

Séminaire scientifique

Flux polluants écotoxicologie et écosystèmes

Actes du séminaire

Avec le soutien de :



Sommaire

- Ouverture par **Geneviève Chiapusio, Aymeric Dabrin et Anne Clémens**

Axe 1 : Comment l'évolution des pratiques et des actions de gestion de l'eau permettent de diminuer les intrants et réduire les impacts

- **Nadia Carluer et Mathieu Fressard**, INRA et UMR 5600 - *Dynamiques spatiales et temporelles des transferts de sédiments et de pesticides associés dans le beaujolais viticole*
- **Olivier Grandjouan**, INRAE - *Apports de la biogéochimie pour l'évaluation d'un modèle hydrologique distribué en milieu péri-urbain*
- **André-Marie Dendievel**, ENTPE - *Scories métalliques et sédiments fluviaux : premiers résultats du projet Rhone Poll Arch et perspectives futures*

Axe 2 : Comment les nouveaux polluants, les transformations/remobilisations des polluants historiques, impactent les communautés et les fonctions de l'écosystème

- **Christopher Bosc**, INRAE - *Influence de la contamination toxique des cours d'eau sur les communautés de macroinvertébrés aquatiques : Apport de l'outil Gammare*
- **Olivier Simon**, IRSN - *Utilisation des otolithes de poissons comme marqueur temporel de la contamination. Cas particulier de l'uranium*
- **Lina Fabre**, LEHNA - *Développement de bioindicateurs pour la qualité des eaux souterraines en milieu karstique*
- **Angélique Dominguez Lage**, UMR Ecologie microbienne - *Dynamiques d'assemblage des biofilms bactériens d'un cours d'eau en fonction de la nature des sources émettrices de bactéries et de l'occurrence de polluants chimiques*

- **Emilie Réalis**, INRAE - *Effets de l'exposition précoce à un toxique issu de particules d'usure de pneu couplée à une hausse de température durant les premiers stades de vie d'un poisson lacustre patrimonial sténotherme froid, l'omble chevalier*
- **David Gateuille**, Université de Savoie - *Plastics in lacs altitude/lac peri alpins*
- **Camille Touchet**, LEHNA - *Impacts des plastiques et de leurs additifs sur les communautés microbiennes d'eau douce et leurs consommateurs primaires*
- **Hélène Rogue**, Unité de recherche RiverLy, INRAE - *Diagnostic des impacts écotoxicologiques des substances pharmaceutiques en cours d'eau : translocation de communautés microbiennes périphytiques et mesures de tolérance (PICT)*
- **Tom Ducrocq**, INRAE - *Exploration de la contamination des matières en suspension du Rhône par analyse non ciblée*
- **Raphaël Santos**, INRAE - *Impact des composés génotoxiques sur la démographie des espèces aquatiques*

Axe 3 : Comment les changements climatiques peuvent-ils renforcer ou modifier les effets des polluants sur les organismes, les communautés, les écosystèmes

- Inventaire des projets

Synthèse des échanges

Séminaire scientifique

Flux polluants écotoxicologie et écosystèmes

5 octobre 2023 - Villeurbanne

Avec le soutien de :



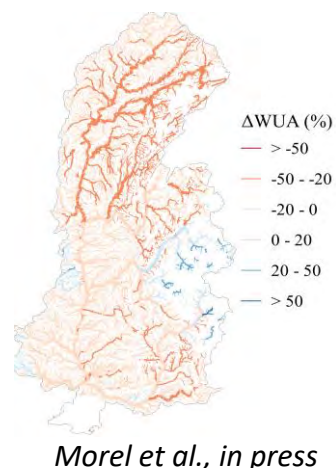
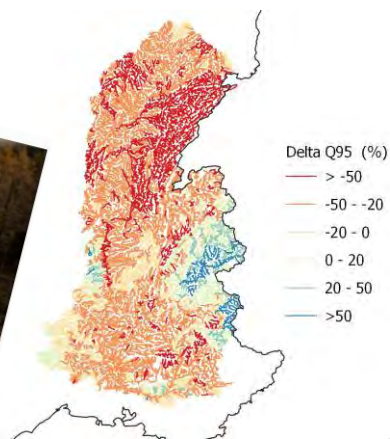
La Zone Atelier Bassin du Rhône

- **Comprendre et évaluer les interactions au sein de l'anthroposystème dans un contexte de changement** et de transformation climatiques, énergétiques, sociales
- **Proposer des outils d'aide à la décision** pour une gestion durable des territoires de l'eau

Débits d'étiage -> habitats favorables (barbeau)

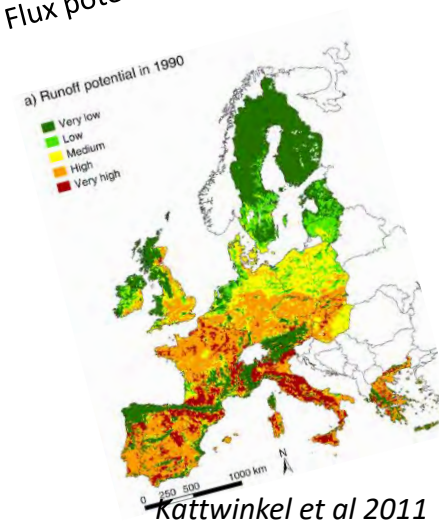


Dans les Alpes, l'eau douce de la discordance



Morel et al., in press

Flux potentiel de pesticides



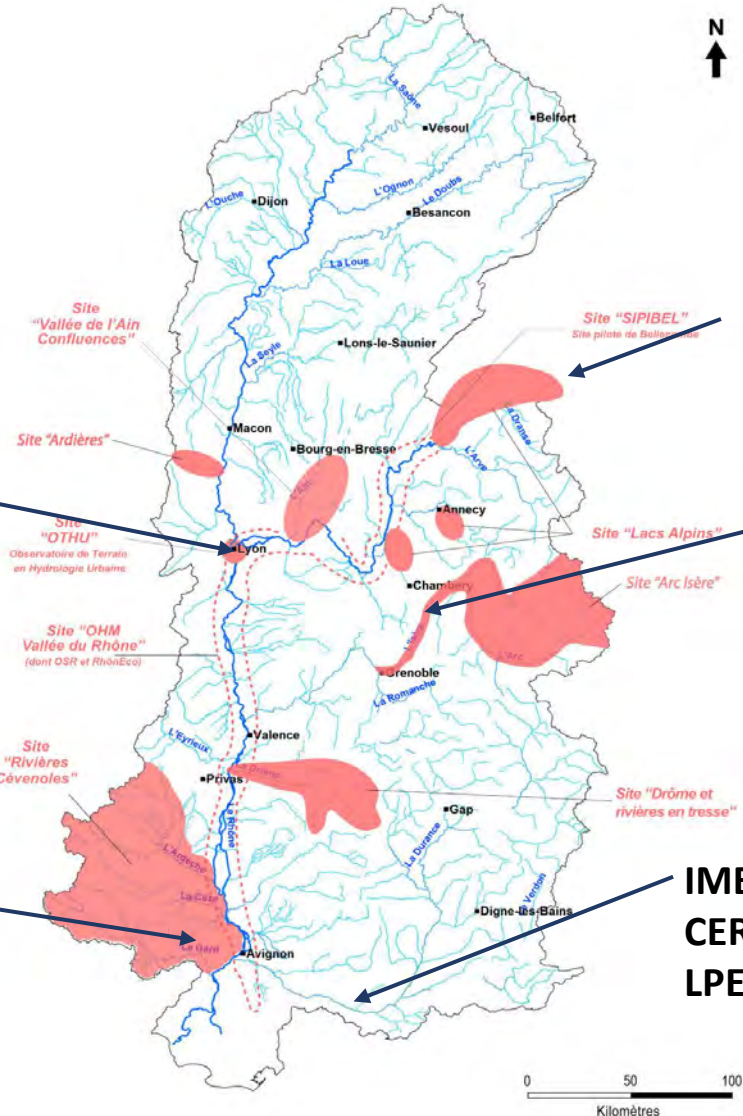


Les laboratoires membres

435
personnes
impliquées
dont **67**
doctorants
130 ETP

Riverly (INRAE)
LEHNA (UMR 5023)
EVS (UMR 5600)
DEEP (EA 7429)
Ecologie Microbienne (UMR 5557)

Espace (UMR 7263)
G-Eau (INRAE)
CHROME (EA 7352)
SRTE (IRSN)
HSM (Mines Alès)



inTNE (HEPIA)
Institut Forel et des sciences de l'environnement (Univ. Genève)

Carrtel (INRAE)
Edytem (UMR 5204)
IGE (UMR 5001)

IMBE (UMR 7263)
CEREGE (UM 34)
LPED (UMR 151)



AVEC LE SOUTIEN DE L'UNION EUROPÉENNE





Vallée de l'Ain, Confluences et (Dis-)Continuités

ARDIERES
Impacts agricoles, eau-santé



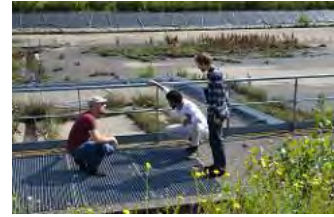
SIPIBEL Flux médicaments



LACS ALPINS (ANAEE) Trajectoires



OTHU (FR, OZCAR)
Hydrologie Urbaine



ARC ISERE Hydraulique et flux



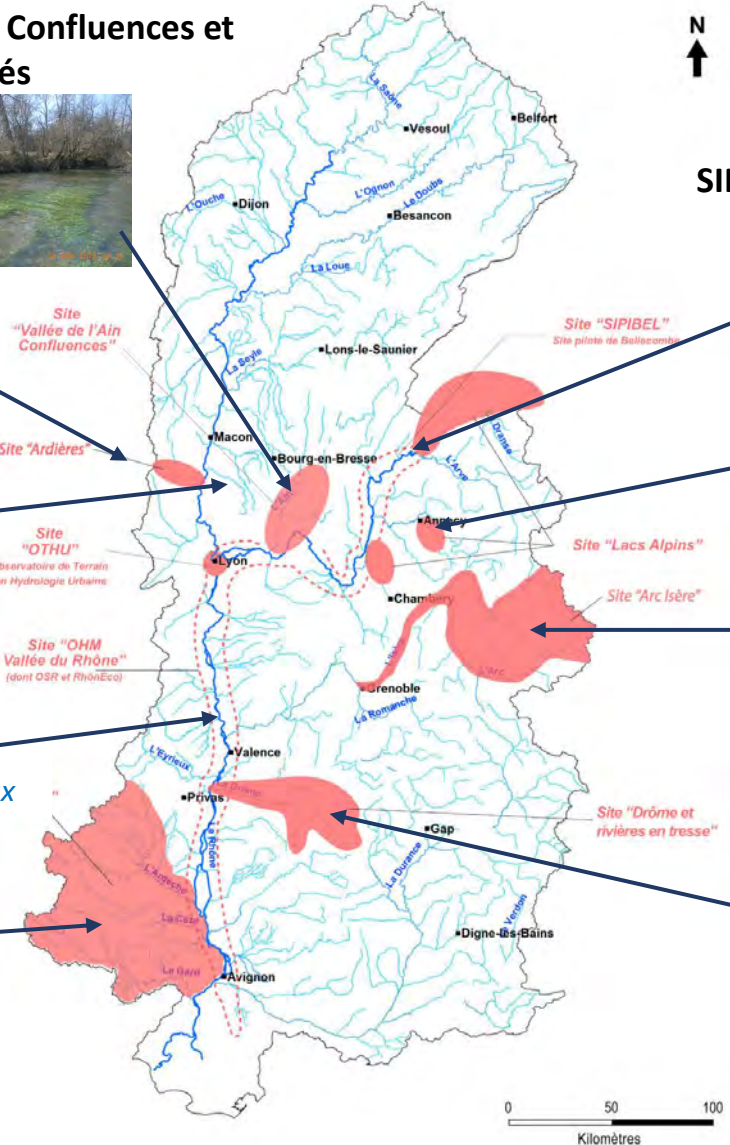
VALLEE RHONE (OHM)
dont OSR et RhônEco - Restauration et flux

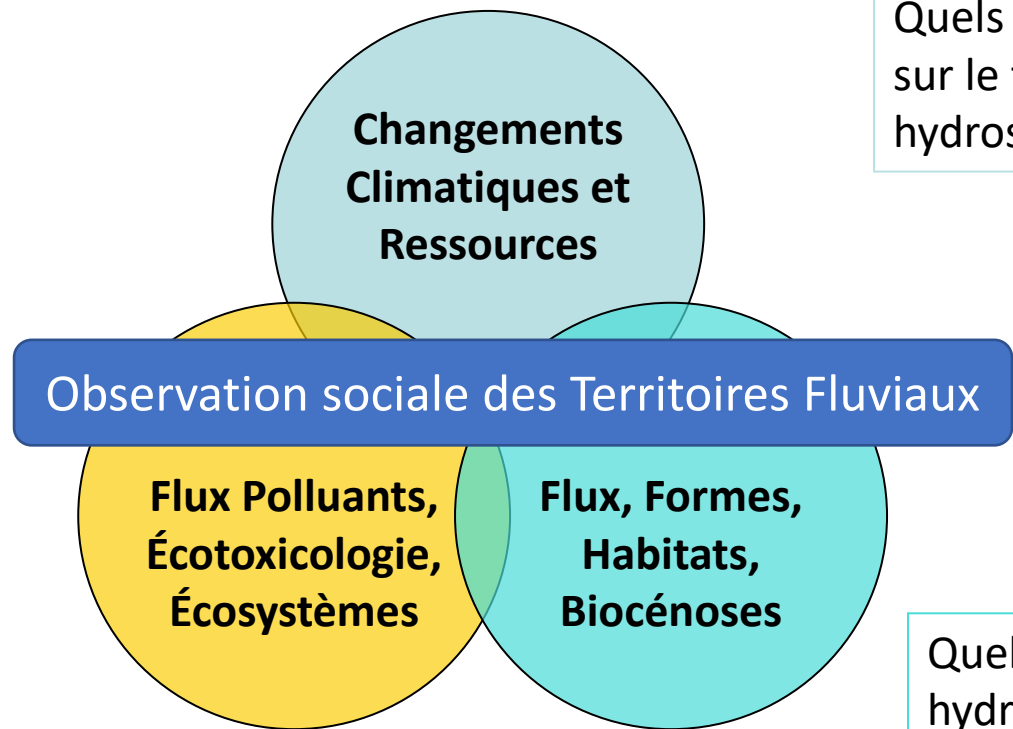


TRESSES Dynamiques géomorphologiques et écologiques



RIVIERES CEVENOLES (OZCAR)
Hydrologies extrêmes





Quels impacts du changement climatique sur le fonctionnement des hydrosystèmes et sur les ressources ?

Quelle compréhension des phénomènes sociaux intervenant dans les politiques de gestion des milieux aquatiques?

Quelles sont les relations entre habitat physique, hydrologie, dynamique fluviale et biodiversité ?
Quels effets des modes de gestions?

Comment les apports multiples de contaminants impactent les milieux aquatiques, la biodiversité et la santé des écosystèmes ?



ZABR = 4 thèmes de recherche

Thème Flux de Polluants Ecotoxicologie, Ecosystèmes (FPEE)

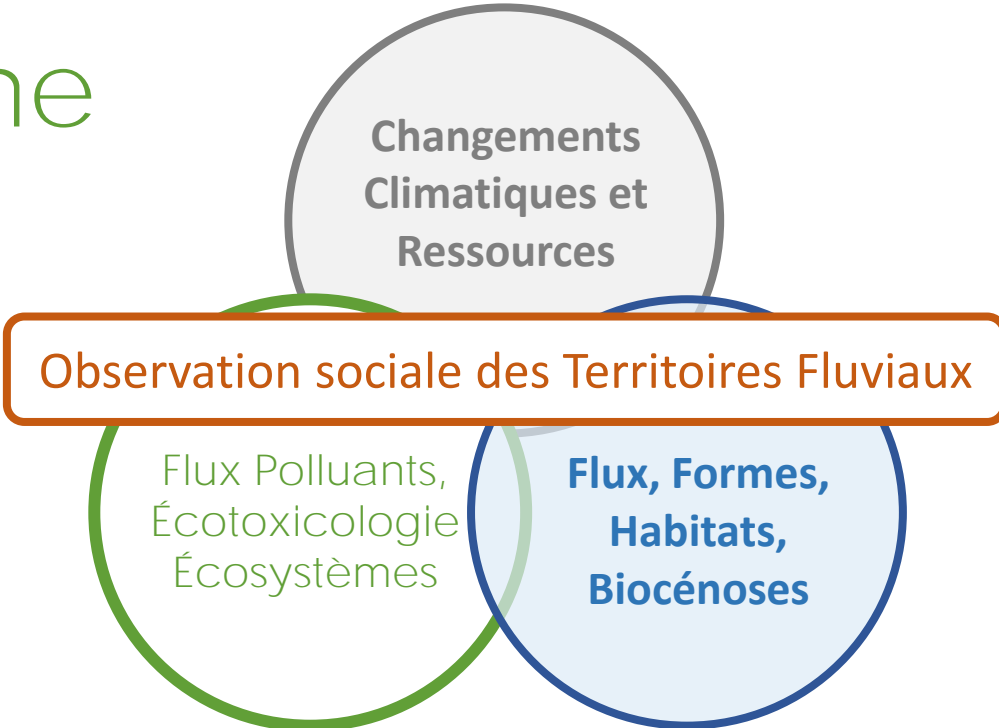
Animateurs du thème depuis 2021 :
Geneviève Chiapusio, USMB, CARTEL
Aymeric Dabrin, INRAE, UR RiverLy

Agnès Bouchez, INRAE, CARTEL



Emmanuel Naffrechoux, USMB, EDYTEM

Écotoxicologie - Ecologie- Chimie analytique - Géosciences et Chimie de l'environnement - Hydrogéochimie- Hydrologie



Comment les apports multiples de contaminants/polluants impactent les milieux aquatiques, la biodiversité et la santé des écosystèmes ?
Quelles actions et quels leviers pour les limiter?



Thème Flux de Polluants Ecotoxicologie, Ecosystèmes (FPEE)

Flux Polluants,
Écotoxicologie
Écosystèmes

Comment les apports multiples de contaminants impactent les milieux aquatiques, la biodiversité et la santé des écosystèmes ? Quelles actions et quels leviers pour les limiter?

- **Q1** : Comment l'évolution des pratiques et des actions de gestion de l'eau permet de **diminuer les intrants et de réduire les impacts** ?
- **Q2** : Comment les nouveaux polluants, les transformations et remobilisations des polluants historiques, impactent les **communautés et les fonctions de l'écosystème** ?
- **Q3** : Comment les conséquences du **changement climatique** peuvent-ils renforcer ou modifier les effets des polluants sur les organismes, les communautés et les écosystèmes ?

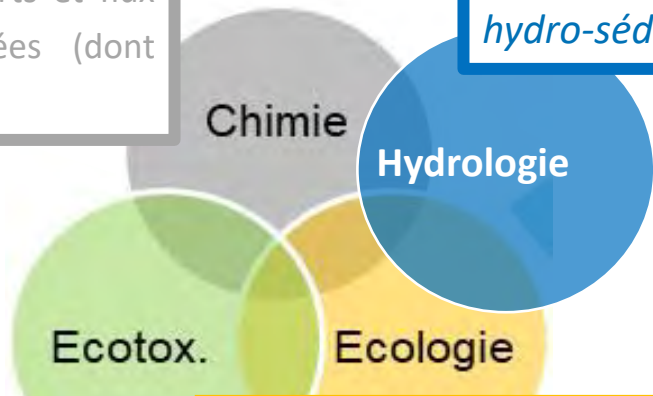


Pluridisciplinarité

Écotoxicologie - Ecologie- Chimie analytique - Géosciences et Chimie de l'environnement - Hydrogéochimie- Hydrologie

Caractérisation de la contamination et de l'exposition
Dynamique spatio-temporelle (ech. passifs), transferts et flux (model.), traçage des sources, substances suspectées (dont métabolites), pharmaceutiques, microplastiques ...

Contribution des masses/sources d'eau
Modèles hydrologiques, modèles hydro-sédimentaire



Caractérisation de l'exposition sur les organismes (populations)
*Bioessais en lab/ in situ (poissons, crustacés, plantes...)
Biomarqueurs (dont moléculaires)
Bioaccumulation*

Caractérisation de l'exposition sur le fonctionnement des écosystèmes
*Approches en mésocosmes, in situ, échelle des communautés,
Approches fonctionnelles (réseau trophique...)
Approches écosystémiques*





Collectif

- **Unités et Organismes de recherche**

INRAE Lyon, UMR USMB-INRAE CARRTEL, IRSN, Université de Nîmes (Chrome), UMR 5023 Entpe, Université J Monnet, UMR 5600 EMSE, UMR 7330 CEREGE, Mines d'Ales LGEI , USMB-CNRS Edytem (ex LCME) ,INSA Deep ...



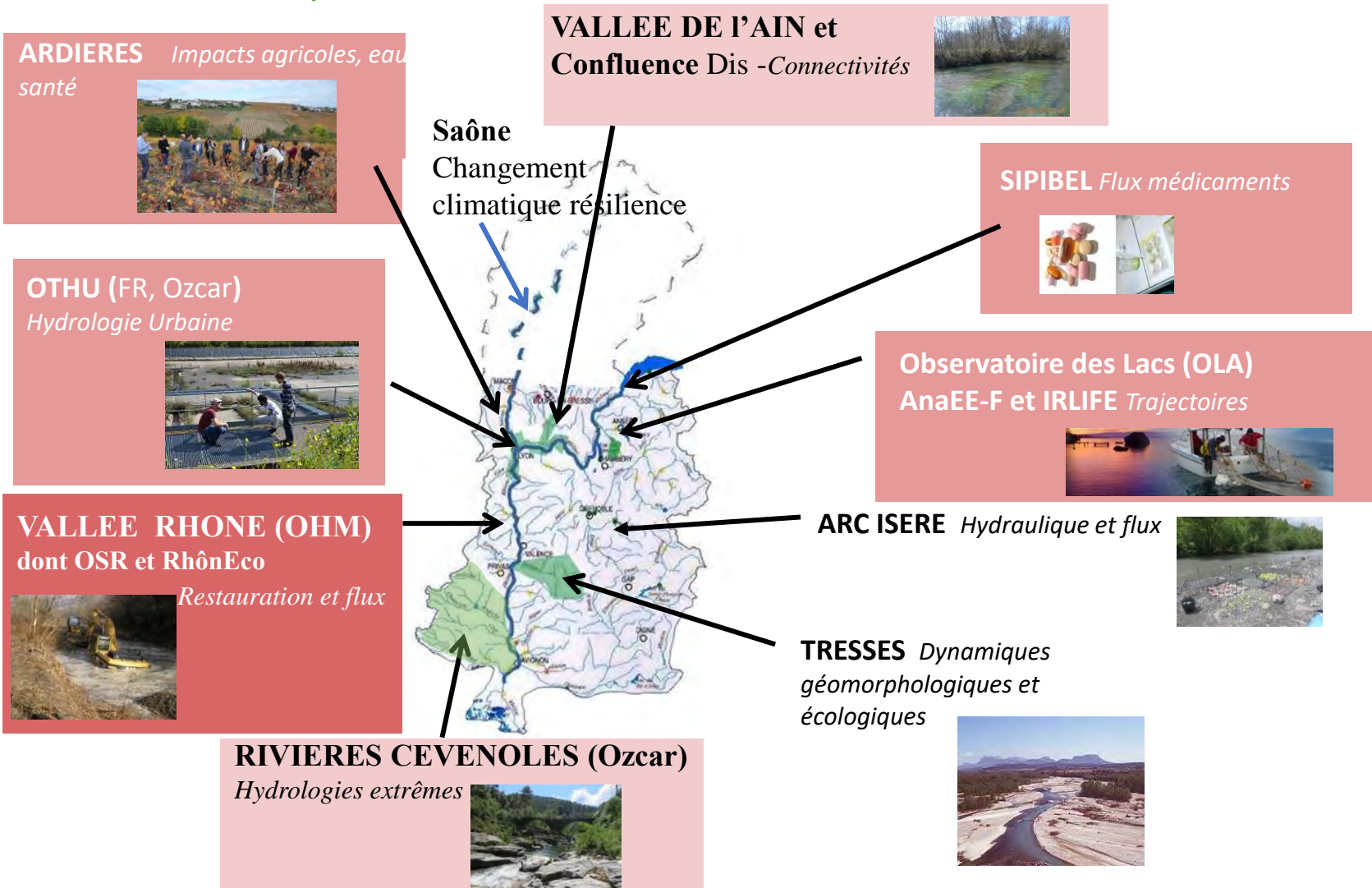
- **Financements:** Interreg, ANR, OFB, Labex DRIHM, Agence de l'eau, Plan Rhône



Sites ateliers où ces questions sont abordées

Projets depuis 2018

- ~45%
- ~10%
- ~5%





Enjeux de cette journée

- Porter à connaissance
- Synthétiser
- Echanger/Construire sur les contours et besoins du thème

• **Q1** : Comment l'évolution des pratiques et des actions de gestion de l'eau permet de **diminuer les intrants et de réduire les impacts** ?

• **Q2** : Comment les nouveaux polluants, les transformations et remobilisations des polluants historiques, impactent les **communautés et les fonctions de l'écosystème** ?

• **Q3** : Comment les conséquences du **changement climatique** peuvent-ils renforcer ou modifier les effets des polluants sur les organismes, les communautés et les écosystèmes ?

Moment d'échange/discussion **Q3**

Q1

Nadia Carluer (Site Ardière Morcille)
Olivier Grandjouan (BV Yzeron)
André Marie Dendievel (Rhône)

Q2

Christopher Bosc (Outil Gammare)
Simon Olivier (Poissons)
Fabre Lina (Bioindicateur)
Angélique Dominguez (biofilms)
Emilie Réalis (Omble Chevalier)
David Gateuil (microplastiques)
Camille Touchet (plastiques/communauté microbiennes)
Hélène Rogue (pharmaceutiques/biofilms)
Tom Ducrosq (Analyse non ciblée)
Raphael Santos (composés génotoxiques/espèces aquatiques)



Rappel calendrier des appels à projets, aide à construire ces projets

Dans le cadre de l'accord cadre Agence de l'eau ZABR (Calendrier 2024)

- **Montant des aides** : 65 000 € de subvention par projet
- **Caractéristiques des projets** :
 - Alimenter la dynamique scientifique ZABR et répondre à des besoins de connaissances de l'Agence de l'eau
 - Multiéquipe et pluridisciplinarité
- **Comment se construisent les projets**:
 - Mars 2024 : Vos envies partagées (1^{er} comité de suivi Agence de l'eau et la ZABR)
 - Avril Mai 2024 : construction des projets (appui ZABR)
 - Début juin : Labélisation ZABR des projets en conseil de direction
 - Juin 2024 : Présentation des projets (2^{ème} comité de suivi Agence de l'eau et la ZABR)
 - Sept. 2024 : Comité de pilotage Agence de l'eau ZABR

Séminaire scientifique

Flux polluants écotoxicologie et écosystèmes

5 octobre 2023 - Villeurbanne

Avec le soutien de :



Dynamiques spatiales et temporelles des transferts de sédiments et de pesticides associés dans le Beaujolais viticole (projet Pulse)

Nadia Carluer. Équipe pollutions diffuses – INRAE UR RiverLy

Mathieu Fressard. Chargé de recherche –
CNRS UMR 5600 EVS Lyon / CNRS UMR 6266 IDEES





Contexte et problématique de recherche

Projet PULSE : Paysages, Particules, Pesticides (ZABR / AERMC)

Dynamiques spatiales et temporelles des transferts de sédiments et de pesticides dans les bassins versants agricoles

- Quelles sont les modalités des transferts de sédiments et de contaminants depuis les parcelles vers les cours d'eau?
- Quels effets des aménagements et des pratiques agricoles sur la connectivité hydro-sédimentaire et les potentialités de transfert des pesticides?
- Quels effets des changements de pratiques / Changements d'occupation des sols et comment les anticiper ?



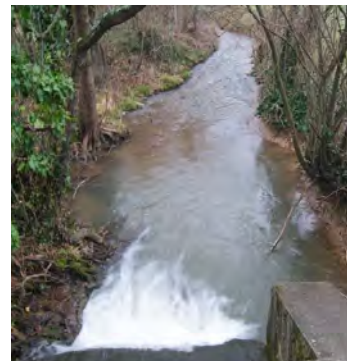
Érosion des sols



Pesticides



Déprise agricole

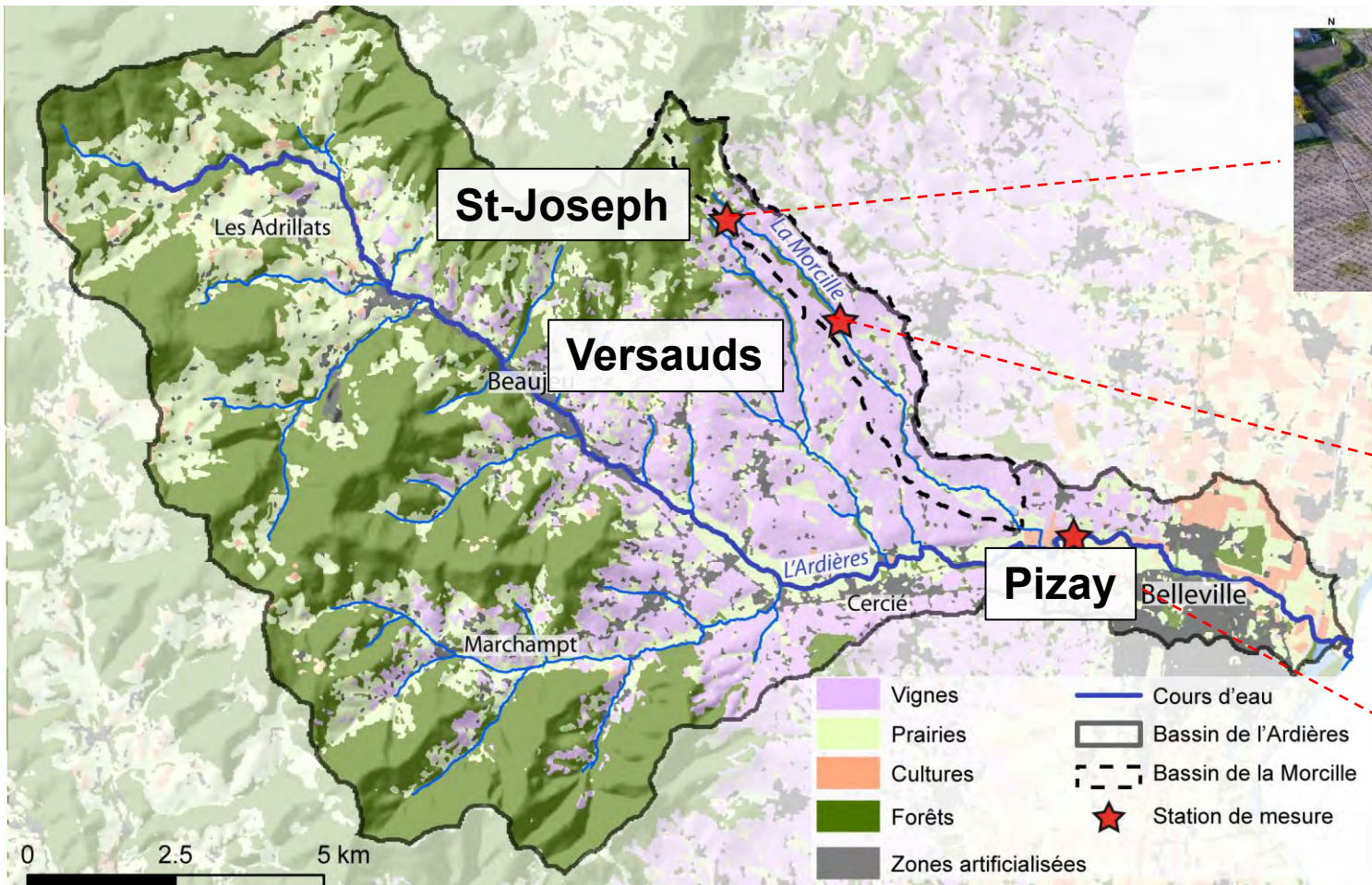


Qualité de l'eau



Suivi des transferts sédimentaires à trois échelles emboîtées

Site Atelier Ardières Morcille (SAAM) : Parcelle (0.3 ha) / Sous bassin (3.3 km²) / Bassin (142 km²)





Suivi des transferts sédimentaires à trois échelles emboîtées

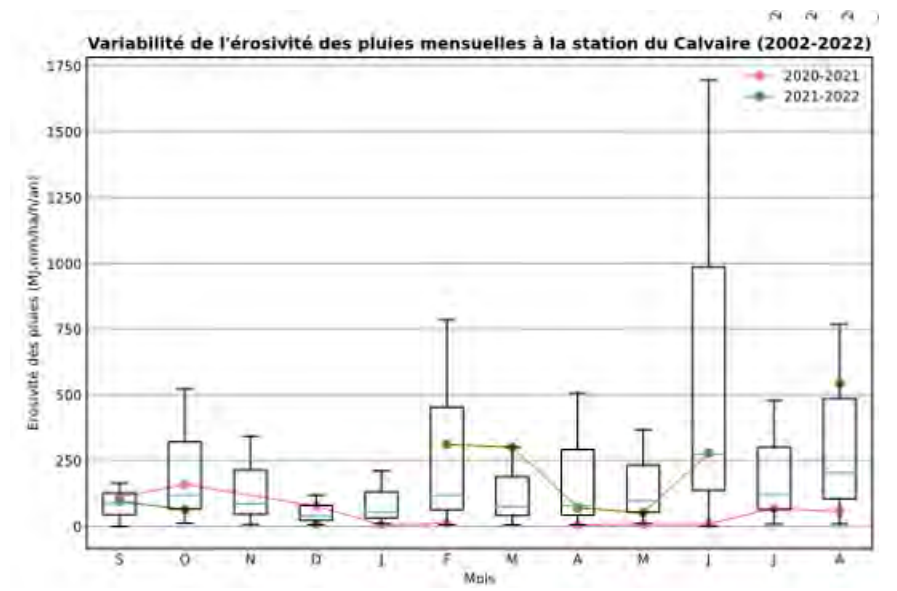
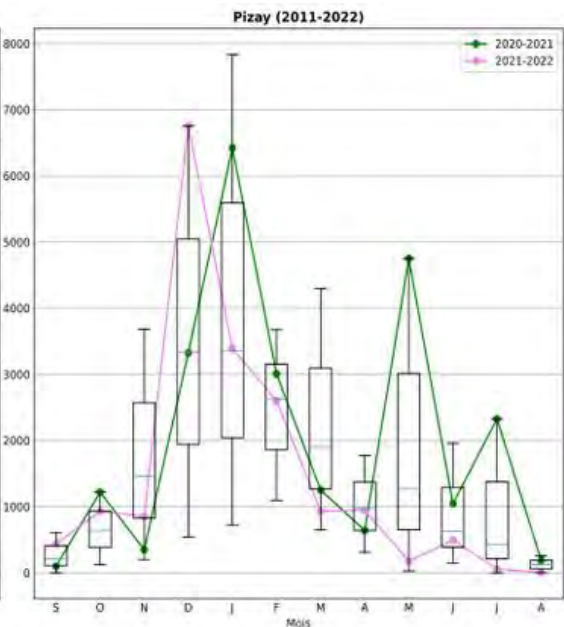
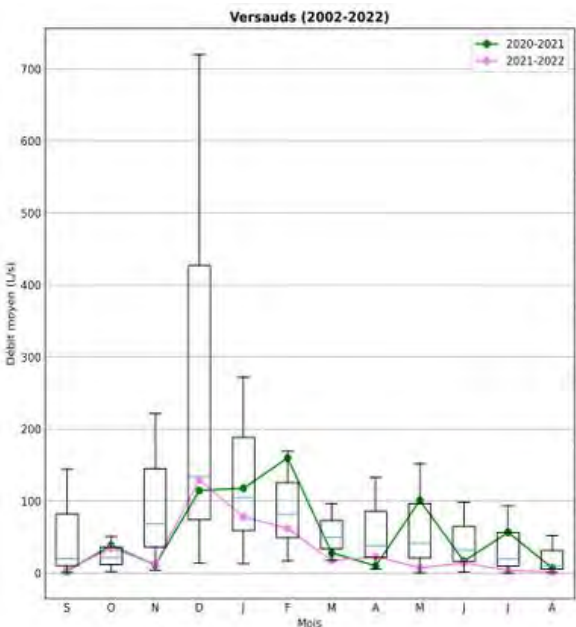
Contexte hydrologique des années de mesure (2000-2022)

Pluviométrie : années contrastées, variabilité mensuelle prononcée :

- 2020-2021 = 746 mm
- 2021-2022 = 539 mm
- Moy 2002-2020 = 730 mm

⇒ Erosivité mensuelle très variable

- 2020-2021 assez peu érosive : 1 077 MJ.mm.ha⁻¹
- 2021-2022 érosive : 1 348 MJ.mm.ha⁻¹
- Moy 2002-2020 = 1 086 MJ.mm.ha⁻¹



Débits forts en moyenne entre décembre et mars

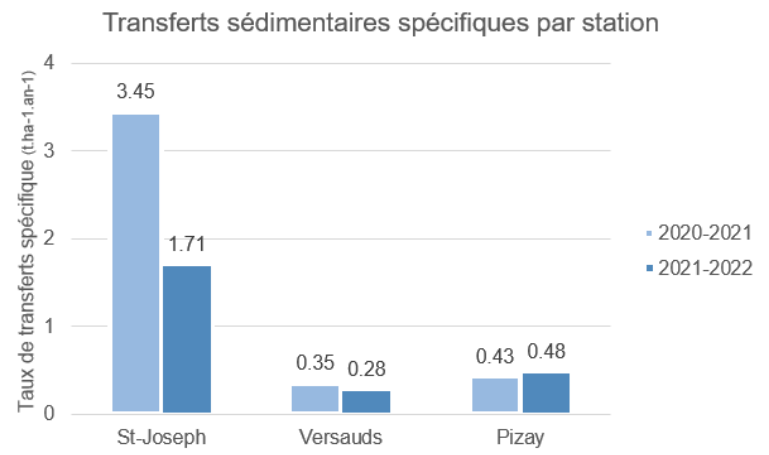
Débits (+) : janvier, février, mai, juillet et décembre 2021

Débit (-) : de mars à août 2022



Suivi des transferts sédimentaires à trois échelles emboîtées

Bilan sédimentaire aux trois échelles



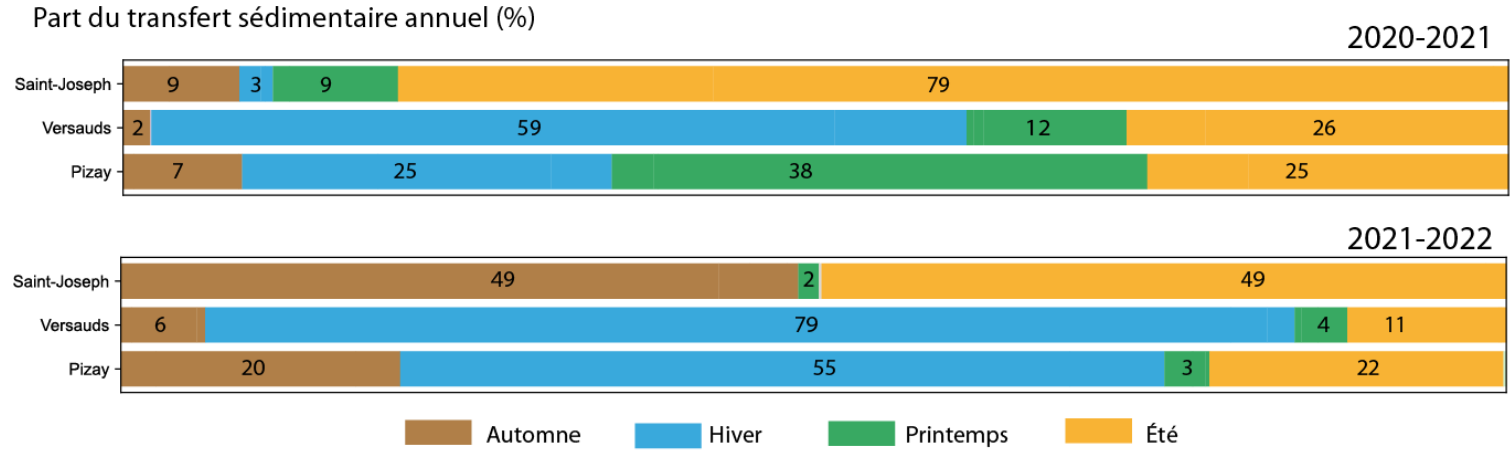
Bilan sédimentaire par station (tonnes)

Station	2020-2021	2021-2022
St-Joseph	0.97	0.48
Versauds	141.9	112.8
Pizay	6298.6	6949.5

Saint Joseph

- Bac : 51- 52 % des transferts annuels
- MES : 48 - 49 % des transferts annuels

Un déphasage saisonnier narcelles – cours d'eau





Transfert particulière de produits phytosanitaires

Suivi aux 3 échelles
emboîtées :

- en cours d'eau à 4 périodes (PAP, + préleveur automatique pour 2 événements)
- en sortie de parcelle pour 2 événements

Année 2022 très sèche et
difficultés à échantillonner le
même événement aux 3
échelles

Analyse de 34 molécules : 19 herbicides, 8 fongicides, 3 insecticides, 4 métabolites
Mise en relation avec les quantités appliquées (2018-2021), les caractéristiques des substances

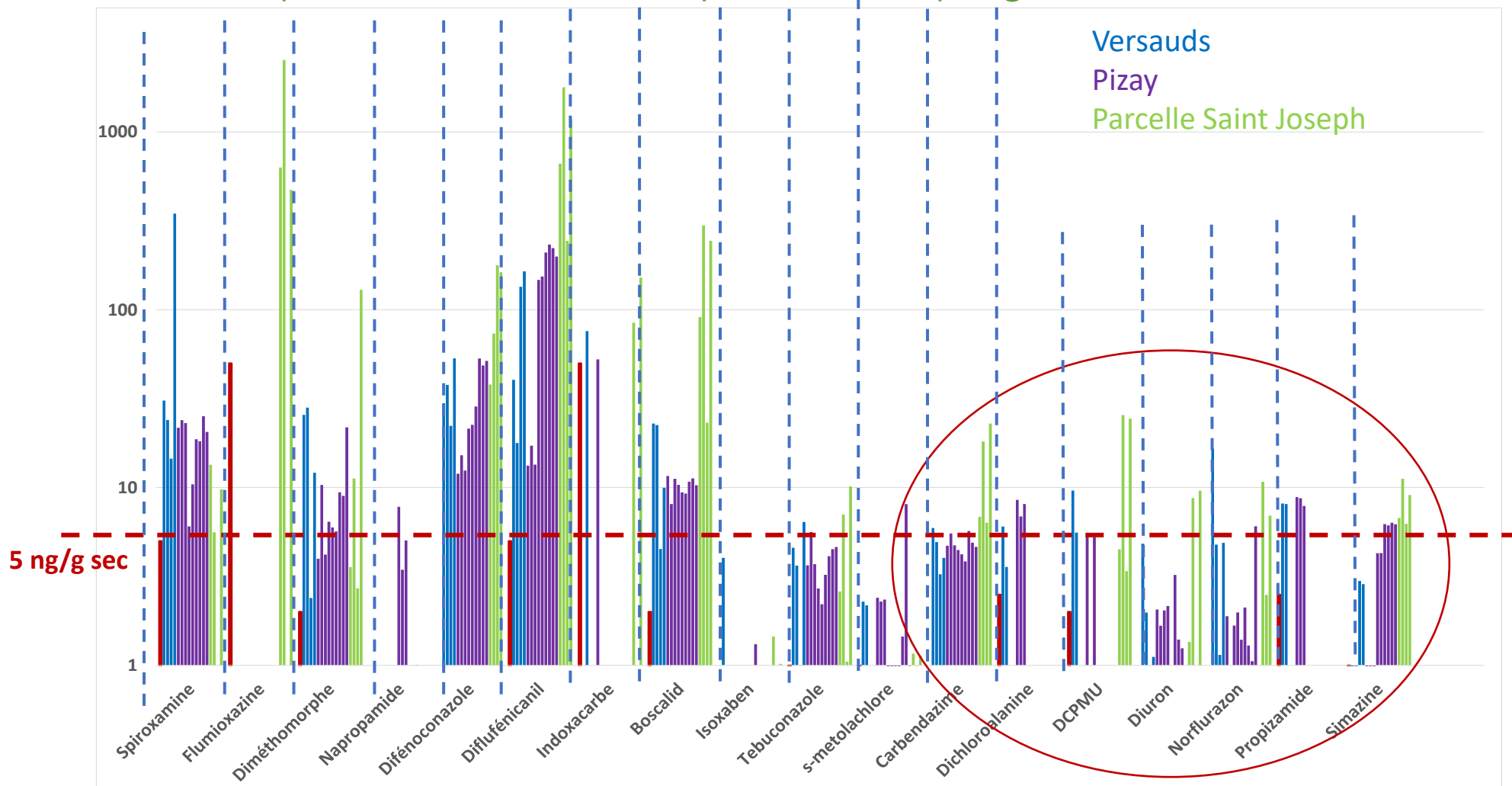
7 molécules non détectées : peu ou pas appliquées, Koc faible (sauf aclonifen, LQ élevée)

8 molécules détectées mais non quantifiées : peu ou pas appliquée (< 0.2 g/ha), Koc et/ou DT50 faibles en général

19 molécules quantifiées, dont 4 herbicides et un fongicide interdits ou non appliqués sur la zone et 2 métabolites du diuron



Transfert particulaire de produits phytosanitaires. Concentrations observées

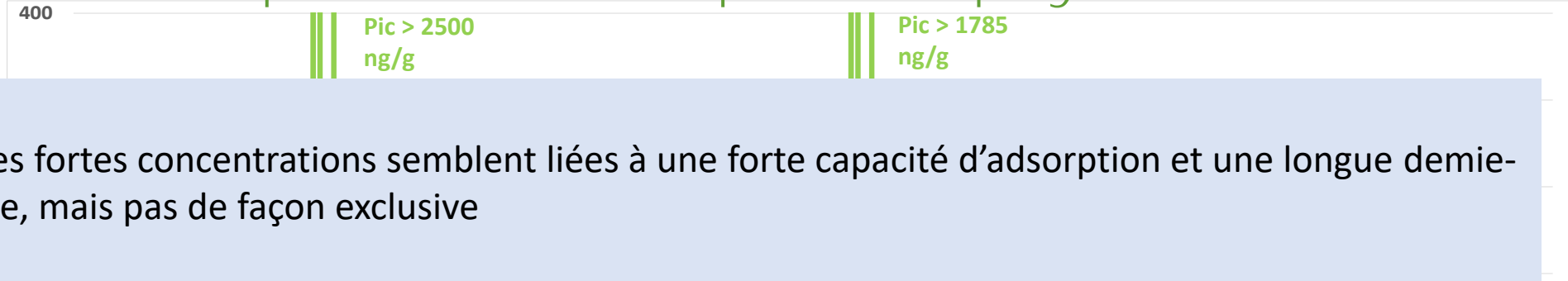


■ LQ ■ V 19 au 28 mai 2020 ■ V 20 nov au 9 dec 2021 ■ V 3 au 21 mai 21 ■ V 9 au 21 juin 21 ■ P 20 nov au 9 dec 2021 ■ P 19 au 28 mai 2020 ■ P 20 nov au 9 dec 2021 ■ P 3 au 21 mai 21
■ P 2 3 au 21 mai 21 ■ prel 10 au 11 mai 2021 ■ P 9 au 21 juin 21 ■ P 2 9 au 21 juin 21 ■ prel 16 au 22 juin 21 ■ StJo bac 11 mai 21 ■ StJo prel 10-11 mai 21 ■ StJo bac 22 juin é& ■ StJo prel 20/6/21

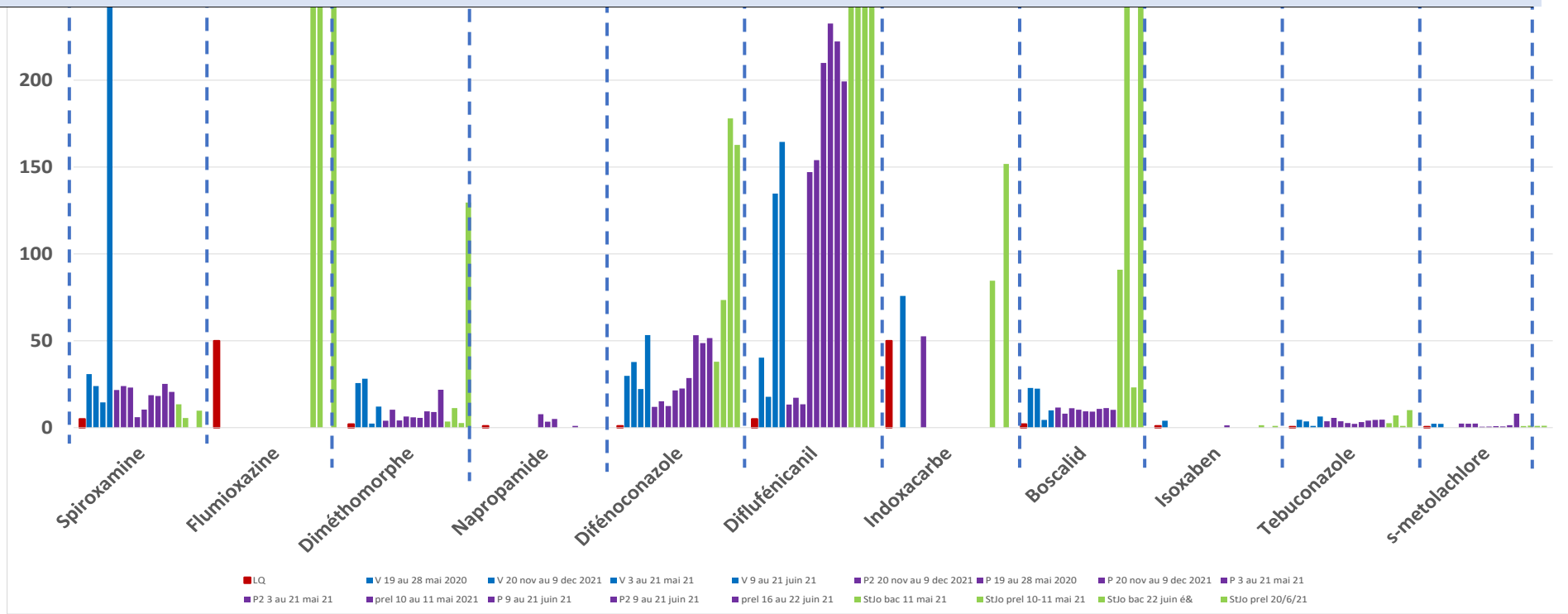
Concentrations des substances quantifiées (ng/g sec), tous échantillons confondus



Transfert particulaire de produits phytosanitaires. Concentrations observées



Les fortes concentrations semblent liées à une forte capacité d'adsorption et une longue demie-vie, mais pas de façon exclusive



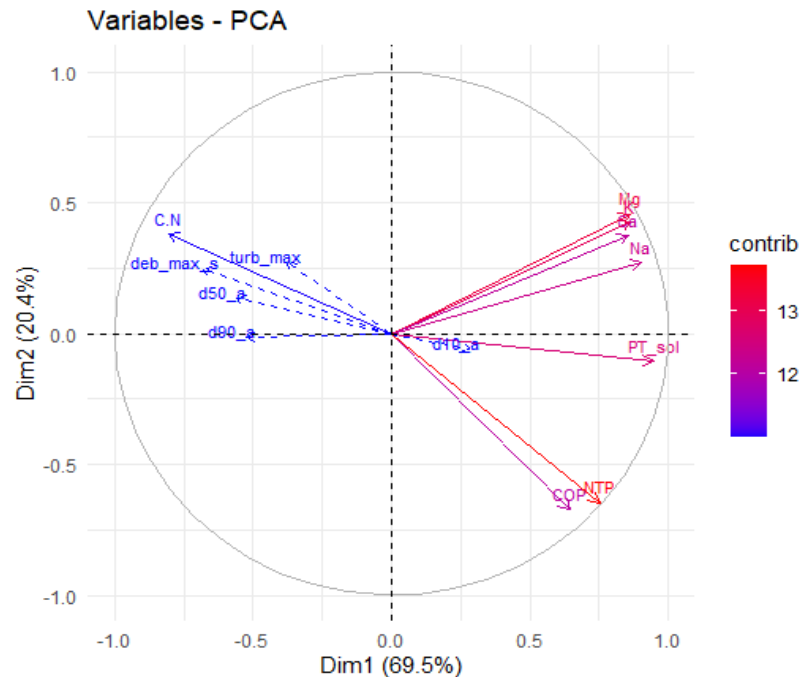
Concentrations des substances quantifiées (ng/g sec), tous échantillons confondus



Transfert particulaire de produits phytosanitaires. Représentativité des observations

Pièges à Particules : Analyse des concentrations en Carbone organique particulaire, Azote total, éléments majeurs (PT, Na, K, Mg, Ca), granulométrie. Prise en compte des conditions hydrologiques (Q, turbidité) :

- ⇒ Caractériser les particules transportées sur les BV de la Morcille et de l'Ardières
- ⇒ Faire le lien avec leur capacité à participer au transfert particulaire de pesticides



Au Pont de Pizay :

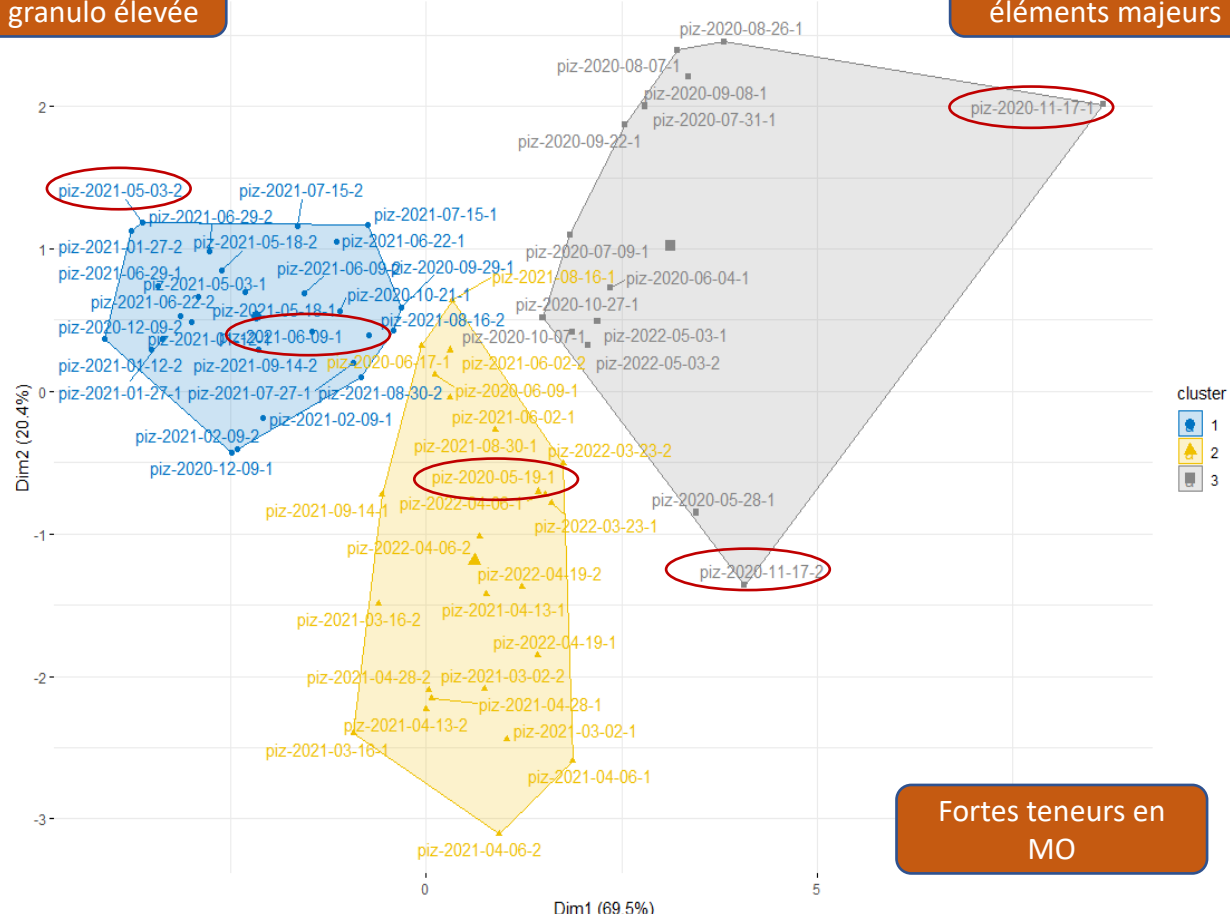
- C et N / autres éléments majeurs discriminants
 - Matière organique d'autant plus « fraîche » (C/N) qu'en faible quantité, correspond aux conditions hydrologiques « élevées » : apports depuis les versants ?
 - Pas de tendance visible de saisonnalité
- ⇒ Capacité de sorption des pesticides a priori moindre
⇒ Résultats similaires pour Versauds



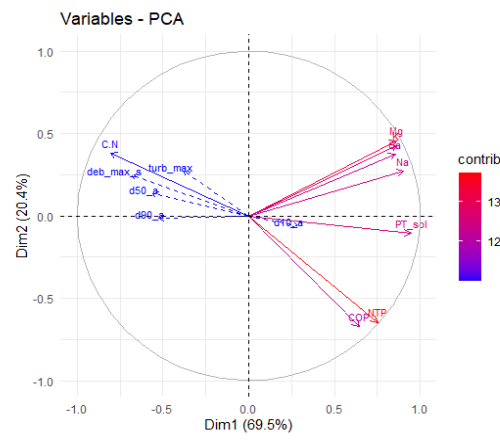
Transfert particulaire de produits phytosanitaires. Représentativité des observations

Forts débits, forts C/N, granulo élevée

Fortes teneurs en éléments majeurs



Fortes teneurs en MO

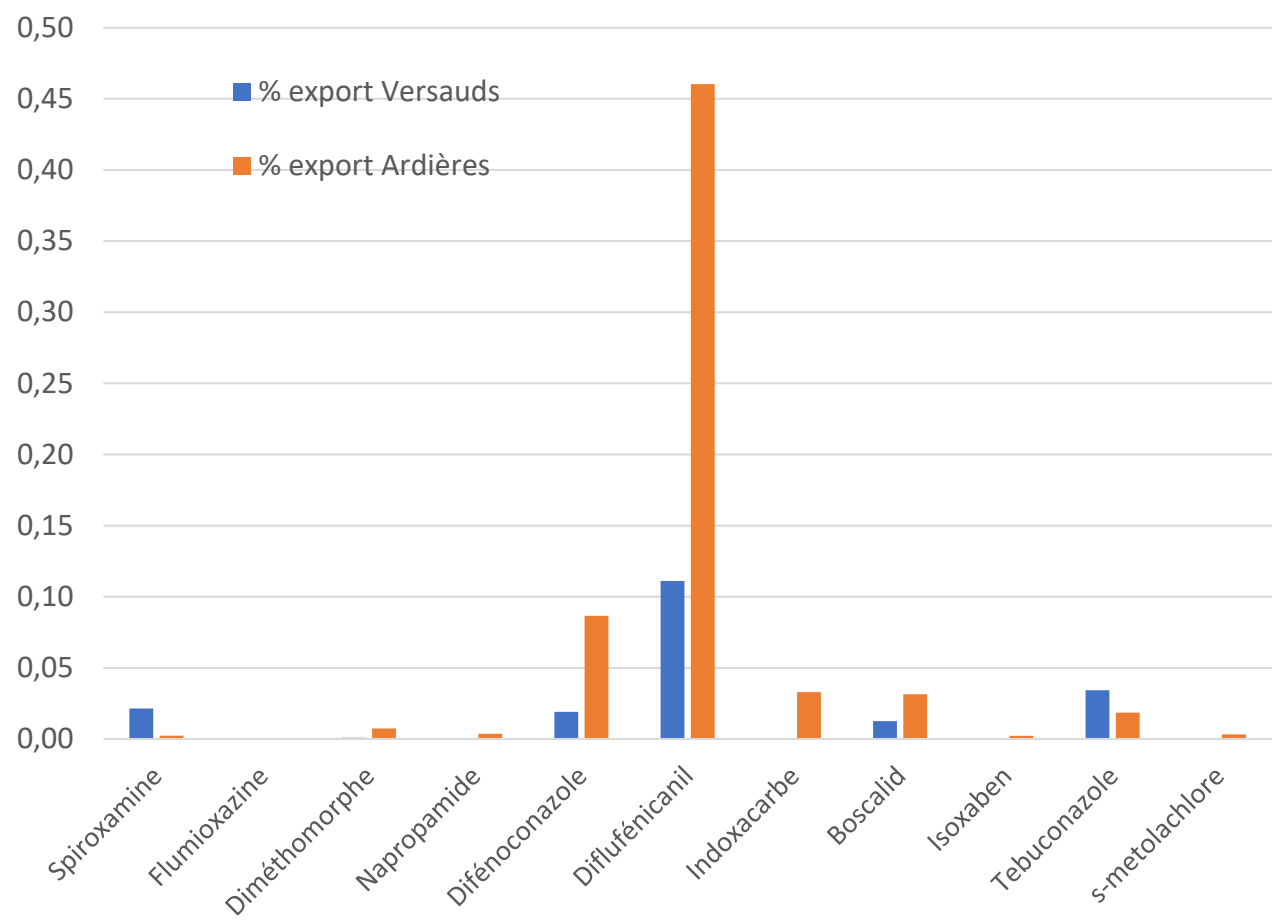


Echantillons « pesticides » bien répartis parmi l'ensemble des échantillons prélevés par PAP.

A priori, tendance antagoniste entre teneurs en MO élevées et fortes concentrations en pesticides



Transfert particulaire de produits phytosanitaires. Evaluation des quantités exportées sous forme particulaire



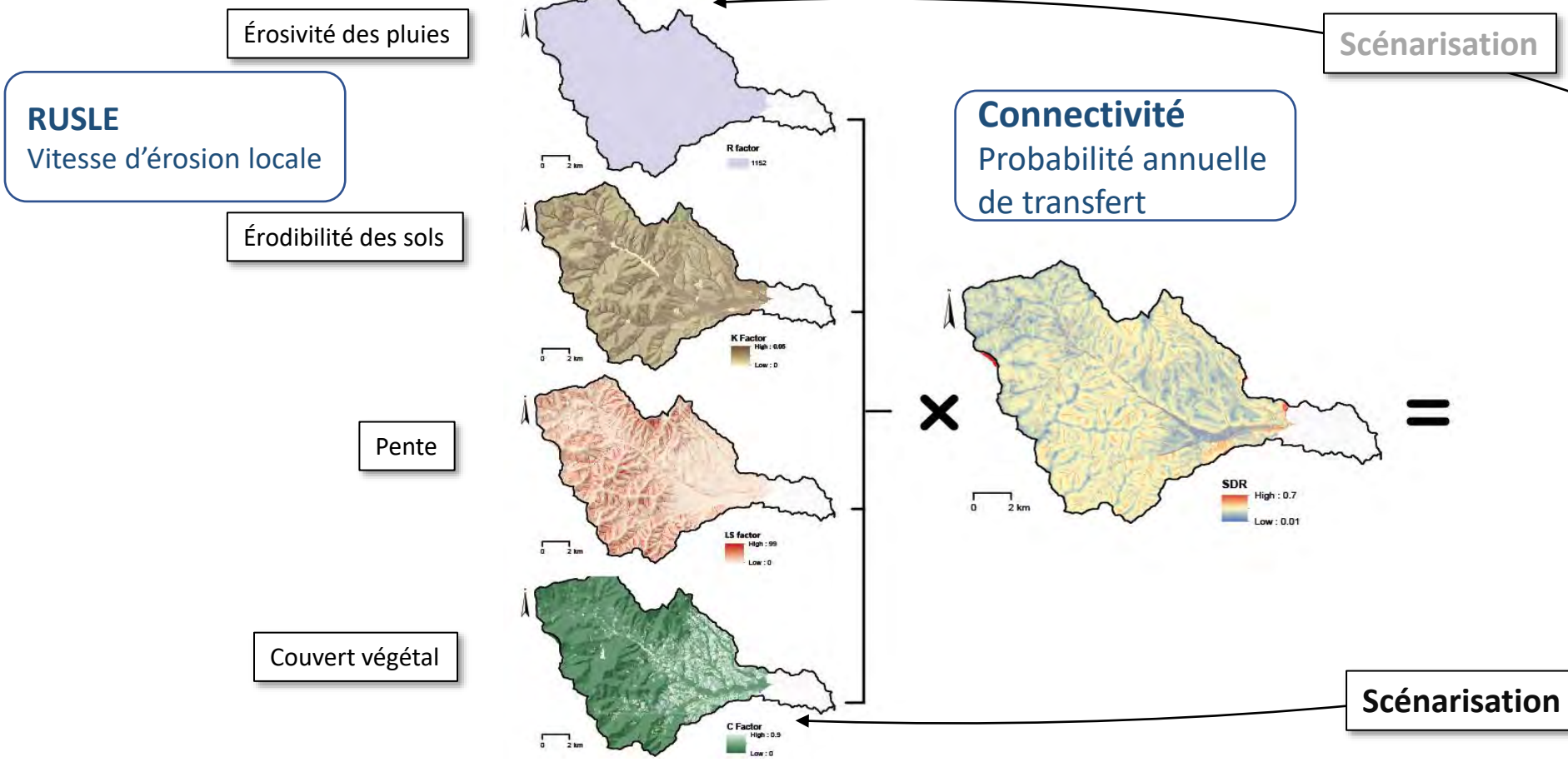
Première estimation de la part des substances actives exportées sous forme particulaire en mai et juin 2021 rapportée aux quantités totales appliquées sur l'année (moyenne 2019-2021)

⇒ Evaluation à approfondir ; pour certaines substances, les taux d'exportation sous forme particulaire sont significatifs par comparaison aux taux d'exportation usuels en phase soluble



Modélisation des transferts de sédiments et de pesticides

Modélisation transferts sédimentaires à l'échelle du bassin versant



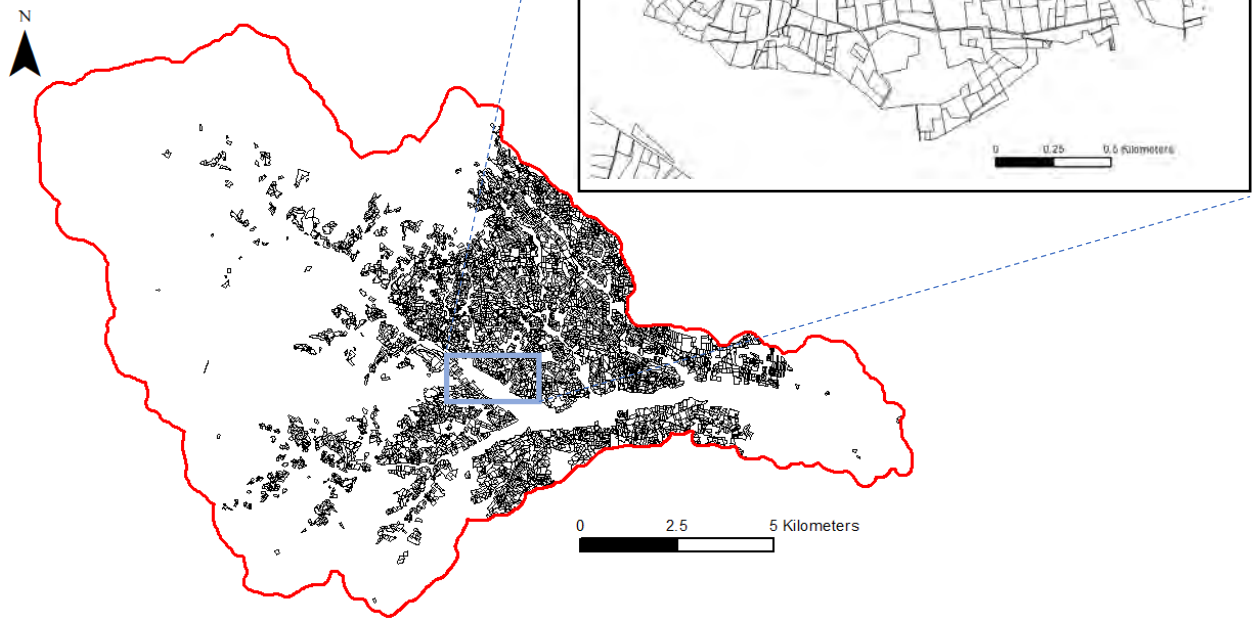
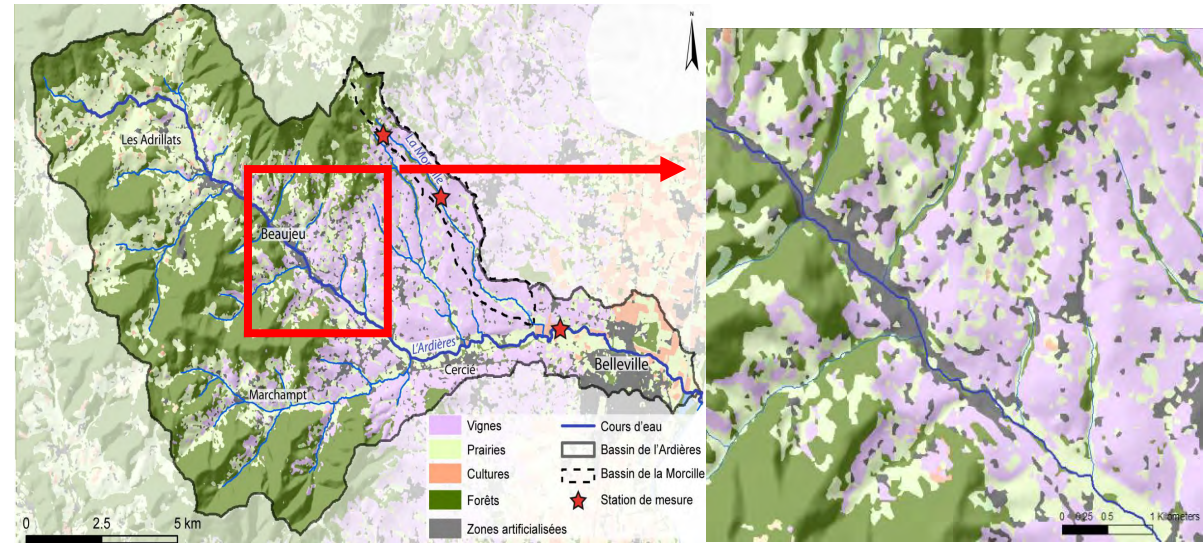
- Estimation des flux sédimentaires moyens à l'exutoire du bassin versant
- Spatialisation des zones sources de sédiments



Modélisation des transferts de sédiments et de pesticides

Modélisation transferts sédimentaires **à l'échelle du BV**

Facteur C : Couverture des sols



Données de base : OSO théia 2020

Classification des vignes

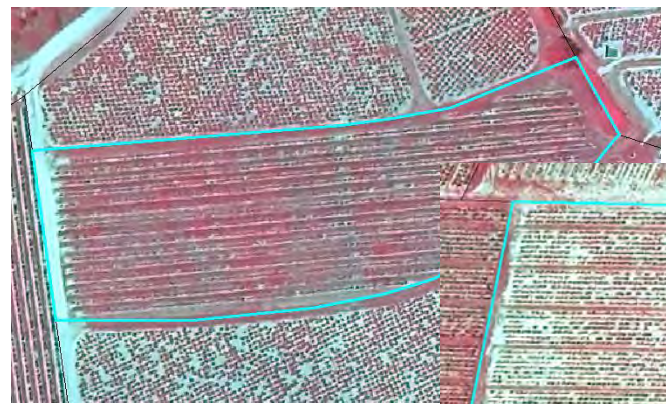


Modélisation des transferts de sédiments et de pesticides

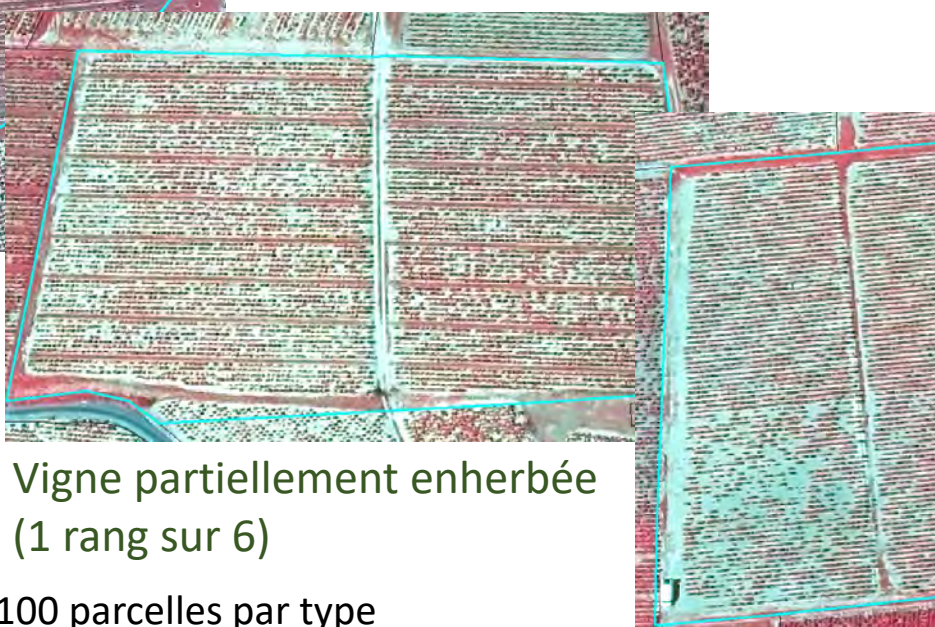
Modélisation transferts sédimentaires à l'échelle du bassin versant

Facteur C : Couverture des sols

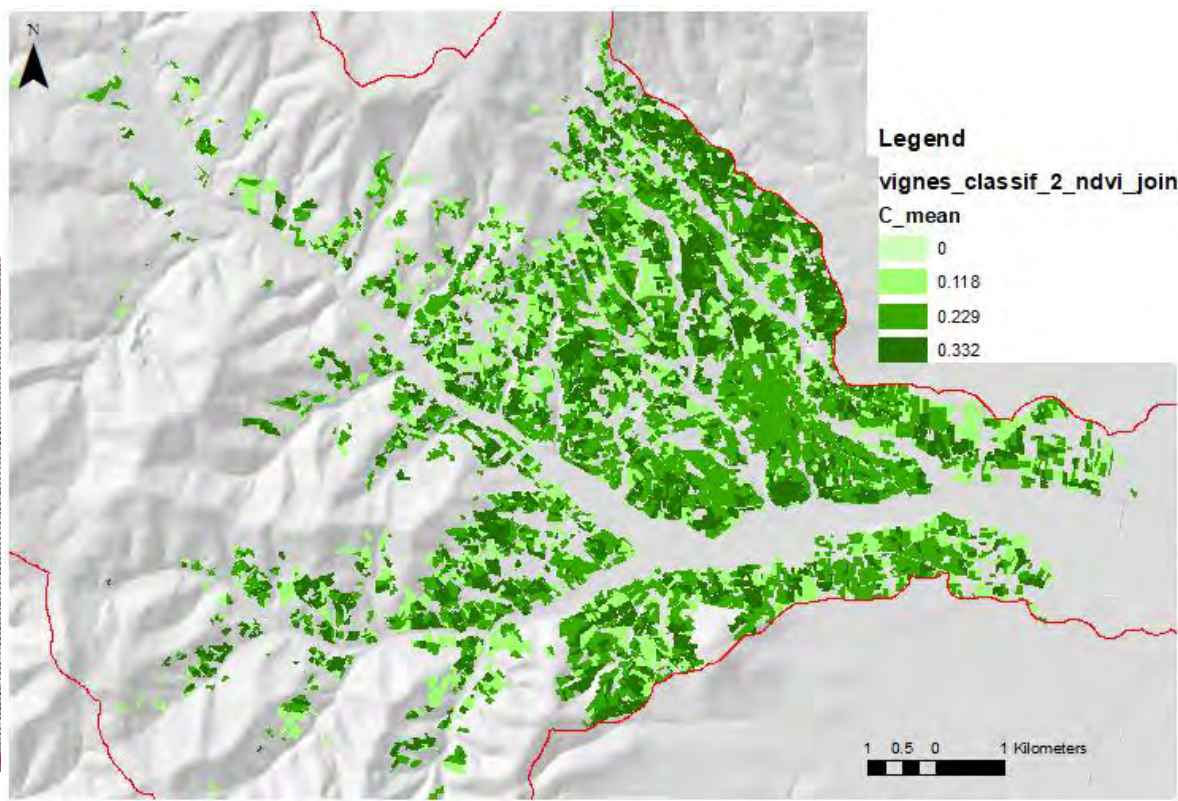
C – RUSLE par classe de vigne ⇒ utile pour scénarisation



Vigne enherbée



Vigne partiellement enherbée
(1 rang sur 6)



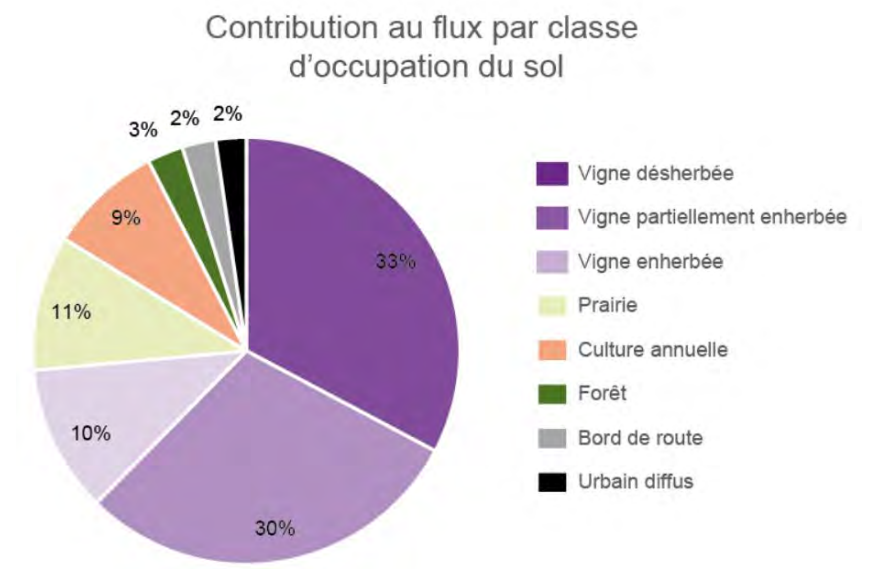
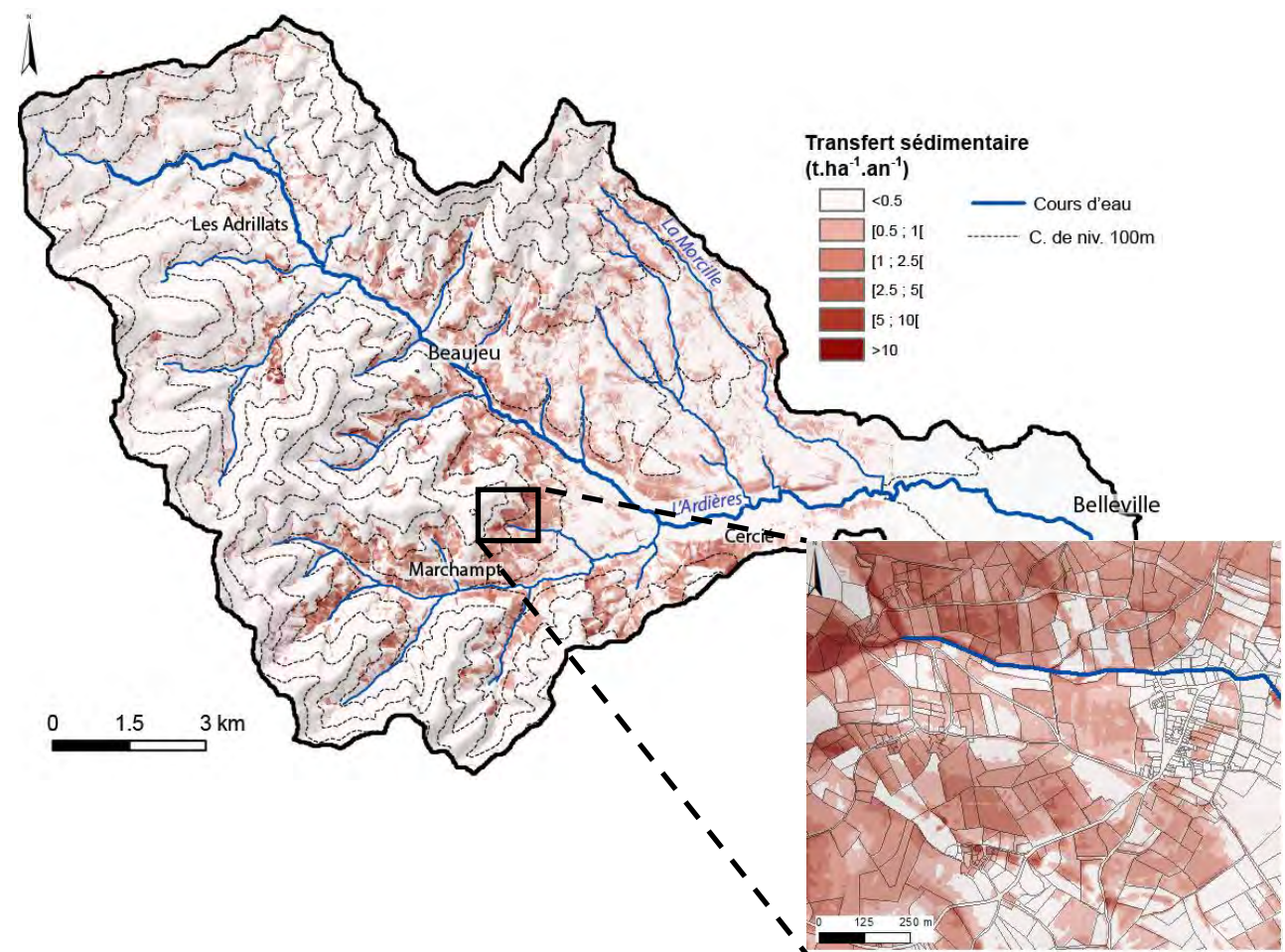
Vigne desherbée

- ➔ Échantillonnage de 100 parcelles par type
- ➔ Buffer négatif de 5 mètres pour chaque parcelle
- ➔ Extraction des signatures spectrales Sentinel pour chaque parcelle



Modélisation des transferts de sédiments et de pesticides

Modélisation transferts sédimentaires à l'échelle du bassin versant



Scénario - enherbement 1 rang de vigne sur 6 :

- 10% sur l'érosion des sols
- -6% sur les transferts à l'exutoire

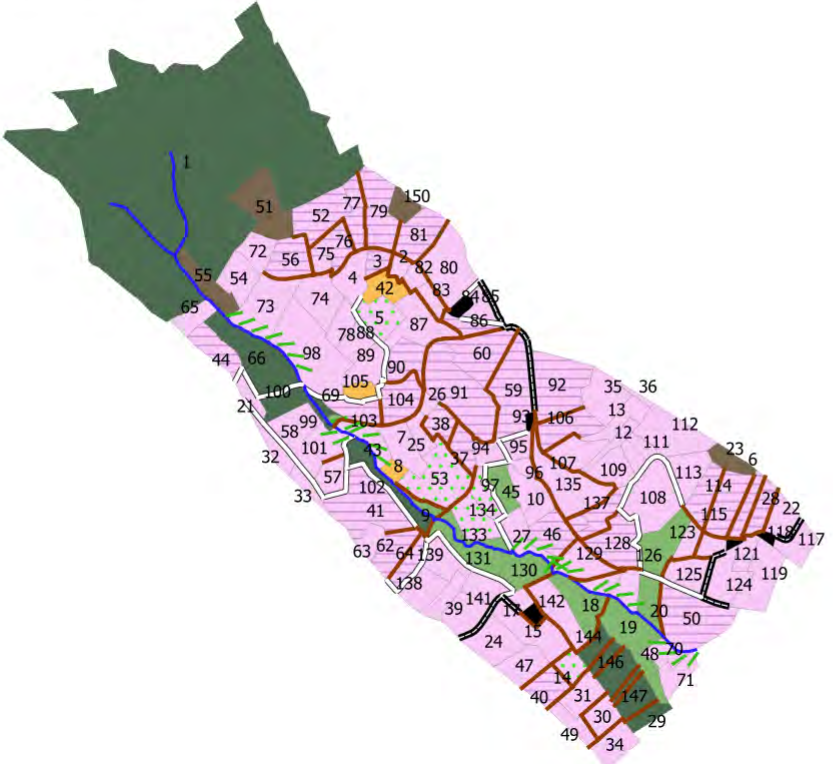


Modélisation des transferts de sédiments et de pesticides

Modélisation à l'échelle du petit bassin versant : GeoMelba

Objectif : permettre d'évaluer ex-ante l'effet de changements de pratiques et d'aménagements sur l'érosion et les transferts de pesticides au sein d'un bassin versant

- Occupation du sol**
- vigne
 - verger
 - prairie
 - bois
 - friche
 - habitation
 - présence de rases
 - enherbement
- Elements lineaires**
- haie
 - ripisylve
 - cours d'eau sans aménagement
 - collecteur de drainage
 - fossé nu ou bétonné
 - fossé végétalisé
 - chemin enherbé
 - chemin nu
 - route
 - bande enherbée



GeoMelba Spirit

Sélectionner l'identifiant de la parcelle sur laquelle vous voulez zoomer entre 1 et 150 : Zoomer

Retour Arrière Zoomer sur le Bassin versant

Une seule parcelle Plusieurs parcelles Pratiques Propriétaire Un seul linéaire Pl

Sélectionner le type d'occupation du sol souhaité puis, sur la carte cliquer sur la parcelle à modifier:


Vigne	Vigne enherbee	Vigne avec rases
Vigne enherbee avec rases	Verger	Prairie
Friche	Bois	Habitation

Informations :

Outil de modification de l'occupation du sol du parcellaire.

