



HAL
open science

Visite des bassins instrumentés “ Olivier de Serres ” de l’OHMCV

Observatoire Hydrométéorologique Méditerranéen Cévennes-Vivarais, Guillaume Nord, Brice Boudevillain, Stéphane Boubkraoui, Hélène Guyard, Romain Biron, Céline Duwig, Jean Martins, Nicolas Robinet, Nico Hachgenei, et al.

► **To cite this version:**

Observatoire Hydrométéorologique Méditerranéen Cévennes-Vivarais, Guillaume Nord, Brice Boudevillain, Stéphane Boubkraoui, Hélène Guyard, et al.. Visite des bassins instrumentés “ Olivier de Serres ” de l’OHMCV. Journées de l’Infrastructure de Recherche OZCAR, 2022. hal-04572459

HAL Id: hal-04572459

<https://hal.science/hal-04572459v1>

Submitted on 14 Jan 2025

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 4.0 International License



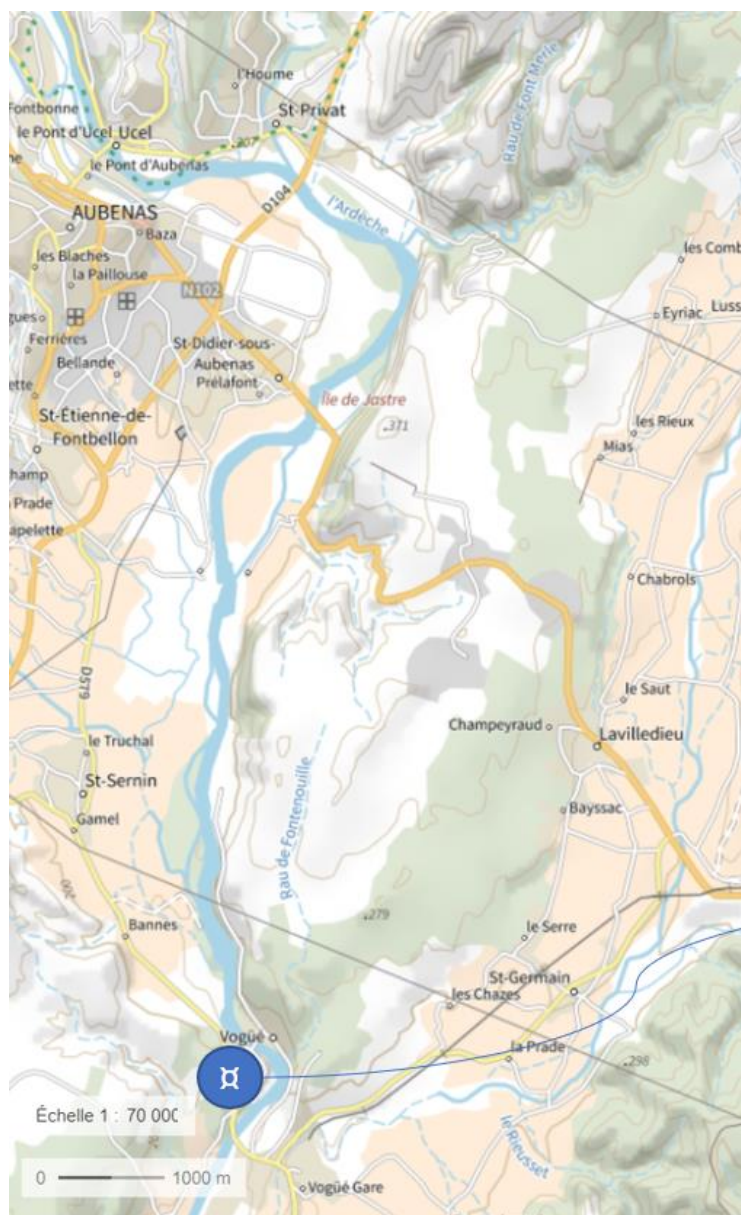
**Visite des bassins instrumentés
« Olivier de Serres » de l'Observatoire
Hydrométéorologique Méditerranéen
Cévennes-Vivarais (OHMCV)**

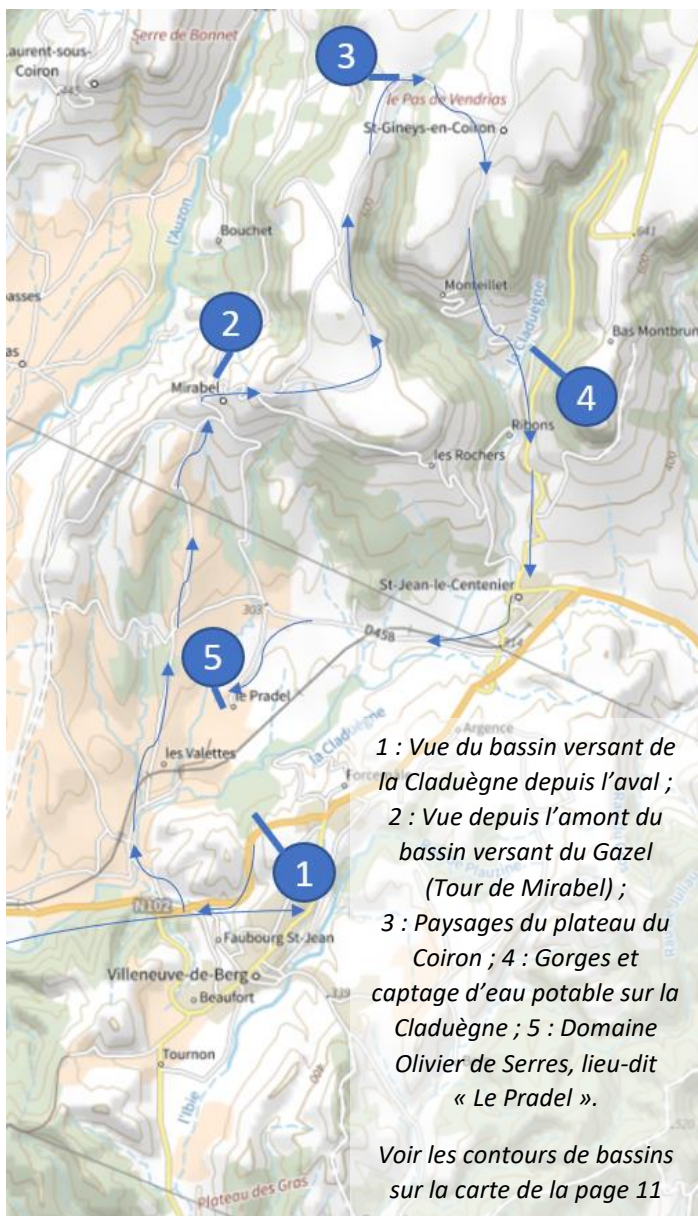
Mercredi 9 mars 2022

Journées de l'Infrastructure de Recherche OZCAR

08h30	Départ du centre Lou Capitelle en bus
09h00	Présentation / tour en bus du bassin versant de la Claduègne (G. Nord, C. Legout, B. Boudevillain)
10h45	Arrivée au Pradel (Domaine Olivier de Serres) Pause-café et répartition en trois sous-groupes qui pourront visiter deux ateliers/présentations
11h15	1ère visite : 11h20-12h05 ; 2ème visite : 12h10-12h55 <ul style="list-style-type: none"> • Visite de la ferme expérimentale caprine (P. Ulrich, directeur de la ferme expérimentale du Pradel) • Présentation des travaux d'Olivier de Serres, père de l'agronomie moderne (B. Vidal, Institut O. de Serres) • Visite de l'instrumentation (hydro, météo) à proximité du Gazel (G. Nord, B. Boudevillain, S. Boubkraoui)
13h00	Pause déjeuner & café
14h00	Accueil & présentation du CERMOSEM (P. Mao)
14h20	Approche intégrée biogéochimique, géographique et hydrologique pour déterminer les sources de contaminants sur des bassins versants d'usage mixte (M. Coquery)
14h50	Identification et cartographie des sources potentielles de pollutions diffuses en milieu agricole : utilisation combinée d'enquêtes et de données cartographiques (P. Dusseux et N. Robinet)
15h10	Présentation orale courte des posters
15h30	Pause et coffee-room. Séance poster
16h15	La sonde pCO ₂ : un outil qui devrait permettre (i) de tracer des eaux souterraines en phase de crue et (ii) de corriger la part précipitée de carbonates dans les préleveurs ouverts à l'atmosphère (L. Spadini)
16h35	Modélisation de l'âge de l'eau dans la Claduègne (N. Hachgenei)
17h00	Temps d'échange avec les acteurs locaux (courte présentation par les intervenants puis discussion générale) <ul style="list-style-type: none"> • E. Faure, chargée de mission "qualité et activités de loisirs" à l'EPTB Ardèche Claire • B. Pascault, chargé de projets au Conservatoire d'Espaces Naturels Rhône-Alpes • Les intervenants au Domaine Olivier de Serres
18h00	Retour à Vogüé Lou Capitelle en bus

Parcours de la visite





L'OHMCV	7
Sites instrumentés de l'OHMCV	8
Site instrumenté « Olivier de Serres »	10
Variables mesurées sur les bassins « Olivier de Serres »	20
Présentation du Cermosem (IUGA – Pacte)	24
Approche intégrée biogéochimique, géographique et hydrologique pour déterminer les sources de contaminants sur des bassins versants d'usage mixte	26
Identification et cartographie des sources potentielles de pollutions diffuses en milieu agricole : utilisation combinée d'enquêtes et de données cartographiques	30
La sonde pCO ₂ : un outil qui devrait permettre (i) de tracer des eaux souterraines en phase de crue et (ii) de corriger la part précipitée de carbonates dans les préleveurs ouverts à l'atmosphère.....	34
Modélisation de l'âge de l'eau dans la Claduègne	36
Un dispositif pour simuler l'écoulement en surface et à travers des monolithes de sol intacts et le transfert de produits vétérinaires...	39
Origine et redistribution spatio-temporelle des matières en suspension dans les bassins versants : approche combinant observation des flux, traçage et modélisation distribuée	42
Origine et devenir des contaminants PHARMaceutiques dans les Bassins Versants agricoles : cas de la Claduègne (Ardèche).....	48
Dissémination d'antibiorésistance dans les Bassins Versants ruraux en lien avec la pédologie, l'usage des sols et le fonctionnement hydrologique. BactResist	52
La station hydrométrique sans contact de l'Auzon à Vogüé-Gare...	54
Atelier terrain hydrologie et hydrométéorologie.....	58

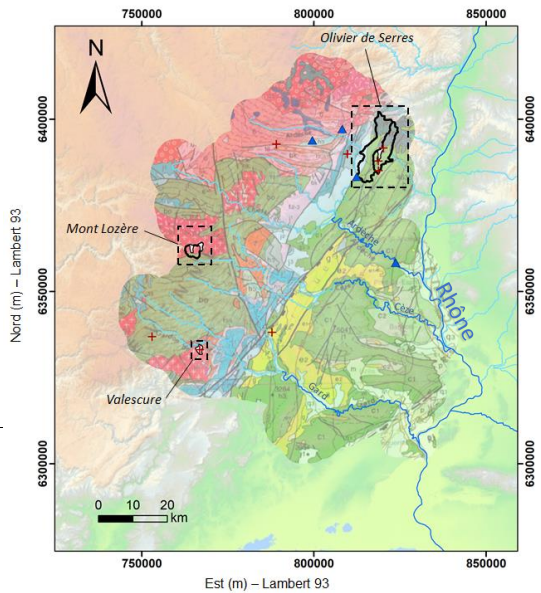
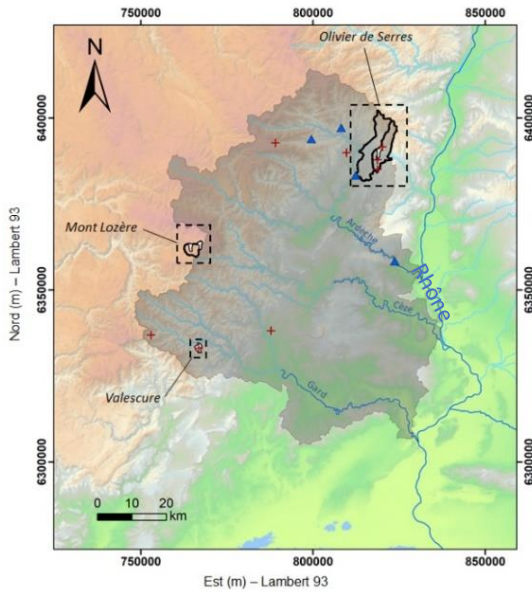
L'OHMCV

Les activités de l'Observatoire Hydrométéorologique Méditerranéen Cévennes-Vivarais (OHMCV) 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 essentiellement 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 à la fois des sources de nutriments et de contaminants vers l'aval. 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) et de gestion de ces phénomènes extrêmes (crues mais aussi sécheresses), d'anticipation de leur évolutions et d'adaptation.

Du point de vue scientifique, ces besoins se traduisent par une nécessité de mieux comprendre comment se font, au cours des événements extrêmes mais également le reste du temps, les transferts d'eau et de matière associée depuis les versants jusqu'aux cours d'eau, puis dans les cours d'eau, d'analyser l'évolution des événements à fort impact dans un contexte de changement global et d'améliorer notre compréhension des comportements humains face à ces événements.

