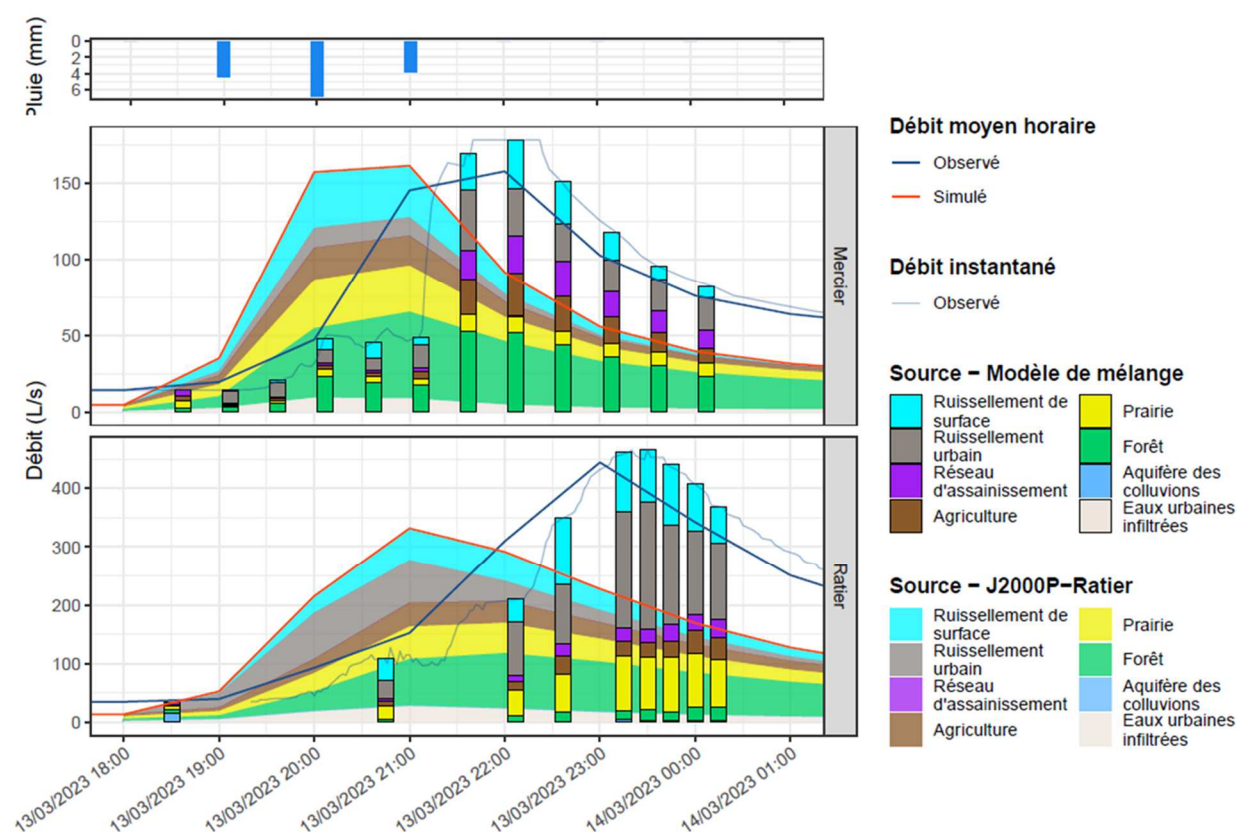


Figure 11 : Précipitations et résultats de décomposition du débit pour un petit évènement hivernal aux stations du Mercier et du Ratier, à l'aide du modèle de mélange biogéochimique (barres verticales de couleur) et d'un modèle hydrologique (aires de couleur). (extrait de la thèse d'Olivier Grandjouan, 2024).



## 6. La suite : prédiction des trajectoires paysagères et prospective

Les cartographies d'occupation du sol entre les années 1950 et 2020 nous ont permis de mettre en évidence des trajectoires paysagères connues et d'autres plus ou moins visibles.

Pour le bassin versant du Ratier, orienté périurbain, on observe une spécialisation agricole vers la polyculture élevage au détriment des terres labourables, ainsi que le développement d'une agriculture à forte valeur ajoutée depuis les années 2000 (maraîchage et vergers). Cette dynamique paysagère s'accompagne d'un étalement urbain depuis l'agglomération lyonnaise (Figure 12).

Ces résultats paysagers servent de base à la discussion lors d'entretiens avec les acteurs du territoire (élus, chargés de mission des communautés de communes, représentants de la chambre d'agriculture, syndicats mixtes des eaux, ONF/CNPF, associations, scientifiques). Des premiers résultats prospectifs sont attendus pour les semaines à venir.