Permet de modifier l'occupation du sol d'une parcelle au clic.

Choisir le type d'occupation du sol à ajouter puis cliquer sur une parcelle sur la carte pour la modifier.





Modélisation des transferts de sédiments et de pesticides

Modélisation à l'échelle du petit bassin versant : GeoMelba

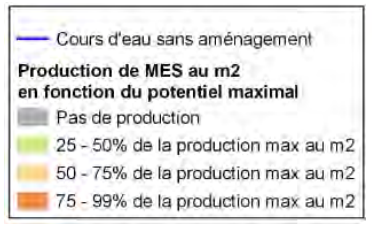
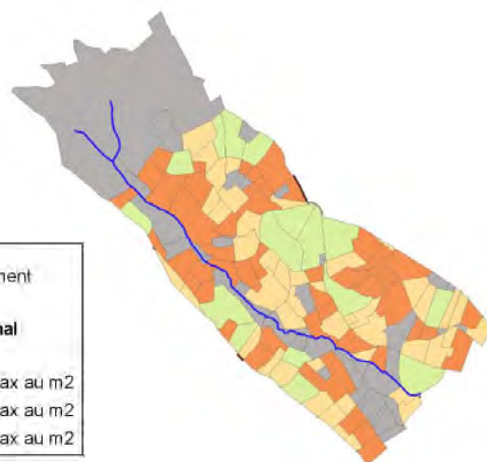
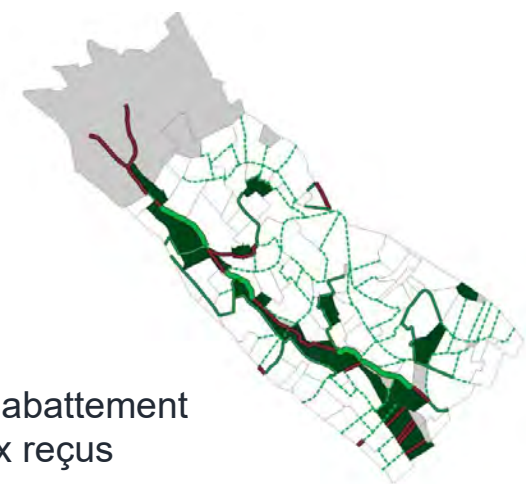
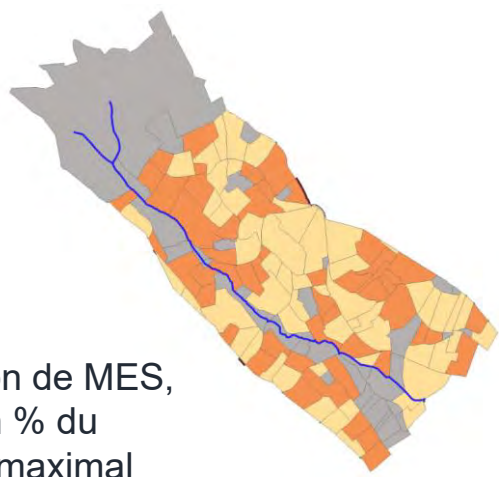
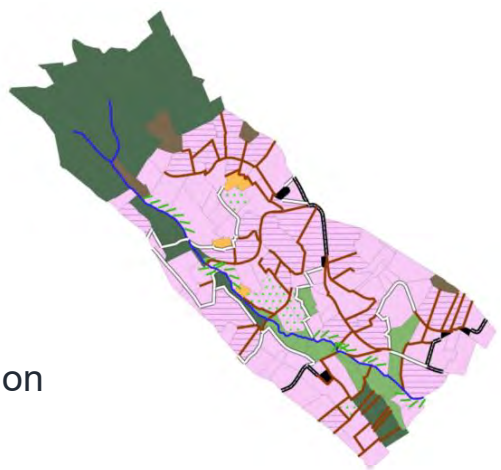
Etat initial

Occupation du sol

Production de MES, par m² en % du potentiel maximal

Taux d'abattement des flux reçus

Après aménagement





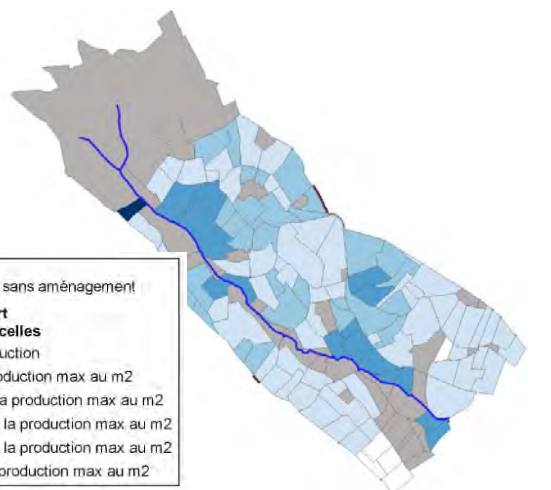
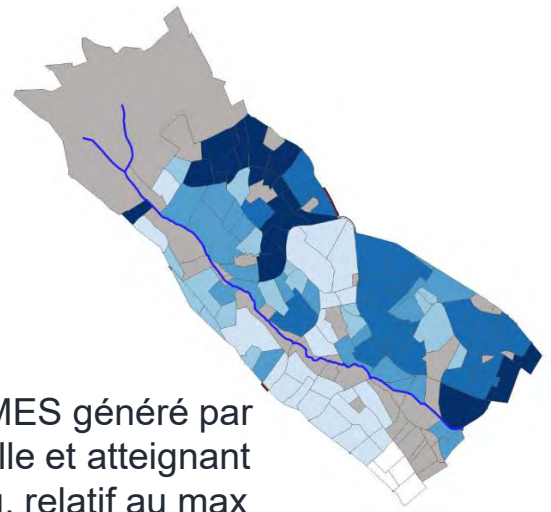
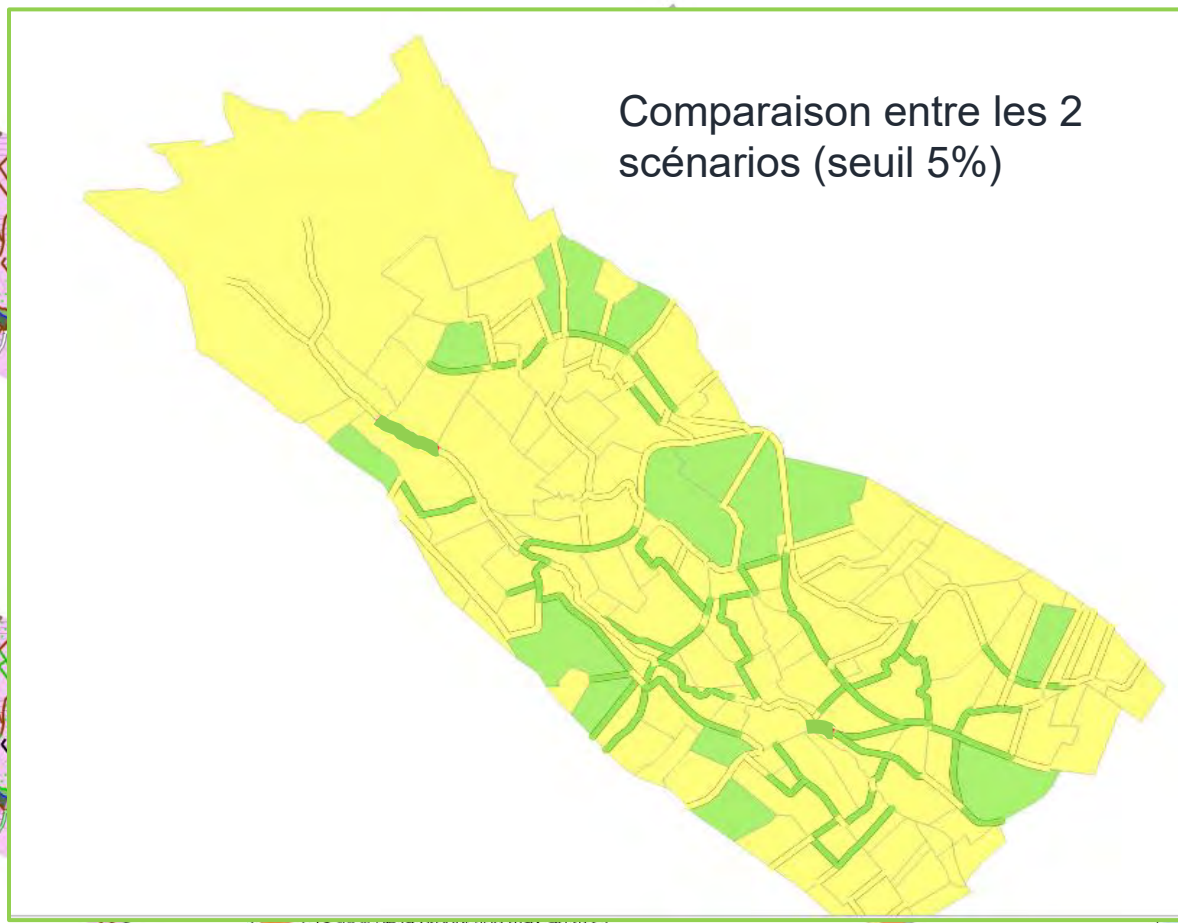
Modélisation des transferts de sédiments et de pesticides

Modélisation à l'échelle du petit bassin versant : GeoMelba

Etat initial

Occupation du sol

Après aménagement



- Cours d'eau sans aménagement
- Cours d'eau avec aménagement
- Pas de production
- 0% de la production max au m²
- 1 - 25% de la production max au m²
- 25 - 50% de la production max au m²
- 50 - 75% de la production max au m²
- 100% de la production max au m²

75 - 99% de la production max au m²



Conclusions - Perspectives

- Le projet PULSE a permis l'équipement du site atelier Ardière-Morcille pour le suivi des transferts sédimentaires et du transport particulaire de pesticides
- Persistance du transfert de substances actives qui ne sont plus appliquées ou de leurs produits de transformation sous forme particulaire
- Certaines substances actives sont exportées sous forme particulaire de façon significative
- L'approche par modélisation à 2 échelles emboîtées permet (1) de sélectionner des zones prioritaires à l'échelle du bassin versant pour (2) tester des scénarios d'aménagement pour la réduction des transferts à échelle locale
- Poursuivre et pérenniser le suivi sédimentaire sur le SAAM
- Consolider l'évaluation des transferts de pesticides (formes soluble et particulaire) sur une année « normale »
- Déployer d'autres scénarios à l'échelle du bassin (effet des changements de pratiques sur la connectivité sédimentaire)
- Explorer d'autres scénarios d'aménagements à l'échelle du petit bassin versant

An aerial photograph of a rural landscape. The foreground shows a small village with several stone buildings and a paved road. Beyond the village, a winding road leads through a valley filled with green fields and patches of trees. The background shows a vast, hilly landscape under a clear blue sky.

Merci pour leur appui sur le terrain et au laboratoire à :

Fanny Courapied,
Adrien Bonnefoy,
Fabien Thollet,
Léa Ruggieri
Jessica Pic
Matthieu Masson
Loïc Richard
Romain Marie
Céline Guillemain
Christelle Margoum

Séminaire scientifique

Flux polluants écotoxicologie et écosystèmes

5 octobre 2023 - Villeurbanne

Avec le soutien de :



Apports de la biogéochimie pour **l'évaluation d'un modèle** hydrologique distribué en milieu péri-urbain

Olivier Grandjouan – INRAE UR Riverly
3^e année de doctorat





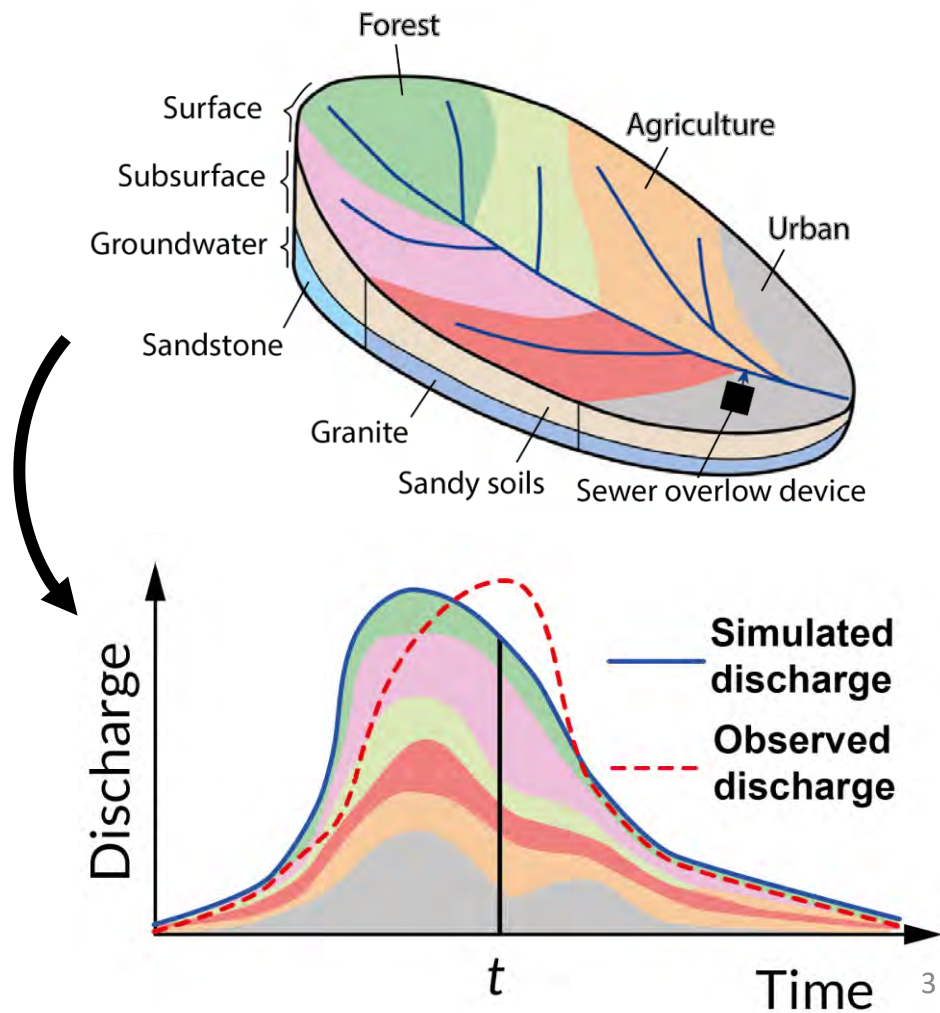
D'où proviennent les eaux dans un bassin versant d'usage mixte ?

Les **bassins versants d'usage mixte** présentent une grande diversité de sources au débit

→ Risque d'impact sur la qualité des eaux de surface

Les **modèles hydrologiques distribués** sont des modèles Pluie-Débit spatialisés, prometteurs pour tracer les contributions de ces sources

→ Problème de validation des résultats





D'où proviennent les eaux dans un bassin versant d'usage mixte ?

Les **bassins versants d'usage mixte** présentent une grande diversité de sources au débit

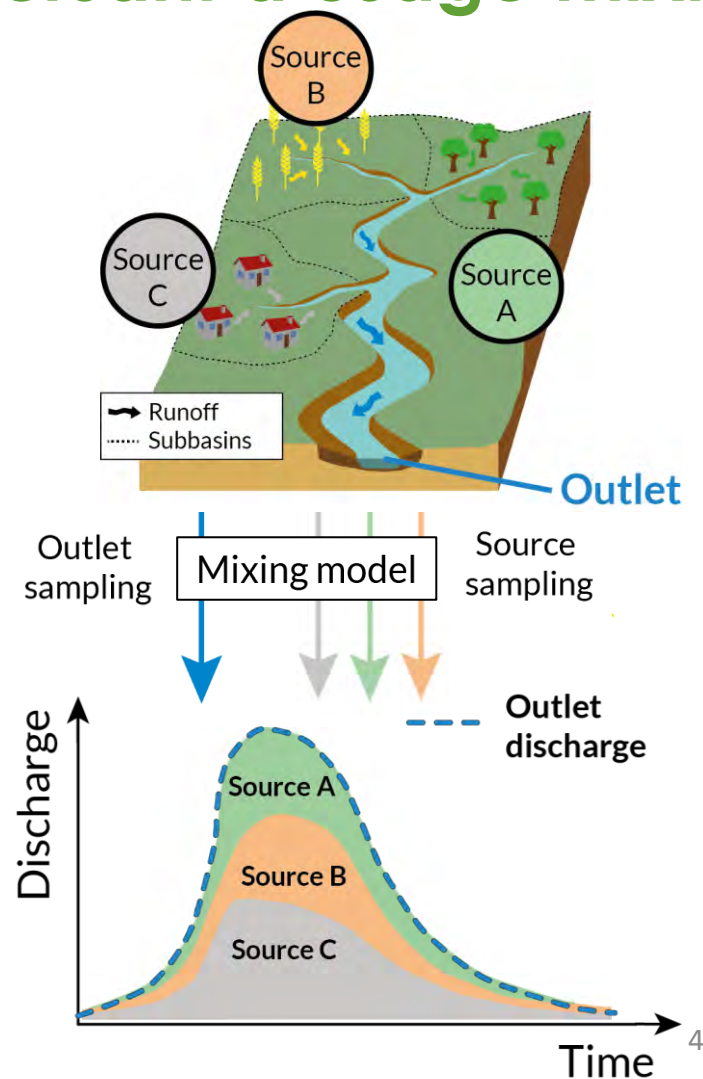
→ Risque d'impact sur la qualité des eaux de surface

Les **modèles hydrologiques distribués** sont des modèles Pluie-Débit spatialisés, prometteurs pour tracer les contributions de ces sources

→ Problème de validation des résultats

Les **modèles de mélange biogéochimiques** :

- Permettent d'estimer les contributions des sources au débit selon leurs empreintes biogéochimiques
- Peuvent aider à évaluer les résultats d'un modèle hydrologique distribué





Objectifs de la thèse

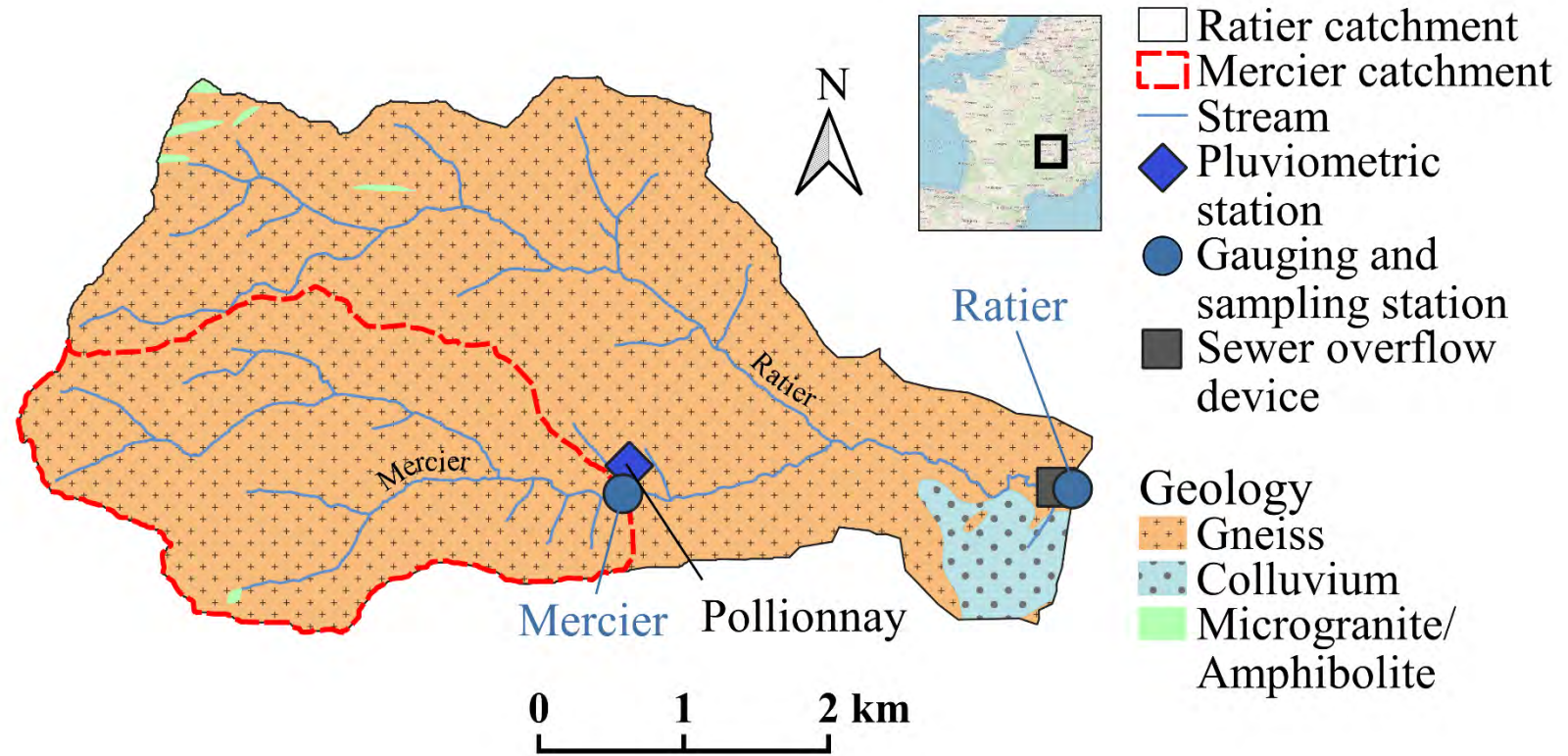
Développement d'une méthode d'évaluation et d'amélioration d'un modèle hydrologique distribué à partir d'une approche biogéochimique par modèle de mélange

En lien avec les projets :

- IDESOC (ZABR – Agence de l'eau) → développement d'une méthode de localisation d'identification et de caractérisation des sources de contaminants dans des bassins versants à usage mixte (enquêtes de terrain, cartographie d'usage des sols)
- CHYPSTER (ANR) → quantification des contributions des sources de contaminants à l'écoulement total en liant hydrologie et biogéochimie. Scénarios en contexte de changement climatique et de changement d'usage des sols



Le bassin versant du Ratier



- Surface : 19 km²
- Sous-bassin versant imbriqué du Mercier (8km²)
- Bassin-versant à usage mixte
- Présence de deux stations de mesure du débit
- Présence d'un déversoir d'orage en aval
- Géologie cristalline uniforme + colluvions avec un aquifère local



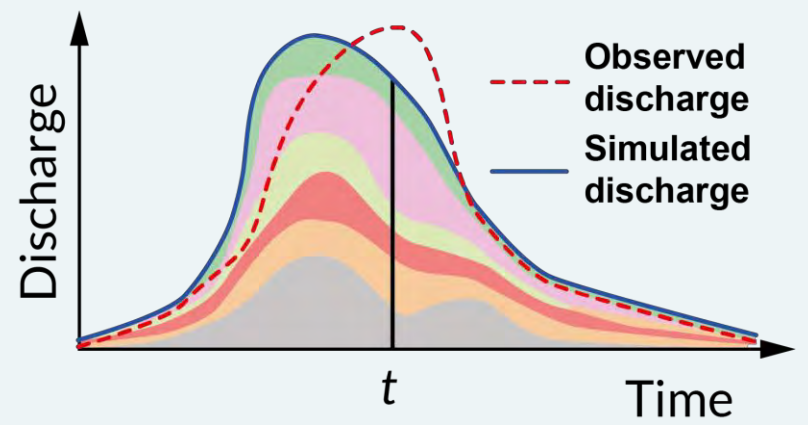
Méthodologie

Aspect hydrologique

Module de décomposition spatiale du débit



Décomposition du débit par J2000P-Ratier

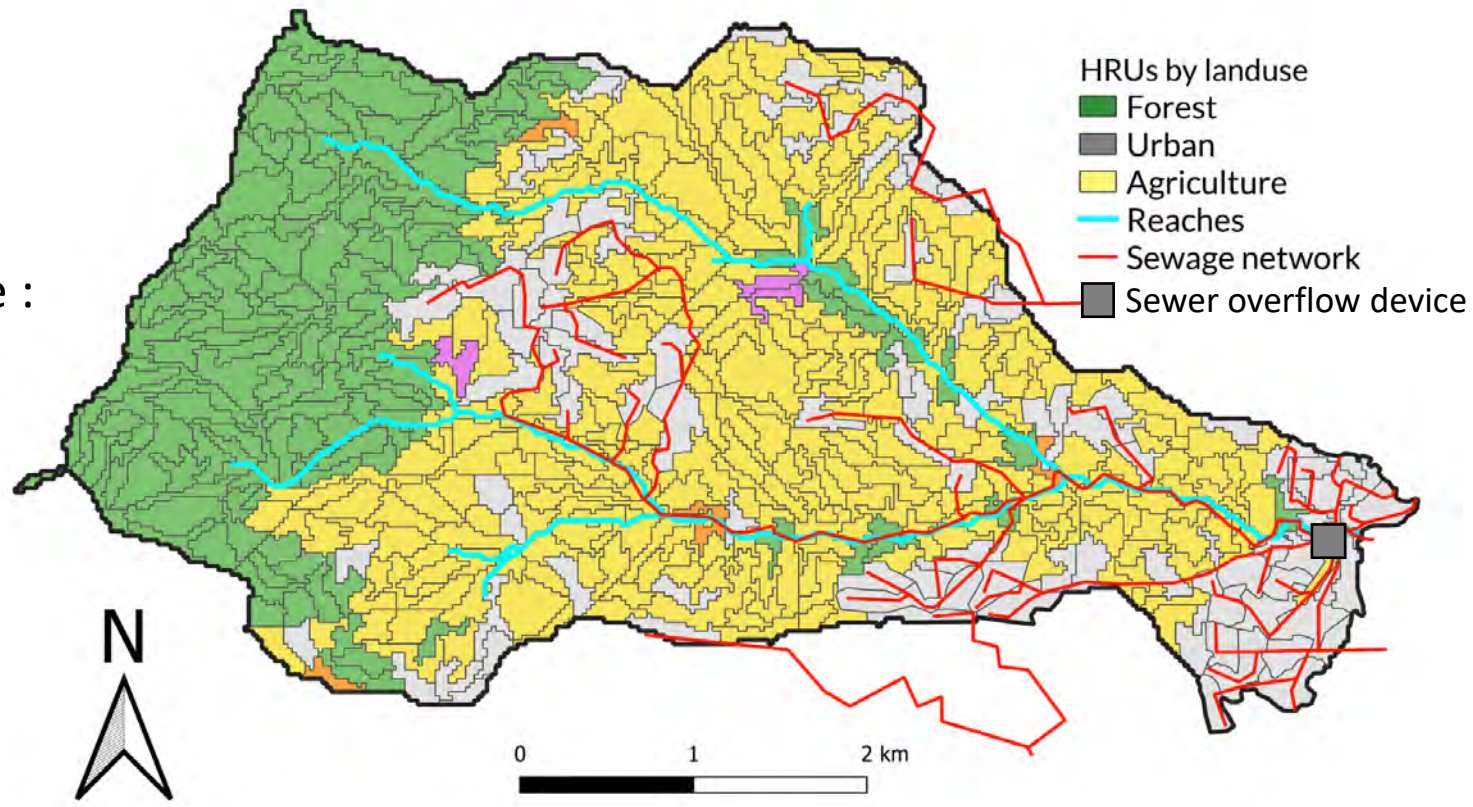


Aspect biogéochimique



Le modèle hydrologique distribué J2000P

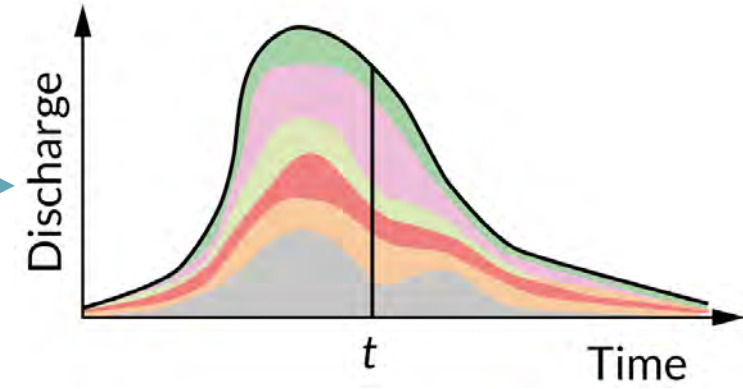
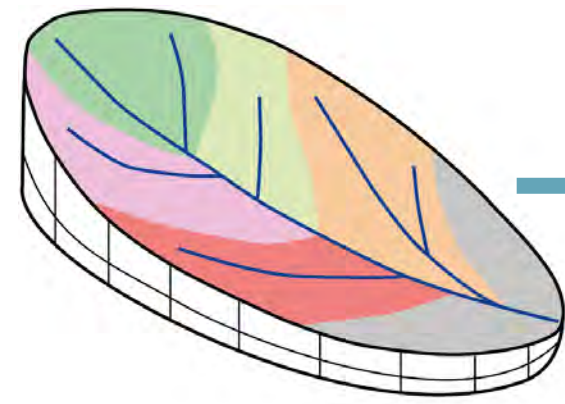
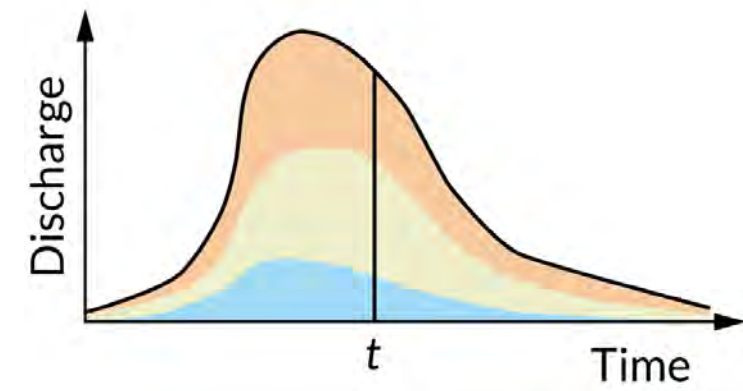
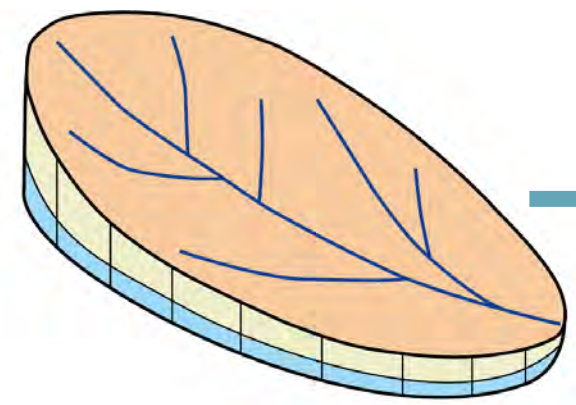
- Pluie en entrée → Débit en sortie
- Discrétisation en mailles hydrologiquement homogènes
- Adapté aux bassins versants à usage mixte : surface imperméables, réseaux d'assainissement, **déversoirs d'orage**





Le modèle hydrologique distribué J2000P

- Pluie en entrée → Débit en sortie
- Spatialisation selon des mailles hydrologiquement homogènes
- Adapté aux bassins versants à usage mixte : surface imperméables, réseaux d'assainissement, **déversoirs d'orage**
- Décomposition verticale du débit (surface/subsurface/souterrain)
- Création et implémentation d'un nouveau module
→ Décomposition spatiale du débit



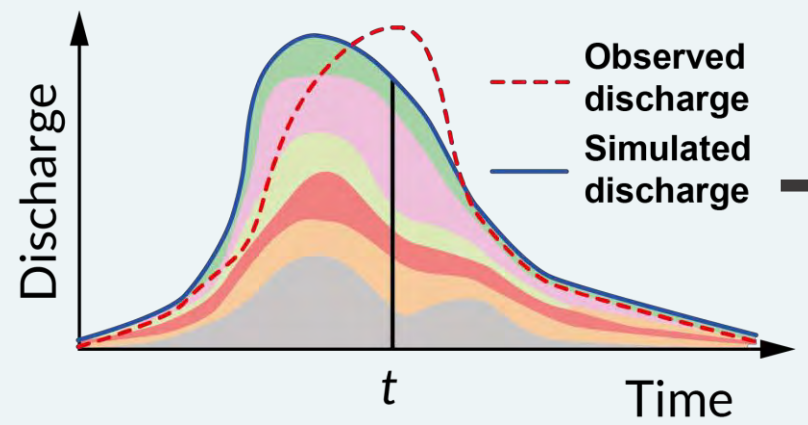


Méthodologie

Aspect hydrologique

Module de décomposition spatiale du débit

Décomposition du débit par J2000P-Ratier



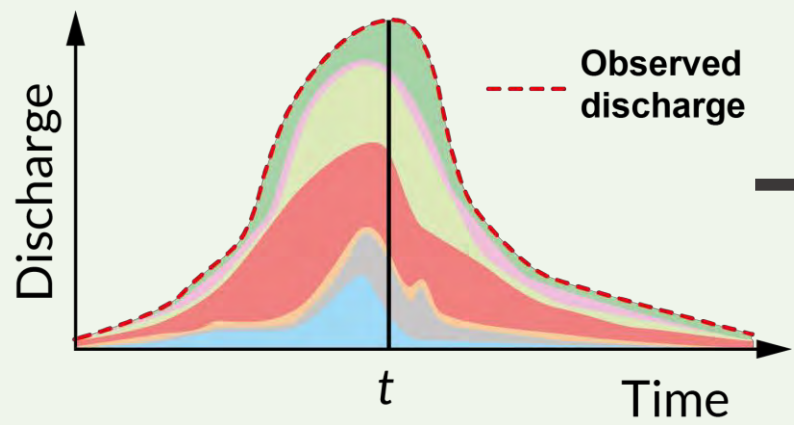
Aspect biogéochimique

Identification et prélèvements des sources

Identification et prélèvements des événements

Modèle de mélange

Décomposition biogéochimique du débit



Évaluation de J2000P-Ratier

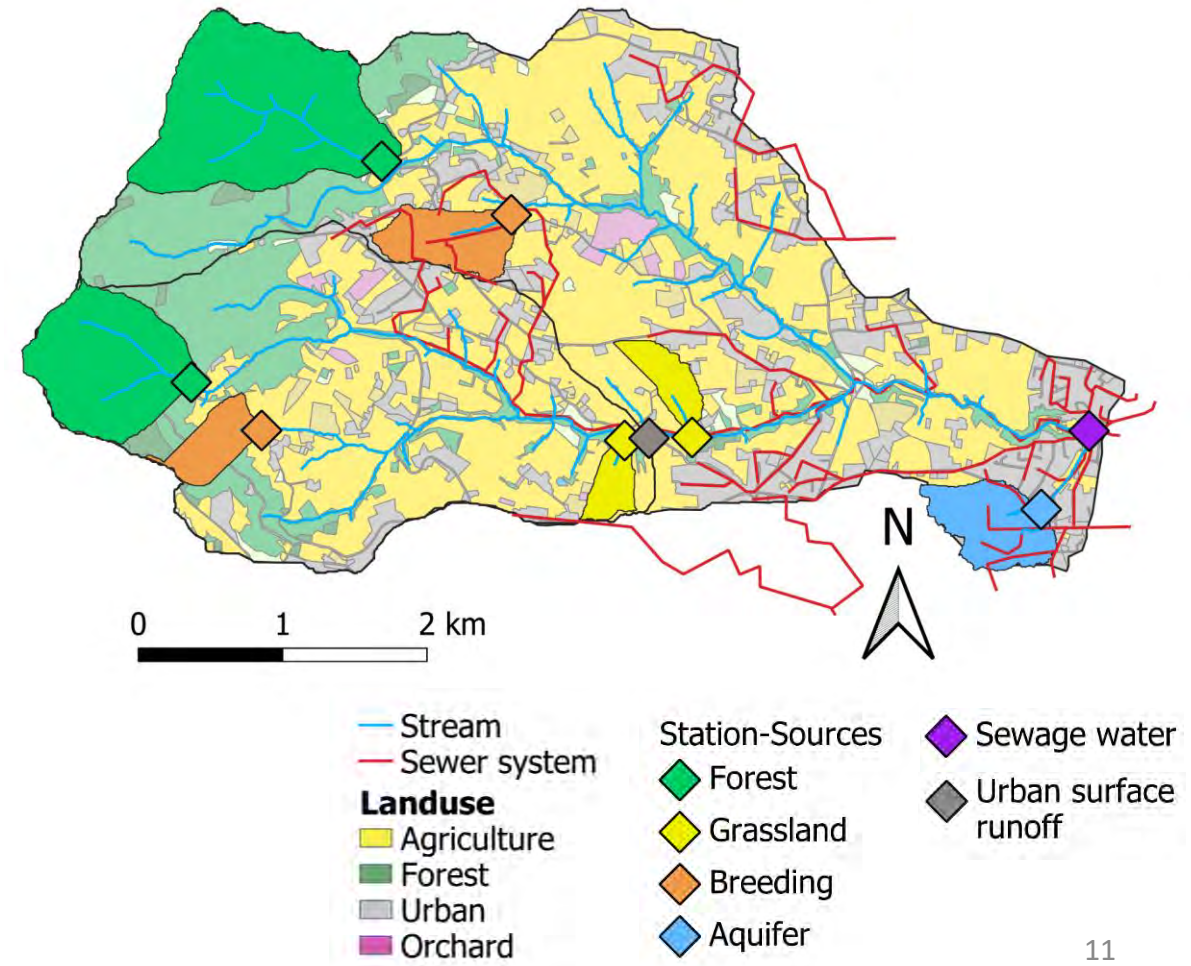


Prélèvements des sources et des événements

Prélèvement des sources

9 stations-sources prélevées sur 8 campagnes (hautes eaux/basses eaux/temps sec/temps humide) :

- 2 forêts ▪ 2 prairies ▪ 2 agricoles (pâturage/culture)
- 1 écoulement associé à l'aquifère des colluvions
- 1 réseau d'assainissement
- 1 ruissellement urbain



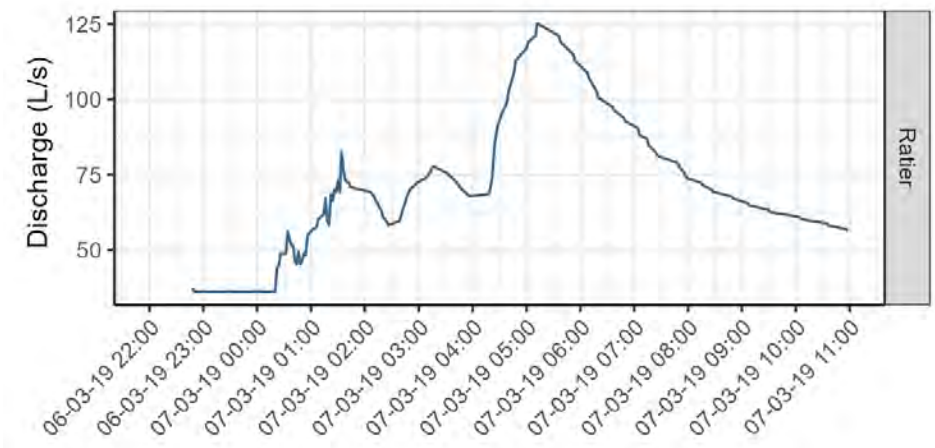
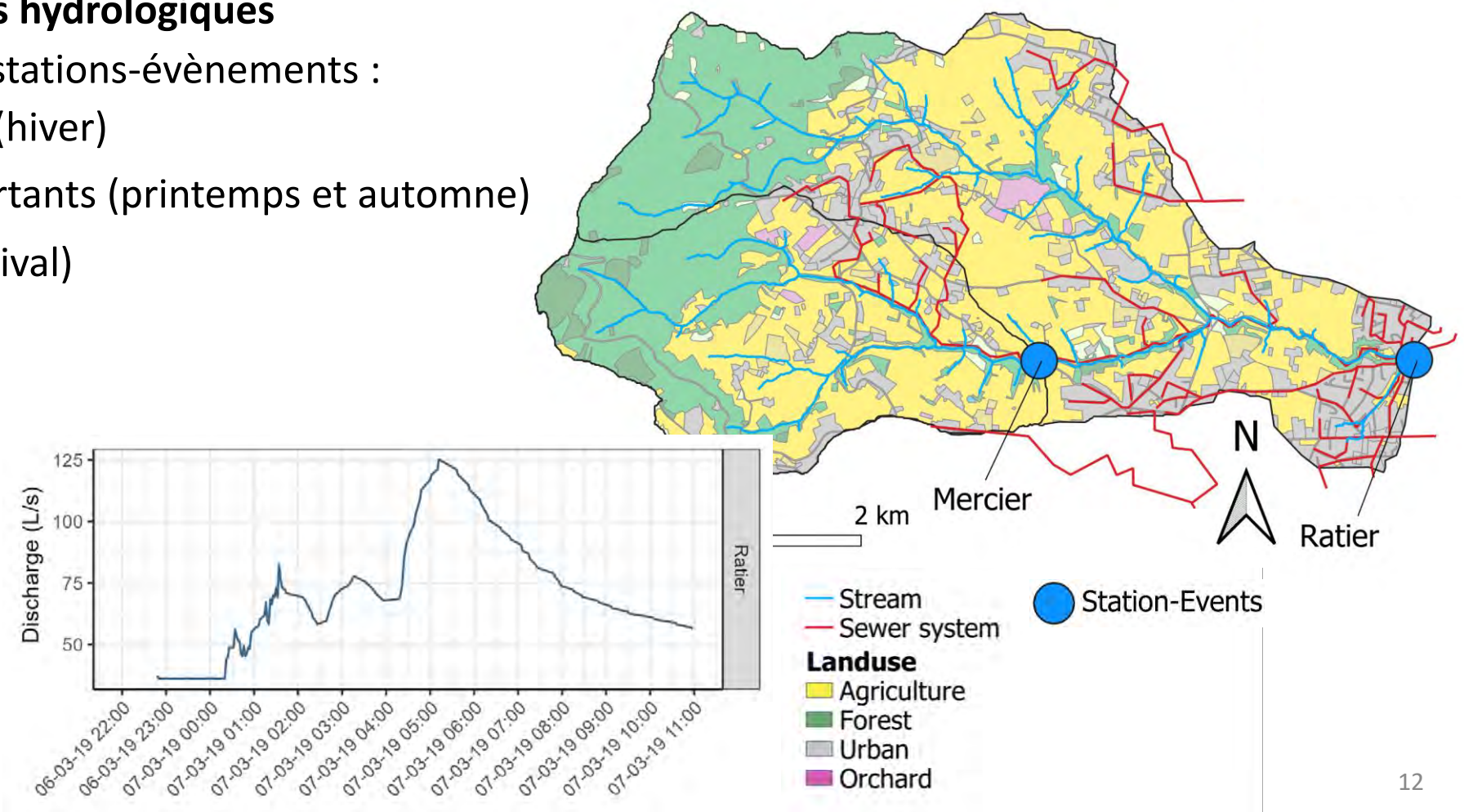


Prélèvements des sources et des évènements

Prélèvement des évènements hydrologiques

6 évènements prélevés sur 2 stations-évènements :

- 2 évènements faible débit (hiver)
- 2 évènements débits importants (printemps et automne)
- 2 évènements orageux (estival)





Prélèvements des sources et des événements

Analyses effectuées

46 échantillons de sources + 126 échantillons sur des événements hydrologiques

Paramètres majeurs

anions majeurs
cations majeurs
carbonates
silice dissoute

Métaux dissous

Li, B, Al, Ti, V, Cr,
Mn, Fe, Co, Ni, Cu,
Zn, As, Se, Rb, Sr,
Mo, AG, Cd, Sn,
Sb, Ba, Pb, U

Matière organique dissoute

COD
Indicateurs UV-Vis
Indicateurs HPSEC

Microbiologie

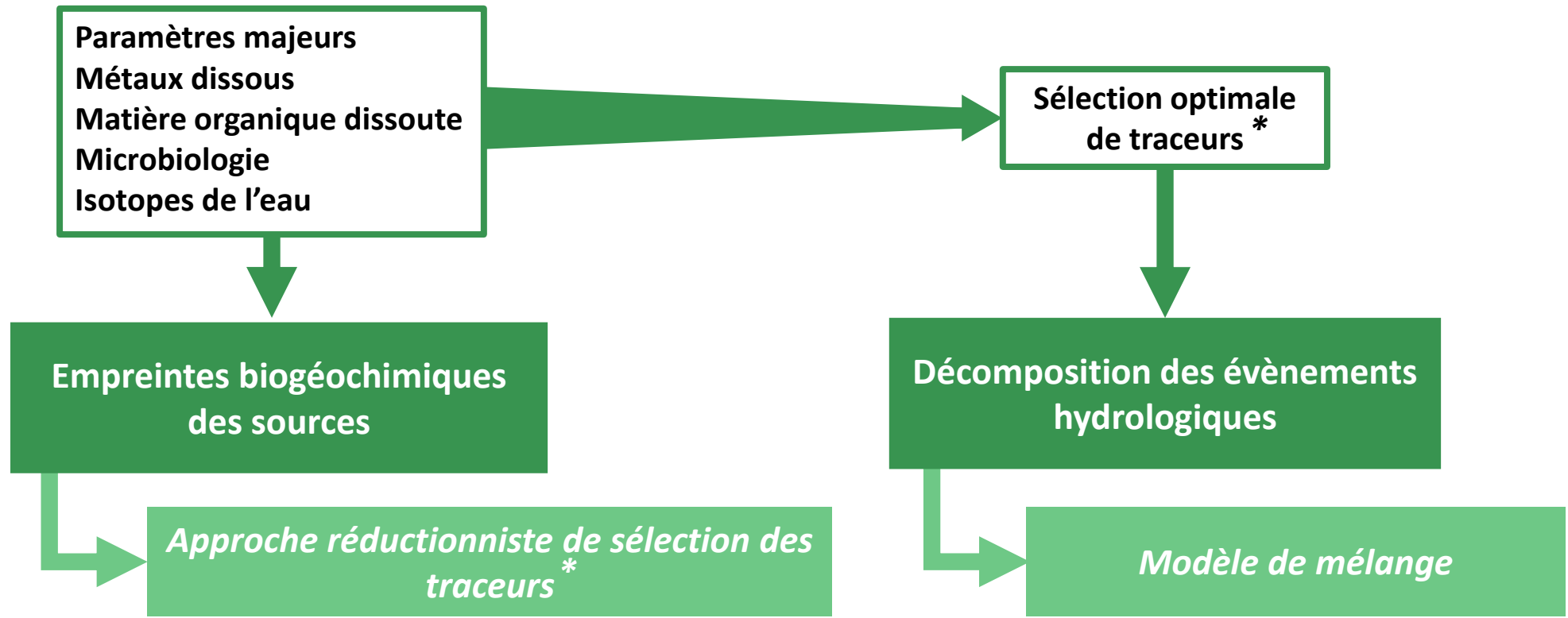
Marqueurs fécaux
spécifiques

Isotopes de l'eau

^2H , ^{18}O



Approche de décomposition biogéochimique des événements

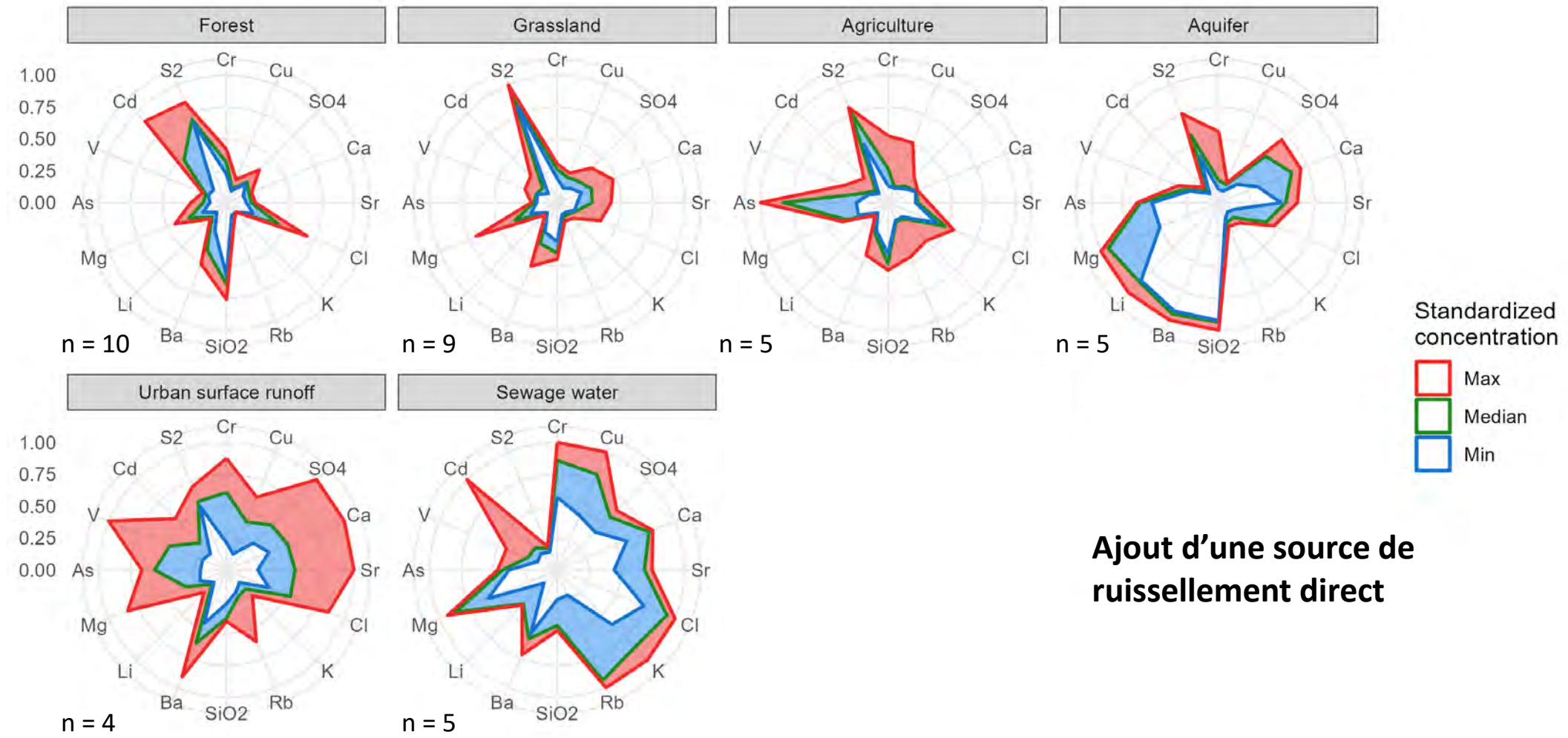


* Conditions : traceurs **additifs**,
conservatifs et **discriminants**



Empreintes biogéochimiques des sources

15 traceurs sélectionnés





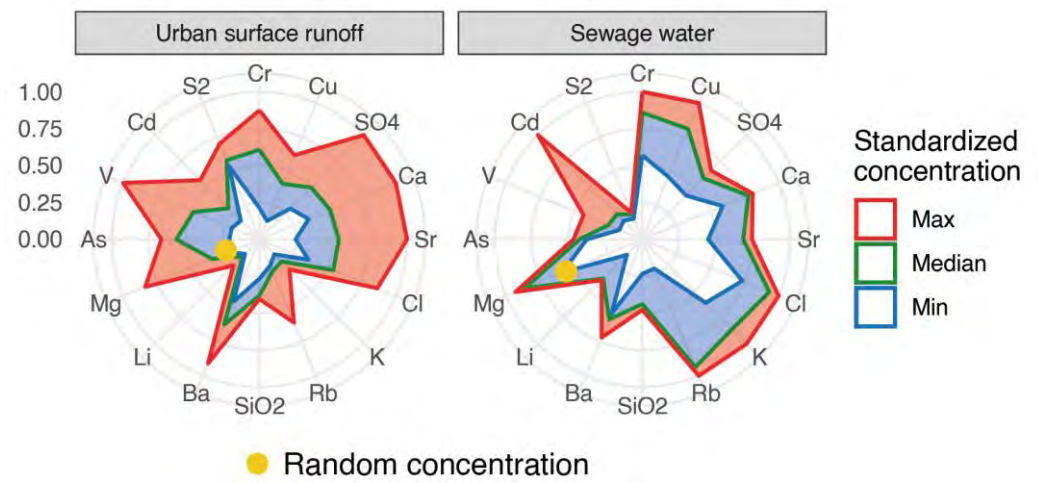
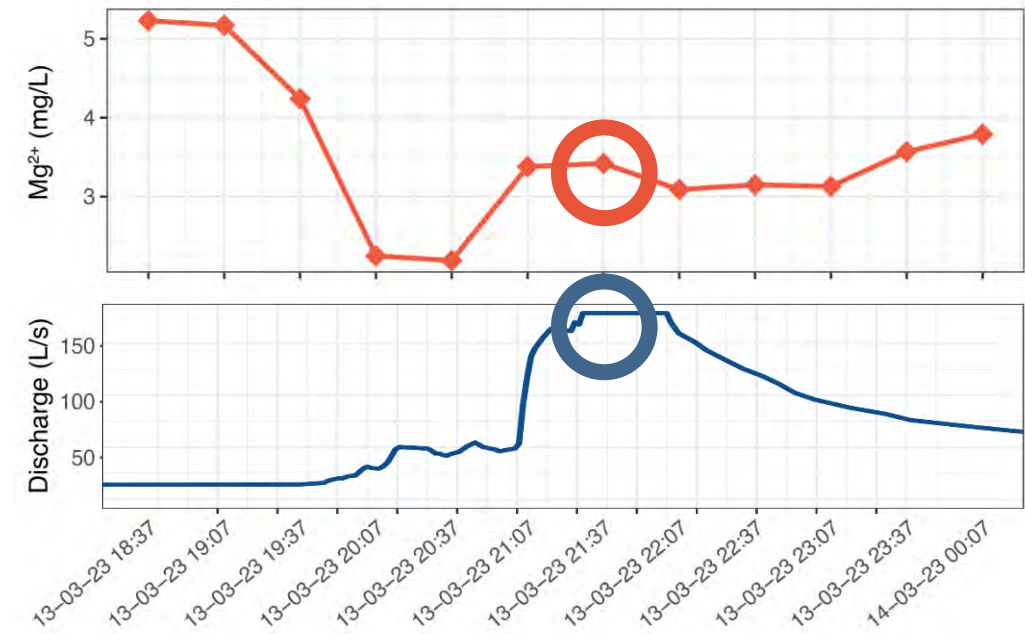
Application du modèle de mélange

$$Q_{tot}(t) = Q_{Sewage\ water}(t) + Q_{Urban\ surface\ runoff}(t) + Q_{Forest_1}(t) + \dots$$

$$Q_{tot}(t) * C_{tot}^{Mg^{2+}}(t) = Q_{Sewage\ water}(t) * C_{Sewage\ water}^{Mg^{2+}} + Q_{Urban\ surface\ runoff}(t) * C_{Urban\ surface\ runoff}^{Mg^{2+}} + Q_{Forest}(t) * C_{Forest}^{Mg^{2+}} + \dots$$

$$Q_{tot}(t) * C_{tot}^{Li}(t) = \dots$$

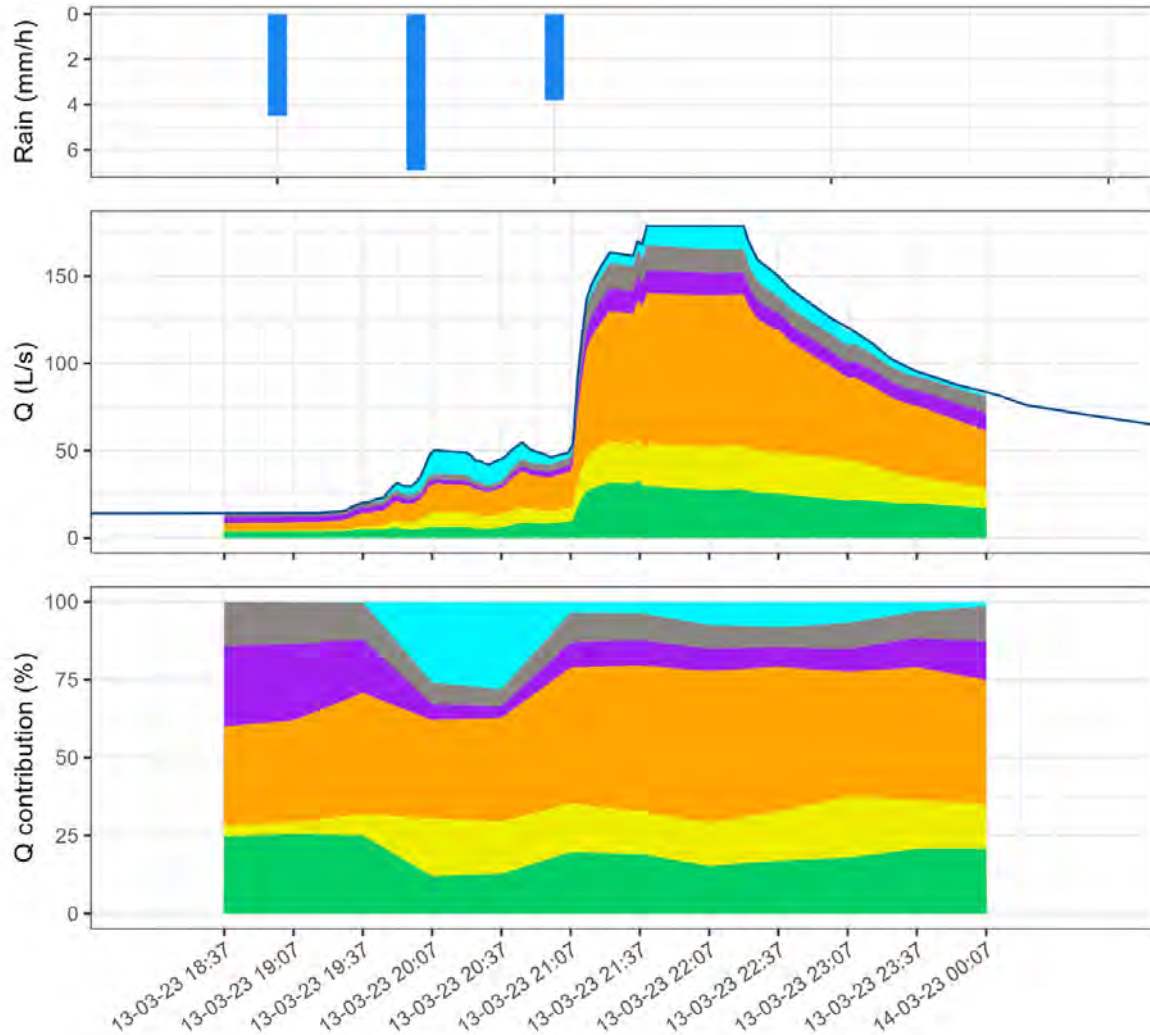
- Application d'un algorithme de Monte-Carlo
- Résolution par méthode des moindres carrés





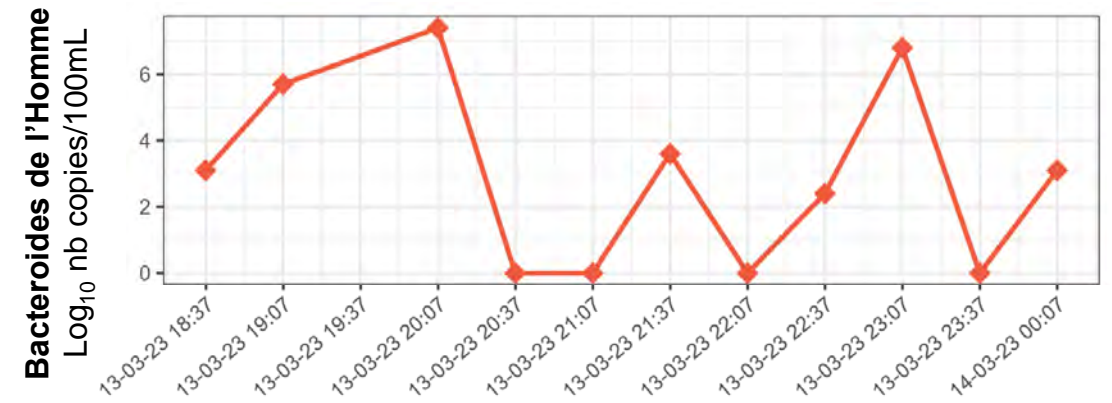
Résultats de décomposition

Mars 2023 – Mercier



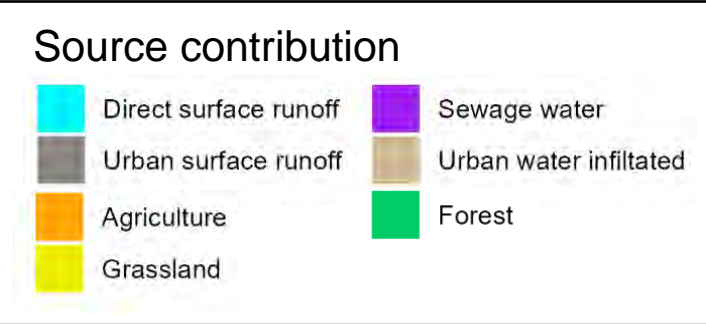
Indications concernant les eaux d'assainissement

- Comparaison avec des données additionnelles
Microbio, Micropolluants organiques...



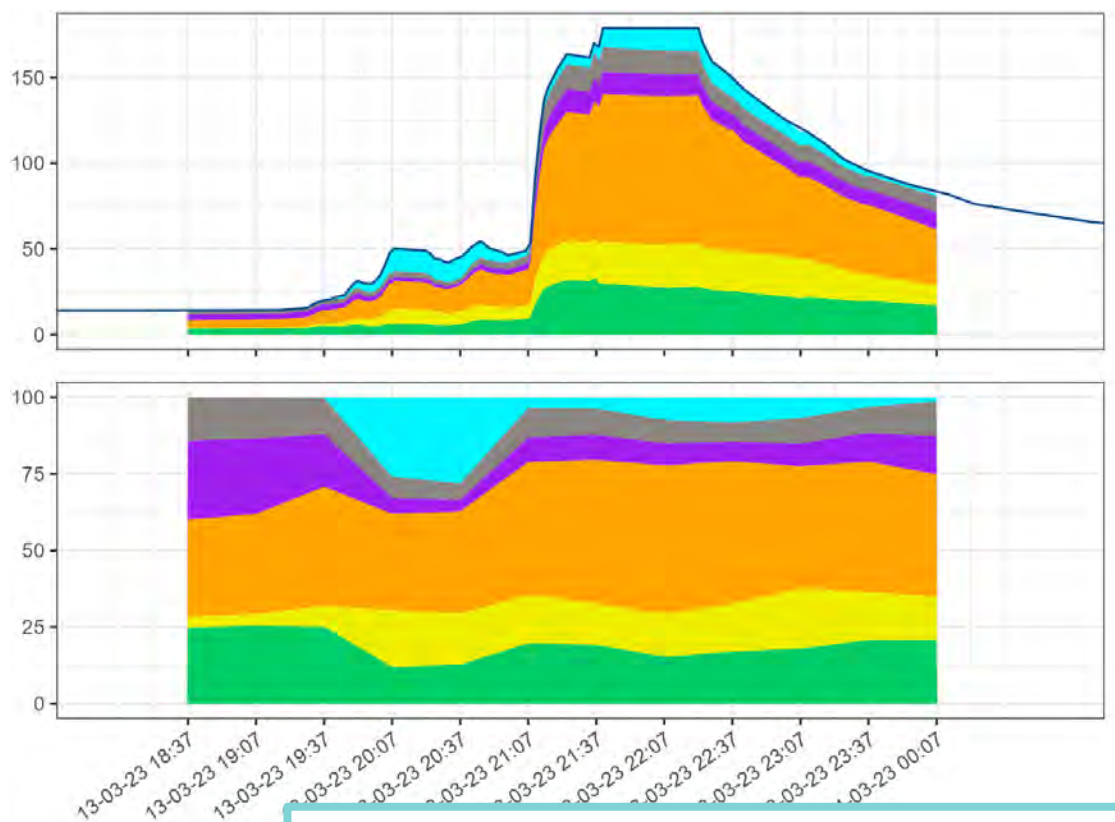
→ Contamination continue par les eaux d'assainissement



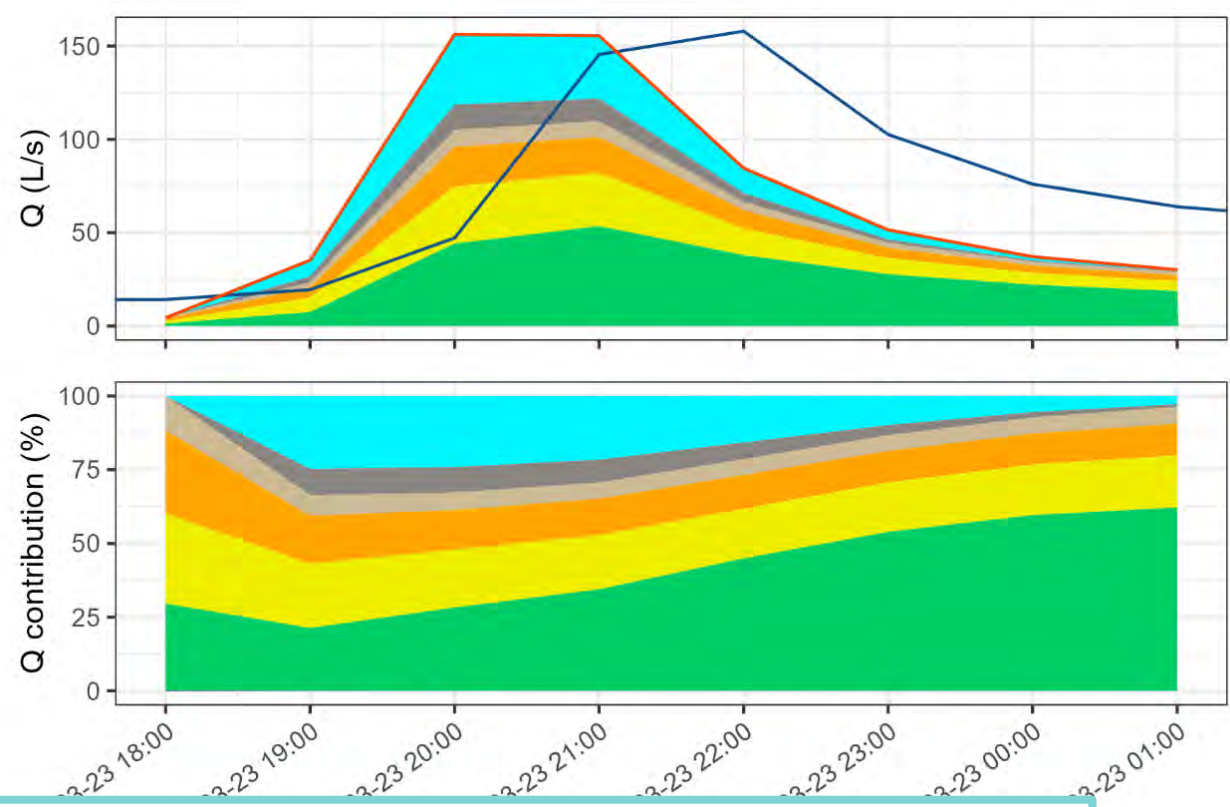


Evaluation des résultats de J2000P-Ratier

Décomposition biogéochimique



Décomposition par J2000P



Absence de la contribution du réseau d'assainissement dans J2000P-Ratier



Perspectives...