Sites instrumentés de l'OHMCV

Trois ensembles de sites de méso-échelle ($\sim 100 \text{ km}^2$) sont suivis au sein de la région Cévennes-Vivarais. Ils représentent la diversité de cette région en termes de géologie, de climat et d'occupation des sols. Il s'agit (i) des sites des **bassins « Olivier de Serres »** en contexte de piémont du Vivarais (altitude comprise entre 250 et 1000 m) avec une activité agricole importante et une géologie composée de plateaux basaltiques et de coteaux marno-calcaires, (ii) des **sites du « Mont Lozère »** en contexte de plateau de montagne des Cévennes (altitude comprise entre 1150 et 1500 m) avec prairies, tourbières et forêts et une géologie granitique, (iii) des **sites du bassin de Valescure** en contexte de vallées cévenoles incisées et forestières (altitude comprise entre 250 et 800 m) et une géologie principalement granitique. Ces sites ont en commun d'être sous influence méditerranéenne avec de fortes précipitations et des crues soudaines, notamment à l'automne. En complément de ces trois ensembles de sites, des dispositifs de pluie (réseau de disdromètres) et de débit (réseau de stations LSPIV) ont vocation à produire un suivi du type de précipitation à travers un transect altitudinal depuis la plaine jusqu'à la montagne et des débits dans le bassin versant de l'Ardèche. La région d'étude de l'OHMCV comprenant les bassins de l'Ardèche, de la Cèze et des Gardons est par ailleurs commune avec le site atelier « Rivières Cévenoles » de la Zone Atelier Bassin du Rhône (ZABR).



- Légende**
- ⊕ Disdromètre
 - ▲ Station LSPIV
 - Bassin échelle fine
 - Bassin méso-échelle
 - Cours d'eau principal
 - Cours d'eau

Cartes des sites suivis par l'OHMCV avec fond topographique et géologique (BRGM).

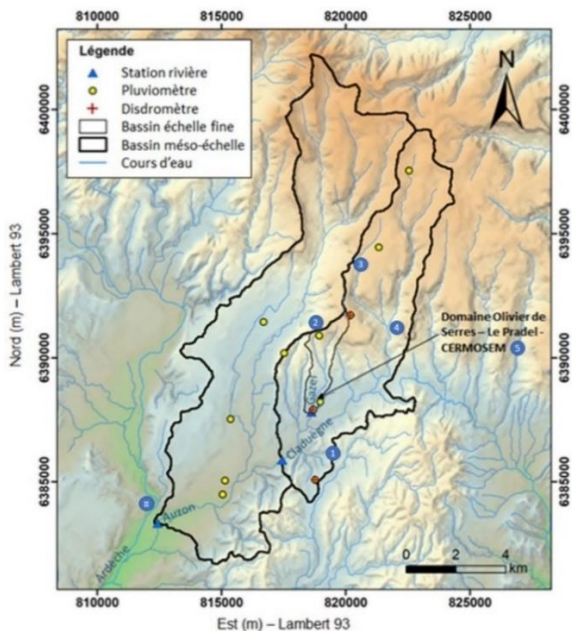
Site instrumenté « Olivier de Serres »

Il s'agit de 3 bassins versants emboîtés du Gazel, de la Claduègne et de l'Auzon (respectivement 3, 43 et 116 km²) dans le département de l'Ardèche, à quelques kilomètres à l'est d'Aubenas. Ces bassins ont une orientation générale nord-sud. L'Auzon est un affluent qui se jette dans l'Ardèche au sud de Vogüé. La région est principalement rurale. Les activités dominantes sont l'agriculture (polyculture et élevage) et le tourisme. Quelques villes de petite taille (100 à 3000 habitants) sont présentes dans la moitié sud de la zone. Le domaine du Pradel, situé au cœur de ces bassins versants, sur la commune de Mirabel, héberge le centre de formation professionnelle et de promotion agricole (CFPPA) Olivier de Serres, la ferme Olivier de Serres et le Cermosem, antenne de l'Université Grenoble Alpes (UGA), rattachée à l'Institut d'Urbanisme et de Géographie Alpine et au laboratoire de recherche PACTE.

Sur le plan historique, il est important de mentionner qu'Olivier de Serres (1539-1619) est né à Villeneuve de Berg et a dirigé la ferme "Le Pradel". Olivier de Serres est souvent qualifié de "père de l'agriculture française". Ce titre est dû à son livre "Le Théâtre d'agriculture et mesnage des champs", publié pour la première fois en 1600, qui est un manuel d'agriculture, lu par des générations d'agriculteurs. Ce livre explique comment organiser leur exploitation, labourer et fertiliser les sols, cultiver le blé et la vigne, détenir un bétail productif, planter des légumes, utiliser les ressources en eau et en bois et transformer et conserver les produits alimentaires.

Ce site « Olivier de Serres » a été initialement instrumenté en 2011 pour comprendre les facteurs et les processus qui conduisent aux phénomènes de crues rapides sous l'effet de pluies intenses. Les projets Floodscale (2012-2015) et HyMeX (2010-2020) ont largement contribué à la stratégie et aux dispositifs d'observation hydrologique multi-échelles mis en place. Les suivis physiques (pluie, sol, rivière, érosion) ont progressivement été complétés par des suivis

géochimiques dans le cadre de l'IR OZCAR et de la ZABR dans le but de comprendre les chemins de l'eau, en particulier la répartition entre écoulements de surface et de sub-surface et d'autre part la partition entre eau nouvelle (< 1 jour), eau jeune (< 1 mois) et eau plus ancienne (> 1 mois). Ces suivis ont permis de monter de nouveaux projets (PHARMA BV, Idesoc, CHYPSTER, BactResist) financés par l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse (AERMC) via la ZABR et l'ANR avec des partenaires d'OZCAR et des ZA pour l'étude des transferts de matière associée à l'eau (particulaire, nutriments, contaminants émergents, microbiologique) depuis les zones de sources diffuses situés sur les versants jusqu'à la rivière. L'objectif est double : comprendre le fonctionnement de la zone critique et répondre à des enjeux de gestion durable des ressources en eau et en sol sur un territoire rural hébergeant des activités variées.



Carte du site des bassins « Olivier de Serres » (Ardèche). Les numéros indiquent le sens de la visite du 09/03/2022

Géologie, sols et topographie

Sur la partie nord des bassins s'étend le plateau du Coiron qui est une vaste table basaltique à l'aspect d'une feuille de chêne posée sur le socle marno-calcaire du Bas Vivarais. La partie sud des bassins est formée de collines de piémont avec un substratum composé de marnes du Crétacé et de calcaires du Jurassique supérieur. Les pentes de versants sont globalement plus fortes sur la partie sédimentaire que sur le plateau du Coiron. La limite nord-sud entre les géologies basaltique et sédimentaire est marquée par une série de falaises abruptes. Une intense activité volcanique entre 7,7 et 6,4 millions d'années BP (début du Pliocène) a produit des coulées de lave empilées et des coulées pyroclastiques qui ont progressivement rempli une ancienne vallée. La morphologie actuelle de la région est le résultat d'une importante érosion quaternaire qui a entaillé les bords des coulées de lave délimitant des digitations étroites séparées par des thalwegs marneux. On observe désormais un relief inversé où la surface actuelle du plateau correspond à l'ancien fond de vallée qui est maintenant surélevé par rapport aux jeunes vallées creusées par les cours d'eau et on peut observer des gorges avec des pentes raides de marnes à l'aspect typique des badlands qui constituent une source d'érosion importante.

Les brunisols se sont développés sur la majorité du plateau du Coiron, avec des propriétés physiques et chimiques homogènes. Les classes granulométriques dominantes de la matrice pédologique sont des argiles à limons avec une charge caillouteuse variable et des profondeurs de sol de 20 cm à 70 cm. La partie sédimentaire est dominée par des calcisols, des rendzines et des régosols avec des profondeurs de sol inférieures à 2 m. Les sols cultivés sont de type limoneux et argilo-limoneux.

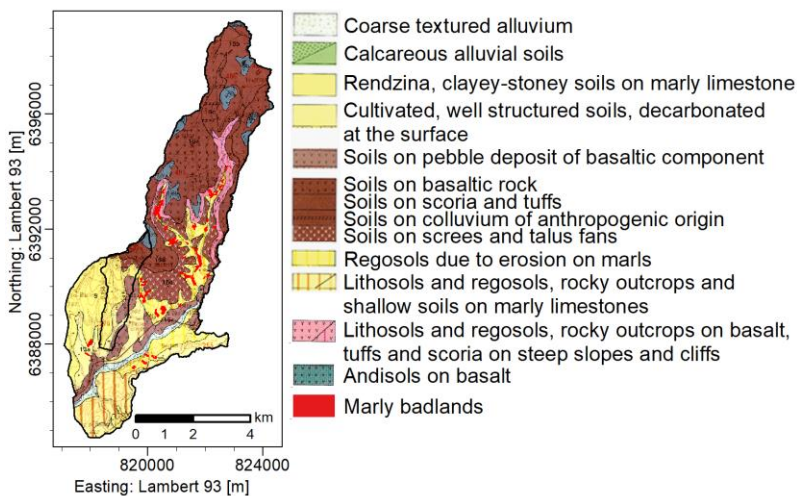


Figure 2.2: Map of the pedology of the Claduègne catchment and the Gazel subcatchment. Source: 1:100 000 soil map from INRA, Nord et al. (2017).

D'après la thèse de M. Uber (2020)

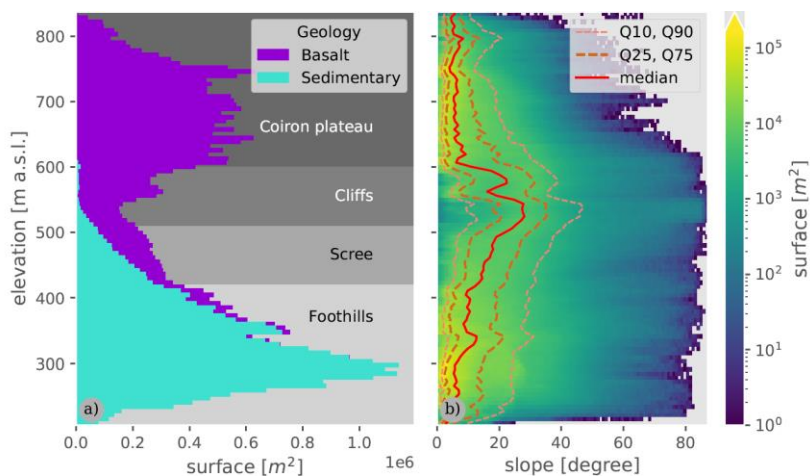


FIGURE 2.12: Topography of the Claduègne catchment: a) elevation histogram, b) evolution of slope distribution with elevation. Note the logarithmic color scale in b).

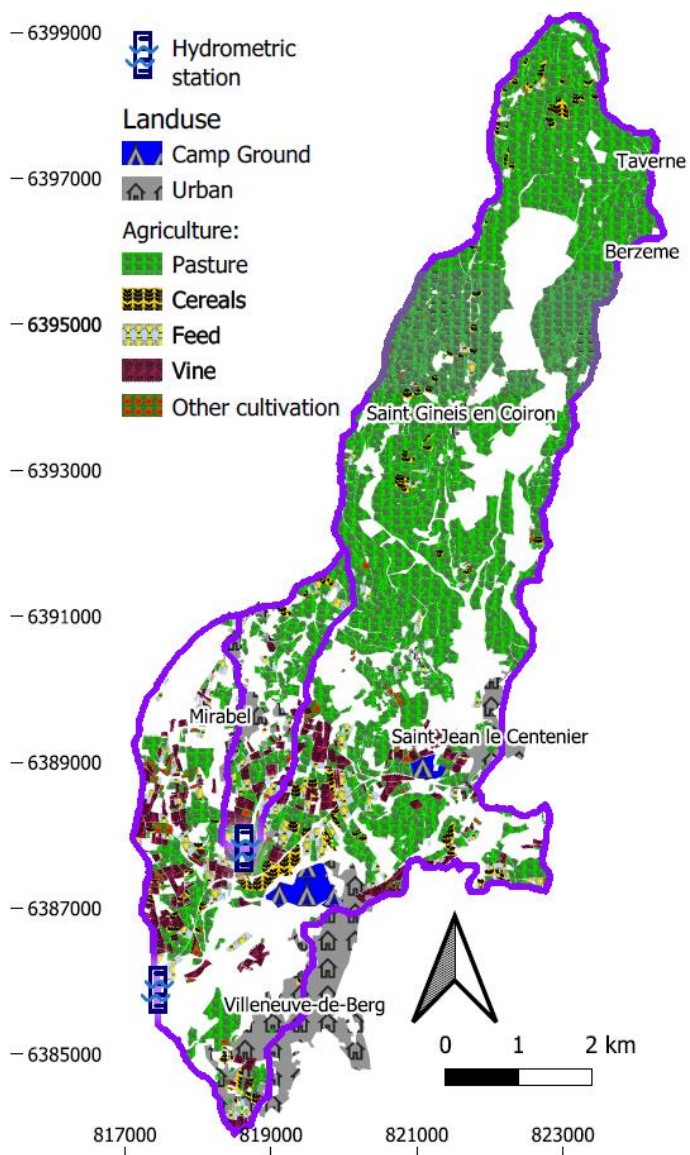


FIGURE 2.3: Land use in the Claduegne catchment. Agriculture is from RPG (IGN, 2021). Coordinates are in Lambert 93 [m], northing on Y, easting on X.

