



**Séminaire scientifique Saône**  
**9 avril 2024 | Dijon**



➤ **Les cours d'eau : révélateurs de la vulnérabilité des bassins versants aux changements globaux**

Florentina MOATAR et collaborateurs  
RiverLy, INRAE, Lyon, France

[florentina.moatar@inrae.fr](mailto:florentina.moatar@inrae.fr)

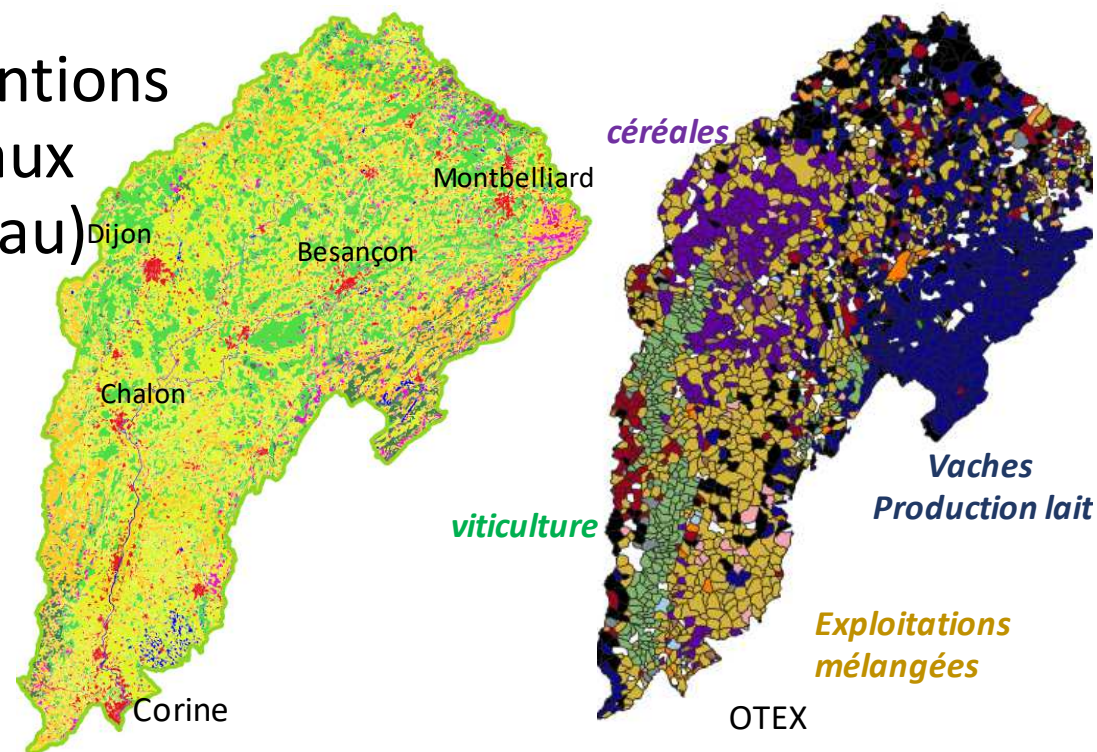
## ➤ Deux grands enjeux du bassin de la Saône

Vulnérabilité des cours d'eau au changement climatique (débits, températures de l'eau, oxygène dissous)



Les temps de réponse et les retentions contrastés des bassins versants aux pollutions diffuses (qualité de l'eau)

*Projet (résultats préliminaires)*



# ➤ Sous influences climatiques

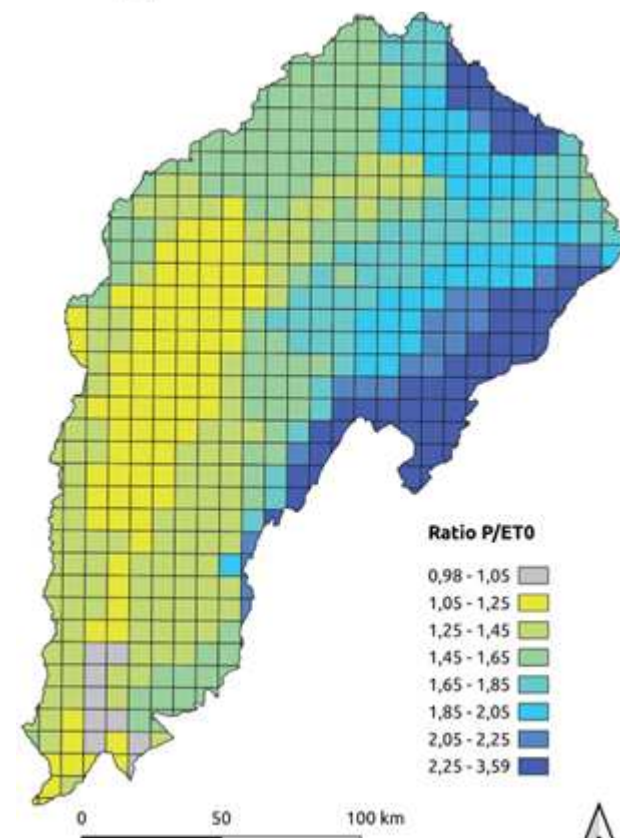
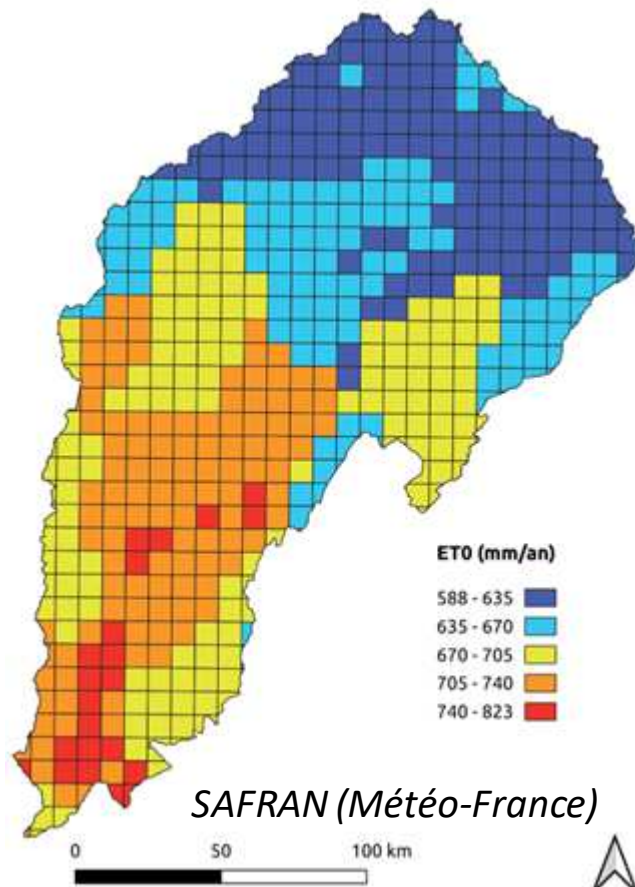
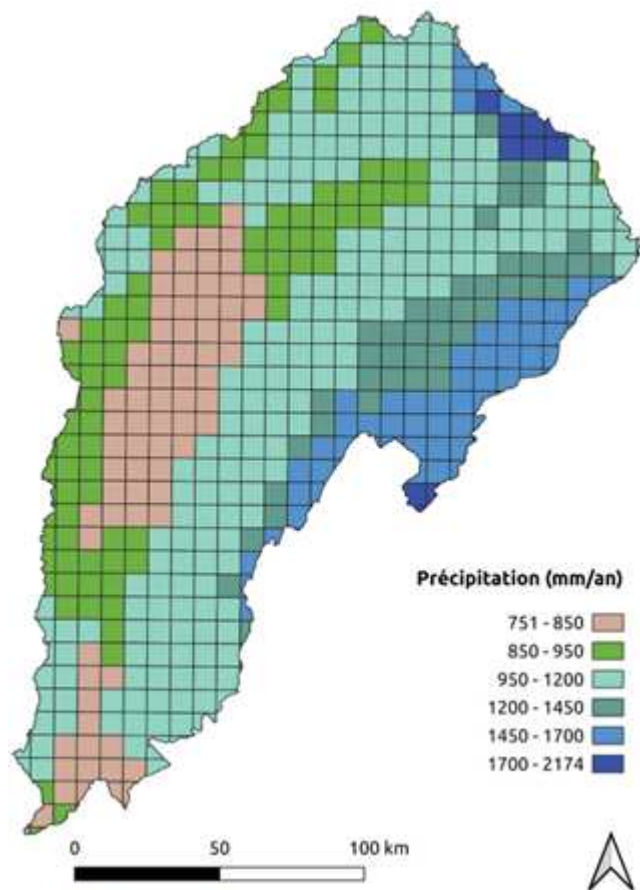
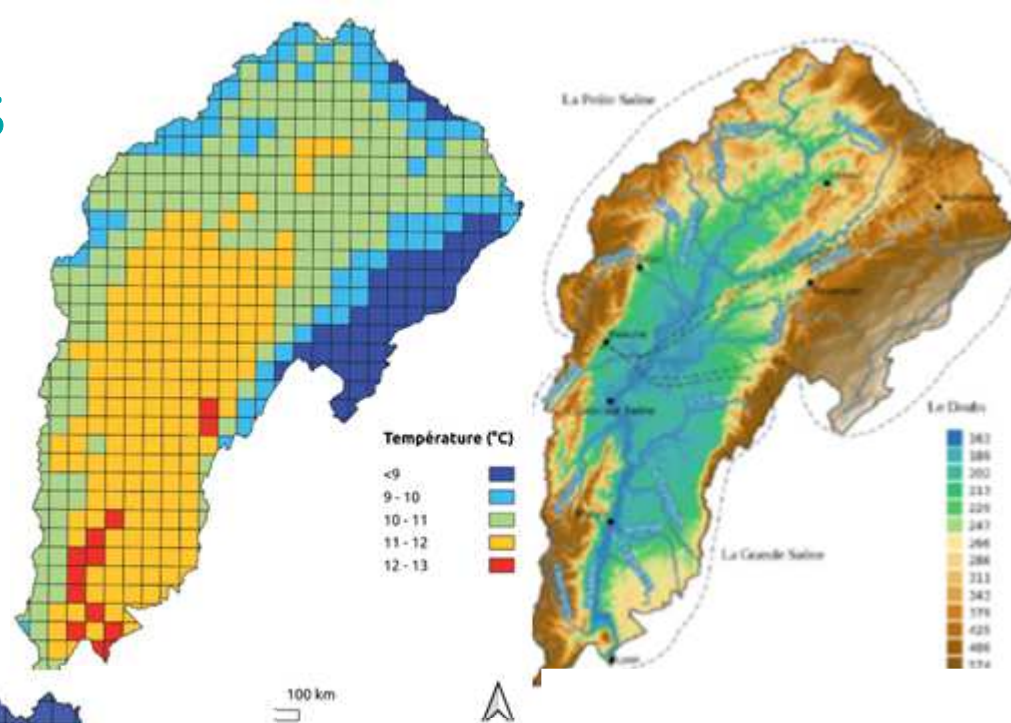
1990-2020 : valeurs moyennes (Q5% - Q95%)

Températures atmosphériques : 10.4°C (7.3 – 11.8)

Précipitations annuelles (P) : 1090 mm/an (813 – 1612)

Evapotranspiration potentielle (ETP) : 672 mm/an (604 – 739)

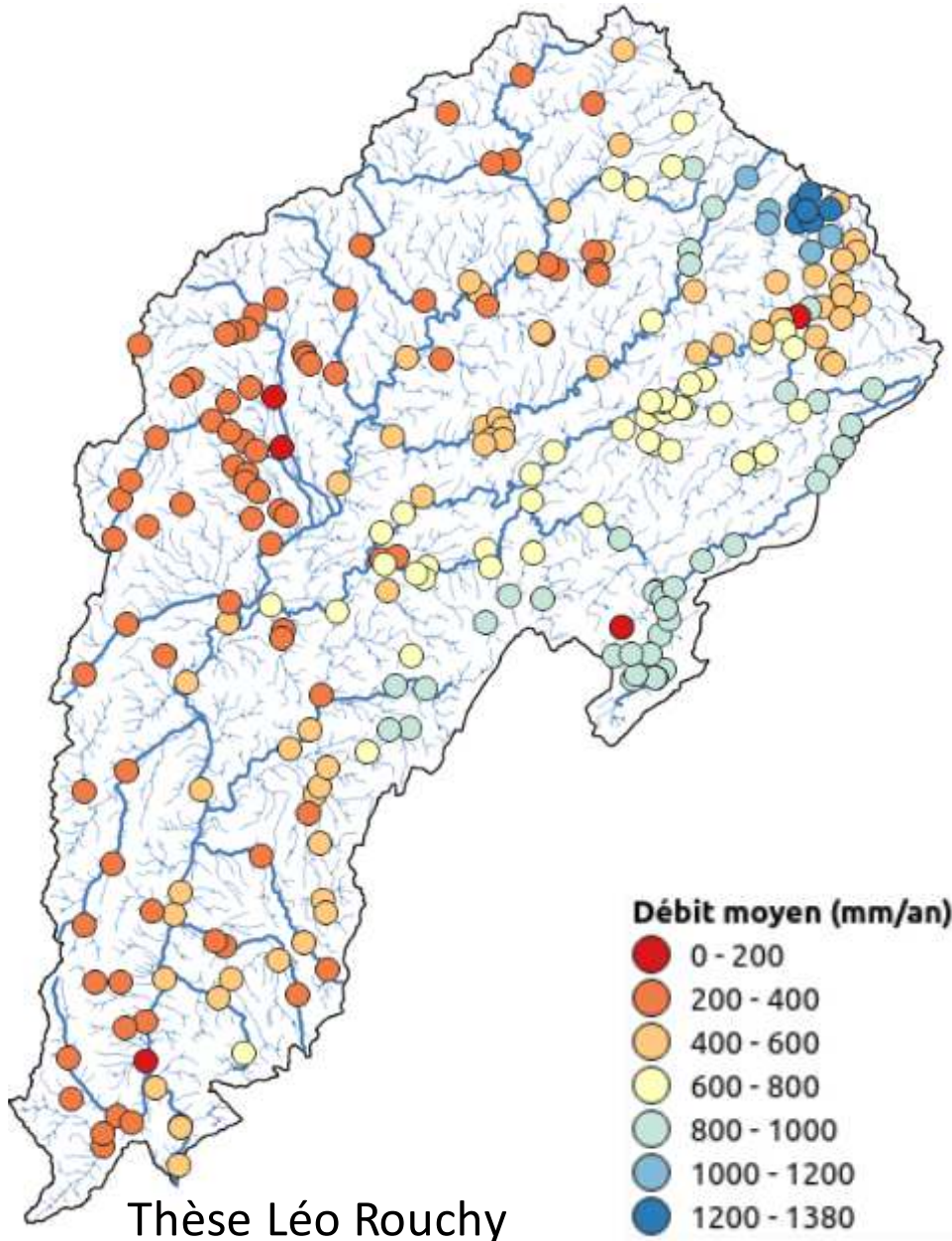
P/ETP : 1.64 (1.12 – 2.45)



SAFRAN (Météo-France)

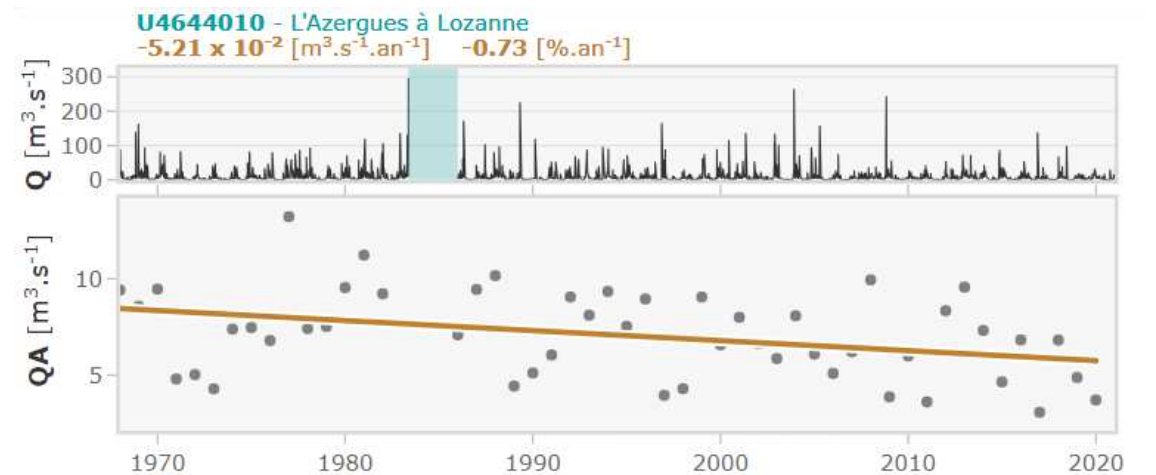
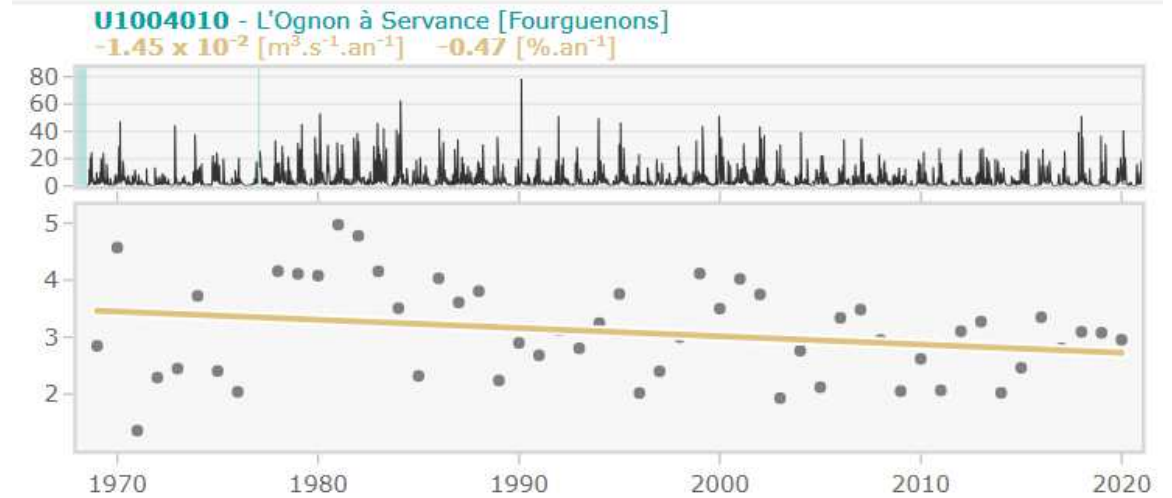
# ➤ Débits actuels des cours d'eau

1990-2020 : valeurs moyennes  
Simulations J-2000



Observations – chroniques long-terme

Makaho : <https://makaho.sk8.inrae.fr/>

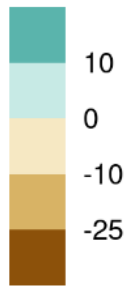


# ➤ Changement des débits au milieu du XXI siècle - modèle J-2000 Rhône

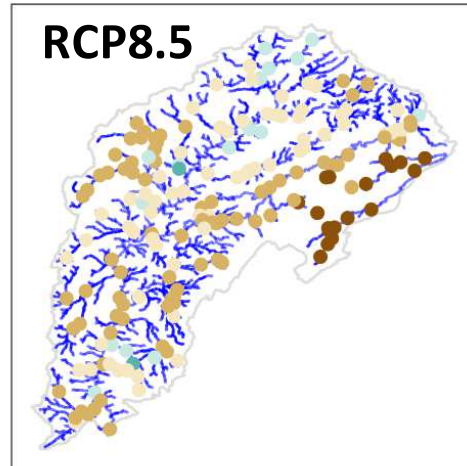
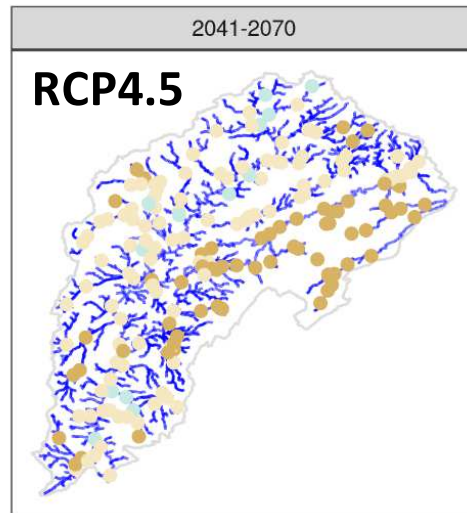
2041-2070 par rapport à 1976-2005, moyenne des 19 projections climatiques

## Etiages

Change in %

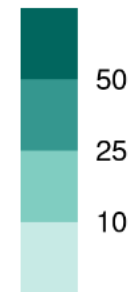


QMNA5

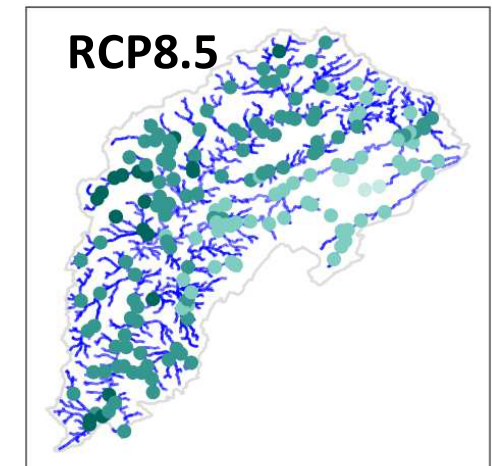
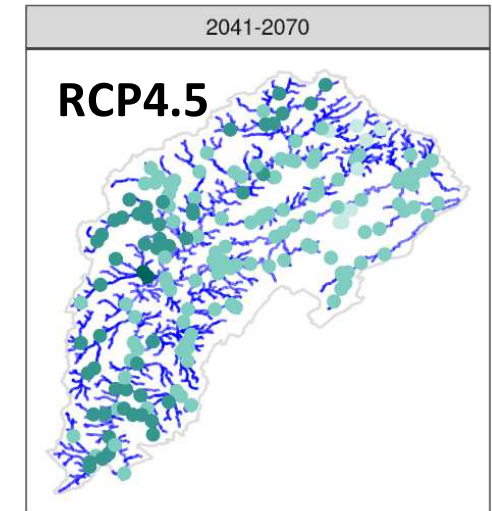