... à court terme

- Continuer les comparaisons pour les différents évènements prélevés
- Tester d'autres combinaisons de sources
- Donner des pistes d'amélioration des simulations de J2000P

... à moyen terme

- Appliquer la méthode à d'autres bassins versants à usage mixte (Claduègne)
- Améliorer les résultats des simulations de projections en contexte de changement climatique ou de changement d'occupation des sols



Scories métalliques et sédiments fluviaux : Premiers résultats du projet Rhone Poll Arch et perspectives

Dendievel A.-M. (Coord.)¹,
Diallo Y.^{1,2}, Ramon M.^{1,3},
Routhiau R.¹, Frioux S.³,
Gateuille D.⁴, Hammada M.¹,
Mourier B.¹, Paran F.²,
Périnaud C.⁵, Peuble S.² &
Winiarski T.¹

1



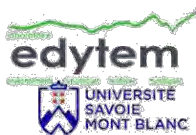
2



3



4



5



Avec le soutien de :



OBJECTIF DU PROJET

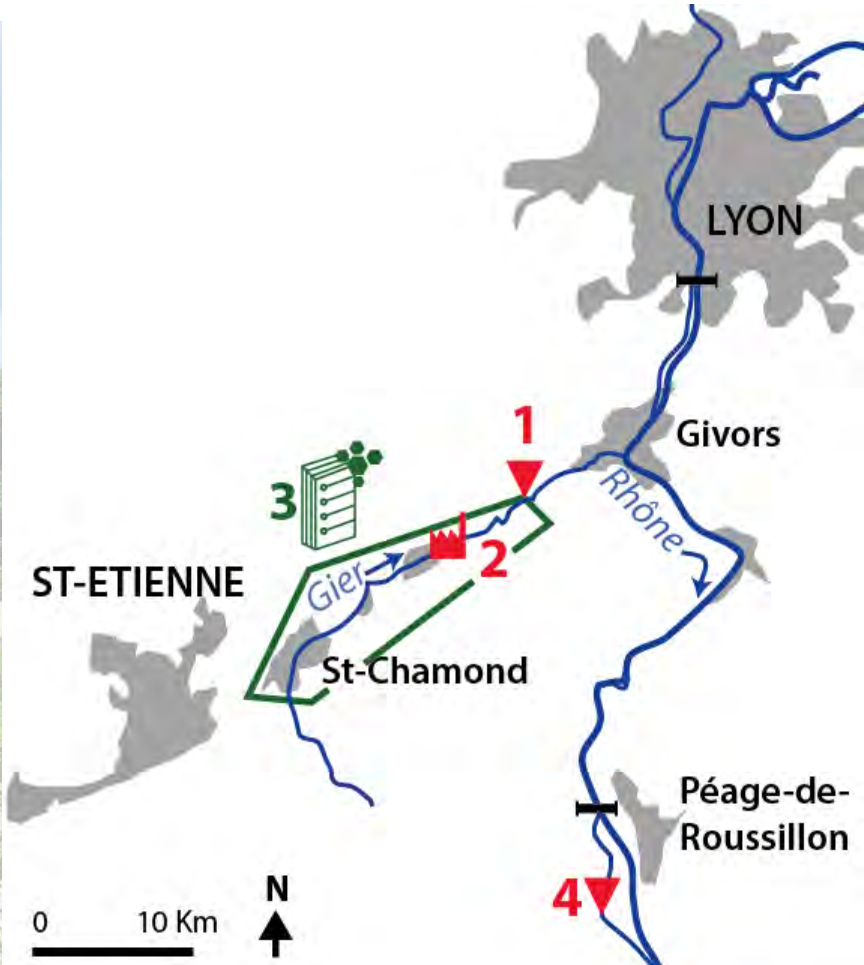
- Retracer l'histoire et l'origine des pollutions liées à la métallurgie et aux énergies fossiles de la moyenne vallée du Rhône depuis 1970 en combinant sciences de l'environnement et histoire environnementale



Questionnements croisés sur la conservation des données, leur complémentarité et la construction d'un récit sur l'histoire industrielle



ZONE D'ÉTUDE : CORRIDOR GIER- RHÔNE



Amont = Vallée du Gier

- 1) Analyse de la carotte (1972-2009) de l'étang de la Bricotte, alimenté par le Gier
 - Granulométrie, PCBs, datations
 - Macro-restes, HAPs, Métaux, Scories (Routhiau 2022, Diallo 2023)
- 2) **Prélèvement de scories à Rive-de-Gier**
 - Durallex, Arcelor-Mittal
- 3) **Analyse des archives numériques du MTE** par le prisme de l'histoire environnementale (Ramon 2023)

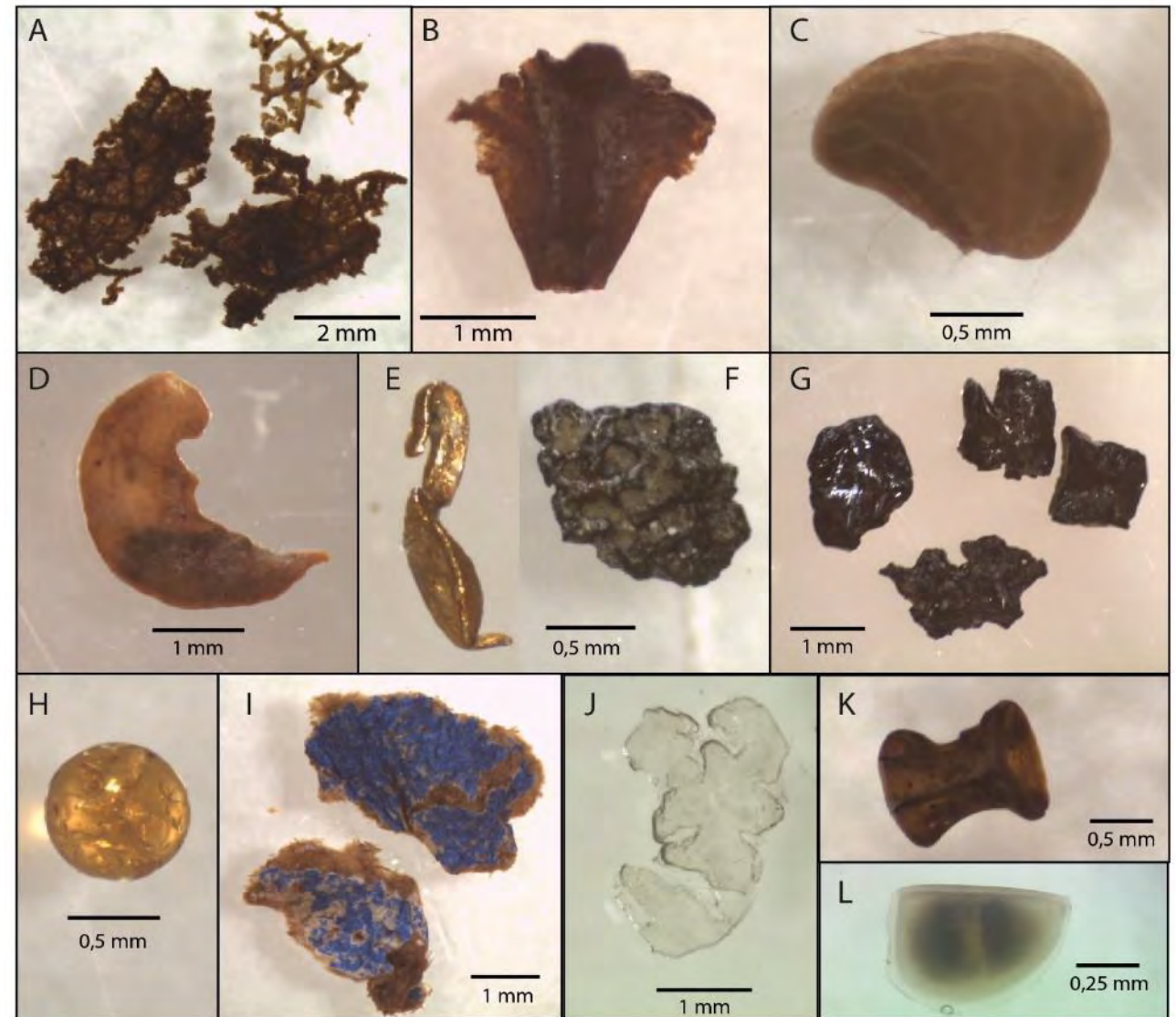


Aval = Île de la platière

- 4) Analyse des carottes (1975-2018) des lônes du Rhône dans la réserve de l'île de la Platière
 - Granulométrie, PCBs, BFRs, Métaux, datations (Vauclin 2020)
 - Macro-restes, HAPs, Scories (Pruvost 2020, Routhiau 2022, Diallo 2023)



- **Axe 1 : Evolution hydro-écologique des zones humides alluviales depuis 1970**
- **Moyen : Analyse des macro-restes & microdéchets préservés dans les carottes**
 - ✓ Datations des carottes, analyses granulométriques et de la matière organique
 - ✓ **Etude stéréo-microscopique et typologie des macro-particules conservées dans les carottages**
 - Macro-restes botaniques (feuilles, bois, graines)
 - Macro-restes animaux (daphnies, poissons)
 - Macro-restes abiotiques : billes en verre, fragments de plastique, scories métalliques



Extraits issus de la carotte PDR 18-06 (Dendievel, 2019; Pruvost, 2020)

- **Axe 2 : Tendances et traçage des pollutions liées aux énergies fossiles et aux activités métallurgiques**

- **Moyen : Analyses géochimiques**

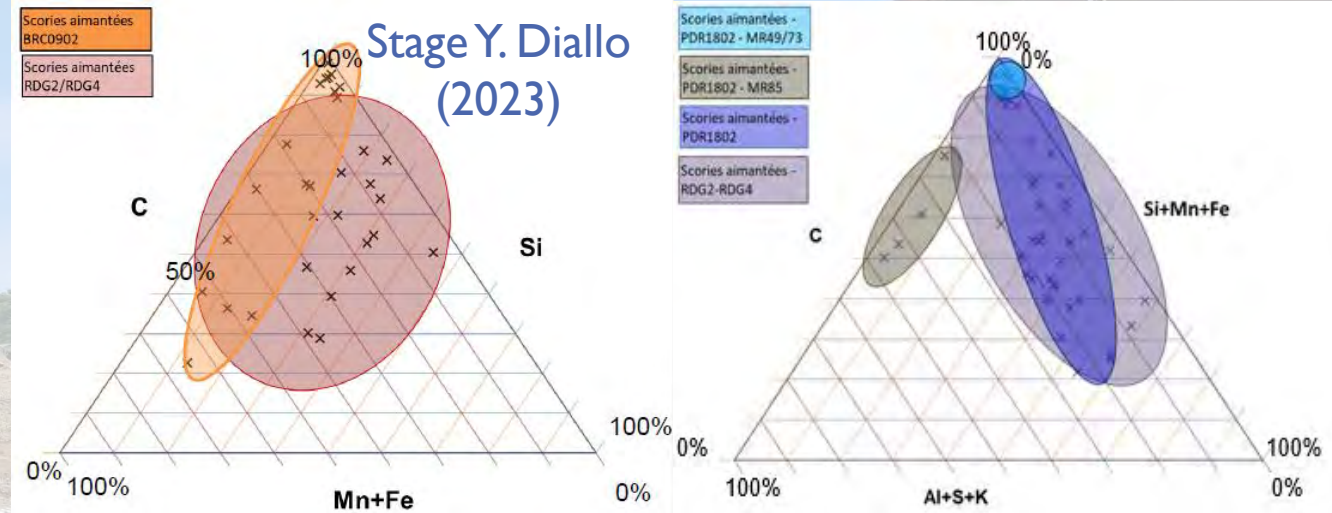
Sédiments

- ✓ Hydrocarbures (HAPs) par HP-LC
- ✓ Éléments traces métalliques par AAS
- ✓ susceptibilité magnétique et scories dans les sédiments fins carottés

Scories

- ✓ **Éléments traces métalliques dans les scories** par MEB
 - ✓ Issues des carottages sédimentaires
 - ✓ Issues de prélèvements de terrain à Rive-de-Gier

- **Scories aimantées aux couleurs variées**
 - **70-80% C, 5-10% Fe, 10-15% Si-Al, 9% Mn**
- **Scories non-aimantées :**
 - **Scories vitreuses noires** : >95% C, 2-3% Si-Fe
 - **Scories vacuolaires grises** : 90% C, 2-4% Fe-Si-Ca

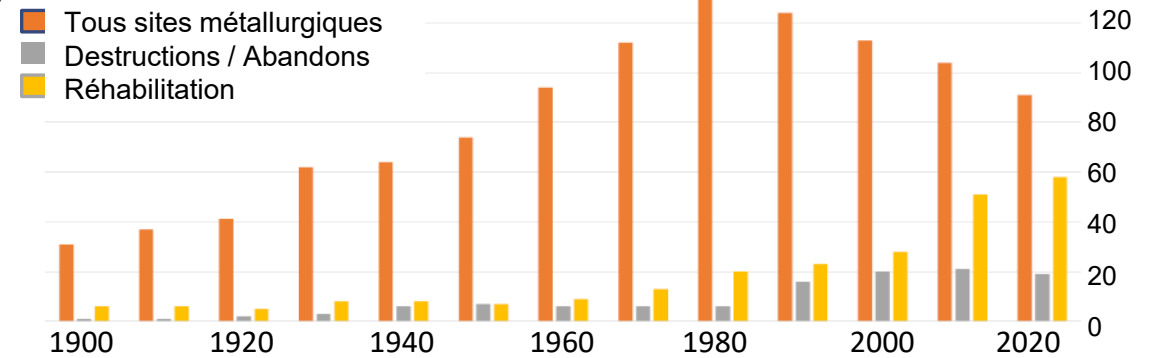


Etang de la Bricotte:
composition similaire avec les prélèvements de Rive-de-Gier (fonte)

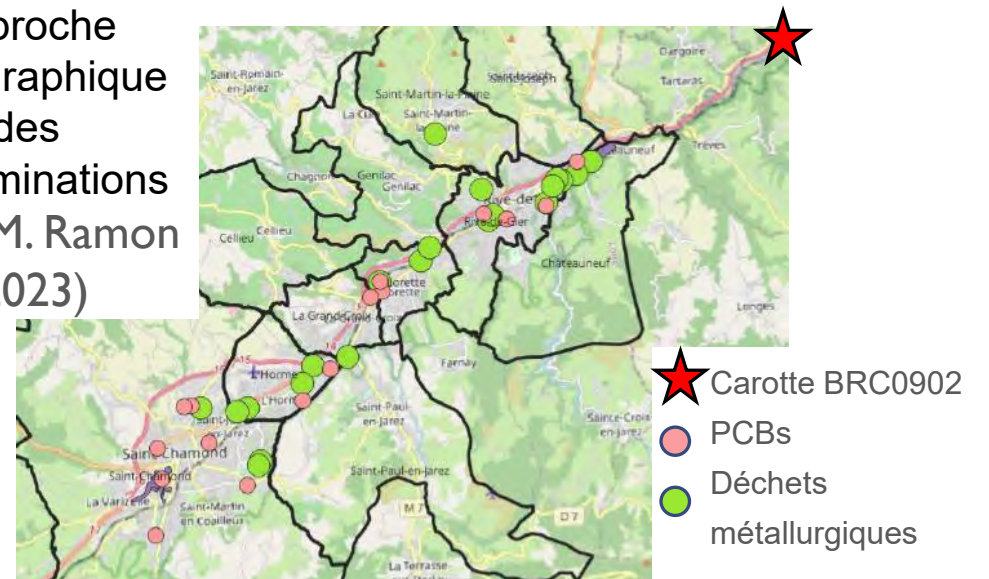
Île de la Platière : composition proche des scories de Rive-de-Gier (scories récentes)
Mais très différente concernant les échantillons anciens (autre source)

- **Axe 3 : Relations entre (dés-) industrialisation et pollutions**
- **Moyen : étude géohistorique**
 - ✓ Développement d'une base de données à partir des archives BASIAS et SSP:
 - Sites métallurgiques
 - Equipements industriels (fours)
 - Contaminations variées
 - ✓ Compléments cartographiques:
 - Cartes industrielles de 1901 et 1932
 - Cartes topographiques de 1902 et 1950
 - ✓ Construction d'un récit spatialisé concernant la désindustrialisation et des pollutions dans la vallée du Gier

N établissements métallurgiques par décennie



Approche cartographique des contaminations Stage M. Ramon (2023)



- Approches et tests méthodologiques variés depuis 2022 :
 - Analyses d'une large panoplie de polluants dans les sédiments
 - ✓ Validé : Etude des macro-restes botaniques
 - ✓ Validé : Traçage des microdéchets métallurgiques (scories)
 - Constitution d'un récit sur l'histoire industrielle et les pollutions
- Passage à l'exploitation et la valorisation des données :
 - Aspects géohistoriques (Journée d'étude AGF, 14 oct. 2023)
 - Aspect paléoécologiques (article en anglais en cours d'écriture)
 - Aspects géochimiques à approfondir (article à prévoir : revue EID de l'INSA)

- **Approfondissements suite aux questions soulevées par le projet :**
 - **Projet ZABR Disteel (2024-2027)** pour évaluer les risques d'exposition de la faune et la flore des zones humides du Rhône aux microdéchets métallurgiques et cocktails de polluants associés
 - **Projet d'ANR JCJC** pour mieux comprendre les successions écologiques des zones humides du corridor Saône-Rhône de façon rétrospective, suites aux aménagements et restaurations

Séminaire scientifique

Flux polluants écotoxicologie et écosystèmes

5 octobre 2023 - Villeurbanne

Avec le soutien de :



Influence de la contamination toxique des cours d'eau sur les communautés de macroinvertébrés aquatiques : Apport de l'outil Gammare

Christopher Bosc

christopher.bosc@inrae.fr

Post-doctorant

Encadrants : Arnaud Chaumot & Olivier Geffard
Equipe : écotoxicologie (ECOTOX)





Contexte

Augmentation de la contamination chimique des **cours d'eau dans les dernières décennies** :

- Rejets industriels et miniers
- Rejets urbains et agricoles

Grande diversité de micropolluants :

- Métaux
- POPs
- ...





Contexte/question

Augmentation de la contamination chimique des **cours d'eau dans les dernières décennies** :

- Rejets industriels et miniers
- Rejets urbains et agricoles

Grande diversité de micropolluants :

- Métaux
- POPs
- ...



santé des organismes



Biodiversité
Fonctionnement des écosystèmes



Contexte/question

Augmentation de la contamination chimique des **cours d'eau dans les dernières décennies** :

- Rejets industriels et miniers
- Rejets urbains et agricoles

Grande diversité de micropolluants :

- Métaux
- POPs
- ...



Ecotoxicologie

santé des organismes



Biodiversité
Fonctionnement des écosystèmes

Ecologie des communautés



But général de mon post-doctorat

**Nouvelles données
disponibles**

Grande diversité de micropolluants :

- Métaux
- POPs
- ...



Bioindicateurs Gammares

santé des organismes



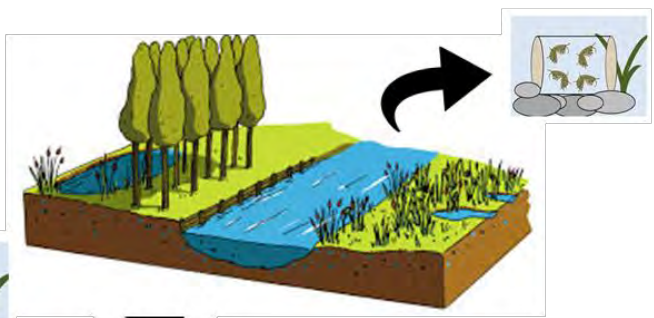
Biodiversité
Fonctionnement des écosystèmes

Ecologie des communautés



Espèce sentinelle *Gammarus fossarum*

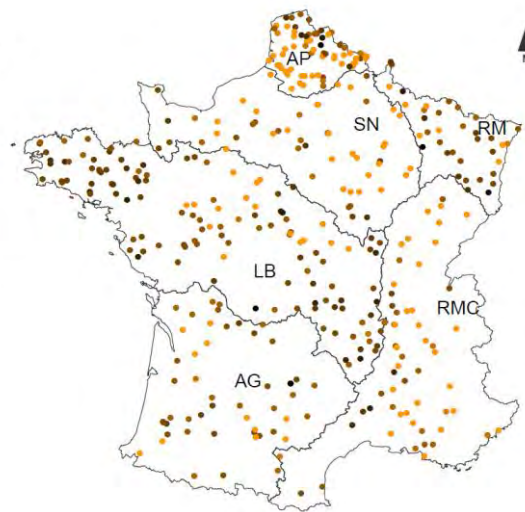
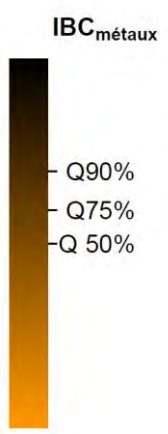
Approche de biosurveillance active (bioessais *in situ*) avec des organismes encagés et standardisés (sexes, âges, tailles)



SUBSTANCES?

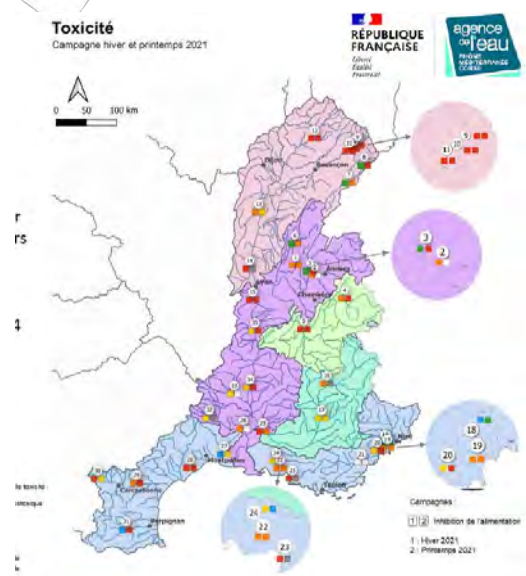
TOXICITE?

ABCDE



Contamination

Toxicité

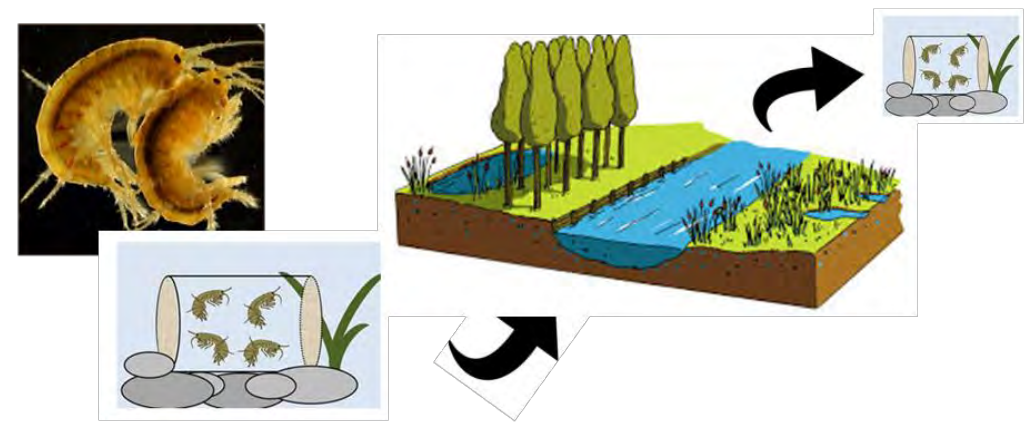


Coulaud et al. 2012 Water Research
Besse et al. 2013 Water Research
Alric et al. 2019 Environ. Sci. Technol.



Espèce sentinelle *Gammarus fossarum*

Approche de biosurveillance active (bioessais *in situ*) avec des organismes encagés et standardisés (sexes, âges, tailles)





SUBSTANCES?



TOXICITE?

A B C D E

Quantification de l'impact toxique des contaminants sur les organismes : Inhibition alimentaire et mortalité des gammares

=> Bioindicateurs **reflétant la toxicité de l'ensemble des** contaminants, connus ou non

Coulaud et al. 2012 Water Research
 Besse et al. 2013 Water Research
 Alric et al. 2019 Environ. Sci. Technol.



But général de mon post-doctorat

**Nouvelles données
disponibles**

Grande diversité de micropolluants :

- Métaux
- POPs
- ...



Bioindicateurs Gammares

santé des organismes



Biodiversité
Fonctionnement des écosystèmes

Ecologie des communautés



Problématique

Indicateurs de toxicité



Inhibition alimentaire et mortalité



Communautés de macroinvertébrés aquatiques

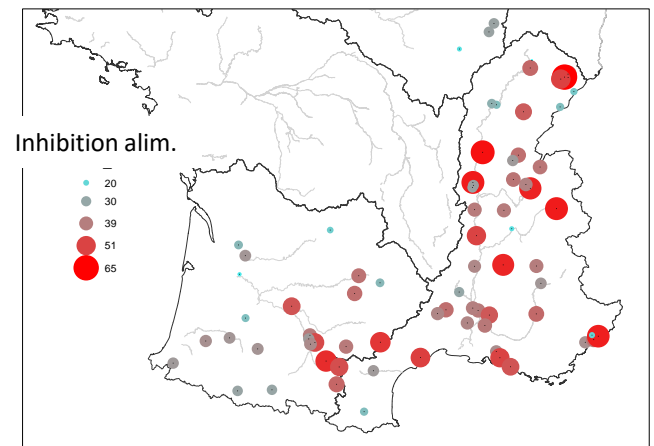


Composition taxonomique

Bioindicateurs Gammares

76 stations

Protocole IBGN/I2M2



NAAYADES
Données sur la qualité des eaux de surface

Accueil > Accès aux données

- Présentation
- À propos des données
- Boîte à outils
- Accès aux données

Recherche

- Hydrobiologie
- Hydromorphologie



Problématique

Indicateurs de toxicité



Inhibition alimentaire et mortalité



Communautés de
macroinvertébrés aquatiques



Composition taxonomique

Lien entre indicateurs de toxicité et composition des communautés d'invertébrés ?

=> Si oui, création d'un indicateur de l'effet de la toxicité au sein des communautés (remplacement d'espèces sensibles par des espèces tolérantes)



Problématique

Indicateurs de toxicité



Inhibition alimentaire et mortalité



Autres facteurs environnementaux

- Physico-chimie (température, ...)
- Hydromorphologie



Communautés de
macroinvertébrés aquatiques



Composition taxonomique



Problématique

Indicateurs de toxicité



Inhibition alimentaire et mortalité



Autres facteurs environnementaux

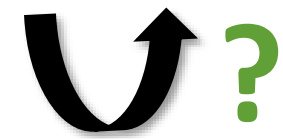
- Physico-chimie (température, ...)
- Hydromorphologie



Communautés de
macroinvertébrés aquatiques



Composition taxonomique



Autocorrélation spatiale

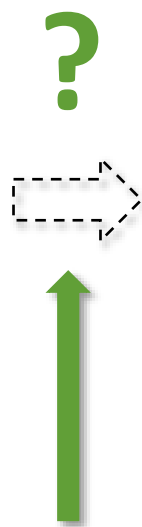


Problématique

Indicateurs de toxicité



Inhibition alimentaire et mortalité



Communautés de
macroinvertébrés aquatiques



Composition taxonomique

Réponse différentielle **d'une espèce suivant l'échelle spatiale ou la région considérée**
(Adaptation locale, interactions entre espèces, ...)

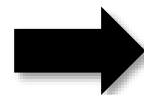


Objectifs/analyses

Indicateurs de toxicité



Inhibition alimentaire et mortalité



Communautés de
macroinvertébrés aquatiques



Composition taxonomique

Analyses multivariées prenant en compte des facteurs potentiellement confondants (environnement, autocorrelation spatiale)

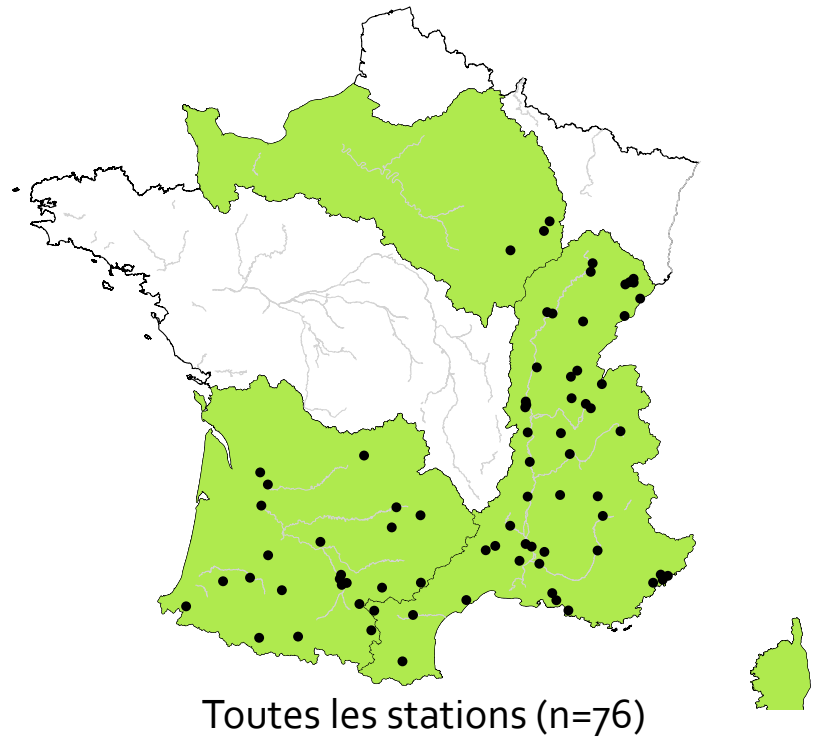
Approche multiéchelle (large, bassin, hydroécocorégion)



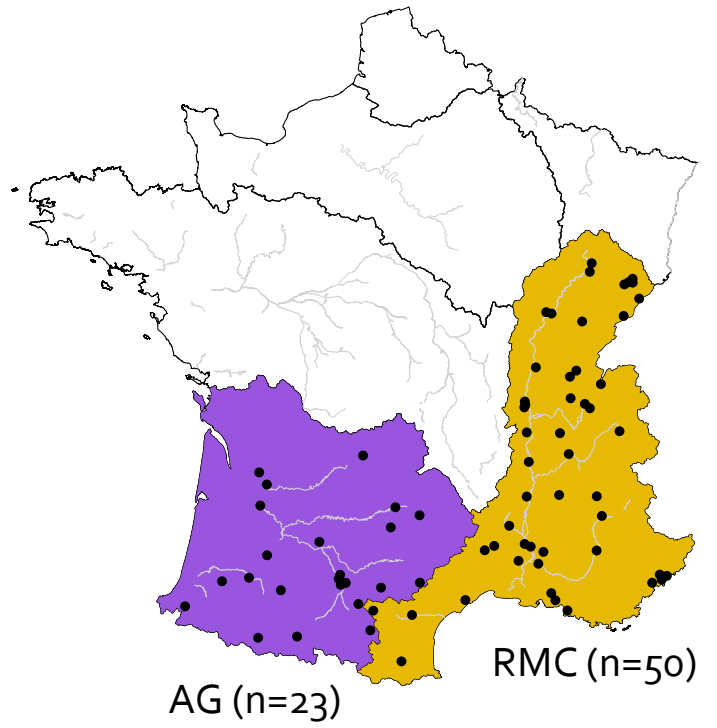
Zones d'étude

3 échelles spatiales :

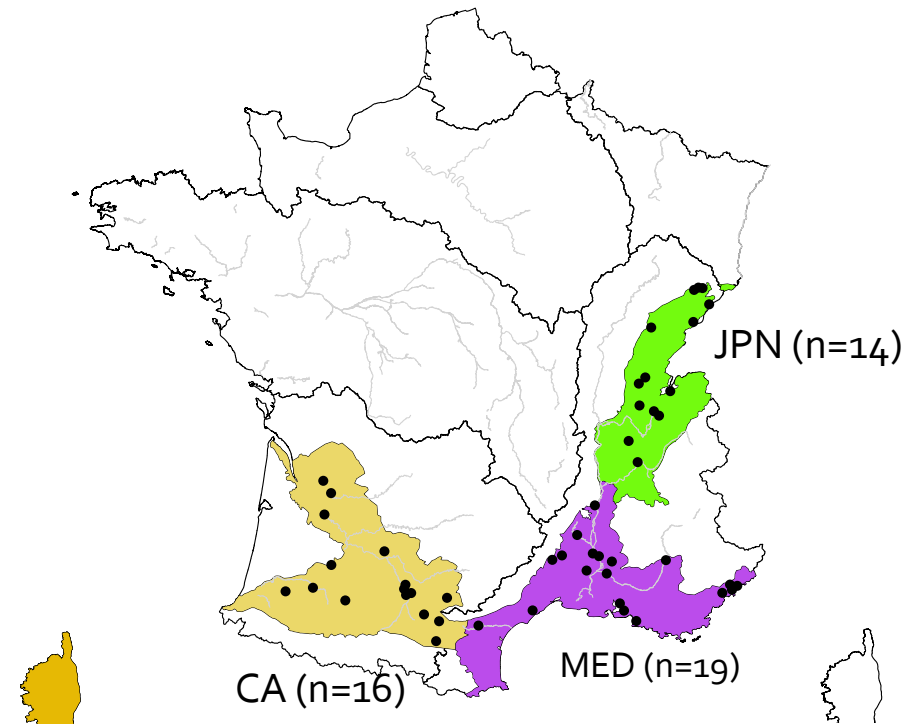
Large



Bassin



Hydroécocorégion (HER1)





Données disponibles

Pour chaque station (moyennes 2019-2022):

- Données écotoxicologiques (bioindicateurs) : inhibition alimentaire et mortalité de *Gammarus fossarum*
- Données macroinvertébrés aquatiques : abondances de taxons identifiés au genre
- Données environnementales :
 - Physico-chimie (13 variables): Ammonium, Carbone organique, Chlorophylle a, Conductivité, DBO5, Matières en suspension, Nitrates, Nitrites, PO4, Oxygène dissous, Phéopigments, pH, Silicates
 - Hydromorphologie : Rang de Strahler
- Données spatiales : distance entre stations (MEMs : Moran's Eigenvector Maps)



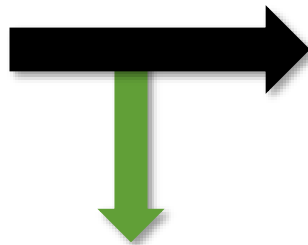
Analyses

Analyses multivariées : analyses de redondance (RDA)

Variables prédictives

Indicateurs de toxicité

	Inhib. alim.	Mortalité
Stations		



Abondances de macroinvertébrés

	Sp. 1	Sp. 2	Sp. 3	Sp. 4	...
Stations					

Variables expliquées

Variables confondantes

Environnement

	NO ₃	pH	MeS	...
Stations				

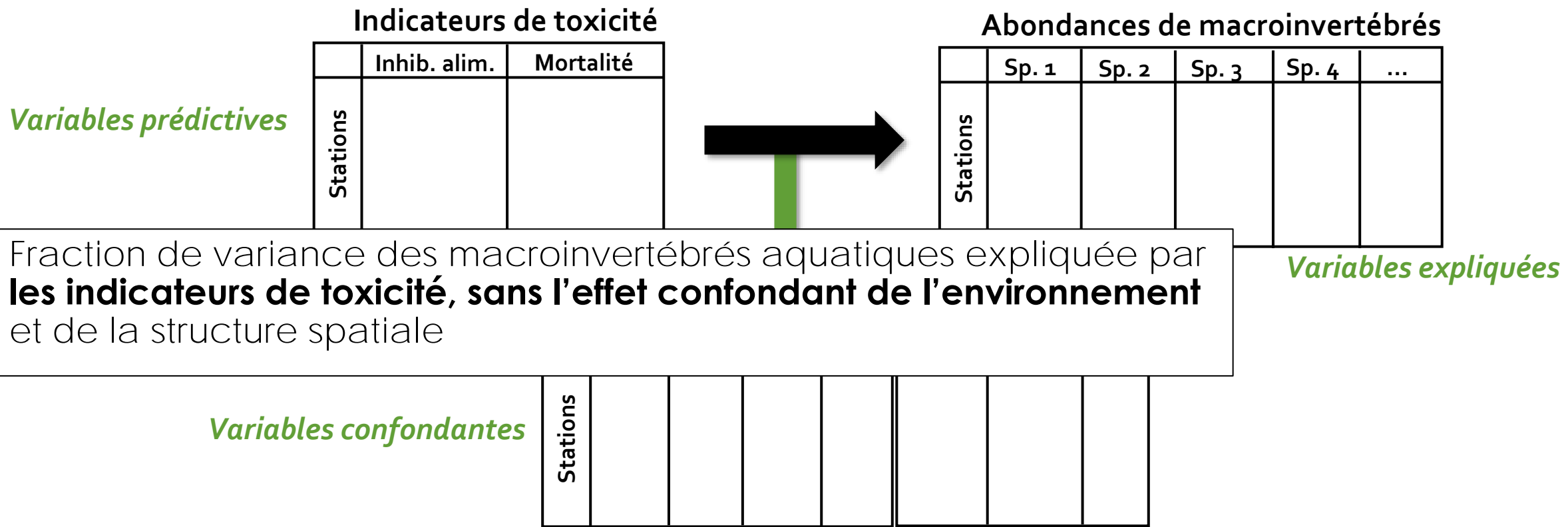
Spatial

	MEM ₁	MEM ₂	...
Stations			



Analyses

Analyses multivariées : analyses de redondance (RDA)

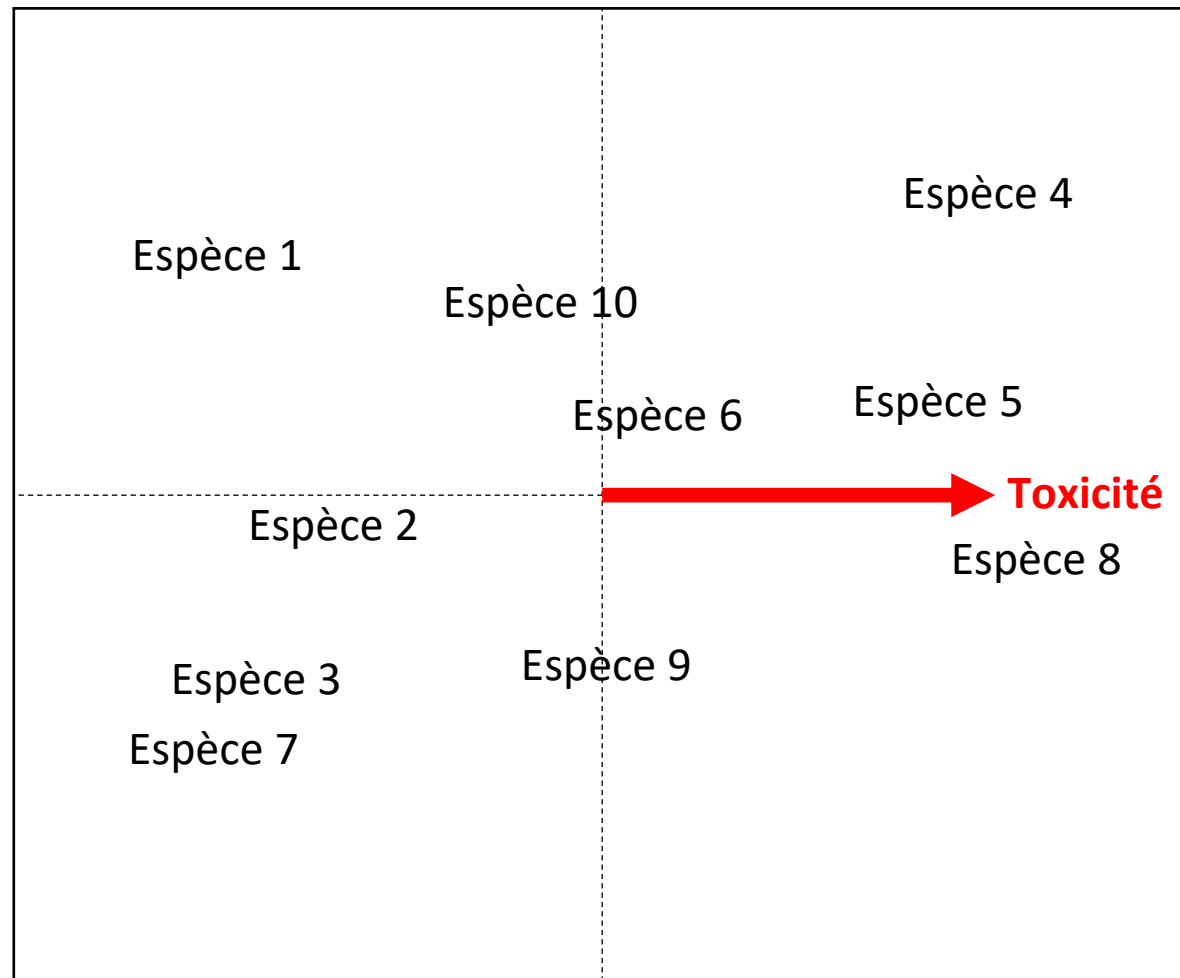




Analyses

Analyses multivariées : analyses de redondance (RDA)

Fraction de variance des macroinvertébrés aquatiques expliquée par l'écotoxicologie, sans l'effet confondant de l'environnement et de la structure spatiale

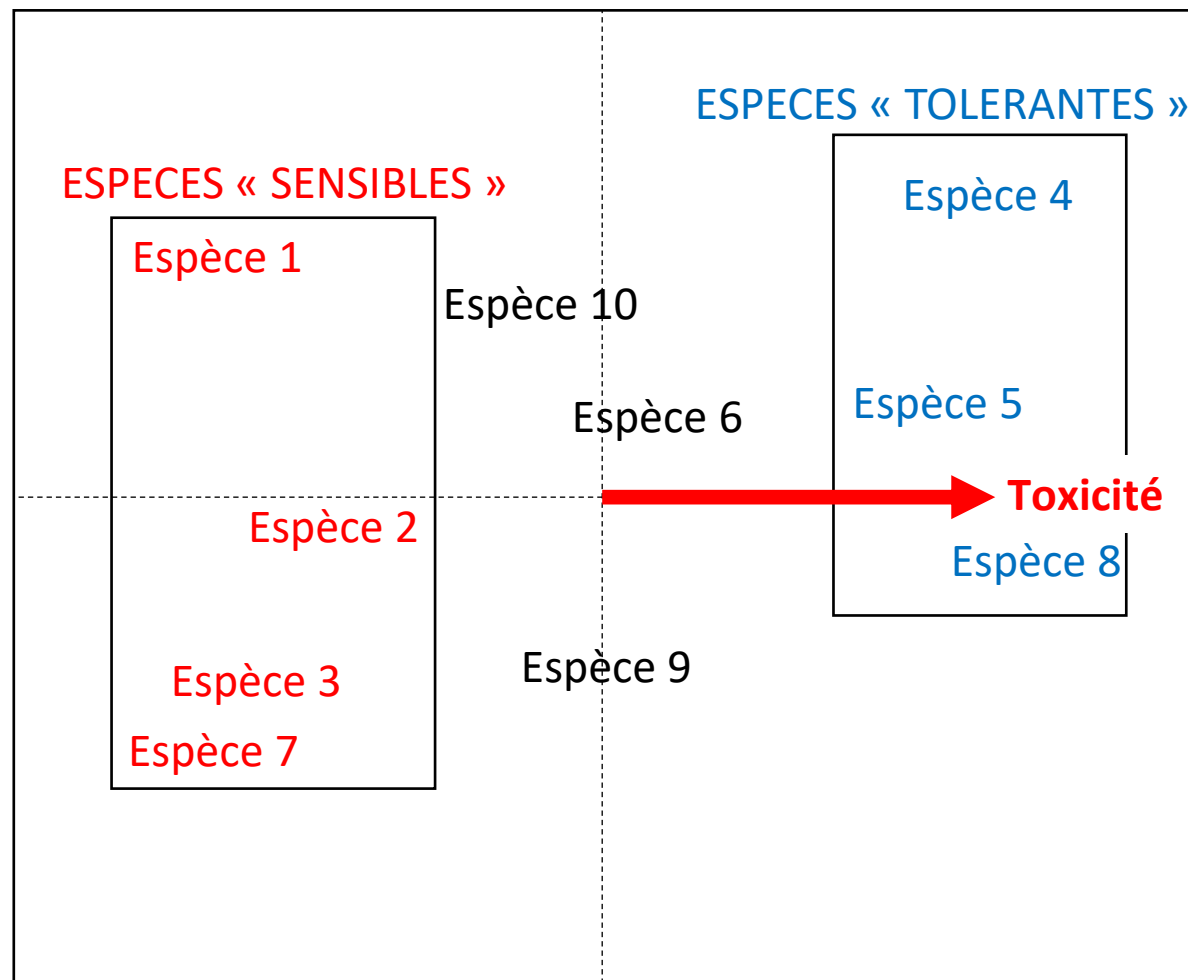




Analyses

Analyses multivariées : analyses de redondance (RDA)

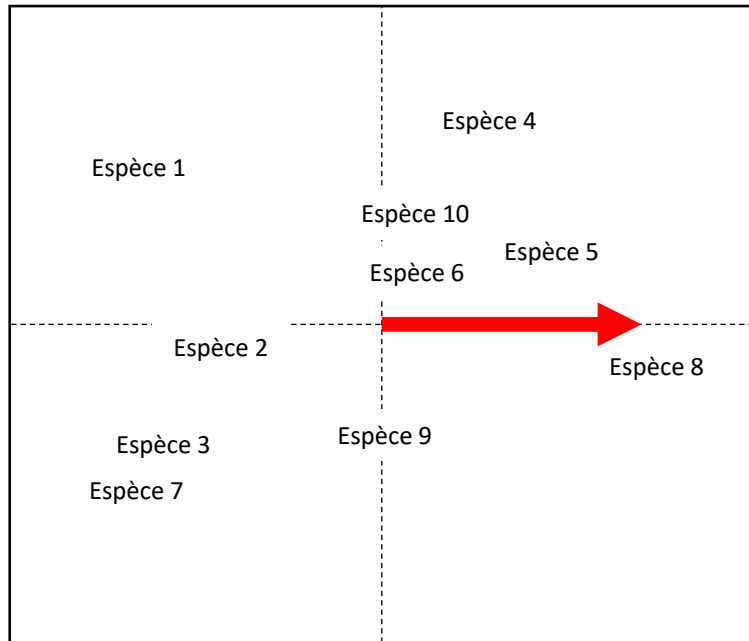
Fraction de variance des macroinvertébrés aquatiques expliquée par l'écotoxicologie, sans l'effet confondant de l'environnement et de la structure spatiale



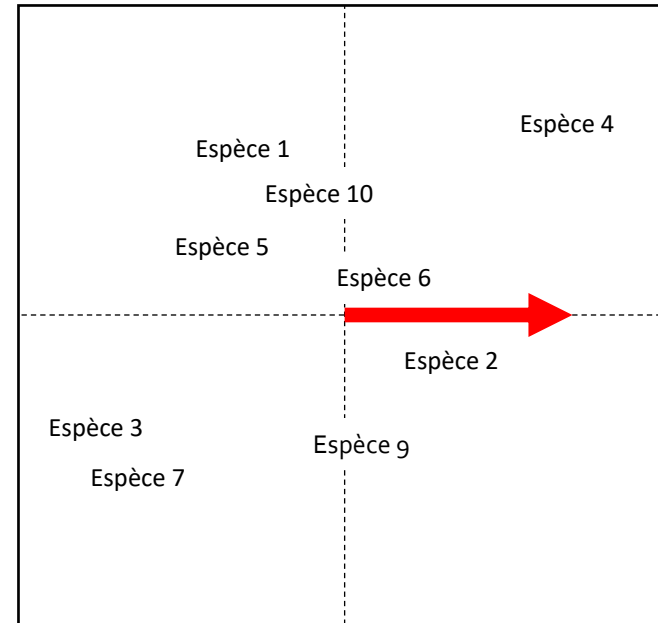


Analyses pour différentes régions et échelles spatiales

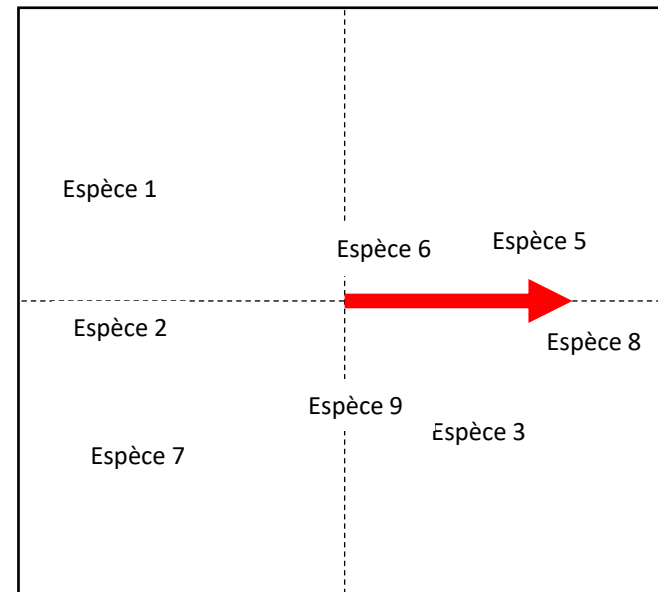
Echelle large



Echelle fine



Région 1

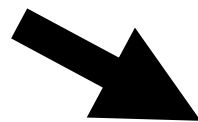
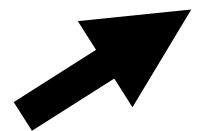
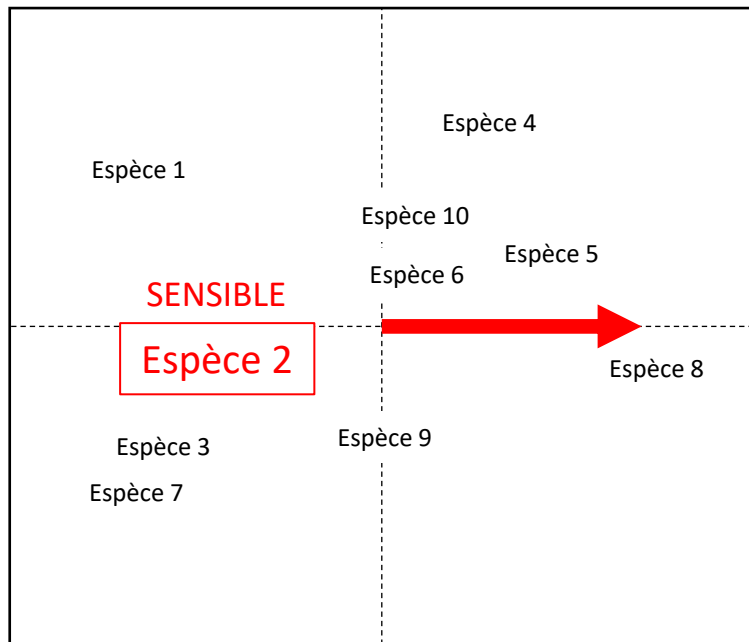


Région 2



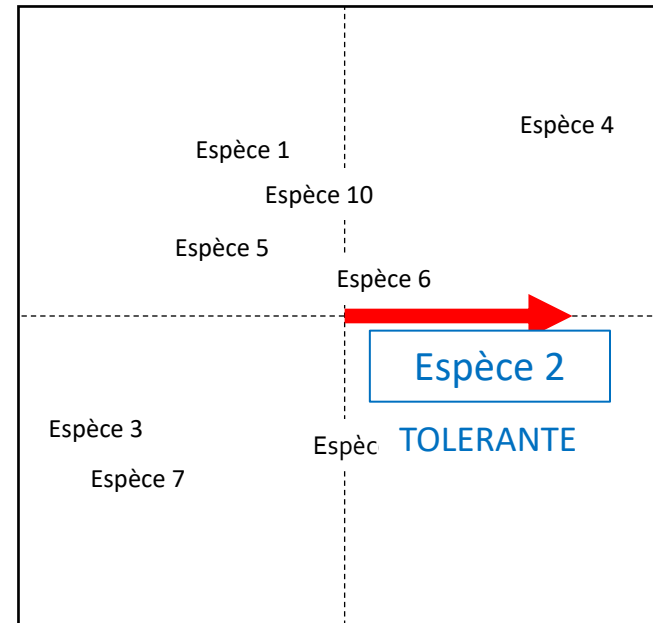
Analyses pour différentes régions et échelles spatiales

Echelle large

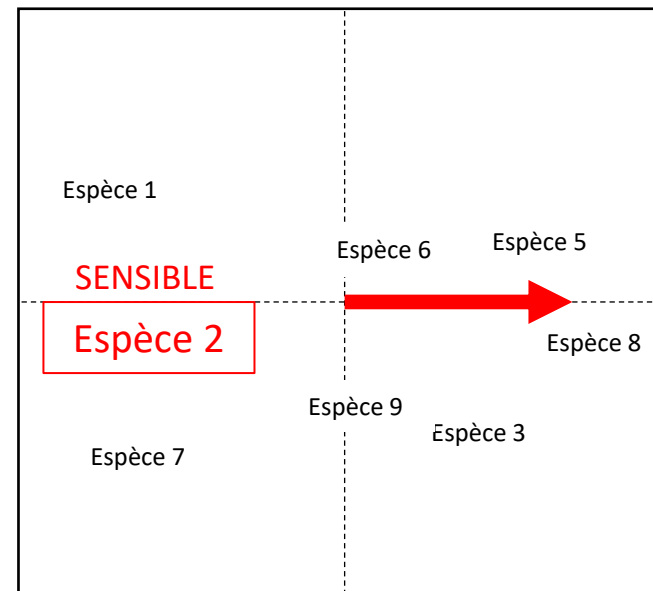


=> Réponse différentielle suivant l'échelle spatiale et la région

Echelle fine



Région 1

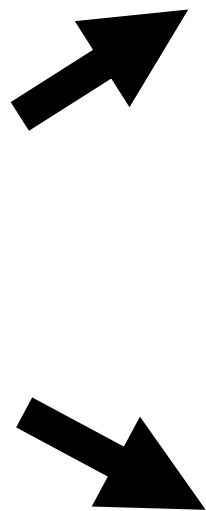
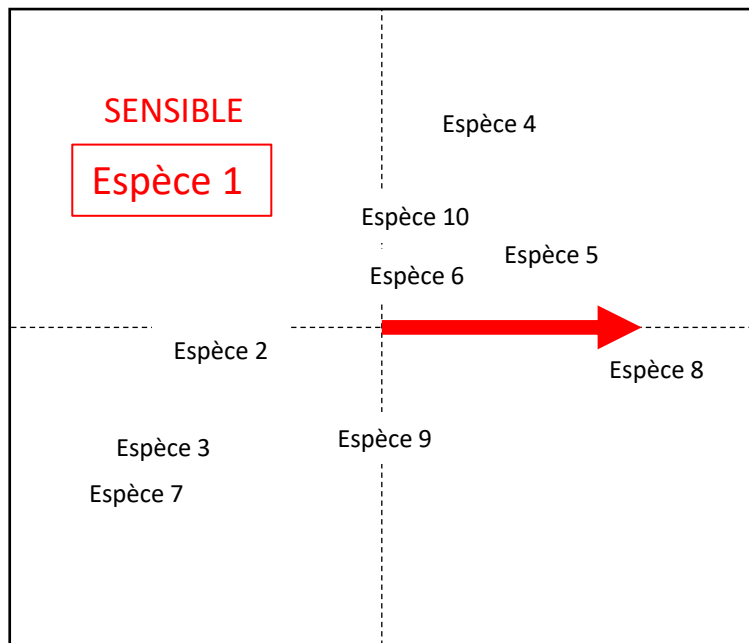


Région 2

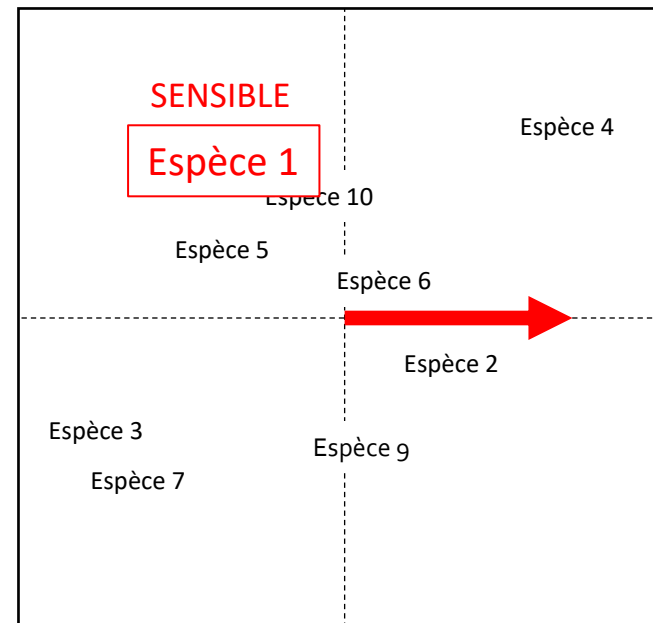


Analyses pour différentes régions et échelles spatiales

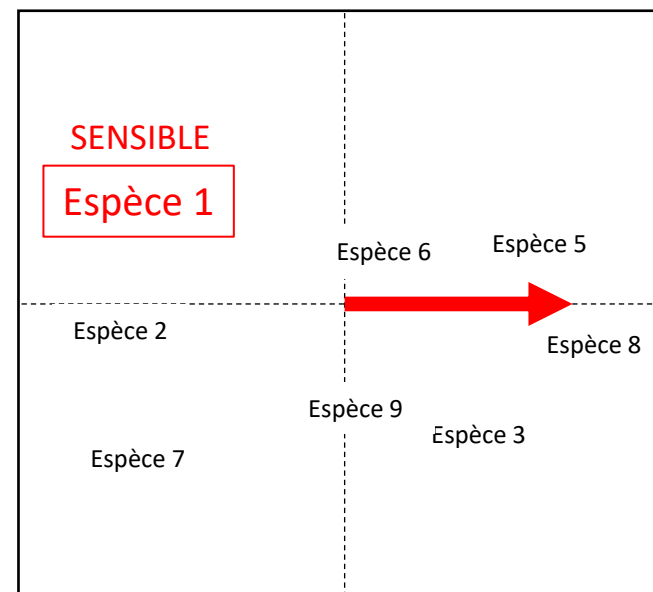
Echelle large



Echelle fine



Région 1



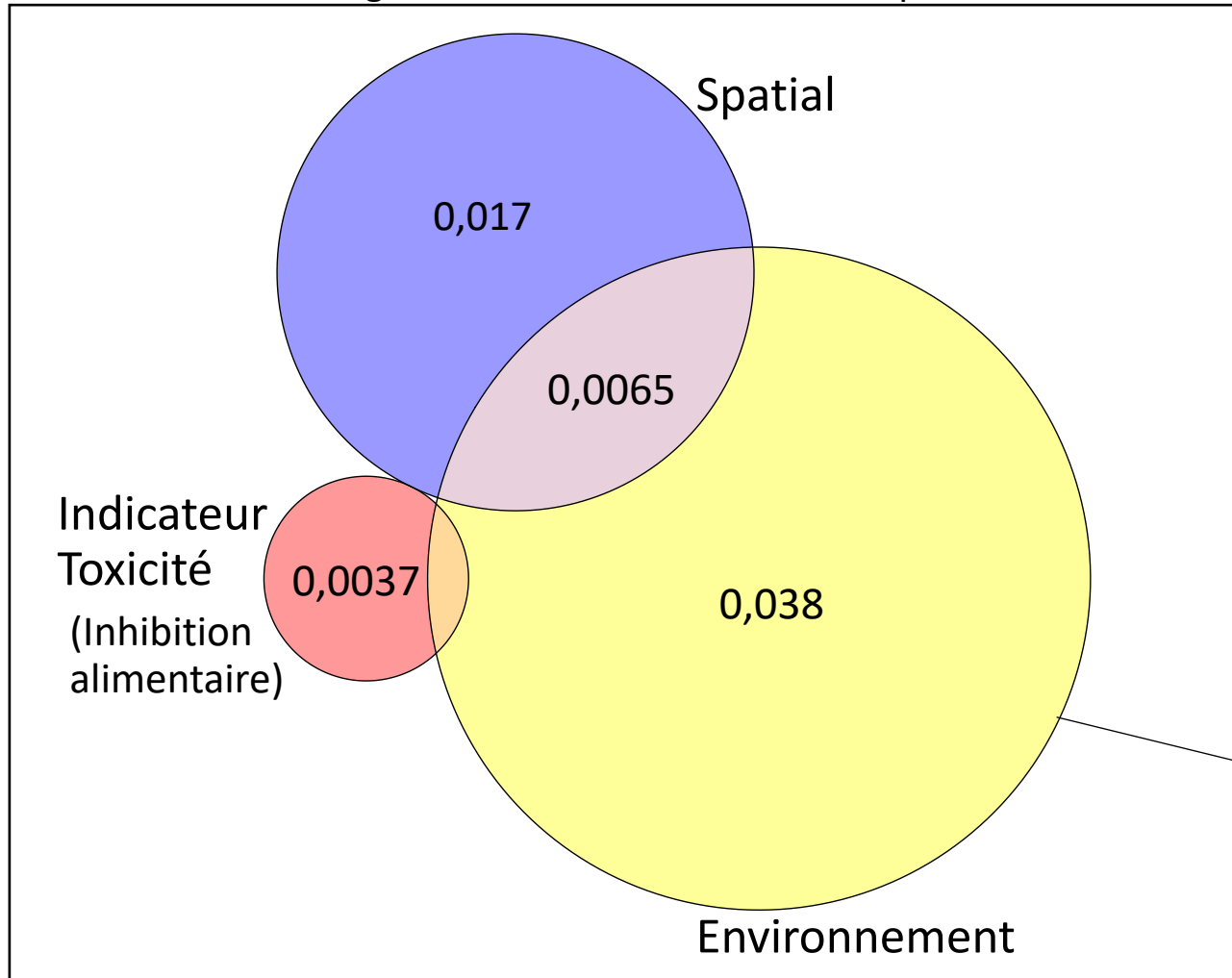
Région 2

=> Réponse identique quelque soit l'échelle spatiale et la région



Résultats : échelle large

Variance des macroinvertébrés aquatiques
= changements des abondances des espèces entre stations

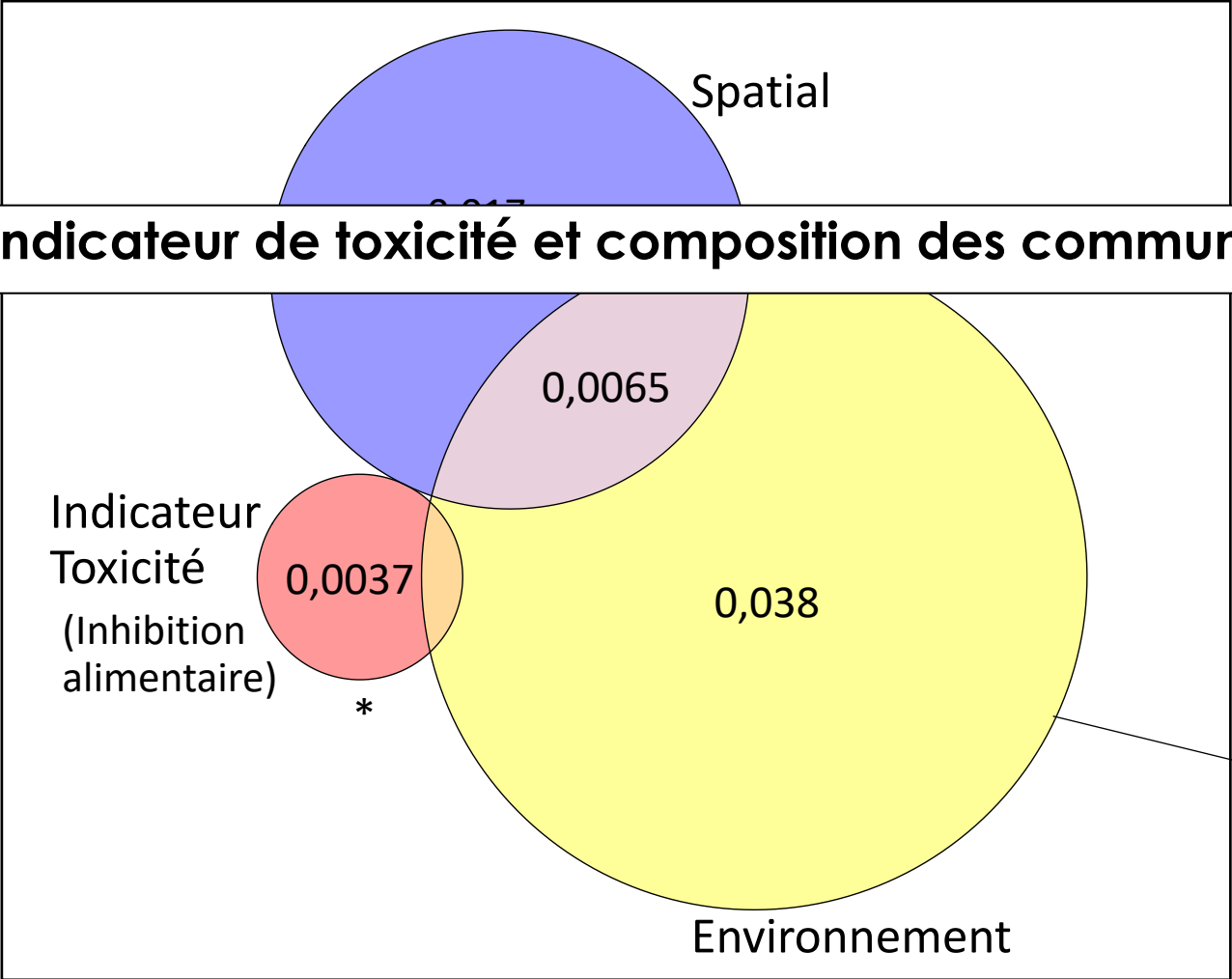


- Rang de Stralher
- Nitrites
- Silicates
- Nitrates
- Matière en suspension
- Conductivité



Résultats :
échelle large

Variance des macroinvertébrés aquatiques
= changements des abondances des espèces entre stations



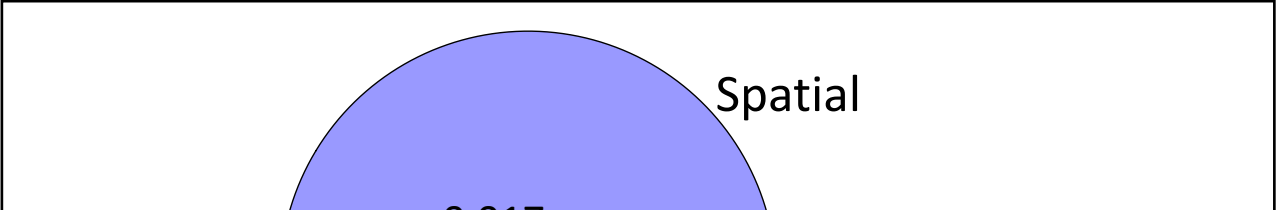
=> Lien significatif entre indicateur de toxicité et composition des communautés d'invertébrés

- Rang de Stralher
- Nitrites
- Silicates
- Nitrates
- Matière en suspension
- Conductivité



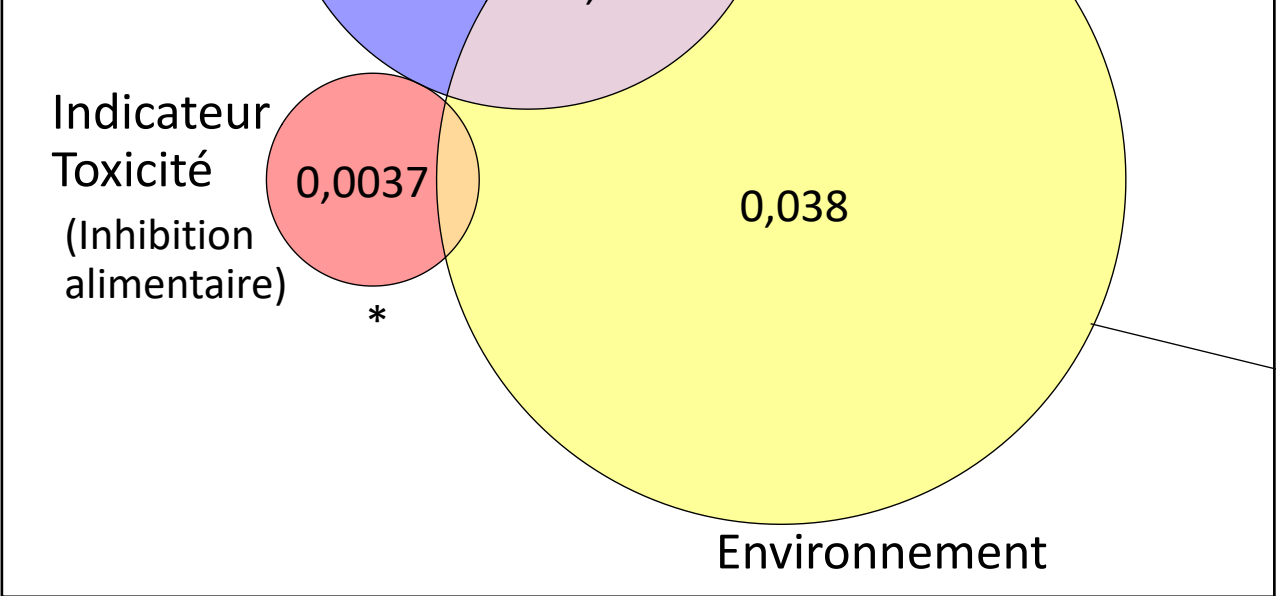
Variance des macroinvertébrés aquatiques
= changements des abondances des espèces entre stations

Résultats :
échelle large



=> Lien significatif entre indicateur de toxicité et composition des communautés d'invertébrés

=> Relativement faible comparé à l'environnement et la structure spatiale

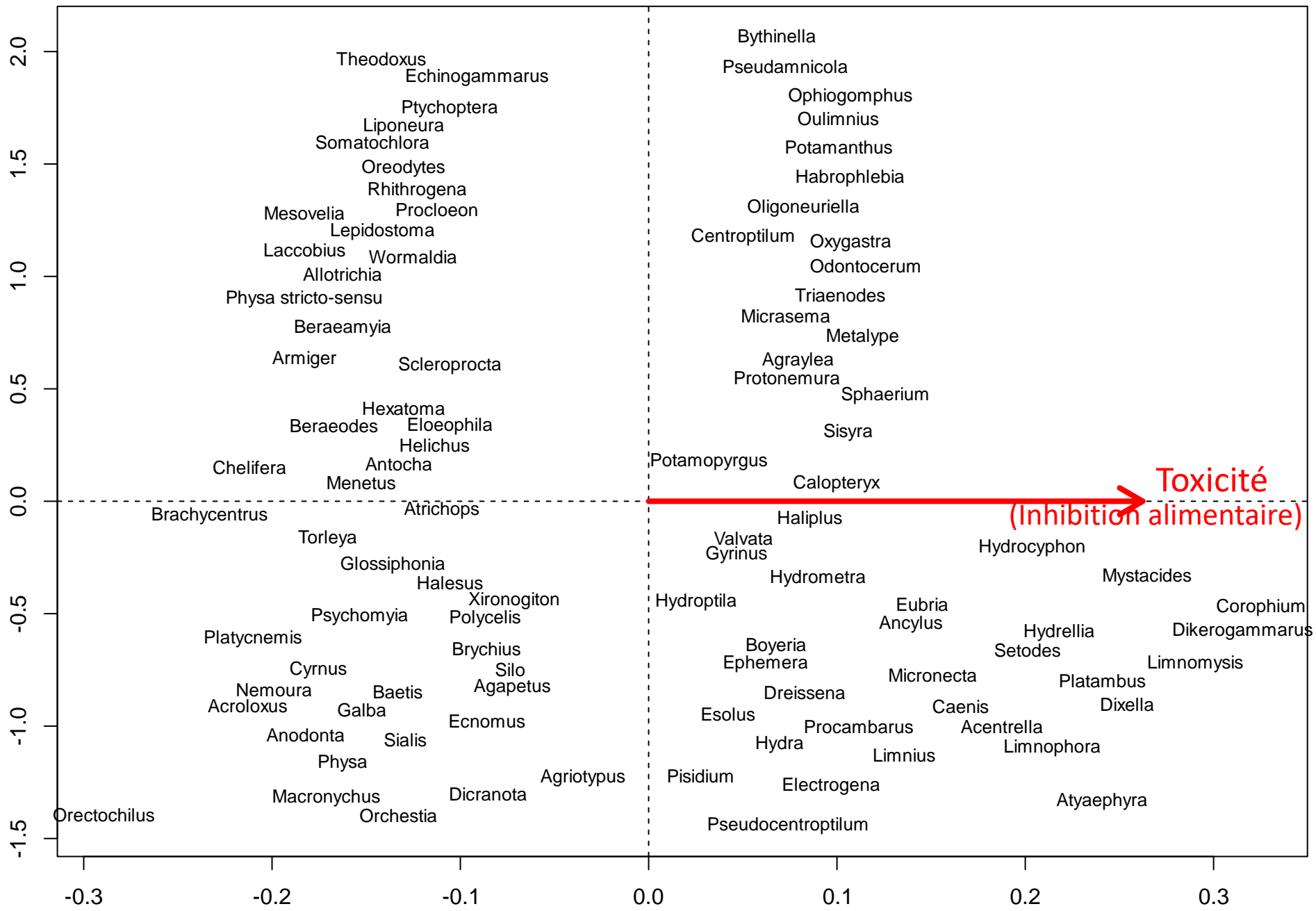


- Rang de Stralher
- Nitrites
- Silicates
- Nitrates
- Matière en suspension
- Conductivité



Résultats : échelle large

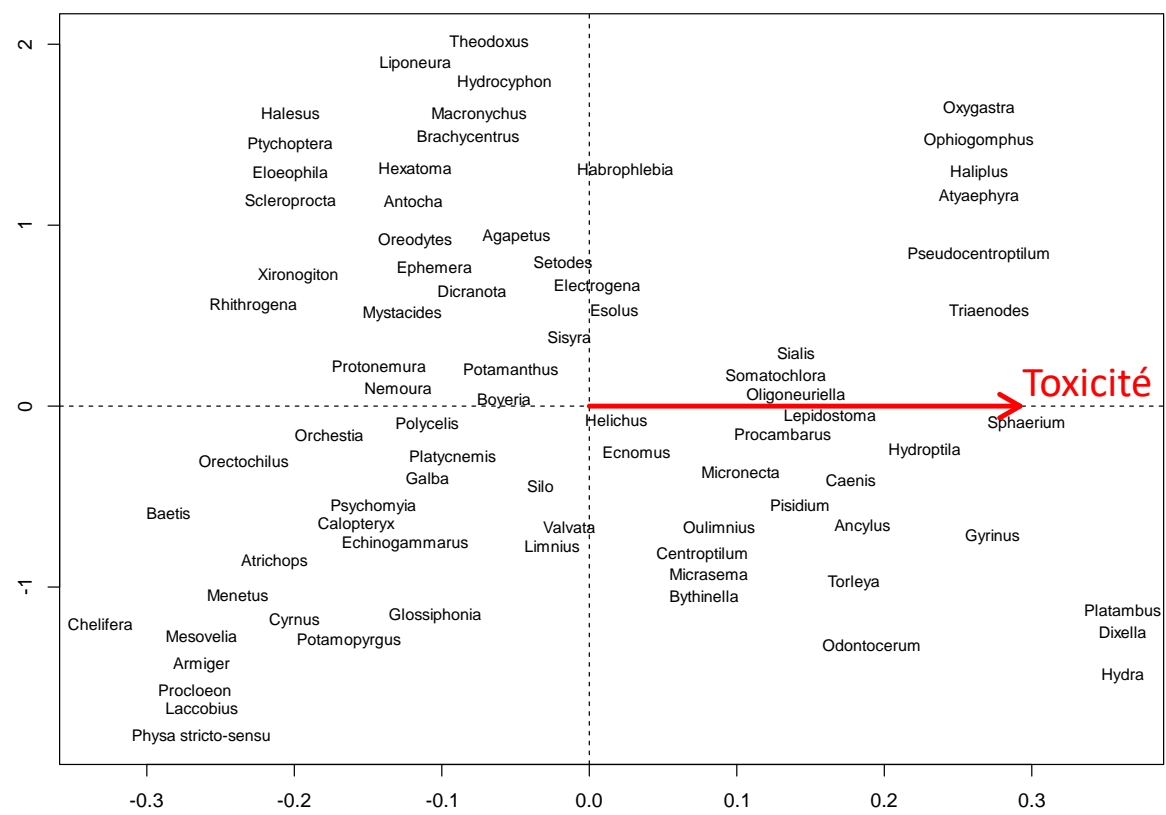
Analyse avec toutes les stations



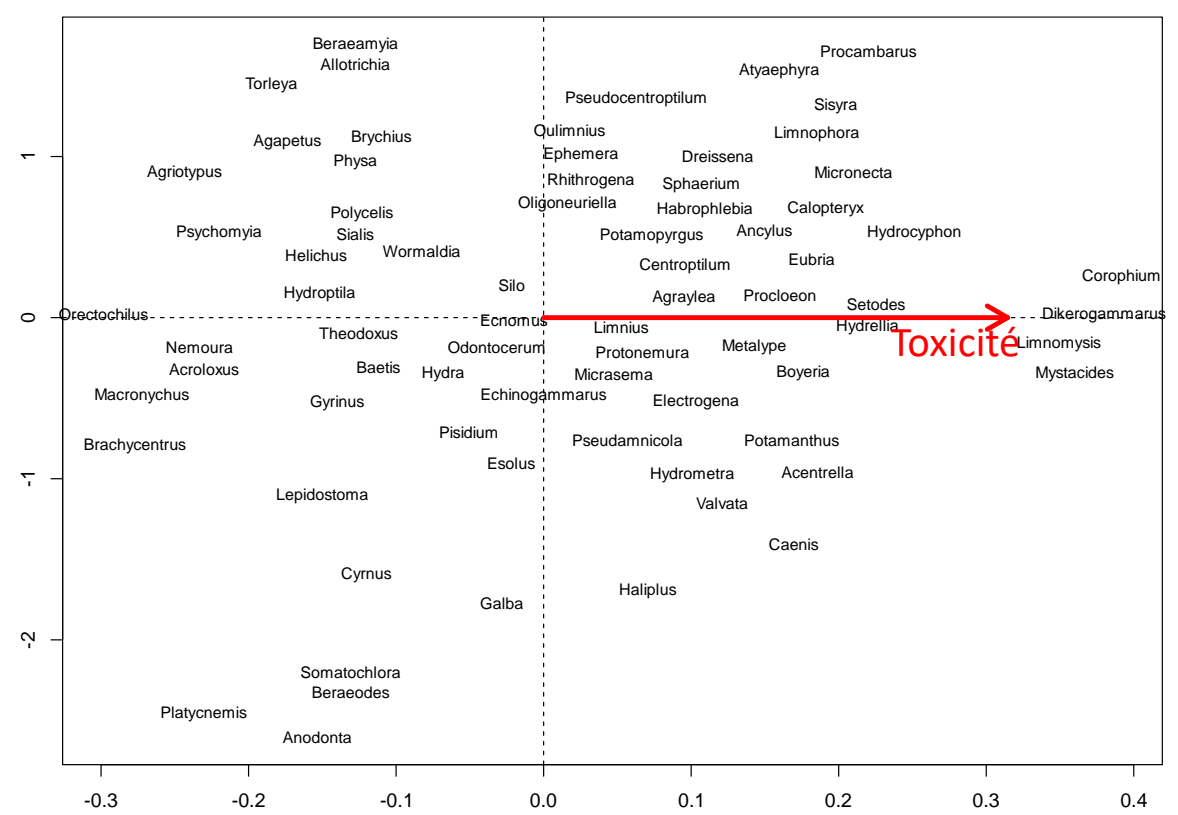


Résultats : bassins

Adour-Garonne



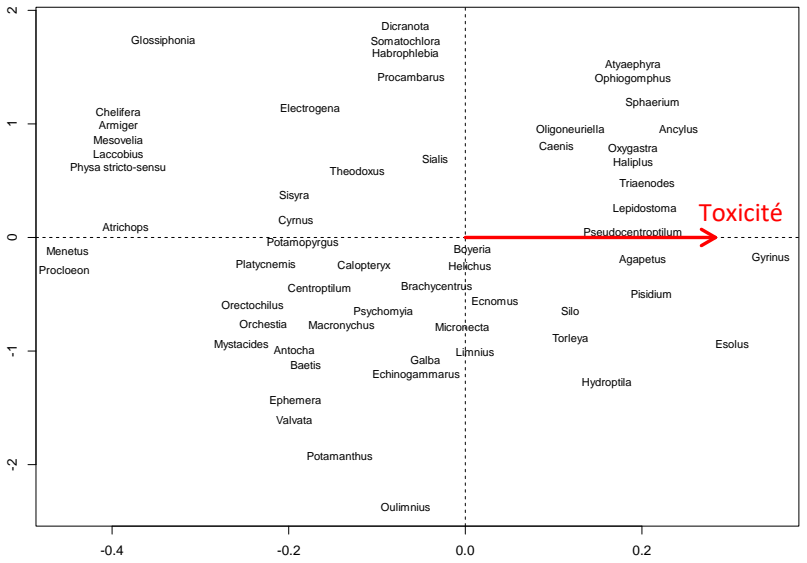
Rhône-Méditerranée



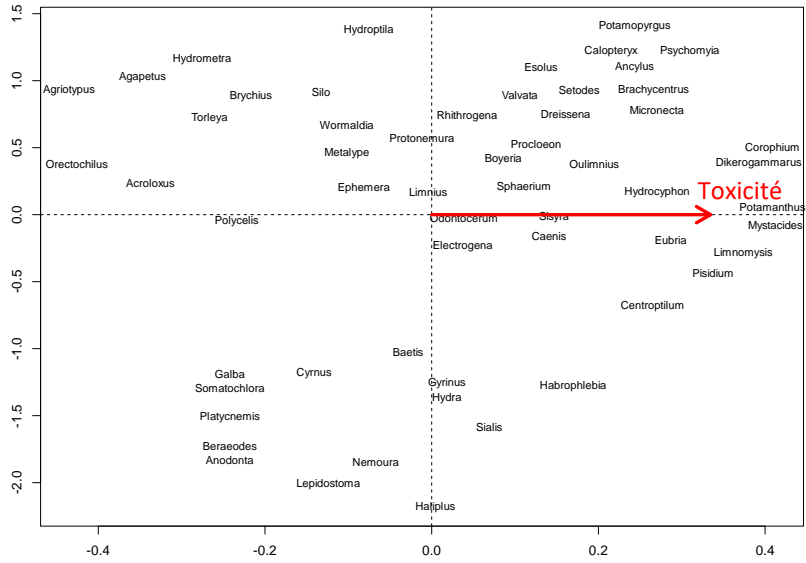


Résultats : hydroécorégions (HER1)