Fig. 2.12 et 2.3 : D'après la thèse de N. Hachgenei (2022)

Occupation des sols

Les bassins versants sont caractérisés par une agriculture extensive et une végétation naturelle. Sur le plateau du Coiron, les prairies permanentes et les pâturages (bovin/ovin) dominent, complétés par des forêts ouvertes et des landes. Quelques parcelles avec culture de céréales sont également présentes là où les sols sont les plus épais. Les chênes, les châtaigniers et la flore arbustive associée se trouvent dans les versants abrupts des gorges et dans les éboulis au pied des falaises basaltiques. Dans la partie sud des bassins versants, la végétation naturelle composée de chênaies pubescentes, de garrigues, de bois ouverts méditerranéens et de prairies sèches se trouve principalement sur les pentes les plus fortes très caillouteuses. Sur les pentes plus douces, cette végétation a été défrichée pour faire place à des prairies de pâture (ovin/caprin/porcin), des vignes et quelques parcelles cultivées en céréales. Des exploitations de volailles sont également présentes sur la zone. La plupart des agriculteurs de la moitié sud des bassins sont en poly-activités (élevage et vigne) et il n'y a quasiment pas d'importation / exportation de fumier hors des bassins. Deux campings sont également implantés dans le sud du bassin de la Claduègne. Enfin la ville la plus importante du secteur est Villeneuve de Berg avec environ 3000 habitants permanents, un hôpital gériatrique et une station d'épuration présente sur le bassin de la Claduègne.

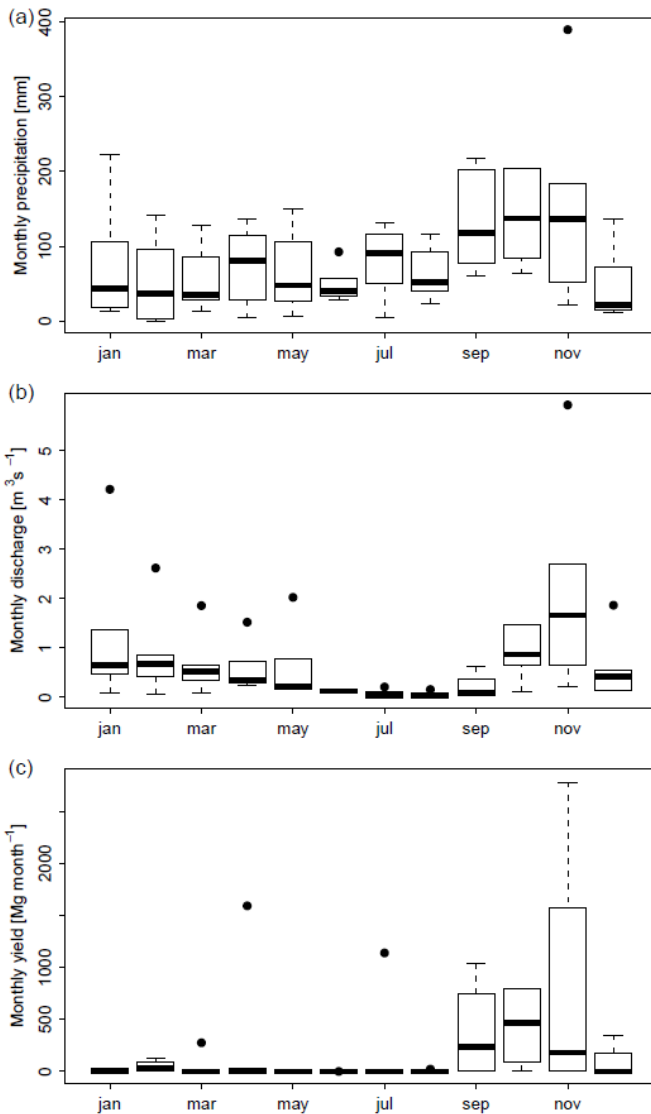
Climat

Le site est soumis à des influences océanique et méditerranéenne. Les précipitations annuelles moyennes dans le bassin versant de l'Auzon sont de l'ordre de 850 – 900 mm. La répartition saisonnière est hétérogène, les précipitations mensuelles les plus élevées se produisant en automne et dans une moindre mesure au printemps. Trois principaux types d'événements pluvieux se produisent dans la

région Cévennes Vivarais, à savoir les précipitations généralisées, la convection localisée et les événements pluvieux cévenols. Les événements pluvieux généralisés sont généralement associés à des systèmes frontaux océaniques qui entraînent des cumuls de précipitation modérée (e.g. 40 – 50 mm) et des intensités de pluie généralement inférieures à 10 mm/h. Les événements convectifs localisés se produisent généralement à la fin de l'été ou en automne, durent quelques heures et peuvent donner des cumuls de précipitation élevée, jusqu'à 200 mm, et des intensités horaires de pluie élevées (e.g. 50 – 100 mm/h). Les événements pluvieux cévenols sont des pluies orographiques, typiques de la région montagneuse des Cévennes qui peuvent donner des intensités horaires élevées (e.g. 10 – 30 mm/h) et des cumuls de précipitation très importante (plusieurs centaines de mm). Ces événements se produisent généralement à la fin de l'été ou en automne, lorsque la mer Méditerranée chaude alimente l'air en humidité et qu'un flux advectif transporte les masses d'air chaud et humide vers le nord. La vallée du Rhône, avec les montagnes du Massif Central à l'ouest et les Préalpes à l'est, agit comme un entonnoir et les masses d'air chaud s'élèvent lorsqu'elles atteignent les pentes des Cévennes. Ces facteurs topographiques et géographiques rendent la région très vulnérable aux extrêmes de précipitation et aux risques hydrologiques associés. La forme allongée des bandes de pluie et la petite taille des cellules des événements de convection localisée peuvent entraîner une grande variabilité spatio-temporelle des précipitations, même à l'échelle de bassins versants de moins de 100 km². En outre, il existe un gradient spatial de précipitations dans la région, les plus fortes intensités horaires étant enregistrées dans les plaines et les plus fortes intensités journalières de pluie dans les montagnes.

Illustration de la page suivante : Dynamique annuelle des précipitations (a), du débit (b) et de l'export de matière en suspension (MES) (c) dans le bassin versant de la Claduègne. Les valeurs sont issues de la période 2011 - 2016. Pour une meilleure visualisation,

deux valeurs aberrantes de la Fig (c) ne sont pas représentées. Elles correspondent aux mois de mai et octobre 2013 où deux événements de crue (18 mai et 23 octobre) ont donné chacun > 10000 Mg d'export de MES. D'après la thèse de M. Uber (2020).



Hydrologie

La plupart des précipitations (environ 40% des précipitations annuelles) se produisent de septembre à novembre. Le débit aux stations hydrométriques suit la saisonnalité des précipitations avec un pic principal à l'automne et un deuxième pic à la fin du printemps. En revanche, la dynamique annuelle de l'export de MES présente un seul pic à l'automne.

Au cours de la période d'observation 2011-2019, un tiers du volume total écoulé à la sortie du bassin de la Claduègne s'est produit pendant les 1,4% du temps où les débits sont les plus élevés. Le Gazel est intermittent, il est régulièrement à sec entre juin et octobre. La Claduègne ne s'est encore jamais asséchée depuis 2010. L'Auzon est intermittent dans sa partie aval du fait de la présence de karst dans le sud-ouest du bassin. Le débit varie de quelques dizaines de l/s à et plus de 200 m³/s dans la Claduègne pour la période de 2011 à 2020.

L'humidité initiale du sol est un facteur déterminant la réponse hydrologique du bassin versant de la Claduègne. Afin de provoquer une forte réponse hydrologique, des précipitations intenses doivent se produire sur des sols humides.



La Claduègne pendant le débit d'étiage (13/09/2015) et pendant une crue éclair le 04/10/2014. Figure extraite de Uber (2020).

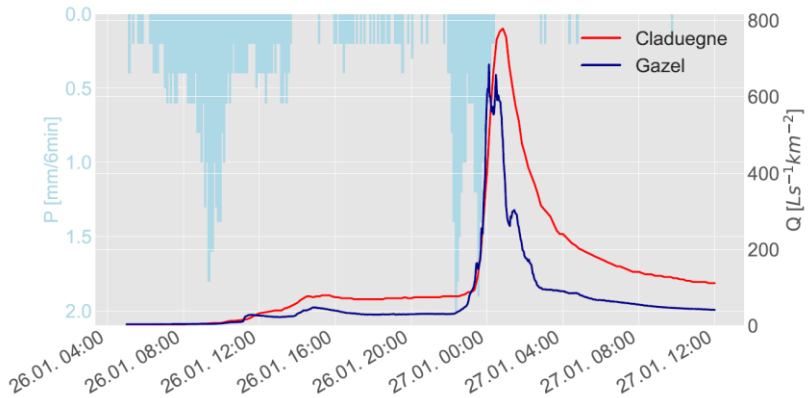


FIGURE 2.8: Example of a flood event in January 2018. Precipitation is from Mirabel station at le Pradel.

D'après la thèse de N. Hachgenei (2022)

Références :

Hachgenei, N. (2022, thèse en préparation) : Water and veterinary pharmaceutical transfer in an agricultural mesoscale catchment prone to flash floods.

Nord, G., Boudevillain, B., Berne, A., Branger, F., Braud, I., Dramais, G., Gérard, S., Le Coz, J., Legoût, C., Molinié, G., Van Baelen, J., Vandervaere, J.-P., Andrieu, J., Aubert, C., Calianno, M., Delrieu, G., Grazioli, J., Hachani, S., Horner, I., Huza, J., Le Boursicaud, R., Raupach, T. H., Teuling, A. J., Uber, M., Vincendon, B., and Wijbrans, A. : A high space-time resolution dataset linking meteorological forcing and hydro-sedimentary response in a mesoscale Mediterranean catchment (Auzon) of the Ardèche region, France, Earth Syst. Sci. Data., 2017.

Uber, M. (2020). Suspended sediment production and transfer in mesoscale catchments : a new approach combining flux monitoring, fingerprinting and distributed numerical modeling. Ph.D. thesis, Université Grenoble Alpes.

Variables mesurées sur les bassins « Olivier de Serres »

Cumuls pluviométriques

Station	Pas de temps d'acquisition / Durée de cumul / Format	Disponibilité
Réseau Hpiconet (21 stations)	1'' / 5 min et 1h / CSV	2011-

Distribution en taille et vitesse des gouttes de pluie

Station	Pas de temps d'acquisition	Disponibilité
Mont-Redon	1'	2012-
Pradel-Vignes	1'	2012-
Villeneuve-de-Berg-1	1'	2012-
Villeneuve-de-Berg-2	1'	2012-
Villeneuve-de-Berg-3	1'	2012-2016

Contours des bassins versants et réseau de drainage

Bassin	Format
Gazel, Claduègne, Auzon	SHP

Modèles numériques de terrain

Bassin	Année, Résolution, Format
Auzon	2012, 5m, ASCII
Claduègne	2012, 1m, ASCII

Profondeur des sols

Bassin	Année, Format
Auzon	SHP

+ Capacité de rétention d'eau du sol, structure du sol, et pierrosité du sol.

Occupation des sols

Bassin(s)	Année, format, résolution
Ardèche	2013, TIF, 30m
Claduègne	2013, TIF, 10m

Campagnes d'infiltration : densité apparente du sol, texture du sol, matière organique, conductivité hydraulique

Bassin	Année, format
Claduègne	2012, CSV

Hauteurs d'eau

Station	Pas de temps d'acquisition	Disponibilité
Gazel	2 min	2011-
Claduègne	10 min	2011-
Claduègne (réseau de limnimètres, 11 stations)	2 min	2012-2015
Auzon (LSPIV)	5 min	2013-2018

Vitesses de surface

Station	Pas de temps d'acquisition	Disponibilité
Claduègne (vitesse de surface)	10 min	2011-

Profils de vitesses

Station	Pas de temps d'acquisition	Disponibilité
Claduègne	10 min	2013-2014

Débits

Station	Pas de temps d'acquisition	Disponibilité
Gazel	2 min	2011-
Claduègne	10 min	2011-
Auzon	5 min	2013-2018

Turbidité [g/l SiO₂]

Station	Pas de temps d'acquisition	Disponibilité
Gazel	2 min	2011-
Claduègne	10 min	2011-

Matières en suspension [g/l]

Station	Pas de temps d'acquisition	Disponibilité
Gazel	20 min pendant les crues	2011-
Claduègne	30 min pendant les crues	2011-

Parcelles de ruissellement et d'érosion

Station	Pas de temps d'acquisition, format	Disponibilité
Le Pradel	1', XLS	2010-2013

Conductivité électrique et température de l'eau

Station	Pas de temps d'acquisition	Disponibilité
Gazel	2 min	2011-
Claduègne	10 min	2011-
Claduègne (réseau de limnimètres, 11 stations)	2 min	2012-2015

Humidité des sols

Bassin	Année, pas de temps, format(s)
Gazel, Claduègne	2013-2014, pas de temps variable, CSV
Gazel	2012, pas de temps variable, SHP, XLS

Présentation du Cermosem (IUGA – Pacte)

Le Cermosem est une antenne de l'Université Grenoble Alpes (UGA), 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'EPLFPA 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.