## Crues

Change in %

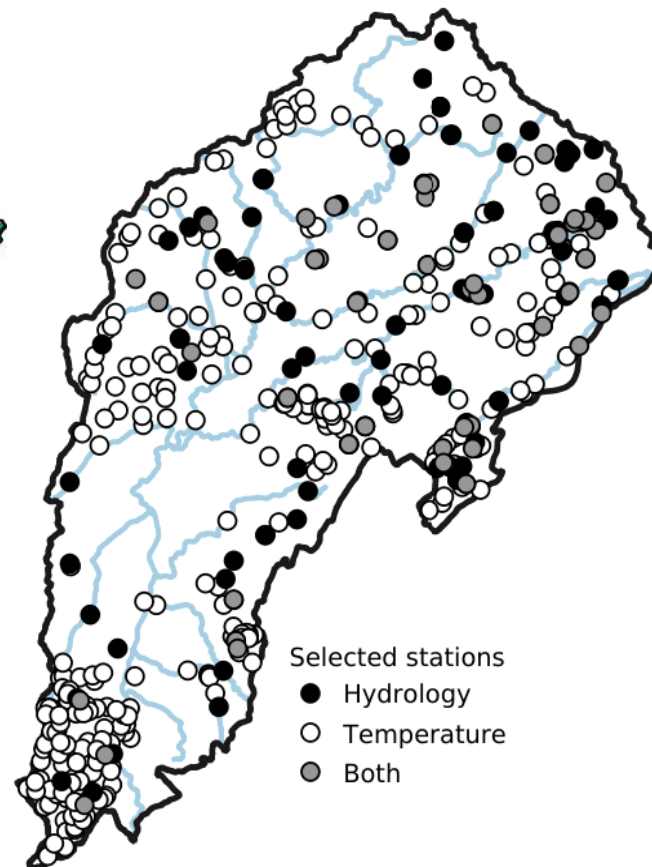
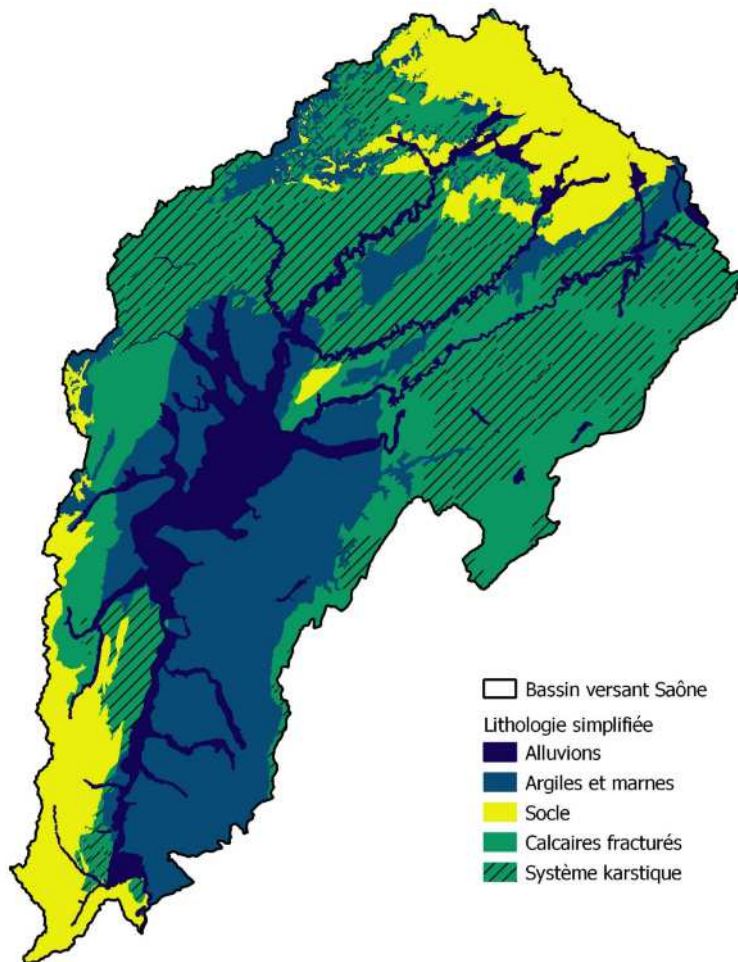


QJXA10



# ➤ Sensibilité différente des cours d'eau au réchauffement atmosphérique

- Définition des indicateurs hydrologiques et thermiques
- Évolution spatiale des indicateurs en fonction de la lithologie du bassin
- Evolution long-terme de la température de la Saône Aval



Données :

2010-2020

- 91 stations hydrologiques  
*Source : Banque HYDRO*
- 342 stations thermiques  
*Source : DREAL, OFB, FD*
- 44 stations couplées

1977 – 2023

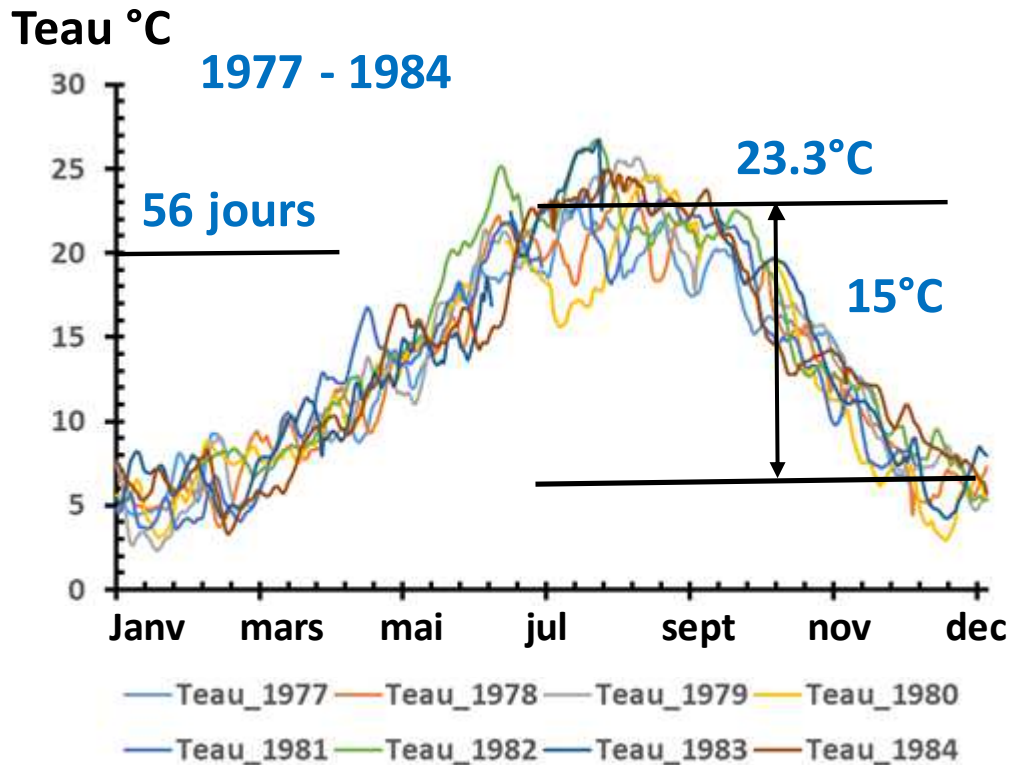
- 1 station thermique

*Source : EDF - DTG* p. 7

# ➤ Quels indicateurs thermiques ?

Basés sur les évolutions saisonnières de la température de l'eau de la Saône à Macon

Source : données EDF



**Moyenne 30 jours consécutifs les plus chaud**

1977 - 1984 23.3°C

**Nb max de jours consécutifs avec T eau > 20°C**

56 jours

**Amplitude thermique annuelle**

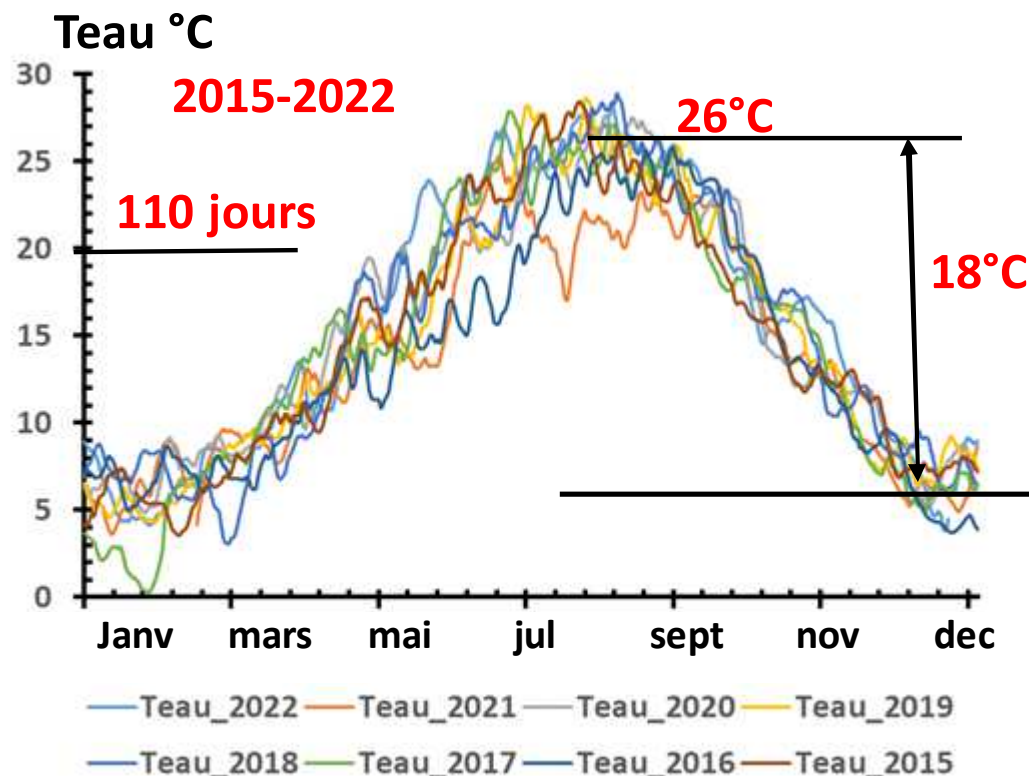
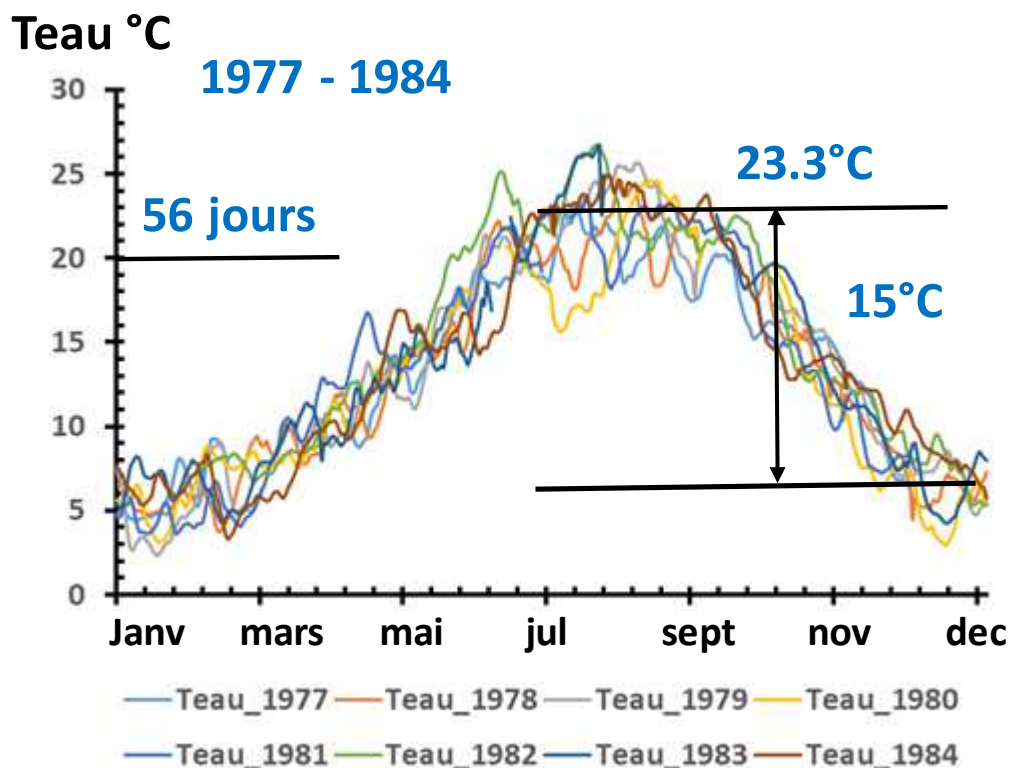
15°C



# ➤ Quels indicateurs thermiques ?

Basés sur les évolutions saisonnières de la température de l'eau de la Saône à Macon