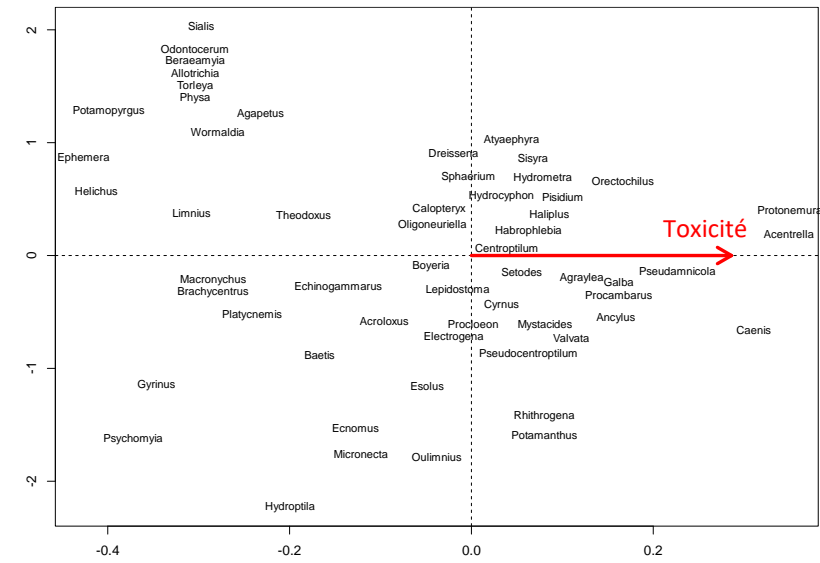
Coteaux Aquitains



Jura-Préalpes du Nord



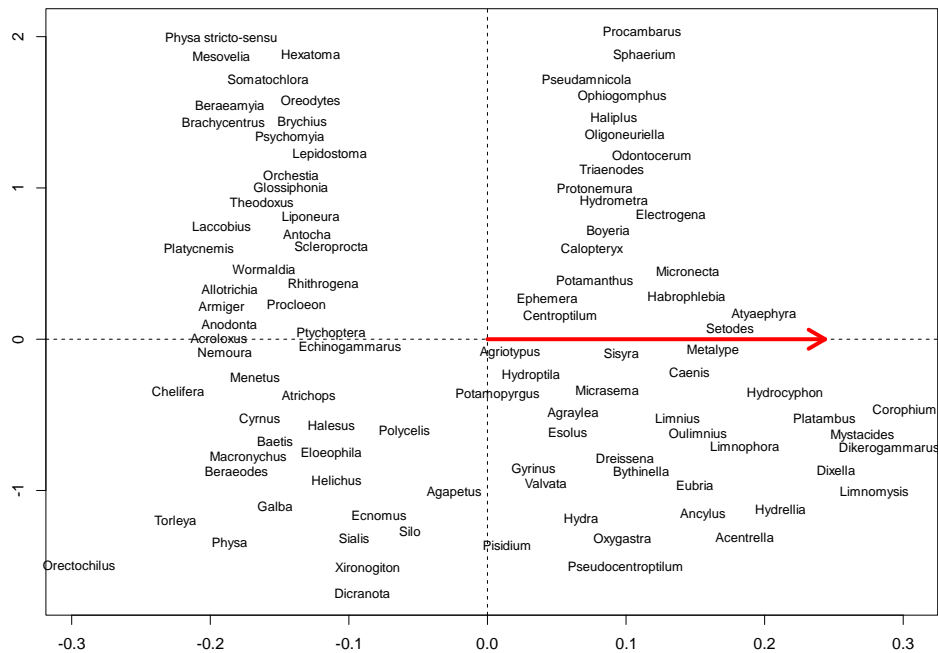
Méditerranéen



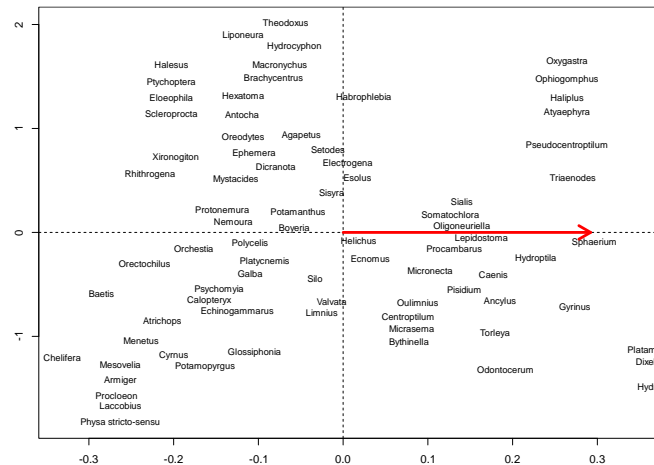


Résultats : Comparaison des scores des taxons dans les différentes analyses

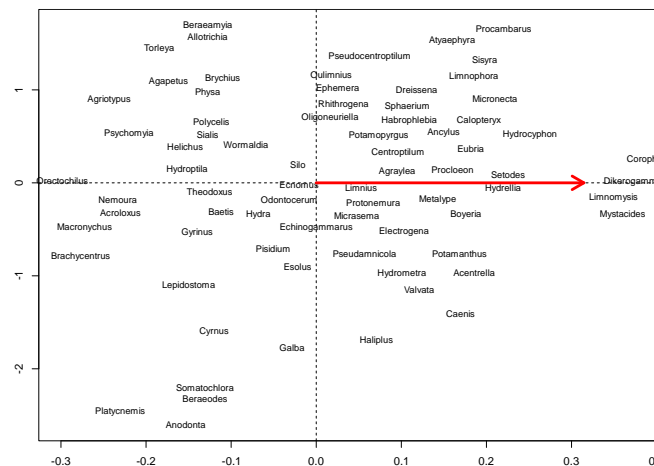
Toutes les stations



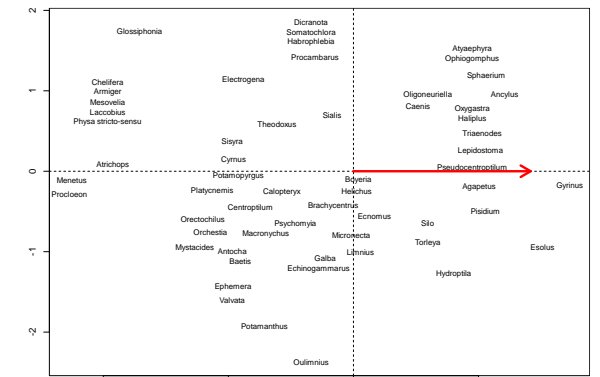
Adour-Garonne



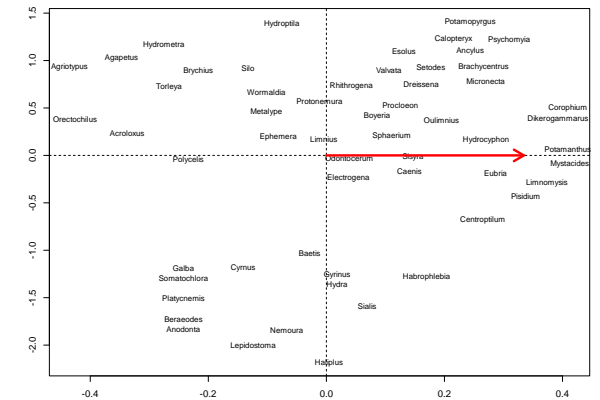
Rhône-Méditerranée



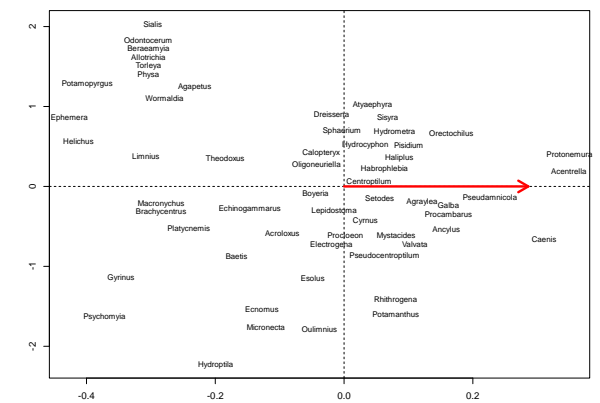
Coteaux Aquitains



Jura-Préalpes du Nord



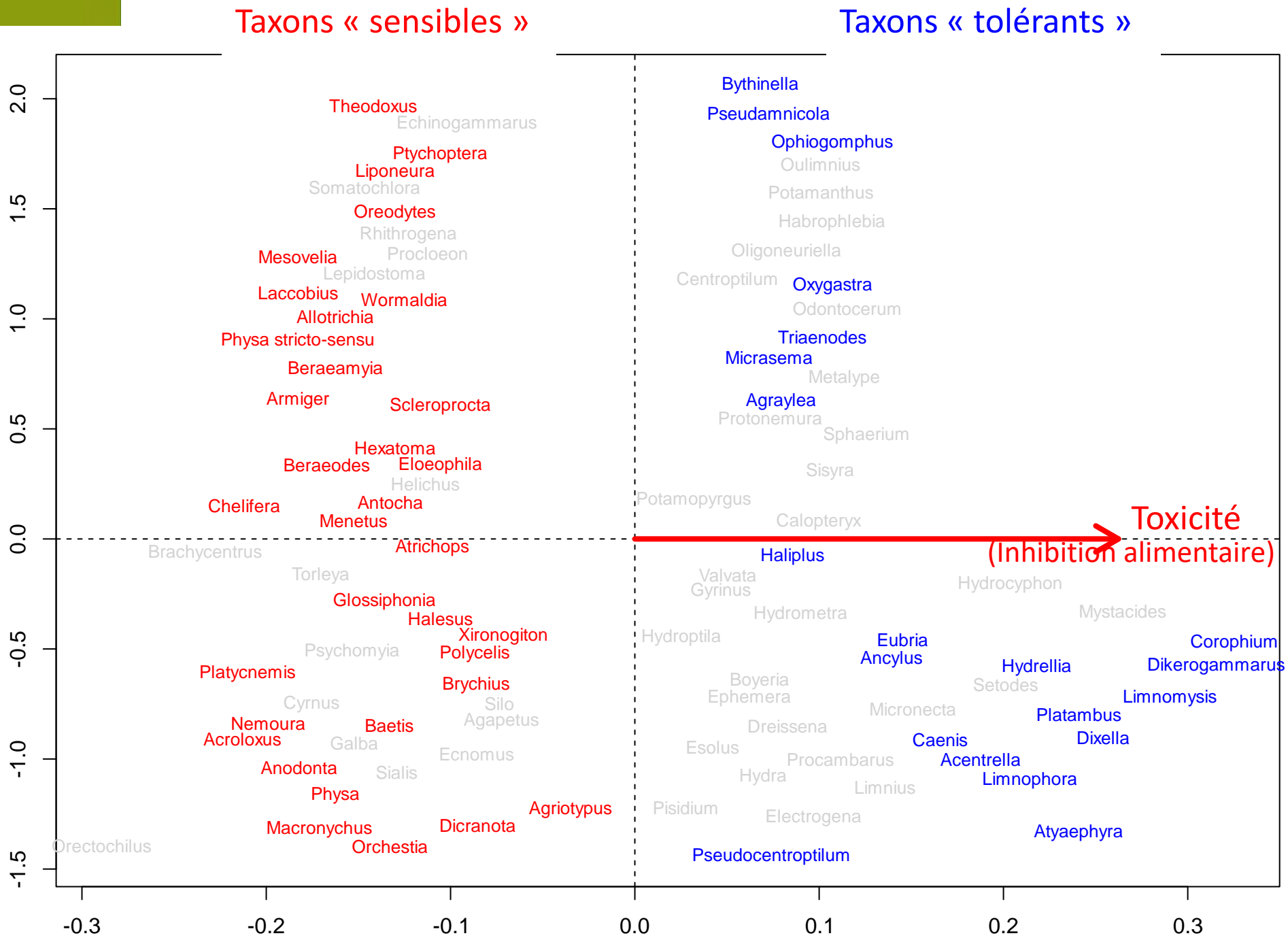
Méditerranéen





Résultats

Taxons « sensibles » et « tolérants » quelque soit l'échelle spatiale et la région considérée

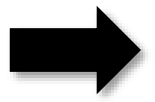




Indicateur d'effet de la toxicité sur les macroinvertébrés

SPEC (SPECies Change) : remplacement d'espèces sensibles par des espèces tolérantes dans une communauté

Taxons
« sensibles » et
« tolérants »
quelque soit
l'échelle spatiale
et la région
considérée



$$SPEC = \frac{\sum_{i=1}^n \log(4x_i+1) \times y_i}{\sum_{i=1}^n \log(4x_i+1)}$$

Avec n = nombre de taxons,
 x_i = abondance du taxon i
 $y = 1$ si le taxon est « sensible »,
 $y = -1$ si le taxon est « tolérant »
 $y = 0$ pour les autres taxons

Normalisé avec une fonction sigmoïde pour que les valeurs de SPEC soient comprises entre 0 et 1 :

$$SPEC_{norm} = \frac{1}{1 + e^{-r \times SPEC}}$$



Relation entre toxicité et SPEC

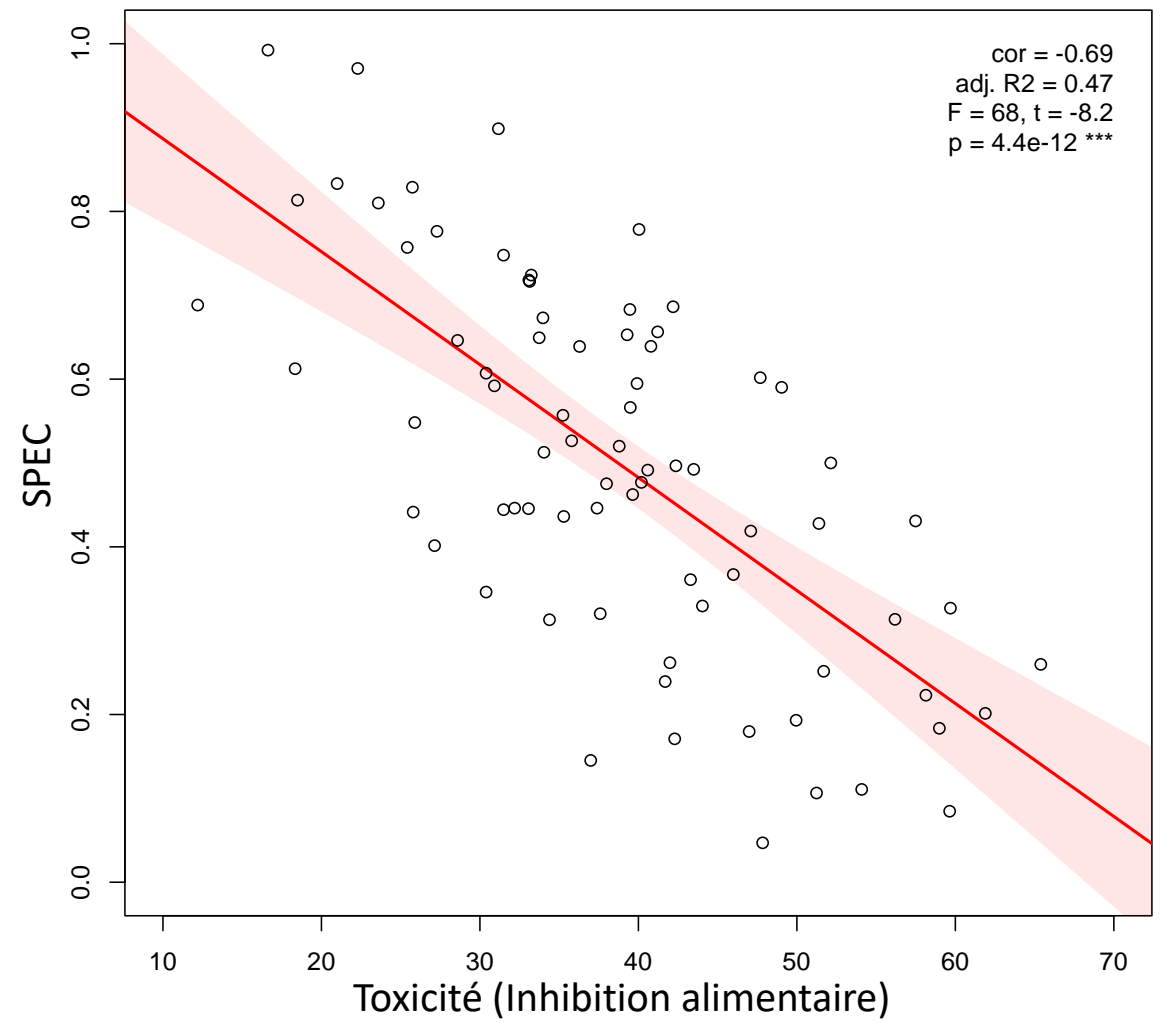
SPEC proche de 1 :

Espèces sensibles >> espèces tolérantes
= Communauté non impactée par les contaminants toxiques

SPEC proche de 0 :

Espèces sensibles << espèces tolérantes
= Communauté très impactée par les contaminants toxiques

Toutes les stations

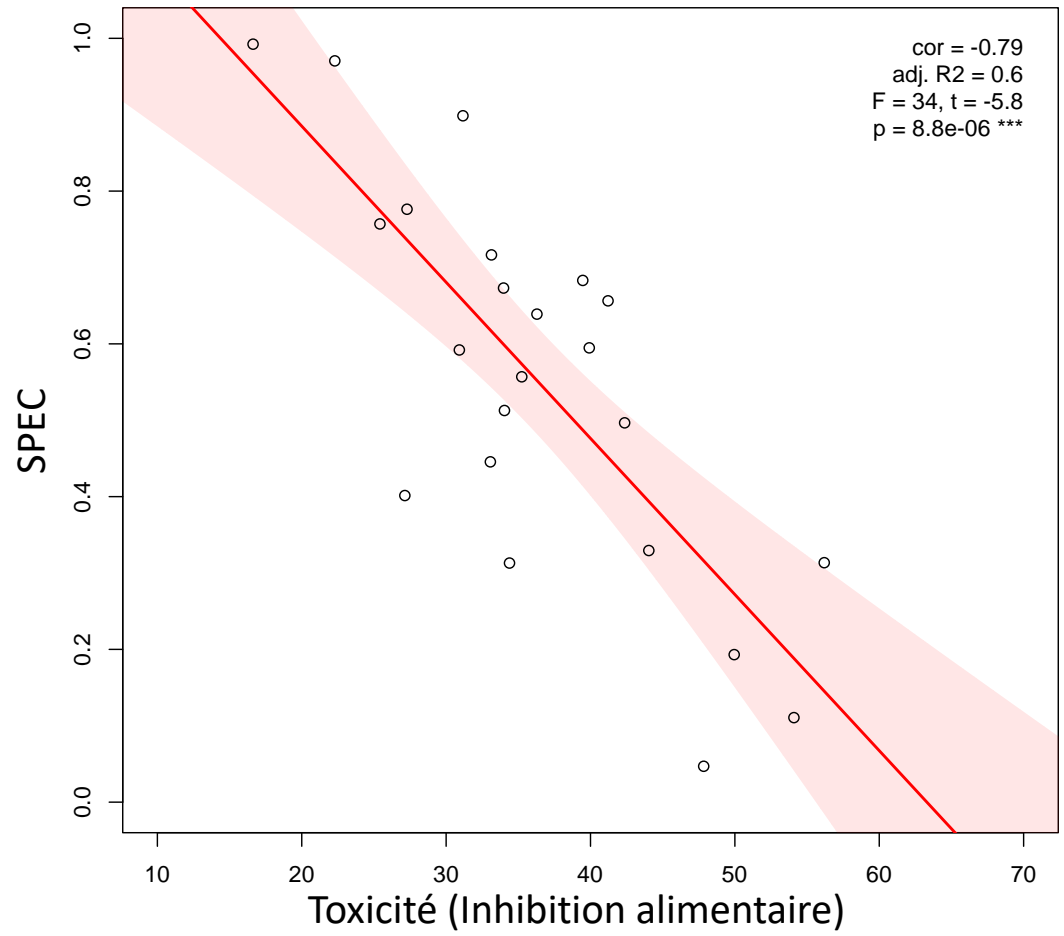




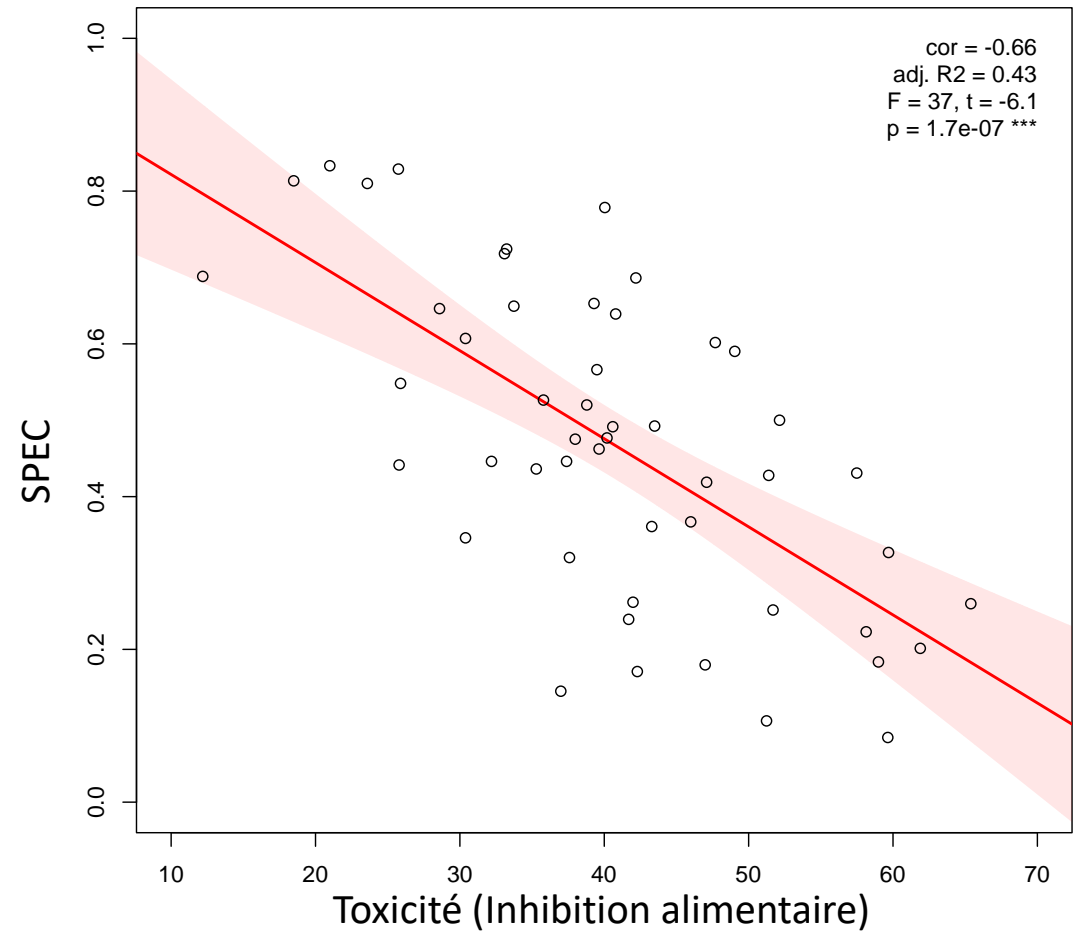
Bassins

Relation entre toxicité et SPEC

Adour-Garonne



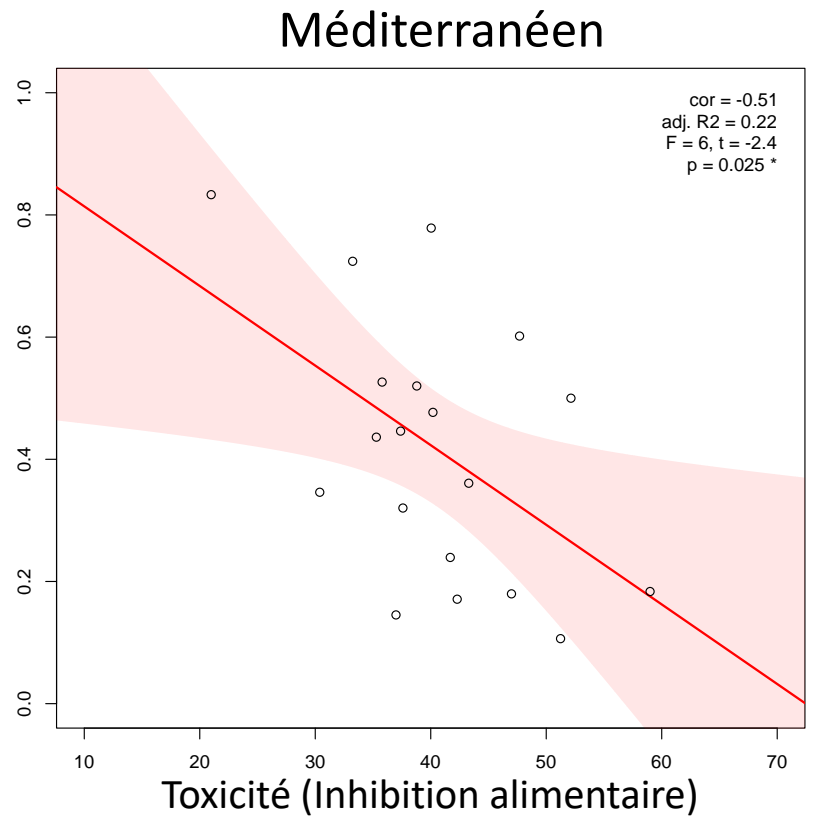
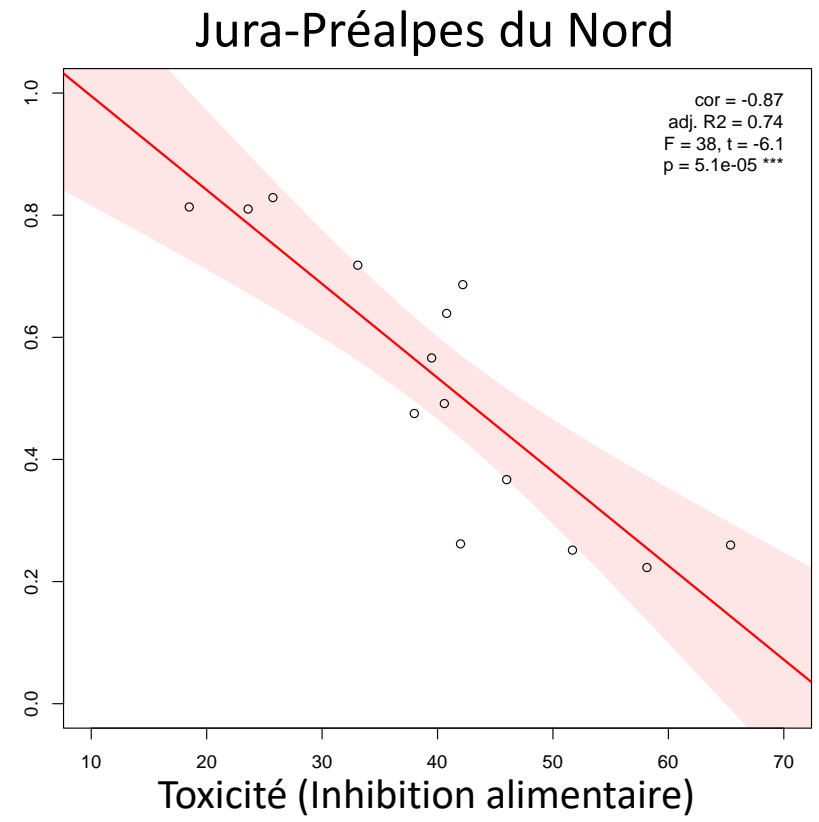
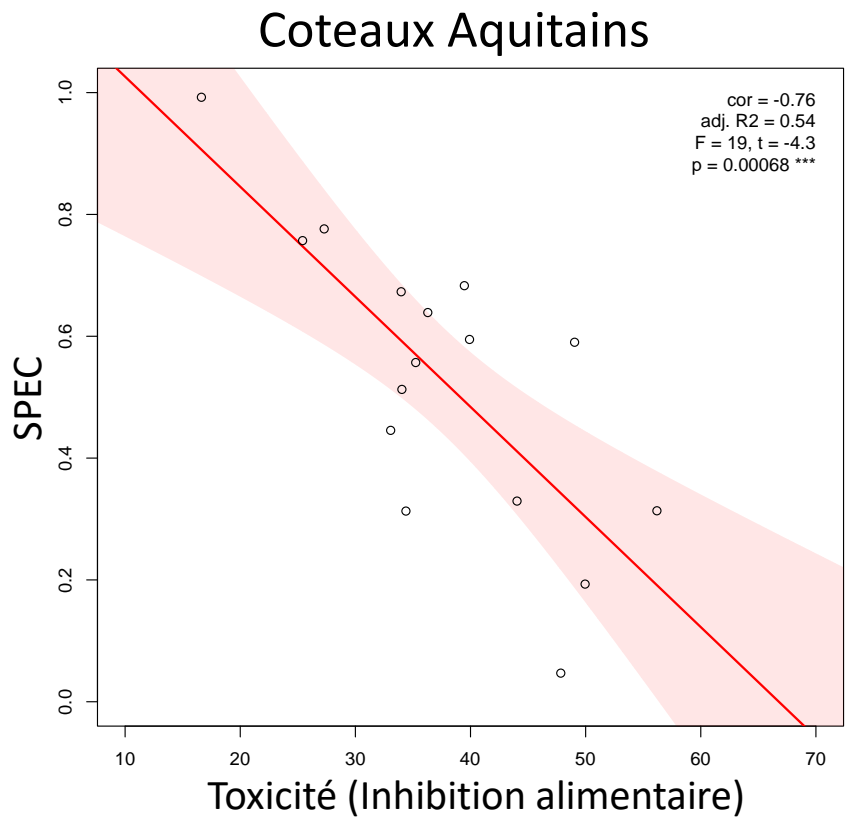
Rhône-Méditerranée





Relation entre toxicité et SPEC

Hydroécorégions





Futur développements/suite de mon post-doctorat

Intégration de nouvelles variables dans les analyses, notamment hydromorphologiques (e.g. taux de chenalisation), utilisation des sols, etc...

Validation de l'indicateur SPEC en intégrant de nouvelles stations, suivies ou non par l'outil gammare

Approche fonctionnelle pour étudier plus précisément l'effet de la contamination toxique sur le fonctionnement des écosystèmes

Séminaire scientifique

Flux polluants écotoxicologie et écosystèmes

5 octobre 2023 - Villeurbanne

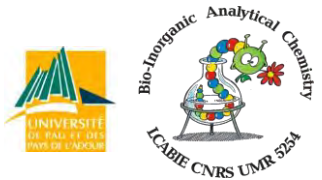
Avec le soutien de :



Utilisation des otolithes de poisson comme marqueur temporel de la contamination

Cas particulier de l'uranium

Olivier Simon, IRSN



Use of fish otoliths as a temporal biomarker of field uranium exposure

S. Mounicou ^{a,1}, S. Frelon ^{b,1}, A. Le Guernic ^b, Y. Eb-Levadoux ^b, V. Camilleri ^b, L. Février ^c, S. Pierrisnard ^c, L. Carasco ^c, R. Gilbin ^b, K. Mahé ^d, H. Tabouret ^a, G. Barelle ^a, O. Simon ^{b,*}

^a CNRS/Univ Pau & Pays Adour/E2S UPPA, Institut des Sciences Analytiques et de Physico-Chimie pour l'Environnement et les Matériaux, UMR5254, 64000 Pau, France
^b Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN), PSE-EN/SRTE/LEO, Cadarache, Saint Paul-les-Durance 13115, France
^c Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN), PSE-EN/SRTE/LR27, Cadarache, Saint Paul-les-Durance 13115, France
^d IFREMER, Centre Manche Mer du Nord, Laboratoire Ressources Halieutiques, BP 609, 62321 Boulogne-sur-mer, France





Contexte : Uranium

?

Activités anthropiques

Uranium
(activités minières)



Marqueur d'exposition
Marqueur d'effet

- Précoce
- Sensible
- Intégrateur

Milieu

Variabilité spatio temporelle

Organismes

Organes

Otolithe



Quels marqueurs retenir ?

Site d'activité minière (IRSN)



Mine à ciel ouvert (Niger)



[U] eau = µg/L à mg/L
[U] sédiment = mg/kg

Effets biologiques
Conséquences écologiques

Simon et al., 2022, 2019, 2018
 Frelon et al., 2020
 Eb-Levadoux et al., 2017
 Bucher et al., 2016, 2014
 Bourrachot et al., 2014
 LeGuernic et al., 2016
 Lerebours et al., 2013
 Faucher et al., 2012
 Augustine et al., 2012



Contexte : otolithe

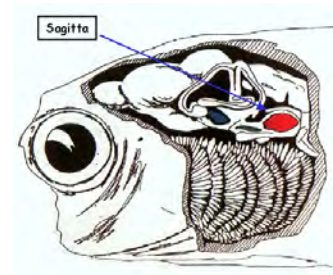
otolithe

Oreille interne de poisson : sagittae
Tissu dur : aragonite (carbonate de calcium) + otoline
Croissance radiale : stries d'accroissement
Diversité des formes par espèce

Barbee et al., 2013
Daverat et al., 2012
Martin et al., 2013
Tabouret et al., 2012
Ranaldi et Gagnon, 2010



**Métaboliquement
inerte**



Gardons : *Rutilus rutilus* (MEB)

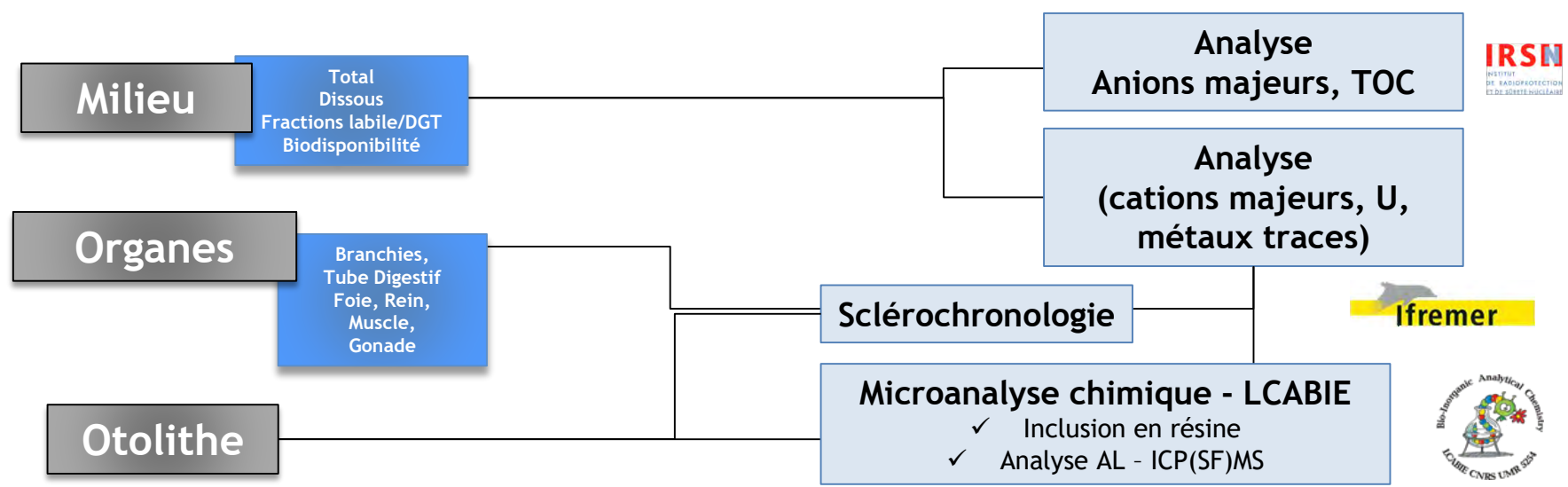


Inclusion dans résine et abrasion avant analyse



Stratégies et Outils analytiques mis en œuvre

Identification *in situ* de marqueurs d'exposition



1. Caractérisation des conditions d'exposition (U, cations, anions, ...)
2. Cinétique d'accumulation dans l'otolithe et dans les organes du gardon
3. Intégration de la quantité d'U accumulée par le poisson sur le cycle de vie

-Métal modèle uranium naturel (U), ancienne mine d'extraction (France)
 -Modèle biologique : Gardon sauvage (densité et facilité de pêche)

-Campagnes de prélèvements en mai, juillet et septembre 2013 et 2014 (en cours).
 -Etude de dépuraction au laboratoire (septembre+5 mois de dépuraction)



Résultats : Colonne d'eau

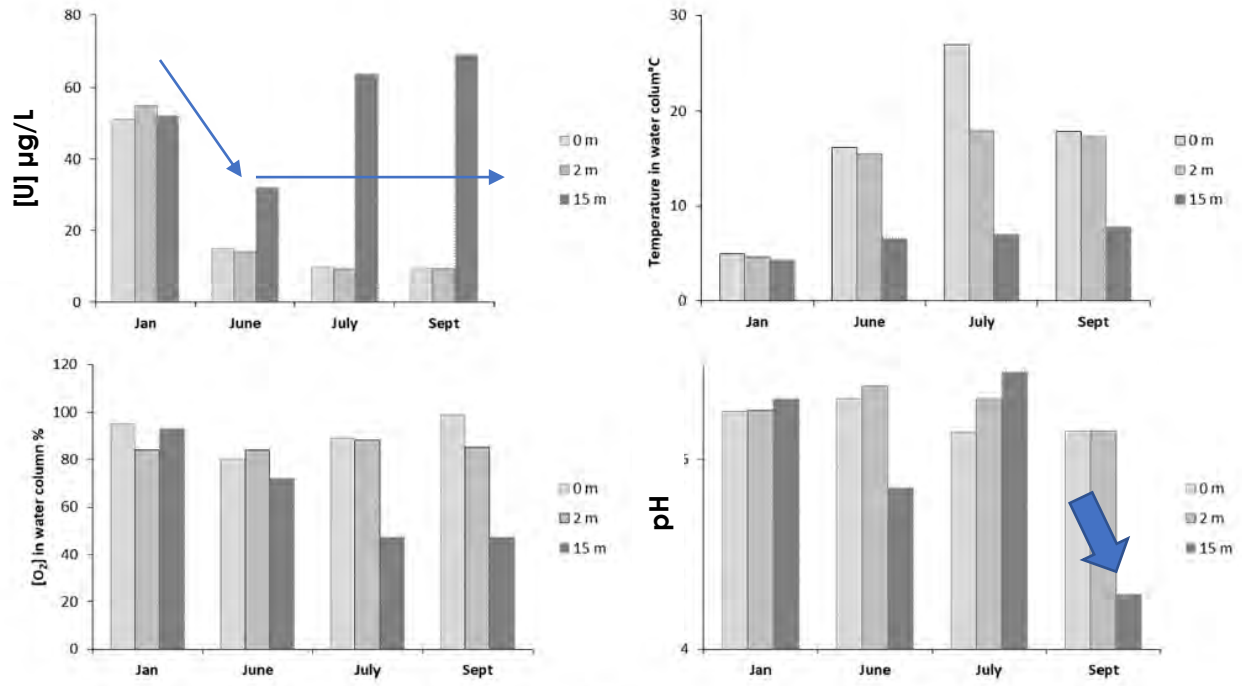


Fig. 1. Uranium levels ([U] µg L⁻¹) and abiotic parameters (pH, O₂%, temperature °C) in field water horizons (0, 2, 15 m) over 2014 season.

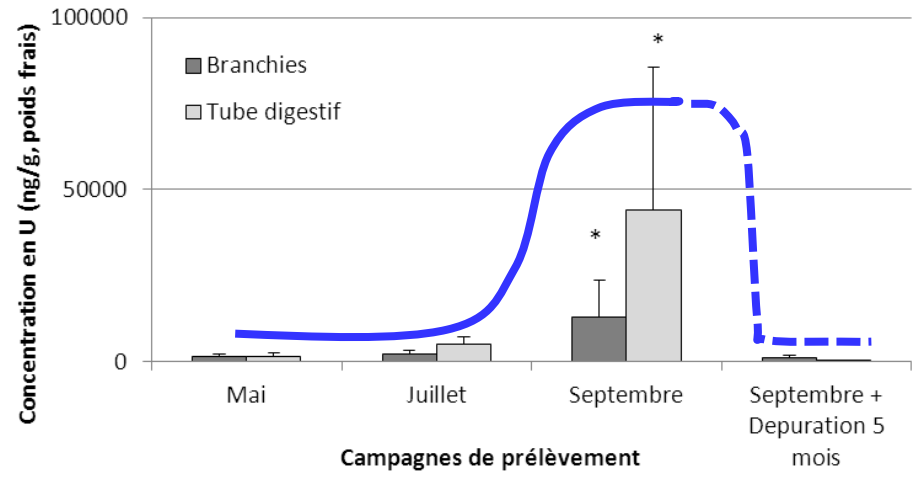
Variabilité spatio temporelle

- Variation des concentrations au cours du temps (15-60 µg/L)
- Variation de la biodisponibilité (pH) au cours du temps
- Méconnaissances de l'occurrence des poissons dans les différents horizons

Quelles concentrations d'exposition retenir ?

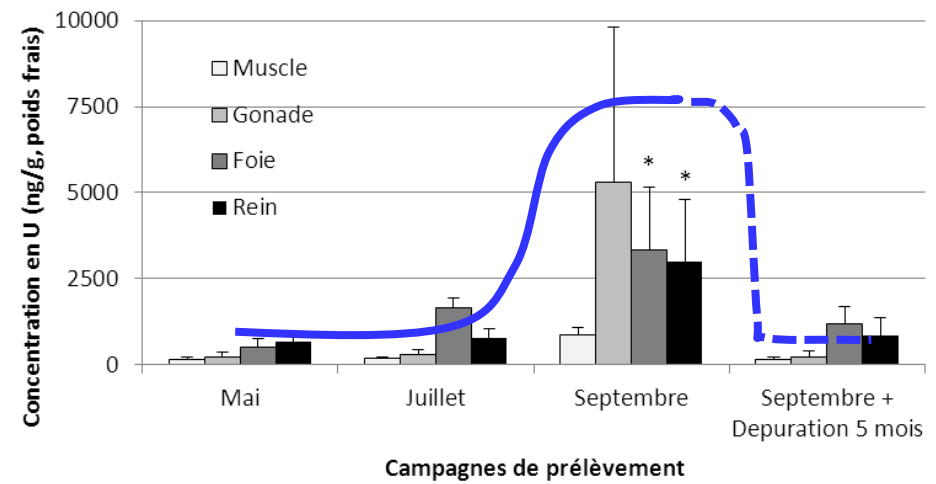


Résultats : Organismes (Gardons sauvages)



Variabilité temporelle

- Internalisation de l'U
- Variabilité temporelle des niveaux d'accumulation
- Quid de la voie trophique de contamination
 - [Contenus digestifs] = 200 000 ng/g



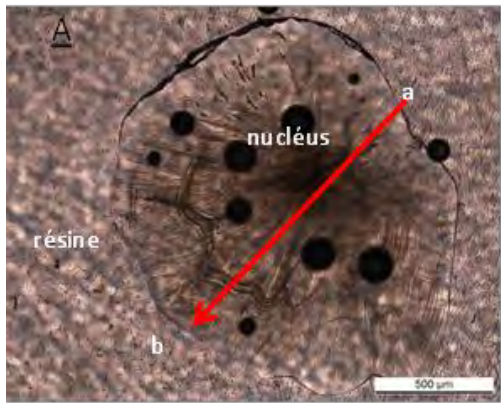
Quelles concentrations d'accumulation retenir ?



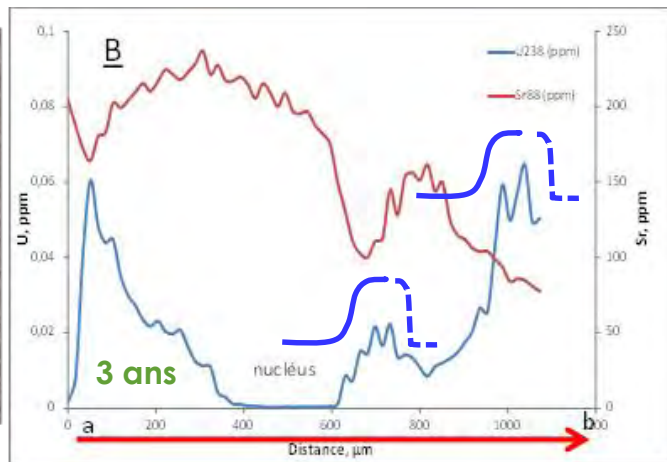
Résultats : Otholites (Gardons sauvages)

Profil temporel de l'accumulation (Ablation laser ICP MS, 200µm)

Otolithe

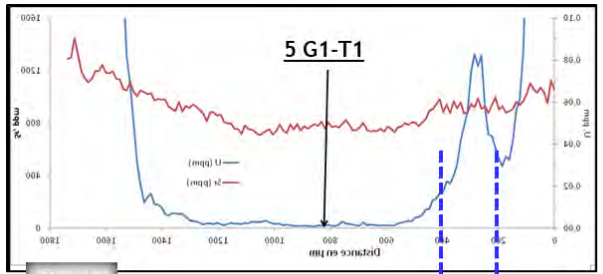


2,26 ± 0,64 mg
50-200 ngU/g, ps



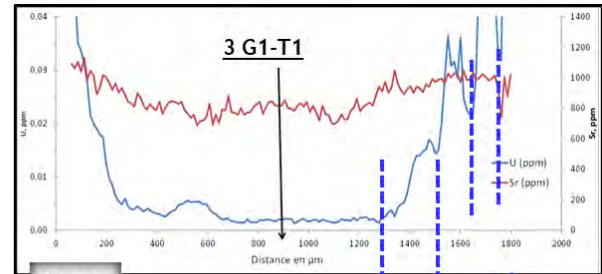
Bordure Nucléus Bordure

- Détection d'U
- Hétérogénéité du profil : Cycle saisonnier de marquage
- Absence d'U à proximité du nucléus
- Présence d'U en bordure



2 ans

1er cycle



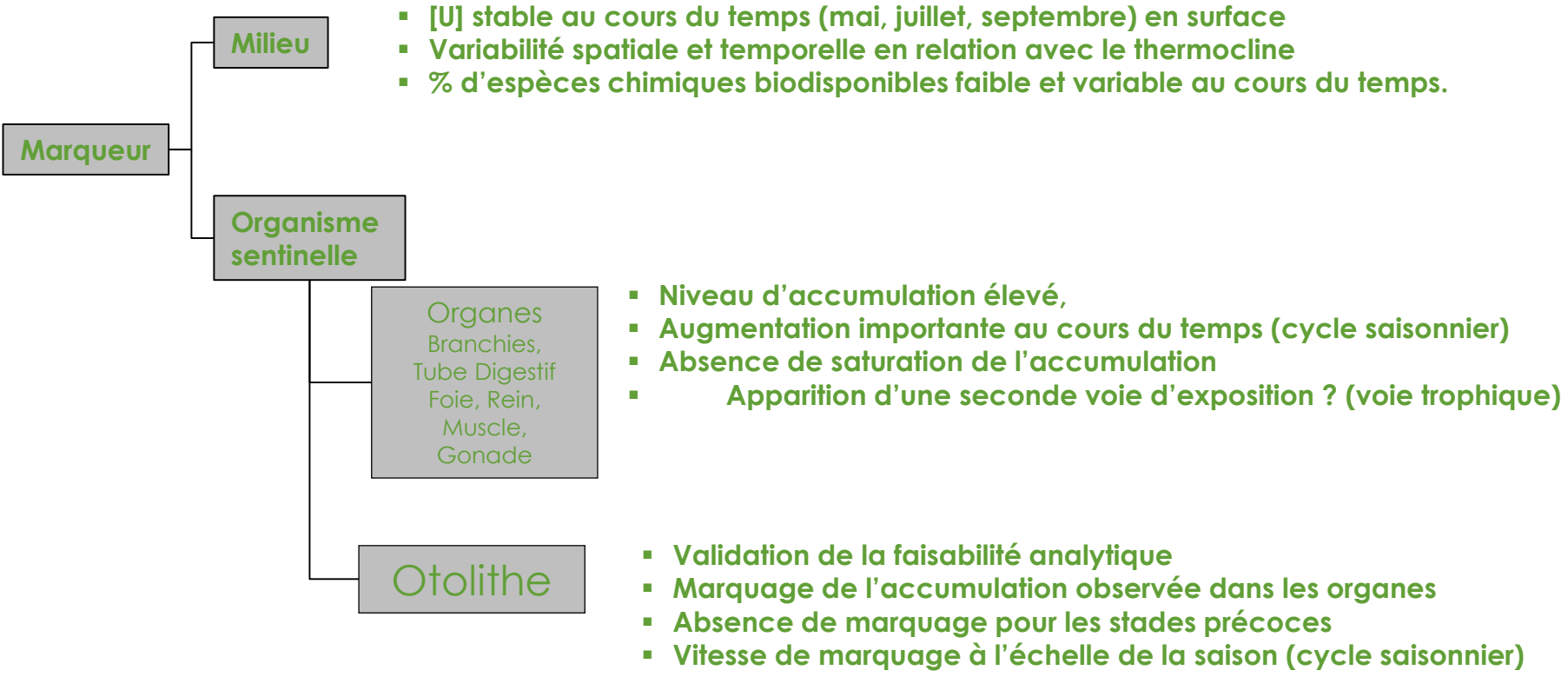
3 ans

1er cycle
2nd cycle

- Lien âge/nombre de cycles de marquage
- Lien entre bioaccumulation/otolithe



Conclusions



Bon candidat
comme marqueur
temporel de
l'exposition à l'U

- Validation chez d'autres espèces de poissons
 - (régime alimentaire)
- Validation pour d'autres éléments chimiques

Séminaire scientifique

Flux polluants écotoxicologie et écosystèmes

5 octobre 2023 - Villeurbanne

Avec le soutien de :



Recherche d'indicateurs biologiques pour évaluer la qualité des eaux souterraines en milieu karstique

Lina FABRE

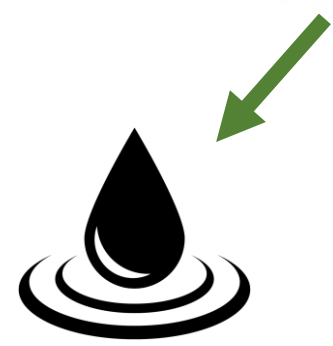
Florian MERMILLOD-BLONDIN (LEHNA) ; Yves PERRETTE (EDYTEM) ;
Clémentine FRANCOIS (LEHNA)



Contexte

25%

De la ressource en eau sur Terre
(Ford et Williams, 1989 ; de Marsily et Besbes, 2017)



Erosion de roches sédimentaires

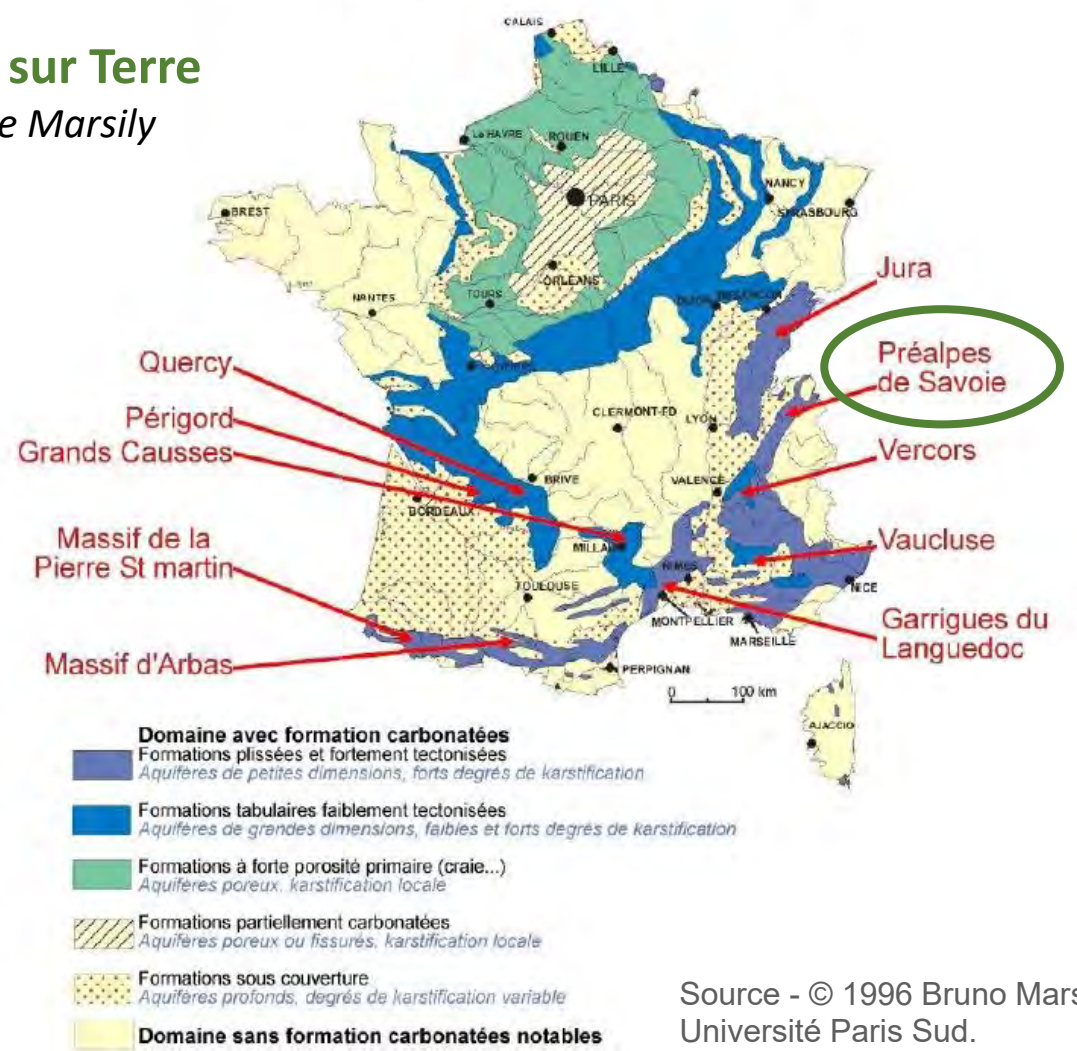


Conditions stables



Milieu oligotrophe

Carte hydrogéologique des formations carbonatées karstifiables

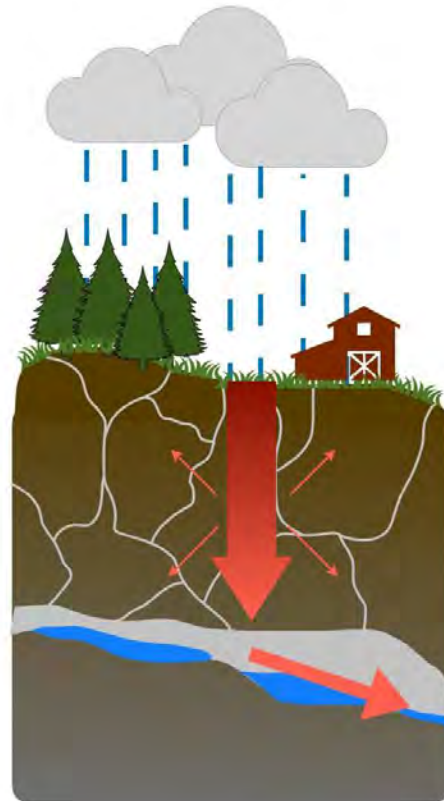
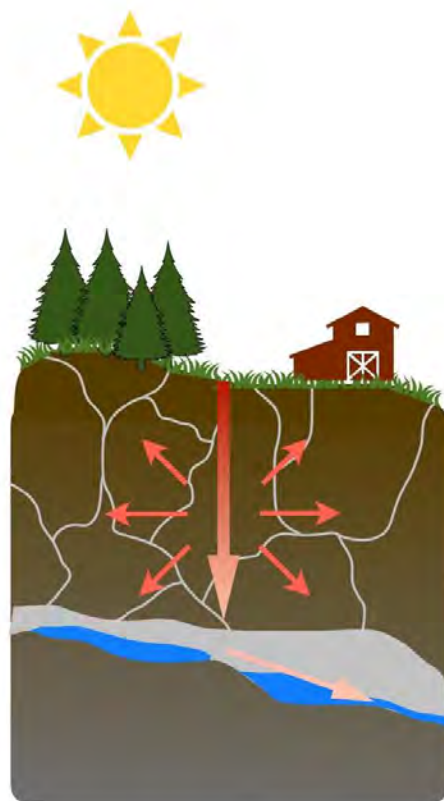


Source - © 1996 Bruno Marsaud, Université Paris Sud.



Contexte

- Temps de résidence long
- Filtration par le sol et les microorganismes



- Augmentation du débit
- Temps de résidence plus court
- Apports d'eau concentrés en polluants et nutriments

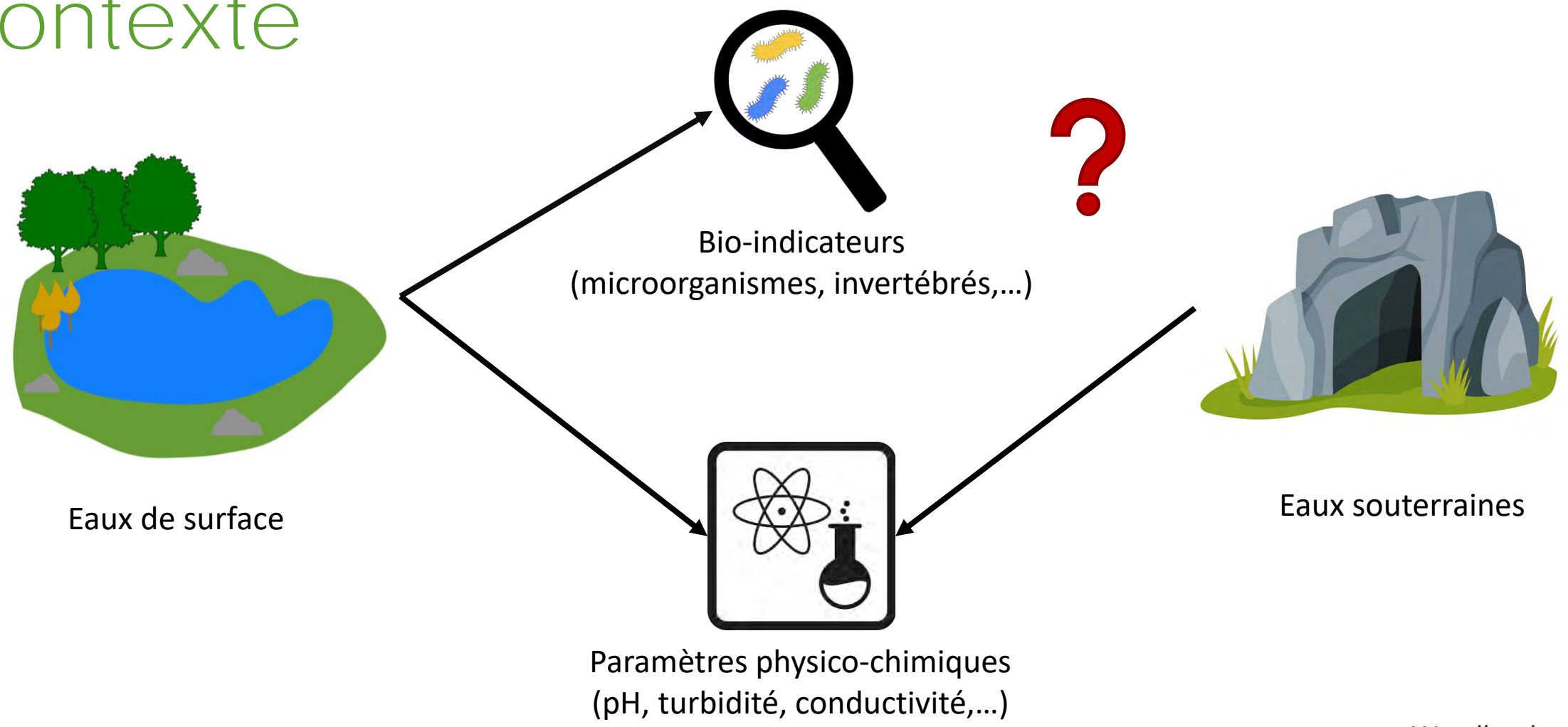
Eau impropre à la consommation !



Infiltration d'eau plus ou moins chargée en nutriments et polluants



Contexte





Contexte



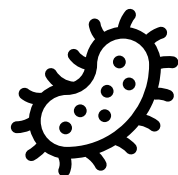
Pourquoi les bactéries ?

Quels indicateurs ?

Utilisés pour les eaux de surface
(Directive 2000/60/CE)

Abondants et omniprésents
(Pronk et al., 2009)

Sensibles aux variations du milieu
(Goldscheider et al., 2006)



Capacité intégrative
≠ Analyses physico-chimiques

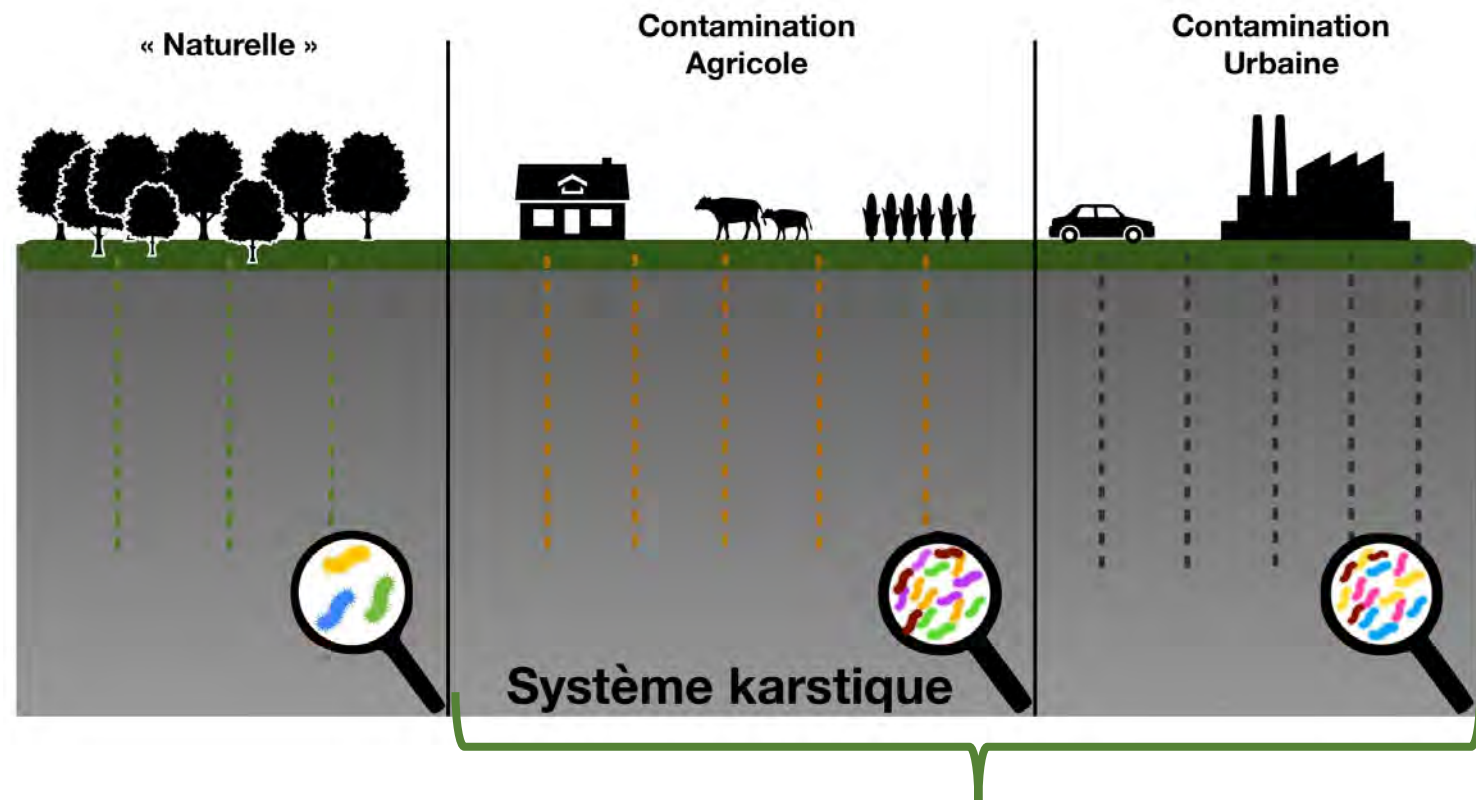
Acteurs des processus biogéochimiques (dégradation des polluants)
(Meckenstock et al., 2015)

Biomasse et activités microbiennes
= présence d'une contamination
(Voisin et al., 2020)

Structure des communautés
= identification de la contamination
(Di Lorenzo et al., 2019 ; Griebler et Lueders, 2009)



Questions scientifiques

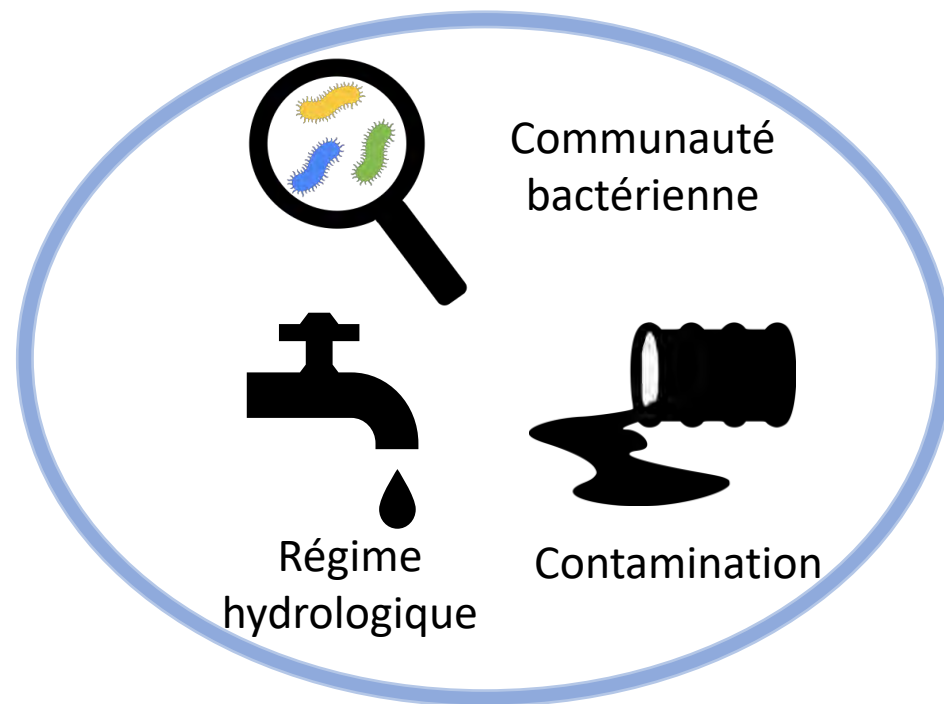


Déterminer la capacité des communautés à discriminer des sites à contaminations contrastées.



Questions scientifiques

Liens ?

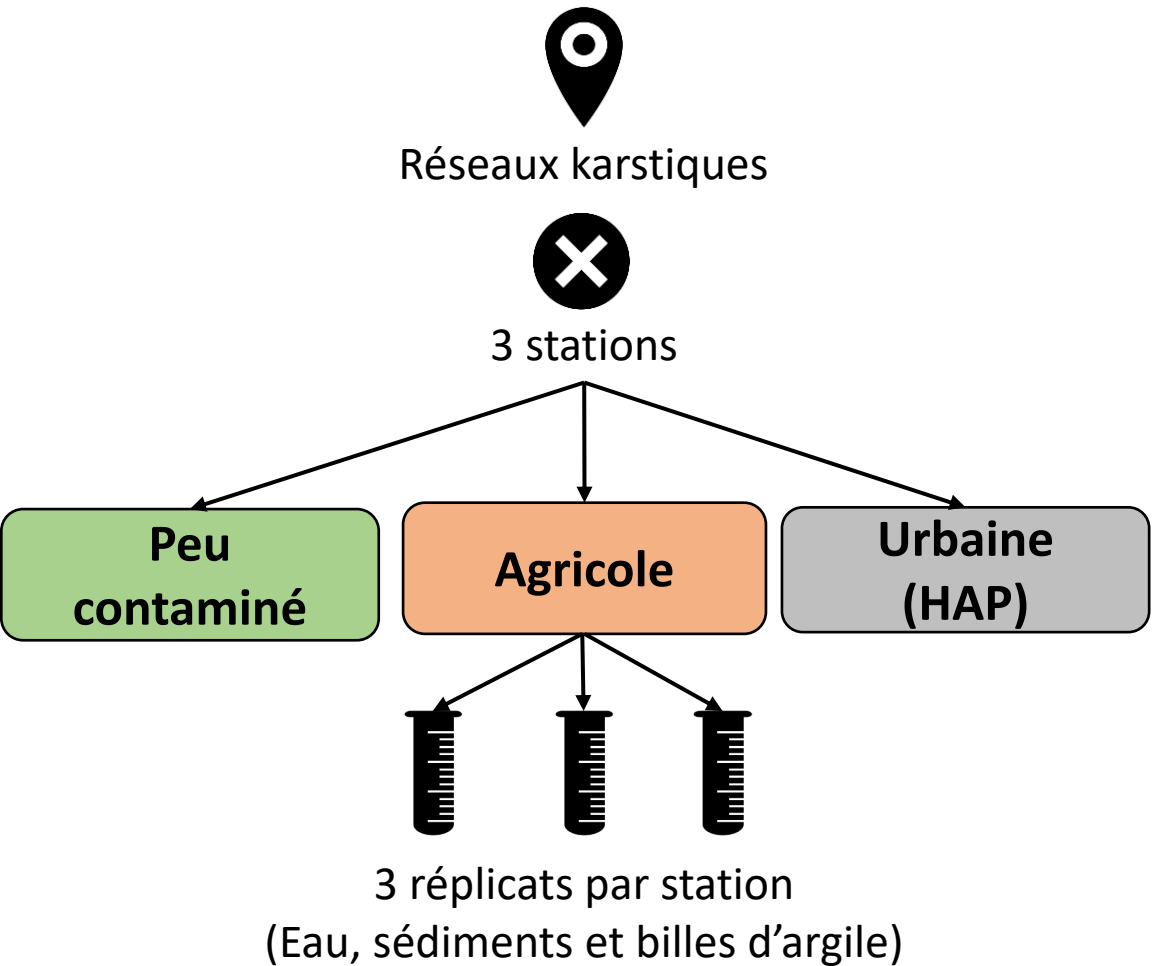


Rechercher des bio-indicateurs pour évaluer la qualité des eaux souterraines en milieu karstique

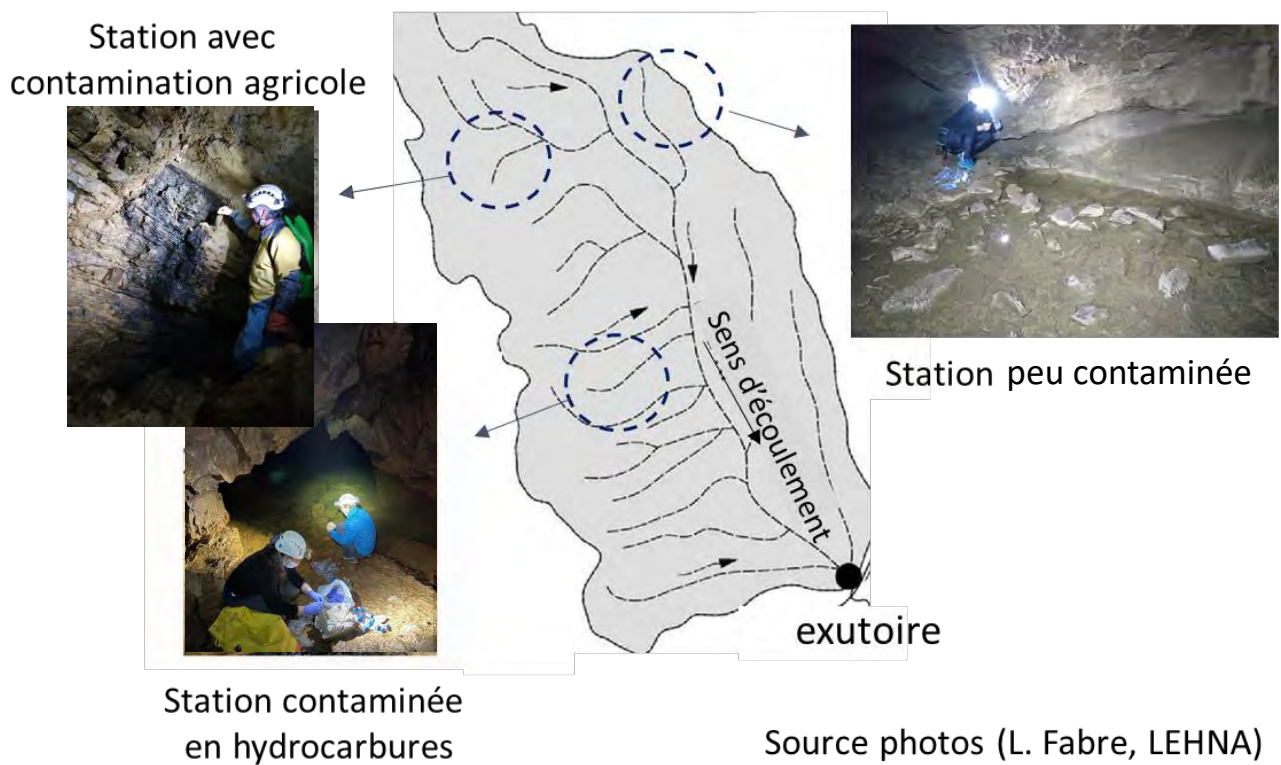
Pour Grand Chambéry : Anticiper les besoins en eau en fonction des perturbations du milieu (crues, pluies, eaux de fonte)



Méthodologie



Réseau hydrographique karstique

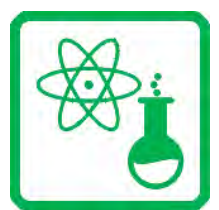




Méthodologie



Eau, sédiments, billes d'argile



Caractérisation des sédiments

Nutriments
Carbone organique / Azote
HAP

Analyses microbiologiques

Activité déshydrogénase
Activité estérase
Biomasse (dosage protéines)

Structure des communautés

Analyses moléculaires
(Métabarcoding
ADNr 16S)



Merci pour votre attention
A bientôt pour de futurs résultats



Séminaire scientifique

Flux polluants écotoxicologie et écosystèmes

5 octobre 2023 - Villeurbanne

Avec le soutien de :



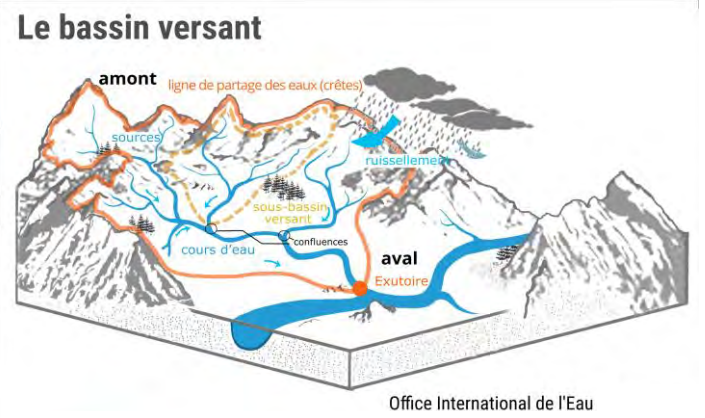
Dynamiques d'assemblage des biofilms bactériens d'un cours d'eau en fonction de la nature des sources émettrices de bactéries et de l'occurrence de polluants chimiques

Angélique Dominguez Lage





Contexte



1 source = 1 sous bassin homogène



Rejets bactériens

Pollutions chimiques



Paramètres physico-chimiques

Paramètres environnementaux

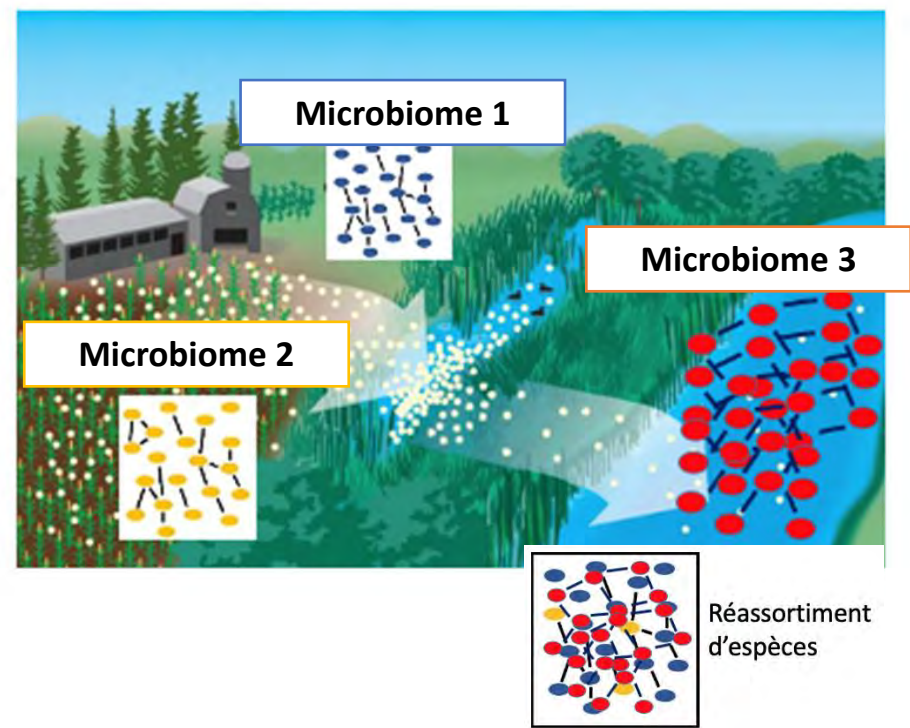


Communautés bactériennes divergentes



COALESCENCE DES BIOFILMS

(Mansour et al., 2018; Colin et al., 2020)



Impact des déversements ? Ampleur des phénomènes de coalescence ?