Les activités du site s'organisent autour de trois grandes fonctions principales : la formation, la recherche et l'animation scientifique.

Le Cermosem accueille sur le Campus rural localisé en Ardèche à Mirabel des étudiants en formation à Bac+3 (Licences professionnelles dans le domaine du tourisme, du patrimoine, de l'environnement et du développement territorial), Bac +5 (Masters dans le domaine du tourisme, de l'ingénierie territoriale, de la transition) et Bac +8 (Doctorats de géographie, aménagement du territoire), ainsi qu'un Diplôme d'Université (DU de cartographie, système d'information géographique, de 112h).

En fonction des diplômes, les formations sont accessibles en formation initiale, continue ou en apprentissage. Elles bénéficient toutes d'un cadre de travail privilégié, d'enseignements variés de qualité, largement liées aux projets de recherche et d'un réseau d'acteurs riches de partenariats et de collaborations.

A titre d'exemple, voici quelques projets de recherche en cours conduits sur le site en 2022 : Ardèche Jeunesse Innovation Ruralité (PIA 411), POPSU Territoires, Puca "[En]quêtes d'images et d'imaginaires pour une petite ville en résilience : Le Teil ", IDESOC et ANR CHYPSTER (voir ci-après), NetRAW project : Network for Rural Active Women Erasmus +, COMESUP, RECREATER, Re-Acteurs, ECOHOMY.

De nombreux événements, colloques, séminaires sont organisés sur le site ce qui en fait un lieu vivant propice aux débats et aux échanges croisés à laquelle toute la communauté universitaire présente est largement associée.

<https://iuga.univ-grenoble-alpes.fr/institut/le-cermosem/>

<https://www.pacte-grenoble.fr/lieu/cermosem>

 **Cermosem**
plateforme du développement territorial

UGA
INSTITUT
URBANISME
GÉOGRAPHIE
ALPINE
Université
Grenoble Alpes

 **Pacte**
Laboratoire de sciences sociales

Approche intégrée biogéochimique, géographique et hydrologique pour déterminer les sources de contaminants sur des bassins versants d'usage mixte

Projet ANR CHYPSTER 2021-2025

M. Coquery¹, C. Duwig², P. Dusseux³, N. Robinet³, F. Branger¹, M. Masson¹, C. Margoum¹, C. Miège¹, G. Nord², B. Cournoyer⁴

¹ INRAE, UR RiverLy, 5 rue de la Doua, CS 20244, F-69625 Villeurbanne

² IRD, IGE, 70 rue de la Physique, F-38058 Grenoble

³ Université Grenoble-Alpes, PACTE - CERMOSEM, Le Pradel, F-07170 Mirabel

⁴ Université Lyon 1 & VetAgro Sup, LEM, F-69280 Marcy L'Etoile.

La présence de nombreux contaminants chimiques et microbiologiques dans les écosystèmes aquatiques peut entraîner une dégradation de l'état écologique des eaux et augmenter l'exposition à ces contaminants. Les bassins versants de méso-échelle (~10-1000 km²) sont particulièrement sensibles à ces contaminations. L'artificialisation croissante des surfaces ainsi que le changement climatique pourraient entraîner une dégradation critique de la qualité de l'eau dans ces bassins. Le projet CHYPSTER vise à définir et tester une nouvelle méthodologie intégrée pour identifier les sources (diffuses/ponctuelles) de contaminants et prédire la contamination des cours d'eau en fonction des conditions hydrologiques, des changements d'occupation des sols et du changement climatique. Cette approche est appliquée sur deux bassins versants de méso-échelle (la Claduègne, [OHMCV](#) et l'Yzeron, [OTHU](#)) **en combinant un diagnostic sur les usages et pratiques, l'analyse et le suivi d'empreintes biogéochimiques, et une modélisation hydrologique distribuée** (Fig. 1 & 2).

En pratique, une méthodologie d'analyse spatiale, combinant géomatique et enquêtes est mise en œuvre afin d'identifier les sources potentielles de contaminants et leur localisation (Fig. 3). Des

outils innovants (échantillonnages ponctuel et intégratif-passif couplés à de l'analyse ciblée et non ciblée, chimique et microbiologique) sont déployés pour caractériser les sources de contaminants et définir des empreintes biogéochimiques spécifiques. Un effort particulier porte sur les **méthodes d'évaluation des sources diffuses**, dont les apports sont encore peu documentés dans ce type de bassin versant d'usage mixte (agriculture diversifiée, urbanisation, tourisme).

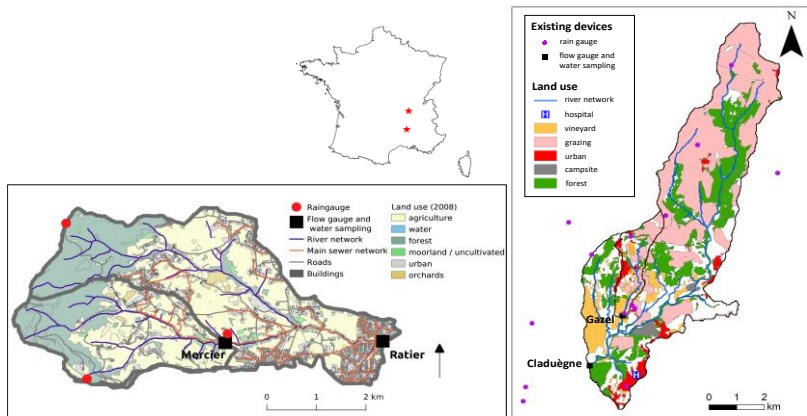


Figure 1. Bassin versant de l'Yzeron (à gauche, plus au nord) et de la Claduègne (à droite, plus au sud) avec les stations de mesure à l'exutoire de deux sous-bassins sur chaque site.

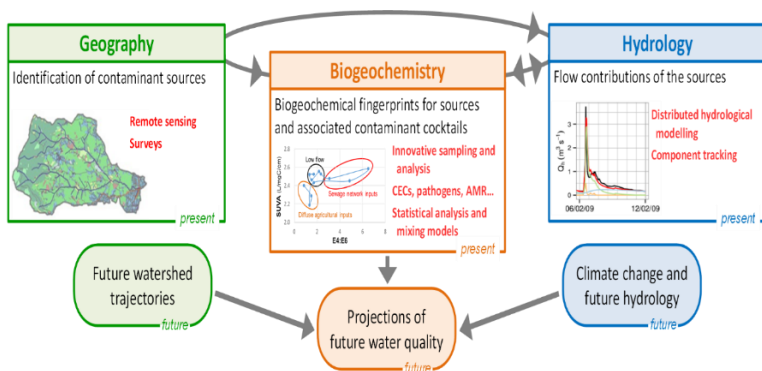


Figure 2. Approche interdisciplinaire pour évaluer les sources de contamination des cours d'eau et prédire la qualité des eaux selon les scénarios futurs

Ces empreintes (ou signatures) seront ensuite combinées avec les flux simulés par un **modèle hydrologique distribué (J2000P)**, déjà déployé sur l'Yzeron). Le modèle sera validé sur des données issues de suivis d'évènements hydrologiques à l'exutoire de sous-bassins emboîtés sur les deux sites d'étude. Il sera ensuite appliqué en projection pour estimer la contribution des sources et prédire les cocktails de contaminants dans la rivière, selon des scénarios représentatifs de différentes trajectoires des bassins versants (climat, occupation du sol, ...) évaluées avec les acteurs socio-économiques locaux.

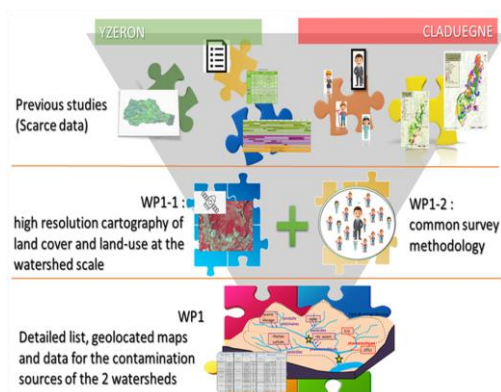


Figure 3. Illustration de l'approche combinée mise en œuvre pour identifier les sources et contaminants associés sur les deux bassins versants étudiés

Ce projet apportera de nouvelles connaissances sur la caractérisation des cocktails chimiques et la contamination microbienne des rivières. Les résultats faciliteront la localisation, l'identification et la quantification des principales sources de contaminants en lien avec les usages des sols dans les bassins versants d'usage mixte (sources multiples) et méso-échelle, afin de définir et d'engager des actions pertinentes pour réduire la pression des contaminants sur les hydrosystèmes et les risques et impacts écologiques associés. Les projections futures de la qualité de l'eau des rivières en fonction de **scénarios de changement d'utilisation et d'occupation des sols** donneront également des clés pour la gestion des eaux et des sols à l'échelle du bassin versant, afin de réduire la contamination.

Ce projet contribuera également au développement d'outils et de marqueurs innovants pour le suivi de la qualité de l'eau qui seront transférables à d'autres laboratoires de recherche, y compris privés. De plus, l'utilisation d'échantillonneurs passifs appelés germcatchers permettra de déduire les relations entre les contaminants chimiques et les taxa bactériens se développant sous forme de biofilms dans les systèmes fluviaux. Ces données apporteront donc de nouvelles informations sur les résistomes qui émergent dans l'environnement, ainsi que sur les recrutements de gènes de résistance aux antimicrobiens ou les enrichissements de taxa bactériens associés.

Le projet CHYPSTER est couplé au projet IDESOC (2021-2022, ZABR-Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse) dont l'objectif est centré sur l'identification et la caractérisation des sources de contaminants par une approche simplifiée et à faible coût. L'objectif est d'optimiser les méthodologies permettant d'identifier les sources de contaminants et leur localisation sur les deux bassins versants étudiés, en combinant des données cartographiques et des enquêtes auprès des utilisateurs socio-économiques. Les données d'enquête sont intégrées aux données géographiques afin d'obtenir une carte des sources potentielles de contamination, en associant la géologie, la couverture des sols et les pratiques. Cette approche inclut la localisation spatiale des sources de contaminants et l'évaluation de leur variabilité temporelle/saisonnalité. Dans ce cadre, des enquêtes ont été menées en 2021 sur les deux sites d'étude (cf. présentation suivante par P. Dusseux et N. Robinet). De plus, les échantillonnages des sources seront effectués selon deux approches principales (eaux/sols) et à plusieurs échelles afin de tester leur opérationnalité et leur pertinence.

Identification et cartographie des sources potentielles de pollutions diffuses en milieu agricole : utilisation combinée d'enquêtes et de données cartographiques

Pauline Dusseux et Nicolas Robinet
Université Grenoble Alpes, Pacte-UMR 5194 CNRS

Les sources de contaminants chimiques vers les cours d'eau sont nombreuses. Si les sources ponctuelles sont assez facilement identifiables, il semble plus difficile d'identifier l'ensemble des sources diffuses de contaminants dans des bassins versants de méso-échelle ($\sim 10-103 \text{ km}^2$) à usage mixte. En complément des méthodologies appliquées par l'AERMC pour quantifier toutes ces sources de contaminants, cette étude propose de développer et de valider une approche simplifiée pour localiser, identifier et caractériser les sources de contamination (urbaine/agricole ; diffuse/ponctuelle ; apports des nappes/sols, ...) qui contribuent majoritairement à la dégradation de l'état des eaux.

Une meilleure connaissance de la nature des principaux contaminants chimiques rencontrés dans les bassins versants ainsi que de leur type de sources, localisation et du rôle de ces différents facteurs dans leur devenir permettra de mieux comprendre leur dissémination à grande échelle et, à terme, de contribuer à limiter l'émission et la diffusion de ces contaminants vers les milieux naturels et/ou de proposer des stratégies de mitigation adaptées.

Pour cela, une approche intégrée originale est développée à partir de données socio-économiques (enquêtes de terrain et cartographie d'usage des sols) couplées à des mesures chimiques et

microbiologiques réalisées à l'échelle du bassin versant de la Claduègne. Ce dernier présentant une diversité des types d'occupation et d'usage des sols.

Plus spécifiquement, nous cherchons ici à identifier et localiser des sources potentielles de contaminants afin d'orienter la localisation des prélèvements dans les cours d'eau pour les analyses chimiques et microbiologiques. Des enquêtes ont été menées auprès d'acteurs du territoire afin d'identifier les pratiques et modes de gestion à l'échelle du bassin versant puis des cartographies d'occupation et d'usage des sols sont produites à partir de données de télédétection et de base de données diverses.

Ces travaux sont réalisés dans le cadre du projet (1) ZABR-agence de l'eau IDESOC « identification et caractérisation des sources de contaminants dans des bassins versants d'usage mixtes : approche intégrée » et (2) ANR CHYPSTER « Integrated biogeochemical, geographical and hydrological approaches to track sources of contaminants in mixed land-use watersheds ».