Source : données EDF



Moyenne 30 jours consécutifs les plus chaud

1977 - 1984

23.3°C

26°C

2015-2022

Nb max de jours consécutifs avec T eau > 20°C

56 jours

110 jours

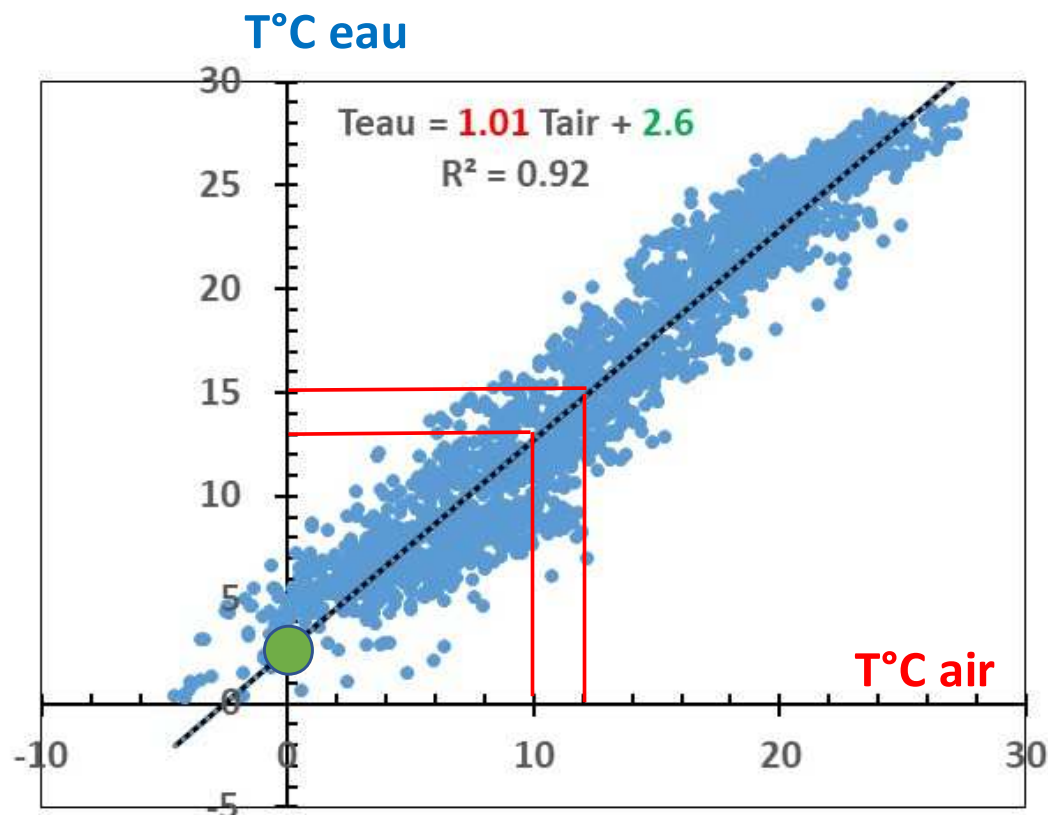
Amplitude thermique annuelle

15°C

18°C

# ➤ Quels indicateurs thermiques ? Basés sur les écarts avec la température de l'air

## Saône à Macon



**TS sensibilité thermique : 1°C**

**Ordonnée à l'origine : 2.6°C**

**Régime 1, « chaud et très variable »**

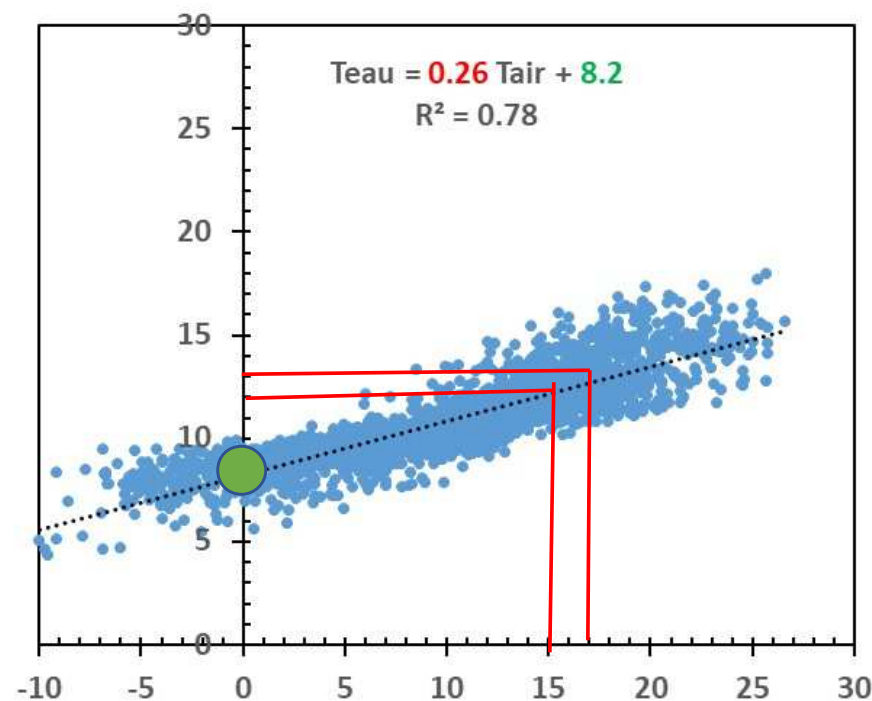
**Pente (TS = sensibilité thermique)**

X°C pour une augmentation de 1°C de  
La température atmosphérique

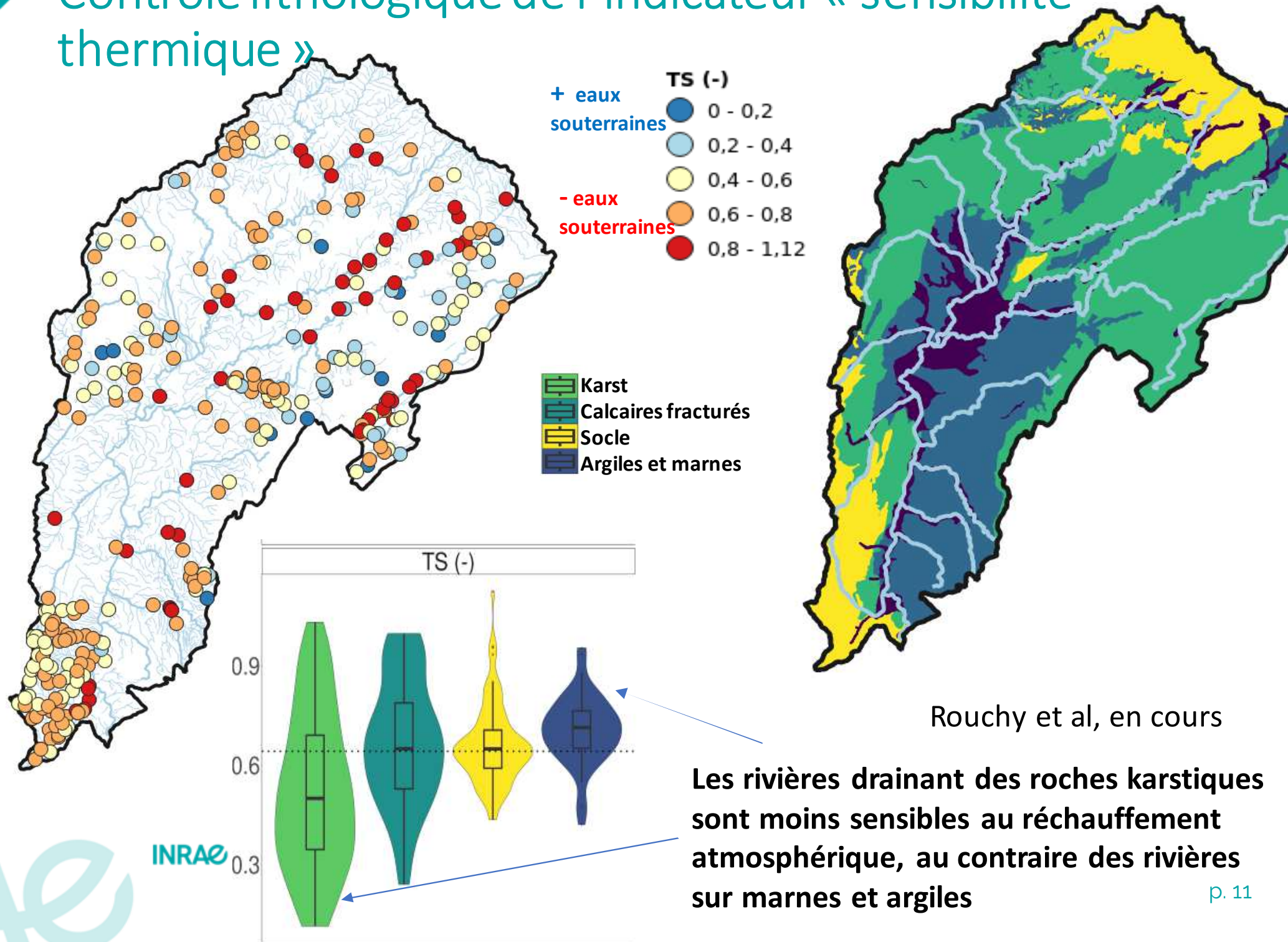
**Ordonnée à l'origine**

Température de l'eau quand la  
température atmosphérique = 0°C

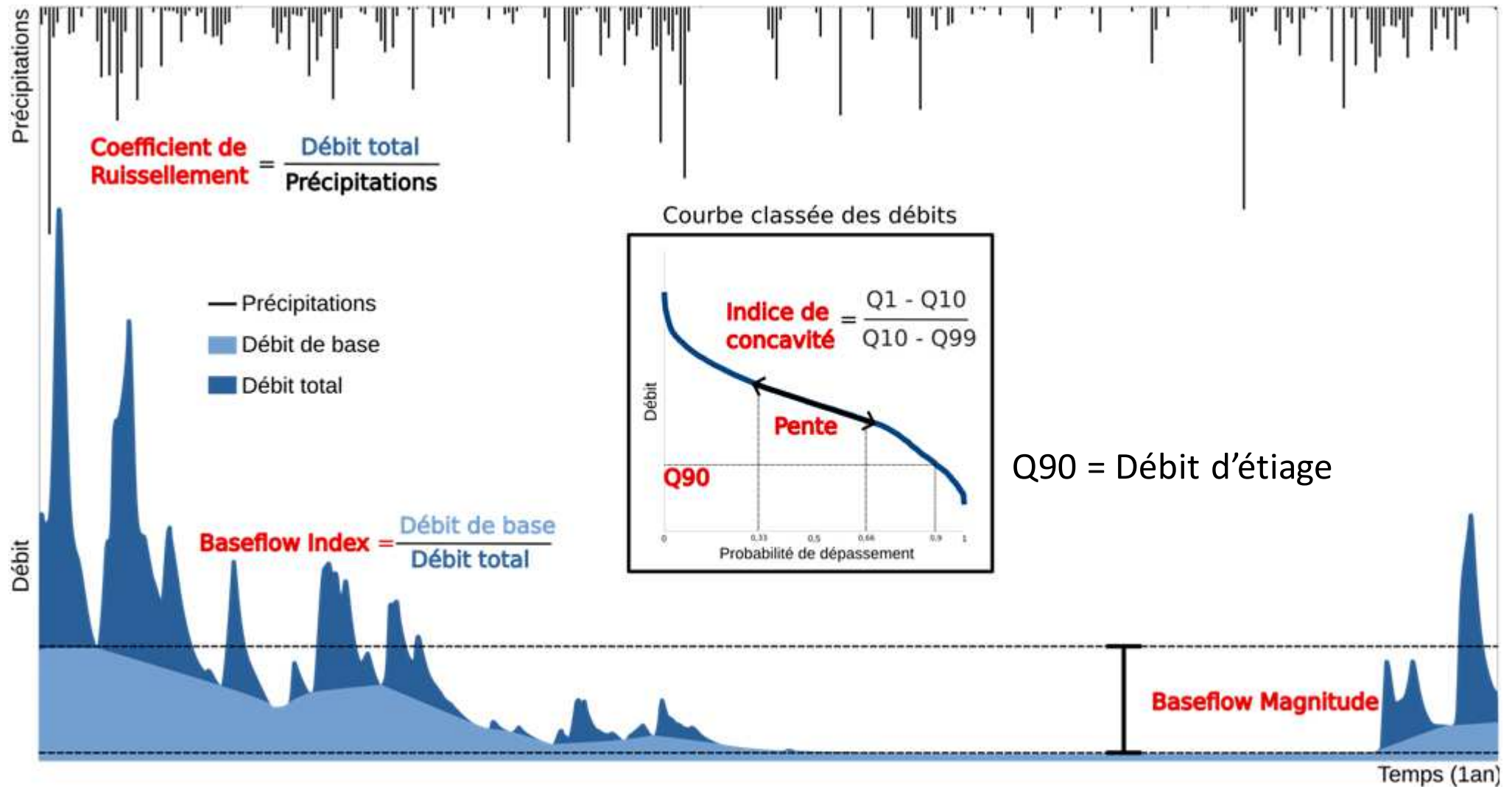
## Cusancin à Baume-les-Dames



# ➤ Contrôle lithologique de l'indicateur « sensibilité thermique »



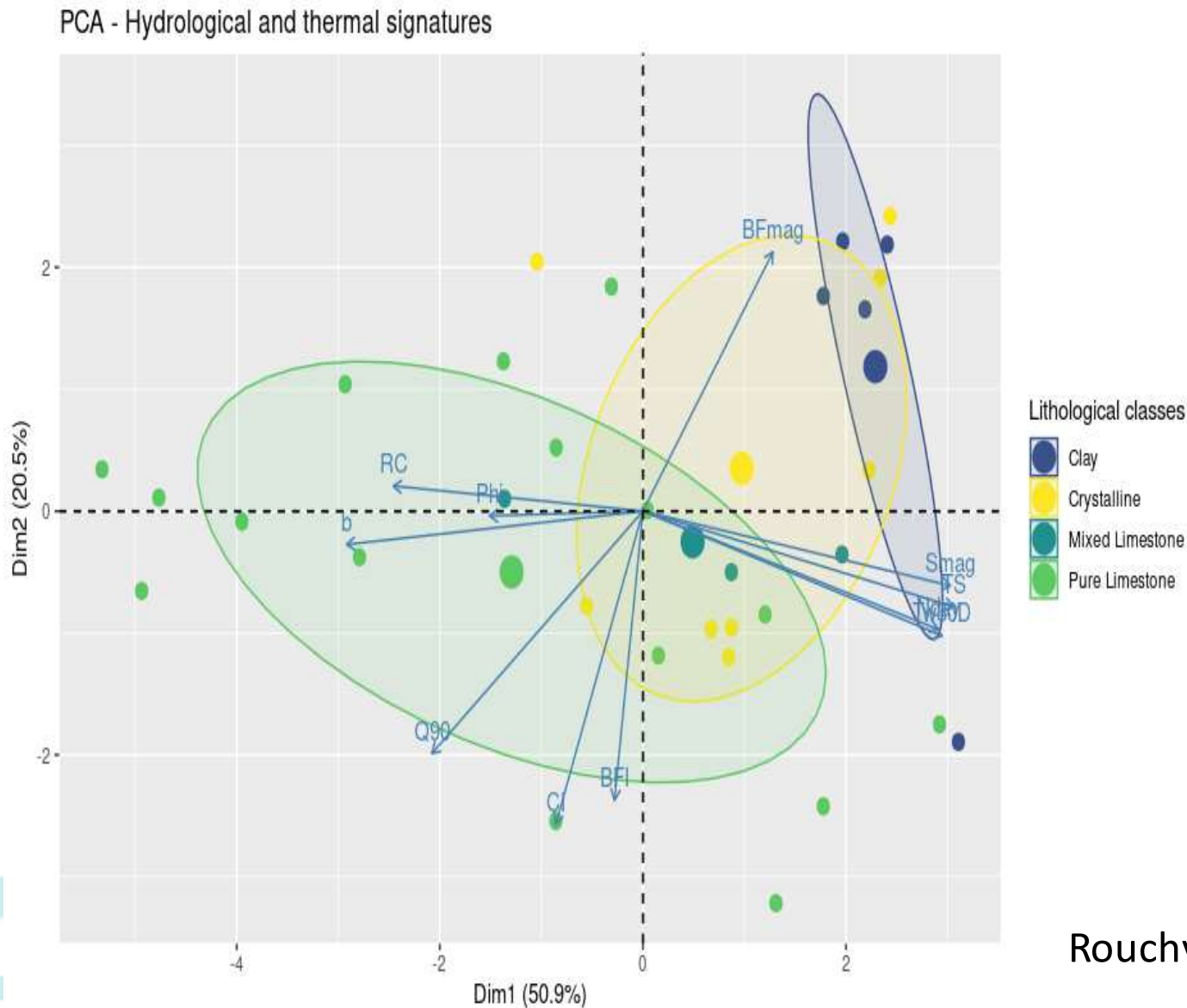
# ➤ Quels indicateurs hydrologiques ? Signatures représentatives des contributions souterraines



Rouchy et al, en cours

# ➤ Signatures hydrologiques et thermiques complémentaires

Permettent distinguer des stations avec des sensibilités différentes au changement climatique



L'axe 1 détermine les signatures thermiques (50%) – groupe stations Karst

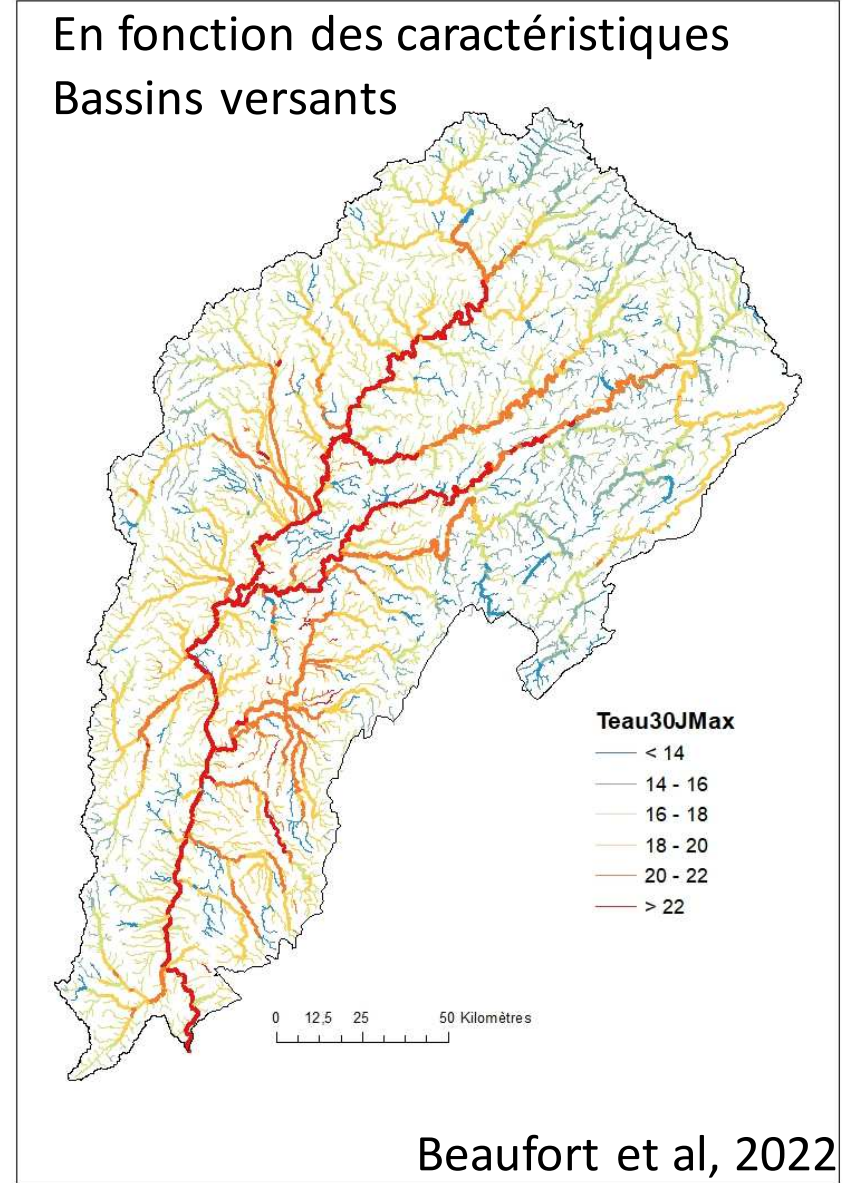
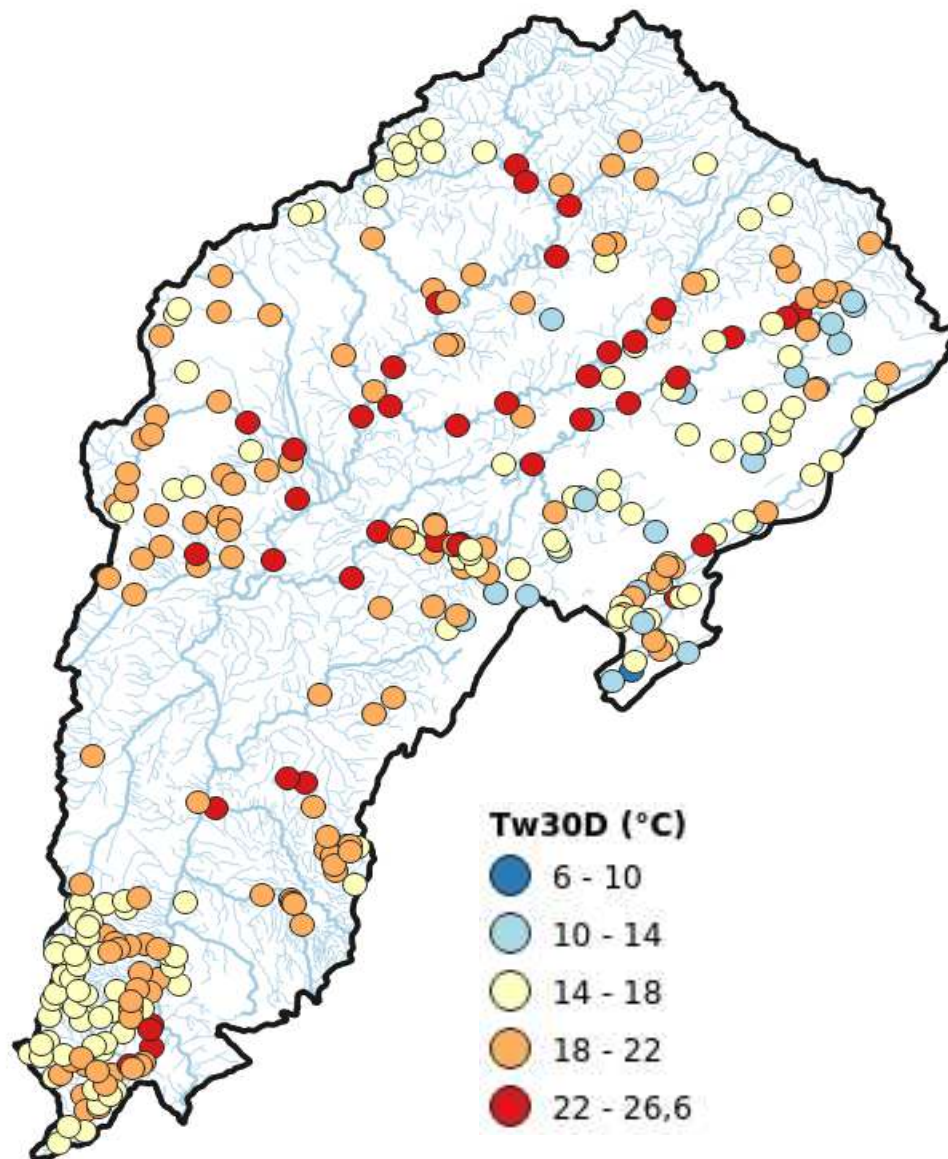
L'axe 2 (20%) détermine les signatures hydrologiques – groupe stations Argiles, marnes

Les signatures thermiques séparent mieux le jeu de données que les signatures hydrologiques

Les deux types de signatures sont complémentaires

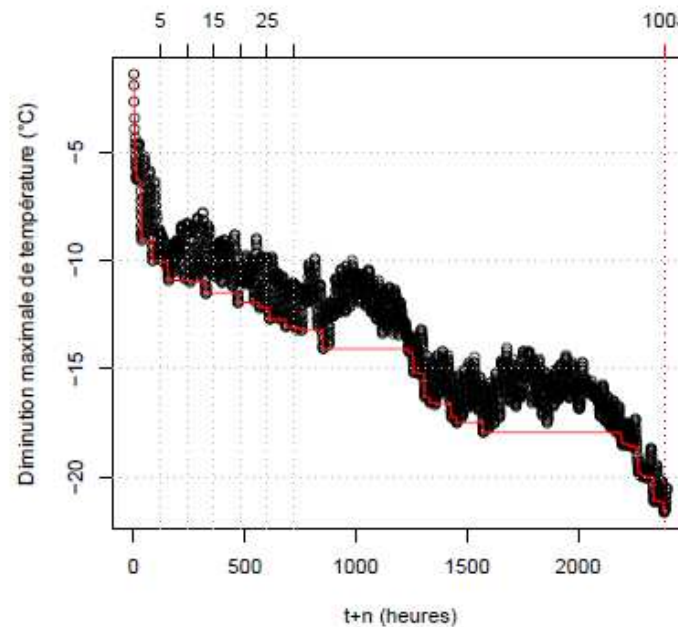
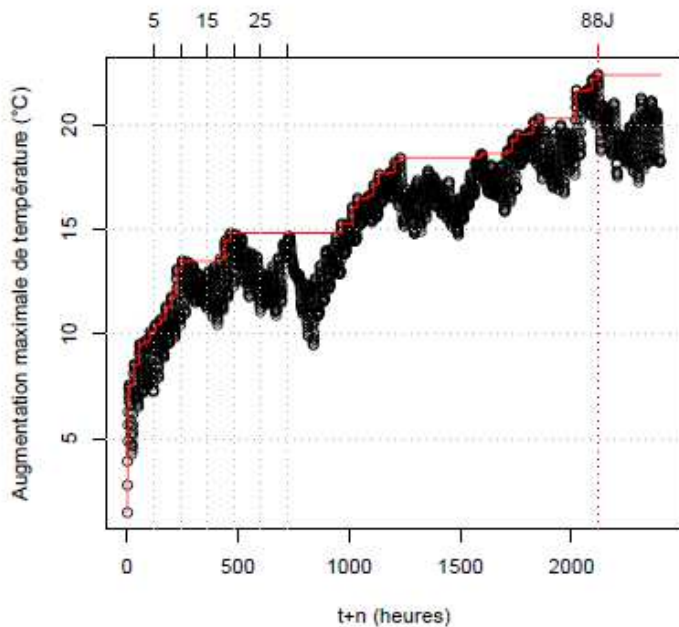
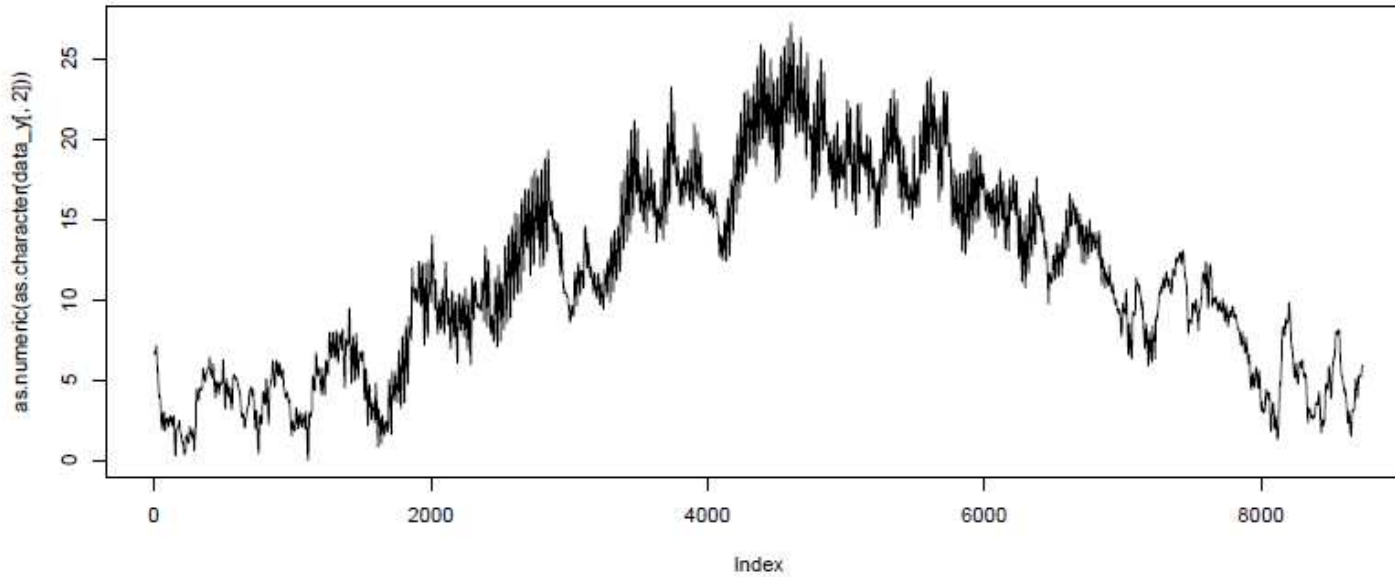
# ➤ Extrapolation à l'échelle du réseau hydrographique de la métrique $T_{wmax30j}$

Extrapolation  $T_{wmax30J}$  (Projet TIGRE)  
(extrait échelle nationale)