Hypothèse et questions scientifiques

Impacts des déversements sur la microbiologie des biofilms des cours d'eau récepteurs

anr[®]
CHYPSTER

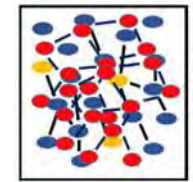
Quelles sont les sources de contamination du cours d'eau étudié ?

Pollutions bactériennes ?



Pollutions chimiques ?

Implantation de taxons exogènes (biofilms) ? Sources ?



Réassortiment d'espèces

Assemblages bactériens ?



Implantation de pathogènes ?

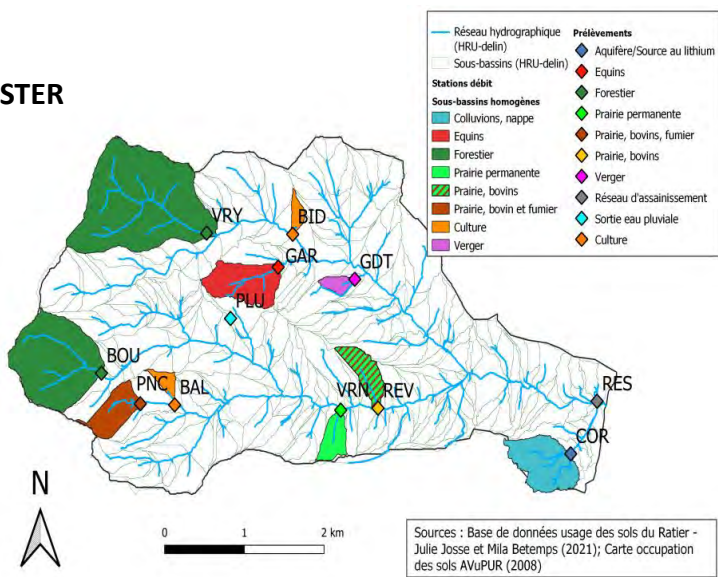
Incidence des polluants chimiques sur les assemblages ?



Méthodologie

1 – Etude des sources de contamination des cours **d'eau**

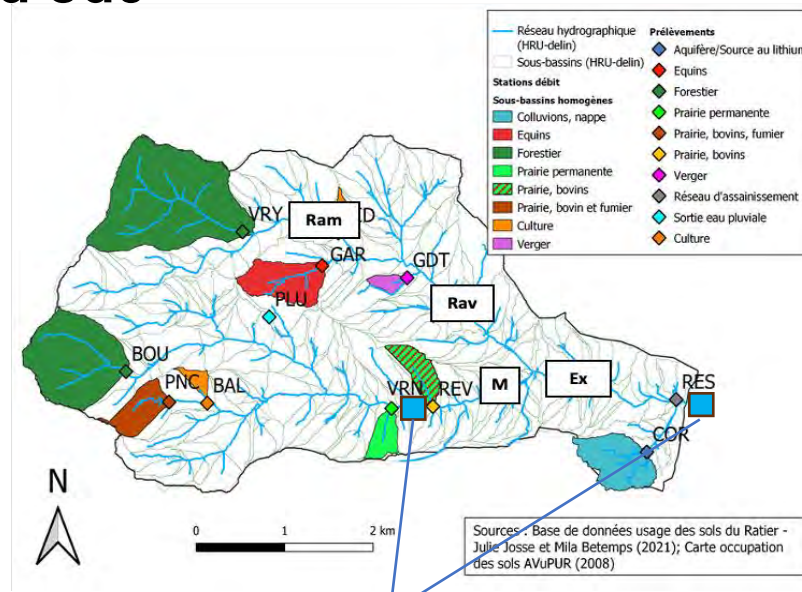
anr
CHYPSTER



Types de prélèvements :



2 – Etude des eaux et biofilms dans le cours **d'eau**



Types de prélèvements :



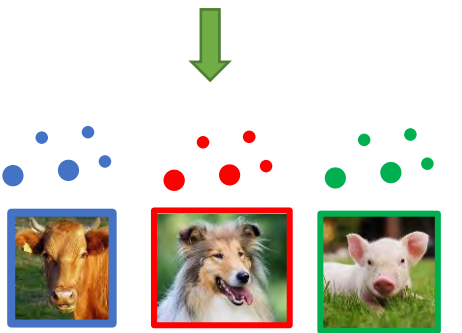


Méthodologie

Types d'analyses

MST qPCR

Cible : Ordre des *Bacteroidales*



Origine de la contamination fécale
n = 9 marqueurs

qPCR

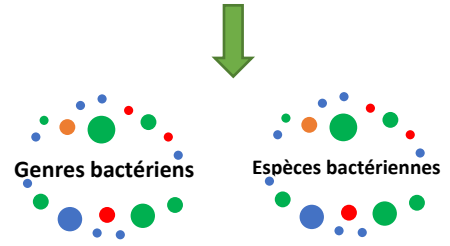
tpm (Aigle et al., 2021)
(thiopurine S-méthyltransferase)

ecfX (Lavenir et al., 2007)
(facteur sigma ECF)

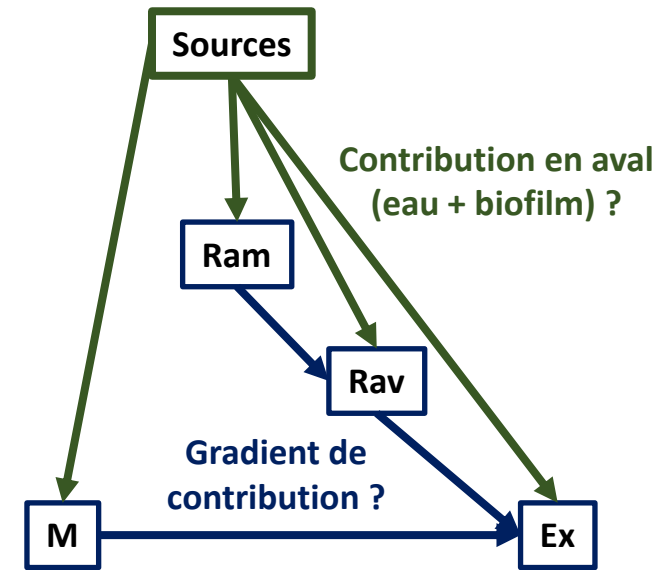
Quantification des *A. caviae* et *P. aeruginosa*

Métabarcoding

Cibles : *ADNr16S* (V4 région) et *tpm* (Aigle et al., 2021)



Origine de la contamination fécale
FORENSIC (Roguet et al., 2020)
Contribution de sources amont sur les communautés
FEAST (Shenhav et al., 2019)

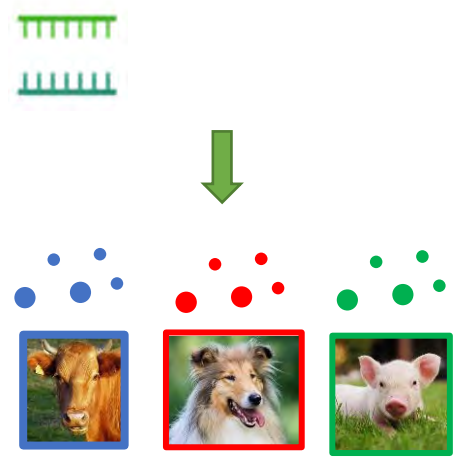




Méthodologie

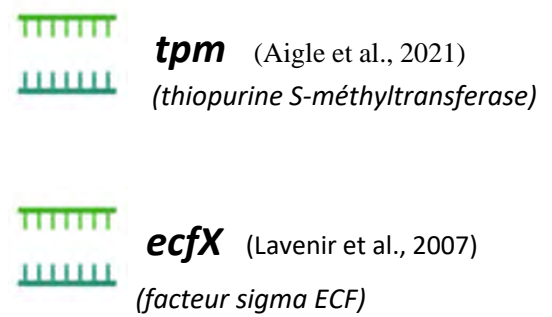
Types d'analyses

MST qPCR



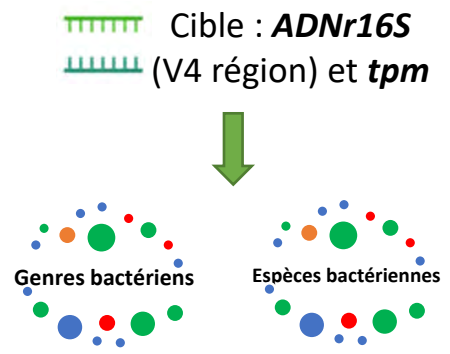
Origine de la contamination fécales
n = 9 marqueurs

qPCR



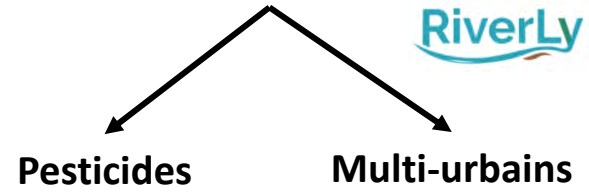
Quantification des *A. caviae* et *P. aeruginosa*

Métabarcoding



Origine de la contamination fécales
FORENSIC (Roguet et al., 2020)
Contribution de sources amonts sur les communautés
FEAST (Shenhav et al., 2019)

UHPLC MS MS



Corrélations polluants chimiques / bactéries



Remerciements

Directeurs de thèse

Benoit Cournoyer
Wessam Galia
Cécile Miège

Comité de pilotage

Stéphane Pesce
Michèle Gourmelon
Laurent Simon
Alain Hartmann
Véronica Rodriguez-Nava

Équipe BPOE - LEM



Consortium ANR Chypster



Les financeurs



Séminaire scientifique

Flux polluants écotoxicologie et écosystèmes

5 octobre 2023 - Villeurbanne

Avec le soutien de :



Effets de l'exposition précoce à un toxique issu de particules de pneus et une hausse de la température sur la morphologie à l'éclosion de l'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*)

Fanny-Laure Thomassin, Nathalie Cottin, Emmanuel Naffrechoux, Stéphane Reynaud, Jean Guillard et Emilie Réalis-Doyelle

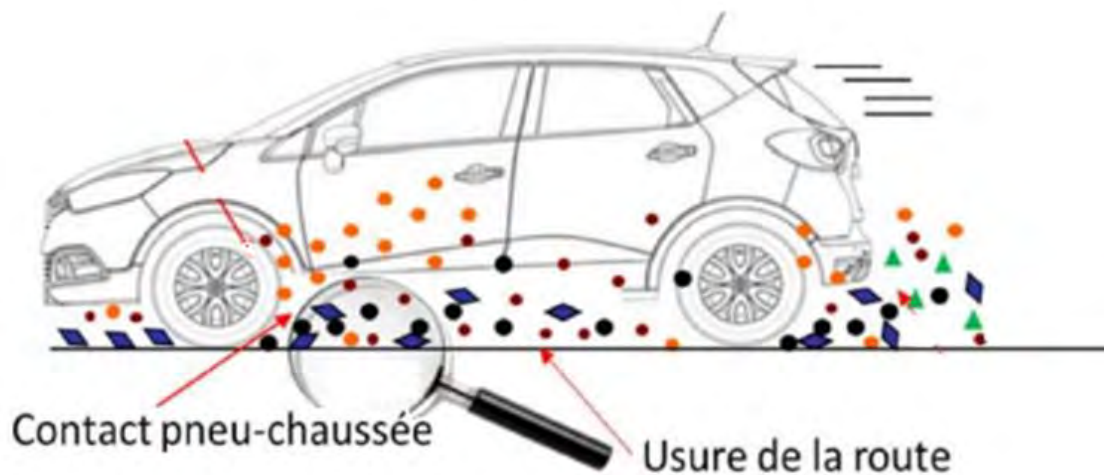
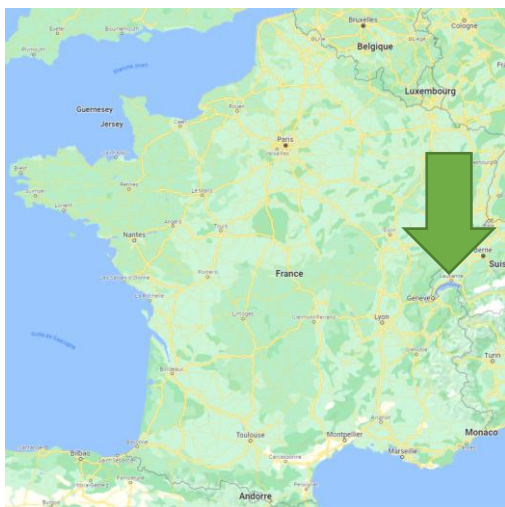


Contexte

Pollution plastique + changement climatique

~590 tonnes de plastique stockées dans le Léman (Boucher *et al.*, 2019)

Dont ~354 tonnes issues des pneus et chaussées





Projet plastiombi

Chimie

Mise au point d'un **proxy** de la présence de particules d'usure de pneus par analyse quantitative du **styrène**

Article en préparation





Projet plastiombli

Chimie

Mise au point d'un proxy de la présence de particules d'usure de pneus par analyse quantitative du styrène

Article en préparation

Ecotoxicologie

Réponse de l'omble chevalier à la 6PPD-Q





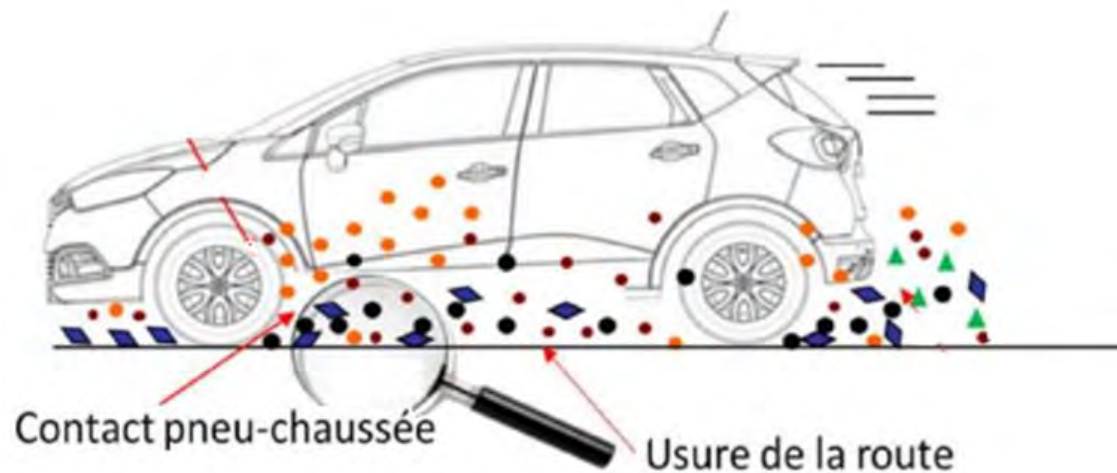
Contexte

Pollution plastique + changement climatique



~590 tonnes de plastique stockées dans le Léman (Boucher *et al.*, 2019)

Dont ~354 tonnes issues des pneus et chaussées



→ 6PPD-quinone

→ Molécule émergente hautement toxique pour le saumon Coho (Tian *et al.*, 2021)





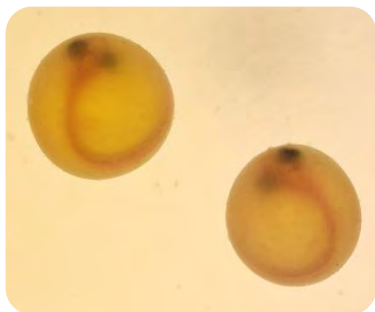
Question scientifique

Quels sont les impacts à l'éclosion d'une co-exposition de l'omble chevalier à une hausse de la température et à la 6PPD-quinone ?



Méthodologie

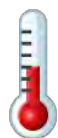
Premiers stades de vie
= les + sensibles



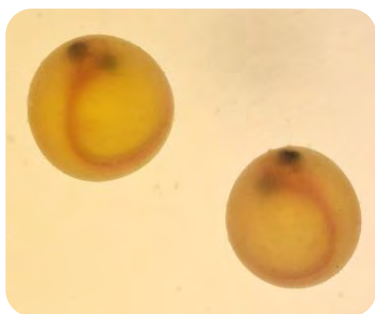


Méthodologie

Premiers stades de vie
= les + sensibles



5°C



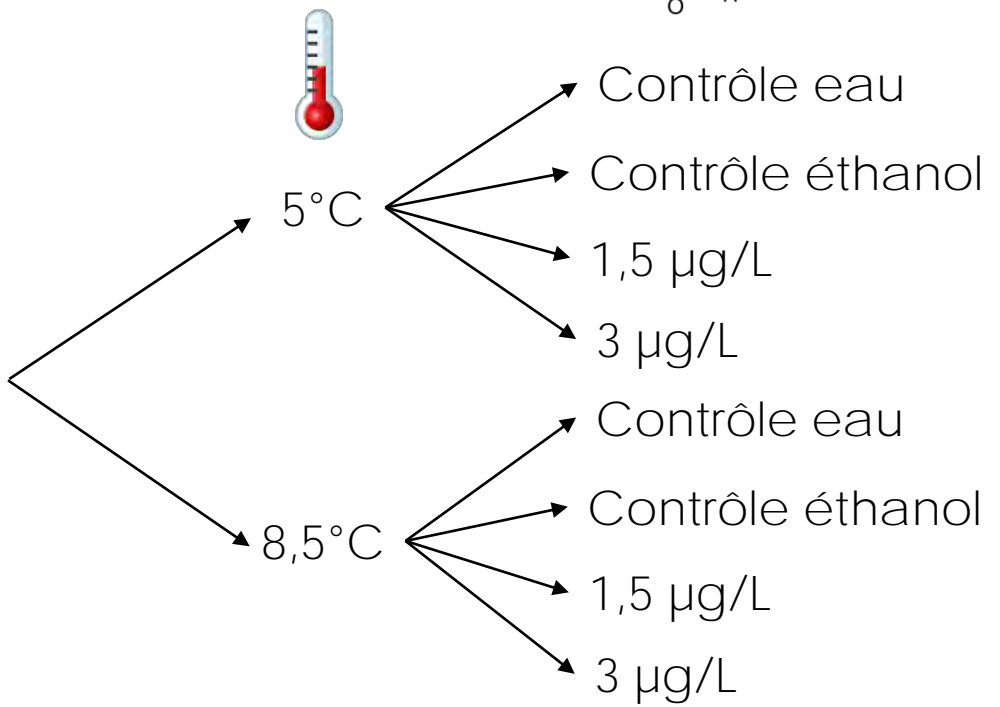
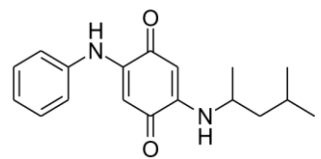
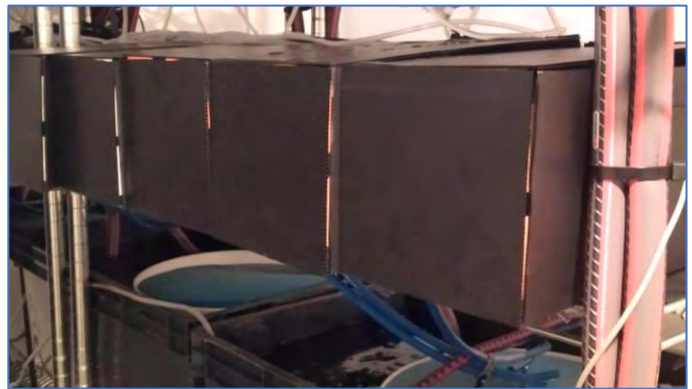
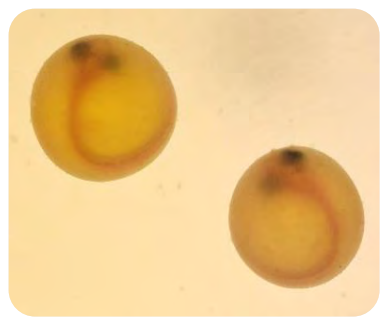
8,5°C





Méthodologie

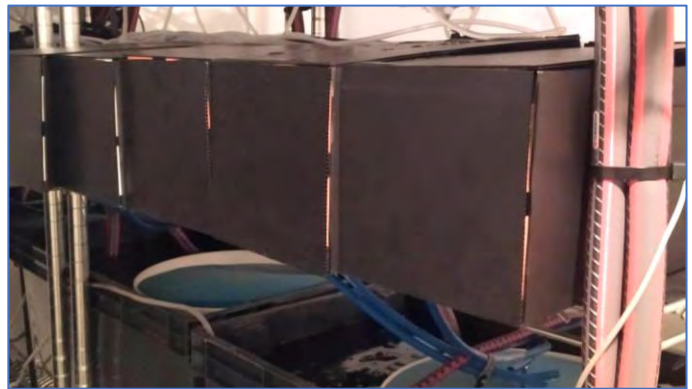
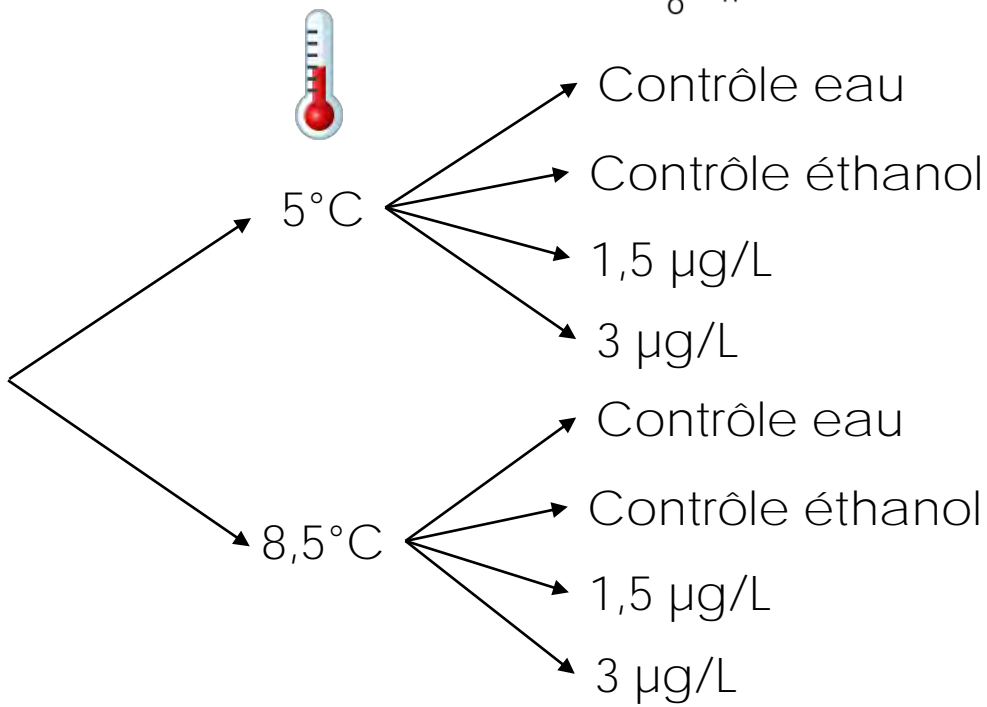
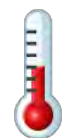
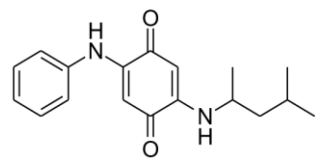
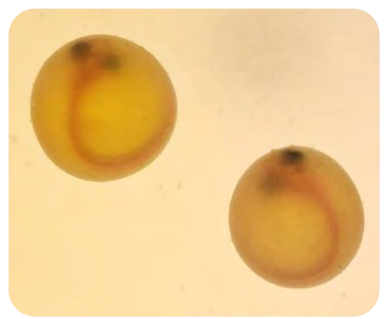
Premiers stades de vie = les + sensibles





Méthodologie

Premiers stades de vie = les + sensibles



x6 réplicas par condition (4 Annecy, 2 Léman)

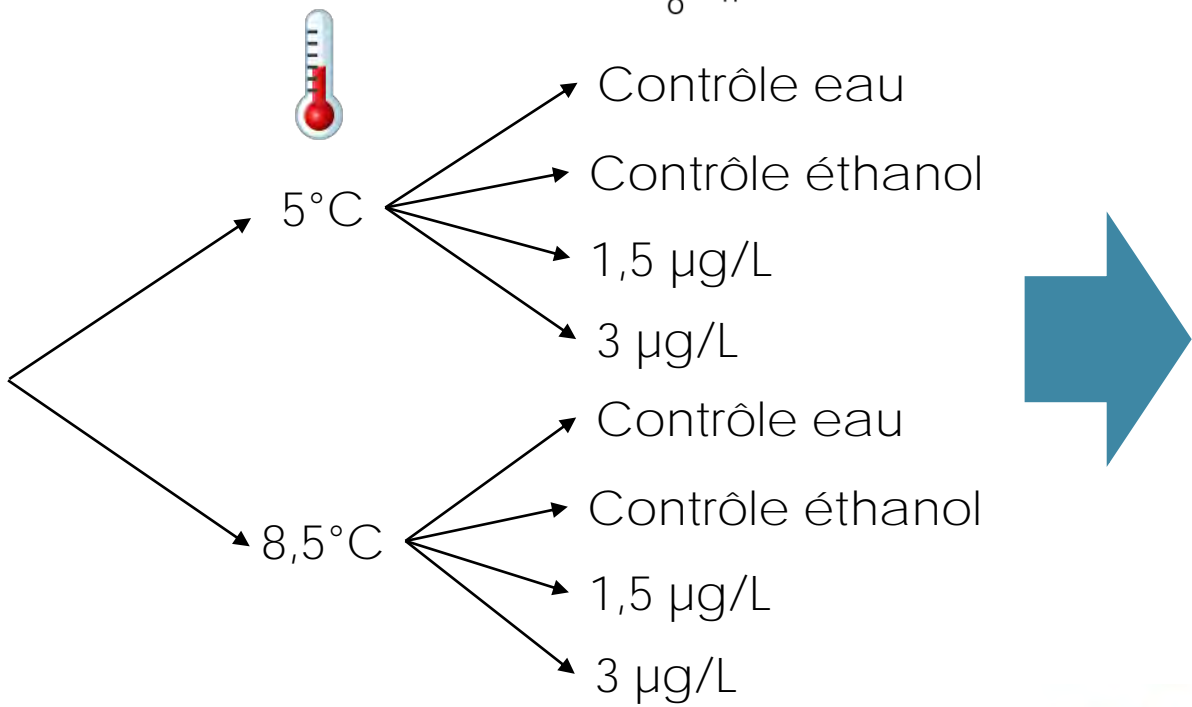
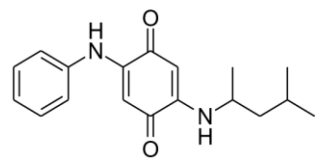
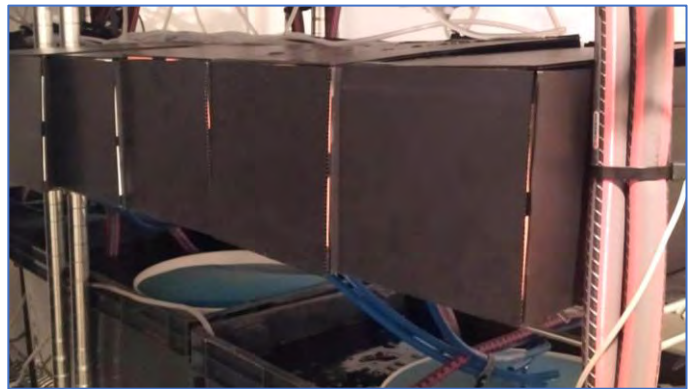
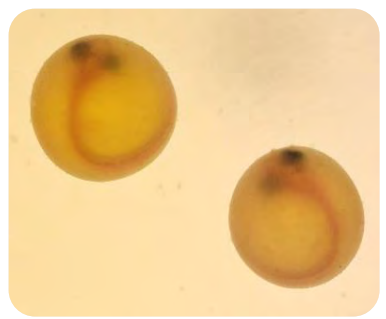


n=250/réplicas



Méthodologie

Premiers stades de vie = les + sensibles



Mortalité, temps de développement et mesures morphométriques



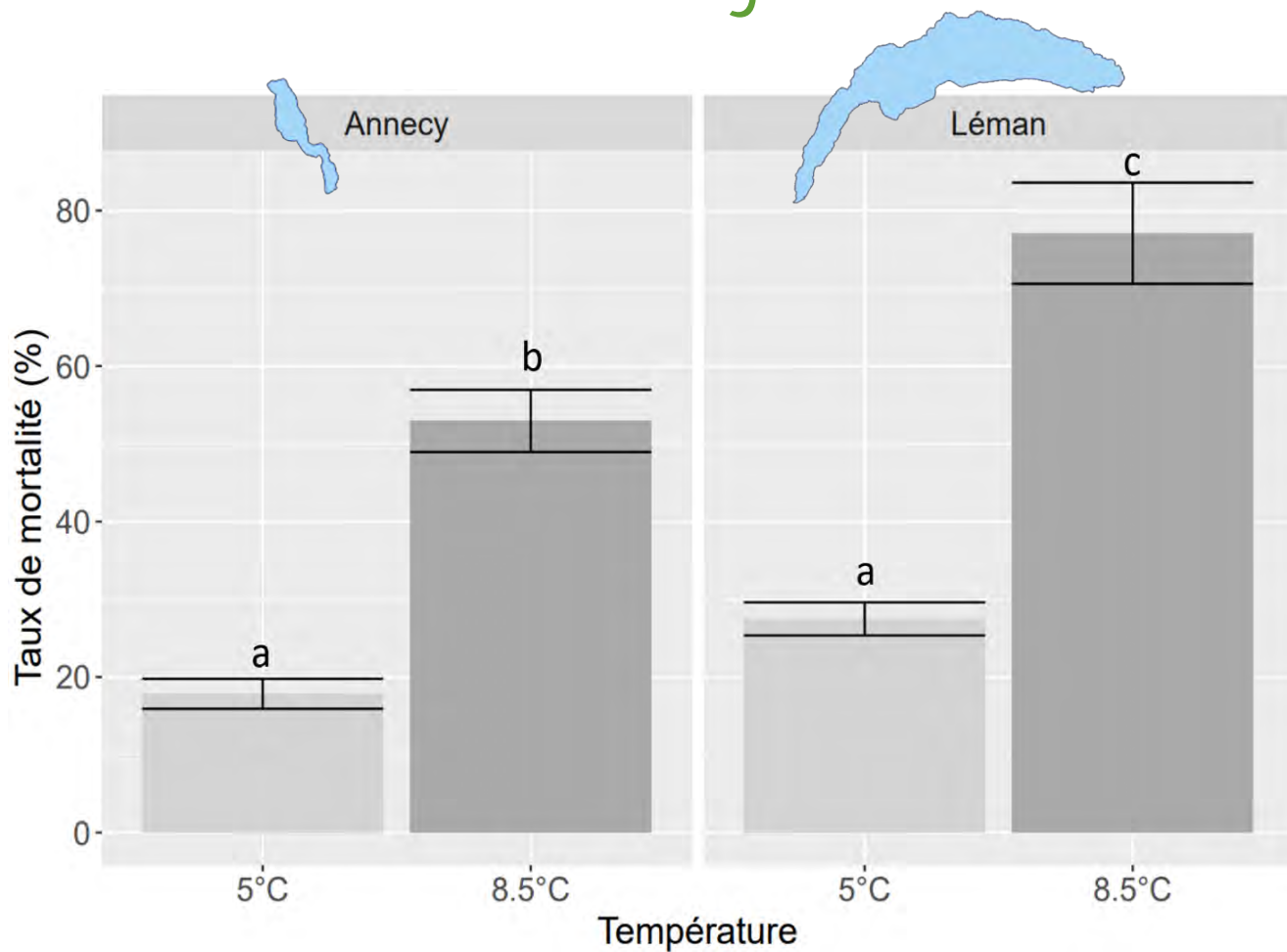
x6 réplicas par condition (4 Annecy, 2 Léman)



n=250/réplicas



Résultats majeurs – mortalité

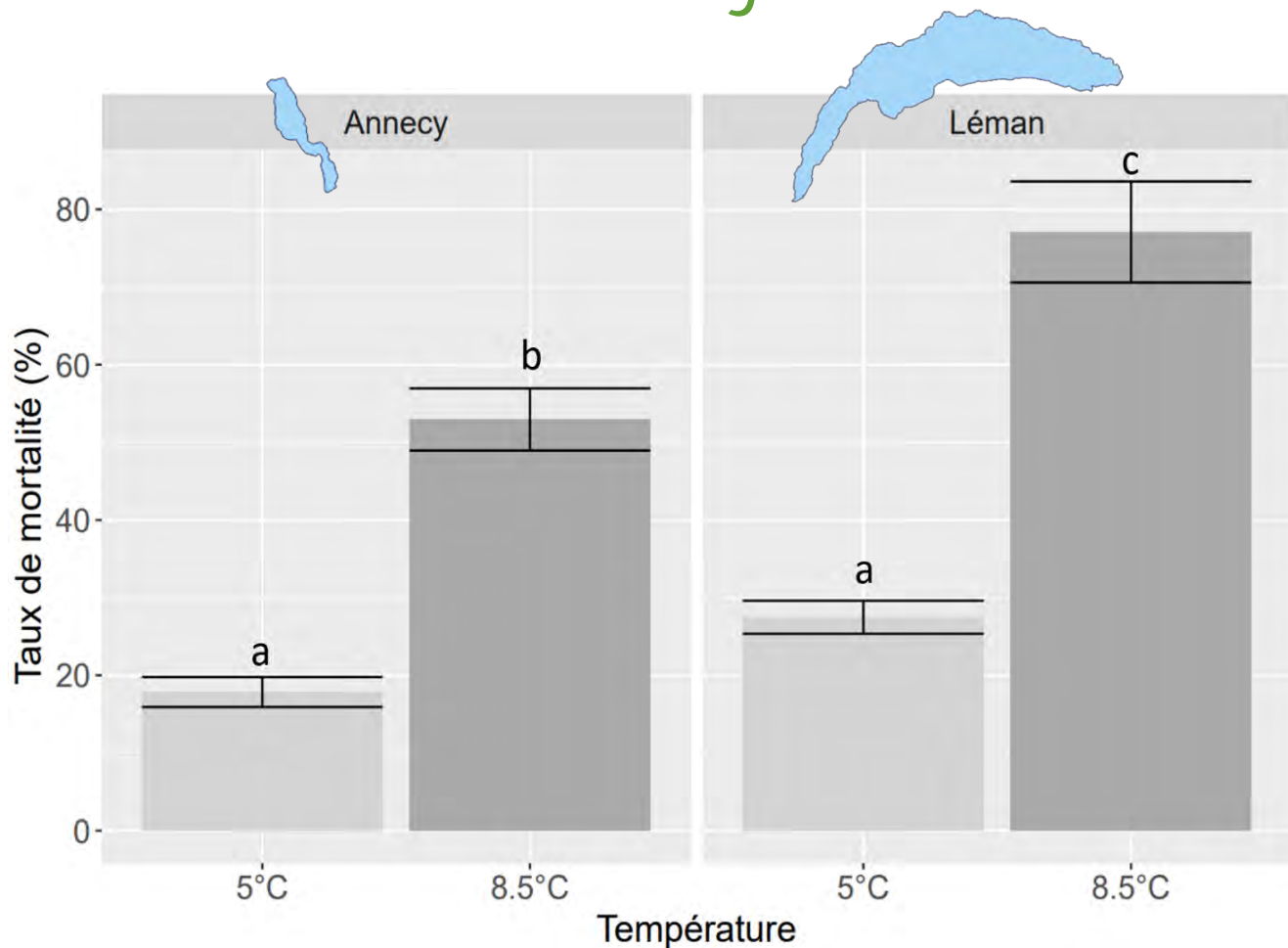


Température, population

Augmentation avec la température
(Blaxter, 1992)



Résultats majeurs – mortalité



Température, population

Augmentation avec la température
(Blaxter, 1992)

Différence entre les populations (Mari,
2019)

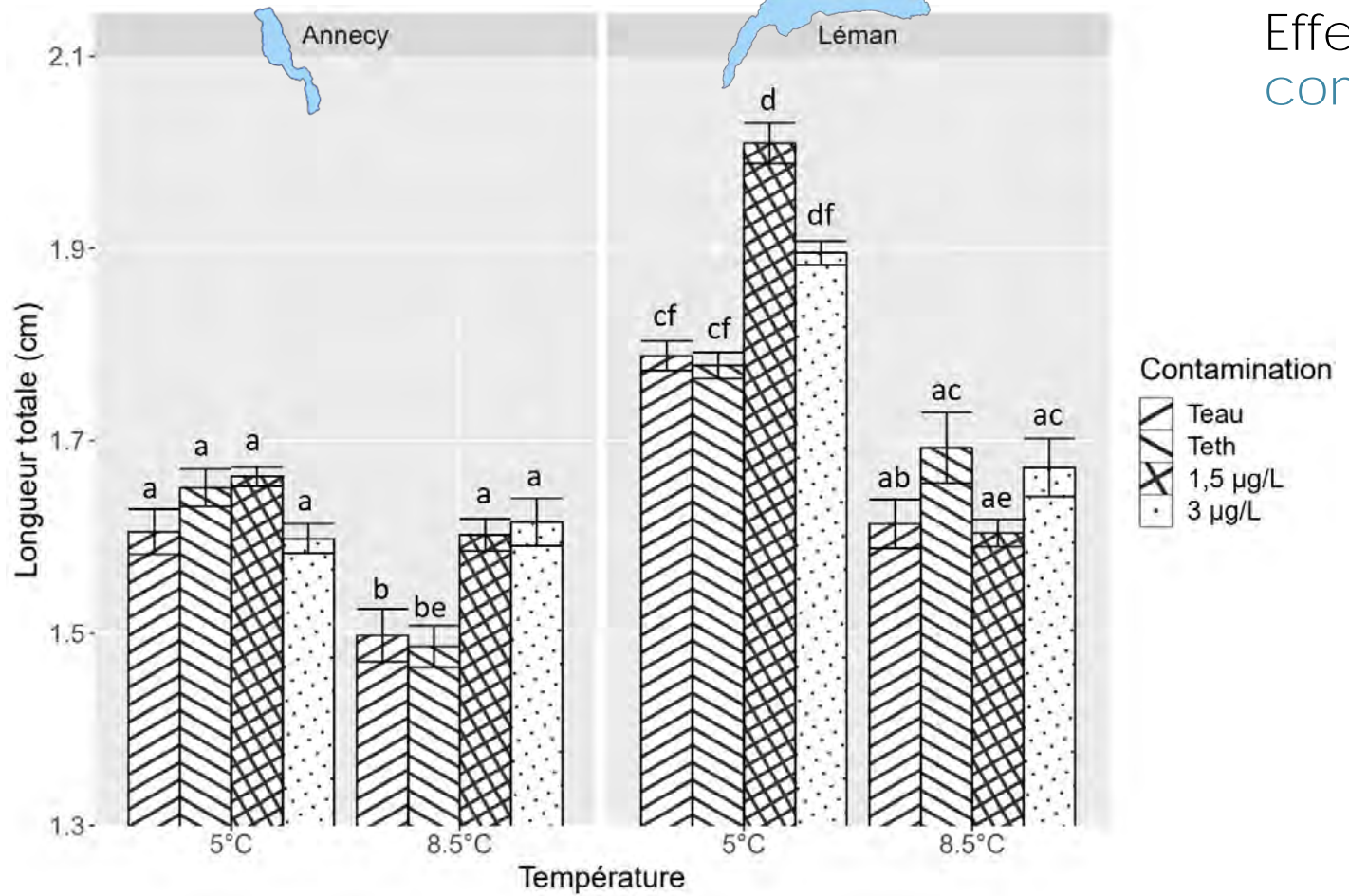
➔ possible sensibilité accrue des
« Léman » à la température

Conditions de contamination sublétales
(Brinkmann *et al.*, 2022)



Résultats majeurs – longueur totale

Effet synergique température +
contamination + population

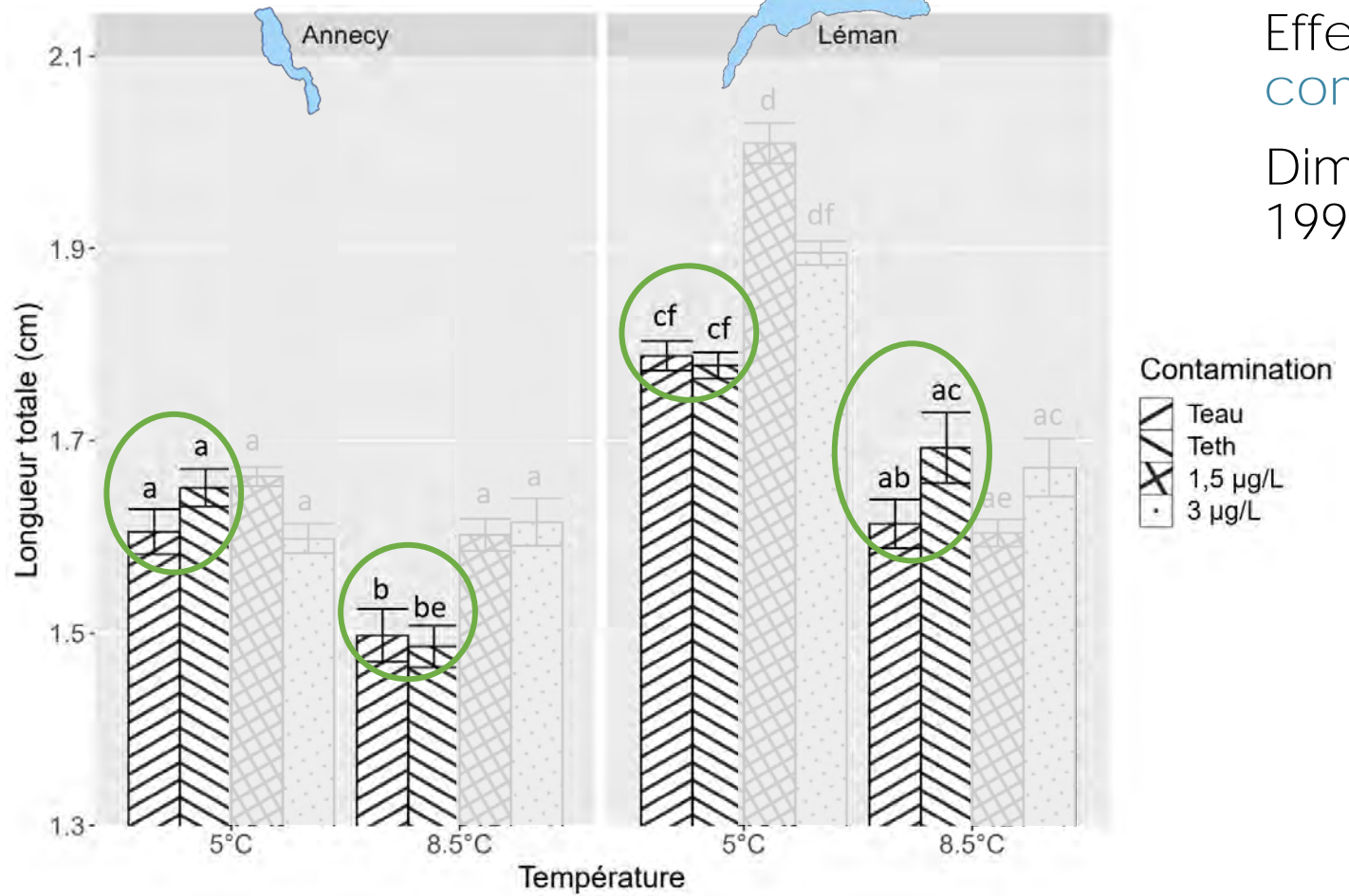




Résultats majeurs – longueur totale

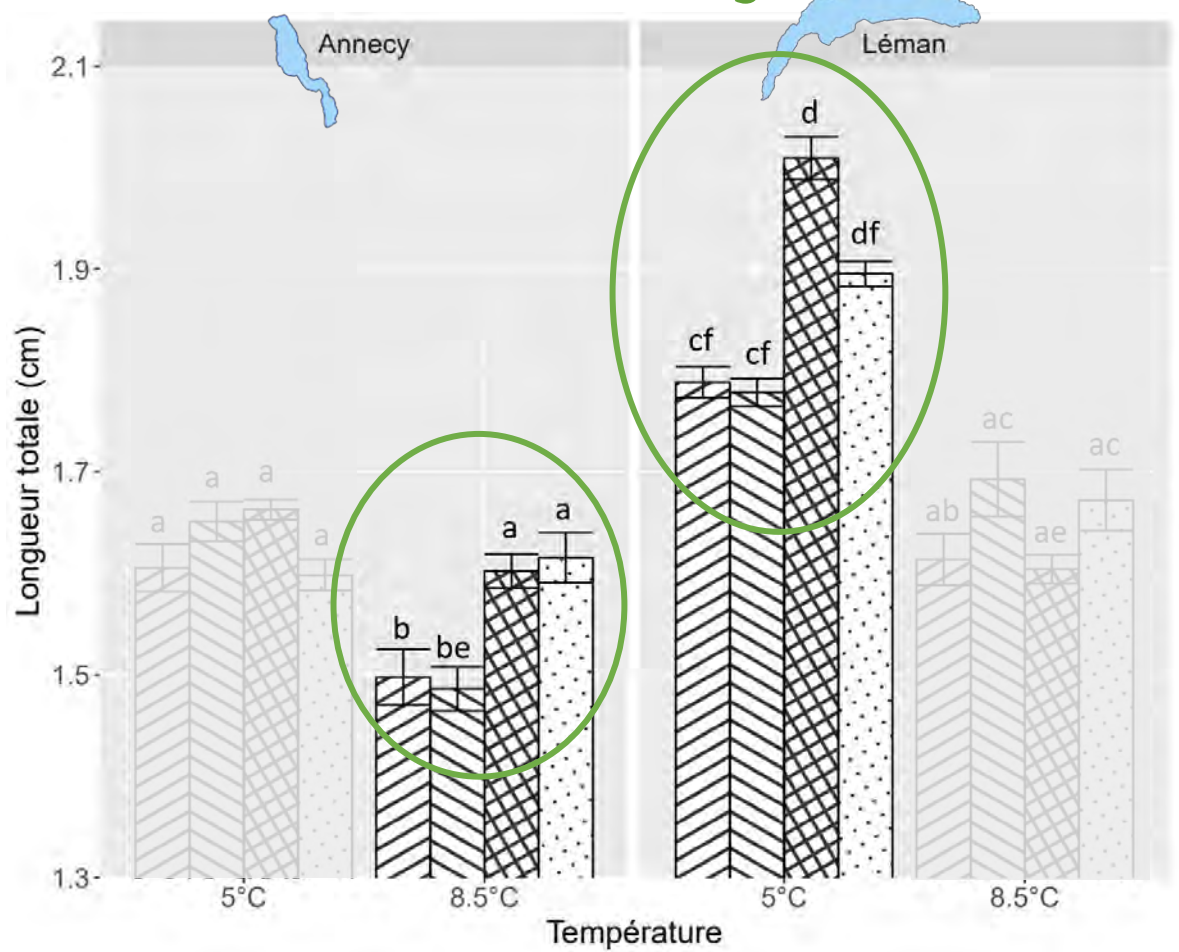
Effet synergique température +
contamination + population

Diminution avec la température (Blaxter,
1992)





Résultats majeurs – longueur totale



Effet synergique température + contamination + population

Diminution avec la température (Blaxter, 1992)

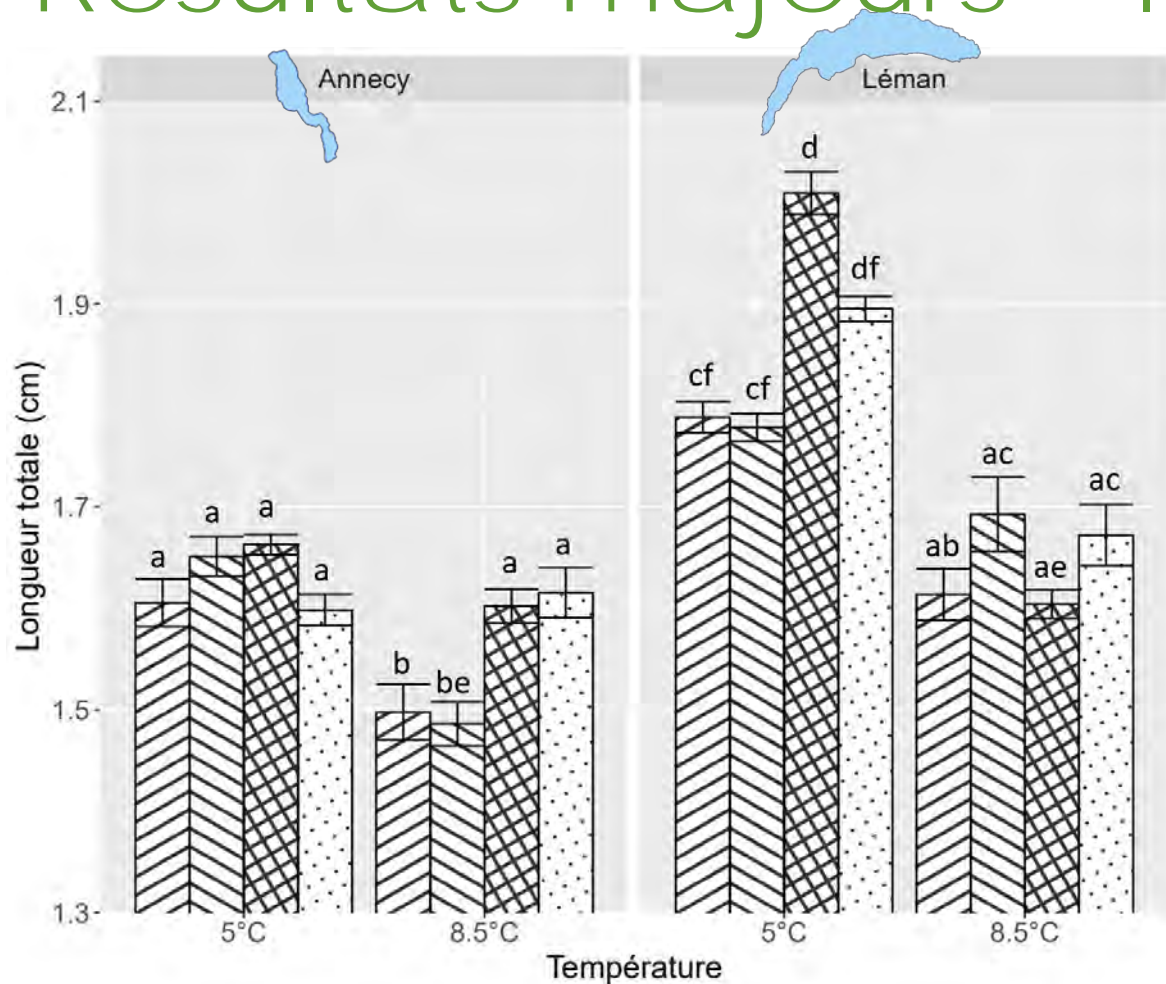
Augmentation avec la contamination

À 8,5°C pour Annecy

À 5°C pour Léman



Résultats majeurs – longueur totale



Effet synergique température +
contamination + population

Diminution avec la température (Blaxter,
1992)

Augmentation avec la contamination

À 8,5°C pour Annecy

À 5°C pour Léman

Différence entre les populations (Mari, 2019)
→ possible **sensibilité** accrue des « Léman »
à la température

→ Hypothèse d'**arrêt métabolique** (Gandar,
2015)



Lien avec questions opérationnelles

- ➔ Rapidité et facilité de la mise en évidence de la pollution plastique
- ➔ Impact sur la physiologie de l'omble chevalier
- ➔ Besoin d'aménagement concernant la 6PPD-Q



A venir

Effet synergique d'une exposition à une hausse de température et la 6PPD-quinone sur la morphologie à l'éclosion



Autres stades de vie



Cocktail de contaminants



Coefficients de bioaccumulation

Merci de votre attention !



Séminaire scientifique

Flux polluants écotoxicologie et écosystèmes

5 octobre 2023 - Villeurbanne

Avec le soutien de :



Etudes des microplastiques dans les milieux aquatiques de montagne

David Gateuille, Julia Dusaucy, Philippe Fanget, Jérôme Fôret, Peter Gallinelli, Frédéric Gillet, Kathleen Lefeuvre, Lucie Liget, Emmanuel Naffrechoux, Lise Marchal, Alexia de Matteis, Marie Pivot et Grégory Tourreau



Le projet PLASTILAC

Contexte

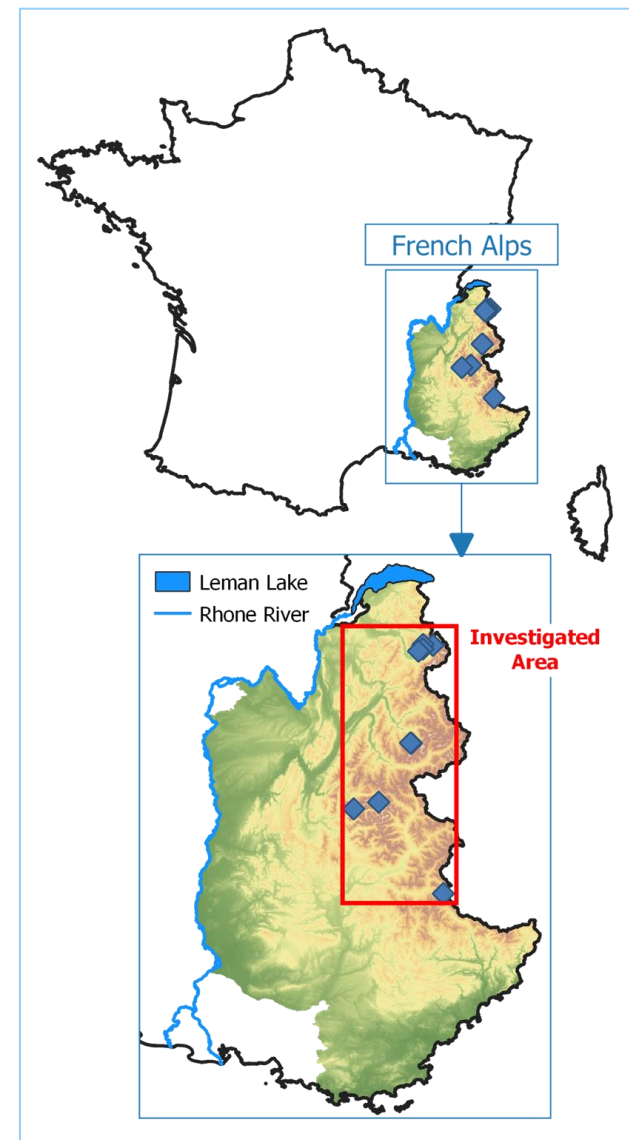
- Présence de **microplastiques (MP) dans les retombées atmosphériques** (pluie et neige) sur les systèmes de montagne (Allen et al., 2019; Bergmann et al., 2019)

PLASTILAC : étude des MP les lacs d'altitude

- Les lacs intègrent les **pollutions de leurs bassins**
- Systèmes plus simples → **facilité de compréhension des processus**
- Sentinelles de la **contamination régionale** (bruit de fond)

Lacs étudiés

- Altitude entre 1266 to 2887 m
- >1 heure de marche d'approche (pas d'accès pour les véhicules)
- Pas d'habitations permanentes dans le bassin





Mantamaran : mesure de MP dans la colonne d'eau



Mantamaran



Suivi des conditions de filtration en 2019



Suivi des conditions de filtration en 2020



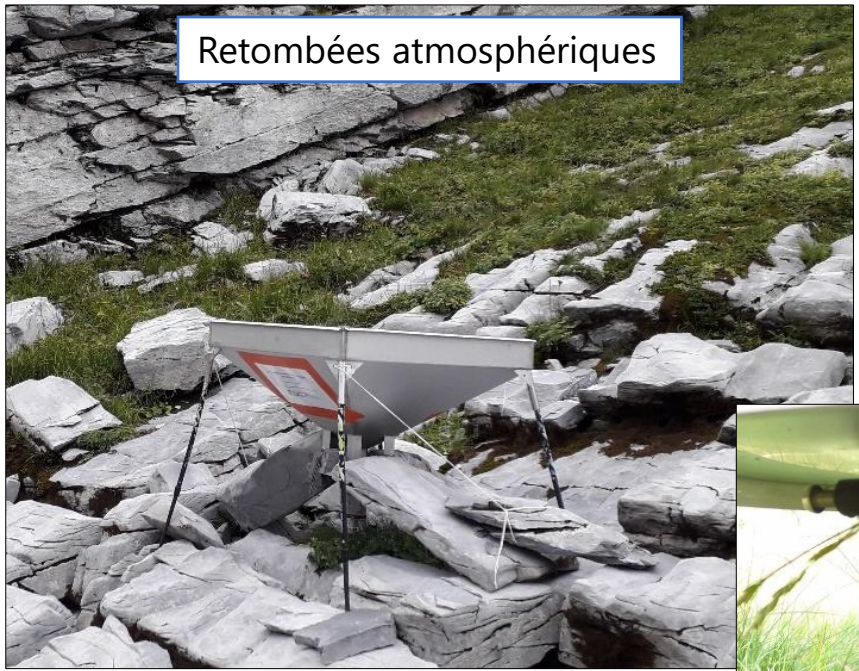
Récupération de l'échantillon



Mesure des flux entrants et sortants



Affluents et exutoires



Retombées atmosphériques





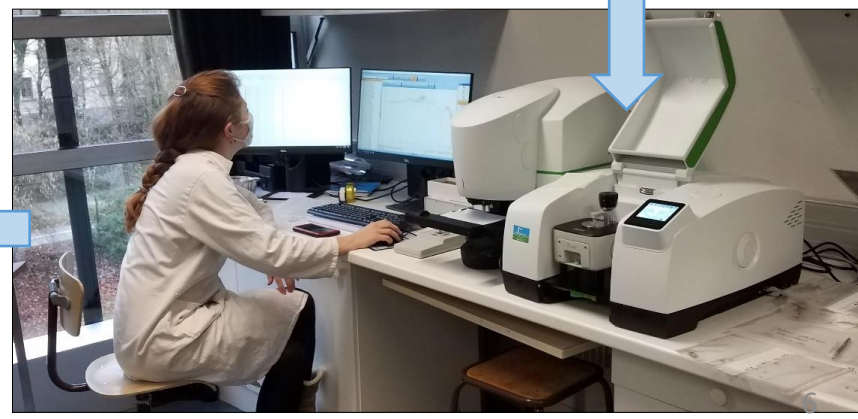
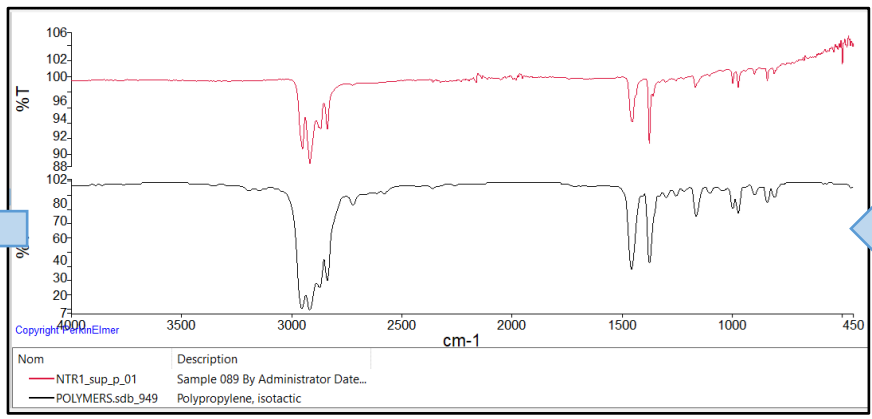
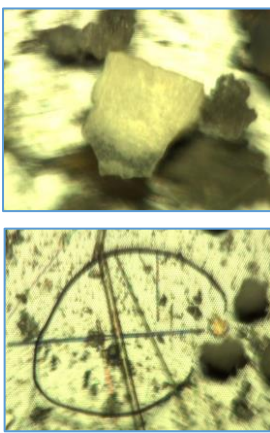
Protocole analytique

Pré-filtration

Attaque oxydante

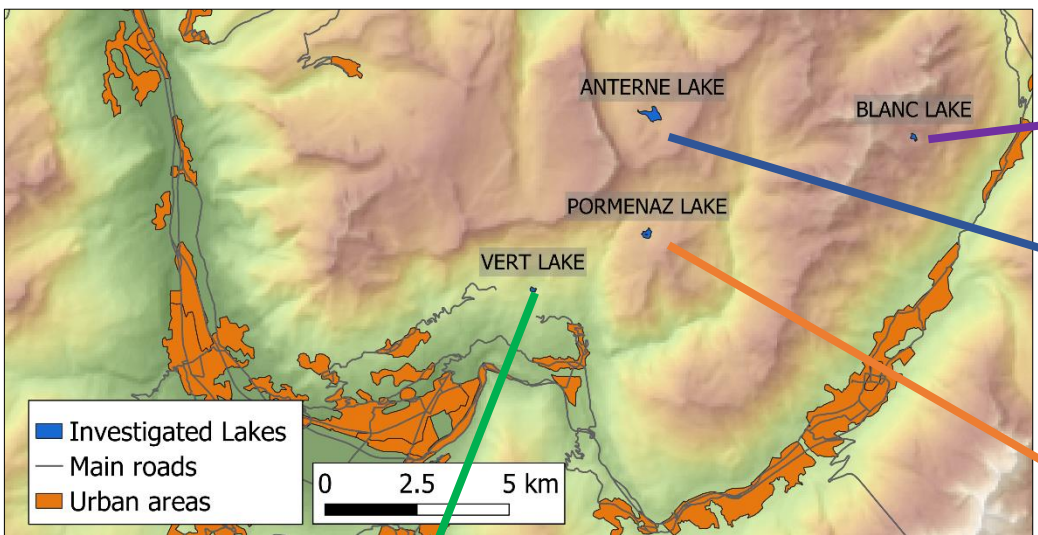
Tri densimétrique

Echantillon final





Résultats sur la surface du lac



Lac Blanc (2352 m)

- Volume filtré : 135 m³
- Microplastiques : 2278 particules
- **16,9 ± 2,4 MP/m³**

Lac d'Anterne (2063 m)

- Volume filtré : 116 m³
- Microplastiques : 280 particules
- **2,4 ± 0,5 MP/m³**

Lac Vert

- Volume filtré : 178 m³
- Microplastiques : 333 particules
- **1,9 ± 0,5 MP/m³**

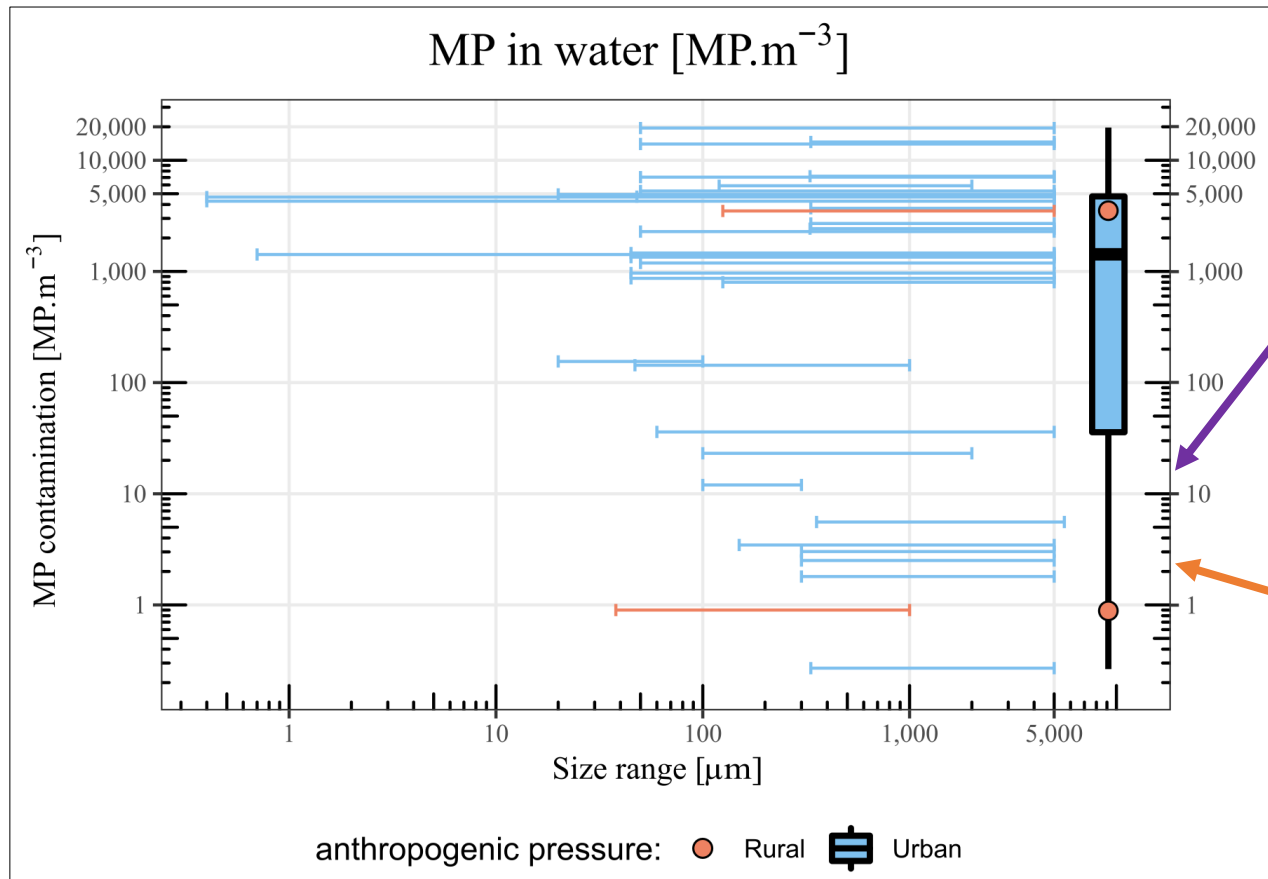
Lac de Pormenaz

- Volume filtré : 116 m³
- Microplastiques : 282 particules
- **2,4 ± 0,6 MP/m³**



La Haute-Savoie contre le reste du monde

Dusaucy, J., Gateuille, D., Perrette, Y., Naffrechoux, E., 2021. Microplastic pollution of worldwide lakes. Environmental Pollution 284, 117075.



Lac Blanc (2352 m)
➤ 16,9 ± 2,4 MP/m³

Lac d'Anterne (2063 m)
➤ 2,4 ± 0,5 MP/m³

Lac de Pormenaz
➤ 2,4 ± 0,6 MP/m³

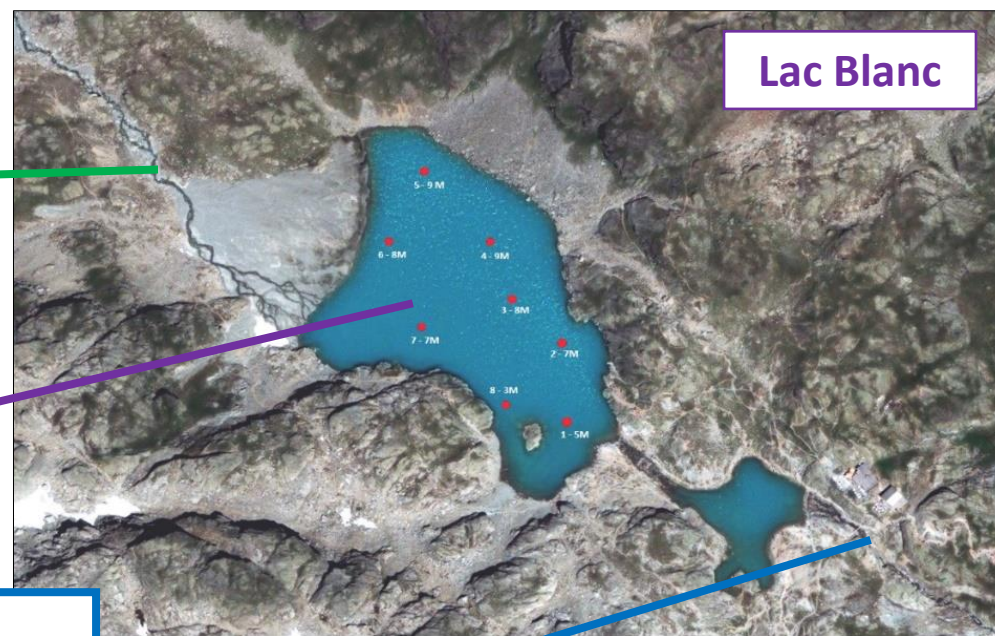
Lac Vert
➤ 1,9 ± 0,5 MP/m³



Dynamique des MP sur le lac Blanc

Affluent

- 20 m³ filtrés
- 243 particules
 - 12,2 ± 4,2 MP/m³
- Flux ~ 1460 MP/h



Surface du lac

- 135 m³ filtrés
 - 16,9 ± 2,4 MP/m³
 - 2 ha
- Stock ~ 88 000 MP

Exutoire

- 23 m³ filtrés
- 397 particules
 - 17,3 ± 2,3 MP/m³
- Flux ~ 1230 MP/h

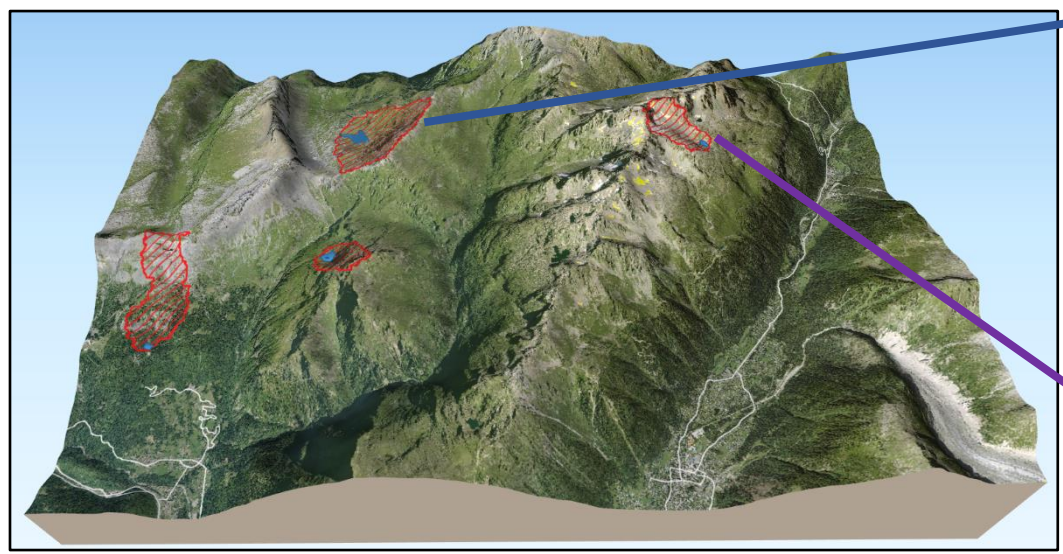
Temps de résidence des MP de surface :

2 à 3 jours



Les résultats de l'étude Plastilac

Résultats principal : des microplastiques sont retrouvés dans l'intégralité des lacs d'altitude → bruit de fond régional de la contamination



Lac d'Anterne (2063 m)
• Date : 28/08/2019
➤ **2,4 ± 0,5 MP/m³**

Lac Blanc (2352 m)
• Date : 26/08/2020
➤ **16,9 ± 2,4 MP/m³**

Résultats

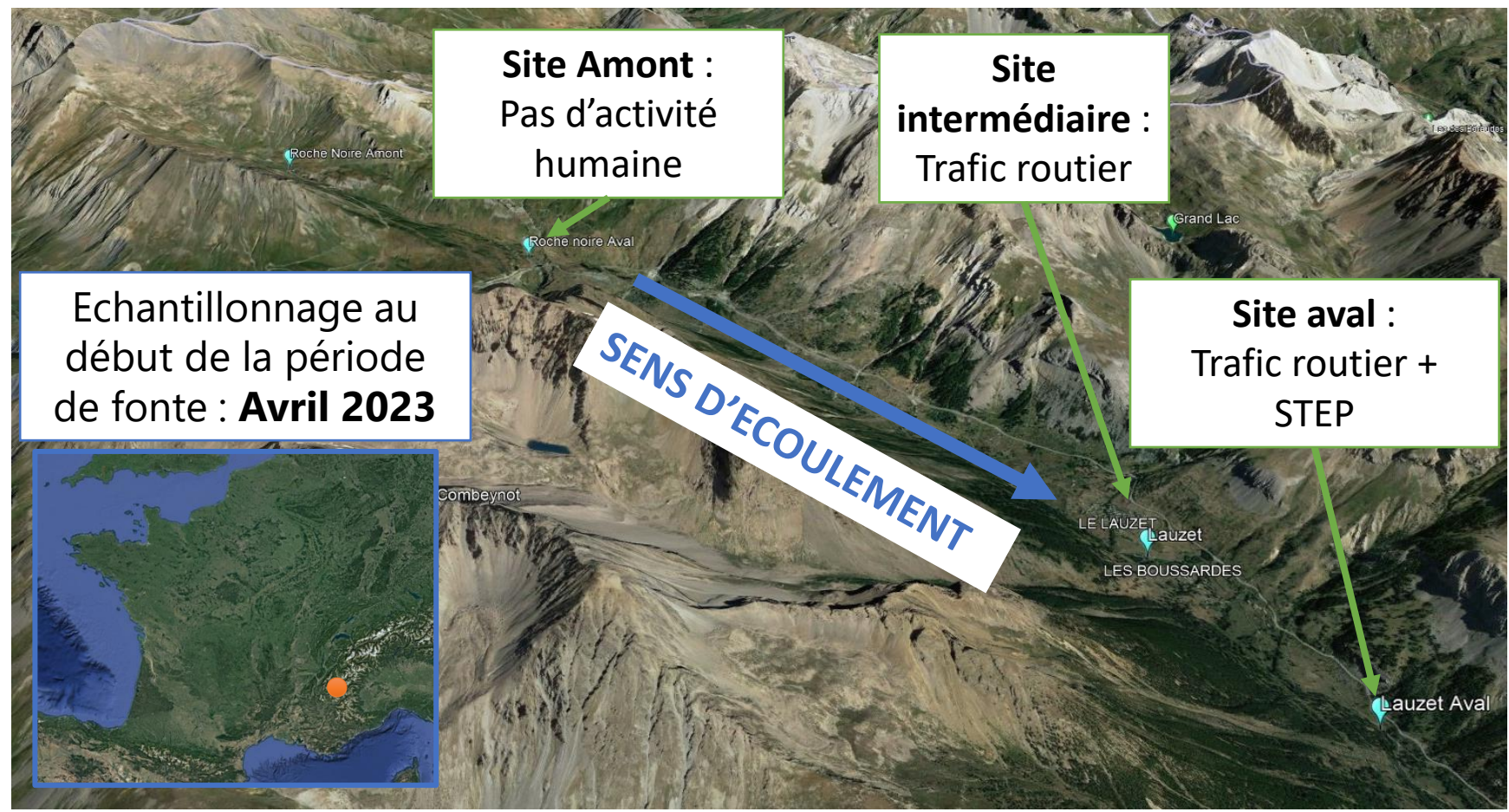
- **7 fois plus de MP dans le lac Blanc** que dans le lac d'Anterne
- Au moment de l'échantillonnage, 1% des retombées arrivent dans le lac d'Anterne

Quel rôle du manteau neigeux/fonte dans le transferts des MP ?

➔ Naissance de projets **Clean Mont Blanc** : étude des MP à l'aval des glaciers et **P4M** sur les MP dans le manteau neigeux



La neige : source de MP ?

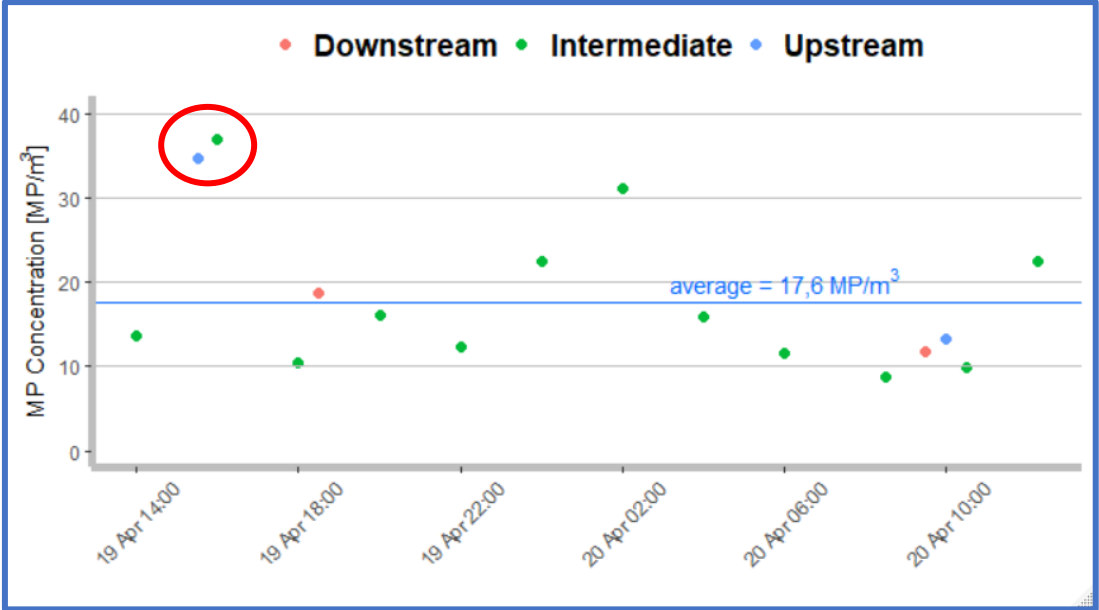




La neige : source de MP ?