Projet IDESOC
« Identification et caractérisation des sources de contaminants dans des bassins versants d'usage mixte : approche intégrée »

ZABR

ZONE ATLAS BASSIN DU BRASSE
FRANCE BASIN LIAISON TERRITORY ENVIRONMENTAL RESEARCH

Projet ANR CHYPSTER
« Integrated biogeochemical, geographical and hydrological approaches to track sources of contaminants in mixed land-use watersheds »

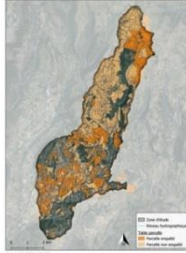


Mise en place de la grille
d'entretien semi-directif

Prise de contact et réalisation
des entretiens

Retranscription, synthèse et
spatialisation des informations

Répartition spatiale des parcelles enquêtées



- 28 exploitants enquêtés
- 40% de la surface agricole du bassin versant
- 25% de la surface totale du bassin versant

COLLECTE DE DONNÉES PAR ENTRETIEN

1

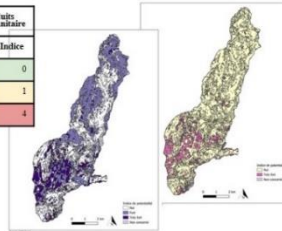
IDENTIFICATION ET
DES SOURCES DE

SPATIALISATION DES SOURCES

4

Pourcentage de pollution et indice associé

	Engrais		Fumier		Produits phytosanitaires	
	%	Indice	%	Indice	%	Indice
Prairie	40	2	85	3	0	0
Céréale	85	4	75	4	20	1
Vigne	85	4	50	2	100	4



Compilation des différentes
sources d'information

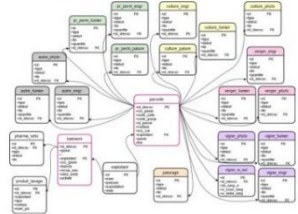
Création d'indices de
pollution

Spatialisation et cartographie
des indices - analyse spatiale

Identification et localisation des
sources pour les prélèvements

- Création d'une base de données PostgreSQL
- Synthèse et organisation des informations récoltées
- Mise à disposition de requêtes SQL

Schéma relationnel de la base de données



2

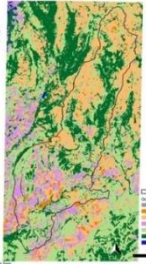
BASE DE DONNÉES SPATIALISÉE



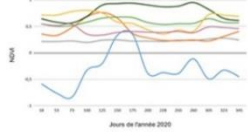
3

TÉLÉDÉTECTION ET CARTOGRAPHIE

Carte d'occupation des sols pour l'année 2020



Profils temporels des différentes classes d'occupation des sols



- Téléchargement d'images satellites Sentinel-2
- Création d'indices et analyse des séries temporelles
- Classification des données
- Production de cartes d'occupation et d'usage des sols

La sonde pCO₂ : un outil qui devrait permettre (i) de tracer des eaux souterraines en phase de crue et (ii) de corriger la part précipitée de carbonates dans les préleveurs ouverts à l'atmosphère

Projet déposé dans les thèmes transversaux OZCAR 2021/22

**L. Spadini¹, S. Binet², G. Nord¹, C. Legout¹, J.M.F. Martins¹, N. Hachgenei¹,
C. Duwig¹, M.-C. Pierret³, S. Cotel³**

¹ Institut des Géosciences de l'Environnement (IGE) - UMR5001, CNRS, INP, IRD, et Université Grenoble-Alpes UGA.

² Institut des Sciences de la Terre d'Orléans (ISTO) - UMR 6113 - CNRS, BRGM et Université d'Orléans,

³ Laboratoire d'Hydrologie et Géochimie de Strasbourg (LHyGeS) UMR 7517 -CNRS, ENGEEES et Université de Strasbourg Uds .

Une problématique récurrente des observations en rivières est la quantification des parts d'eaux respectivement souterraines et météoriques contribuant au débit. La 2ème contribution est notoirement faible versus plus importante entre étiage et crue. La pression partielle en CO₂ (pCO₂) des sols et eaux souterraines, et aussi des eaux de surface est d'un à deux ordres de grandeur supérieure à celle de l'atmosphère (pCO₂ = 10^{-3.5} atm). Cet état de fait représente en soi une potentialité de traçage pour la reconnaissance des fractions d'eaux souterraine et surfacique via le suivi à haute fréquence par des capteurs de la pCO₂ des eaux des rivières.

Une deuxième problématique récurrente rencontrée sur les sites sédimentaires concerne les processus de dégazage affectant les eaux récoltées par des préleveurs automatiques, sachant que les préleveurs 'classiques' ne permettent pas une fermeture hermétique instantanée des échantillons après prélèvement. Une semaine, voire plus, peut s'écouler entre prélèvement et récupération de l'échantillon par une personne physique, soit un temps largement suffisant pour permettre un dégazage de CO₂, i.e. la mise à l'équilibre au moins partiel de la pCO₂ des eaux souterraines prélevées à celle

atmosphérique. Ce dégazage signifie évaporation de l'acide carbonique, signifiant à son tour montée du pH et surtout chute de la solubilité de la calcite et donc précipitation de la calcite durant le 'lag time'.

Il en résulte que, potentiellement, les analyses effectuées sur des échantillons prélevés avec 'lag time' dans des bassins sédimentaires à caractère incrustant ne représentent pas la composition de l'eau à l'instant du prélèvement. Pour exemple, dans les eaux très incrustantes du Galabre suivies dans l'observatoire Draix-Bléone, les capteurs de conductivité ou de turbidité dérivent après une à deux semaines du fait de la précipitation sur ces capteurs d'une couche bien visible de calcite.

Il devrait être possible de 'remonter' à la composition initiale de l'eau à l'instant du prélèvement en combinant la conductivité suivie en continu in situ aux analyses des majeurs effectuées plus tard, donc après perte d'une part des carbonates par précipitation. Les eaux des réservoirs souterraines sont à l'équilibre solide-solution, du fait de la cinétique de dissolution plutôt rapide des carbonates. Dans ces conditions, connaissant $[Ca^{++}]$ et la pCO_2 il est possible de calculer le pH et $[HCO_3^-]$ (et $[CO_3^{2-}]$) sachant qu'il y a, pour la part précipitée de calcite dans les prélèvements, équivalence entre la charge des cations bivalents Ca+Mg et la charge bicarbonatée précipitée. On détermine la part $[Ca^{++}]$ et $[HCO_3^-]$ précipitée en comparant les enregistrements de la conductivité en continu in situ aux mesures IC.

Le projet propose de déployer une (ou plusieurs) sondes pCO_2 sur plusieurs sites SNO sédimentaires (Karst, Claduègne, Galabre evtl. Auradé) et un site de référence 'cristallin', non incrustant (Strengbach) pour vérifier les deux points énoncés, c'est-à-dire l'utilisation de la pCO_2 en tant que traceur des eaux souterraines, et son utilisation comme outil 'correcteur' de la problématique de précipitation de la calcite dans les prélèvements à long 'lag time'.

Modélisation de l'âge de l'eau dans la Claduègne

N. Hachgenei¹, G. Nord¹, L. Spadini¹, C. Duwig¹

¹ IGE, Univ. Grenoble Alpes, CNRS, IRD, Grenoble INP, Grenoble, 38000, France

L'estimation du temps que met l'eau pour rejoindre une rivière depuis le moment où elle a été précipitée à la surface du sol est une partie essentielle de la compréhension du fonctionnement hydrologique d'un bassin versant et a également des implications pratiques. Dans le cas de contaminants disséminés de façon diffuse à la surface des sols (via l'élevage par exemple) qui ont une forte aptitude à s'adsorber aux particules du sol, l'écoulement préférentiel rapide des eaux de pluie de l'événement jusqu'au cours d'eau peut être la seule voie d'entrée significative dans ce dernier. C'est potentiellement le cas de certains produits pharmaceutiques vétérinaires utilisés actuellement de façon systématique dans le bas Vivarais et qui sont hautement toxiques pour les invertébrés aquatiques et les poissons. Afin de comprendre le risque de ces contaminants d'atteindre les masses d'eau de surface, un modèle de suivi de l'âge de l'eau a été développé à l'échelle du bassin versant de la Claduègne. Ce modèle a été utilisé pour estimer l'âge de l'eau correspondant à des mécanismes de transferts relativement rapides des eaux de pluie vers les rivières via les sols. Le modèle a une résolution temporelle de 1h et est calibré par rapport au débit, à la concentration en silice et au rapport isotopique du deutérium dans l'eau de rivière à l'exutoire du bassin versant de la Claduègne. La figure 1 montre la relation entre la fraction d'eau nouvelle (nwf ; < 1 jour) et le débit ainsi que la fraction d'eau jeune (ywf ; < 30 jours) et le débit pour différents régimes de débit.

Les résultats de modélisation révèlent une contribution pouvant aller jusqu'à 60% d'eau nouvelle (qualifiable d'eau événementielle) dans l'eau de la rivière pendant les événements de crue. Les plus fortes contributions d'eau événementielle au débit de la rivière se produisent pendant les événements de crue les plus forts, causés par de fortes précipitations sur sol humide. Cependant les contributions d'eau événementielle lors des fortes précipitations sur sol sec peuvent être sous-estimées en raison de la conceptualisation du modèle. La figure 2 montre l'évolution dans le temps de la répartition des débits pour différents âges de l'eau au cours de la période d'observation et de deux événements de crue.

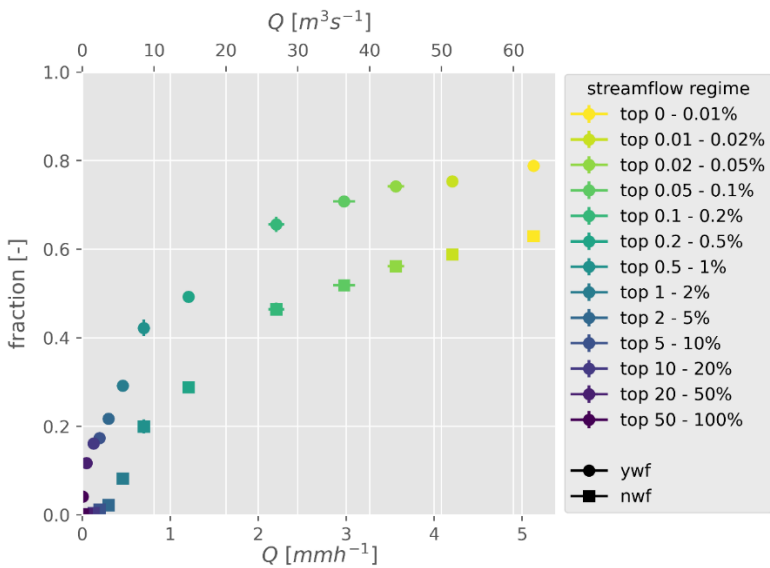


Figure 1: Relation between new water fraction (nwf; < 1 day) and discharge as well as young water fraction (ywf; < 30 days) and discharge for different streamflow regimes. Figure inspired by Gallart et al. (2020).

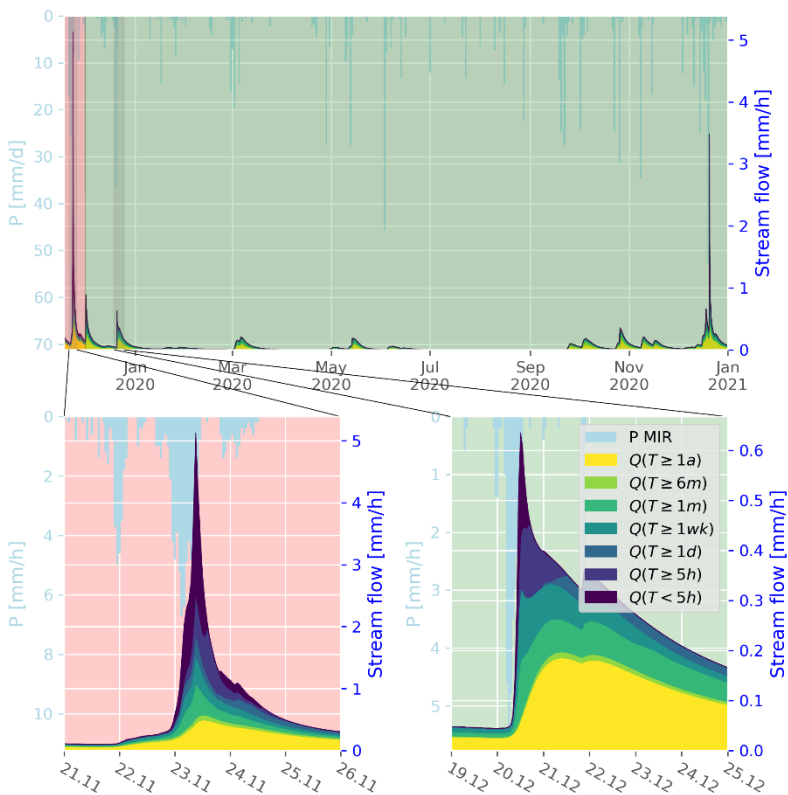


Figure 2: Modeled evolution of discharge of water of different ages over the observation period and two flood events. The green background indicates the calibration period.