# ➤ Métriques de variation fine de la température conséquences sur les espèces piscicoles (HEATWAVES)

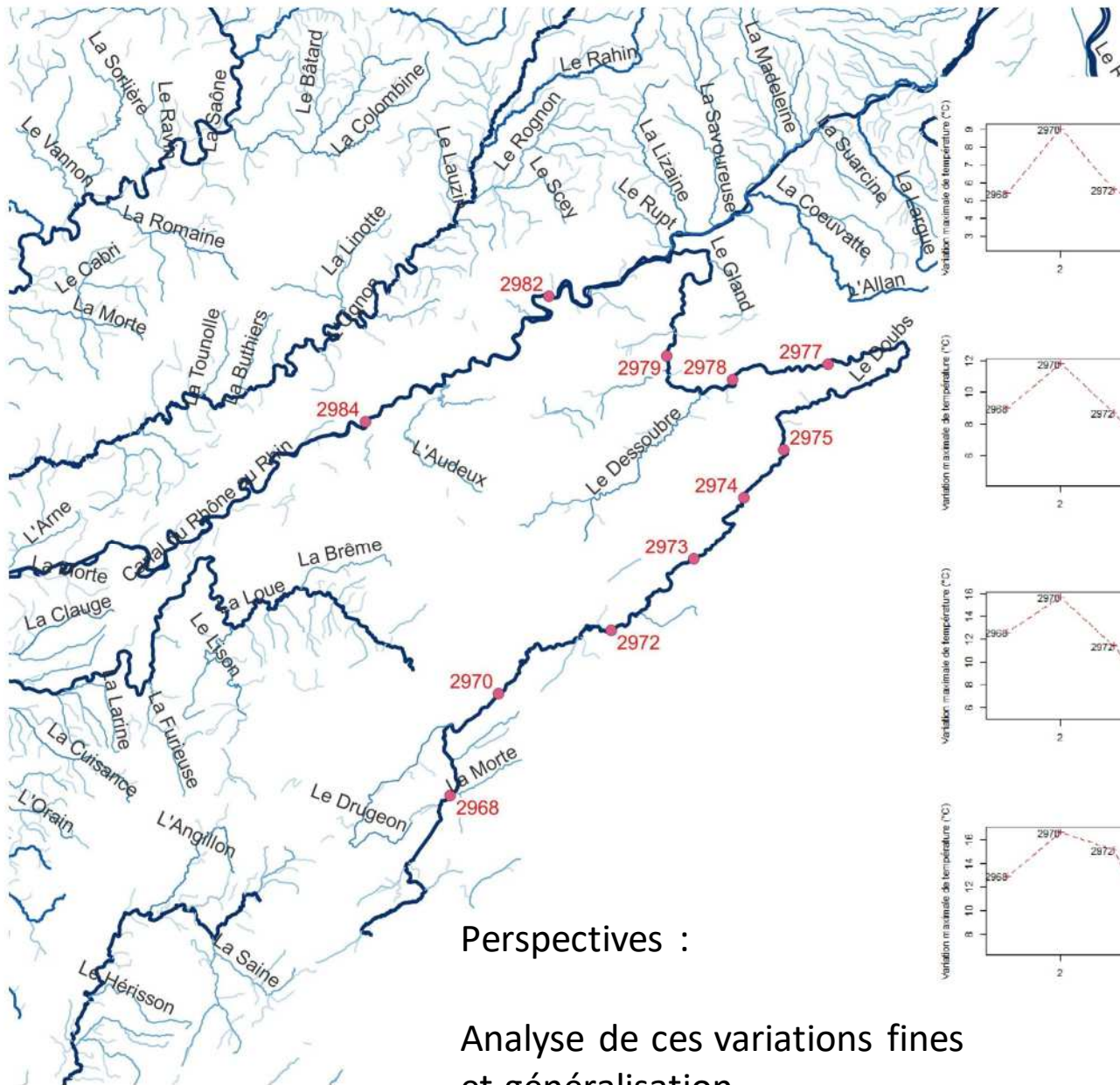
69 - Turdine à L'Arbresle (RNT\_OFB).csv  
2010



D	d	t0	tf	Th0	dTh
24	11	2010-07-08 08:00:00	2010-07-08 19:00:00	17.582	7.555
120	105	2010-06-23 08:00:00	2010-06-27 17:00:00	12.751	10.097
240	225	2010-06-23 08:00:00	2010-07-02 17:00:00	12.751	13.115
720	487	2010-06-22 08:00:00	2010-07-11 19:00:00	12.389	14.821

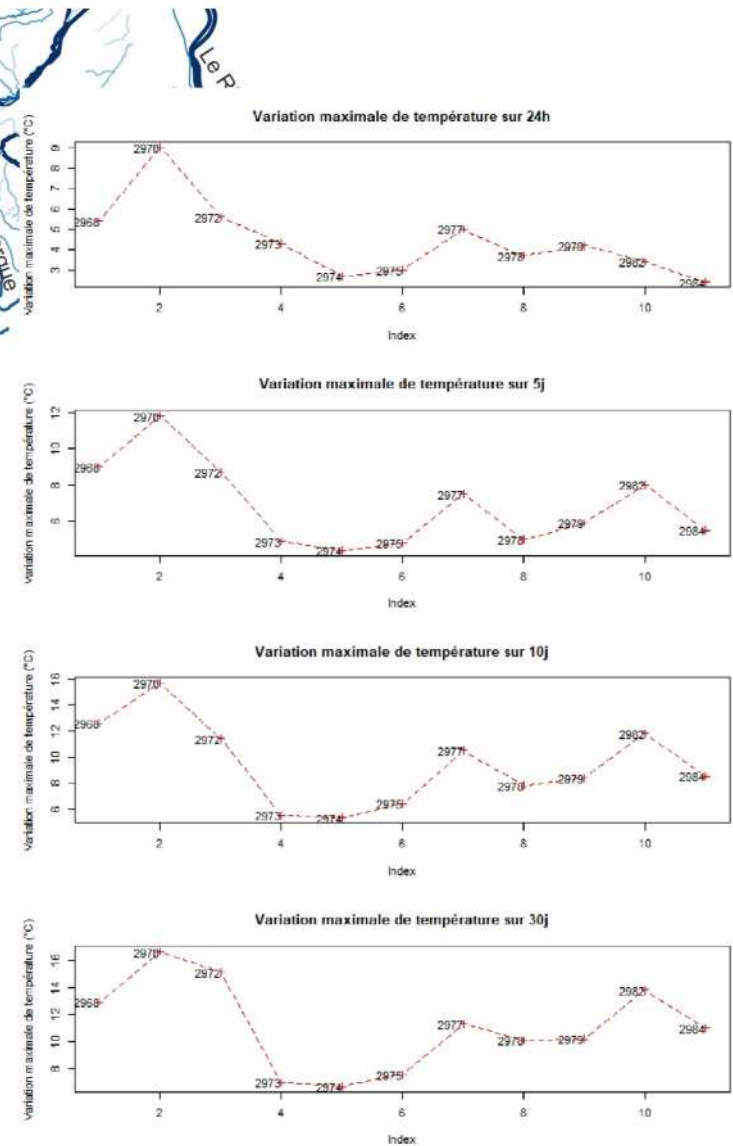
D	d	t0	tf	Th0	dTh
24	15	2010-07-08 17:00:00	2010-07-07 08:00:00	23.583	-6.297
120	87	2010-07-14 17:00:00	2010-07-18 08:00:00	26.304	-10.008
240	157	2010-07-11 19:00:00	2010-07-18 08:00:00	27.21	-10.914
720	888	2010-08-22 19:00:00	2010-09-20 09:00:00	23.809	-13.073

# ➤ Profil en long des métriques de variation fine de la température traçages des sources / conséquences communautés



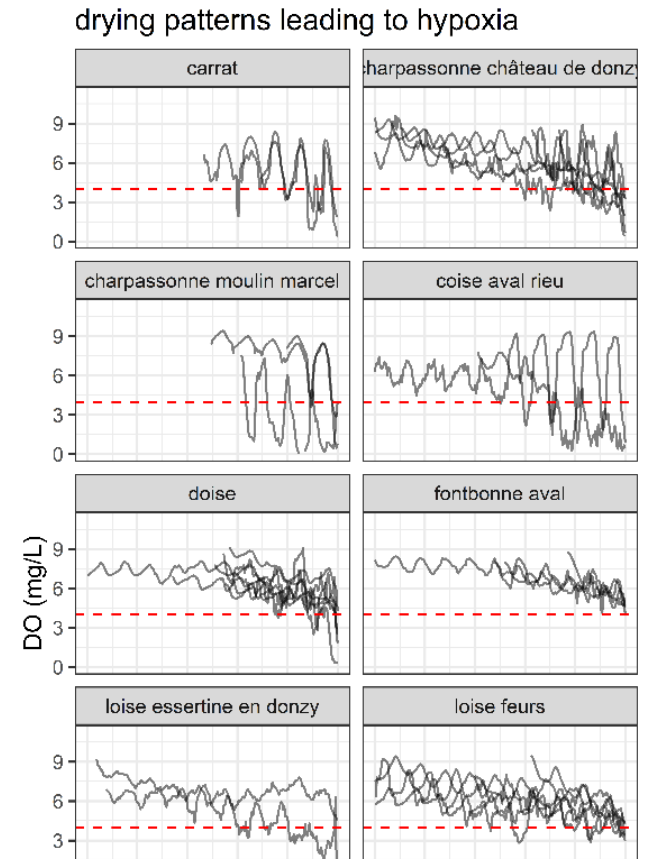
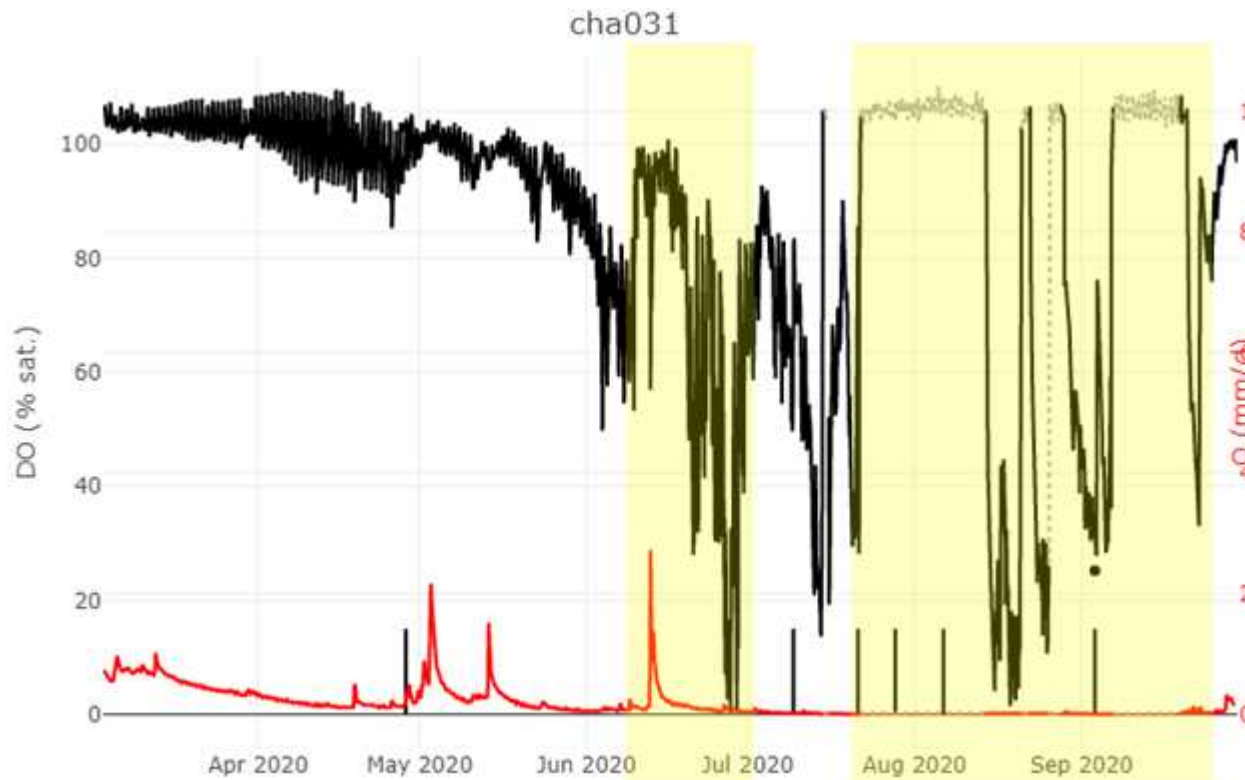
Perspectives :

Analyse de ces variations fines et généralisation





# ➤ Hypoxies : assèchements et remise en eau



Perspectives :

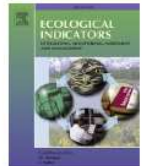
Prédiction des  
assèchements  
Et des hypoxies



Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Ecological Indicators

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/ecolind](http://www.elsevier.com/locate/ecolind)



Hypoxia is common in temperate headwaters and driven by hydrological extremes

Jacob S. Diamond<sup>a,\*</sup>, Florentina Moatar<sup>a</sup>, Rémi Recoura-Massaquant<sup>a</sup>, Arnaud Chaumot<sup>a</sup>, Jay Zarnetske<sup>b</sup>, Laurent Valette<sup>a</sup>, Gilles Pinay<sup>c</sup>

<sup>a</sup> RiverLy, INRAE, Centre de Lyon-Grenoble Auvergne-Rhône-Alpes, 69100, France

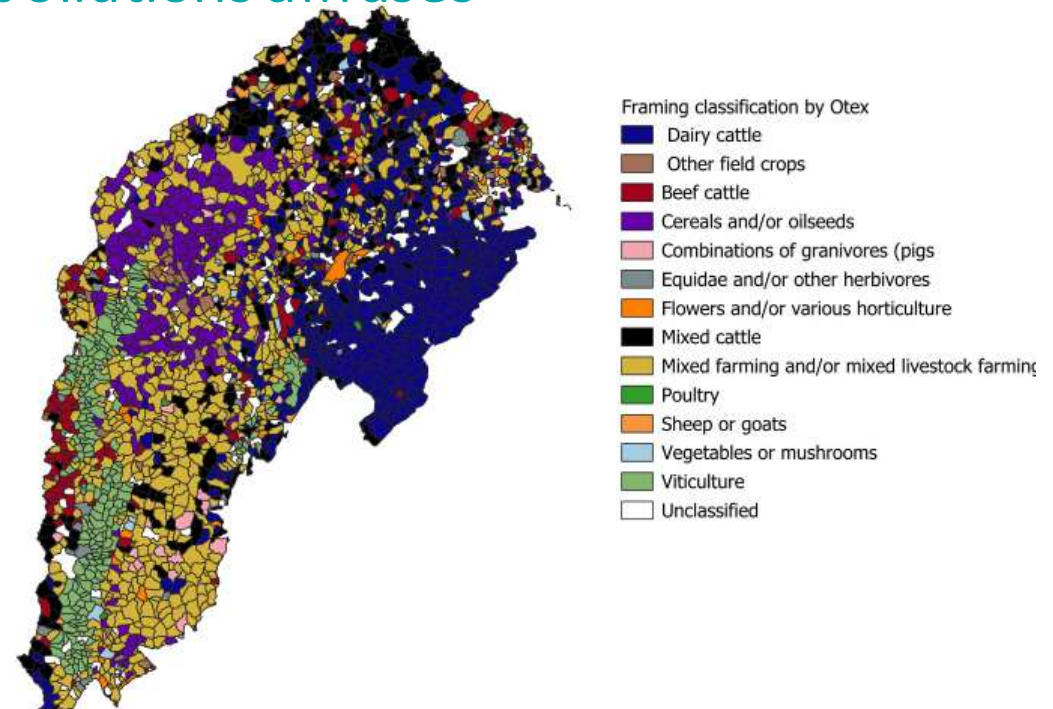
<sup>b</sup> Department of Earth and Environmental Sciences, Michigan State University, East Lansing, MI, USA

<sup>c</sup> Environnement, Ville & Société (EVS UMR5600), Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Lyon, France



# ➤ Projet : pressions et réponses aux pollutions diffuses (temps de réponse, retentions)

- Quantification des entrées (Cassis-N, P ....)
- Temps de réponse entre les entrées et les sorties des milieux
- Retentions dans les bassins versants
- Retentions dans les cours d'eau

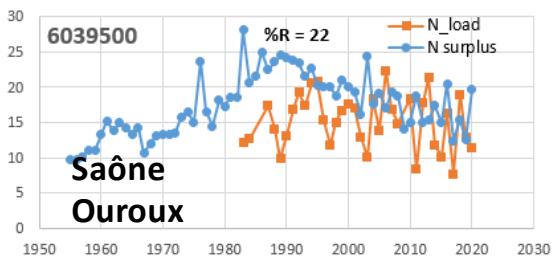
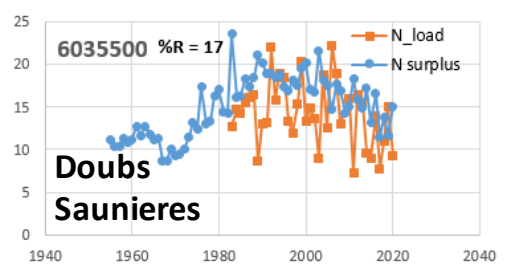
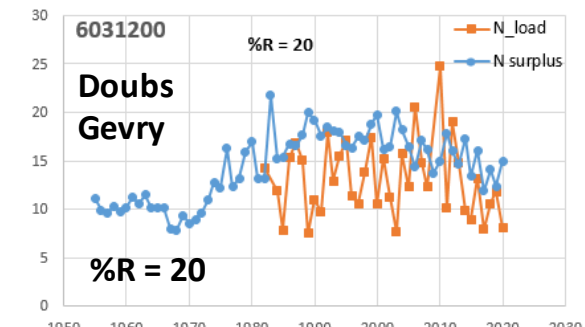
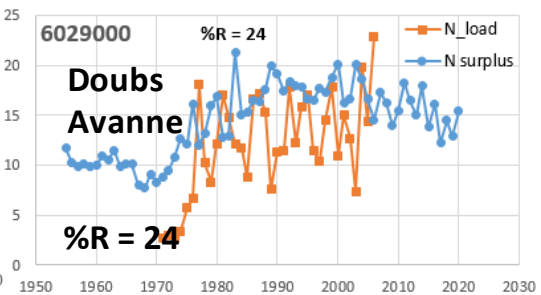
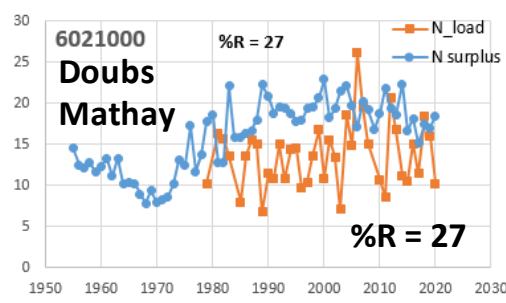
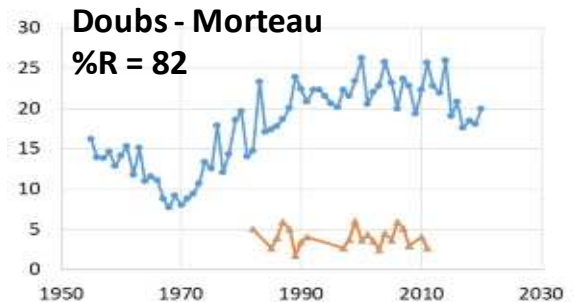
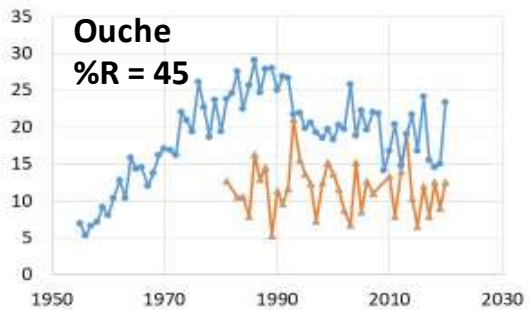
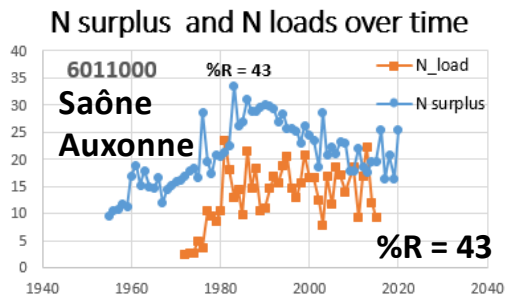


Nutr Cycl Agroecosyst  
DOI 10.1007/s10705-016-9814-x

ORIGINAL ARTICLE

**Annual agricultural N surplus in France over a 70-year period**

# ➤ Réponses contrastés des bassins versants aux pollutions diffuses



Station_Name	Station ID	AREA IN KM
SAONE A AUXONNE 1	6011000	8 744
OUCHE A CRIMOLOIS 1	6016000	879
DOUBS A MORTEAU 1	6018500	786
DOUBS A MATHAY	6021000	2 239
DOUBS A AVANNE-AVENEY	6029000	4 766
DOUBS A GEVRY 1	6031200	5 311
DOUBS A SAUNIERES	6035500	7 795
SAONE A OIROUX-SUR-SAONE	6039500	21 408

Is himwe C., stage INRAE; Surplus N, Univ. Tours

Nutr Cycl Agroecosyst  
DOI 10.1007/s10705-016-9814-x



HYDROLOGICAL PROCESSES  
*Hydrol. Process.* 27, 3535–3546 (2013)  
Published online 2 August 2012 in Wiley Online Library  
(wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/hyp.9464

ORIGINAL ARTICLE

## Annual agricultural N surplus in France over a 70-year period

## River flux uncertainties predicted by hydrological variability and riverine material behaviour

$$Retention = 1 - \frac{\sum_{i=1976}^{2015} Flux_i}{\sum_{i=1976}^{2015} Surplus_i}$$

La rétention est fonction de l'épaisseur des sol  
(analyse des données, petits bassins)

La rétention est fonction de l'importance des  
contributions d'eaux souterraines (et de leurs âges)  
aux masses d'eau de surface  
(modélisation, petits bassins versants contrastés)



OPEN ACCESS

RECEIVED  
30 June 2020

REVISED  
22 September 2020

ACCEPTED FOR PUBLICATION  
5 October 2020

PUBLISHED  
25 November 2020

PAPER

## Long-term nitrogen retention and transit time distribution in agricultural catchments in western France

Rémi Dupas<sup>1,2</sup>, Sophie Ehrhardt<sup>1</sup>, Andreas Munsolf<sup>2</sup>, Ophélie Fovet<sup>1</sup> and Patrick Durand<sup>1</sup>

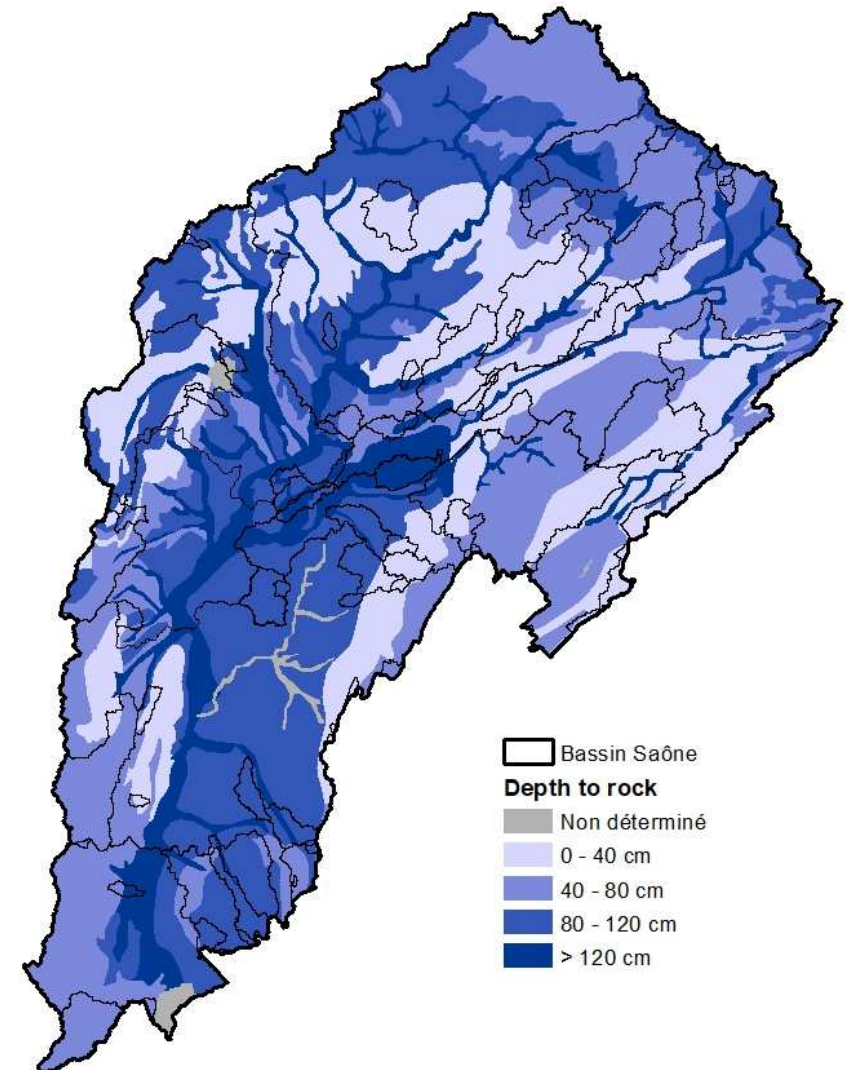
<sup>1</sup> UMR SAS, INRAE, Institut Agro, 35000, Rennes, France

<sup>2</sup> Department of Hydrogeology, Helmholtz-Centre for Environmental Research, 04318, Leipzig, Germany

<sup>3</sup> Author to whom any correspondence should be addressed.