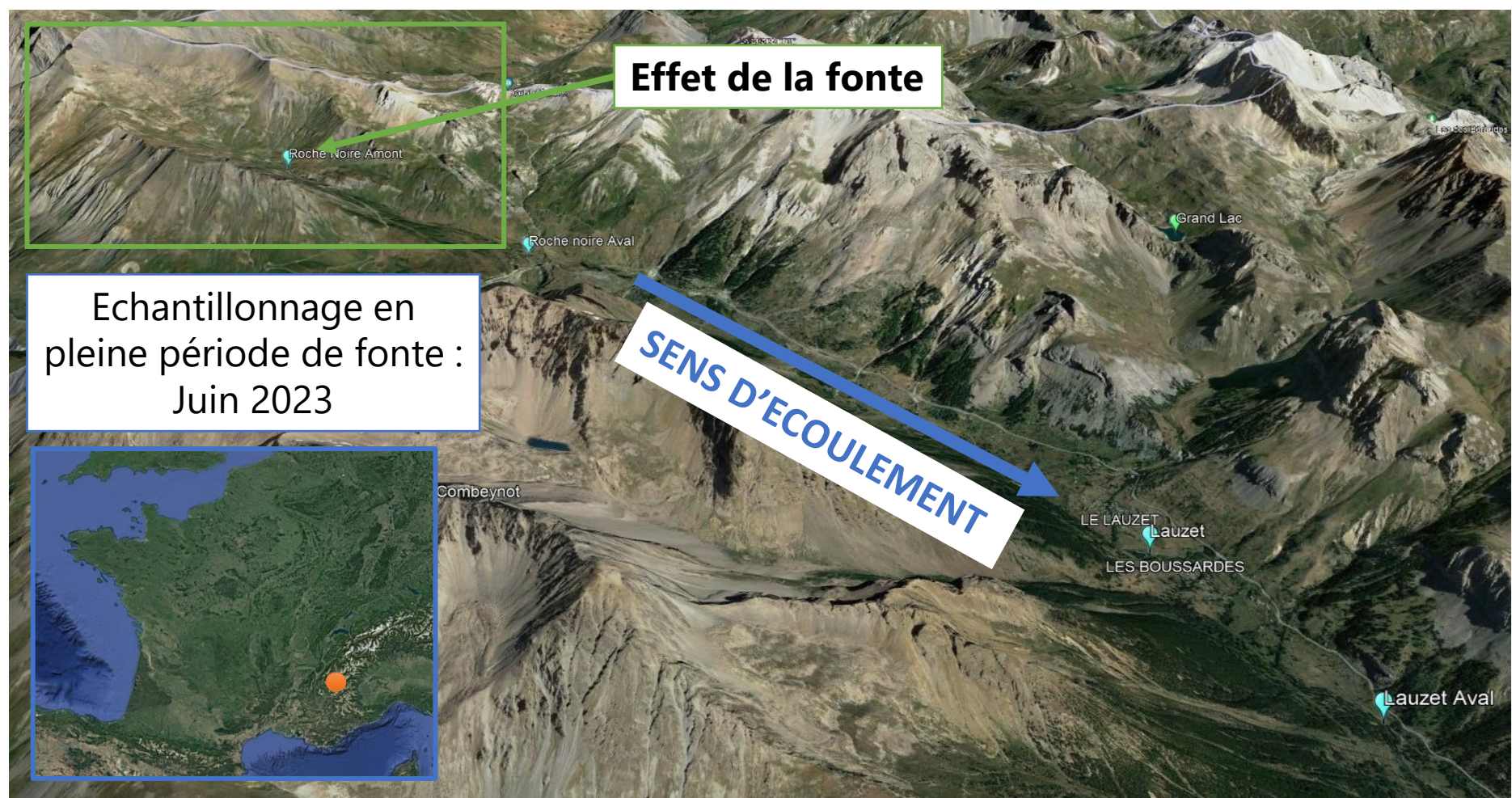
- **Variabilité temporelle significative mais non liée au débit** (constant sur 24 heures)
- **Augmentation du flux de MP vers l'aval**
- **Pic de contamination déjà présent à l'amont** : rôle de la fonte



- En terme de flux :
- Amont (10 km²) : 260 000 particules / jour
 - Intermédiaire (40 km²) : 777 000 particules / jour
 - Aval (90 km²) : 1 350 000 particules / jour

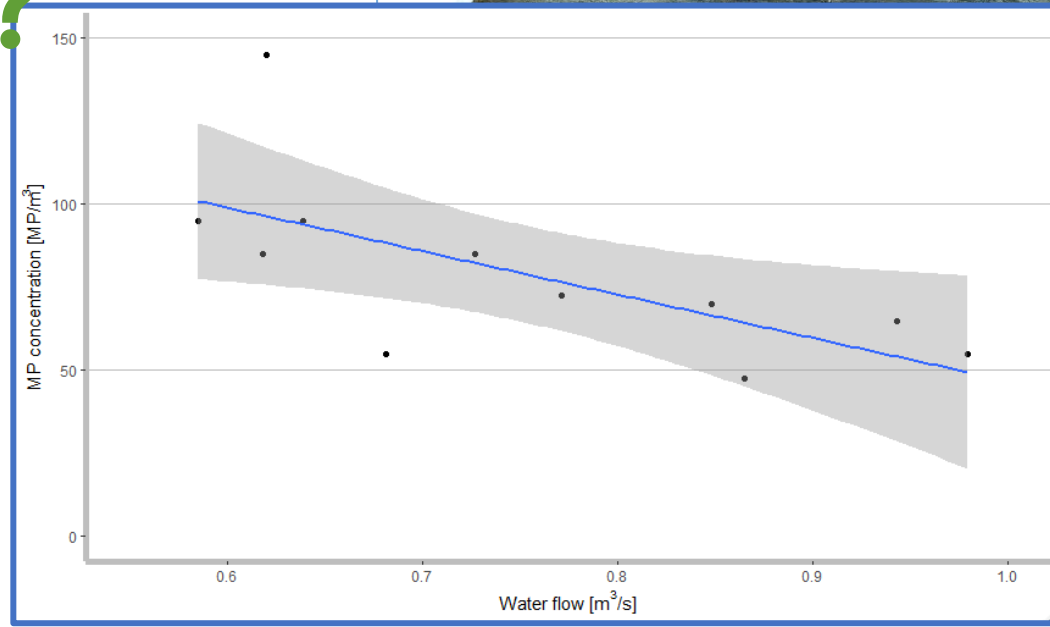
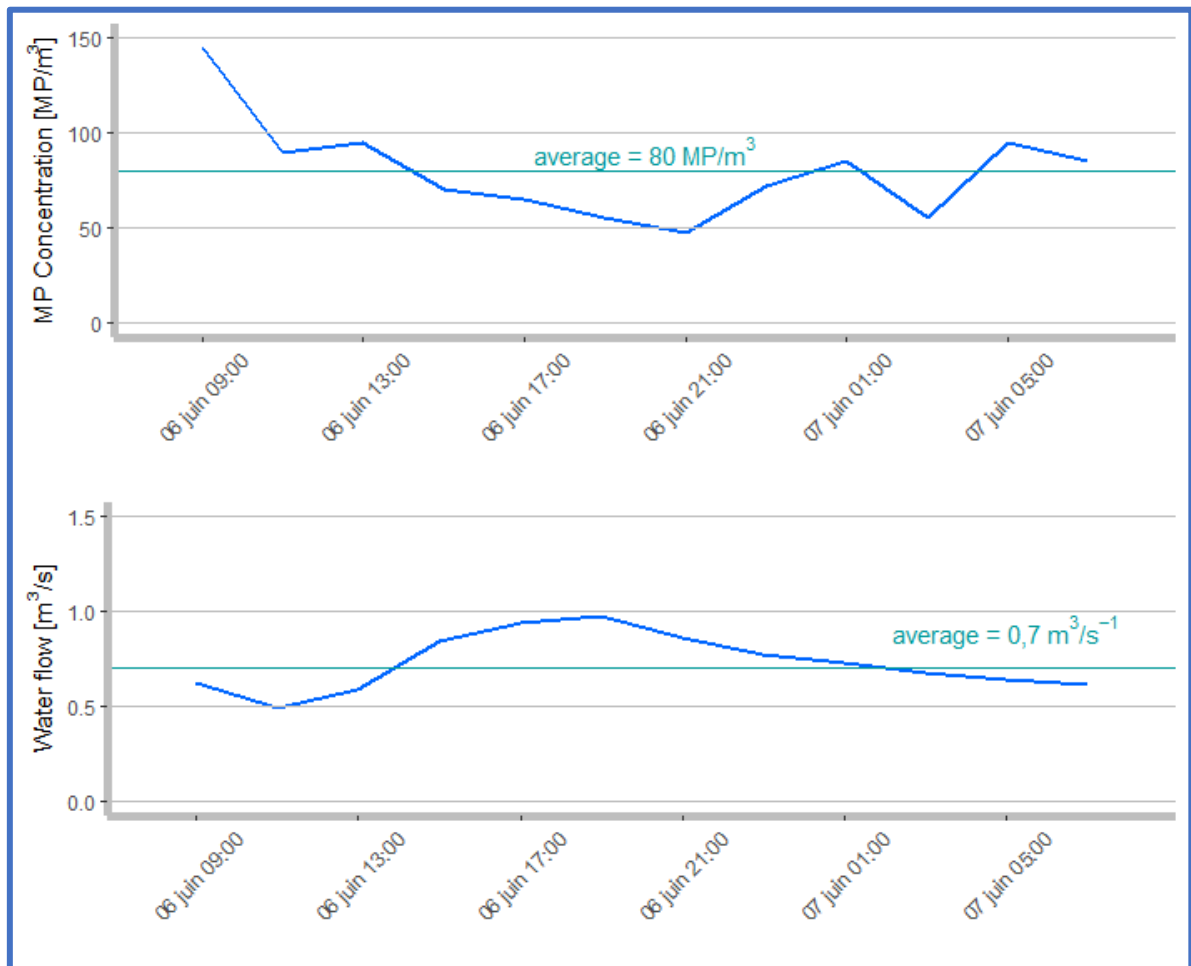


La neige : source de MP ?





La neige : source de MP ?



- Concentrations en MP plus importantes pendant la période de fonte intense...
 - ... mais les concentrations en MP sont corrélées négativement avec le débit.
- Le relargage de MP par le manteau neigeux n'est pas trivial et de nouveaux travaux sont nécessaires !

Conclusions



1. Des microplastiques retrouvés dans tous les écosystèmes aquatiques de montagne → pollution ubiquiste
2. Les concentrations en MP varient avec les conditions hydrologiques
3. Des débits plus forts entraînent des concentrations plus élevées en MP en remobilisant les MP stockés dans le bassin
4. Le manteau neigeux pourrait être une source secondaire significative de MP pendant la période de fonte
5. Les processus de transfert des MP depuis les sols vers les rivières et au sein des rivières doivent être étudiés

Des questions ? Contact me: David.gateuille@univ-smb.fr
X: @davidgateuille



Contamination des sédiments



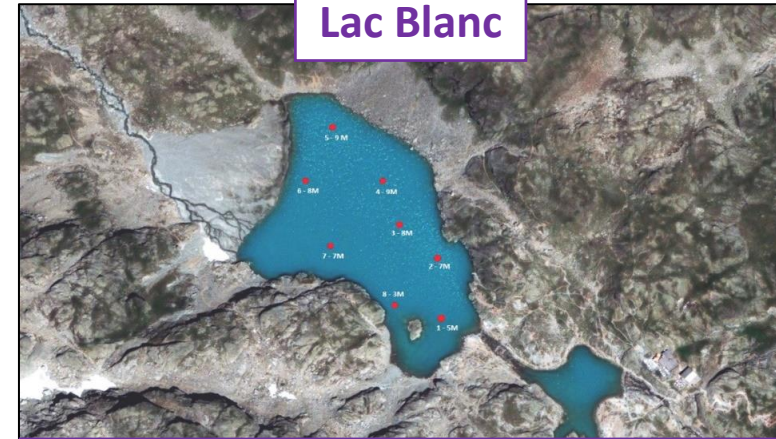
Anterne

Contamination < 100 MP par kg de sédiment



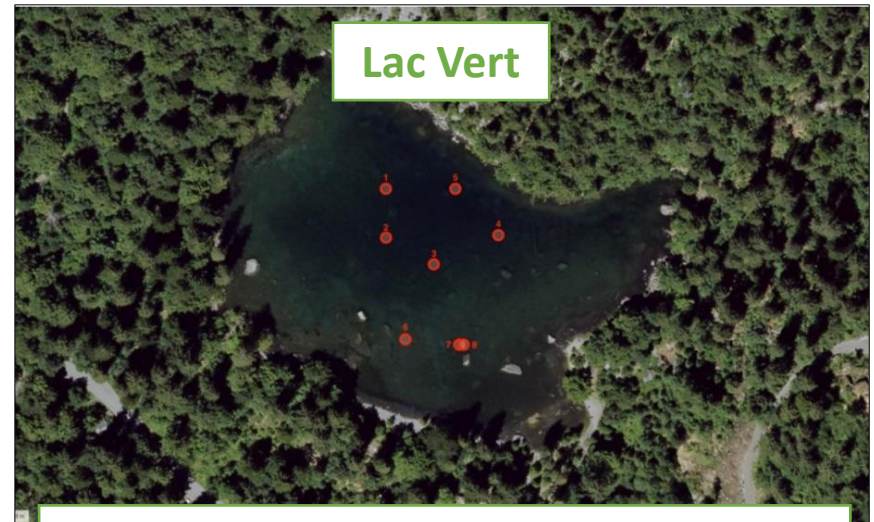
Pormenaz

Environ 500 MP par kg de sédiment



Lac Blanc

Environ 730 MP par kg de sédiment



Lac Vert

Environ 2280 MP par kg de sédiment

Séminaire scientifique

Flux polluants écotoxicologie et écosystèmes

5 octobre 2023 - Villeurbanne

Avec le soutien de :



Impact des plastiques sur les communautés microbiennes **d'eau douce et leurs** consommateurs

Camille Touchet, doctorante au LEHNA

05 Octobre 2023

Encadrement : Laurent Simon, Florian Mermillod-Blondin, Stefan Krause



Contexte

Le Monde

Se connecter S'abonner

CONSULTER LE JOURNAL

ACTUALITÉS PRÉSIDENTIELLE 2022 ÉCONOMIE VIDÉOS DÉBATS CULTURE M LE MAG SERVICES

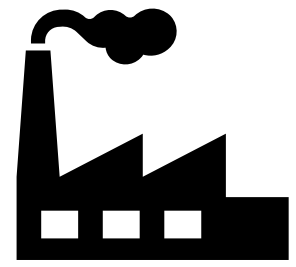
PLANÈTE - POLLUTIONS

Partager

Après l'âge de pierre et l'âge du bronze, l'âge du plastique ?



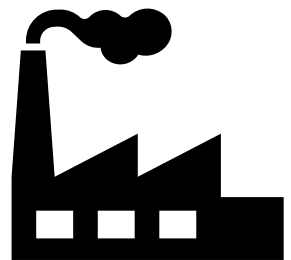
Contexte



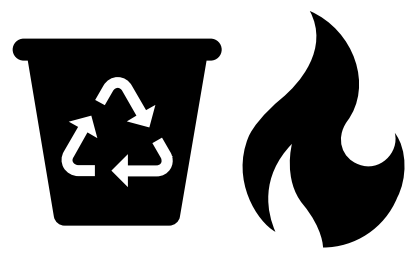
Production
exponentielle
**400 millions de
tonnes/an**



Contexte



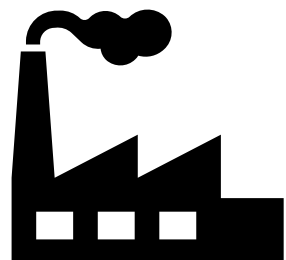
Production exponentielle
400 millions de tonnes/an



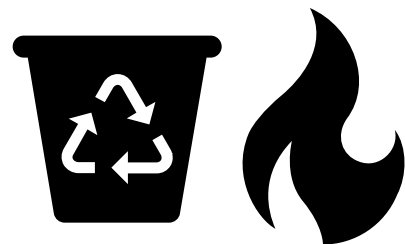
Déchets depuis 1950
9% recyclés 12% incinérés



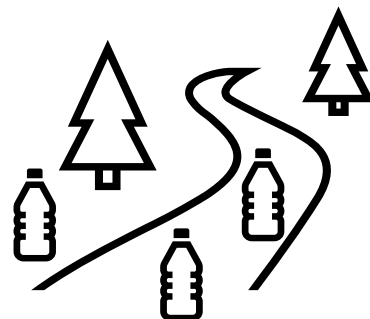
Contexte



Production exponentielle
400 millions de tonnes/an



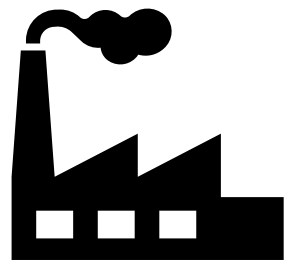
Déchets depuis 1950
9% recyclés 12% incinérés



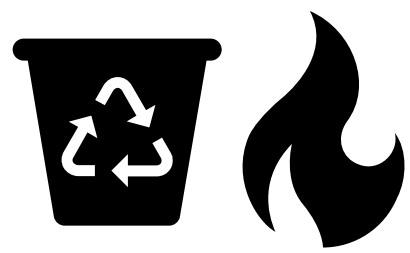
~ 80% des plastiques terminent dans l'environnement



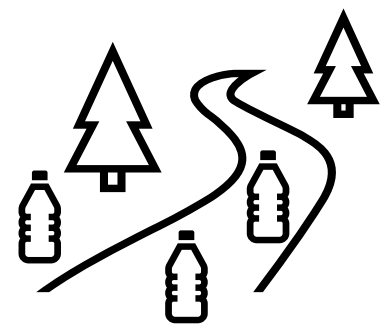
Contexte



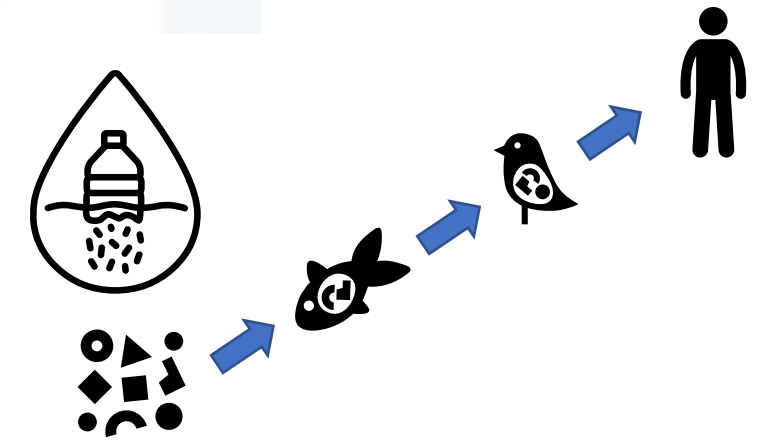
Production exponentielle
400 millions de tonnes/an



Déchets depuis 1950
9% recyclés 12% incinérés



~ 80% des plastiques terminent dans l'environnement



Fragmentation et propagation dans la chaîne alimentaire



Contexte

En eau douce...



Gasperi et al. (2014)

Seine, France

22-36 tonnes/an
(Gasperi et al. 2014)



Sanjay Kanojia / AFP (2015)

Gange, Inde

120 000 tonnes/an
(Lebreton et al., 2017)



Contexte

En eau douce...



Gasperi et al. (2014)

Seine, France

22-36 tonnes/an
(Gasperi et al. 2014)



Sanjay Kanojia / AFP (2015)

Gange, Inde

120 000 tonnes/an
(Lebreton et al., 2017)





Contexte

En eau douce...



Gasperi et al. (2014)

Seine, France

22-36 tonnes/an
(Gasperi et al. 2014)



Sanjay Kanojia / AFP (2015)

Gange, Inde

120 000 tonnes/an
(Lebreton et al., 2017)



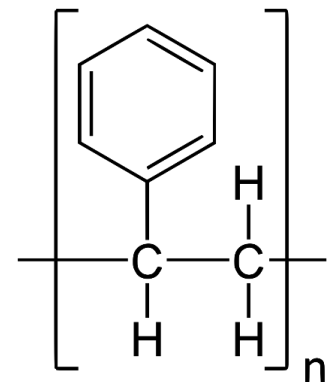
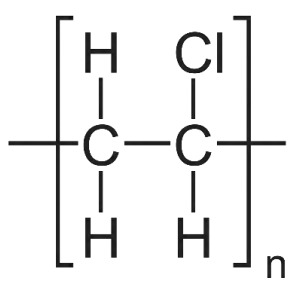
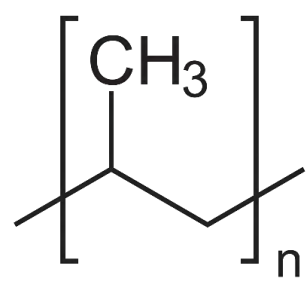
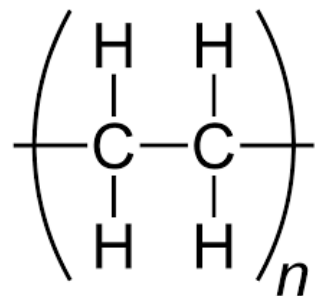
Et pourtant...



90 % des études en milieu marin
Majorité sur animaux vertébrés

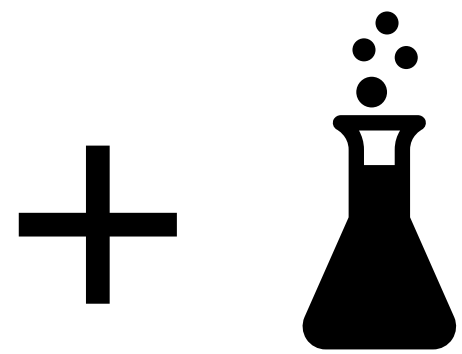
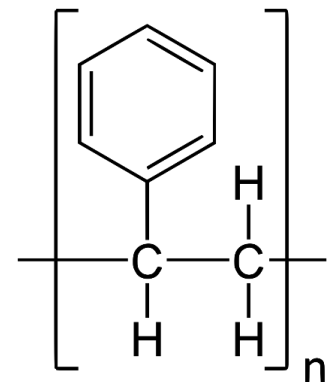
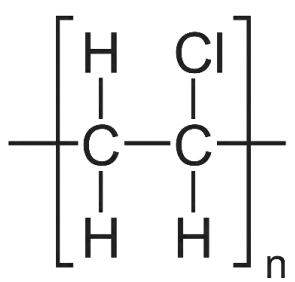
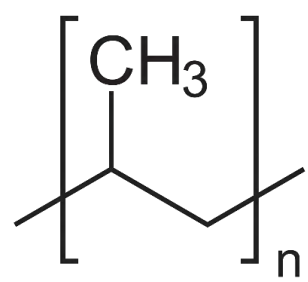
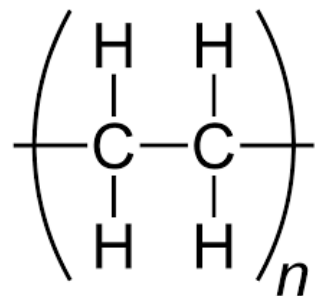


Contexte





Contexte

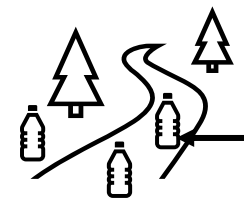


Additifs

Retardateurs de flammes,
colorants, plastifiants, etc.
Bisphénol A, phtalates,
perfluorés, substances
parfumantes, etc.



Contexte



Accumulation
des déchets
plastiques

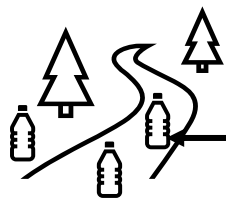


Nouveaux supports
pour les biofilms





Contexte



Accumulation
des déchets
plastiques



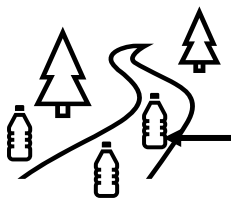
Nouveaux supports
pour les biofilms



Relation plastiques-organismes ? En eau douce ? Pour les communautés microbiennes ? Pas d'études prenant en compte les additifs



Contexte



Accumulation des déchets plastiques



Nouveaux supports pour les biofilms



Relation plastiques-organismes ? En eau douce ? Pour les communautés microbiennes ? Pas d'études prenant en compte les additifs

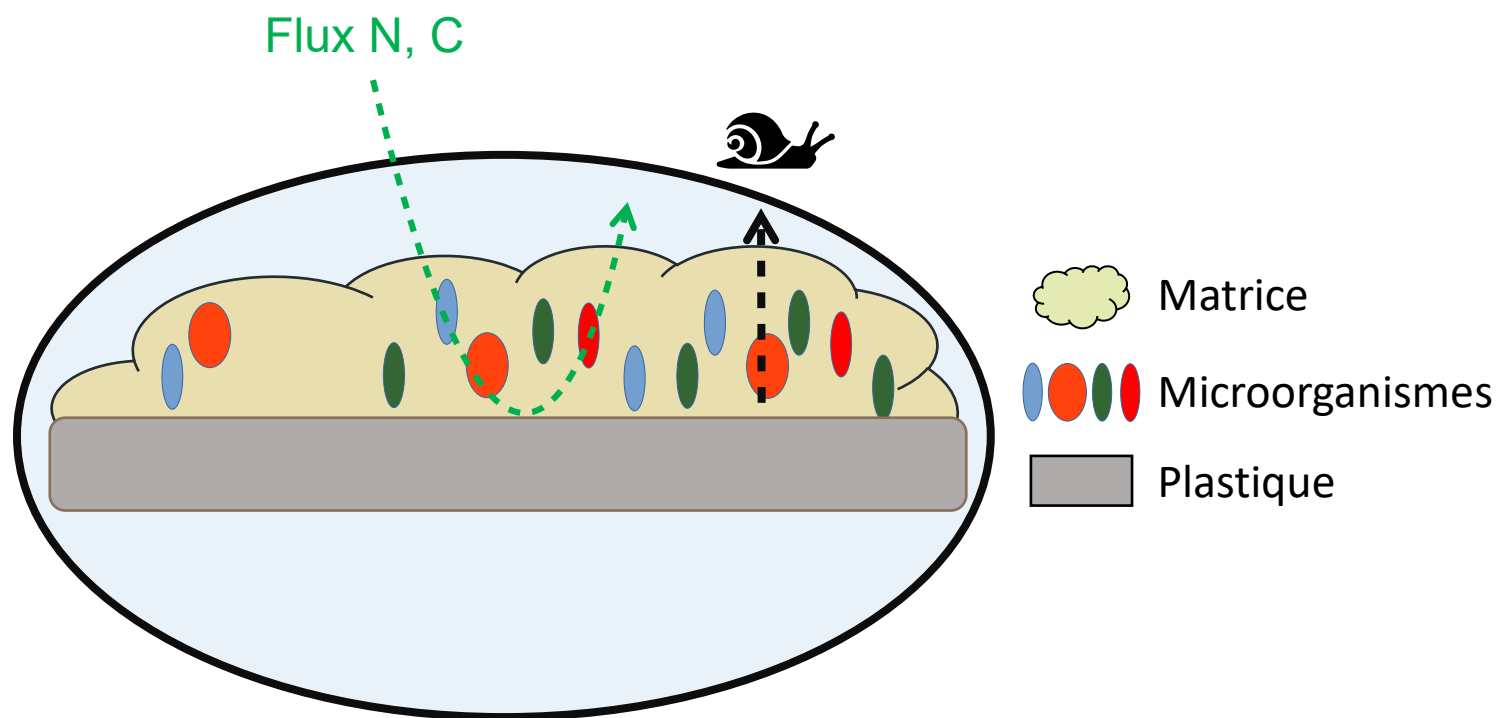


Thèse (2021-2024)

Impacts des plastiques et de leurs additifs sur les communautés microbiennes et leurs consommateurs primaires



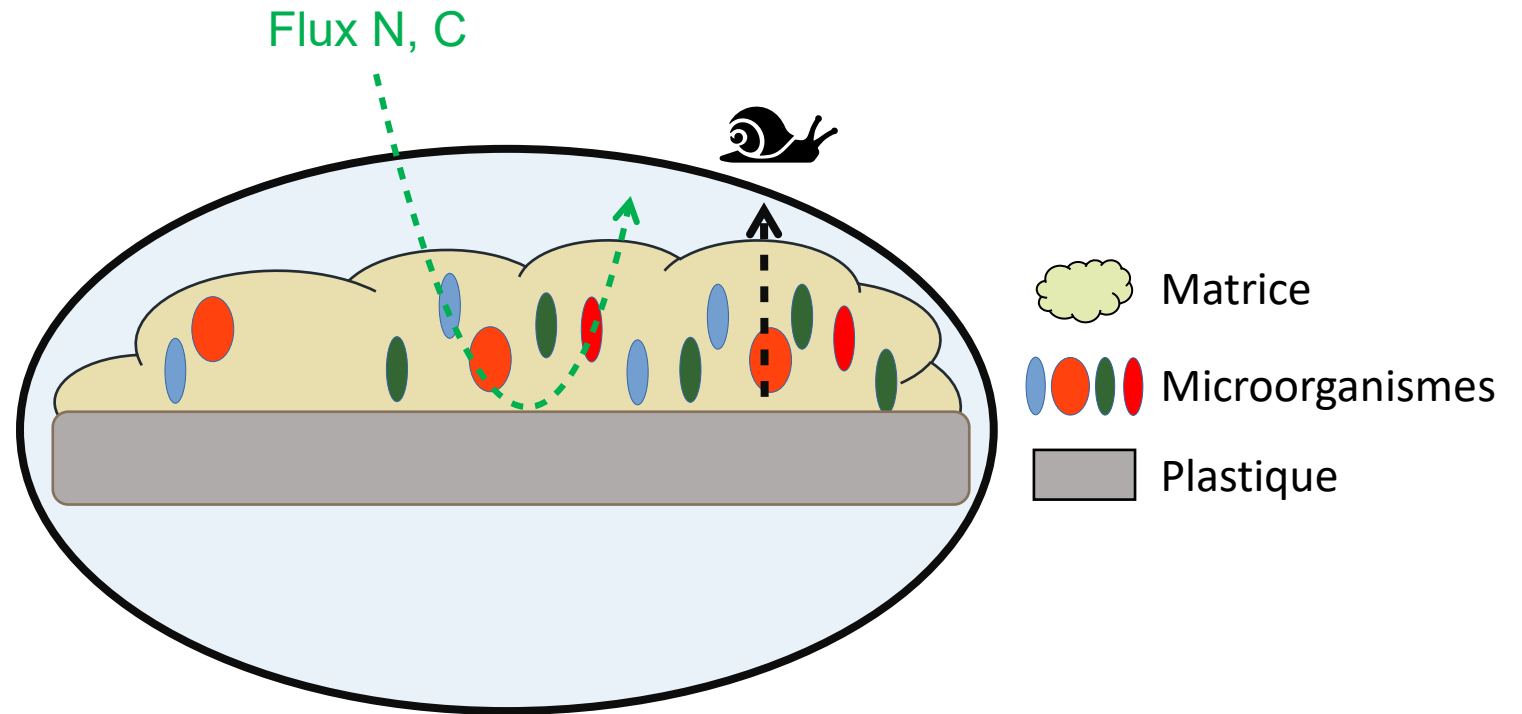
Questions scientifiques de la thèse





Questions scientifiques de la thèse

Quels effets des plastiques ?

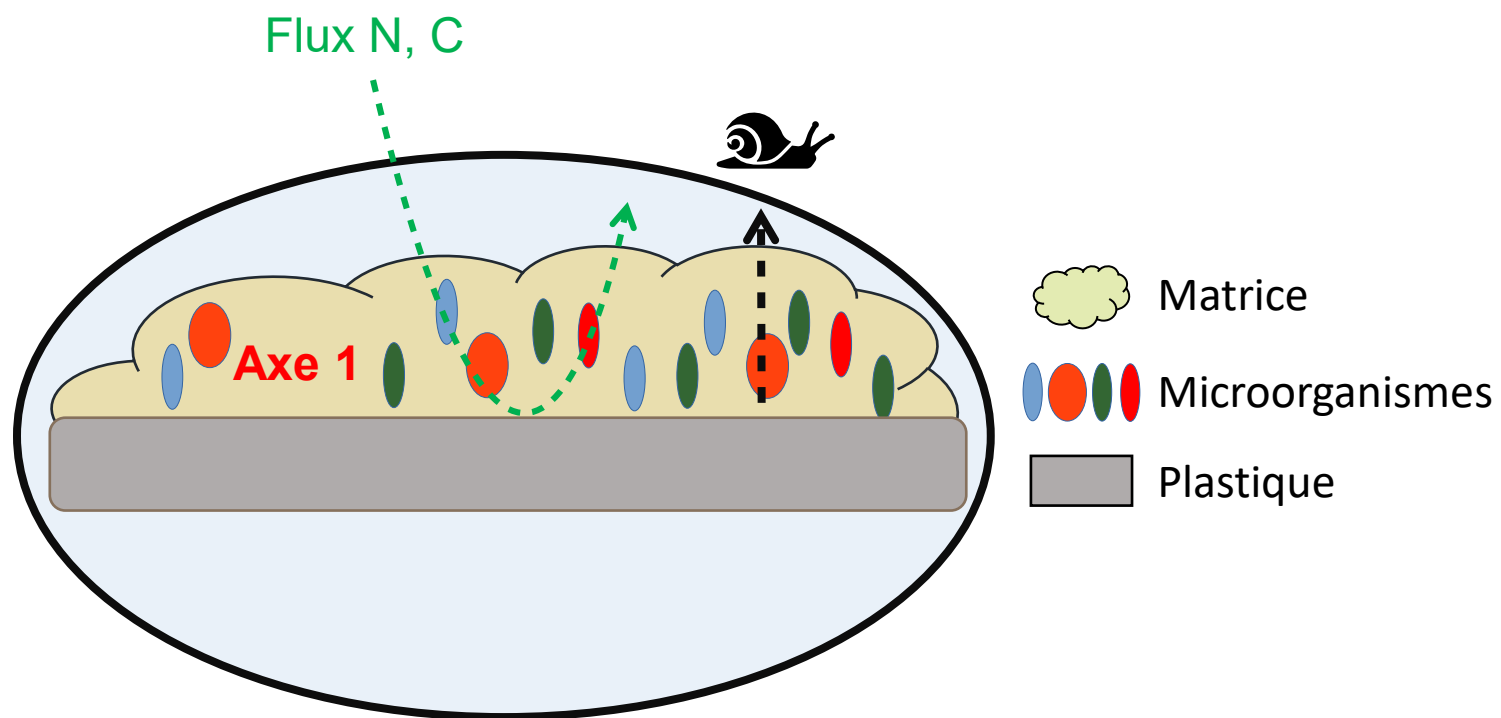




Questions scientifiques de la thèse

Quels effets des plastiques ?

Axe 1 : composition des communautés microbiennes



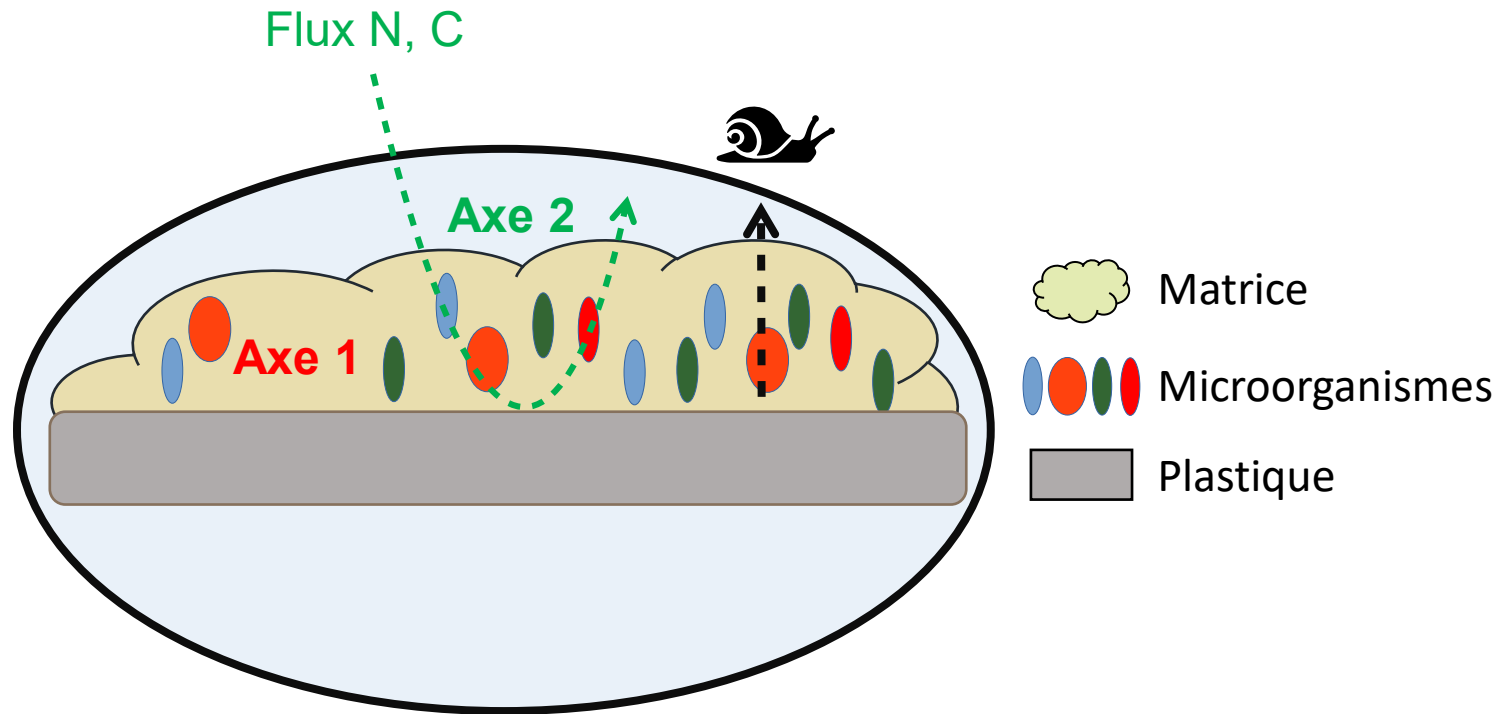


Questions scientifiques de la thèse

Quels effets des plastiques ?

Axe 1 : composition des communautés microbiennes

Axe 2 : activités métaboliques et flux biogéochimiques





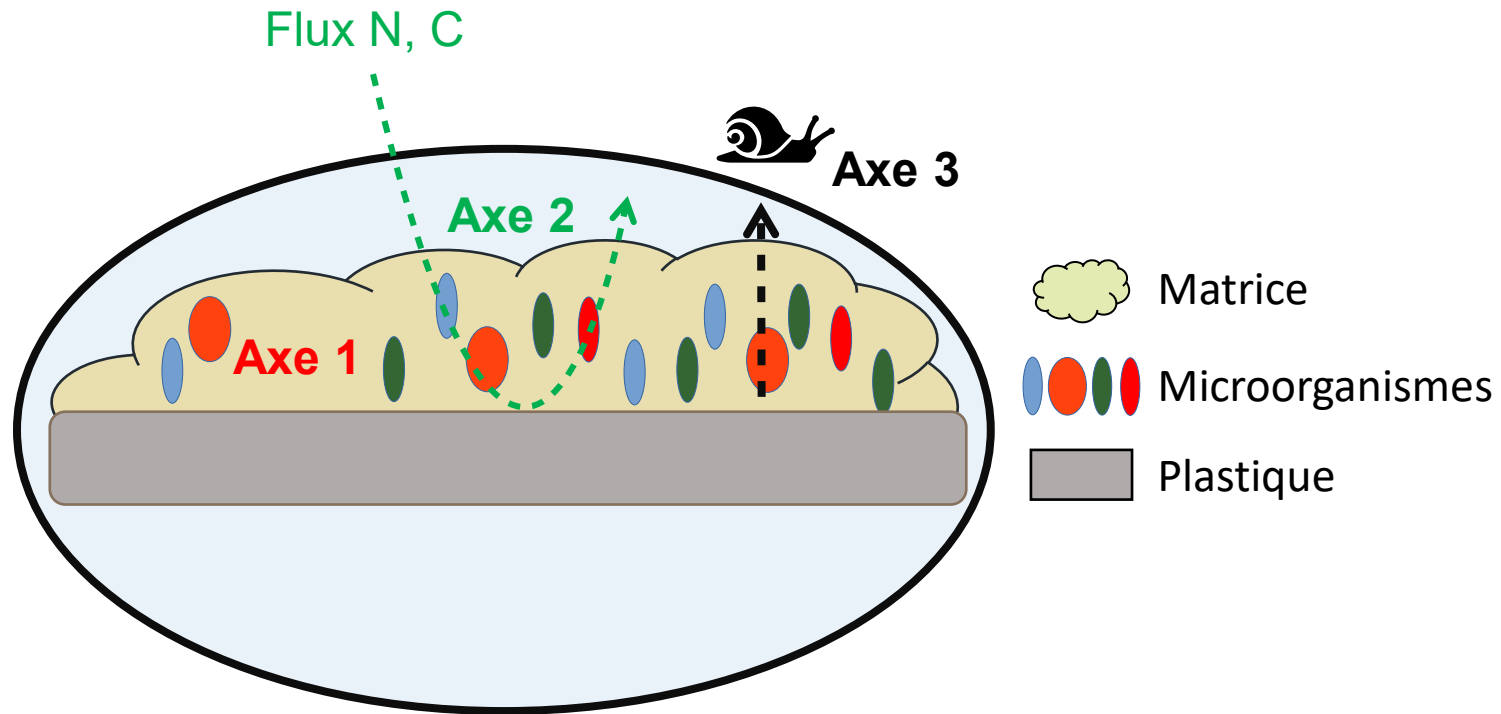
Questions scientifiques de la thèse

Quels effets des plastiques ?

Axe 1 : composition des communautés microbiennes

Axe 2 : activités métaboliques et flux biogéochimiques

Axe 3 : relation biofilm-consommateur primaire





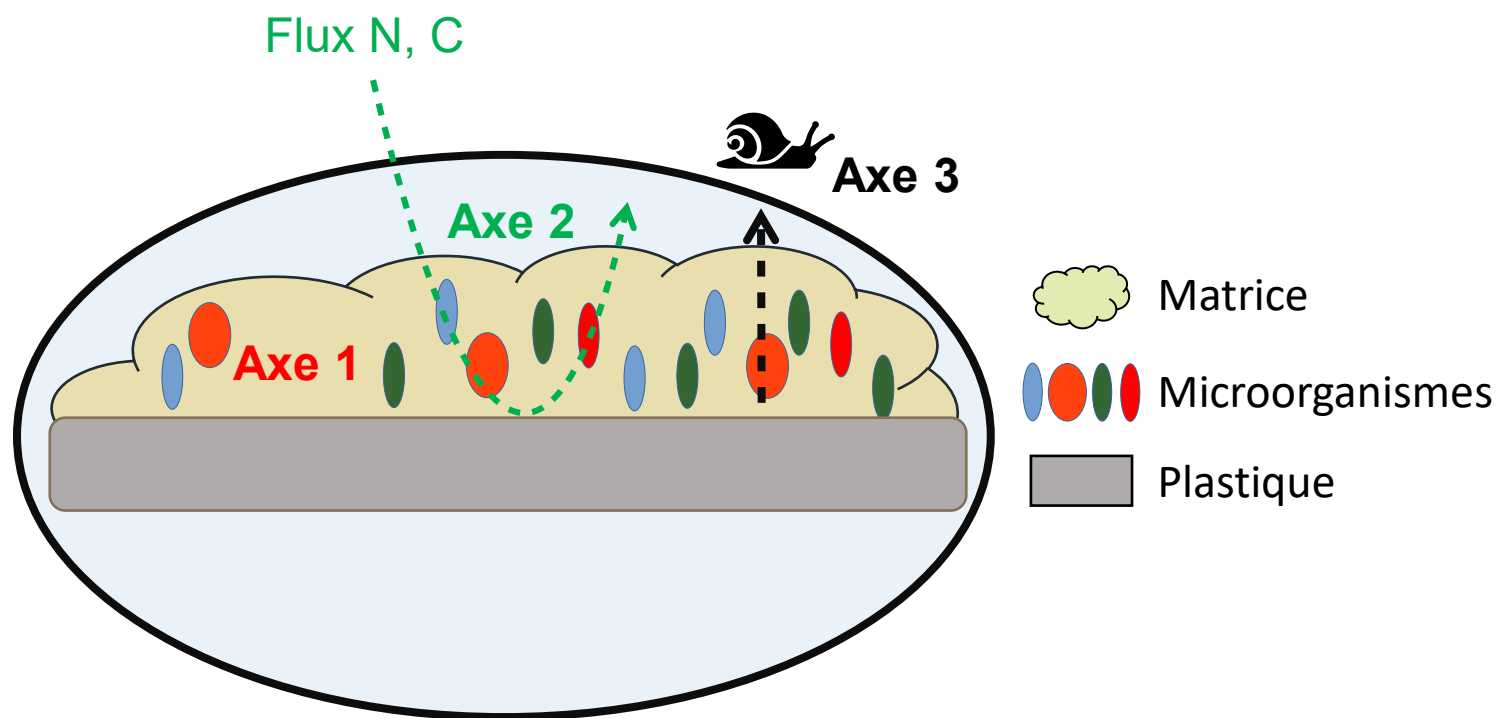
Questions scientifiques de la thèse

Quels effets des plastiques ?

Axe 1 : composition des communautés microbiennes

Axe 2 : activités métaboliques et flux biogéochimiques

Axe 3 : relation biofilm-consommateur primaire





Questions scientifiques de la thèse

Quels effets des plastiques ?

Axe 1 : composition des communautés microbiennes

Axe 2 : activités métaboliques et flux biogéochimiques

Axe 3 : relation biofilm-consommateur primaire

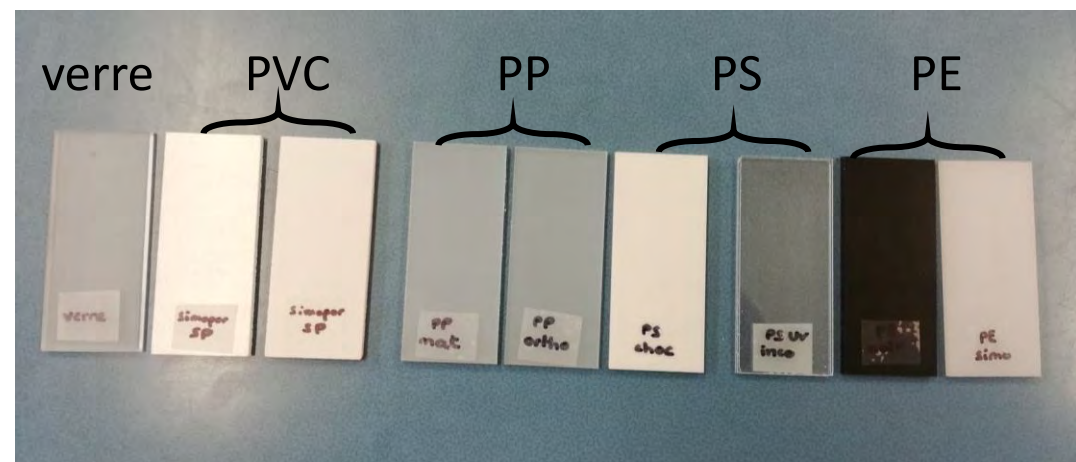
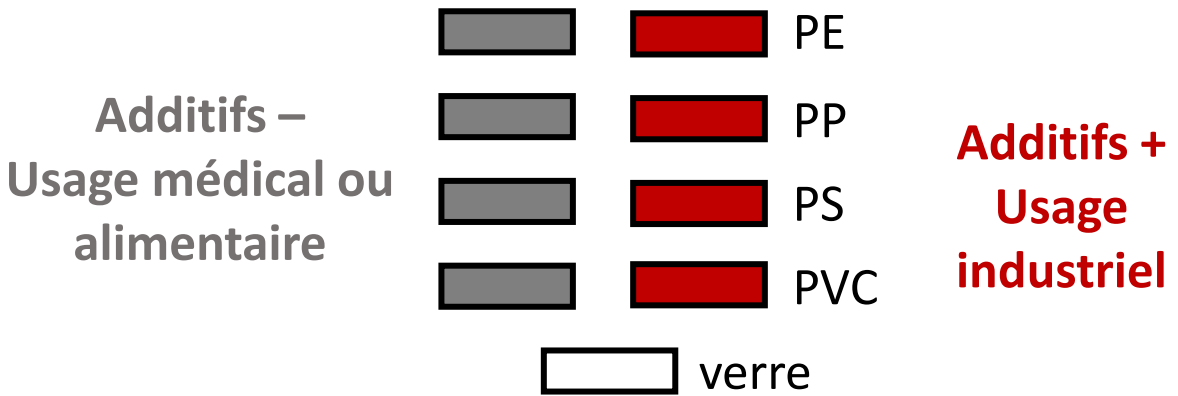


- Développement différent des biofilms en fonction de la nature de leur substrat ?
- Effet de sélection des plastiques sur ces communautés microbiennes ?
- Effet des plastiques sur leurs activités métaboliques (respiration, photosynthèse, dégradation de la matière organique) ?



Méthodologie

Expérience de terrain : incubations de supports « plastiques » et « contrôle » dans **3 annexes fluviales du Rhône**
8 supports « plastiques » aux compositions supposées contrastées en additifs et 1 support « contrôle » en verre

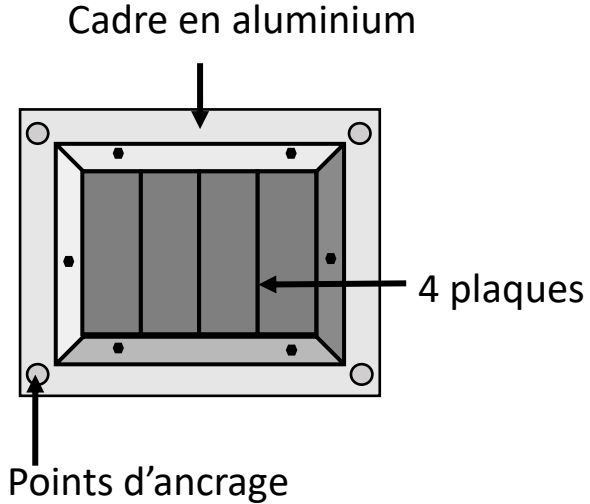


Analyses de lixiviation en cours (mesure du COD) et analyse de la composition en additifs prévue (LC-MS, Birmingham)

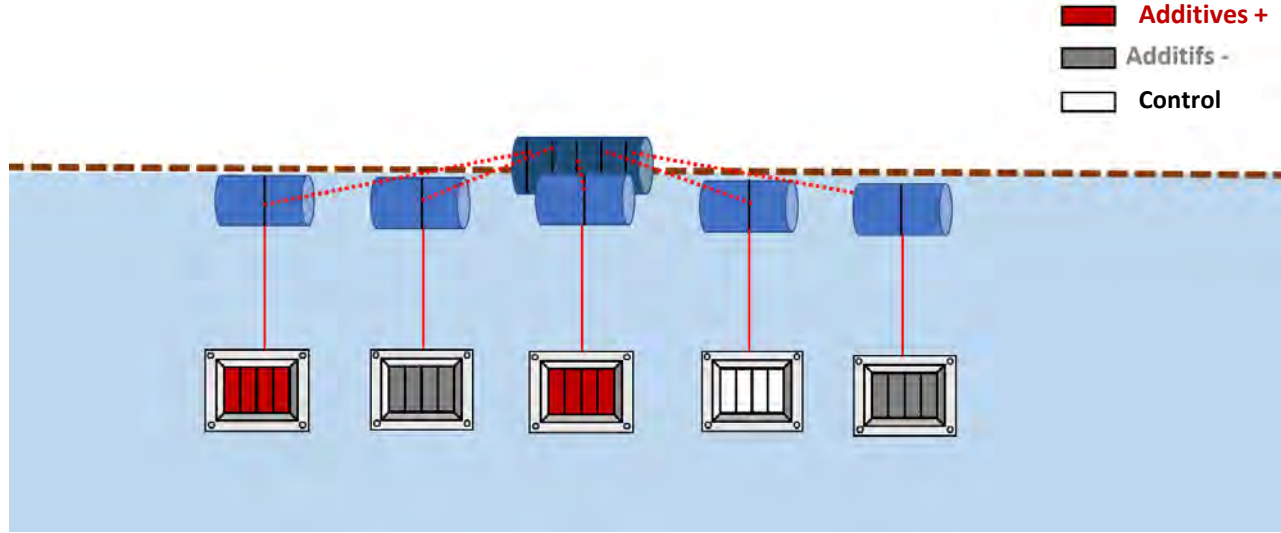


Méthodologie

Expérience de terrain : incubations de supports « plastiques » et « contrôle » dans **3 annexes fluviales du Rhône**
8 supports « plastiques » aux compositions supposées contrastées en additifs et 1 support « contrôle » en verre



Support des plaques

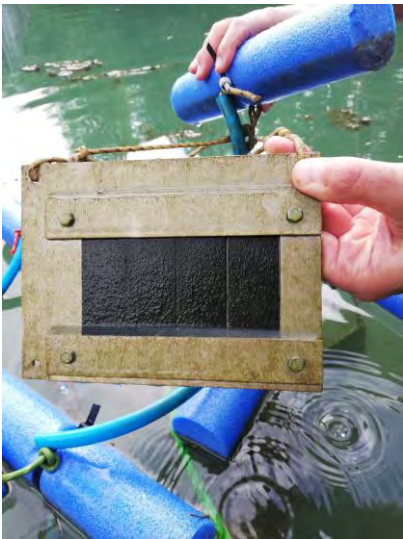


Système d'incubation



Méthodologie

Expérience de terrain : incubations de supports « plastiques » et « contrôle » dans **3 annexes fluviales du Rhône**
8 supports « plastiques » aux compositions supposées contrastées en additifs et 1 support « contrôle » en verre



Support des plaques



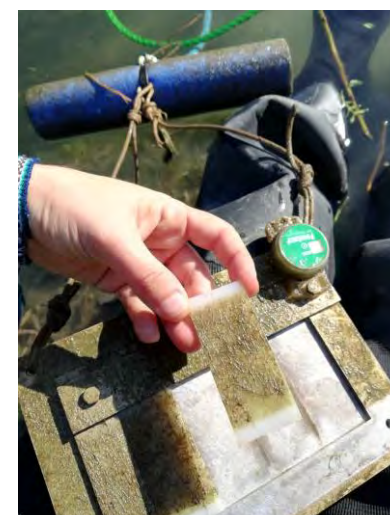
Système d'incubation





Méthodologie

Expérience de terrain : incubations de supports « plastiques » et « contrôle » dans **3 annexes fluviales du Rhône**
8 supports « plastiques » aux compositions supposées contrastées en additifs et 1 support « contrôle » en verre



6 semaines



Méthodologie

Expérience de terrain : incubations de supports « plastiques » et « contrôle » dans **3 annexes fluviales du Rhône**

Mesures au laboratoire

Mesures de composition | Axe 1 :

- Biomasses (masses sèches)
- Quantité de chlorophylle A (protocole SCOR UNESCO)
- Carbone et Azote total (analyse élémentaire)
- Diversité pigmentaire (HPLC) en cours d'analyse

Mesures d'activités et de physiologie microbiennes | Axe 2

- Respiration (suivi O₂)
- Photosynthèse (suivi O₂)
- Dégradation de la matière organique (dégradation du FDA)
- Rendement maximal du photosystème II (fluorescence Phyto PAM)



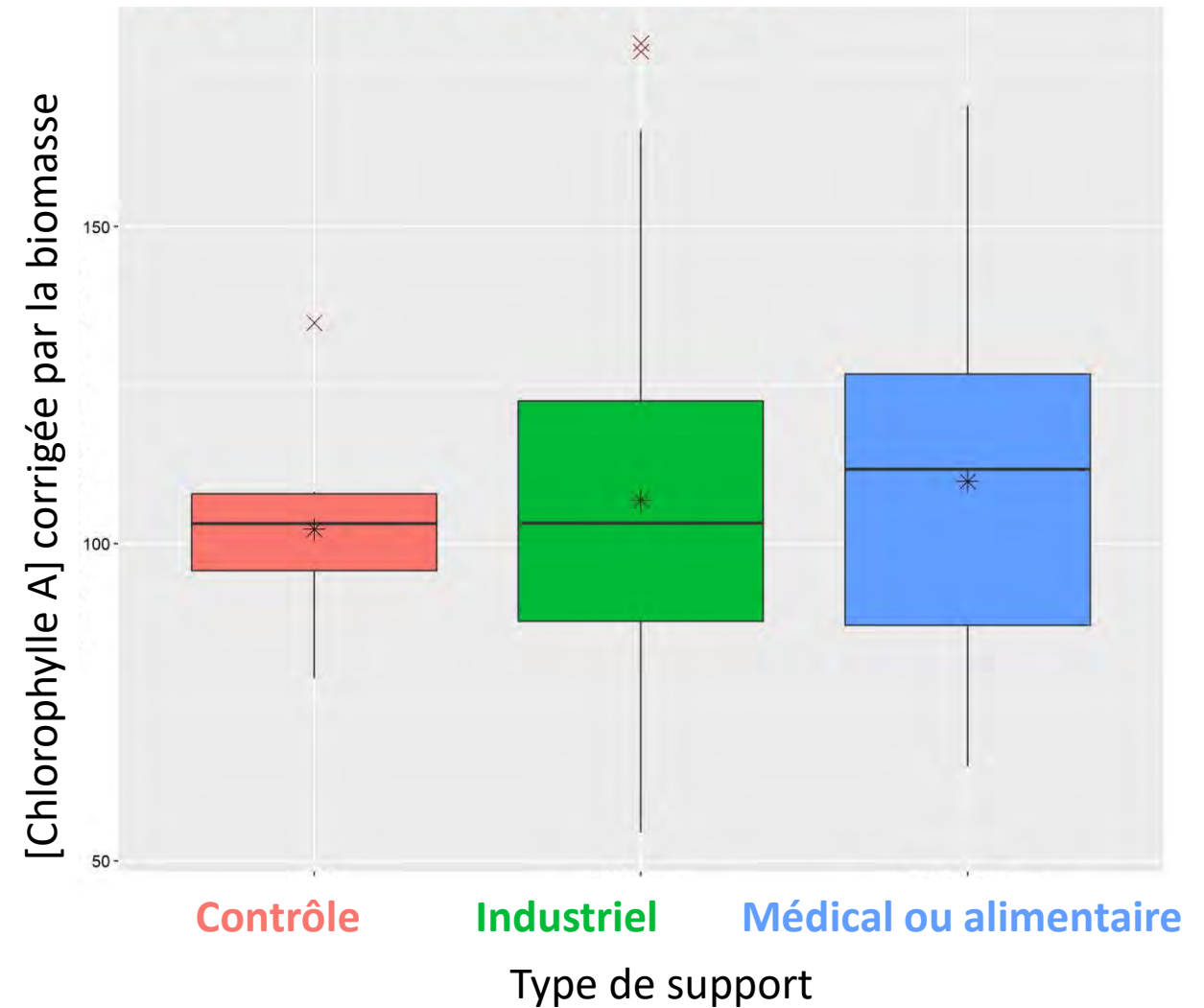
Premiers résultats

Développement similaire des biofilms sur tous les supports plastiques et le support contrôle

Paramètres testés :
chlorophylle A, biomasse, composition C/N

Effet du pré-bassin (Sheirer Ray Hare, $H = 14.2593$, $p\text{-value} = 0.000801$)
Pas d'effet de la catégorie | Effet d'interaction catégorie-pré-bassin ($H = 7.4377$, $p\text{-value} = 0.024261$)

Concentration en chlorophylle A en fonction du support





Premiers résultats

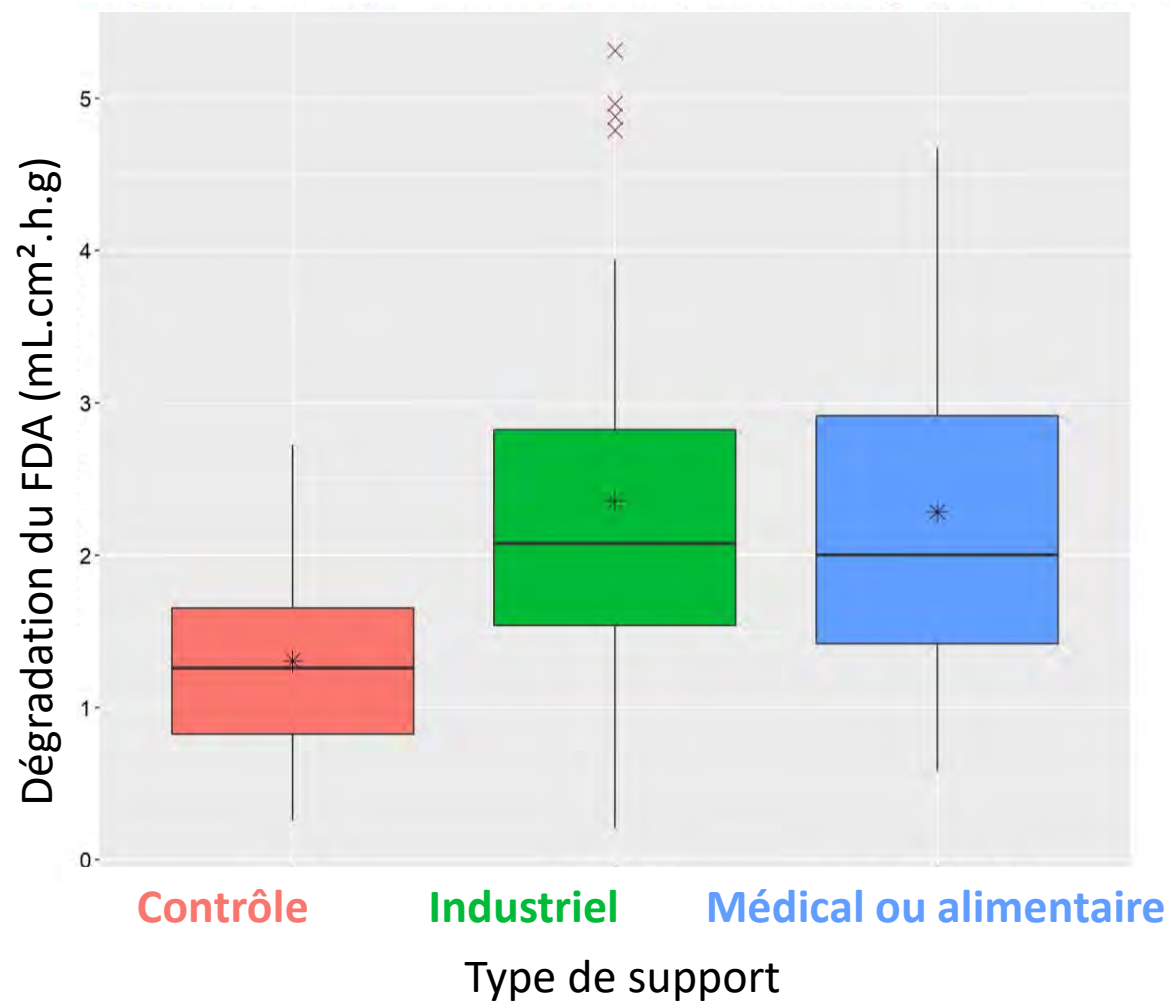
Activités métaboliques différentes entre les biofilms issus de supports plastiques et de support contrôle

Paramètres testés :

Respiration (pas de différence), photosynthèse (tendance > sur support contrôle), dégradation de la matière organique (< sur support contrôle)

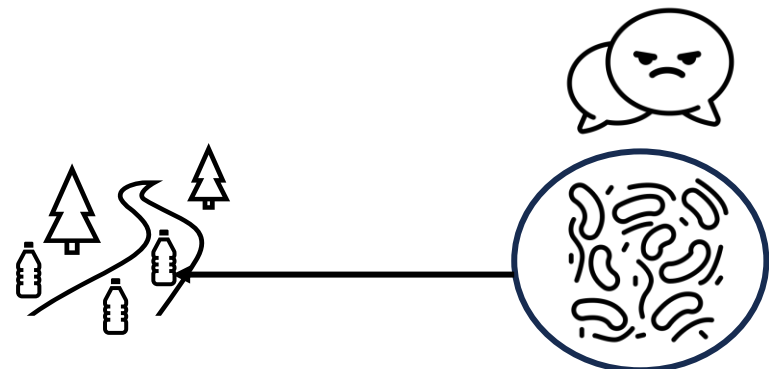
Effet de l'usage (control / industriel / medical, Sheirer Ray Hare, $H = 7.7925$, $p\text{-value} = 0.02032$) | Pas d'effet du pré-bassin, ni d'interaction

Dégradation de la matière organique en fonction du support





Lien avec les questions opérationnelles



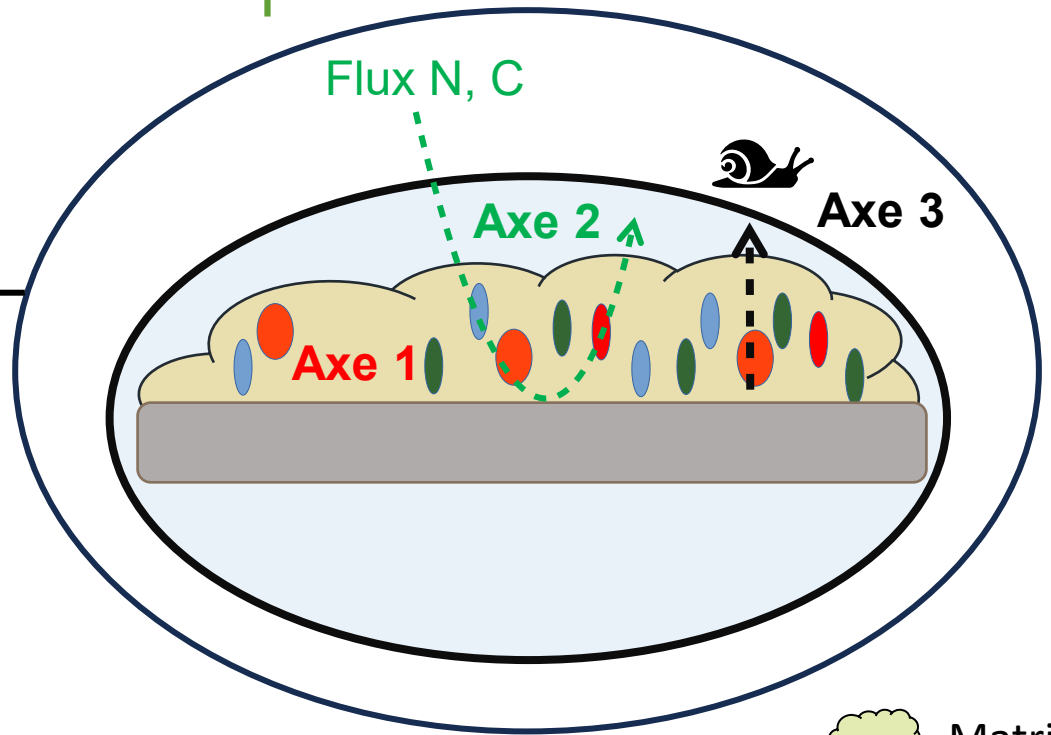
Modification des activités métaboliques sur support plastique




=

Modification du fonctionnement de l'écosystème d'eau douce à l'échelle locale

=

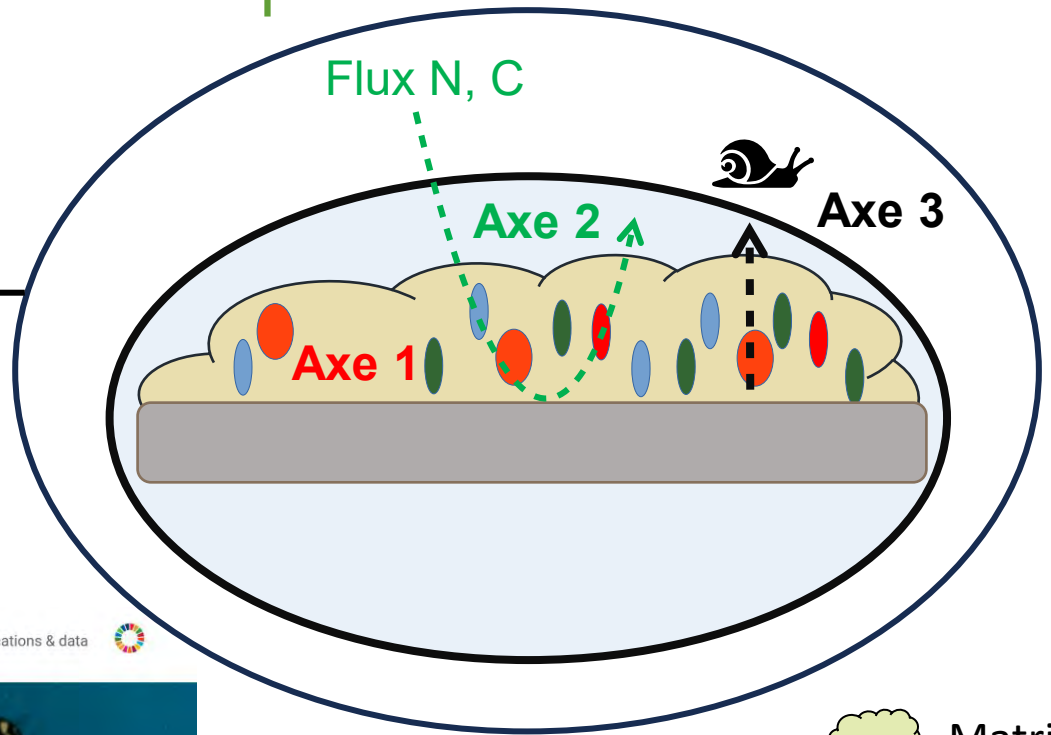
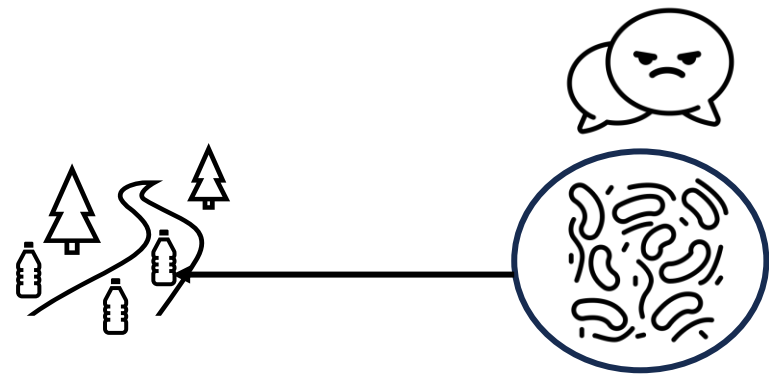
Gestion des déchets plastiques dans les cours d'eau



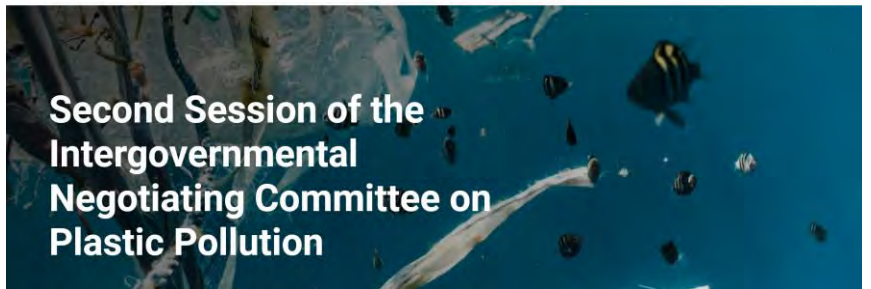
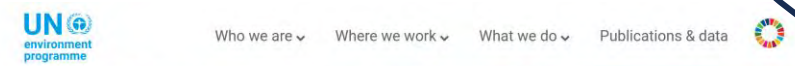
-  Matrice
-  Microorganismes
-  Plastique



Lien avec les questions opérationnelles



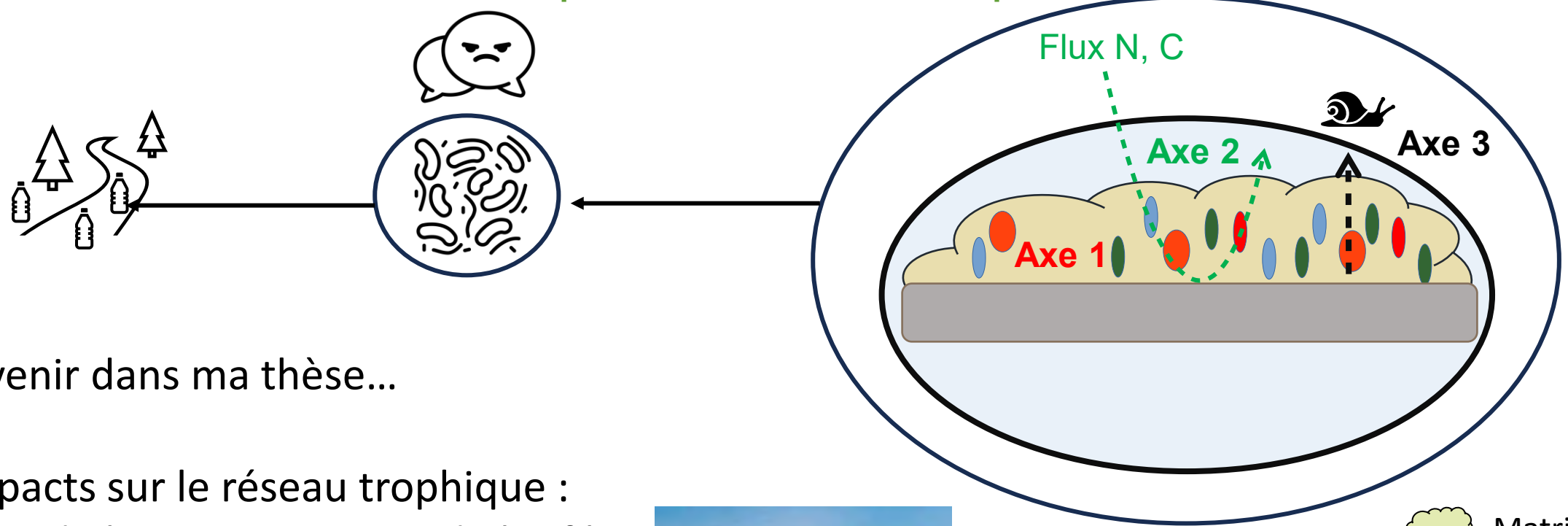
Débat d'actualité : ICN (Paris 2023)
Pour le contrôle de la pollution plastique



- Matrice
- Microorganismes
- Plastique



Lien avec les questions opérationnelles






A venir dans ma thèse...

Impacts sur le réseau trophique :
effet de la consommation de biofilm
développé sur substrat plastique sur
un invertébré brouteur *Physa acuta*

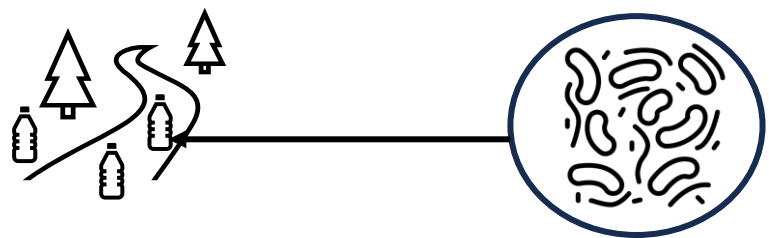


B.Gerfand ©

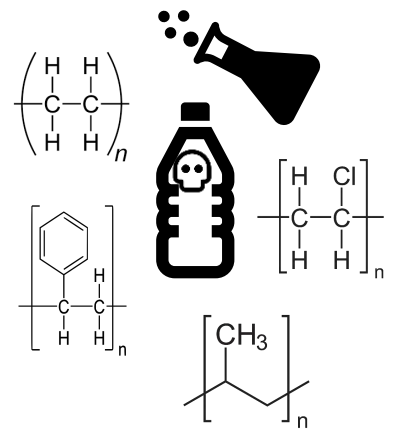
-  Matrice
-  Microorganismes
-  Plastique



Perspectives



Si effet de sélection des communautés microbiennes sur les plastiques



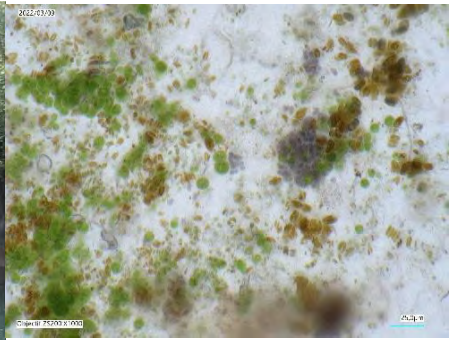
Et plastiques composés de mélanges de produits chimiques additifs

Sélection de microorganismes plus résistants à d'autres polluants environnementaux ?


Axe 2 : en cours d'analyse (collab. INRAE Riverly)



Merci de votre attention



B.Gerfand ©

 camille.touchet@univ-lyon1.fr

 @camille_touchet

Merci à mes encadrants et collaborateurs : Laurent Simon, Florian Mermillod-Blondin, Stefan Krause, Laurence Volatier, Ludovic Guillard, Emilien Luquet, Zoraida Quiñones-Rivera, Marjolaine Rey (LEM, CESN), Stephane Pesce (INRAE Riverly et EABX), l'équipe E3S du LEHNA et les stagiaires volontaires (J.Morel et P.Laurency)

Séminaire scientifique

Flux polluants écotoxicologie et écosystèmes

5 octobre 2023 - Villeurbanne

Avec le soutien de :



Diagnostic des impacts écotoxicologiques des **substances pharmaceutiques en cours d'eau** : translocation de communautés microbiennes périphytiques et mesures de tolérance (PICT).