References:

Gallart, F., Valiente, M., Llorens, P., Cayuela, C., Sprenger, M., & Latron, J. (2020). Investigating young water fractions in a small Mediterranean mountain catchment: Both precipitation forcing and sampling frequency matter. *Hydrol. Process.*, *34*(17), 3618–3634. <https://doi.org/10.1002/hyp.13806>

Un dispositif pour simuler l'écoulement en surface et à travers des monolithes de sol intacts et le transfert de produits vétérinaires

**N. Hachgenei¹, G. Nord¹, L. Spadini¹, H. Mora¹, F. Courvoisier¹, J.F. Sutra²,
J.P. Vandervaere¹, C. Legout¹, M.C. Morel¹, J. Martins¹, A. Lespine², C.
Duwig¹**

¹ IGE, Univ. Grenoble Alpes, CNRS, IRD, Grenoble INP, Grenoble, 38000, France

² INTHERES, INRAE, ENVT, Univ.de Toulouse, Cedex3, Toulouse, 31076, France

La thèse de Nico Hachgenei (Hachgenei, 2022) porte sur le transfert de produits vétérinaires dans le bassin versant de la Claduègne sous climat méditerranéen. Ce climat est caractérisé par des événements de précipitation intense et des longues périodes sèches, qui ont pour conséquence des épisodes de crues éclair ainsi que des débits intermittents. Ces conditions hydrologiques affectent la mobilité des contaminants dans les environnements terrestres et aquatiques. Un dispositif a été conçu afin de pouvoir simuler le transfert d'eau et de contaminants dans des monolithes de sol intacts (0.4 m³) en conditions contrôlées en laboratoire (Hachgenei et al., 2022). Le sol est extrait in situ sans machinerie lourde et inséré dans une boîte en acier inoxydable.

Le dispositif (Figure 1) permet l'application de précipitations artificielles, la quantification des flux d'eaux drainée et ruisselée ainsi que la collecte d'échantillons avec une résolution temporelle fine. Les expériences ont été menées sur les deux types de sol principaux du bassin de la Claduègne, avec en sa surface une bouse de vache contaminée à l'ivermectine (IVM) à des concentrations « naturelles ».

La Figure 2 montre un exemple de courbes de sortie pour les flux d'eau et les concentrations. Les résultats de la thèse montrent que le risque maximal de contamination des sols et des cours d'eau intervient lorsque la pluie se produit directement après l'application de la bouse de vache contaminée. Le risque est réduit lorsque la pluie arrive une semaine ou plus après l'application. La concentration en IVM est réduite par infiltration et drainage, surtout sur les sols sédimentaires. Le ruissellement de surface mobilise plus d'IVM de la bouse que la pluie seule.

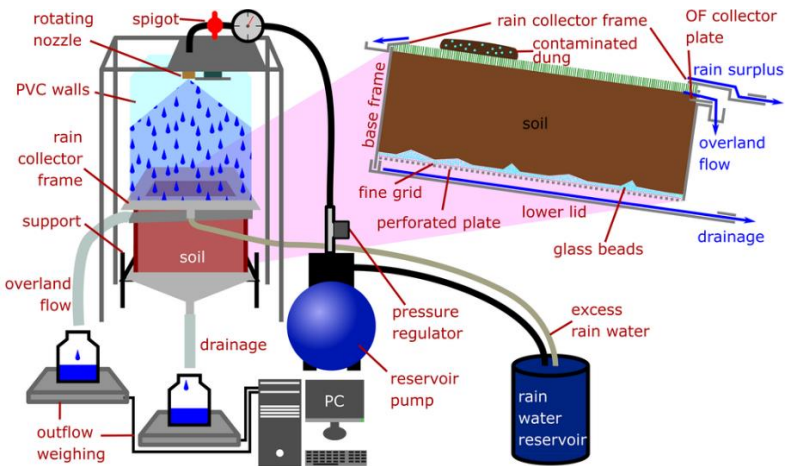


Figure 1 : Schéma illustrant le dispositif de simulation de pluie et une coupe 2D de la boîte d'échantillonnage.

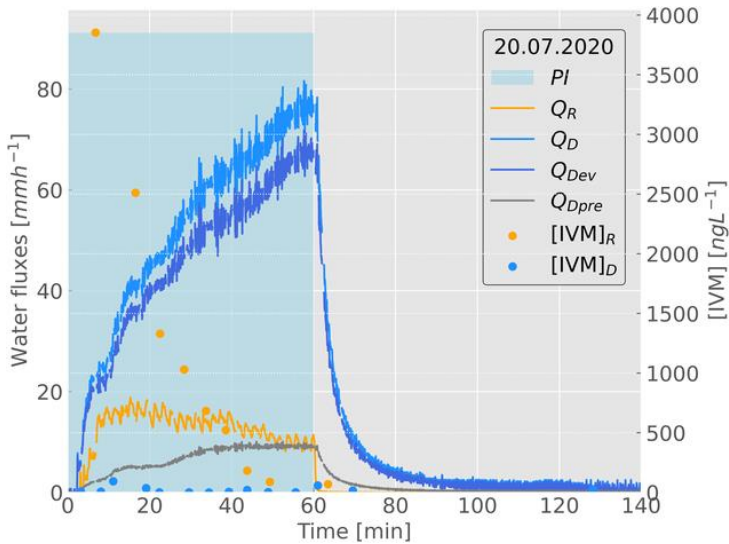


Figure 2 : Exemple de courbes de sortie. PI : intensité de pluie ; Q_D : débit de drainage ; Q_{Dev} : débit d'eau évènementielle dans le drainage ; Q_{Dpre} : débit d'eau pre-évènementiel dans le drainage ; QR : débit de ruissellement ; concentrations en IVM dans le ruissellement (points orange) et dans le drainage (points bleus).

Références :

Hachgenei, N. (2022, thèse en preparation) : Water and veterinary pharmaceutical transfer in an agricultural mesoscale catchment prone to flash floods.

Hachgenei, N., Nord, G., Spadini, L., Mora, H., Courvoisier, F., Sutra, J.F., Vandervaere, J.-P., Legout, C., Morel, M.C., Martins, J.M.F., Lespine, A., Duwig, C., 2022. A device to simulate contaminant transfer and surface and subsurface flow through intact soil monoliths. *Vadose Zone Journal*, DOI: 10.1002/(ISSN)1539-1663

Hachgenei, N. 2022. Water and veterinary pharmaceutical transfer in an agricultural mesoscale catchment prone to flash floods. Thèse de doctorat, Univ. Grenoble Alpes. 30/03/2022.

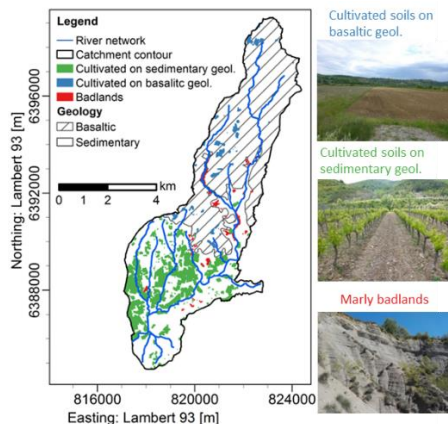
Origine et redistribution spatio-temporelle des matières en suspension dans les bassins versants : approche combinant observation des flux, traçage et modélisation distribuée

M. Uber¹, C. Legout¹, G. Nord¹

¹ IGE, Univ. Grenoble Alpes, CNRS, IRD, Grenoble INP, Grenoble, 38000, France

Comprendre la dynamique de l'érosion hydrique au sein de la zone critique implique de s'intéresser à la fois à la variabilité temporelle des flux de matières en suspension (MES) aux exutoires des bassins versants et à l'origine spatiale de ces MES. Dans les bassins versants de taille moyenne (10-100 km²) qui correspondent aux échelles d'intérêt pour proposer des stratégies d'aménagement et de mitigation des effets liés à l'érosion des sols, les zones sources de MES peuvent être multiples, localisées dans différentes entités pédo-géologiques et être connectées à des degrés divers au réseau hydrographique. Elles peuvent par ailleurs s'activer à différents moments au cours des épisodes en fonction de la localisation des pluies.

(a)



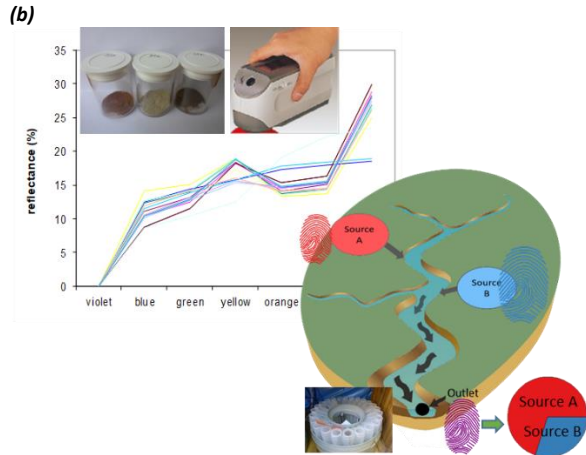
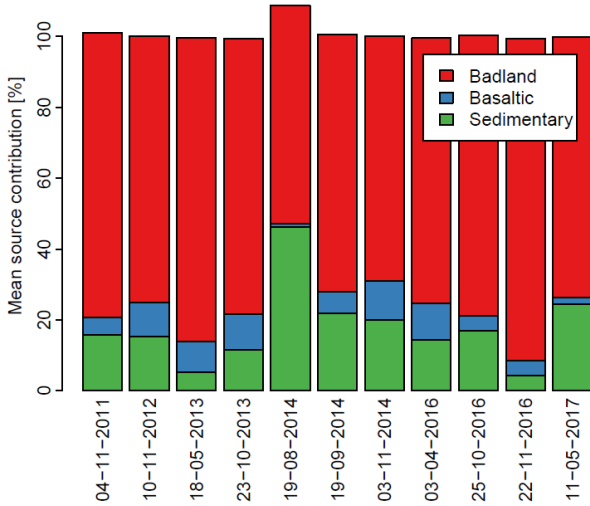


Figure 1 : (a) Présentation du bassin de la Cladugne et des trois zones sources principales de MES. (b) Présentation de l'approche de traçage sédimentaire adoptée (Uber et al).

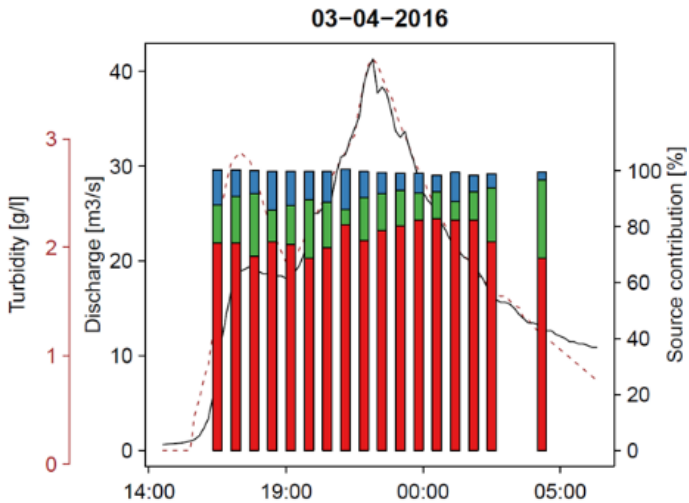
Le travail de thèse de M. Uber s'est focalisé dans un premier temps sur la localisation des zones actives en érosion dans le bassin versant de la Cladugne (43 km², Fig 1a) et l'évolution au cours du temps des contributions des différentes zones au flux de MES mesuré à l'exutoire. Plusieurs approches de traçage low-cost ont été testées, que ce soit en termes de mesures réalisées sur les sols source et les MES (spectroscopie de réflectance diffuse, XRF, susceptibilité magnétique) ou de modèles de mélange, pour évaluer la sensibilité des contributions de sources à ces choix méthodologiques (Fig 1b). Les principales sources de MES identifiées sont les zones de badlands marneux (Fig 2a). La comparaison des traceurs et des modèles de mélange a montré que les choix méthodologiques génèrent des différences importantes, qui amènent à recommander une approche d'ensemble multi-traceurs-multi-modèle pour obtenir des estimations plus robustes. L'application de cette approche à un grand nombre d'échantillons de MES a mis en évidence que certains évènements de crue sont caractérisés par une relative stabilité des

contributions des différentes sources de MES (Fig 2b) alors que d'autres épisodes présentent une forte variabilité intra-événementielle des contributions des sources de MES.