E-mail: remi.dupas@inrae.fr

Keywords: catchment, nitrogen, nutrient, legacy, transit time distribution, retention



# ➤ hs1D: un modèle de versant pour représenter les contributions d'eaux souterraines au cours d'eau et les âges de l'eau associés

Marçais et al, 2017 *Advances in Water Resources*.  
Marçais et al. 2022, *WRR*.

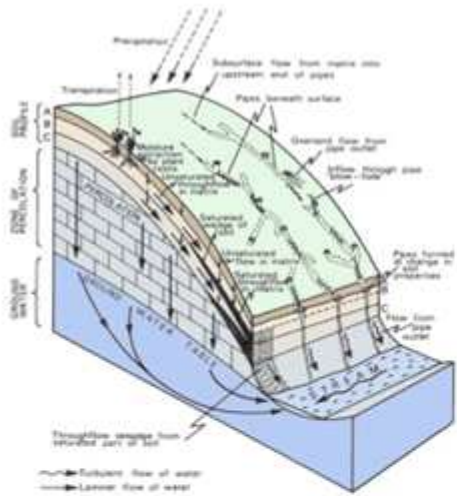
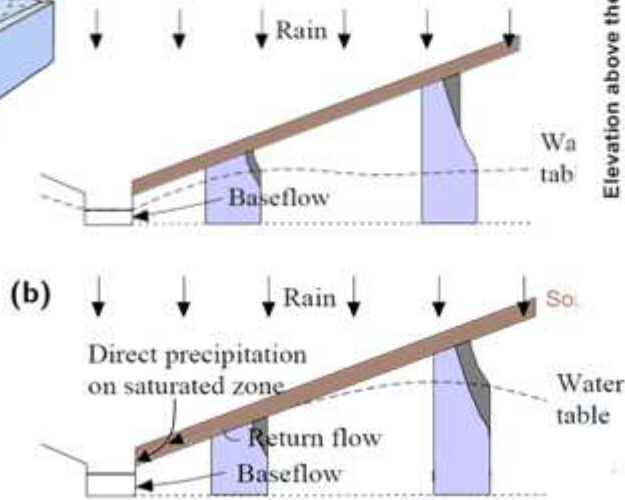
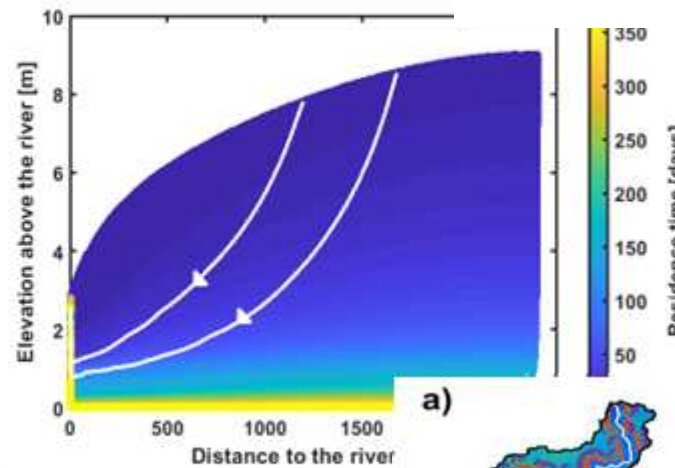
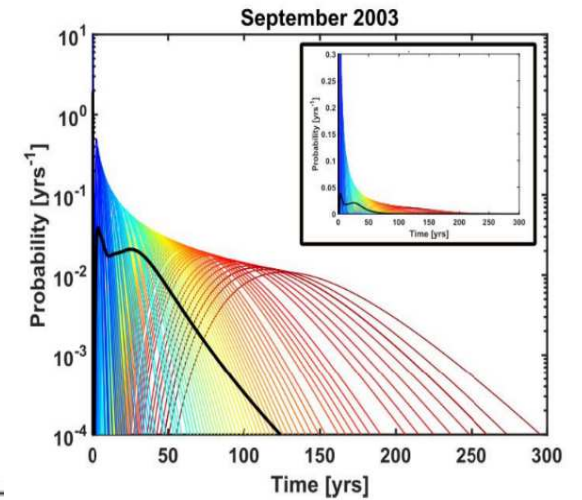


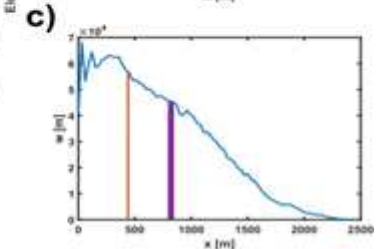
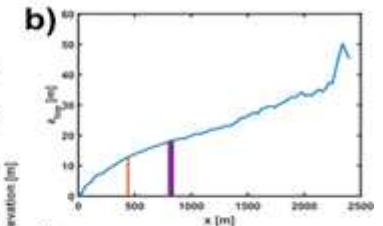
Schéma d'un versant et processus représentés dans hs1D



Âge de l'eau et distribution de temps de transit associés par une méthode Lagrangienne de suivi particulaire



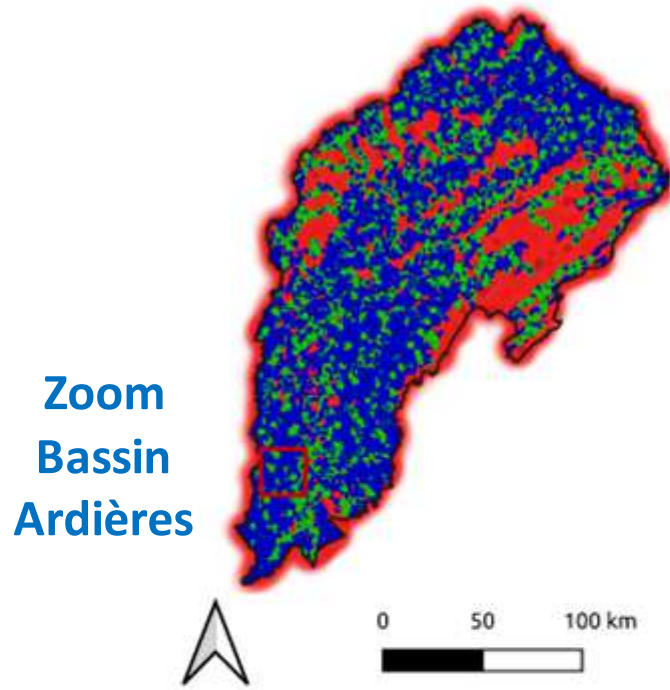
Bassin versant du Guillec (45 km<sup>2</sup>).



## ➤ Conclusions et perspectives

- Les signatures hydrologiques et thermiques sont de bons outils (et complémentaires) pour analyser la sensibilité des cours d'eau au changement climatique
- Les projections climatiques et hydrologiques montrent une accentuation des extrêmes hydrologiques et thermiques sous changement climatique, d'où la nécessité de mieux étudier ces événements et leur impacts (socio-écologiques, qualité de l'eau)
- Pollution diffuse : Les résultats préliminaires montrent des temps de transfert / capacités de rétention des contaminants contrastés, à étudier dans le cadre d'un nouveau projet ouvert
- Constitution de bases de données environnementales
- Mise en place de modèles hydrologiques et thermiques en cours de validation

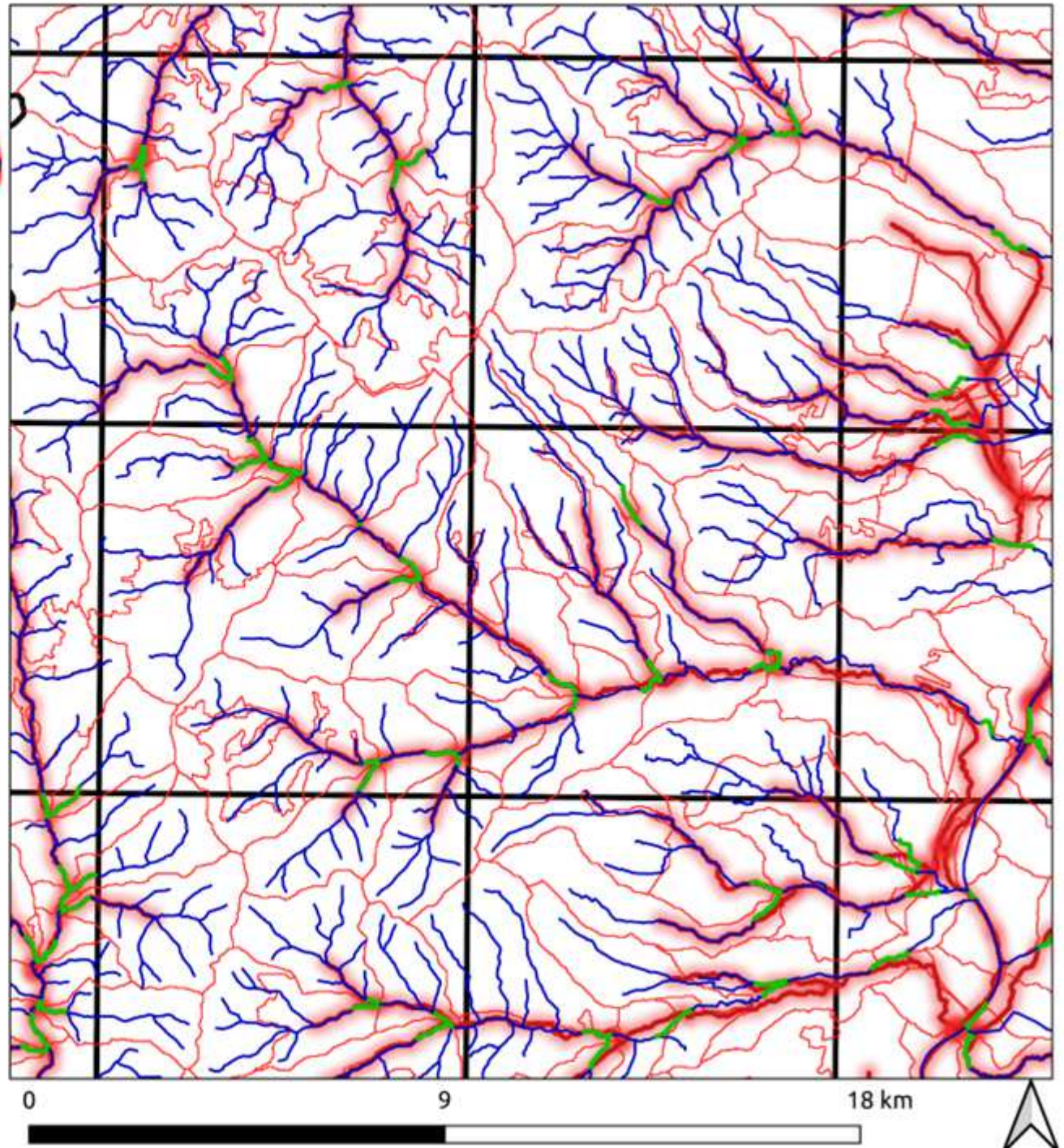
# ➤ Nouveau modèle hydrologique Saône



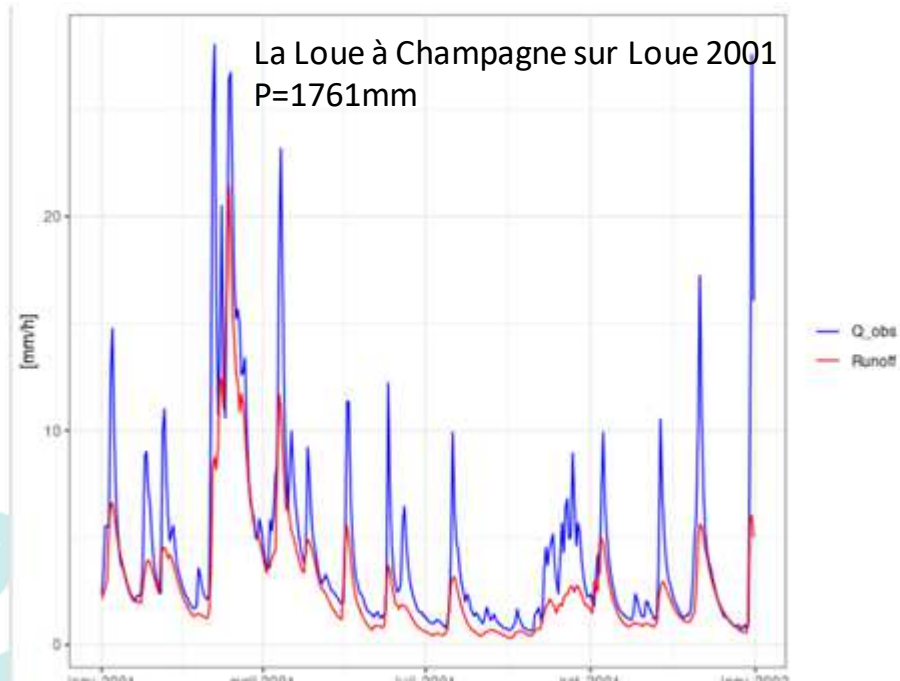
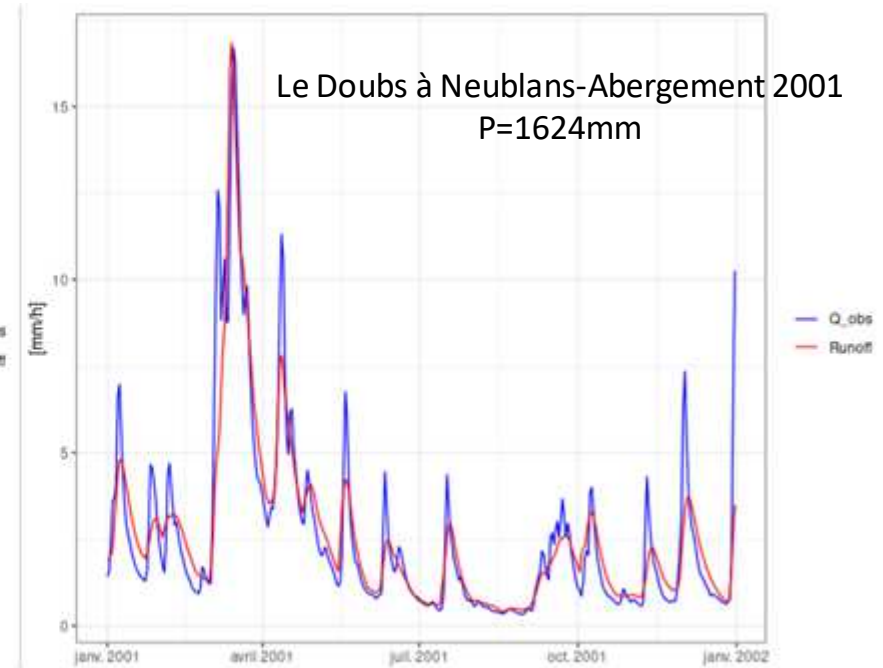
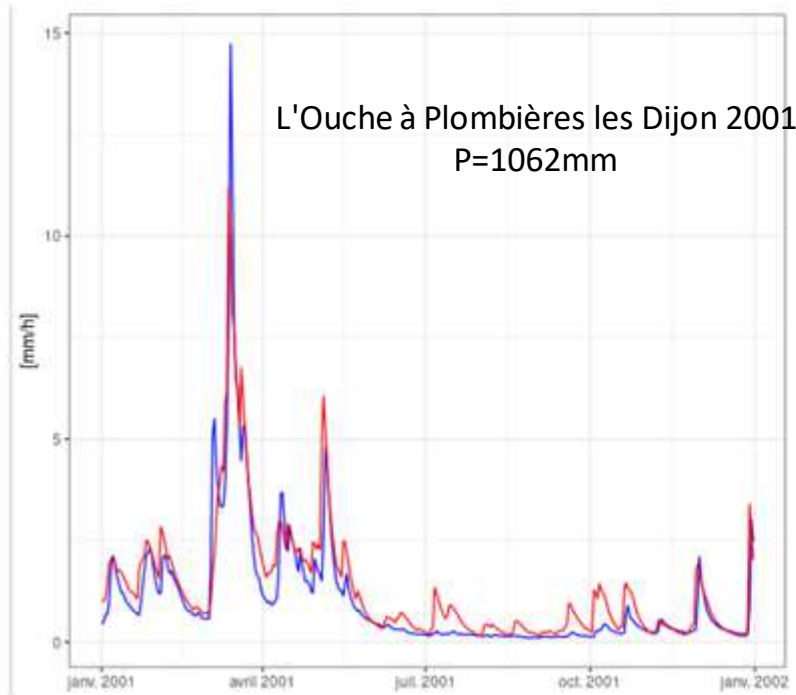
10 000 HRU (3 km<sup>2</sup>)

d'après MNT 25m x 25m

4 466 BV J-2000 (17 km<sup>2</sup>)



# ➤ Nouveau modèle hydrologique bassin Saône



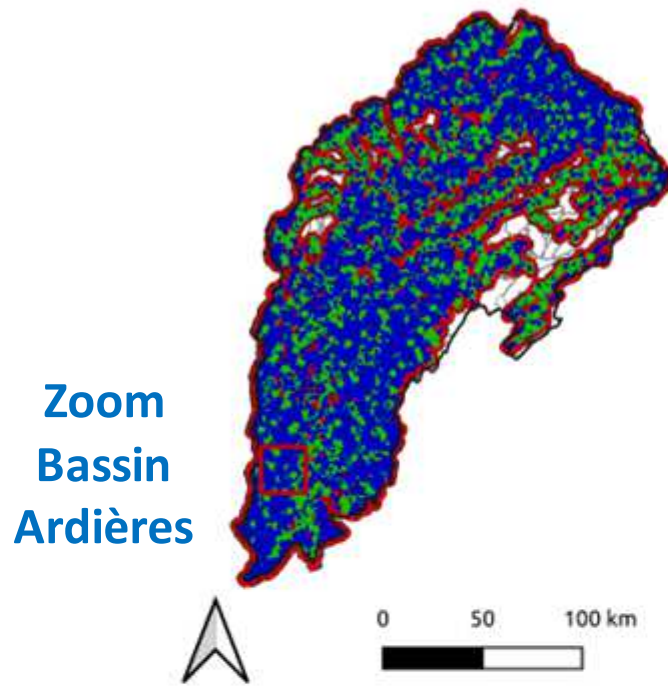
**Débits réservoir de surface**

**Débits réservoir souterrain**

**Profondeurs et vitesses réseau hydrographique**



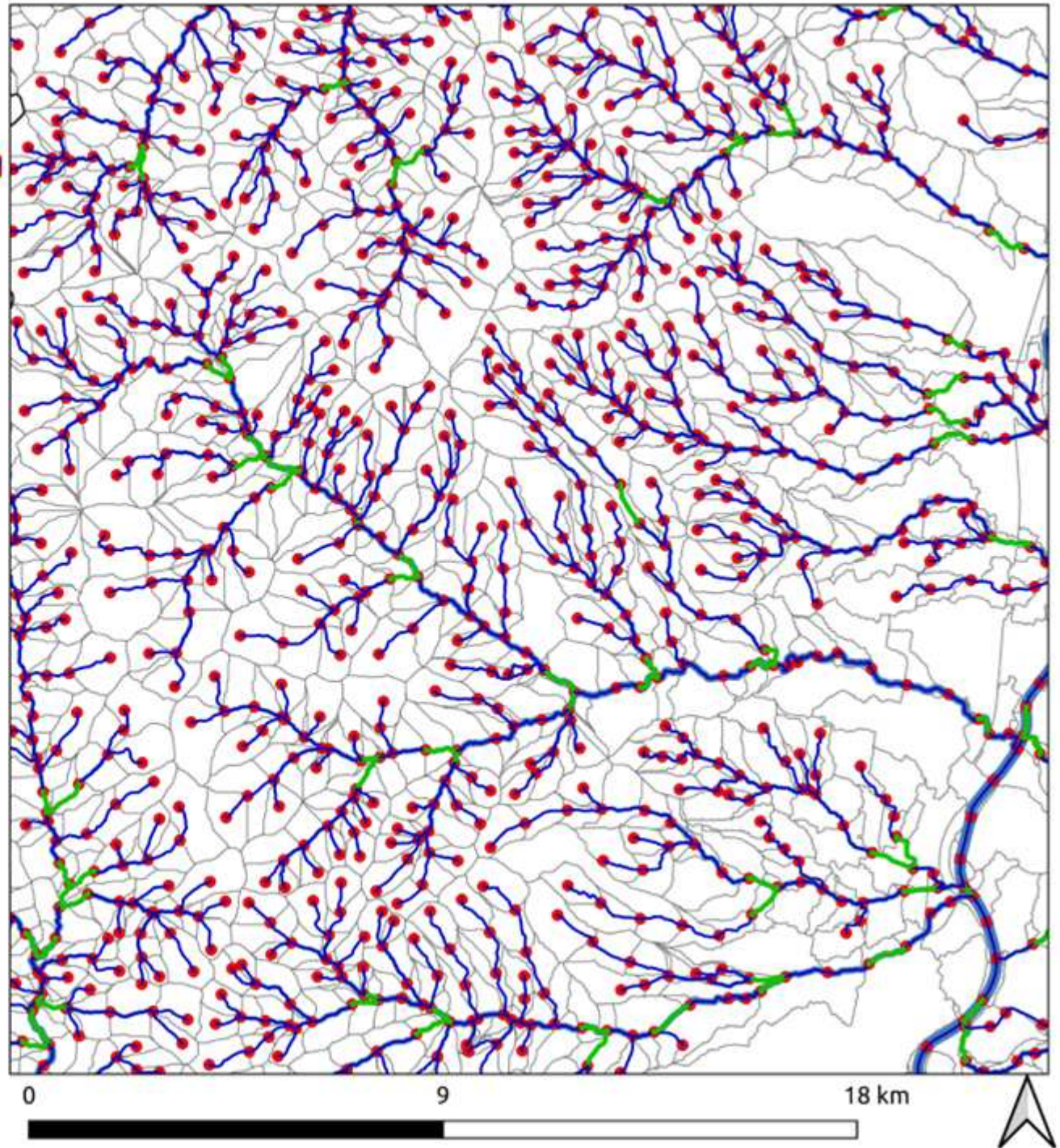
## ➤ Nouveau réseau pour le modèle thermique – T-NET