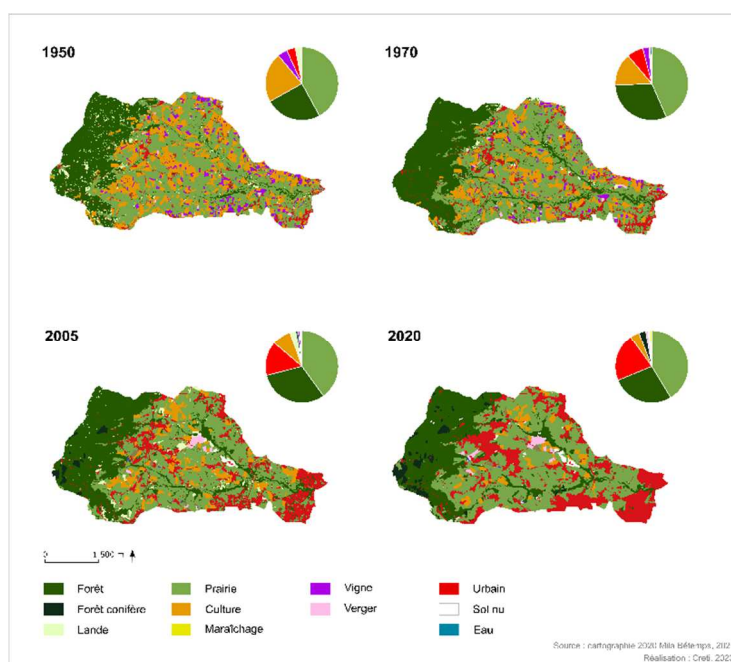


Figure 12 : Évolution des modes d'occupation du sol dans le bassin versant du Ratier.

Pour le bassin versant de la Claduègne, majoritairement rural, on observe une orientation agricole au profit des prairies permanentes ou semi-permanentes avec une disparition progressive des terres labourables (ici culture, Figure 13). Le tissu urbain quant à lui se développe le long des axes de communication majeurs avec un bond à partir des années 2000.

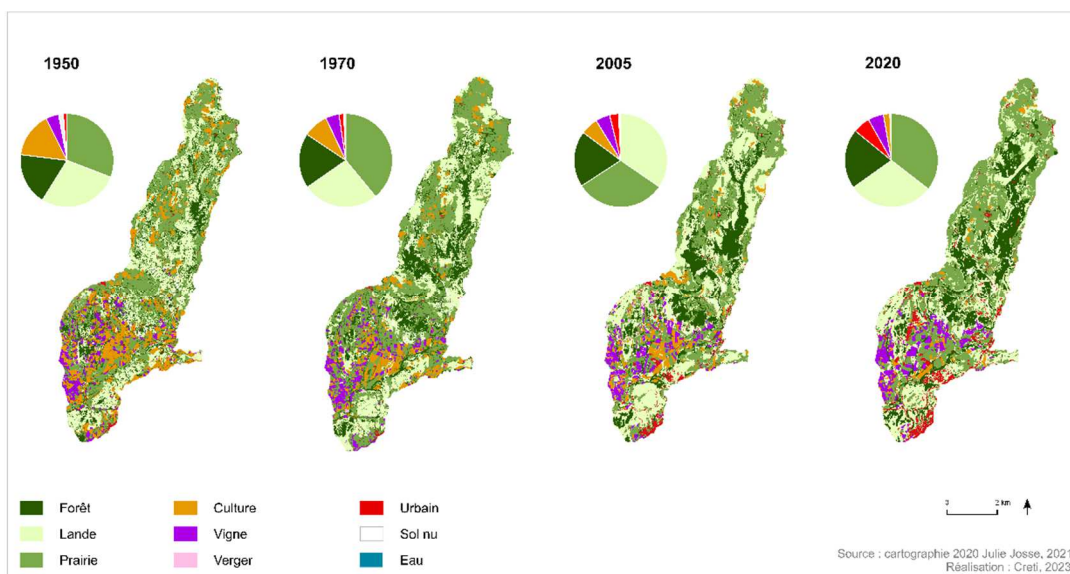


Figure 13 : Évolution des modes d'occupation du sol dans le bassin versant de la Claduègne.

## Bibliographie :

Jean Martins, Guillaume Nord, Celine Duwig, Cédric Legout, Marie Christine Morel, et al. 2019. Origine et devenir des contaminants PHARMAceutiques dans les Bassins Versants agricoles. Le cas de la Claduègne (Ardèche). PHARMA-BV, Rapport final. [Rapport de recherche] Université Grenoble Alpes (UGA); Institut des géosciences de l'environnement (IGE); Irstea; Cermosem. [halshs-03792642](https://halshs-03792642)

Grandjouan O. (2024). Apports de la biogéochimie pour l'évaluation d'un modèle hydrologique distribué en milieu péri-urbain. Thèse de doctorat, Université Lyon 1, 325 pp.

**Contacts :** marina.coquery@inrae.fr et flora.branger@inrae.fr



*Document mis à jour en juin 2024 par les membres des équipes impliquées dans les projets IDESOC et CHYPSTER. Ces travaux sont toujours en cours.*

*Imprimé à INRAE. Ne pas jeter sur la voie publique.*