(a)



(b)



(c)

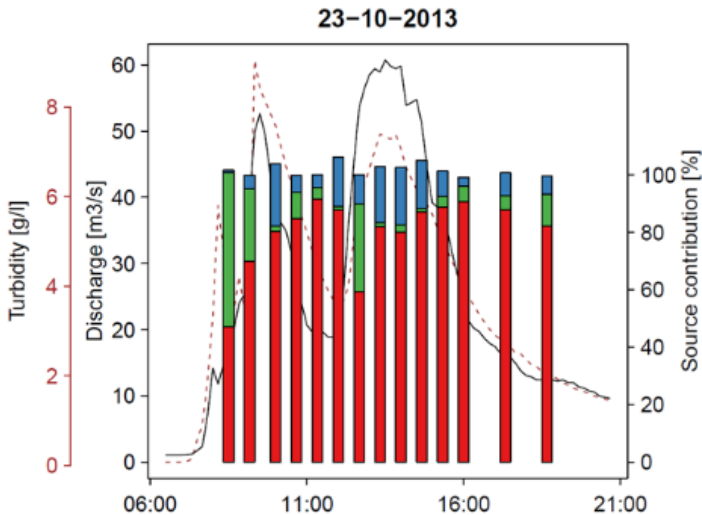
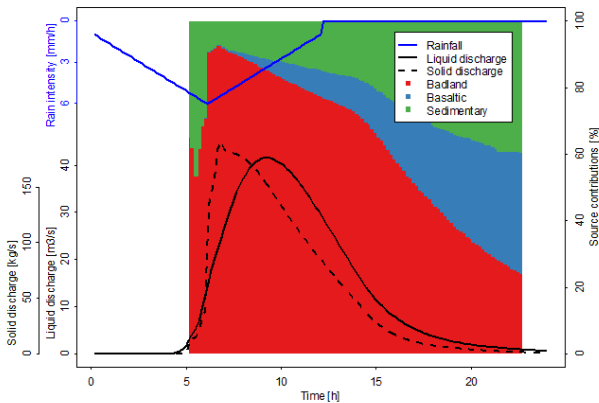


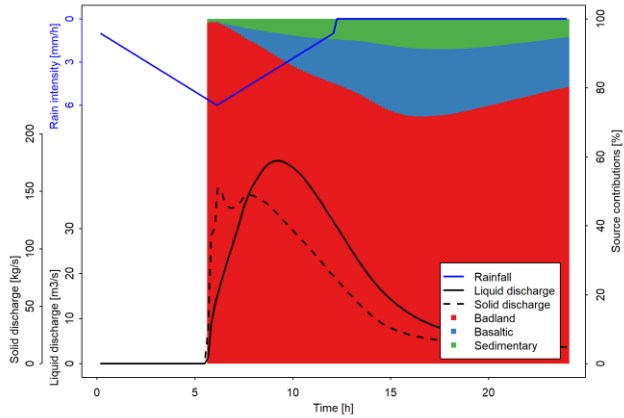
Figure 2 : (a) Contribution moyenne des trois zones sources aux flux totaux de MES transportés à l'exutoire du bassin de la Claduègne au cours de 11 évènements de 2011 à 2017. (b) et (c) présentent des évènements avec une faible et forte variabilité temporelle des contributions des zones sources au flux total de MES (Uber et al., 2019).

L'objectif de la deuxième partie de la thèse a donc été de mieux comprendre les causes de cette (non)-variabilité. Le concept de connectivité hydrosédimentaire a été testé en posant l'hypothèse que cette variabilité résultait de distributions des temps de transfert des MES très variables contrôlées par i) les caractéristiques inhérentes aux bassins versants comme la localisation des différentes sources de MES et la façon dont elles sont liées à l'exutoire (i.e. connectivité structurelle) et ii) les caractéristiques spatio-temporelles des évènements pluvieux qui activent les zones sources et impactent les vitesses de transfert (i.e. connectivité fonctionnelle). Le modèle numérique distribué Iber basé sur la résolution des équations de Saint Venant couplé à un module d'érosion multi-sources de MES a été utilisé pour évaluer les rôles respectifs des connectivités structurelle

et fonctionnelle. L'analyse de sensibilité aux choix de discrétisation et de paramétrisation (i.e. seuil d'aire drainée pour distinguer la rivière des versants, valeurs de coefficients de frottement sur les versants et la rivière) a montré que la localisation des sources de MES dans le bassin versant et la façon de discrétiser dans le modèle étaient plus importants que les choix de valeurs de paramètres de modélisation à condition que les paramètres soient dans une gamme réaliste et limitée (Uber et al., 2021). Un schéma général de réponse temporelle du bassin versant par type de sources a été observé, cohérent avec les résultats de l'approche de traçage et la distribution des distances des sources à la rivière et à l'exutoire (Fig 3a). Ce même schéma persiste pour différentes durées ou intensités des précipitations mais devient beaucoup plus variable lorsque des hyétogrammes bimodaux ou des précipitations variables dans l'espace sont appliquées. En outre, la localisation de la pluie par rapport aux sources détermine les contributions moyennes des sources et donc les différences entre les événements de pluie (Fig 3b). Les deux approches de traçage des MES et de modélisation numérique se sont avérées complémentaires et leur application combinée présente un fort potentiel pour comprendre comment les interactions entre connectivité structurelle et fonctionnelle contrôlent la dynamique des flux de MES aux exutoires de bassins versants de méso-échelle.



(a)



(b)

Figure 3 : Hydrogrammes, sédigrammes et contributions des zones sources simulées avec le modèle Iber pour un hyétogramme de pluie triangulaire (a) homogène spatialement sur l'ensemble du bassin versant de la Claduègne ou (b) réparti selon un gradient spatial Nord Sud (Uber et al., 2020).

Références :

Uber, M., Legout, C., Nord, G., Crouzet, Ch., Demory, F. et Poulenc, J. 2019. Comparing alternative tracing measurements and mixing models to fingerprint suspended sediment sources in a meso-scale Mediterranean catchment. *Journal of Soils and Sediments* 19, 3255–3273. <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02270-1>.

Uber M. 2020. Origine et redistribution spatio-temporelle des matières en suspension dans les bassins versants : approche combinant observations des flux, traçage et modélisation distribuée. Thèse de docteur de l'Université Grenoble Alpes.

Uber, M., Nord, G., Legout, C. and Cea, L. 2021. How do modeling choices and erosion zone locations impact the representation of connectivity and the dynamics of suspended sediments in a multi-source soil erosion model? *Earth Surface Dynamics* 9, 123–144. <https://doi.org/10.5194/esurf-9-123-2021>.

Origine et devenir des contaminants PHARMAceutiques dans les Bassins Versants agricoles : cas de la Claduègne (Ardèche).

PHARMA-BV. 2017-2019. Action 155837 Accord cadre Agence de l'Eau-ZABR

J. Martins¹, G. Nord¹, C. Duwig¹, C. Legout¹, M.-C. Morel¹, L. Spadini¹, N. Hachgenei¹, J. Némery¹, P. Mao², N. Robinet², C. Margoum³, C. Miège³, A. Daval³, B. Mathon³, L. Liger³ et M. Coquery³.

¹ Institut des Géosciences de l'Environnement - HyDRIMZ, IGE UMR5001, CNRS, Grenoble INP, IRD, et UGA, 70 rue de la Physique. CS 40 700. F-38058 Grenoble

² IUGA – CERMOSEM, UGA, CNRS Pacte, 1064 chemin du Pradel. F-07170 Mirabel.

³ UR RiverLy – LAMA, INRAE. 5 rue de la Doua, CS 20244. F-69625 Villeurbanne.

La présence généralisée des produits pharmaceutiques, et en particulier des antibiotiques, dans les milieux naturels est aujourd'hui avérée, notamment en lien avec l'accroissement des sources ponctuelles et diffuses de ces produits, et à l'amélioration des performances analytiques. Malgré ce contexte, la compréhension des processus contrôlant le devenir de ces produits dans les sols et les eaux de surface est aujourd'hui largement insuffisante en raison de la complexité et du manque de connaissances des mécanismes potentiellement impliqués (bio- ou photo-dégradation, réactivité, rôle des chemins de l'eau et des sédiments, temps de résidence dans le bassin versant...).

PHARMA BV visait à évaluer l'état de contamination en produits pharmaceutiques et leurs sources sur le bassin versant rural de la Claduègne (42km²) sujet à divers types d'occupation des sols et diverses sources de pollutions ponctuelles et diffuses, et à une hydrologie spécifique sous climat méditerranéen. Trois approches complémentaires ont été développées : **1/** des enquêtes de terrain

auprès des utilisateurs locaux pour dresser une liste de molécules «cibles» spatialisée sur le bassin (vulnérabilité des terrains), **2/** des suivis de contaminants pharmaceutiques pour confronter les usages annoncés à la réalité des concentrations mesurées dans les eaux de surface (ciblées sur 10 antibiotiques et 10 sites représentatifs), couplés à des suivis hydro-chimiques des ions majeurs et **3/** des essais de laboratoire pour évaluer la mobilité de pharmaceutiques modèles dans les sols et eaux de surface de ce BV.

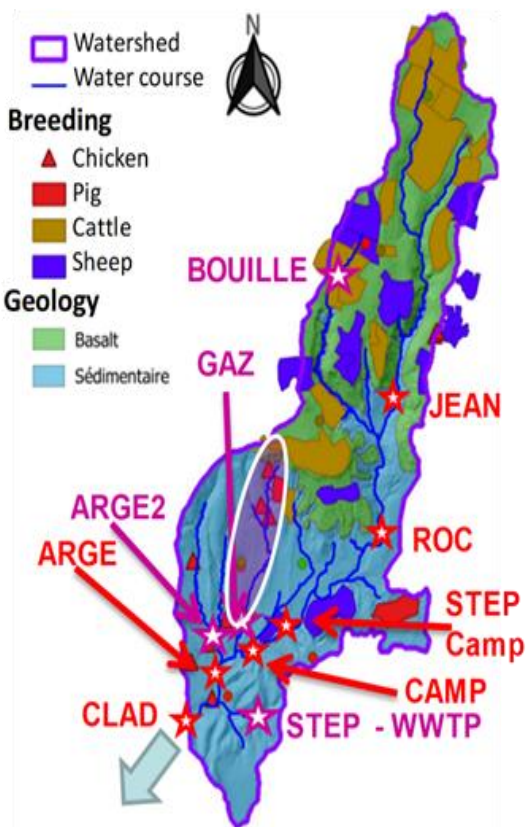


Figure 1. Localisation des sites de prélèvement d'eaux de surface sur le bassin versant de la Claduègne (Ardèche). Les échantillons ont été prélevés directement dans le cours d'eau de la Claduègne (étoiles rouges) ou dans des affluents (étoiles violettes)

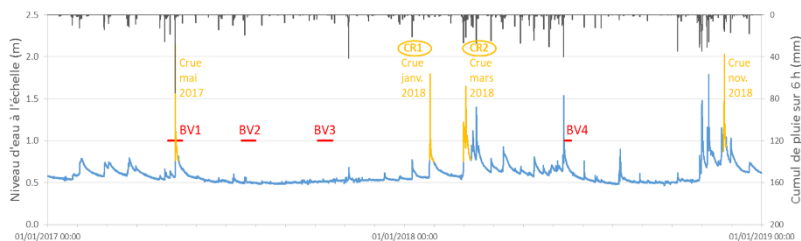


Figure 2. Positionnement sur l'hydrogramme des campagnes de prélèvements (BV1-BV4 et CR1-CR2) (exutoire) sur la période de suivi du BV (5/2017 – 11/2018). Les échantillonnages pour analyse des pharmaceutiques sont indiqués en rouge et jaune.

En comparaison avec des bassins versants urbanisés, le niveau de contamination du BV est très faible et dominé par l'influence de sources bien connues comme les rejets d'eaux usées. Ainsi, la Figure 3 montre le gradient spatial de contamination en antibiotiques du BV et permet d'illustrer l'impact des rejets de 2 stations d'épuration sur le milieu (dominés par la Clindamycine). Les niveaux de contamination dans les rejets de la station d'épuration sont 50 fois plus élevés que ceux de la station à l'aval du camping. On ne retrouve que des traces de quelques antibiotiques en amont des rejets ponctuels des stations d'épuration. Ces antibiotiques sont utilisés pour des usages humains et vétérinaires et signent donc sans doute de faibles rejets diffus d'origine agricole ou domestique.

Le principal intérêt opérationnel du projet PHARMA-BV était de proposer une méthodologie transposable, couplant enquêtes, suivis hydrologiques et de micropolluants pour établir un état des lieux de la contamination en polluants pharmaceutiques d'un bassin versant représentatif de conditions rurale et agricole en contexte méditerranéen à la climatologie particulière.

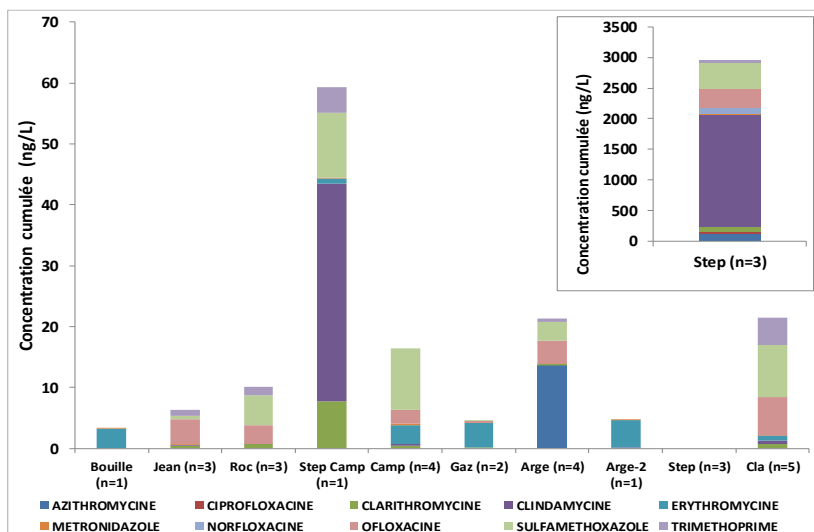


Figure 3 : Concentrations cumulées (ng/L) en antibiotiques sur les 10 sites de l'amont vers l'aval du bassin de la Claduègne. Le site STEP étant hors échelle est présenté séparément.

Bibliographie

Duplus T. Enquête sur l'utilisation de produits chimiques dans un bassin versant rural, Master 2 GEOSPHERES, IUGA, Univ. Grenoble Alpes. 2017.