**33 000 tronçons BD Topage**

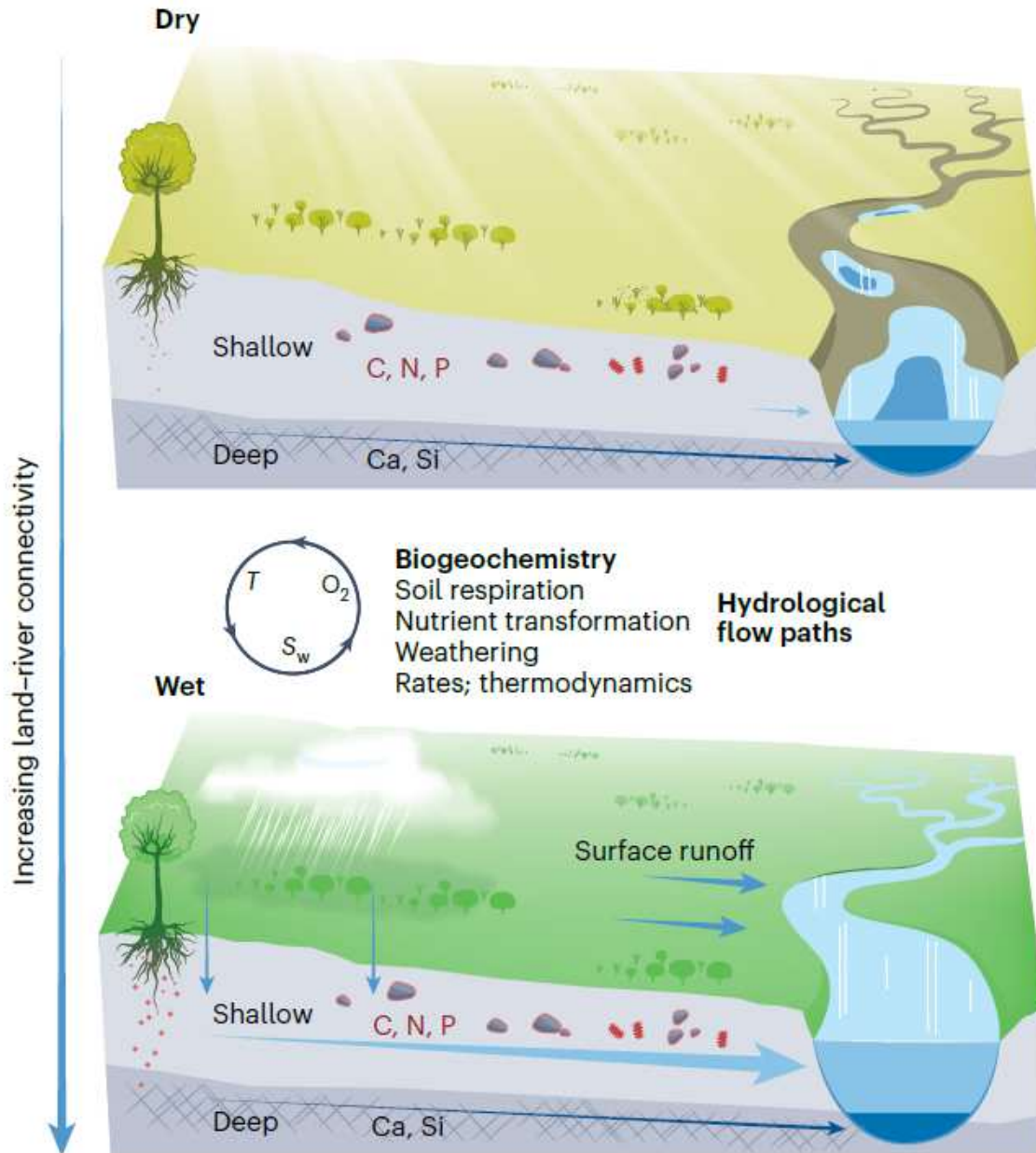
**Entre 500 m et 1 km  
de longueur**

**MNT 5m x 5m / 10m x 10m**



# ➤ Cibler les périodes critiques (étiages, crues)

Li Li et al, 2022, Nature Climate Change



## Etiages

- Réchauffement maximal
- Assèchement cours d'eau/fragmentation
- Dégradation des sols
- Assèchements des sols et des sédiments
- Altérations communautés microbiennes
- Intensification des réactions chimiques
- Déconnexions des compartiments hydrologiques

## Crues

- Erosion, glissement des terrains
- Entrainement des éléments
- Stockages/ Déstockages
- Rétention
- Temps de réponse



**Séminaire scientifique Saône**  
**9 avril 2024 | Dijon**



# Evolution des pressions agricoles sur la ressource en eau en contexte de changement global

Modélisation des temps de transfert dans les bassins (CaSSiS-N)

Datation des eaux

F.Curie et C. Delbart



# Problématique

- Améliorer la connaissance du fonctionnement hydrogéologique du val de Saône
- Validation croisée des approches de détermination de temps de transfert : datation et modèle hydrogéologique de transfert
- Elaboration de scénarii d'adaptation des pratiques agricoles au changement climatique ➡ Estimation de l'évolution futures des pressions agricoles

# Le modèle CaSSiS

## Modèle de balance de surface de sol

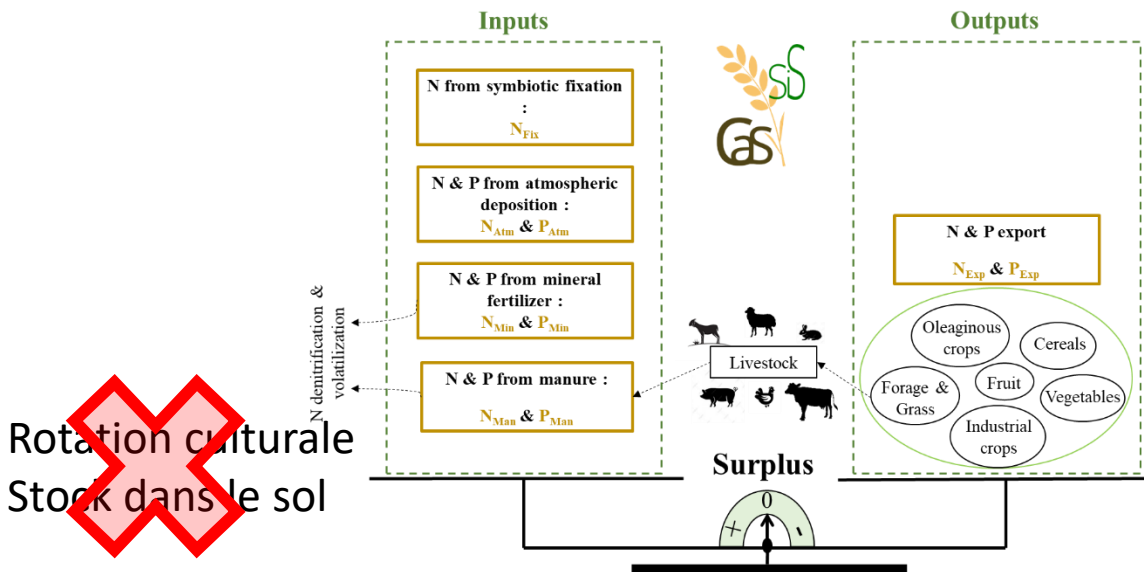
$$\text{Surplus} = N_{\text{Entrées}} - N_{\text{Sorties}}$$

$$\text{Surplus N} = N_{\text{Fix}} + N_{\text{Org}} + N_{\text{Min}} + N_{\text{Air}} - N_{\text{Exp}}$$

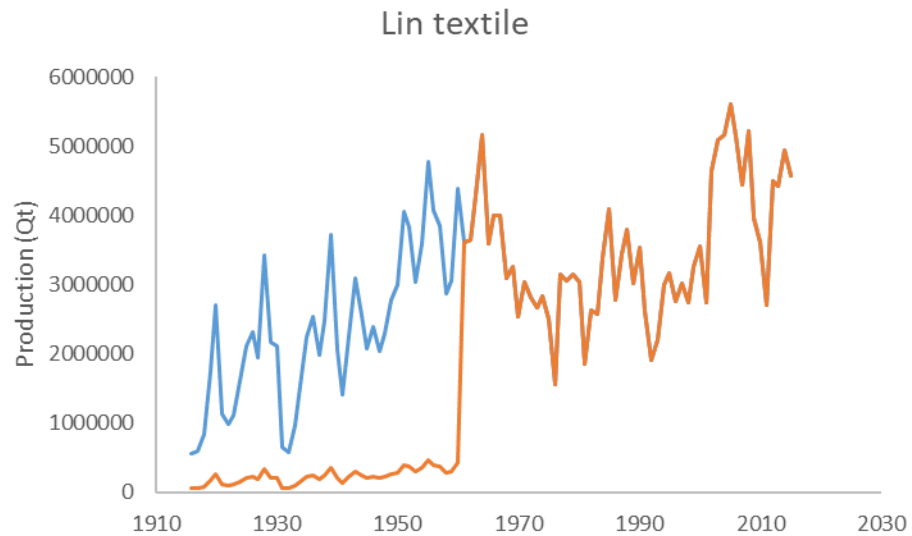
$$\text{Surplus P} = P_{\text{Org}} + P + P_{\text{Air}} - P_{\text{Exp}}$$

Résultats communaux :

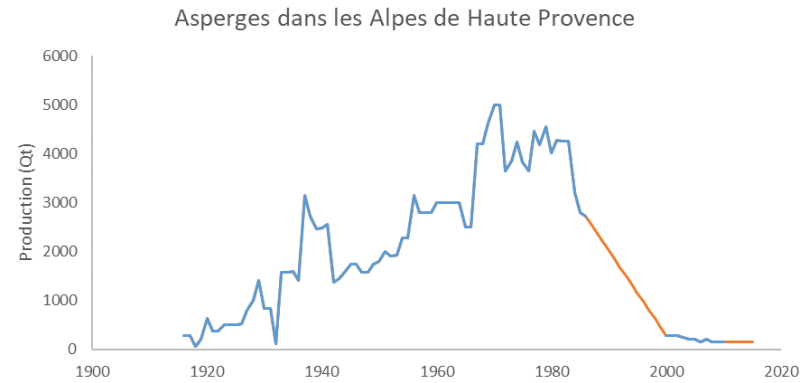
- Période : 1955 – 2020
- Fréquence : annuelle
- BD Sagrica : interpolation des données entre les RA à partir des données départementales de la SAA



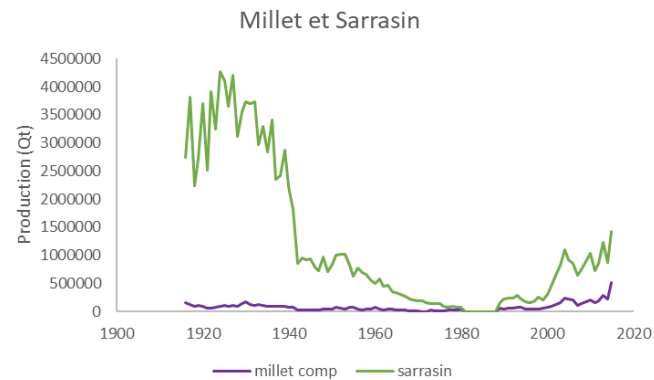
# Les données



Récolte en vert ou en sec

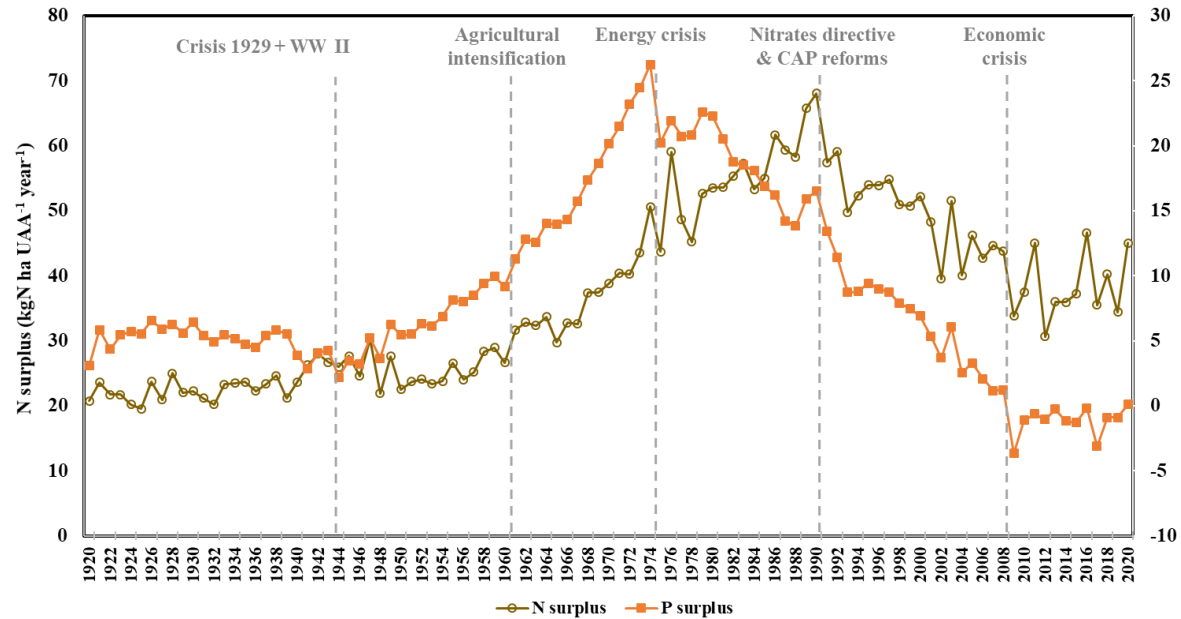


Interruptions de suivi



dispatchar les valeurs d'une catégorie en plusieurs

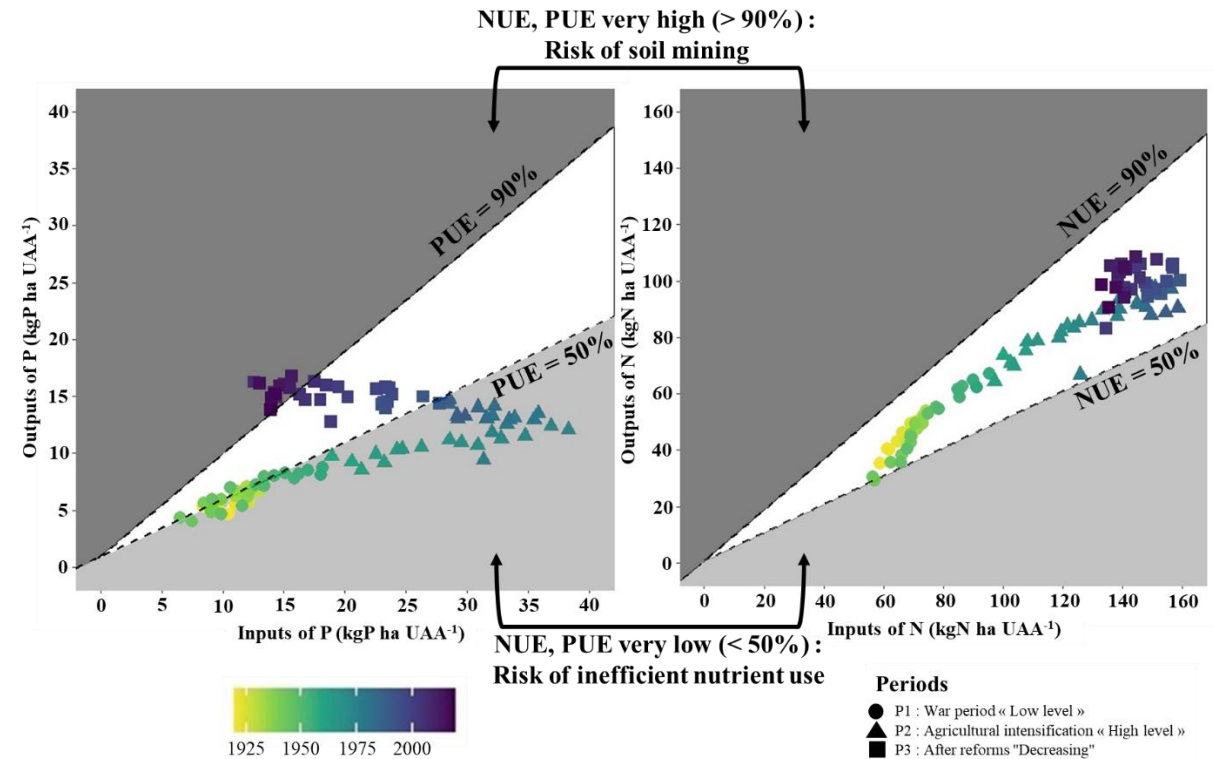
# CaSSis : caractérisation des évolutions agricoles passées



Date des maxima différents pour N et P

Période récente :

- Surplus N : pas de retour au niveau d'avant guerre
- Surplus P : valeurs négatives



En gris clair : risque de perte vers les hydrosystèmes

En gris foncé : risque d'appauvrissement du sol

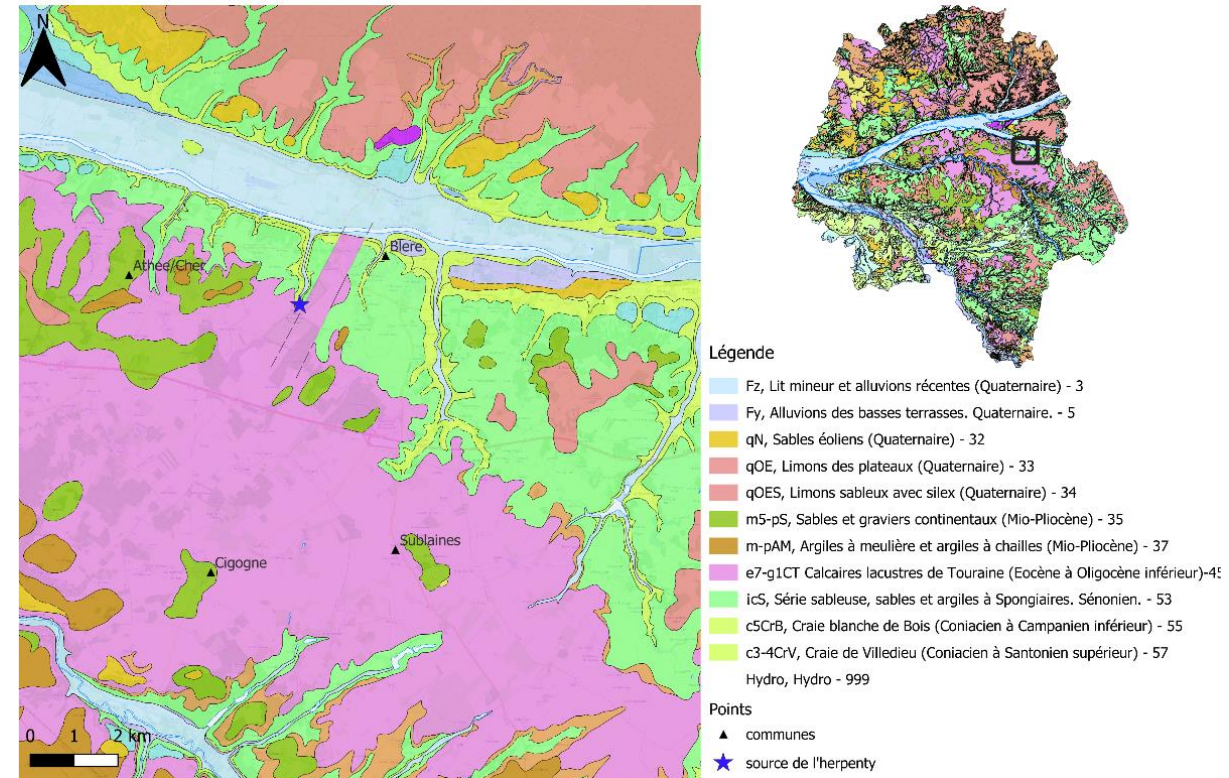
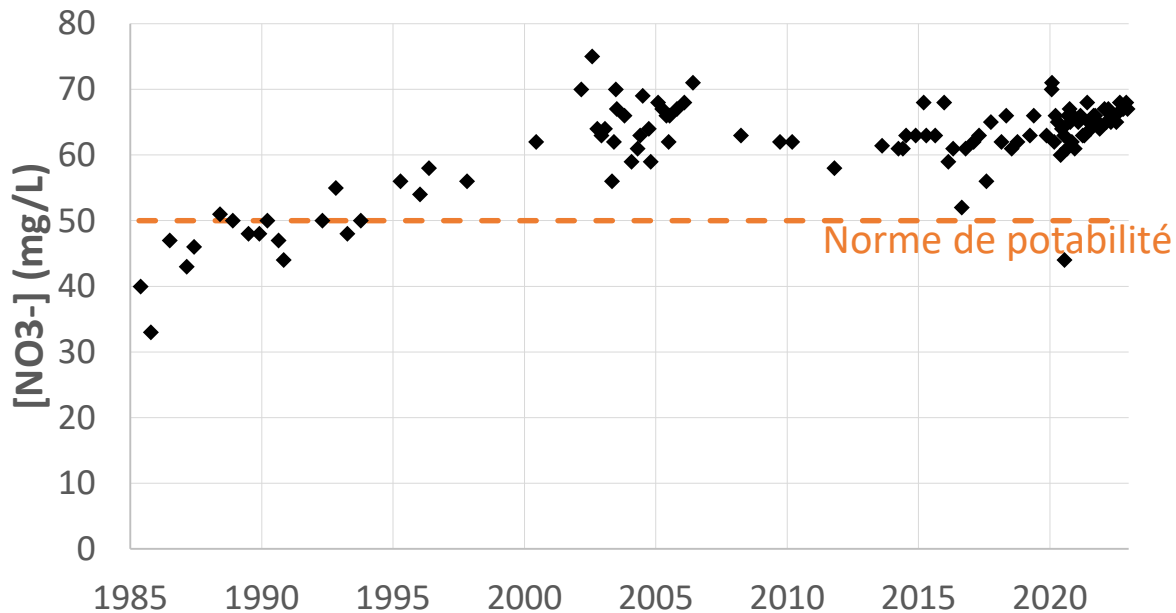
N : toujours dans la zone d'utilisation optimum des apports  
 P : une période jusqu'en 1970 d'utilisation massive d'engrais depuis inversion de la tendance pour aller vers un risque d'appauvrissement des sols