Hélène Rogue, Cécile Miège, Chloé Bonnineau, Bernadette Volat,
Christophe Rosy, Bernard Motte, Amandine Daval, Emilie Lyautey, Stéphane
Pesce



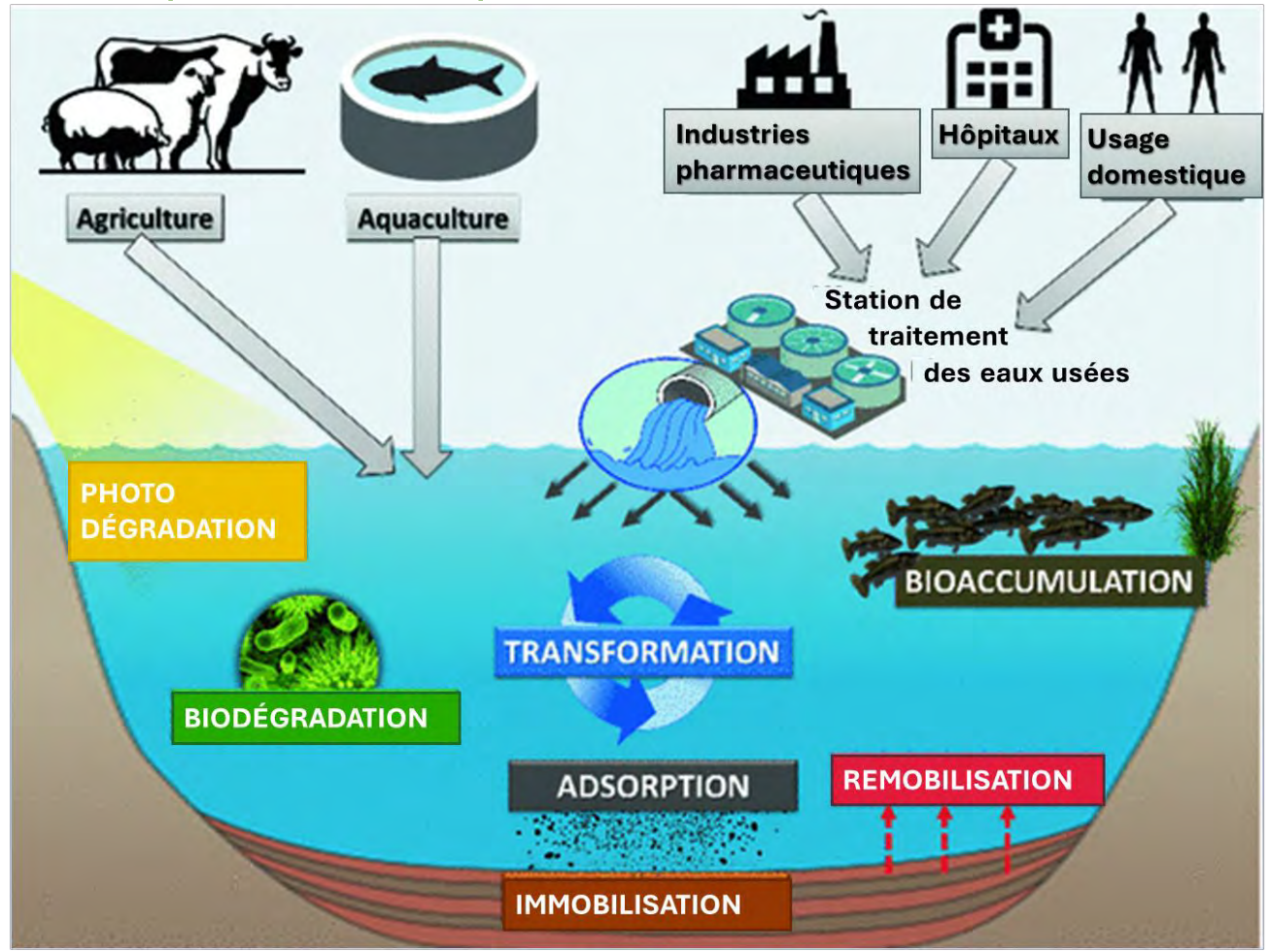
1^{ère} année de thèse – Hélène Rogue
sous la direction de Stéphane Pesce et Cécile Miège
UR RiverLy, INRAE



Les écosystèmes aquatiques pollués par des substances pharmaceutiques

Les substances pharmaceutiques :

- Usages en médecine humaine et vétérinaire
- Sources variées d'entrée dans les milieux aquatiques



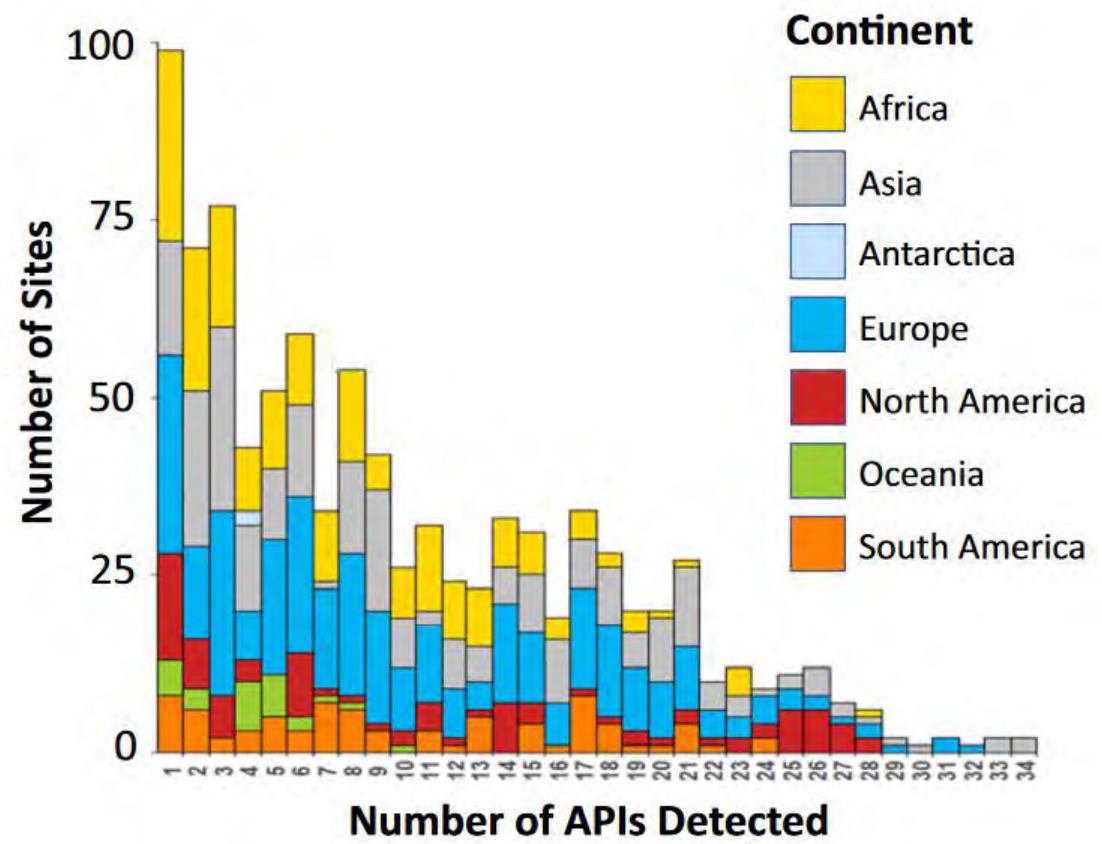
Traduit d'après Klimaszuk et Rzymiski, Springer Nature 2018



Les écosystèmes aquatiques pollués par des substances pharmaceutiques

Les substances pharmaceutiques :

- Usages en médecine humaine et vétérinaire
- Sources variées d'entrée dans les milieux aquatiques
- Pollution globale des rivières dans le monde



1 052 sites

API : Active Pharmaceutical

Ingredient



Les communautés microbiennes aquatiques résidentes exposées aux contaminations



Le périphyton :

- des communautés microbiennes
- dans une matrice extracellulaire (biofilm)
- fixées à des substrats immergés



Les communautés microbiennes aquatiques résidentes sont vulnérables aux substances pharmaceutiques

La littérature suggère des perturbations à différents niveaux :

- Effets sur des activités microbiennes (biomasse, respiration, photosynthèse, activité β -glucosidase)

Rosi-Marshall et al., *Ecological Society of America* 2013, Corcoll et al., *Chemosphere* 2014, Pesce et al., *Frontiers in Microbiology* 2021

- Changements de la structure et de la diversité des communautés

Kergoat et al., *Frontiers in Microbiology* 2021, Rosi-Marshall et al., *Ecological Society of America* 2013, Corcoll et al., *Chemosphere* 2014, Carles et al., *Water Research* 2021

- Changements de tolérance

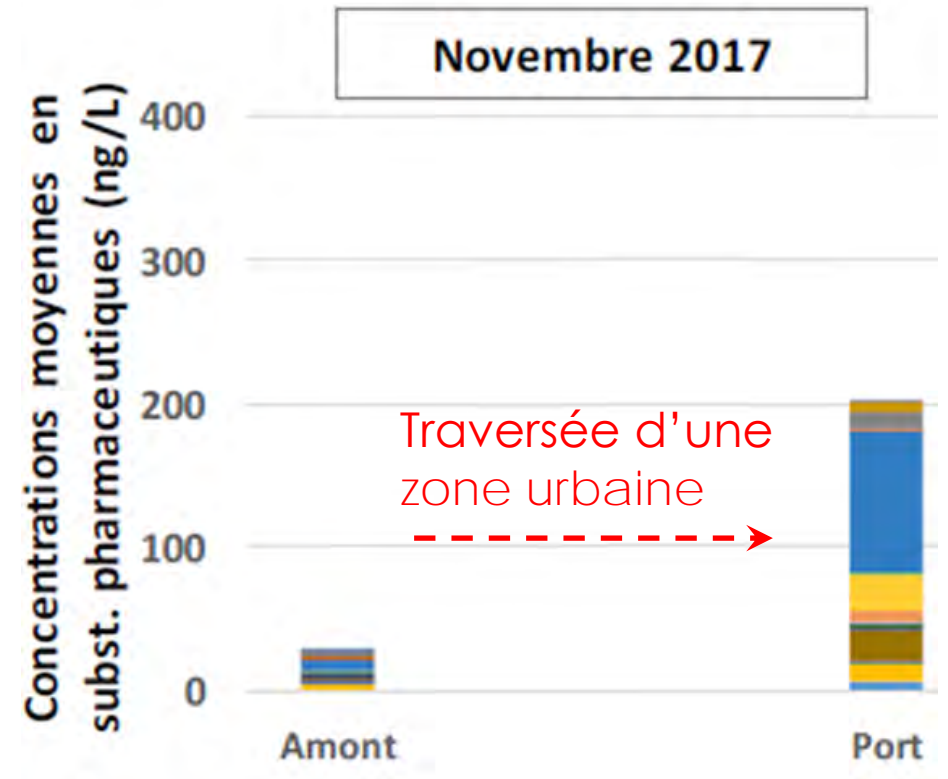
Corcoll et al., *Chemosphere* 2014

Dans quelle mesure la tolérance des communautés peut-elle refléter la pression chimique par les substances pharmaceutiques ?

→ Hypothèse : la tolérance augmente quand le niveau d'exposition augmente, et inversement.



Site d'étude : Le Tillet, Savoie



Concentrations dissoutes moyennes (ng L⁻¹) en substances pharmaceutiques (n=23)

Pesce et al., ZABR 2019





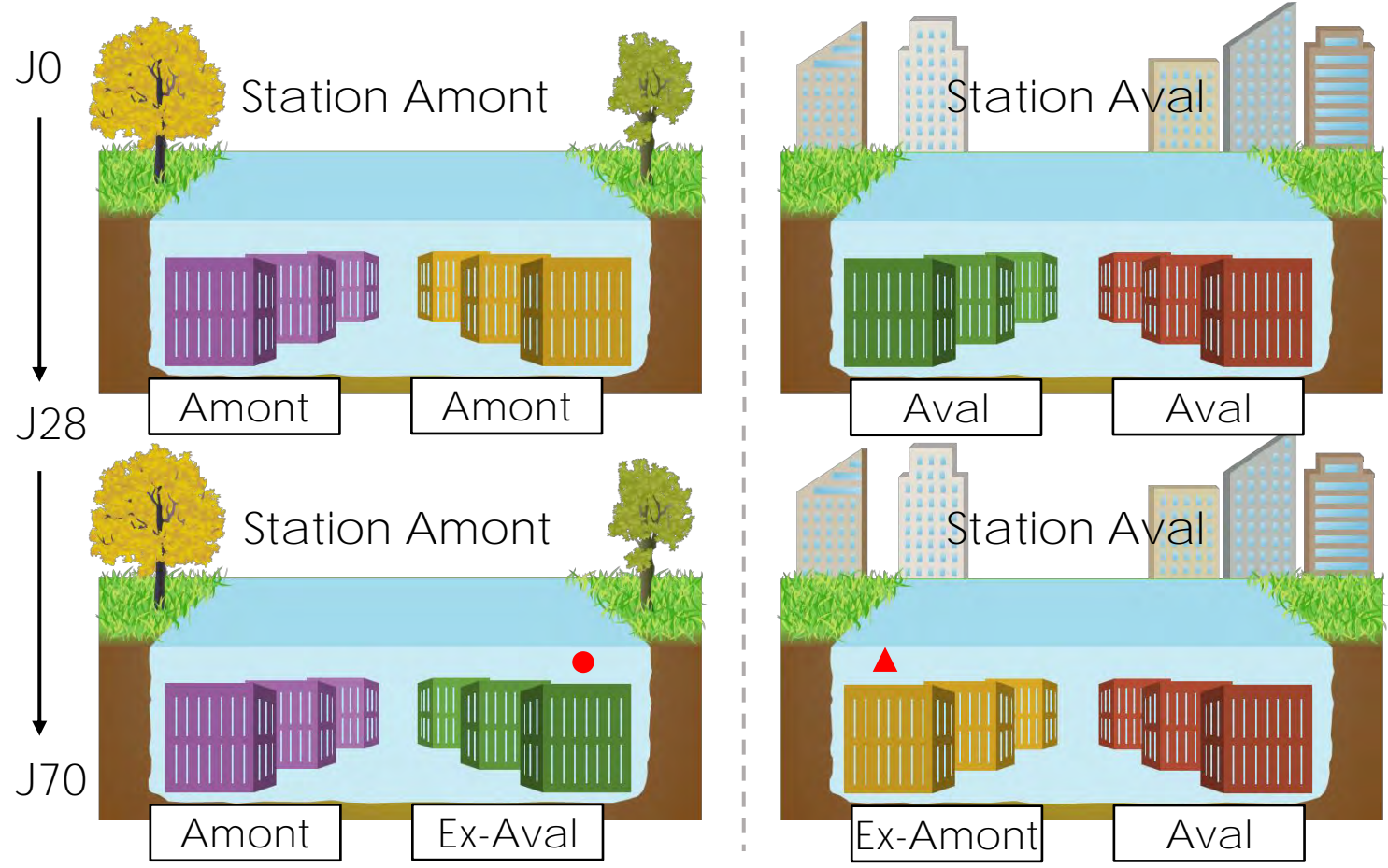
Expérience de translocation sur le Tillet



Périphyton sur lames de verre



Mesure de l'exposition : POCIS (Polar Organic Chemical Integrative Sampler) (n cherché = 42)



Prélèvements : J28, J42, J56, J70

Objectif : mimer une
● restauration
▲ dégradation
de la qualité chimique de l'eau

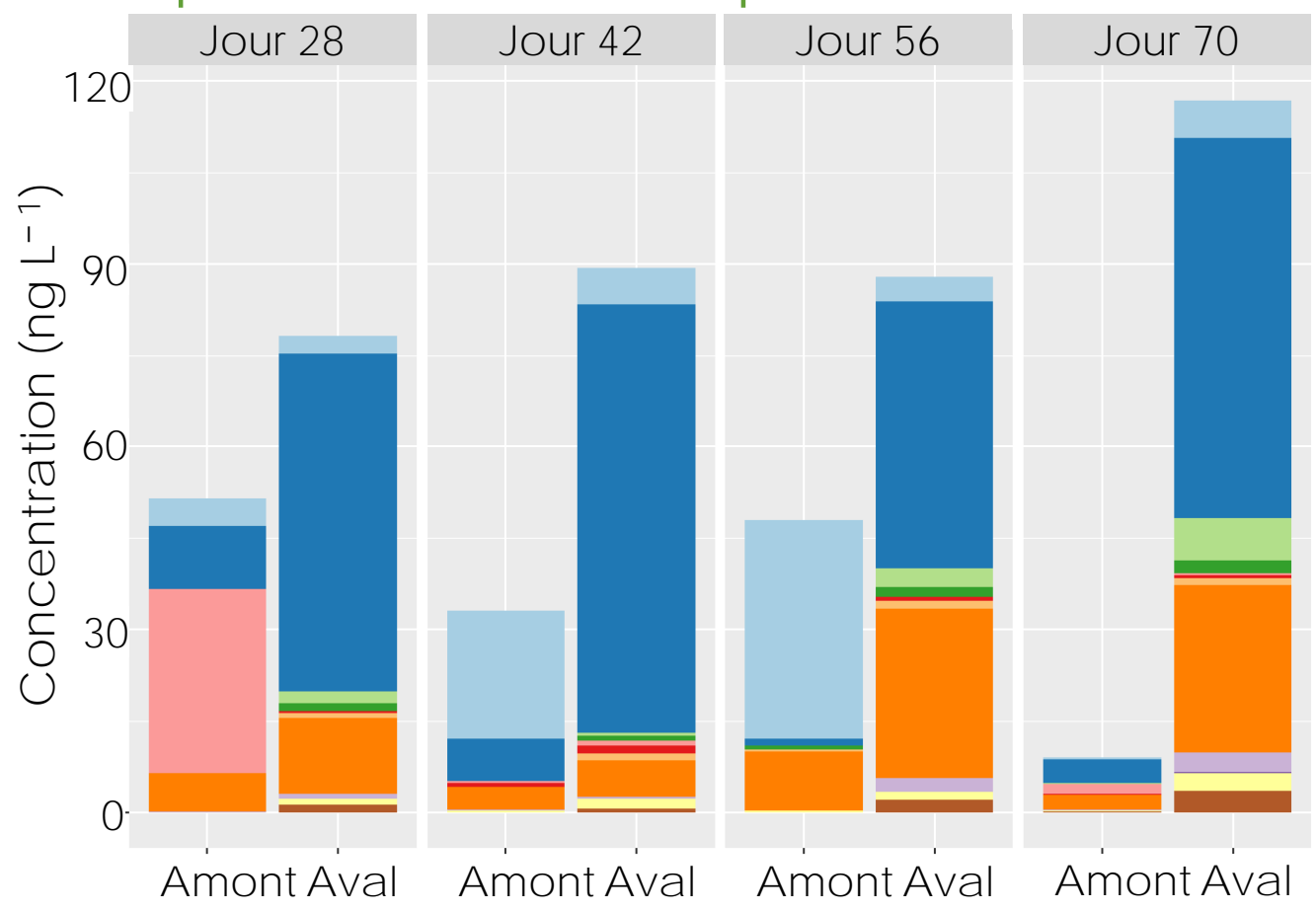


La contamination était plus forte en Aval sur 42 substances pharmaceutiques cherchées.

27 substances détectées / 42 cherchées



POCIS



- Classe**
- n = 4 AINS
 - 1 Antalgique
 - 1 Antiarythmique
 - 4 Antibiotique
 - 1 Anticancéreux
 - 1 Antidiabétique
 - 2 Antiepileptique
 - 7 Antihypertenseur
 - 2 Anxiolytique
 - 1 Bronchodilatateur
 - 2 Hypolipémiant
 - 1 Neuroleptique

AINS : anti-inflammatoire non stéroïdien

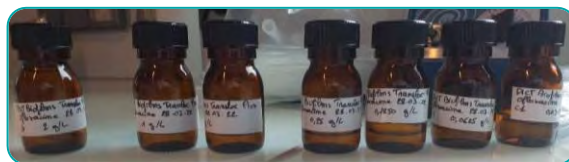


Mesure de la tolérance à des substances modèles

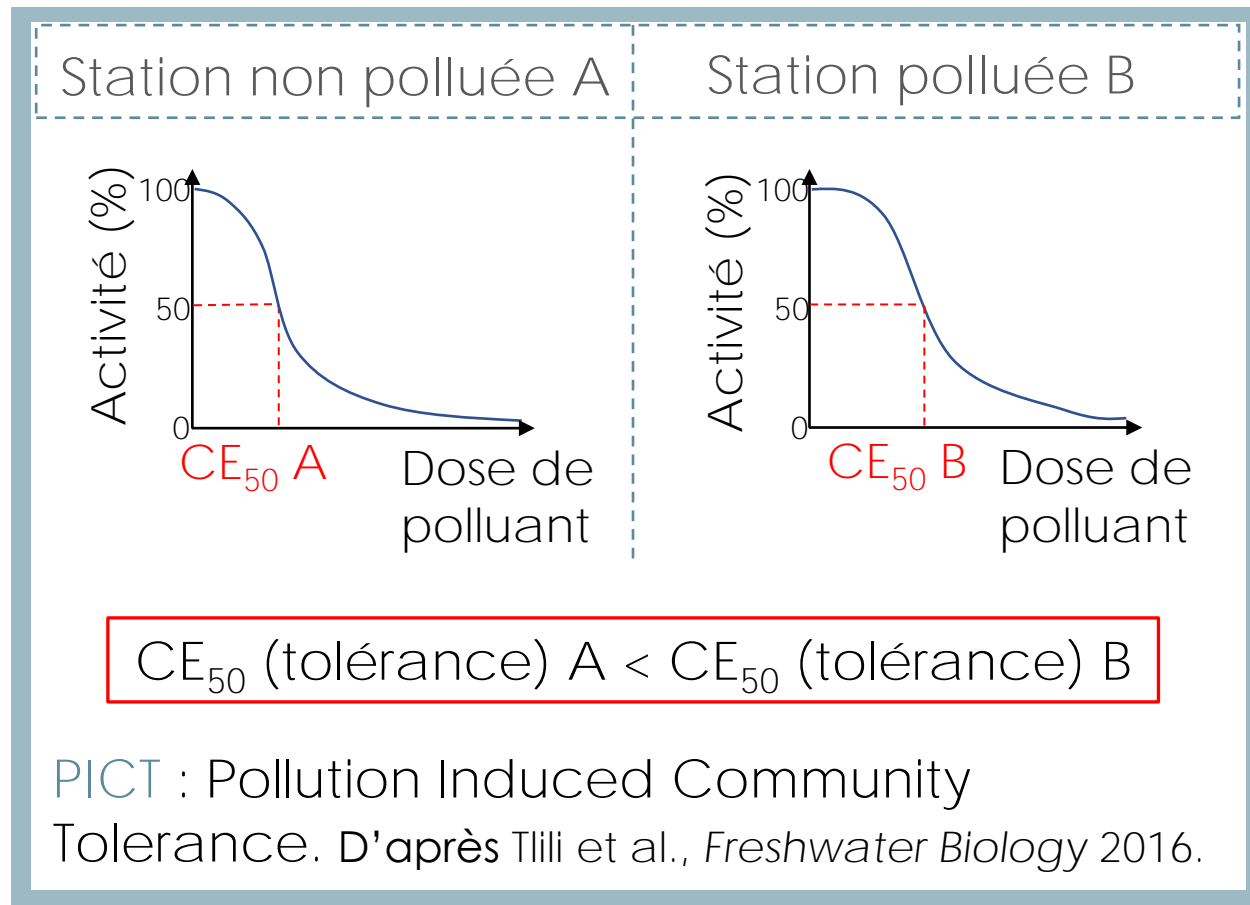
1. Récupération du périphyton



2. Exposition à une gamme d'une substance pharmaceutique



3. Modélisation d'une courbe dose-réponse sur l'inhibition d'une activité biologique





Tests PICT réalisés

3 activités biologiques

Mesure d'activité	Exposition
Activité β -glucosidase	Ofloxacine
Activité photosynthétique	Aténolol
	Diclofénac
	Paracétamol
Croissance sur 72 heures	Érythromycine
	Sulfaméthoxazole
	Sulfaméthazine

Classe pharmaceutique :

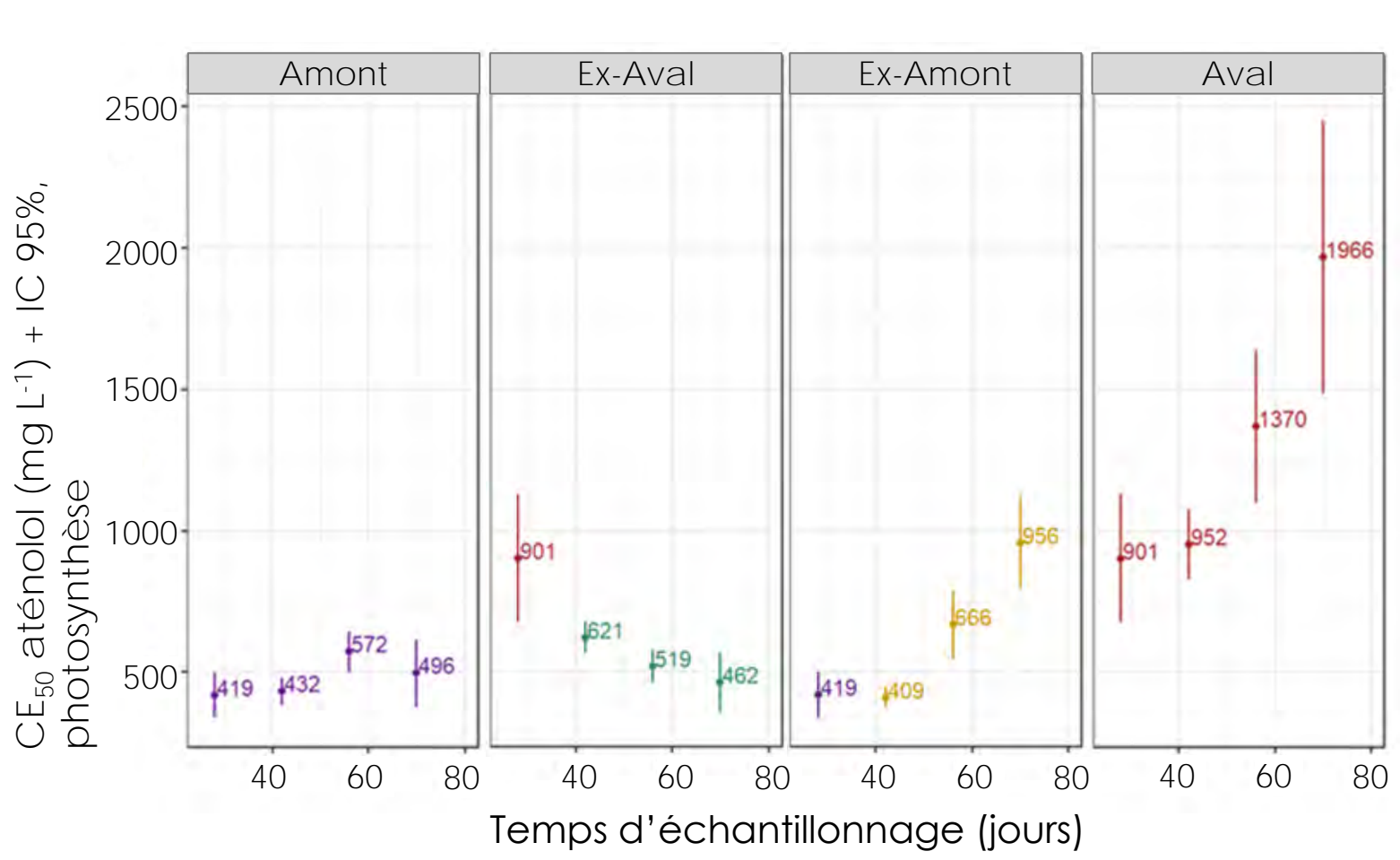
- Antibiotique
- Antihypertenseur
- AINS
- Antalgique

7 substances pharmaceutiques

4 détectées dans les eaux de surface



Evolution de la tolérance au diclofénac



Condition

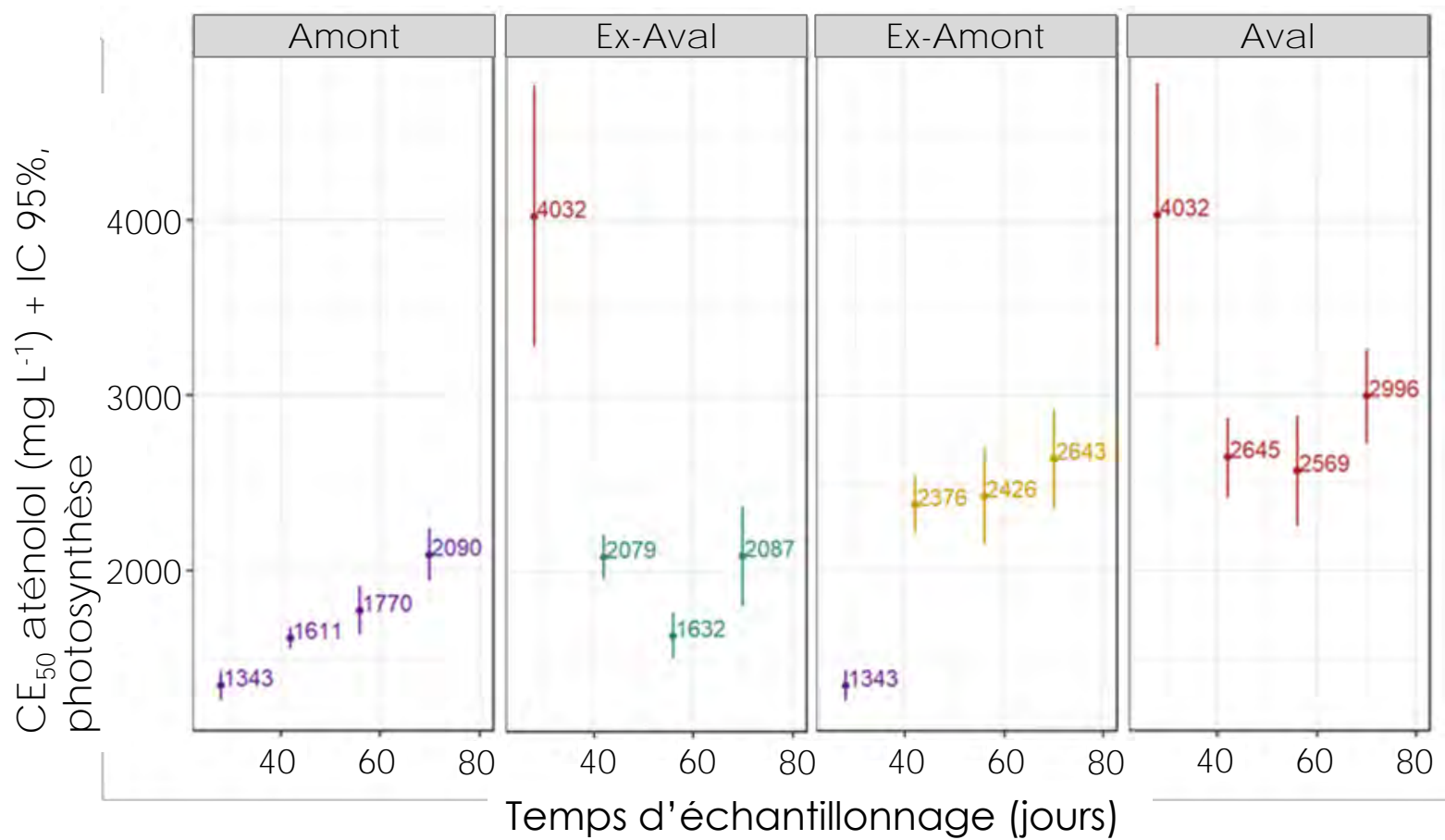
- Amont
- Aval
- Ex-Amont
- Ex-Aval

- CE₅₀ Amont < Aval
- ↓ tolérance Ex-Aval vers celle d'Amont
- ↑ tolérance Ex-Amont

Hypothèse initiale vérifiée



Evolution de la tolérance à l'aténolol



Condition

- Amont
- Aval
- Ex-Amont
- Ex-Aval

- CE₅₀ Amont < Aval
- ↓ tolérance Ex-Aval vers celle d'Amont
- ↑ tolérance Ex-Amont vers celle d'Aval

Hypothèse initiale vérifiée

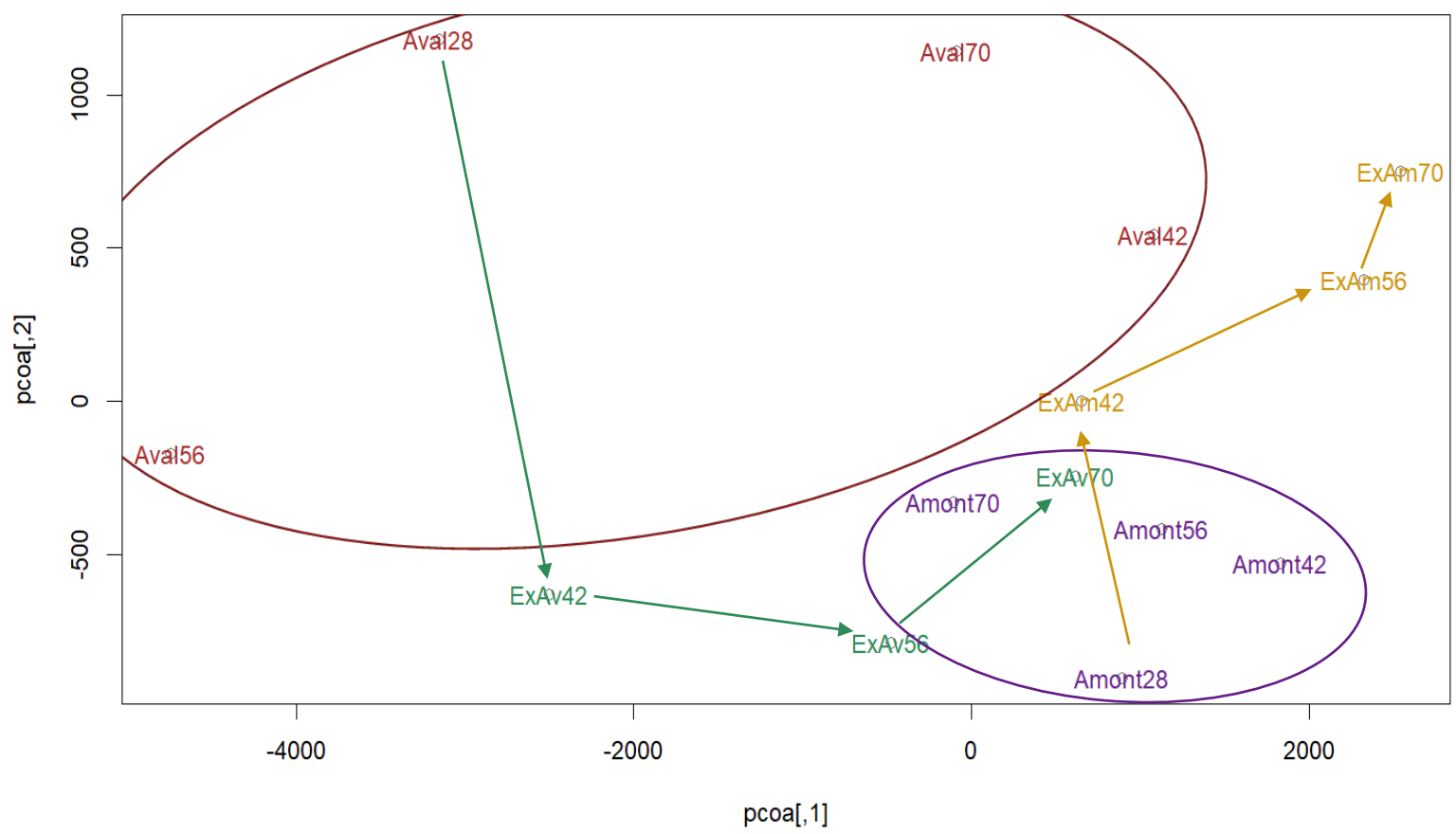


Résultats des autres tests

<i>Substance</i>	Ofloxacine	Érythromycine	Sulfaméthazine	Paracétamol	Sulfaméthoxazole
<i>Activité mesurée</i>	β-glucosidase	croissance	croissance	photosynthèse	croissance
<i>Résultats des tests de tolérance</i>	Pas de différence de tolérance Amont / Aval			Pas de différence de tolérance Amont / Aval	Évolution de la tolérance inexplicable par la contamination
<i>Quantification in situ</i>	Sous la limite de quantification dans les POCIS			Détectés dans les eaux de surface [Amont]<[Aval]	
<i>Hypothèses</i>	Pas de différence de pression chimique → pas de variation de tolérance				Remise en question de la pertinence du test
	Pression insuffisante pour induire une acquisition de tolérance ?				



Analyse en coordonnées principales (PCoA) sur la base de toutes les CE₅₀



Condition
Amont
Aval
Ex-Amont
Ex-Aval

- Amont et Aval distincts
- Ex-Aval se rapproche d'Amont dans le temps
- Ex-Amont s'éloigne d'Amont dans le temps



Conclusions

- Diclofénac et aténolol + mesure d'activité photosynthétique : perte / acquisition de tolérance selon le changement de station
- Spécificité de la réponse PICT variable selon les substances et les activités



Pour aller plus loin

- Diclofénac et aténolol + mesure d'activité photosynthétique : perte / acquisition de tolérance selon le changement de station
- Spécificité de la réponse PICT variable selon les substances et les activités

Activité photo. → résultats intéressants

➤ Les variations de tolérance sont-elles liées à la structure et à la diversité des communautés ?

Étude en cours par métabarcoding (séquençage Illumina) :

- Gène de l'ARNr 16S (région V4V5, amorces 515F-909R) : bactéries
- Gène *rbcl* (amorces 708F(1-2-3)-R3(1-2)) : diatomées
- Gène de l'ARNr 23S (universal plastid amplicon, amorces 108F-108R) : micro-organismes photosynthétiques

Étude des organismes phototrophes

Condition

- Amont
- Aval
- Ex-Amont
- Ex-Aval



Première projection NMDS des communautés bactériennes (16S)



Pour aller plus loin

- Diclofénac et aténolol + mesure d'activité photosynthétique : perte / acquisition de tolérance selon le changement de station
 - Spécificité de la réponse PICT variable selon les substances et les activités
- Développement des tests :
Évaluation de la pression chimique avec le PICT, élargissement de la gamme des substances pour lesquelles on pourra mesurer la tolérance



Remerciements

Projet PharmaTOX (ZABR / AE RM&C), 2020-2023 :

- UR RiverLy (EMA, LAMA)
- UMR CARRETEL
- UMR EDYTEM



Séminaire scientifique

Flux polluants écotoxicologie et écosystèmes

5 octobre 2023 - Villeurbanne

Avec le soutien de :



Exploration des historiques des micropolluants organiques du Rhône par analyse non ciblée

Tom Ducrocq

UR RiverLy – équipe Laboratoire de Chimie des Milieux Aquatiques (LAMA)

Encadrement : Sylvain Merel et Cécile Miège

Début de thèse : Novembre 2021

Ecole doctorale de Chimie de Lyon – ED206



Contexte

Le contexte : Des contaminants entrent dans l'environnement via les eaux usées (industrielles et domestiques) et les eaux de ruissellement (urbain et rural)

→ Environ **350 000 composés chimiques** produits et utilisés dans le monde (estimation Wang Z et al 2020)

La contamination : molécules de synthèse, organiques, de petite masse (environ 70 – 1200Da) Connues et suivies, nouvellement connues, inconnues

→ **Toxicité imprédictible dans l'environnement** (Gonzales Gaya et al 2021)

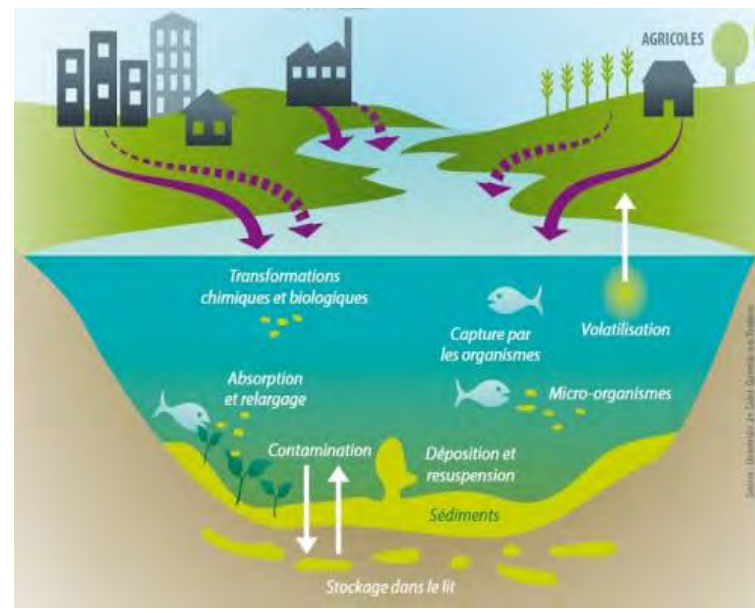
→ **Liste de contaminants analysés dans l'eau en constante augmentation** (Richardson and Ternes 2022)

Les sédiments : Certaines molécules sont partiellement transférées de l'eau aux matières en suspension (MES) et aux sédiments.

Un équilibre se crée, une part de la pollution est captée

→ **Un archivage de la contamination** (Parkinson and Dust 2010)

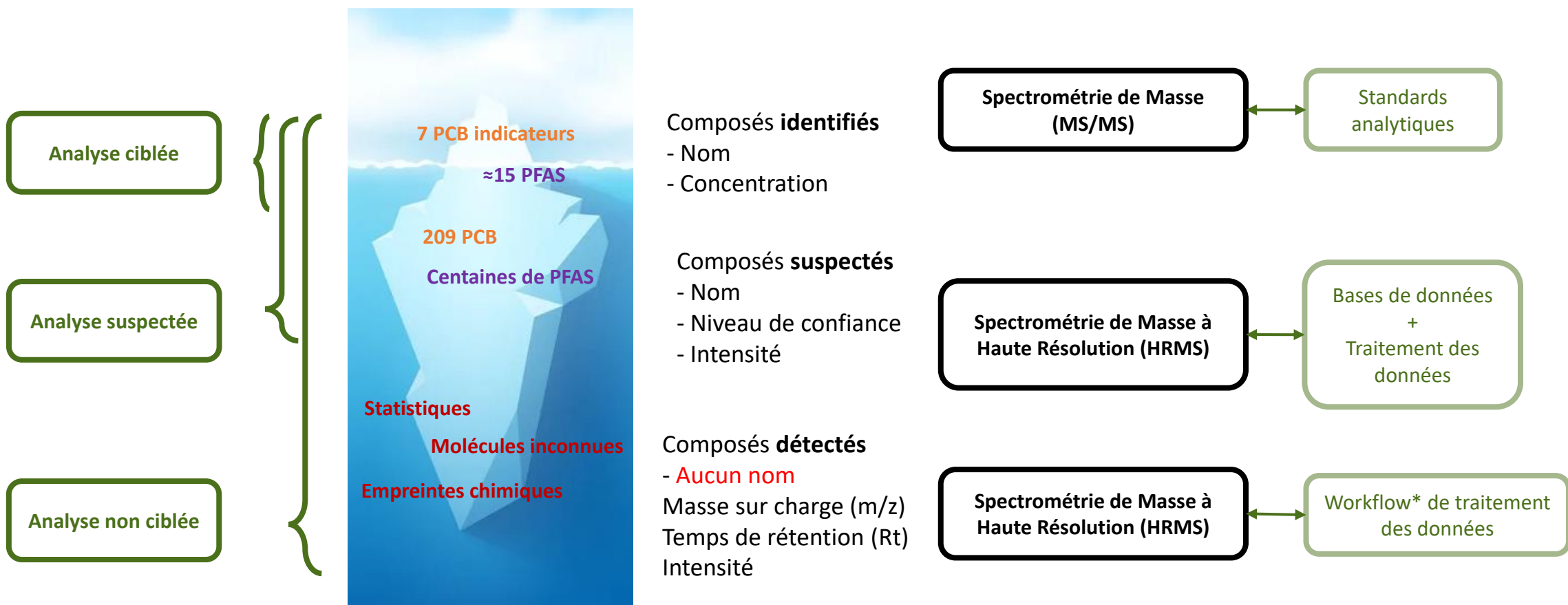
L'analyse : Spectrométrie de masse à haute résolution (HRMS) couplée à de la chromatographie liquide ou gazeuse (LC ou GC) → **Méthode de choix pour l'analyse non ciblée** (Escher BI et al 2020)



Couplage LC et GC HRMS 2/15



Contexte



*Workflow = suite d'étapes/algorithmes



Enseignements bibliographiques

- 161 articles analysant des micropolluants dans des **sédiments d'eaux continentales de surface** par spectrométrie de masse (analyse ciblée, suspectée ou non ciblée)

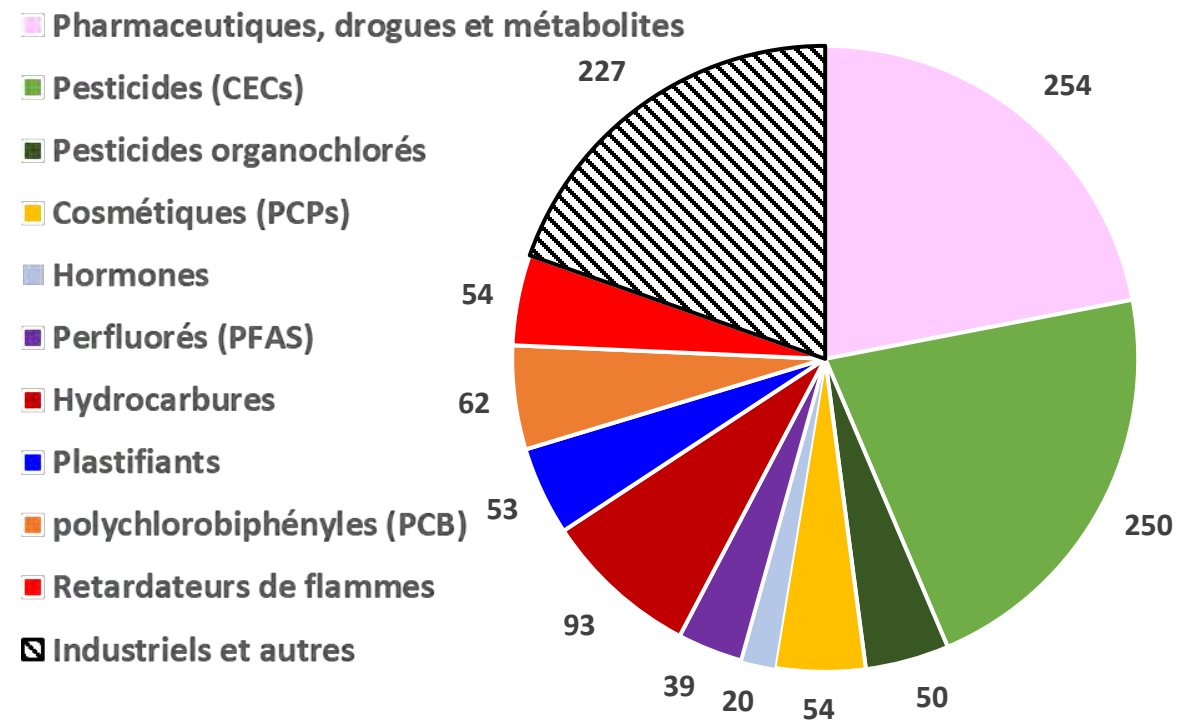
Informations « Méthodes »

- Métadonnées de l'article (lieu, année, etc.)
- Echantillonnage et stockage
- Extraction (techniques, solvants, etc.)
- Purification
- Analyse (chromatographie, ionisation, etc)

Informations « Contaminants »

- Noms du contaminant → CID PubChem
- Concentration (max, min)
- Famille associée (Pesticides, Pharmaceutiques...)

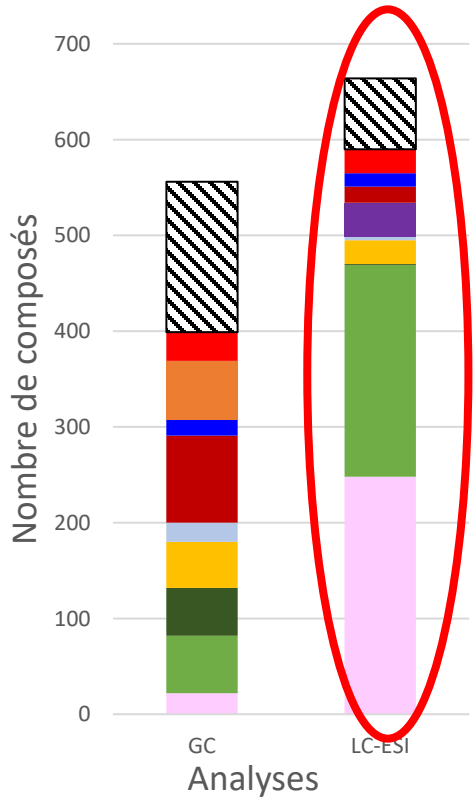
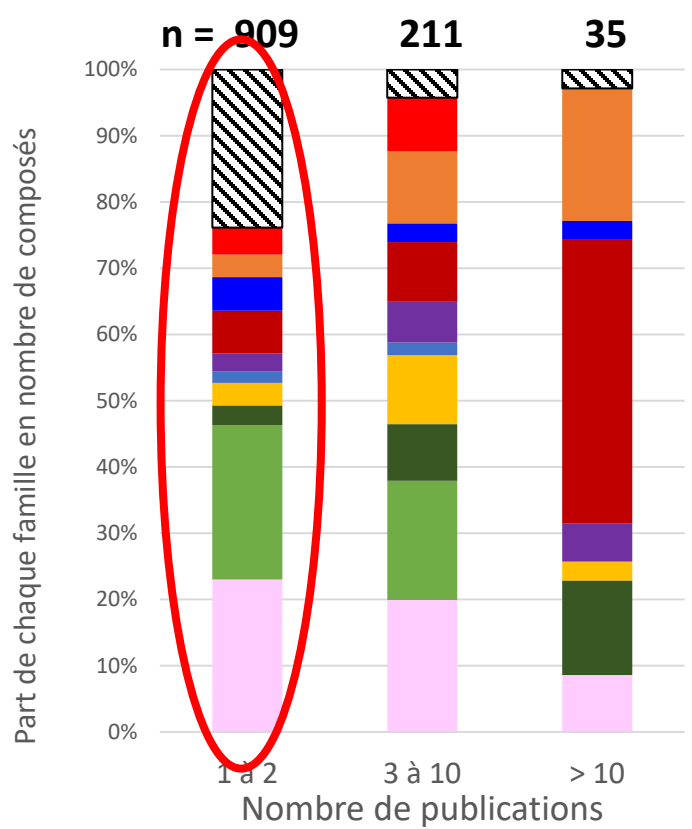
→ 1156 contaminants organiques recensés





Enseignements bibliographiques

- Pharmaceutiques, drogues et métabolites
- Pesticides (CECs)
- Pesticides organochlorés
- Cosmétiques (PCPs)
- Hormones
- Perfluorés (PFAS)
- Hydrocarbures
- Plastifiants
- polychlorobiphényles (PCB)
- Retardateurs de flammes
- Industriels et autres



Analyses suspectées et non ciblées

5% des études pour 16% des composés (186 composés dont 107 uniques)

Types d'études	nombre
Suspecté GC	5
Non ciblé / suspecté LC-APCI	4
Suspecté LC - ESI	2
Non ciblé LC ESI	1

→ Les contaminants visibles en LC-ESI sont les moins répertoriés (pharmaceutiques, cosmétiques, hormones, etc.)

→ Peu de non ciblé/suspecté en LC-ESI



Questions scientifiques



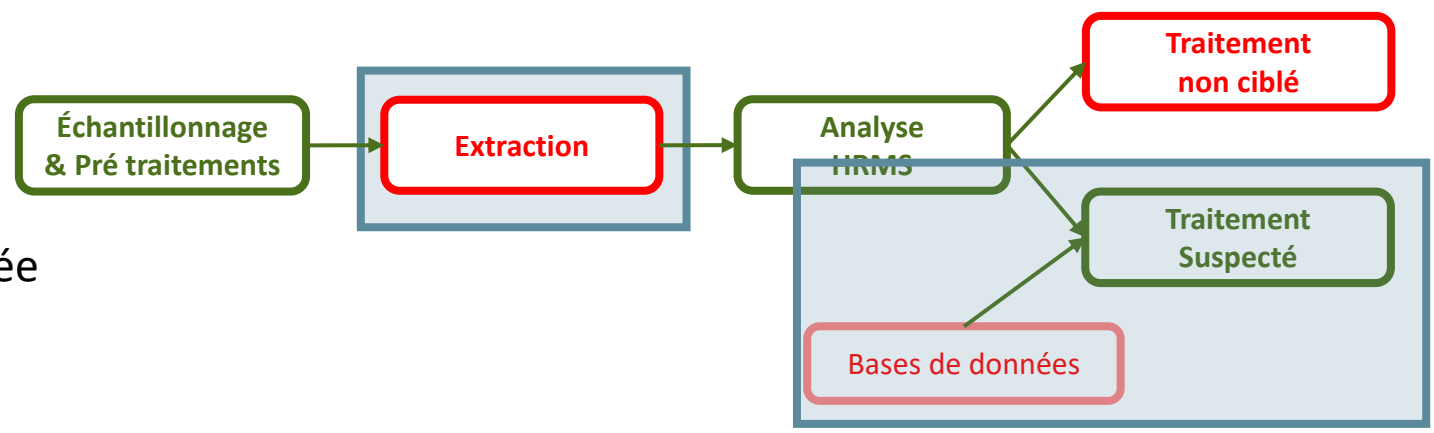
Questions environnementales sur la tendance spatio-temporelle de la contamination du Rhône :
Quel impact la ville de Lyon a sur la contamination organique des matières en suspension (MES) ?
Quelles sont les tendances temporelles de la contamination des sédiments (MES et carottes) ?



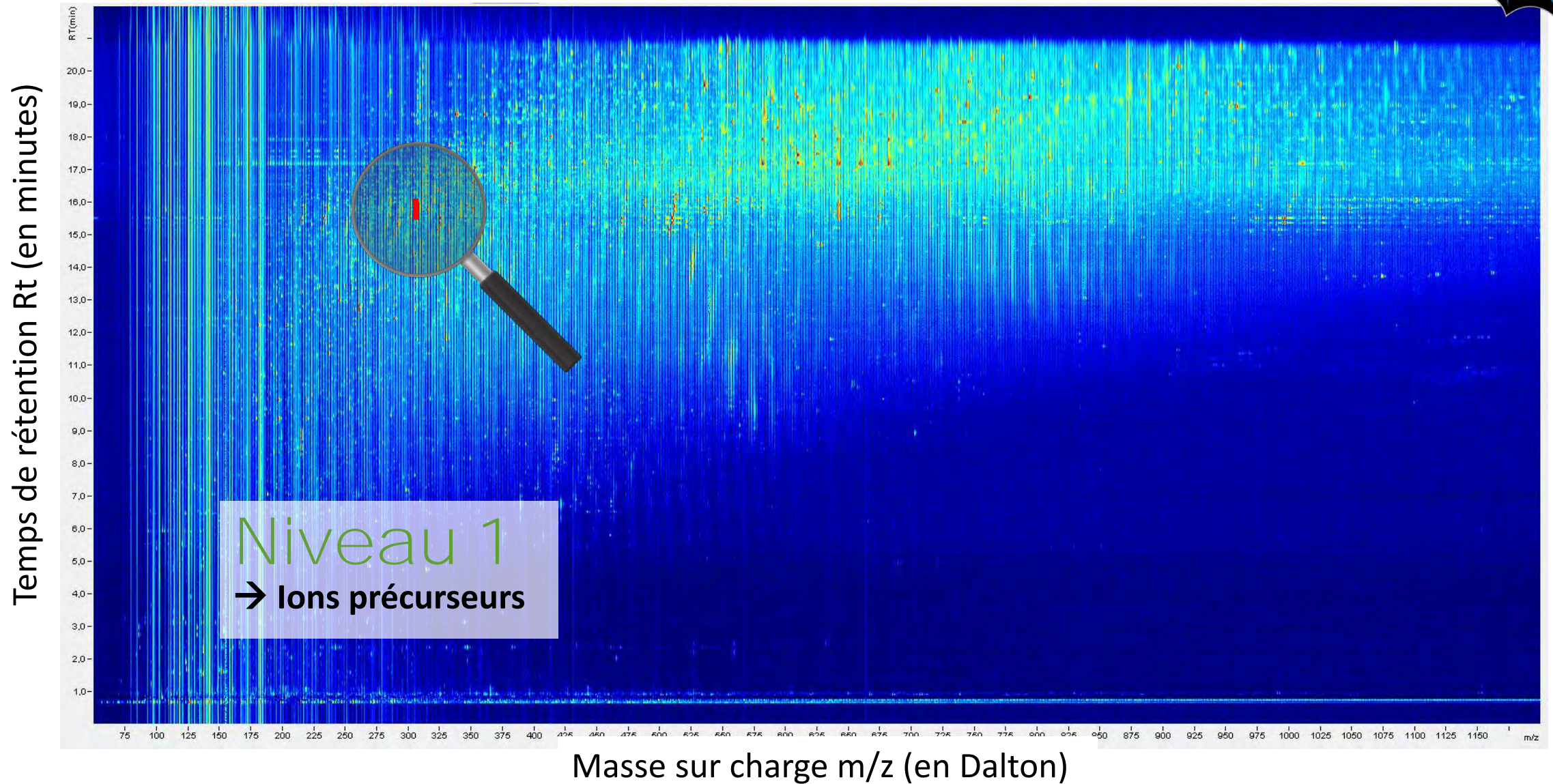
Question méthodologique
Comment réaliser de l'analyse non ciblée sur des échantillons sédimentaires ?



Verrous : Extraction
Traitement des données en non ciblé
Bases de données pour l'analyse suspectée



Complexité des données HRMS

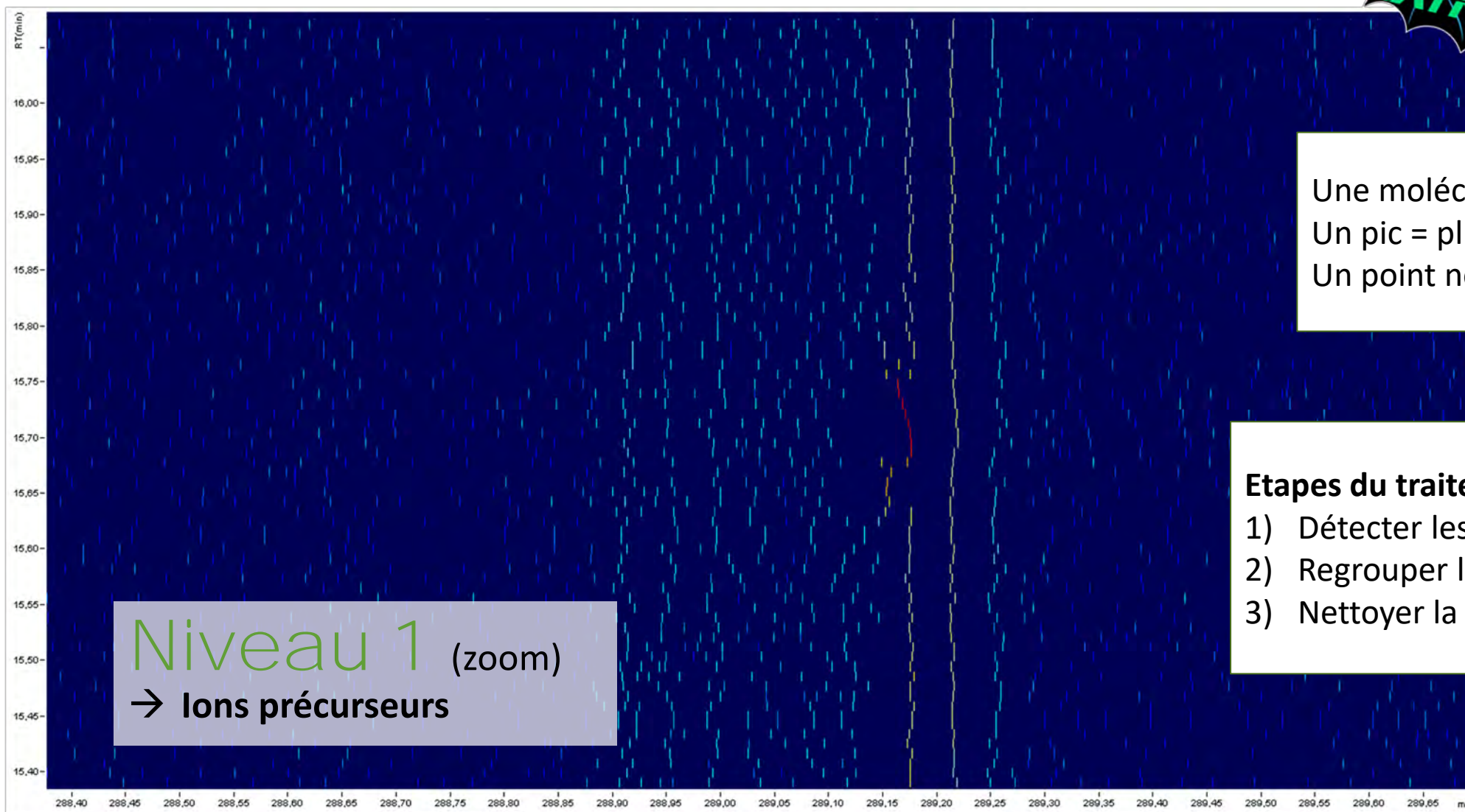


Observation des données brutes des m/z acquis en fonction du Rt

Complexité des données HRMS



Temps de rétention Rt (en minutes)



Une molécule = plusieurs pics
Un pic = plusieurs points
Un point noyé dans le bruit ?

Etapes du traitement de données :

- 1) Détecter les pics
- 2) Regrouper les pics
- 3) Nettoyer la liste de composés

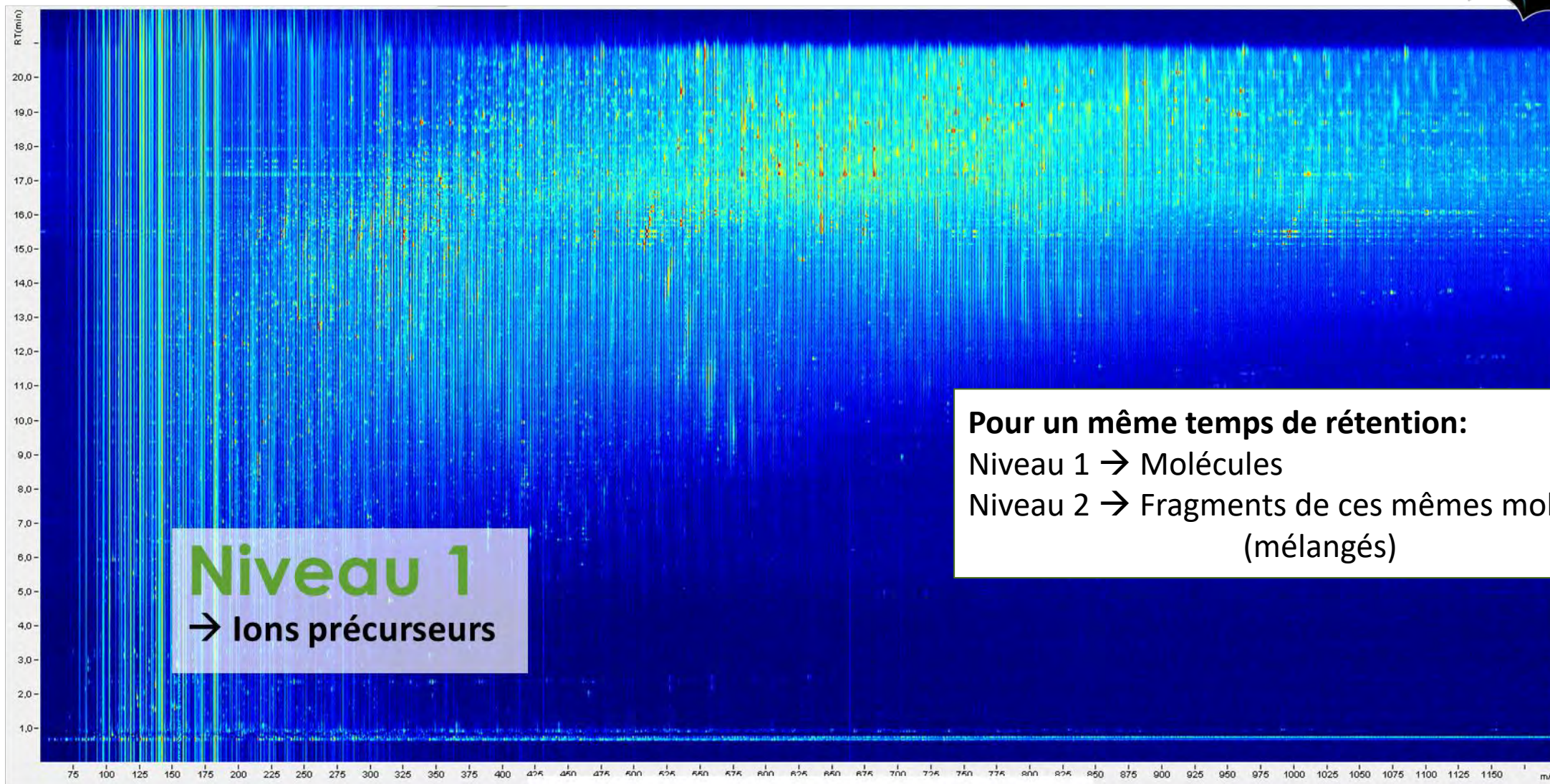
Masse sur charge (en Dalton)

Observation des données brutes des m/z acquis en fonction du Rt (zoom)

Complexité des données HRMS



Temps de rétention Rt (en minutes)



Niveau 1
→ Ions précurseurs

Pour un même temps de rétention:
Niveau 1 → Molécules
Niveau 2 → Fragments de ces mêmes molécules
(mélangés)

Masse sur charge m/z (en Dalton)

Observations des données brutes des m/z acquis en fonction du Rt

Objectifs et verrous

➤ Méthodologie



Objectif

Développer un protocole non spécifique pour extraire une gamme très large de micropolluants dans les sédiments

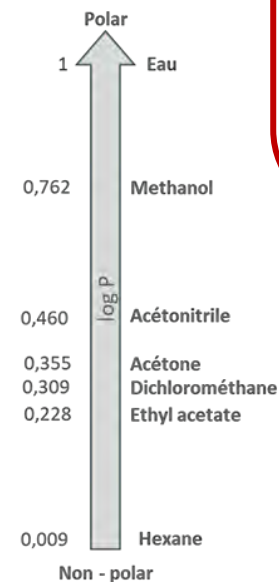
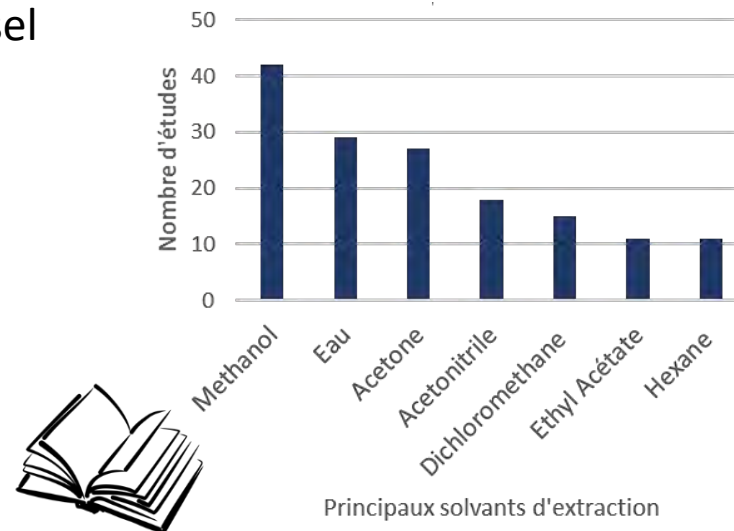
(les moins explorés, analysés par LC)



Verrous

Pas de protocole universel

Choix du solvant



Sédiments

Extraction

≈ 15 protocoles différents faisant varier

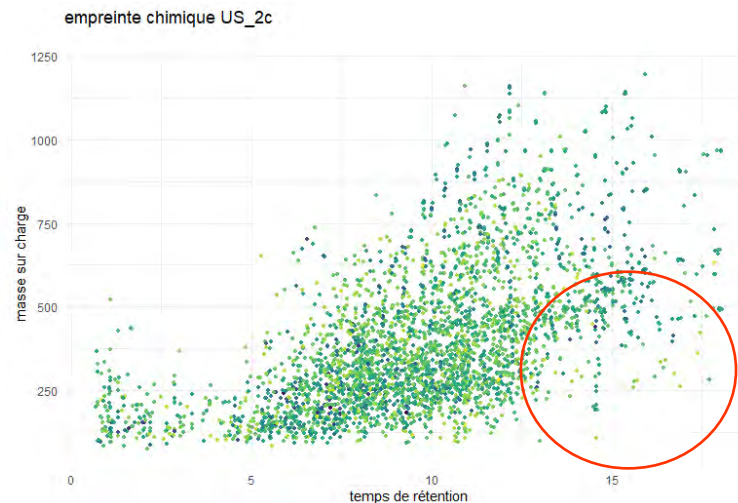
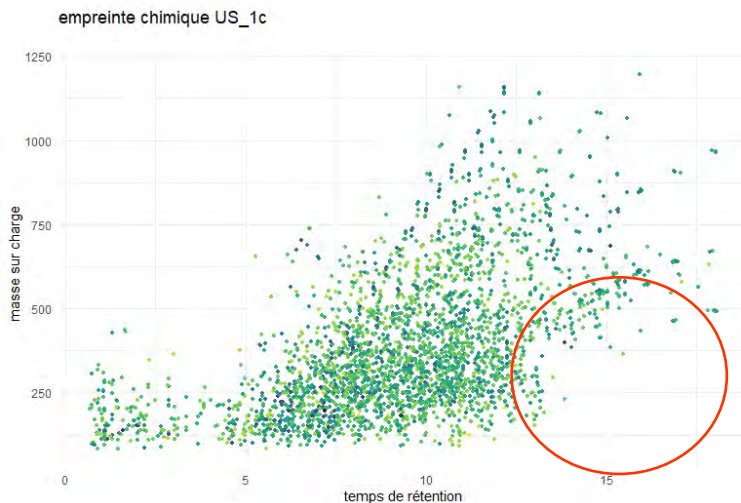
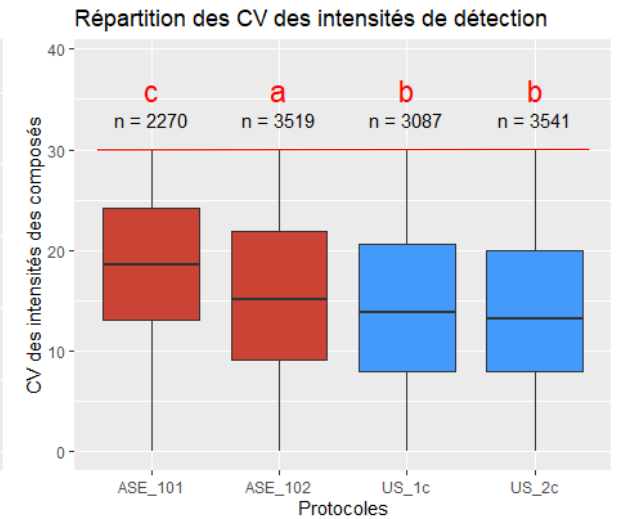
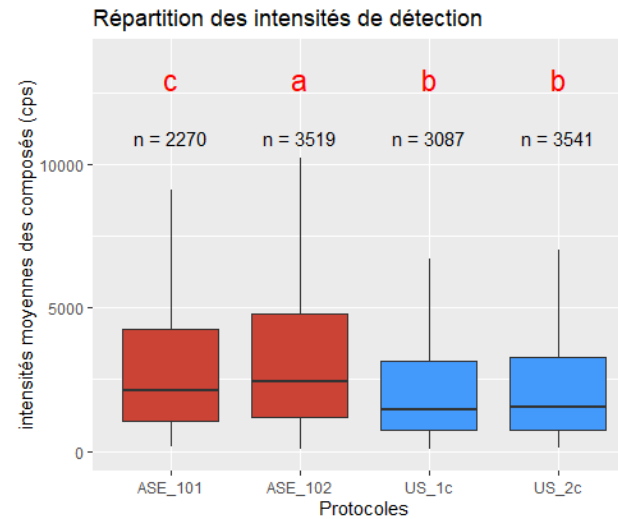
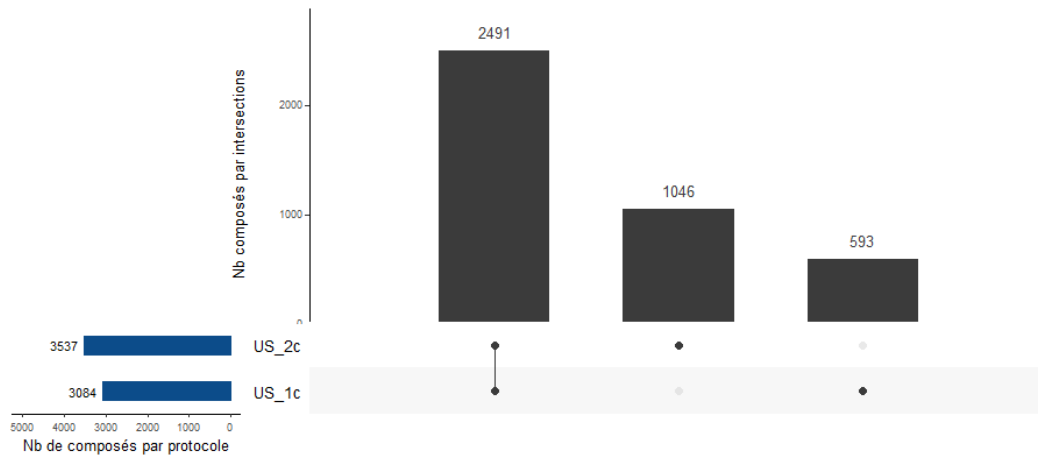
- Technique d'extraction
- Température
- Nombre de cycles d'extractions
- Prise d'essai
- Purification
- Dilution

Analyse LC-ESI+-HRMS

Traitement des données
en non ciblé

Protocole d'extraction

Résultats : 1 ou 2 cycles d'extractions



US_2c = Ultrasons, 2 cycles
US_1c = Ultrasons, 1 cycle
ASE_102 = Extraction par liquide pressurisé à 100°C, 2 cycles
ASE_101 = Extraction par liquide pressurisé à 100°C, 1 cycle

2 cycles
➔ + de composés
➔ + intenses
➔ - de variabilité
➔ Meilleure couverture m/z Rt

Protocole d'extraction

Synthèse

	Cycles 1 vs 2	Température 50 vs 100°C	Purification Oui vs Non	Prise d'essai 0,5g vs 1g	Dilution ND D2 D5 D10	Technique ASE vs US
Nombre total de composés	2	=	=	1g	Dilution	=
Diagramme de quartiles sur l'intensité Efficacité	2	=	Purification	1g	Dilution	ASE
Diagramme de quartiles sur le CV* Fiabilité	2	100°C	=	0,5g	D2 - D5	US
Diagramme de Venn Similarité	=	=	=	=	Dilution	=
Empreintes chimiques Couverture m/z Rt	2	50°C	Purification	=	Dilution	ASE
Facteurs pratiques et écologiques	1	50°C	Purification	0,5g	Dilution	US

→ Extraction aux ultrasons, 2 cycles, 0.5g de prise d'essai, sans purification ni dilution

Objectifs et verrous



Objectifs

Balayer la présence d'un grand nombre de molécules
Les identifier (nom) et donner un niveau de confiance



Verrous

Manque d'informations sur les composés
→ comment ils se fragmentent ?
Pas de base de données spécifique aux sédiments
→ Quels contaminants dans les sédiments ?