Martins J.M.F., Legout C., Nord G., Spadini L., Morel M.C., Duwig C., Némery J., Hachgenei N., Hirigoyen M., Jene J., Vince E., Boubkraoui S., Robinet N., Duplus T., Mao P., Margoum C., Miège C., Mathon B., Ligier L., Coquery M. Coupling processes studies, field observations and surveys for identifying the main sources of pharmaceuticals contaminations and produce vulnerability maps in an agricultural Mediterranean basin. SSS8.5/BG2.67/HS8.3.15. European Geophysical Union Congress. Vienna (A). April 8th 2019.

Projet PHARMA BV. https://www.graie.org/zabr/zabrdoc/accordCadrefiches/2017/Rapport_A53.pdf

Dissémination d'antibiorésistance dans les Bassins Versants ruraux en lien avec la pédologie, l'usage des sols et le fonctionnement hydrologique. BactResist

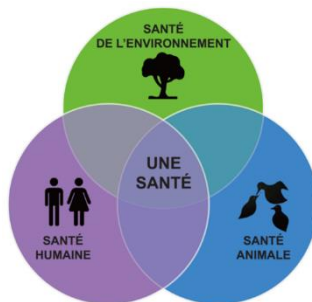
Action n° 155837 BACTRESIST 2021. Accord cadre Agence de l'Eau - ZABR

J. Martins¹, G. Nord¹, C. Duwig¹, C. Legout¹, M.-C. Morel¹, L. Oxarango¹, A. Crouzet¹, L. Spadini¹, S. Nazaret², S. Favre-Bonté², E. Brothier², A. Richaume-Jollion²

¹ Institut des Géosciences de l'Environnement - HyDRIMZ, IGE UMR5001, CNRS, Grenoble INP, IRD, et UGA, 70 rue de la Physique. CS 40 700. F-38058 Grenoble

² LEM UMR 5557. UCB Lyon 1, CNRS, INRAe.

Dans la perspective One Health et EcoHealth « Une seule santé », l'antibiorésistance (ABR) est devenue une préoccupation majeure de santé publique. En effet, la présence généralisée des produits pharmaceutiques, et en particulier des antibiotiques (AB), dans les milieux naturels contribue au développement incontrôlé de résistance bactérienne aux antibiotiques. Ce développement est lié à l'adaptation des espèces indigènes (mutation, transfert horizontal de gènes entre bactéries) mais aussi à la dissémination de bactéries résistantes à ces antibiotiques (BRA pour Bactéries Antibio-Résistantes) dans les écosystèmes, suspectés d'être des réservoirs potentiels de bactéries pathogènes, parfois multi-résistantes. Par ailleurs, la présence conjointe dans l'environnement de contaminants chimiques tels que les éléments traces métalliques (ETM), co-sélecteurs de résistance, contribue à la persistance de ces BRA.

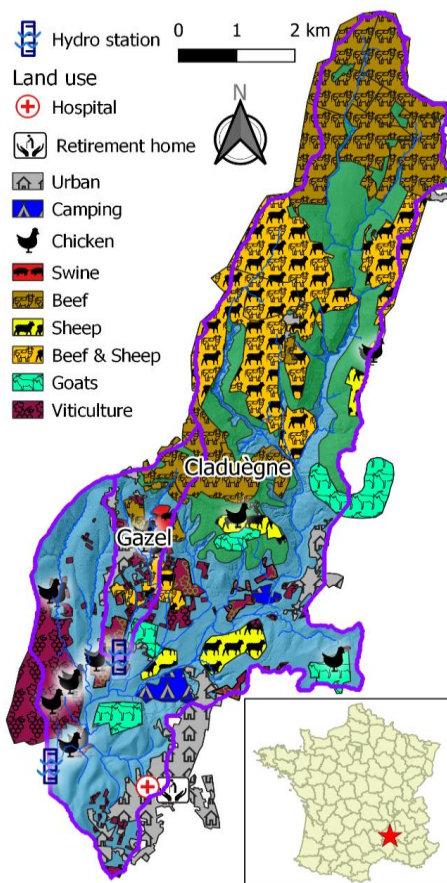


Le projet BactResist (01/2022-12/2023) vise à évaluer la persistance de gènes de résistance aux antibiotiques (GRA) ou de BRA exogènes dans les sols et eaux de surface, à l'échelle d'un petit bassin versant

rural sujet à divers types d'occupation des sols et de contamination, afin de déterminer les sources et les pressions de sélection (AB ou autres polluants notamment ETM) contrôlant la dynamique spatiale et temporelle de ces gènes.

En nous appuyant sur les résultats et méthodologies du projet PHARMA BV (2017-2019), nous allons évaluer la contribution de pratiques agricoles (i.e. pâturage, épandage d'amendement organique d'origine animale, viticulture...) et des contaminants introduits au travers de ces pratiques (AB, ETM, pesticides...) connus pour (co)-sélectionner la résistance aux antibiotiques.

L'objectif est de mettre en regard les mesures d'ABR sur une dizaine de sites stratégiques (identifiés dans PHARMA BV) avec la nature et l'usage des sols, l'hydrologie du bassin et sa contamination en lien avec les activités anthropiques, pour évaluer les risques potentiels pour la santé des écosystèmes (changements de biodiversité microbienne fonctionnelle et de qualité globale des milieux naturels terrestres et aquatiques) et des humains (pandémies...).



Usages et occupation des sols du BV de la Claduègne (N. Hachgenei, 2022)

La station hydrométrique sans contact de l'Auzon à Vogüé-Gare

Adrien BONNEFOY, Guillaume DRAMAIS, Jérôme LE COZ ; INRAE UR Riveryly équipe Hydraulique des rivières.



Figure 1 : Station de l'Auzon – Montage des capteurs sur potence articulée, ici basculée pour maintenance

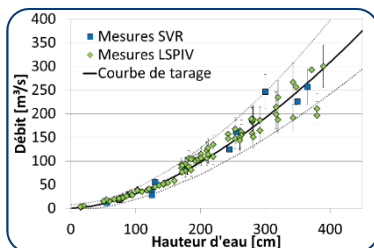


Figure 2 : Courbe de tarage de l'Auzon à Vogüé-Gare établie par jaugeages sans contact après les 3 premières années d'exploitation (2013-2016) – A remettre à jour (pas de données jaugeage depuis 5 ans)

L'Auzon est un affluent de l'Ardèche au régime méditerranéen (assecs et crues éclair). Une station a été mise en place à Vogüé-Gare, non loin de la confluence avec l'Ardèche, dans le cadre de l'ANR FloodScale (2012-2015), du projet HyMex et de l'observatoire OHMCV. Le bassin-versant de l'Auzon (116 km²) contient les sites expérimentaux OHMCV du Pradel et de la Claduègne, la station bouclant ainsi un système de bassins versants emboîtés. Après une période de sommeil, les trois autres stations de l'Ardèche installées dans le cadre du projet FloodScale vont être arrêtées et l'activité de recherche va être focalisée sur la station de l'Auzon.

Le but de la station est d'établir une chronique de débit continue avec incertitudes à partir de méthodes de mesure de hauteur et vitesse sans contact.

Sur cette station, il existe une courbe de tarage (relation hauteur-débit) établie avec des jaugeages réalisés par vélocimétrie vidéo LSPIV (caméra sur la potence) et par vélocimètre radar portable SVR (Surface Velocity Radar). La station a aussi été équipée d'un radar hauteur-vitesse (Sommer RQ24) en 2021. Cet instrument permettra d'obtenir une série de débit à l'aide d'une autre méthode sans contact. Ce radar détermine une vitesse de surface ponctuelle et un niveau d'eau. La méthode de la vitesse témoin (index velocity) permettra ensuite de déterminer le débit du cours d'eau.

Pour la production des données de débit avec incertitudes, un panel d'outils logiciels développés par l'équipe ou co-développés en partenariat sont utilisés : ARGOSS (pilotage du système de caméra), Fudaa-LSPIV (dépouillement des jaugeages vidéo), Barème (dépouillement des jaugeages classiques et SVR), BaRatin (courbes de tarage et hydrogrammes avec incertitudes) et BDOH (bancaisation et publication des séries temporelles).

Cette station servira de laboratoire de terrain où différents types de mesures sans contact pourront être testées :

- Du jaugeage LSPIV avec acquisition de vidéo par drone (formation en cours) ;
- Des échelles à maxi afin d'évaluer les incertitudes des estimations de débit après crues sur un tronçon pilote bien équipé et jaugé ;
- Tester la méthode index-velocity avec incertitudes (extension de BaRatin/BaM) ;
- Evaluer le potentiel d'hystérésis hauteur-débit en crue ;
- Mesures participatives : Appli smartphone FlowPic, perche transparente à bas débit.



Figure 3: Potence articulée avec les capteurs : caméra, capteur radar de hauteur et depuis octobre 2021 un radar hauteur-vitesse

Sur le Domaine Olivier de Serres (1/2)...



Mesures isotopiques de la pluie

Atelier terrain hydrologie et hydrométéorologie

L'atelier de terrain hydrologie et hydrométéorologie du Master Sciences de la terre et des planètes, environnement de l'Université Grenoble Alpes (UGA) se déroule chaque année au printemps en Ardèche et dure 5 à 6 jours. Ce stage s'appuie sur les dispositifs d'observation déployés sur les bassins versants du Gazel et de la Claduègne. Il s'agit d'un enseignement au carrefour entre l'observation et la recherche. C'est une réelle richesse pour les étudiants de pouvoir travailler avec des séries temporelles de longues dates et une bonne caractérisation du milieu. De plus, le site bénéficie des équipements (salles de cours, salle informatique, restauration, hébergement) du CFPPA Olivier de Serres et du Cermosem. Le réseau informatique de l'UGA est directement accessible sur le site, ce qui permet de travailler dans de très bonnes conditions.

À travers une dizaine d'ateliers organisés par groupe de 5 à 6, les étudiants ont l'occasion de mettre en pratique certains cours théoriques, de tester des applications de l'hydrologie opérationnelle et de se familiariser avec une étude intégrée du bassin versant qui associe l'hydrologie, la météorologie, l'hydrométéorologie, la pédologie, la géophysique, la géochimie, l'écologie et la géomorphologie. Les ateliers sont encadrés par des enseignants-chercheurs, des chercheurs et des doctorants de l'Observatoire des Science de l'Univers de Grenoble, provenant principalement de l'Institut des Géosciences de l'Environnement et d'INRAE Grenoble.

Les objectifs sont de : i) se confronter à des observations et des expérimentations in situ sous forme de « travaux pratiques » pouvant impliquer des jeux de données conséquents dans des conditions météorologiques et hydrologiques changeantes ; ii) intégrer le concept d'observation, respecter des standards de mesure et s'assurer que les données acquises vont pouvoir alimenter les jeux de

données du site ; iii) percevoir le fonctionnement hydrologique global du bassin versant en lien avec les flux de matière et d'énergie et le monde du vivant (biodiversité).

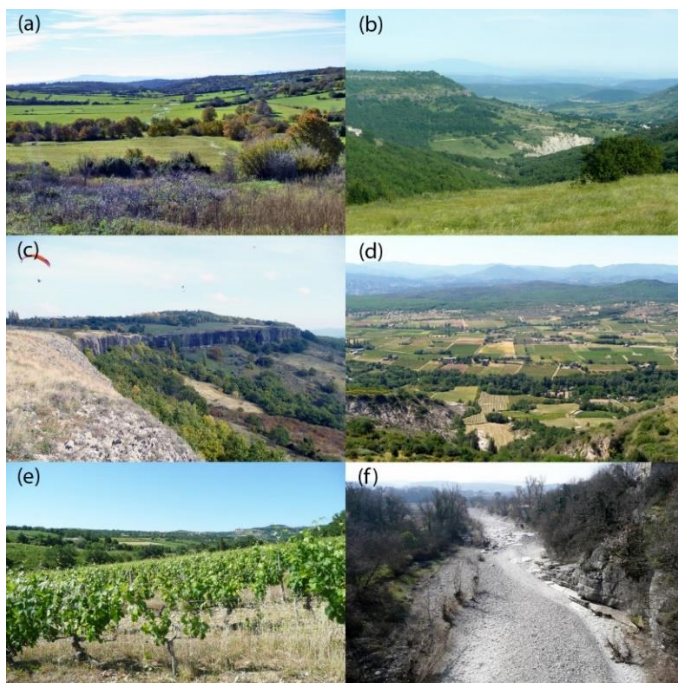


Sur le Domaine Olivier de Serres (2/2)...



Station hydro-sédimentaire sur le Gazel

Paysages typiques des bassins Olivier de Serres



Paysages typiques du bassin versant de l'Auzon : (a) plateau volcanique du Coiron avec un mélange de prairies et de forêts ouvertes dans la partie nord du bassin versant, (b) vallées profondes incisées dans les marnes en limite du plateau du Coiron avec mélange de forêts de feuillus sur versants d'éboulis et zones sans végétation avec badlands, (c) limite méridionale du plateau du Coiron caractérisée par la présence de falaises, (d) toposéquence sur des formations marno-calcaires avec au premier plan des régosols sur des pentes marneuses abruptes, puis des sols argileux cultivés avec des vignes et enfin des affleurements rocheux et des lithosols sur des calcaires avec garrigue, (e) coteaux avec vignobles sur sols argileux drainés par une rivière incisée dans le socle marno-calcaire et entourée d'une zone de végétation riparienne, et (f) garrigue et forêt méditerranéenne ouverte sur des calcaires karstifiés dans la partie sud-ouest du bassin versant, provoquant un assèchement rapide de l'Auzon après les périodes de pluie.

D'après Nord et al. (2017)

Notes personnelles