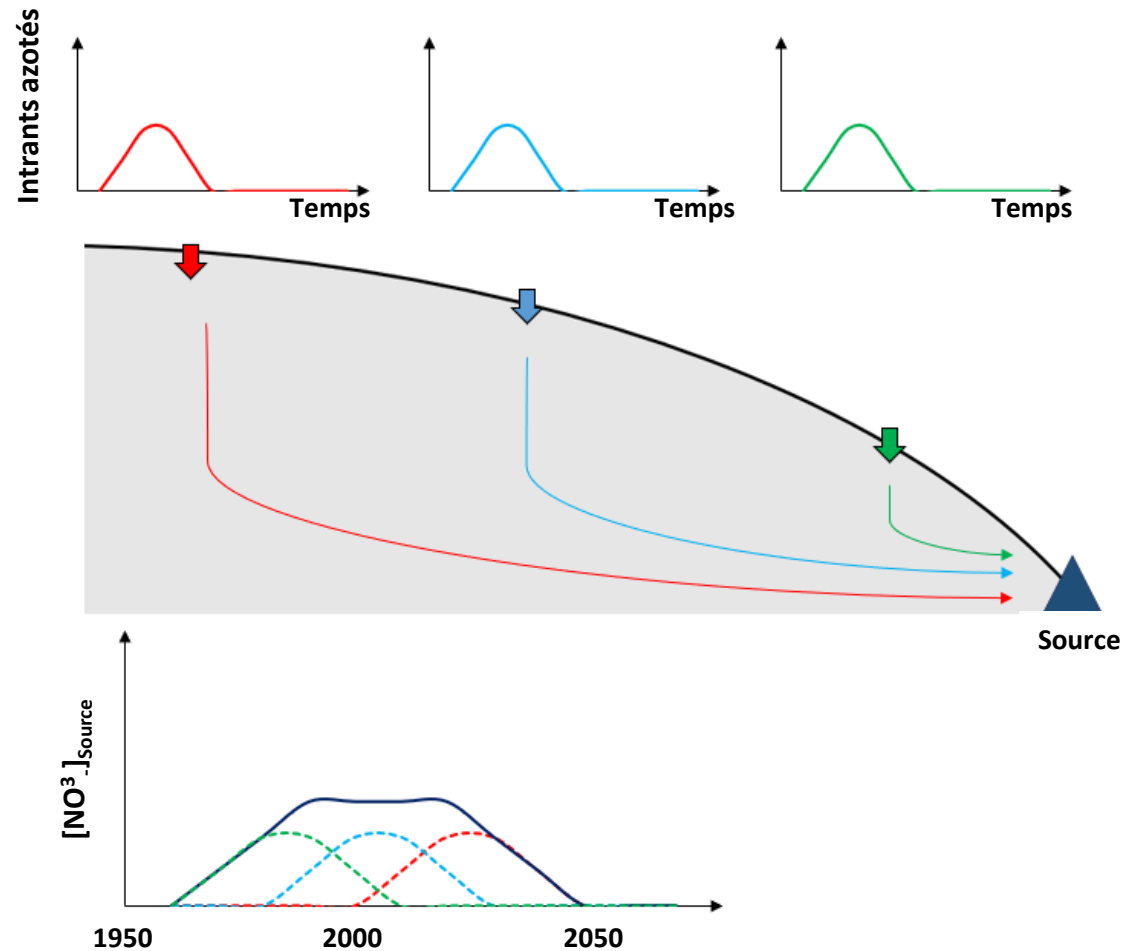
# Un exemple d'application : contexte

## La source de l'Herpenty:

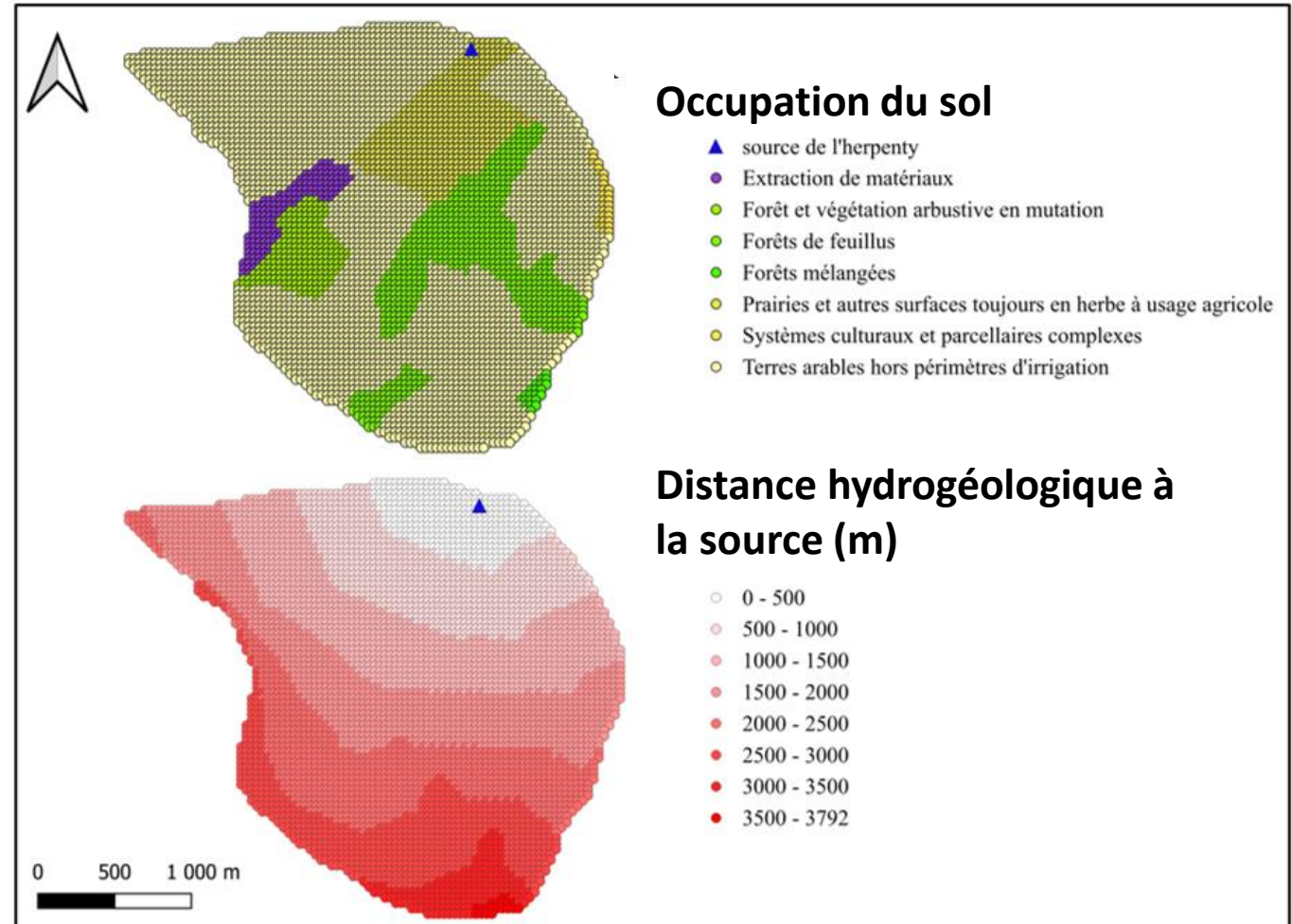
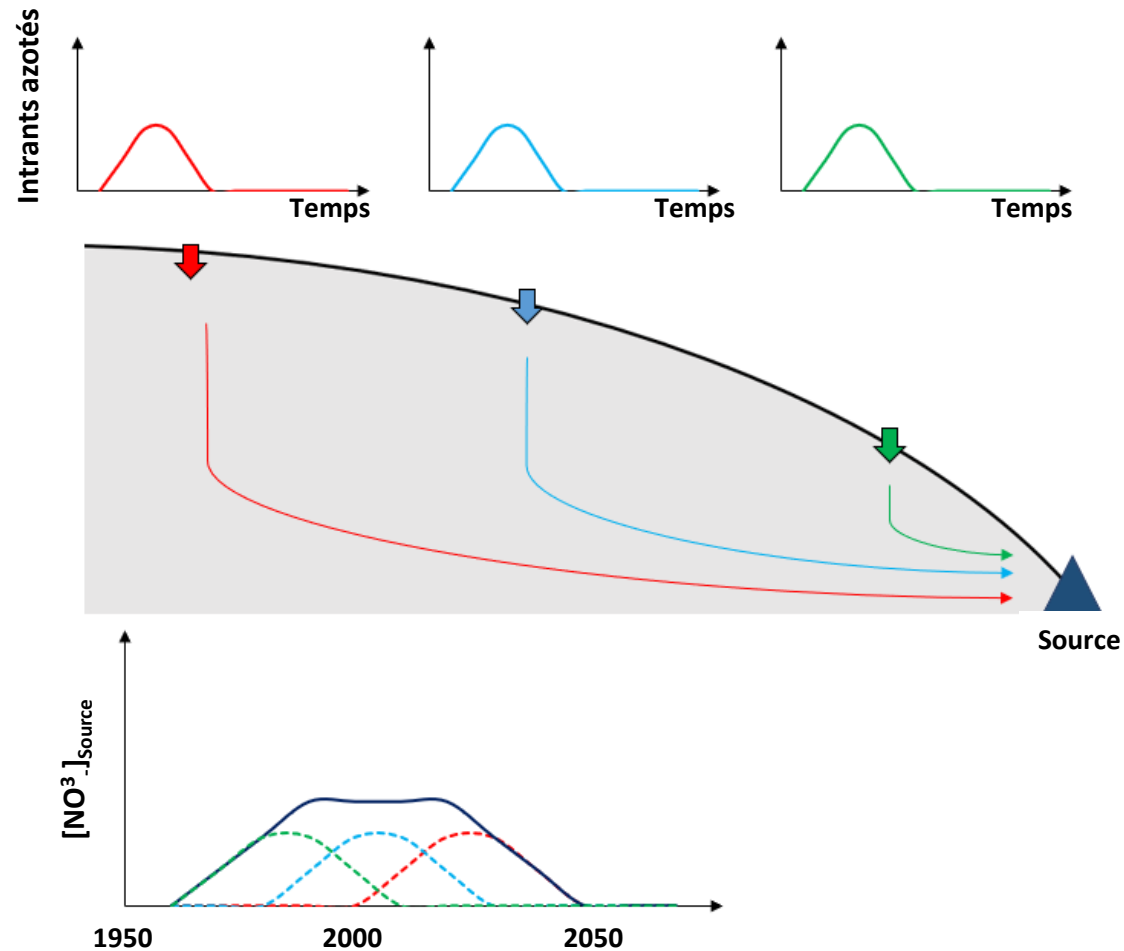
- Captage d'alimentation en eau potable
- Bassin d'alimentation de captage :
  - 6.2 km<sup>2</sup>
  - calcaire lacustre de Touraine (Ludien)
  - agricole (67% de terres arables)
- Diminution des intrants par les agriculteurs depuis 20 ans mais pas de diminution des concentrations en nitrates à la source



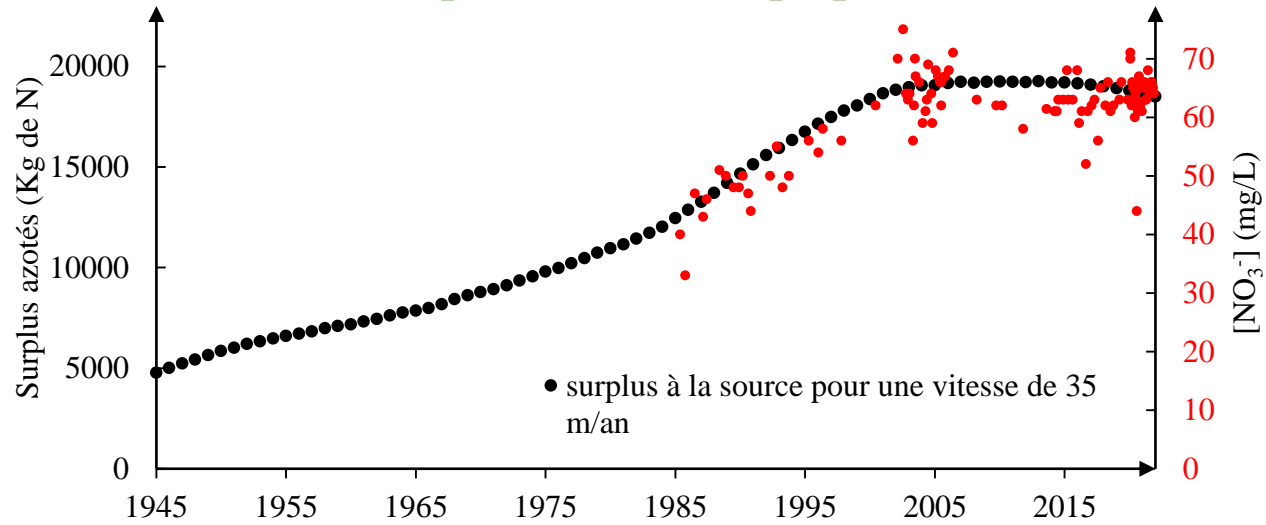
# Un exemple d'application : modèle de transfert



# Un exemple d'application : modèle de transfert



# Un exemple d'application : résultats

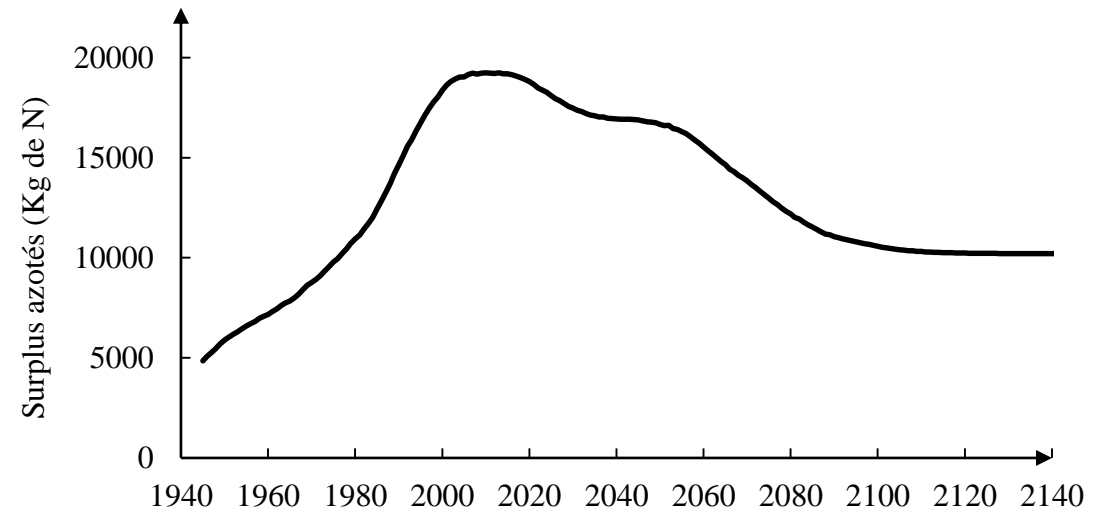


## Calage du modèle

- vitesse de transfert de 35 m/an
- perméabilité de  $10^{-6}$  m/s

Datation CFCs -  $SF_6$  : environ 40 ans

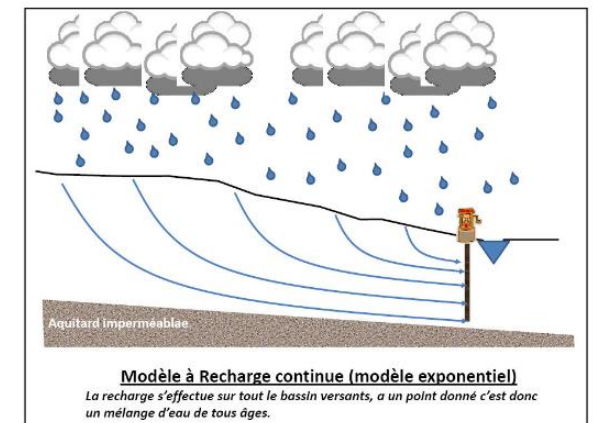
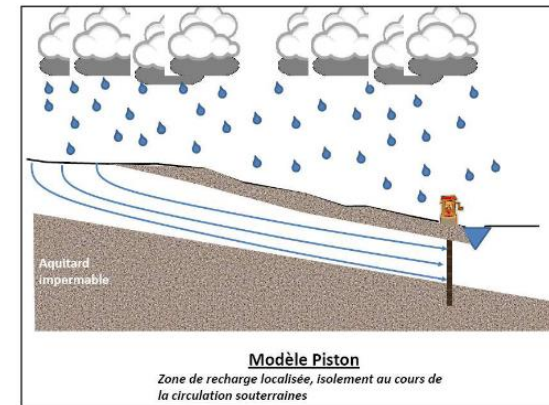
## Evolution future au niveau de la source: Hypothèse de stabilité des surplus





# Proposition de projet

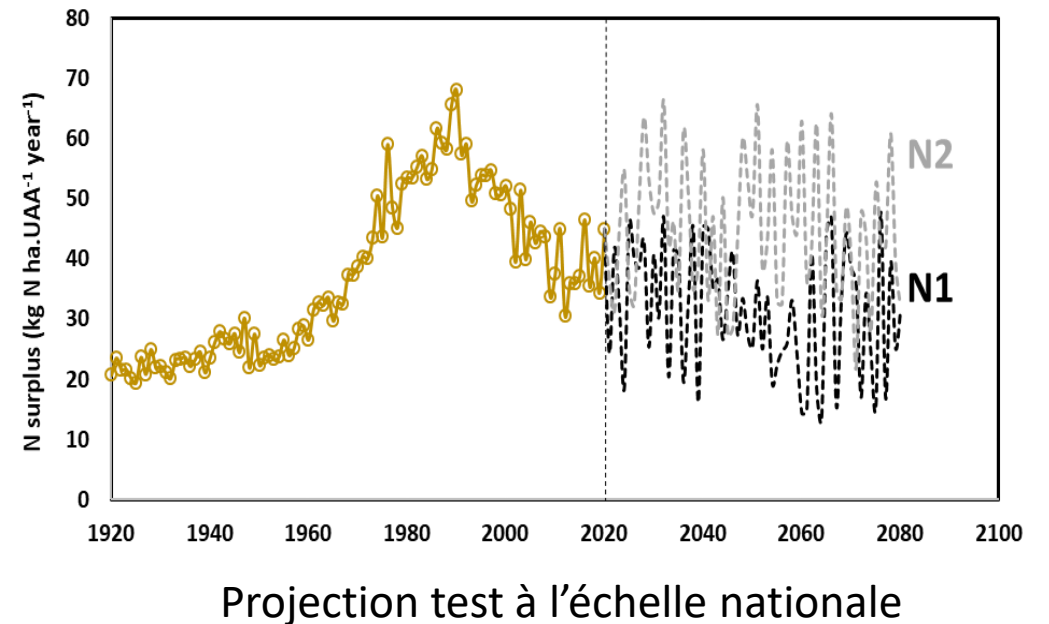
- Sélection des points de prélèvement sur la base de datations effectuées par Antea :
  - Différents temps de transfert
  - Différents types d'occupation du sol
  - Différents types d'ouvrage
  - Environ 10 points en première intention
- Caractérisation du contexte agricole de chaque bassin sélectionné
- Extraction des surplus de CaSSiS pour chaque bassin
- Développement d'un modèle hydrogéologique de transfert
  - Choix du modèle : type piston ou exponentiel
  - Calage des temps de transfert avec les surplus
  - Comparaison des résultats aux datations CFCs-SF<sub>6</sub>



Compréhension du fonctionnement des bassins à temps de transfert court

# Proposition de projet

- Bassins à temps de transfert long :
  - Nécessité de projection des surplus agricoles futurs
  - Scenarii basés sur :
    - N1 scenario optimiste :
      - Pas d'impact du changement climatique ou adaptation des espèces cultivés
      - Moins d'élevage
    - N2 scenario pessimiste
      - Baisse des rendements à cause des période de sécheresse
  - Scenarii à adapter au contexte agricole du bassin de la Saône





**Séminaire scientifique Saône**  
**9 avril 2024 | Dijon**





➤ ARPEGES, méthode de diagnostic du potentiel de contamination des eaux de surface par les pesticides. Intérêt pour cartographier la vulnérabilité du BV de la Saône aux transferts de contaminants ?