➤ Méthodologie

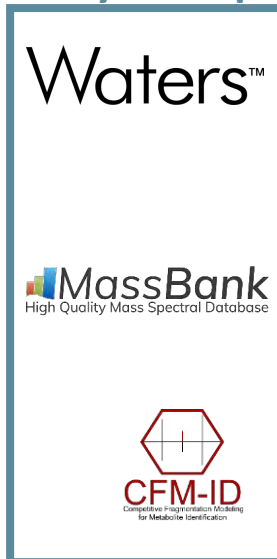
Analyse ciblée



Standards du labo (≈ 100 composés)
Fragments + temps de rétention

1

Analyse suspectée



Base de données Waters (≈ 3 000)
Fragments « constructeurs »

2 +

Base de données MassBank (≈ 2 000)
Fragments publics

2 -

Fragments prédits

3



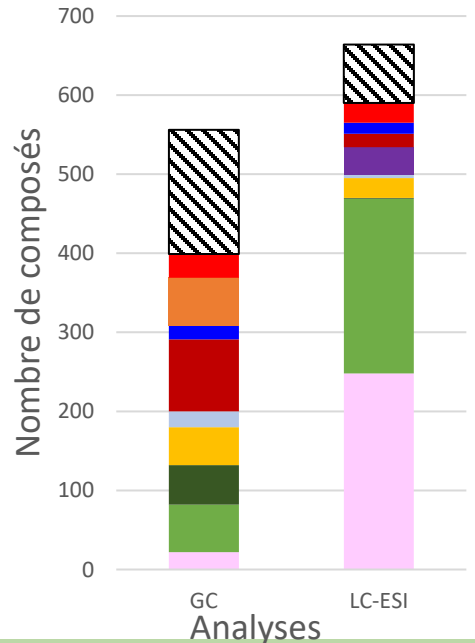
Base de données NORMAN (≈ 100 000)
Pas de fragments

4 - 5

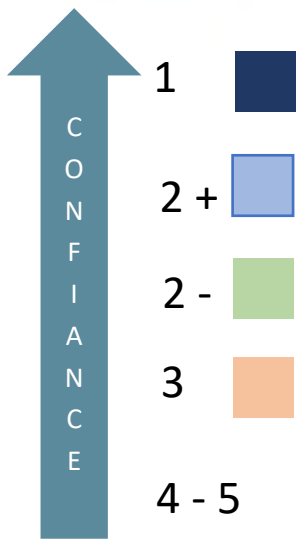
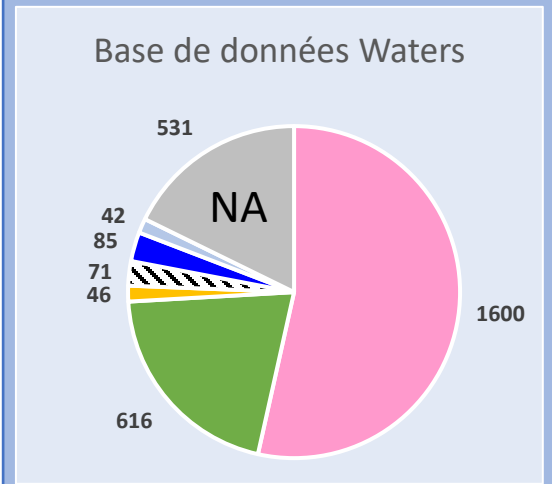
Analyse non ciblée

Bases de données

- Pharmaceutiques, drogues et métabolites
- Pesticides (CECs)
- ~~Pesticides organochlorés~~
- Cosmétiques (PCPs)
- Hormones
- ~~Perfluorés (PFAS)~~
- ~~Hydrocarbures~~
- Plastifiants
- ~~polychlorobiphényles (PCB)~~
- Retardateurs de flammes
- Industriels et autres



2991 composés



MassBank
High Quality Mass Spectral Database

2062 composés

Bibliographie

LC* 663 composés

Standards ≈ 100 c

505 c couverts

158 c à prédire

GC* 494 composés

CFM-ID

*LC = composés analysés au moins une fois en LC
*GC = composé **uniquement** analysés en GC



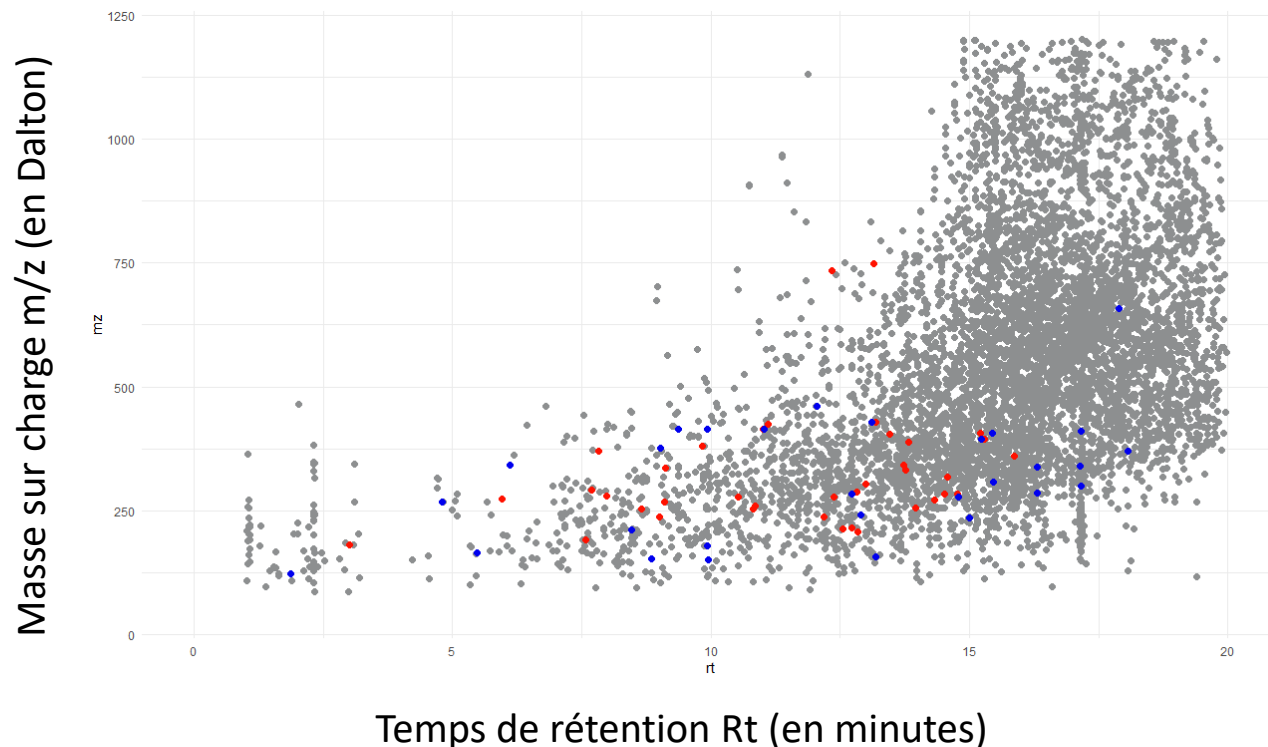
Perspectives

Environnementales

- Appliquer aux échantillons environnementaux
 ➔ MES du Rhône et carottes
- Déterminer des tendances spatio-temporelles

Analytiques

- Trouver de meilleures façons d'illustrer les résultats non ciblés et prendre en compte les intensités (Traitement statistiques, nouveaux indices, heatmaps ...)
- Optimiser le temps de traitement des données pour le suspecté



Empreinte chimique, MES Saône Mars 2022

Analyse et traitement ciblé
≈ 100 composés recherchés

Analyse HRMS + Traitement suspecté
≈ 4000 composés balayés

Analyse HRMS + Traitement non ciblé
1 000 – 10 000

Objectifs et verrous



Objectifs

Dresser une liste de composés présents dans l'échantillons

→ Exhaustive

→ Sans faux positifs

Un composés = m/z, Rt et intensité



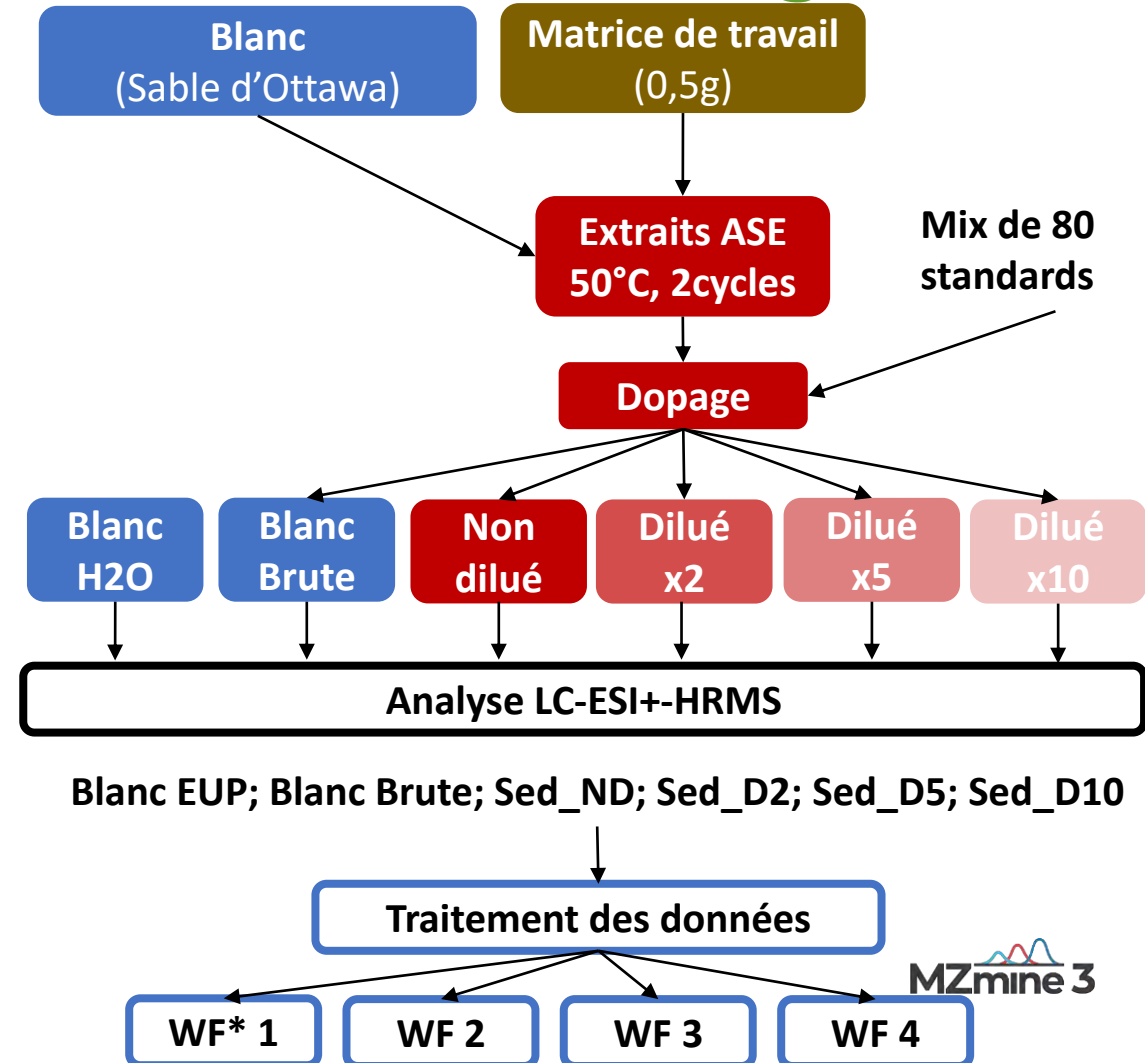
Verrous

Complexité des données HRMS

Peu d'étude sur l'analyse par approche non ciblée sur les sédiments

Workflow = suite d'étapes/algorithmes

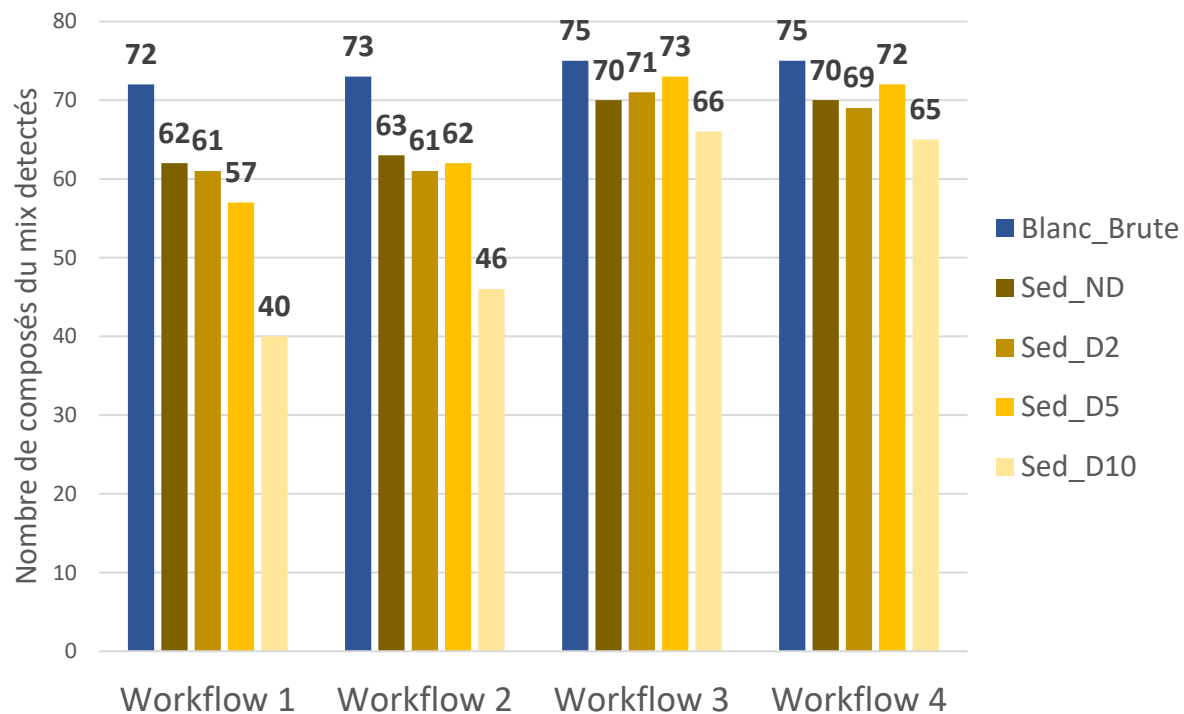
➤ Méthodologie



Traitement non ciblé des données

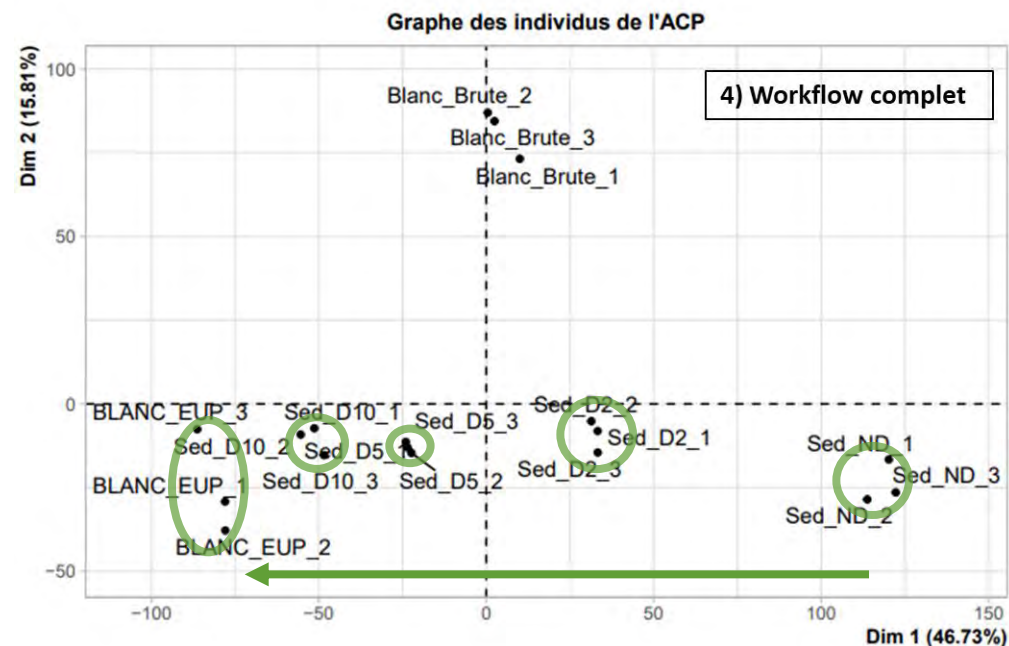
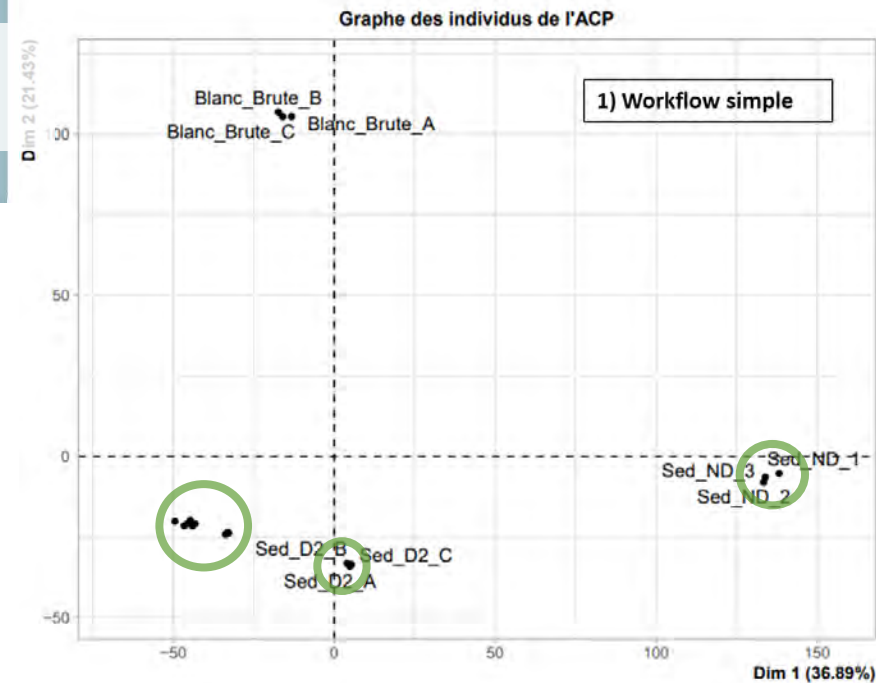
Résultats

Composés du mix détectés



Les workflows plus complexes

- ➔ récupèrent plus de composés du mix
- ➔ ont une liste de composés détectés totaux plus réduite
- ➔ offrent une meilleure interprétation statistique



Séminaire scientifique

Flux polluants écotoxicologie et écosystèmes

5 octobre 2023 - Villeurbanne

Raphael Santos

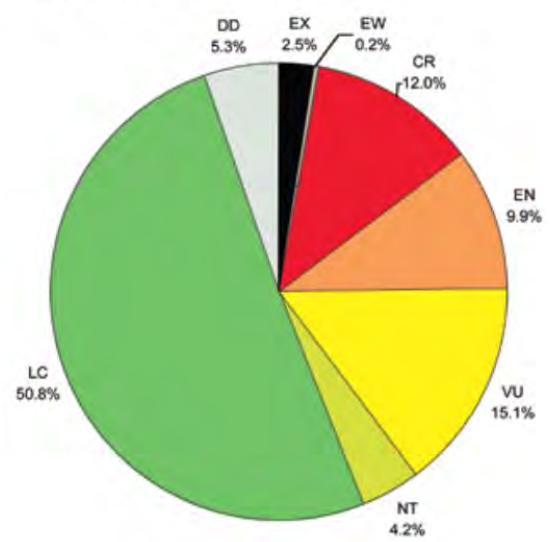
Impact des composés génotoxiques sur la
démographie des espèces aquatiques

Avec le soutien de :



Les poissons d'eau douce sont considérés comme le second taxon le plus menacé d'extinction en Europe

Figure 3. IUCN Red List status of freshwater fishes: Europe. See Table 2 for abbreviations

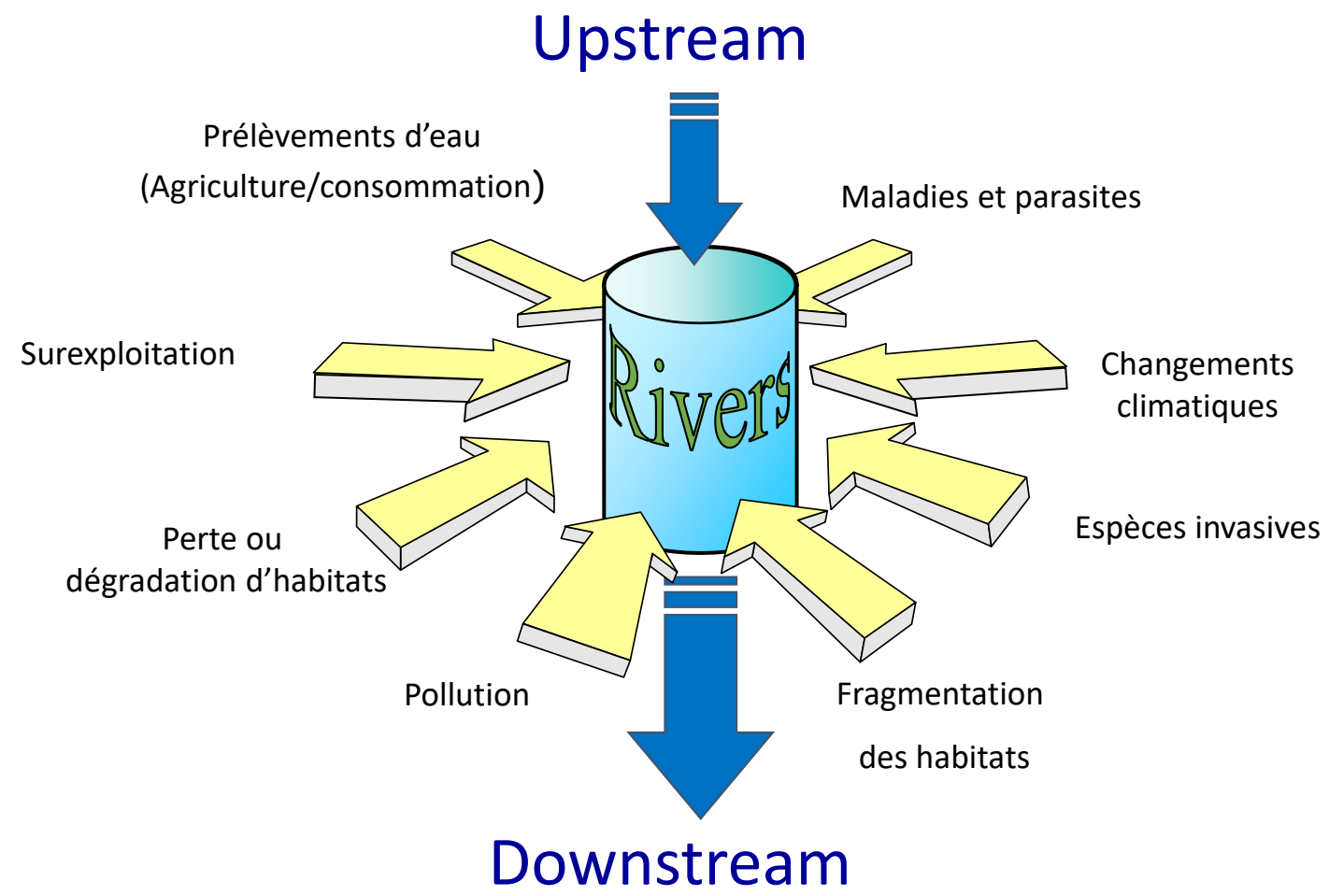


194 espèces (37 %) sont menacées d'extinction (VU / EN / CR)

14 espèces déjà éteintes dans l'environnement

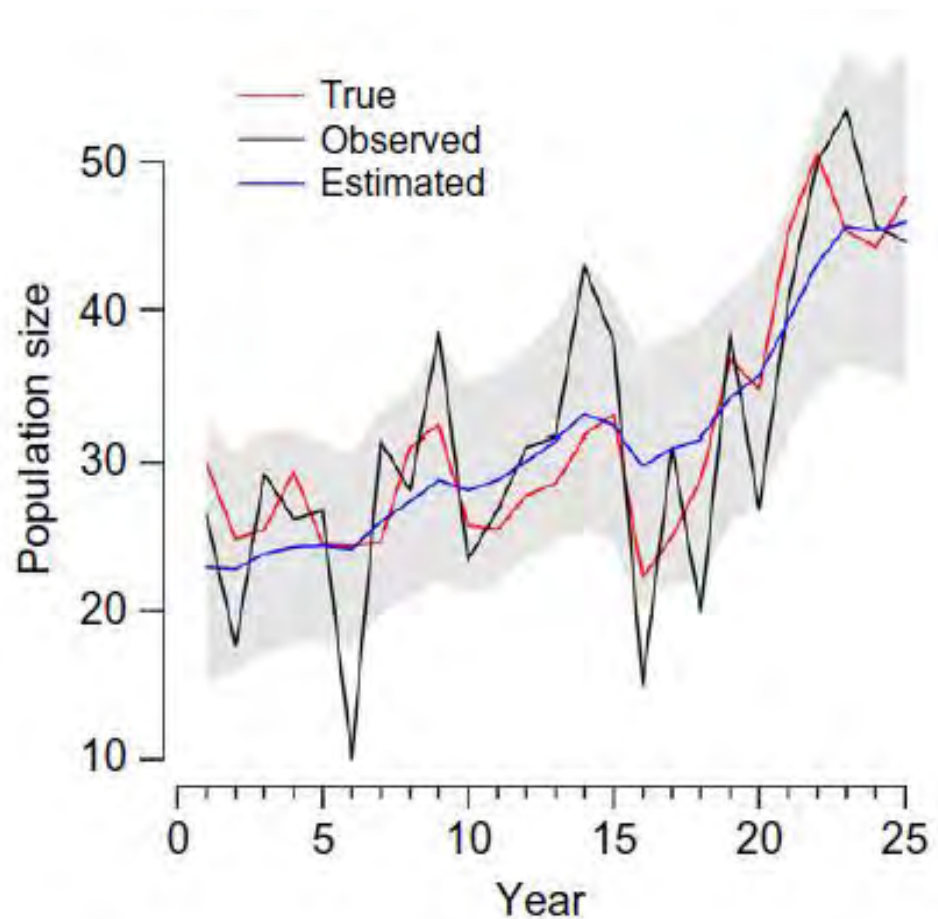
IUCN Red List categories	No. species Europe (no. endemic species)	No. species EU 27 (no. endemic species)
Extinct (EX)	13 (13)	10 (10)
Extinct in the Wild (EW)	1 (1)	0
Regionally Extinct (RE)	0	0
Critically Endangered (CR)	63 (53)	48 (39)
Endangered (EN)	52 (49)	43 (37)
Vulnerable (VU)	79 (75)	59 (55)
Near Threatened (NT)	22 (20)	16 (16)
Least Concern (LC)	266 (188)	185 (88)
Data Deficient (DD)	28 (26)	21 (18)
Total	524 (425)	382 (263)

Family	Species	Red List status Europe	Red List status EU 27	Included in BC and/or HD Annexes
CYPRINIDAE	<i>Romanogobio antipai</i>	EX*	EX*	Yes
GASTEROSTEIDAE	<i>Gasterosteus crenobiontus</i>	EX*	EX*	No
SALMONIDAE	<i>Coregonus bezola</i>	EX*	EX*	Yes
SALMONIDAE	<i>Coregonus fera</i>	EX*	EX*	Yes
SALMONIDAE	<i>Coregonus gutturosus</i>	EX*	EX*	Yes
SALMONIDAE	<i>Coregonus hiemalis</i>	EX*	EX*	Yes
SALMONIDAE	<i>Coregonus oxyrinchus</i>	EX*	EX*	Yes
SALMONIDAE	<i>Coregonus restrictus</i>	EX*	EX*	Yes
SALMONIDAE	<i>Salvelinus neocomensis</i>	EX*	EX*	No
SALMONIDAE	<i>Salvelinus profundus</i>	EX*	EX*	No
CYPRINIDAE	<i>Chondrostoma scodrense</i>	EX*	NA	No
CYPRINIDAE	<i>Telestes ukliva</i>	EX*	NA	No
PETROMYZONTIDAE	<i>Eudontomyzon sp. nov. 'migratory'</i>	EX*	NA	No
SALMONIDAE	<i>Stenodus leucichthys</i>	EW*	NA	No





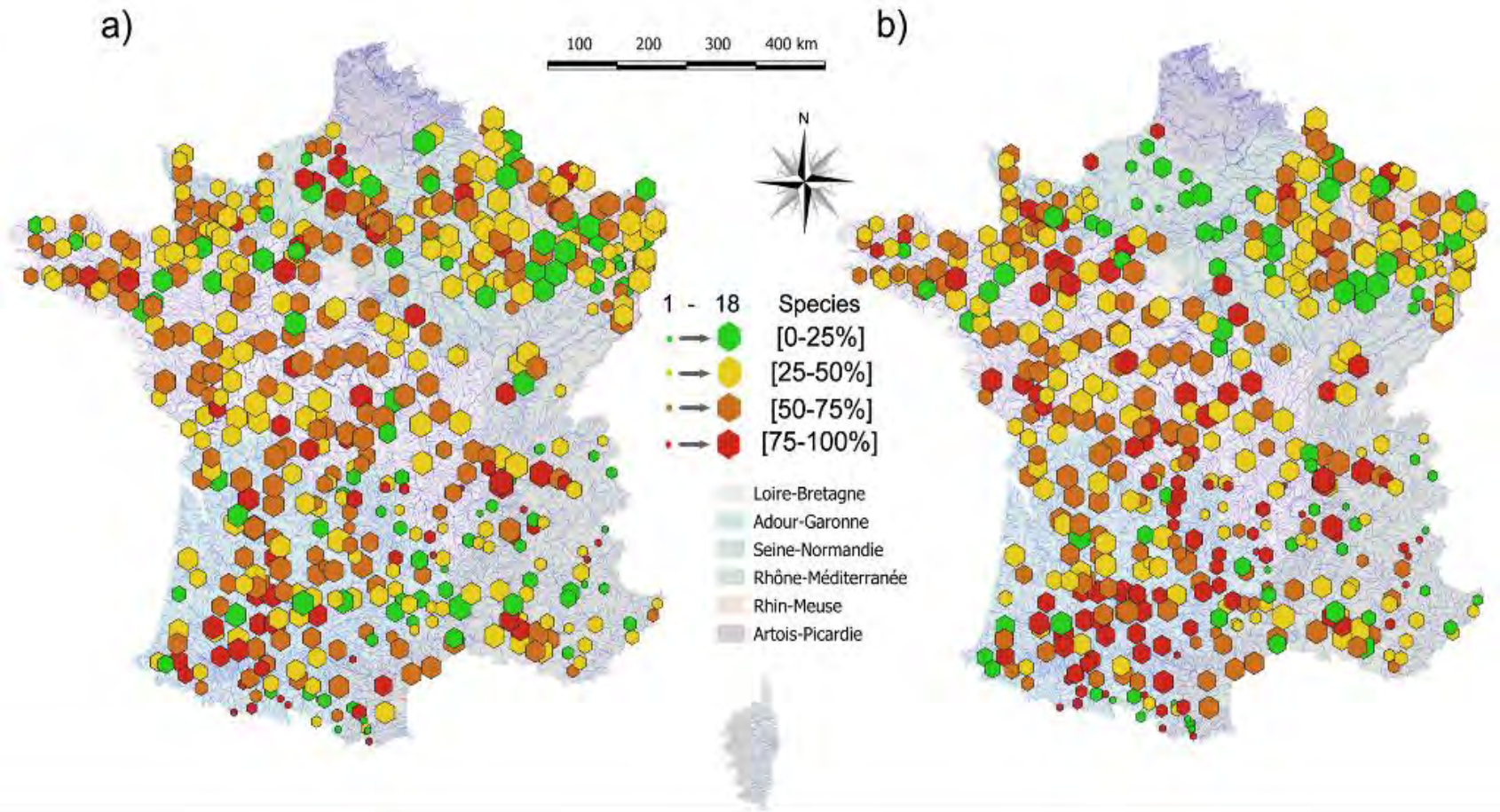
Estimer la dynamique temporelle des populations



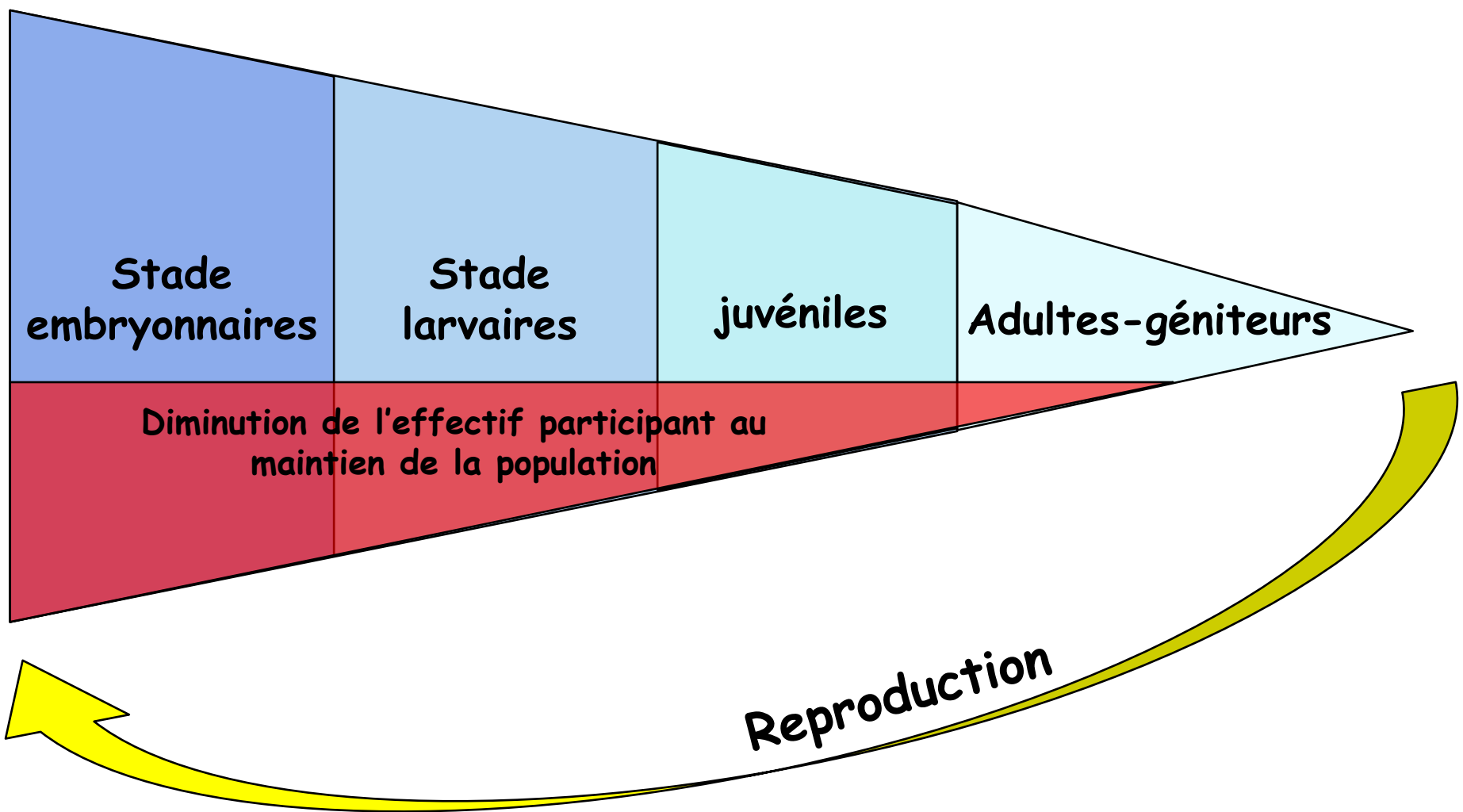
From Schaub & Kéry, 2012



Pourcentage des espèces piscicoles communes présentant une tendance négative en abondance a) et biomasse b)



Les causes des déclin doivent être mieux déterminées pour atténuer les pressions et favoriser la résilience des espèces concernées.





Etude de la survie embryo-larvaire et d'anomalies de développement expliquant une perturbation de la dynamique des populations de poissons pouvant conduire à un déclin piscicole :

Hareng du Pacifique (*Clupea pallasii*) : Carls *et al.*, 2002

Blennie (*Zoarces viviparus*) : Gercken *et al.*, 2006

Anguille (*Anguilla anguilla*) : Palstra *et al.*, 2006

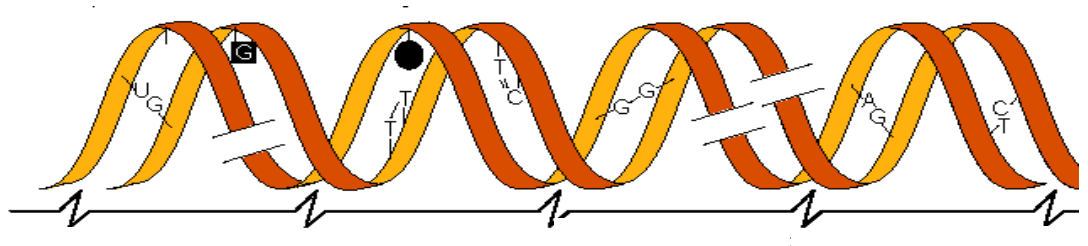
Truite fario (*Salmo trutta*) : Burkhardt-Holm et Scheuer, 2007



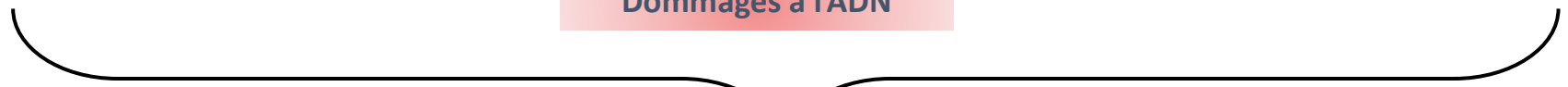
Devaux *et al.*, 2011
Gercken *et al.*, 2006



Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) Pesticides Produits pharmaceutiques Métaux lourds



Domages à l'ADN



Cassures à l'ADN

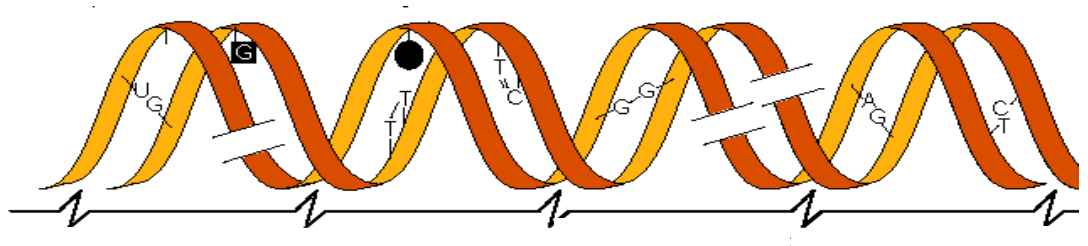
Oxydation de bases

Adduits à l'ADN

Systèmes de réparations de l'ADN



Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) Pesticides Produits pharmaceutiques Métaux lourds

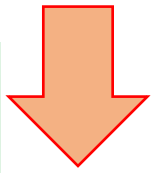
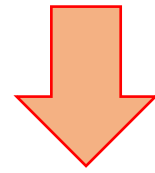


Domages à l'ADN

Cassures à l'ADN

Oxydation de bases

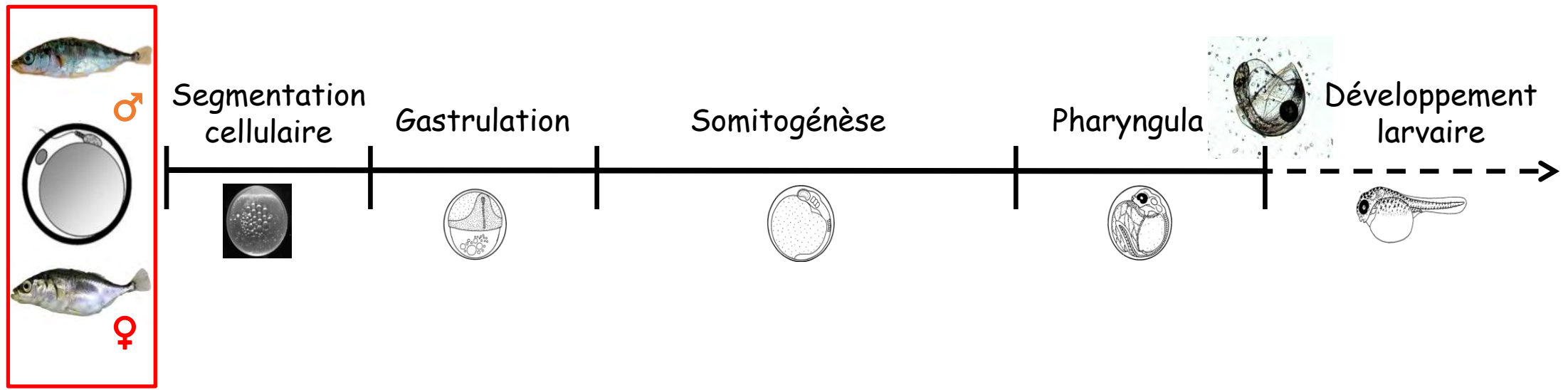
Adduits à l'ADN



~~Systèmes de réparations de l'ADN~~

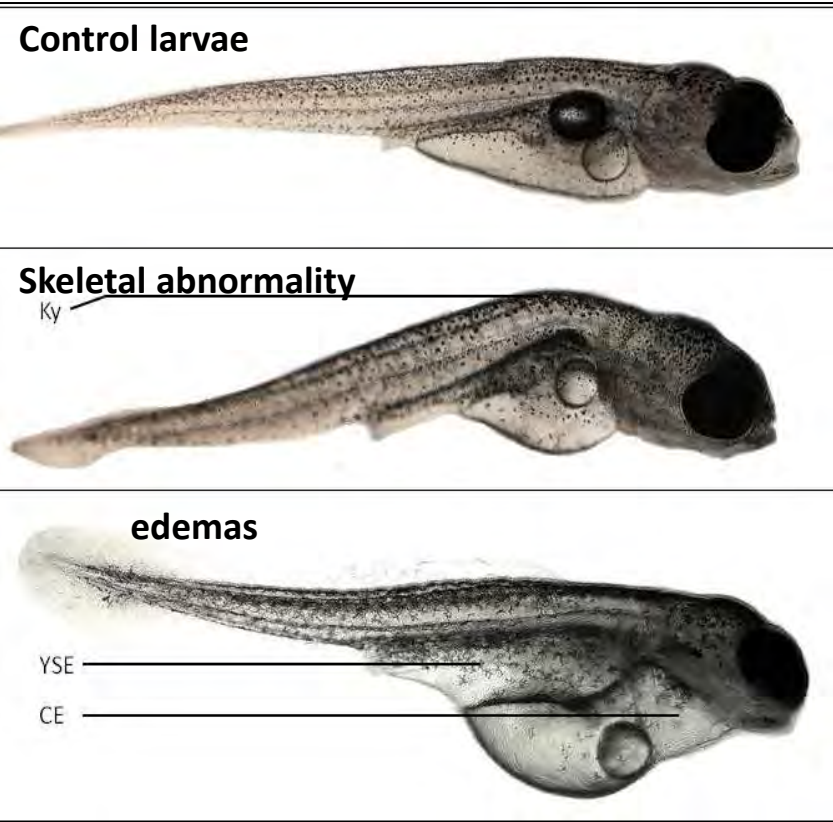
Impacts sur les individus exposés

Impacts sur la descendance





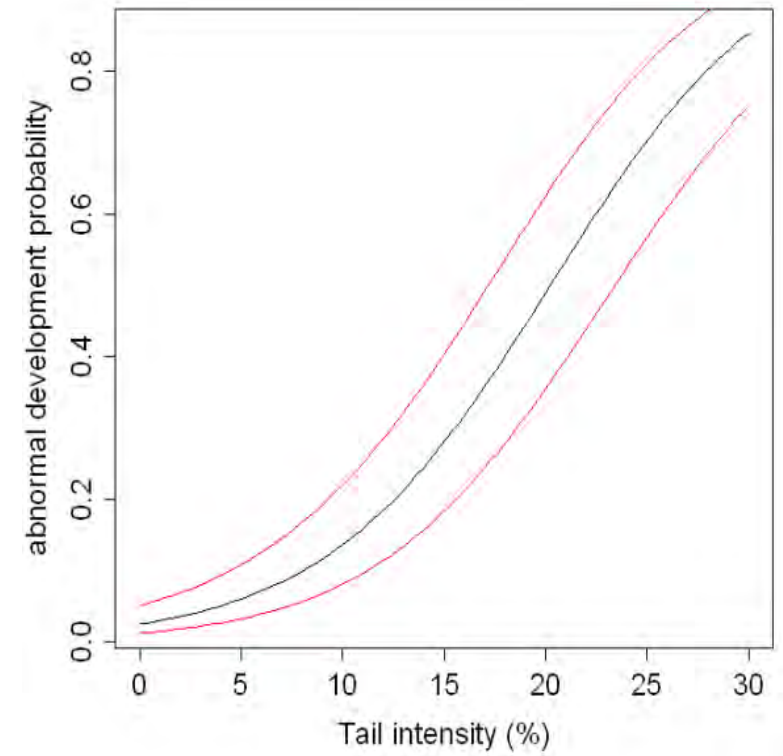
Laboratory experiments



Morphological abnormalities of three spined stickleback larvae. **CE** : cardiac edema ; **Ky** : kyphosis ; **YSE** : yolk sack edema

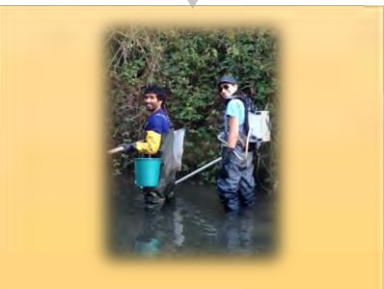


Gasterosteus aculeatus

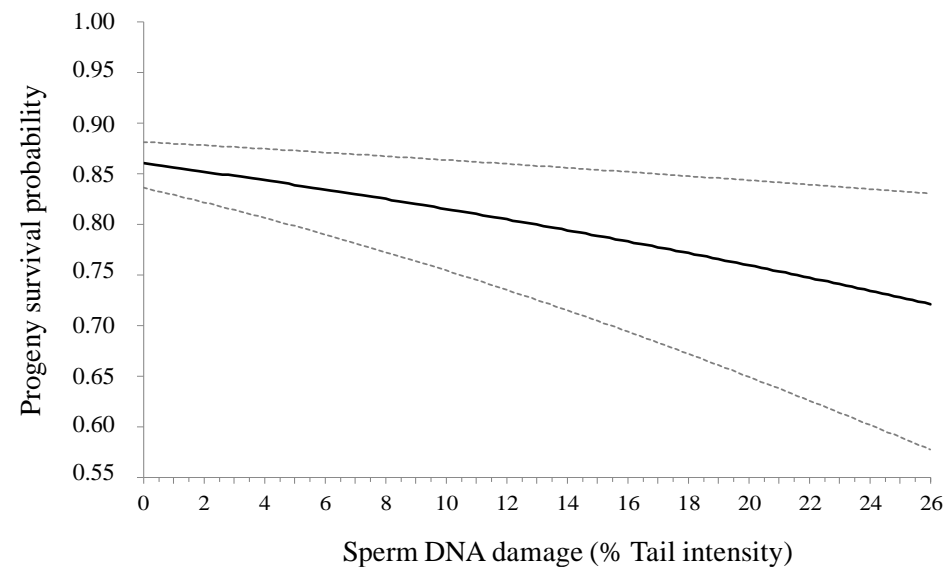
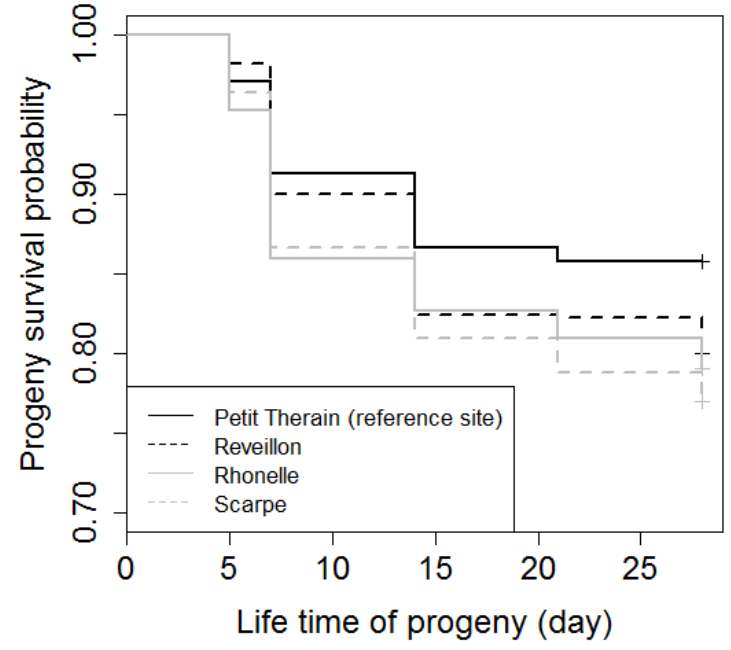




Laboratory experiments



Gasterosteus aculeatus



Petit Therain (reference site) 85 % > Reveillon 80 % > Rhonelle 79 % > Scarpe 77 %

Effet significatif des expositions paternelles sur la descendance au laboratoire mais aussi dans l'environnement



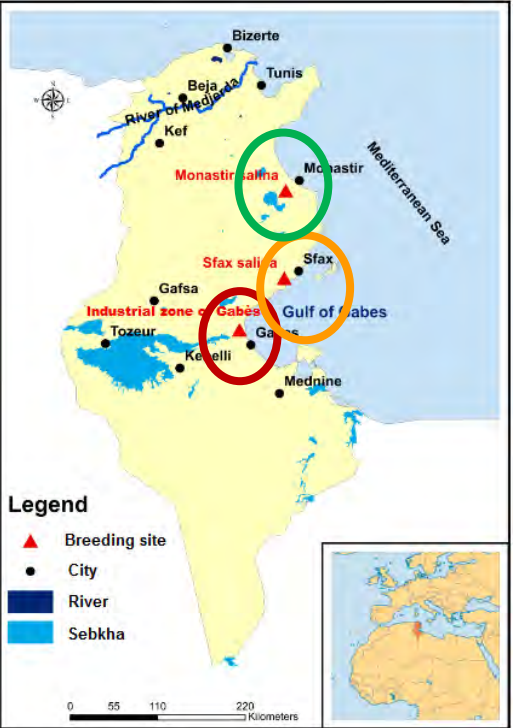
Sterna hirundo (Common tern)



Biomarqueurs de stress oxydant et de génotoxicité:

- Peroxydation lipique (TBARS)
- Activité de la Superoxyde dismutase (SOD)
- Activité de la catalase (CAT)
- Niveau des antioxydants (Vitamines A et E)
- Test des micronoyaux

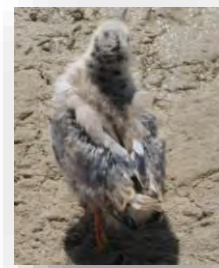
Echantillons de sang sur des poussins de 3 semaines

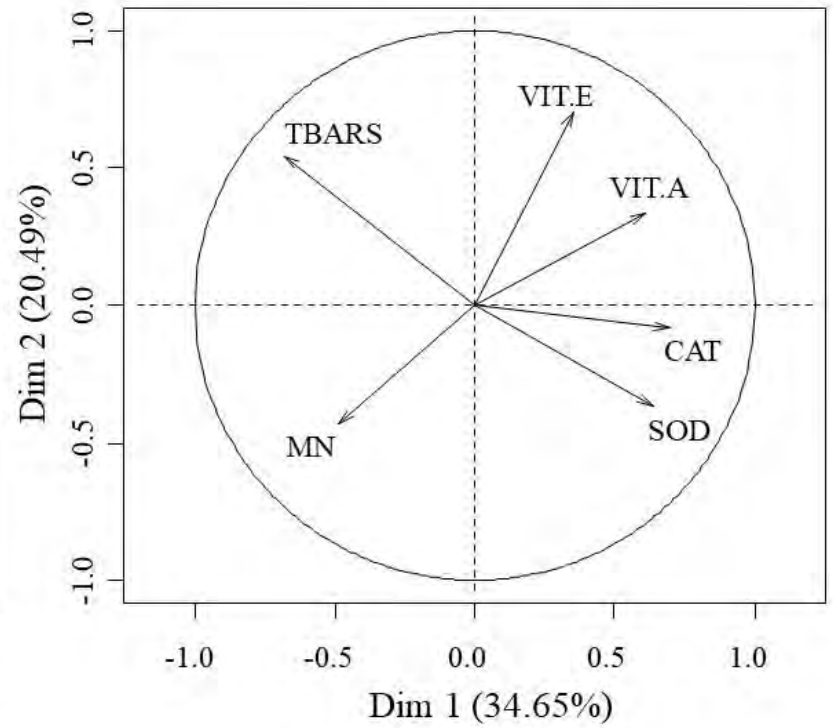
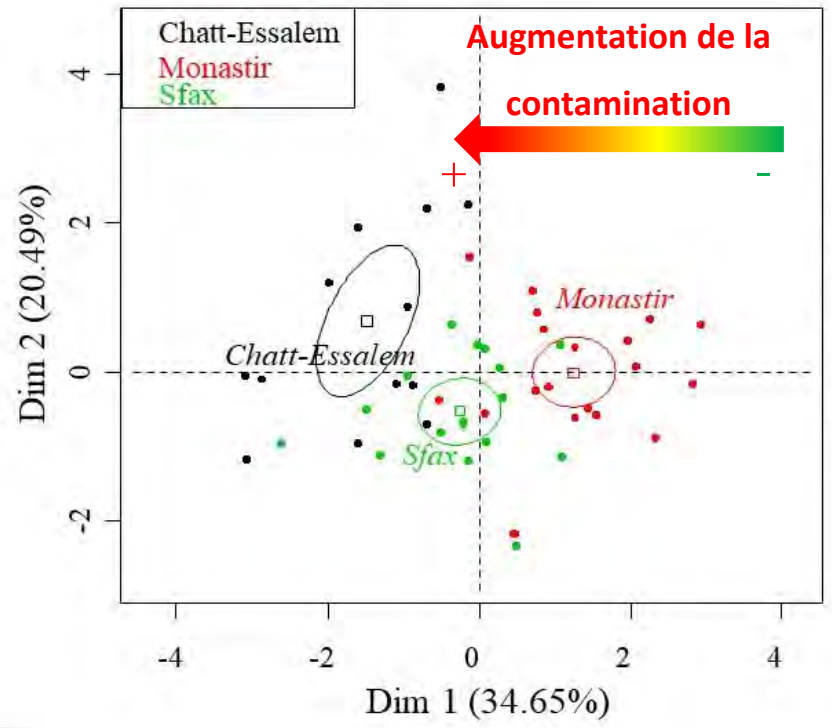
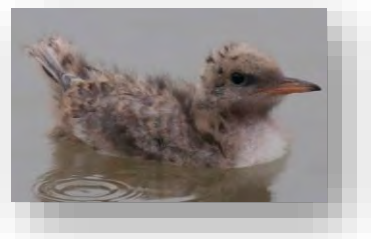


Monastir salina:
Site de référence

Sfax salina :
Site contaminé

Chatt-Essalem :
Site fortement contaminé





Discrimination des poussins en fonction de leur niveau de stress oxydant et de génotoxicité sur un gradient de contamination des sites





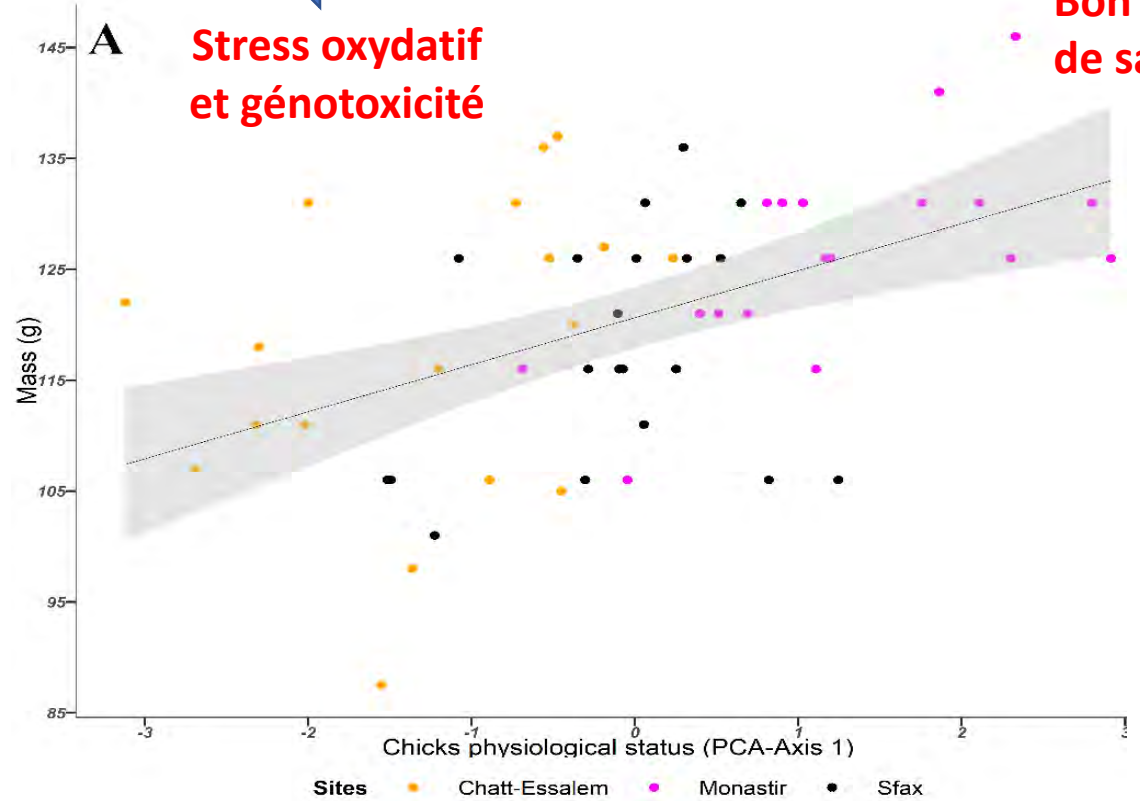
Oudi et al. 2020, Marine Pol. Bull.



Monastir salina:
Site de référence

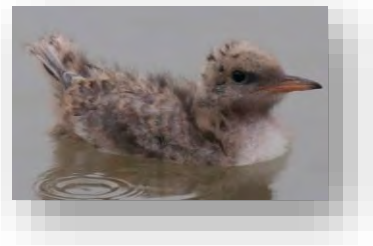
Sfax salina :
Site contaminé

Chatt-Essalem :
Site fortement contaminé



**Relation significative entre l'état de santé des
poussins et leur masse**





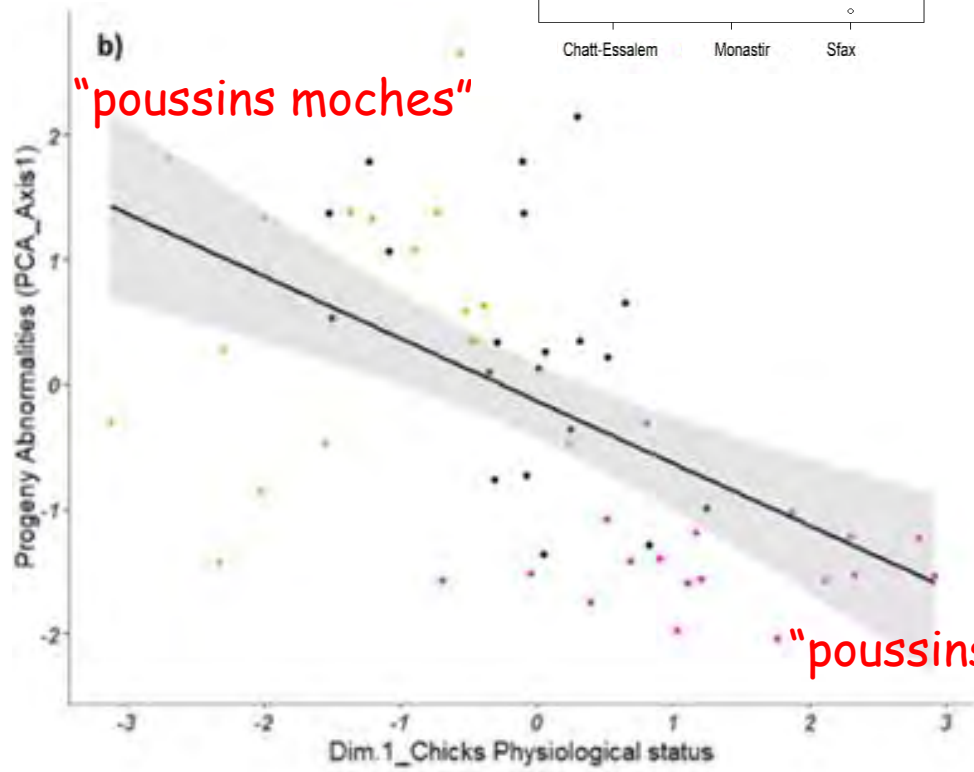
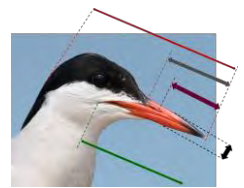
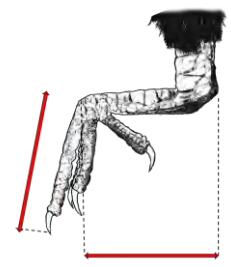
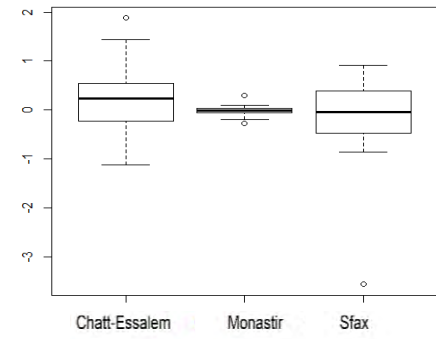
Monastir salina:
Site de référence

Sfax salina :
Site contaminé

Chatt-Essalem :
Site fortement contaminé



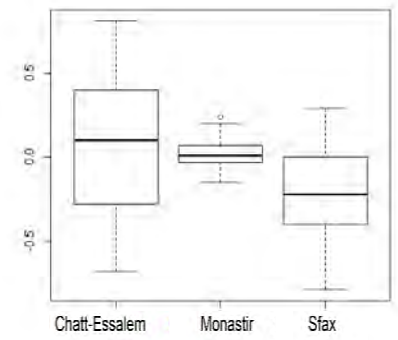
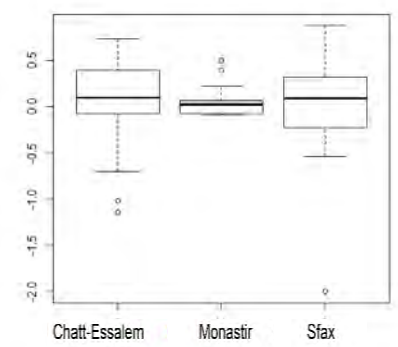
Mesures de l'asymétrie



"poussins moches"

"poussins mignons"

Sites ● Chatt-Essalem ● Monastir ● Sfax





Perspectives

- **Obtenir de l'information sur l'état de santé des organismes aquatiques permet de diagnostiquer des perturbations physiologiques avant que les populations ne déclinent.**
- Indispensable de développer des outils (biomarqueurs) qui sont prédictifs de perturbations de la dynamiques des populations.
- **Mettre plus d'écologie dans notre écotoxicologie pour comprendre quels polluants ou familles de polluants impactent le plus des variables démographiques clés.**



Perspectives

- **Obtenir de l'information sur l'état de santé des organismes aquatiques permet de diagnostiquer des perturbations physiologiques avant que les populations ne déclinent.**
- Indispensable de développer des outils (biomarqueurs) qui sont prédictifs de perturbations de la dynamiques des populations.
- **Mettre plus d'écologie dans notre écotoxicologie pour comprendre quels polluants ou familles de polluants impactent le plus des variables démographiques clés.**

C'est un challenge difficile à relever pour les écotoxicologues qui nous permettra d'améliorer les politiques de gestion/conservation des espèces aquatiques.

Séminaire scientifique

Flux polluants écotoxicologie et écosystèmes

5 octobre 2023 - Villeurbanne

Raphael Santos

Alain Devaux

Sylvie Bony

Wilfried Sanchez

Abir Oudi

Aurélien Besnard

Merci de votre attention

Avec le soutien de :

Séminaire scientifique

Flux polluants écotoxicologie et écosystèmes

5 octobre 2023 - Villeurbanne

Avec le soutien de :



Thème Flux de Polluants Ecotoxicologie, Ecosystèmes (FPEE)

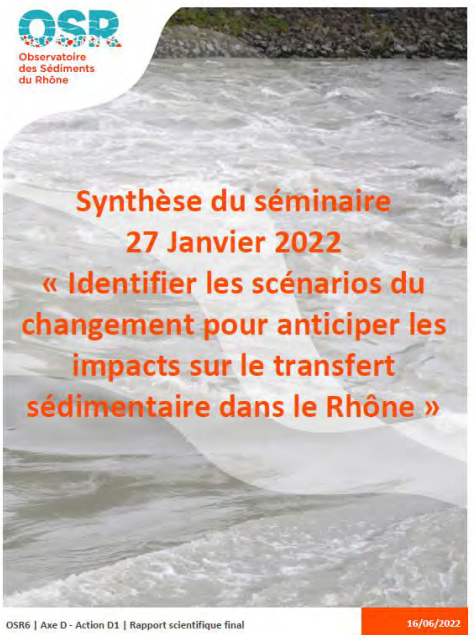
Flux Polluants,
Écotoxicologie
Écosystèmes

Comment les apports multiples de contaminants impactent les milieux aquatiques, la biodiversité et la santé des écosystèmes ? Quelles actions et quels leviers pour les limiter?

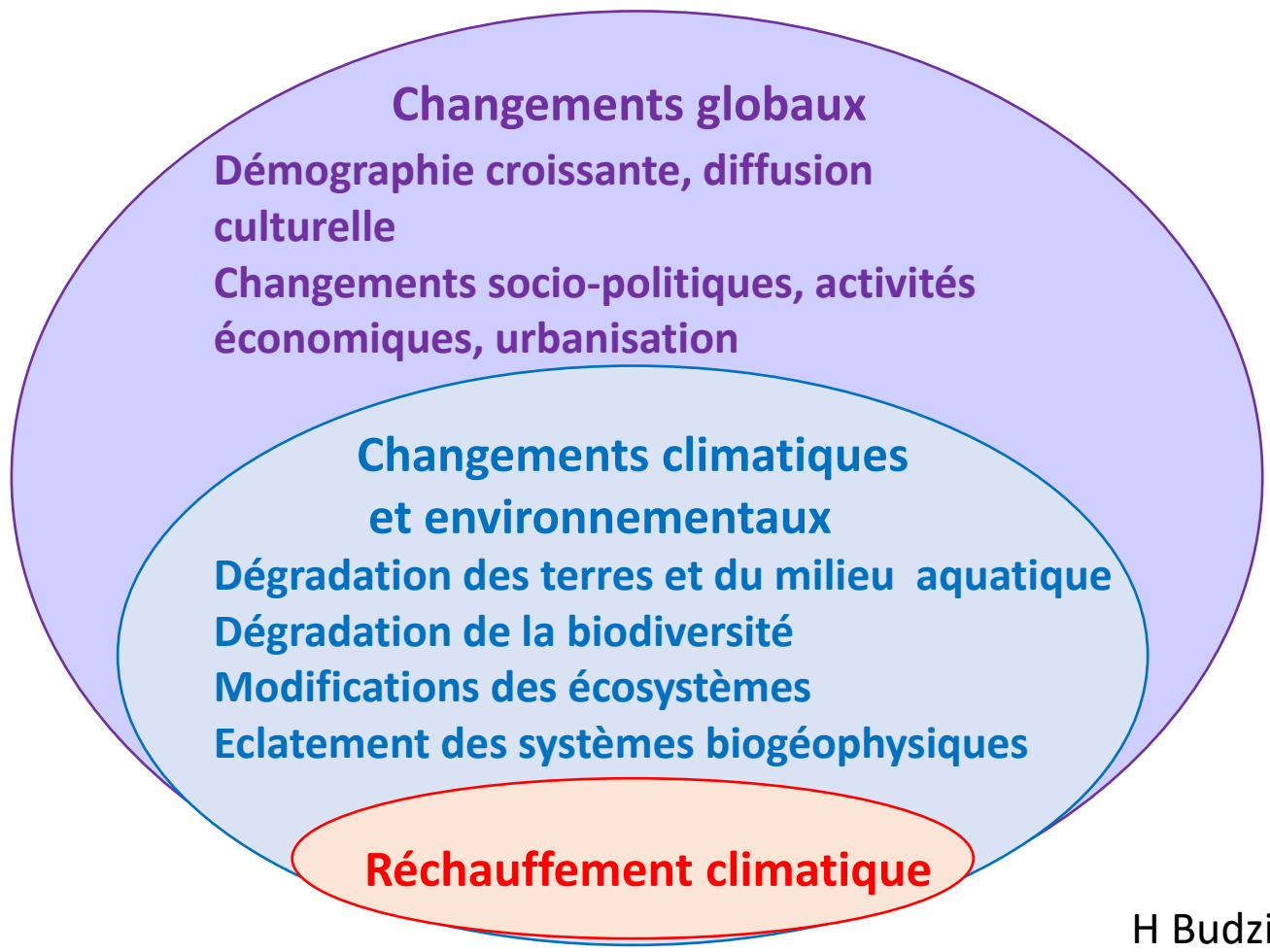
- **Q1** : Comment l'évolution des pratiques et des actions de gestion de l'eau permet de **diminuer les intrants et de réduire les impacts** ?
- **Q2** : Comment les nouveaux polluants, les transformations et remobilisations des polluants historiques, impactent les **communautés et les fonctions de l'écosystème** ?
- **Q3** : Comment les conséquences du **changement climatique** peuvent-ils renforcer ou modifier les effets des polluants sur les organismes, les communautés et les écosystèmes ?



Les termes...



OSR6 | Axe D - Action D1 | Rapport scientifique final 16/06/2022



H Budzinski



Projets passés et en cours

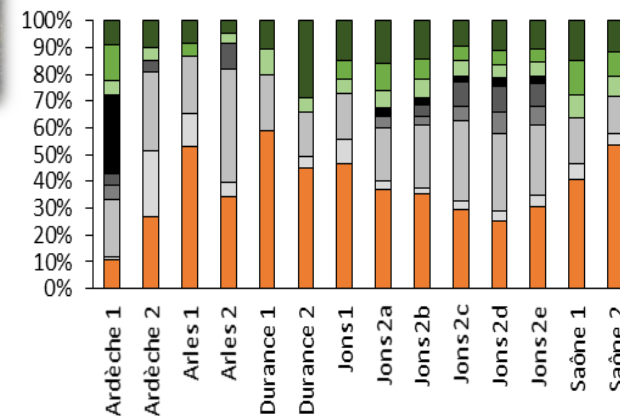
Comment le changement climatique est-il intégré ?

- **CANADER (2019-2020)** - Caractérisation de la nature des particules transportées lors des étiages du Rhône (IRSN, MIO, CEREGE, INRAE)

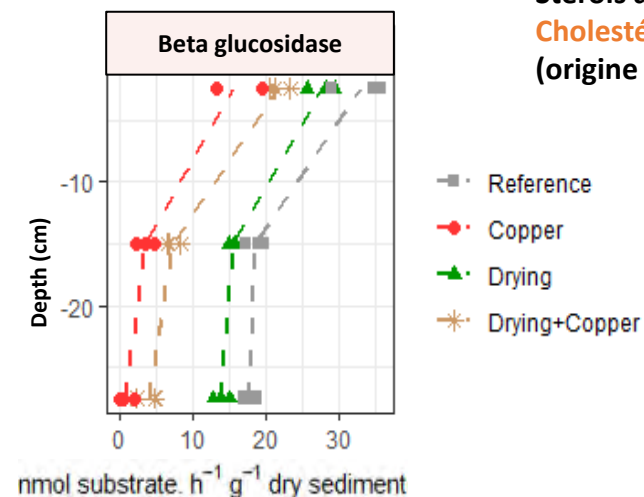
Chimie environnementale, *in situ*, multiplication des épisodes d'étiage

- **Thèse Laura Kergoat (INRAE, 2019-2022)** - Réponses structurelle et fonctionnelle des communautés microbiennes aux stress combinés dans la zone hyporhéique (cuivre + assèchement/colmatage de la zone hyporhéique)

Microbiologie, laboratoire, réponses des communautés microbiennes (assèchement, colmatage + cuivre)



Stérols végétaux supérieurs
Stérols algaux
Cholestérol (non spécifique)
(origine algale et animale)





Projets passés et en cours

Comment le changement climatique est-il intégré ?

- **PATPCB (2022-2023)** - Effets de l'exposition paternelle aux PCB couplés à une hausse de température durant les premiers stades de vie d'un poisson lacustre patrimonial sténotherme froid, l'omble chevalier (USMB-INRAE CARRTEL -EDYTEM)

Ecophysiologie, mésocosme, hausse température, PCB réponses d'une espèce de poisson

- **PlastiOmbl (2023-2024)** - Effets de l'exposition précoce à des particules de plastiques issues de pneu couplés à une hausse de température durant les premiers stades de vie d'un poisson lacustre patrimonial sténotherme froid, l'omble chevalier (USMB-INRAE CARRTEL -EDYTEM)

Ecophysiologie, mésocosme, hausse température, particules plastiques , réponses d'une espèce de poisson





Projets passés et en cours

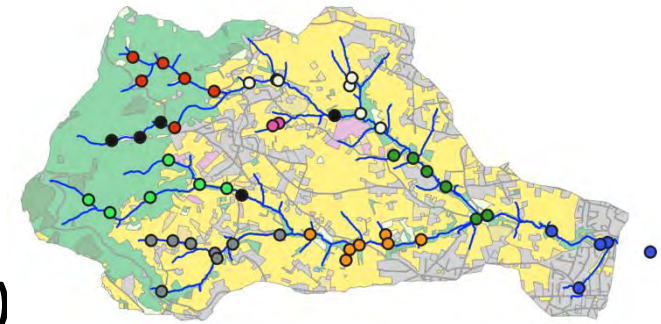
Comment le changement climatique est-il intégré ?

- **POM-PROXY-S (2023-2025)** - Étude de la matière organique particulaire (MOP) comme proxy des impacts du changement climatique sur la qualité de l'eau de la Saône (Université Lyon 1, INRAE)

Biogéochimie, *In situ*, hausse de la température des eaux (modèles), caractérisation de la MOP

- **ANR Chypster (2021-2025)** Integrated biogeochemical, geographical and hydrological approaches to track sources of contaminants in mixed land-use watersheds (INRAE, Université de Grenoble IGE, Vetagro...)

Pluridisciplinaire (Biogéochimie, hydrologie, géographie...) , *In situ* (basin versant) changement de pratiques culturales





Impact du réchauffement climatique sur les pollutions de l'eau /sédiments/sols / organismes ?

Majorité des scientifiques : Synergie entre température et pollutions



✓ Augmentation de la volatilisation (eaux+sols)

=> redéposition (PCB)

✓ Baisse débits

=> augmentation des concentrations en contaminants + relargage de la MO « plus biodisponibles »

Multi stress ?

✓ Augmentation débits
Prise en compte de la fonte glaciaire (apports eau, sédiments, contaminants)

=> remobilisation contaminants historiques

Echelles ?
Labo/in situ

✓ Augmentation de la dégradation par les microorganismes

=> formation de métabolites (toxiques?)

Diversité
Réseau trophique
Fonction ?

✓ Populations, communautés écosystèmes

=> Compétition multi stress augmenterait pollution (pas d'adaptation pour les espèces)



Comment les conséquences du **changement climatique** peuvent-ils renforcer ou modifier les effets des **polluants** sur les organismes, les **communautés** et les **écosystèmes** ?

- Besoin de projets encore plus pluridisciplinaires (chimie=> écologie) ?
- **Besoin d'un site ? Proposer un site atelier et projet commun** – échelle plus grande ?



Quels enjeux ?

Pour l'eau : focus sur le bassin du Rhône.



https://www.youtube.com/watch?v=DQr1MnNn_Ws&t=107s

- Baisse débits , augmentation des concentrations en contaminants
- Augmentation débits : remobilisation contaminants historiques
- Prise en compte de la fonte glaciaire (apports eau, sédiments, contaminants)
- Augmentation des processus biotique et abiotique de dégradation des molécules et formation de métabolites (plus toxiques?)

Manque un volet écotoxicologique, fonctionnement de l'écosystème, réseau trophique, dynamique végétale, microbienne, croisement avec les contaminants?

Séminaire scientifique

Flux polluants écotoxicologie et écosystèmes

5 octobre 2023 - Villeurbanne

Avec le soutien de :



Synthèse

Synthèse des discussions qui ont eu lieu sur la question 3 du thème Flux de polluants, Ecotoxicologie, Ecosystèmes : « Comment les conséquences du changement climatique peuvent-ils renforcer ou modifier les effets des polluants sur les organismes, les communautés et les écosystèmes ? », en raison du peu de projets actuels sur cette question.



Introduction

En introduction, il a été évoqué que cette question du changement global était en premier lieu une question de termes employés (climatique changements climatiques, et environnementaux, changements globaux) et que cette question pouvait être abordée par différents aspects (changements socio-politiques, modification des écosystèmes, urbanisation...).

Certains projets de la ZABR et du thème FPÉE abordent ces questions, mais de manière parcellaire et ce sur différents aspects : la discipline concernée (peu d'interdisciplinaire), les conditions expérimentales des projets (laboratoire, ou mesocosmes, peu d'in situ) les périodes temporelles courtes (2ans max), les modèles ciblés (majoritairement espèces centrées ou populations centrées). Les approches de chimie, d'écotoxicologie, restent dominantes. La complexité des interactions abiotiques et biotiques soumises au réchauffement climatique sont complexes, même si la majorité des scientifiques pensent que l'on a une synergie entre température et pollutions. La remobilisation des polluants historiques ou émergents, leurs métabolites de dégradations, leurs les effets sur les fonctions, la résilience des écosystèmes aquatiques restent complexes . Que faire au sein du thème et de la ZABR ?



- *Olivier Simon de l'IRSN signifiait qu'il y avait des moyens chez eux pour aborder les questions de changement global notamment en lien avec les augmentations température au niveau des centrales nucléaires.*
- *David Gateuil précisait que des initiatives sont en cours proposer cette année un projet ANR sur lacs alpins, mais précisait que ce type de projet pouvait difficilement intégrer le volet contaminant, car trop couteux pour faire l'ensemble des approches (seuls les intrants N, P K..seront considérés)*
- *Marina Coquery proposait de fédérer à l'échelle de la ZABR les équipes scientifiques qui travaillent sur les rivières et le milieu montagnard pour croiser notamment sur les questions de dynamique contaminants et fonte glacier...*
- *Marina Coquery évoquait le besoin de mieux prendre en compte le volet socio-économique et la trajectoire des usages et donc des polluants « du futur », vers où iront nous ? des chances que cela évolue beaucoup. Besoin d'un volet socio en lien avec les « entreprises, industries », comment évoluent-elles (lien avec présentation d'André Marie Dendievel du LEHNA).*
- *Arnaud Chaumot rappelait qu'il entendait surtout que les entrées se faisaient par le volet « dynamique de la contamination » en lien avec changement global et qu'il ne fallait surtout pas oublier « la dynamique des espèces cibles » (ne sert à rien de faire des approches tox/température sur un organisme, qui au final aurait disparu du milieu naturel en lien avec évolution de l'écosystème) – besoin de croiser la dynamique contaminant vs dynamique espèces cibles (changement population).*
- *Raphael Santos rappelait que nous sommes encore loin de tout avoir compris sur l'ensemble des processus liés aux contaminants et qu'il est nécessaire de bien comprendre cela avant de vouloir y ajouter une couche « changement climatique ».*



- L'ensemble des discussions nous montre qu'il faut bien tenter de mieux croiser ces questions des changements globaux, sur le long terme, et ce à travers les différents thèmes de la ZABR. Les impacts sur les différentes échelles biologiques (populations, communautés, écosystèmes) et sur les fonctions seraient notamment à discuter.
- Proposition : organiser un atelier lors du séminaire interne de la ZABR en novembre 2023 pour faire émerger un projet commun inter-thèmes. ON pourrait discuter sur la faisabilité de se focaliser sur un site atelier de la ZABR où l'on pourrait décliner les approches scientifiques des chercheurs de la ZABR (Ex : Site Ardière Morcille ?) et en mutualisant différentes enveloppes lors des appels à projets ZABR.