Nadia Carluer - Véronique Gouy - Jérémy Piffady, INRAE - UR RiverLy  
Emilie Adoir (RiverLy / IFV)

## > Contexte

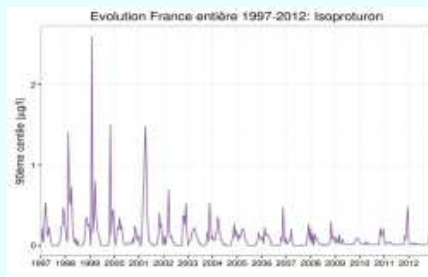
ARPEGES : Méthode développée à la demande de l'OFB, pour aider à l'évaluation de l'état des lieux Pesticides pour le reportage DCE, en allant au-delà des seules données de pression

- Utilisée par quelques agences de l'eau (AERM, AESN, AELB)
- Appliquée à l'échelle nationale pour 15 substances actives en 2017

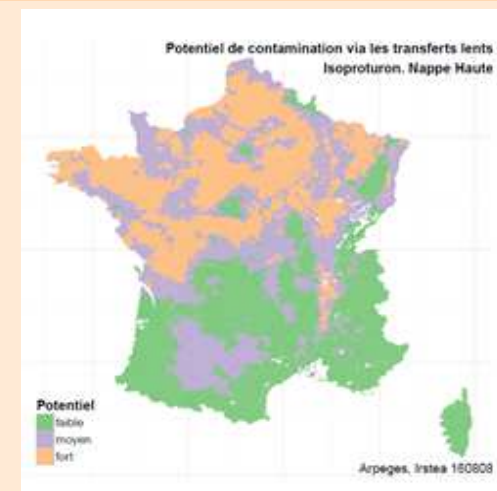
Méthode d'interprétation des données observées du réseau de surveillance

### Interprétation des données de surveillance

Tendances d'évolution au niveau national



### Evaluation du potentiel de contamination des eaux de surface par les pesticides



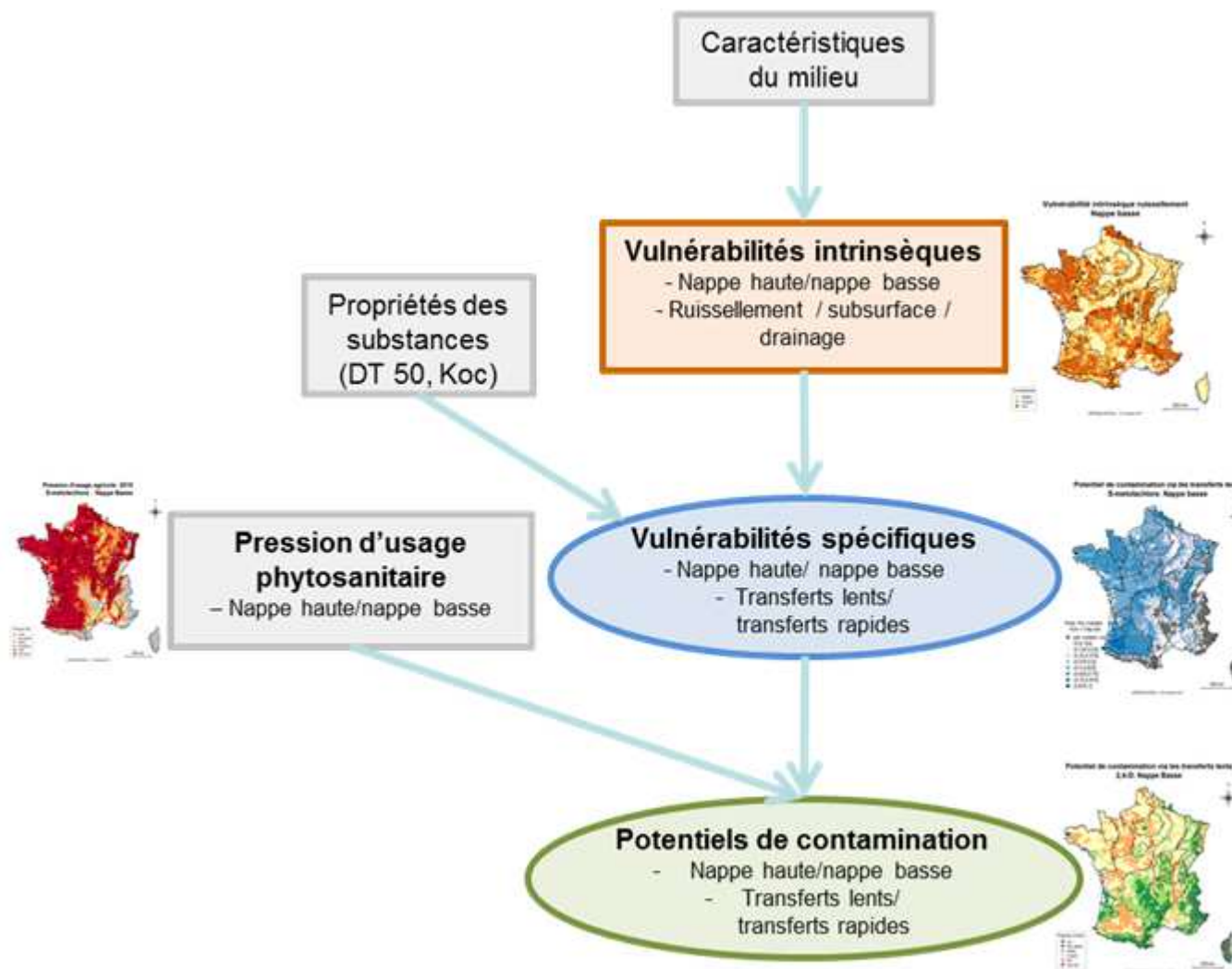
Comparaison des résultats. Intérêts et limites de chaque méthode

# > Principe d'Arpeges

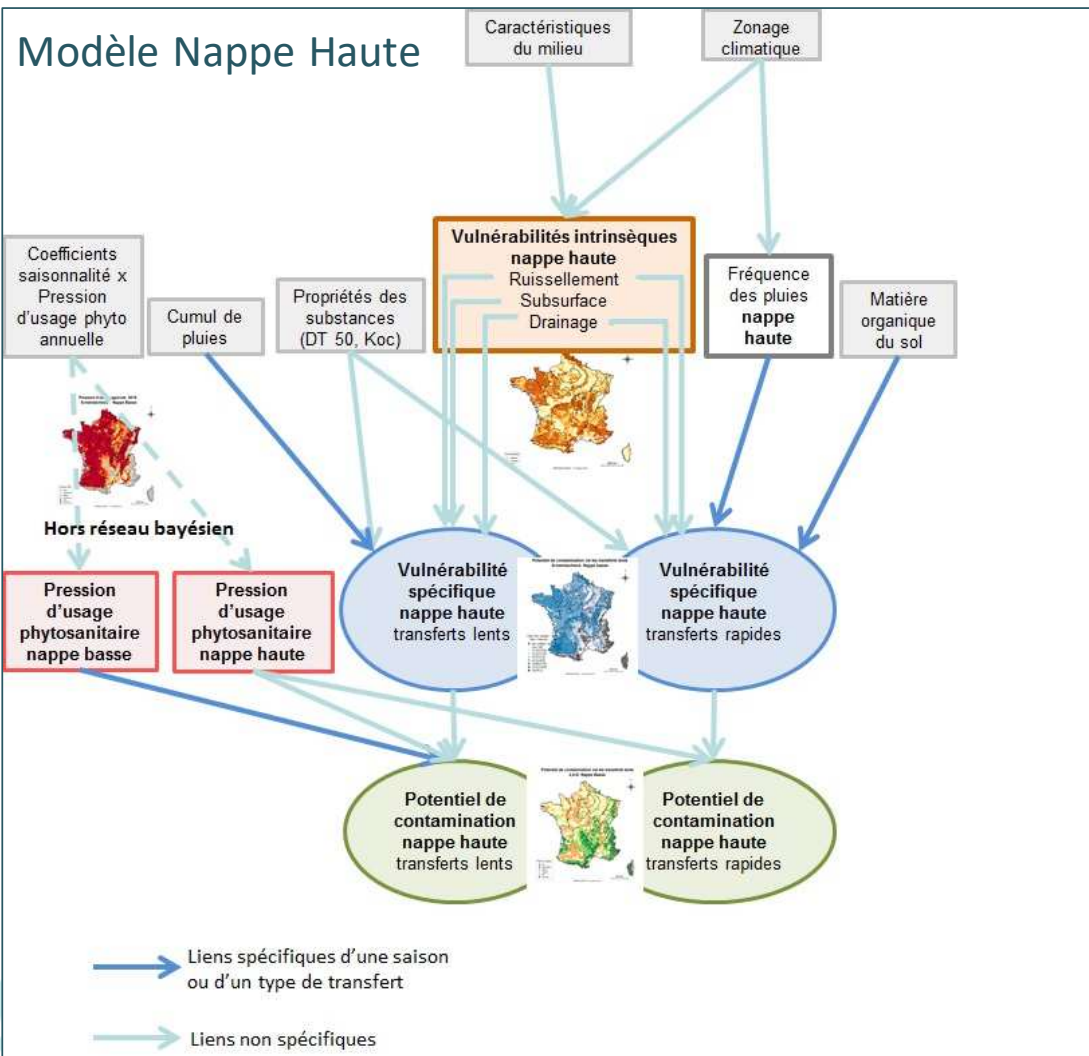
## Structure générale du modèle

Modèle bayésien :

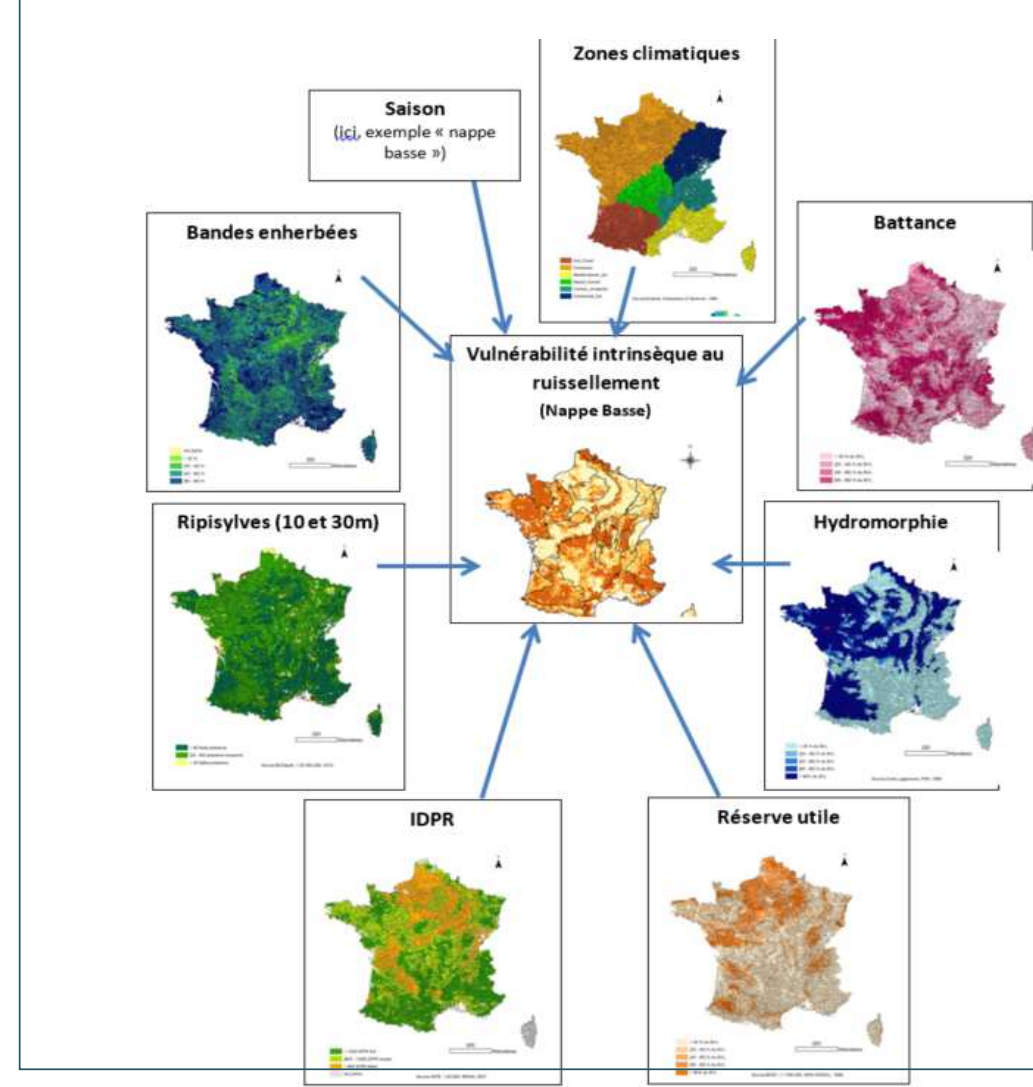
- permet d'intégrer les connaissances expertes
- basé sur la compréhension que l'on a des processus et facteurs déterminant le devenir des pesticides à l'échelle des petits bassins versants
  - Distinction des périodes nappe haute/nappe basse ; des transferts lents/rapides
- utilise des données d'entrée disponibles à l'échelle nationale. Différentes méthodes d'agrégation/discrétisation pour spatialiser les données d'entrée
- possibilité d'affiner le diagnostic si données/expertise disponible à une échelle plus locale
- fournit le niveau de confiance des résultats
- Disponible sous forme d'interface R



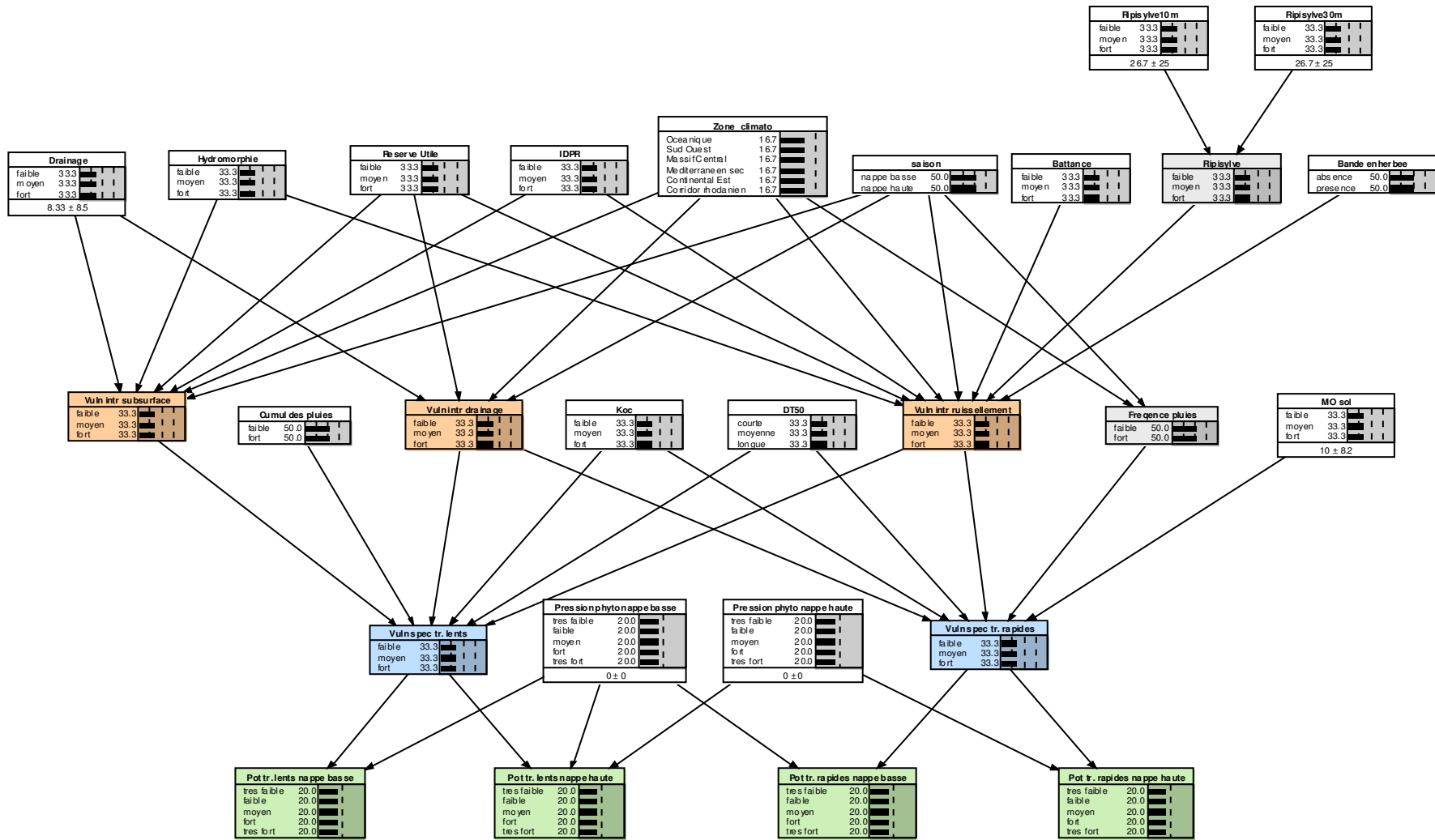
# Principes d'Arpeges



## Variables déterminant la vulnérabilité intrinsèque au Ruissellement



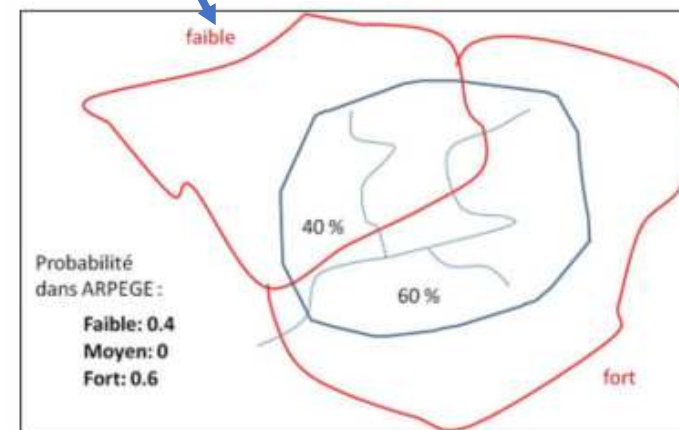
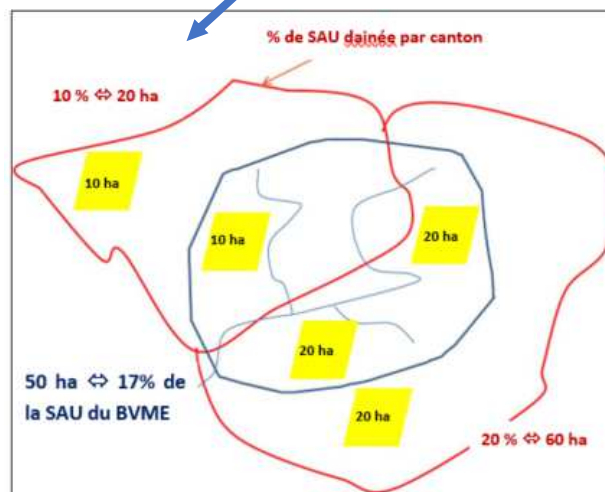
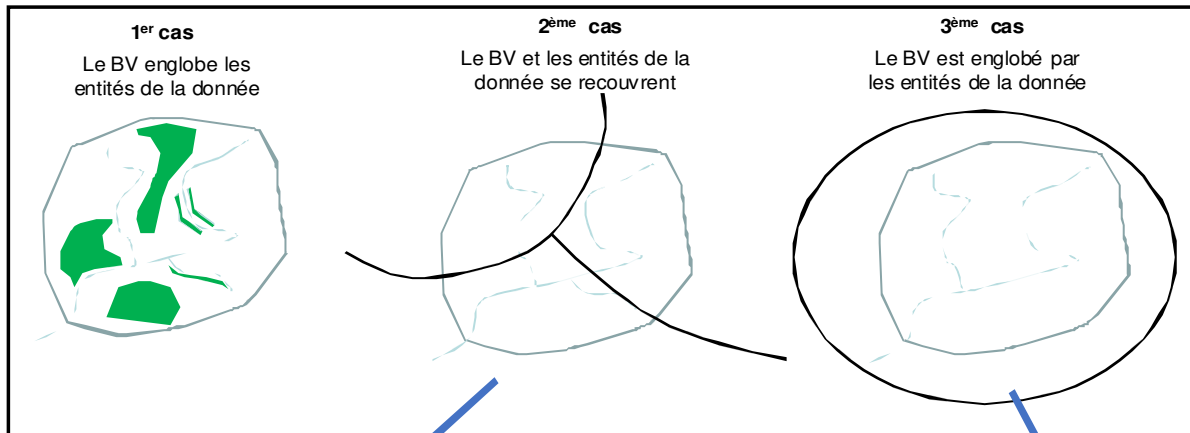
# Liens entre nœuds parents et enfants



## ➤ Etat des nœuds parents, seuils de discrétisation

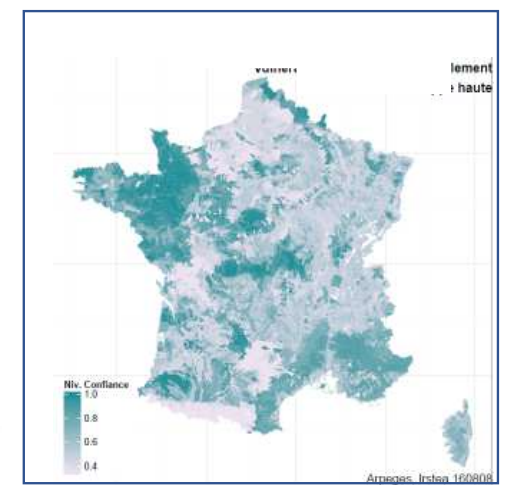
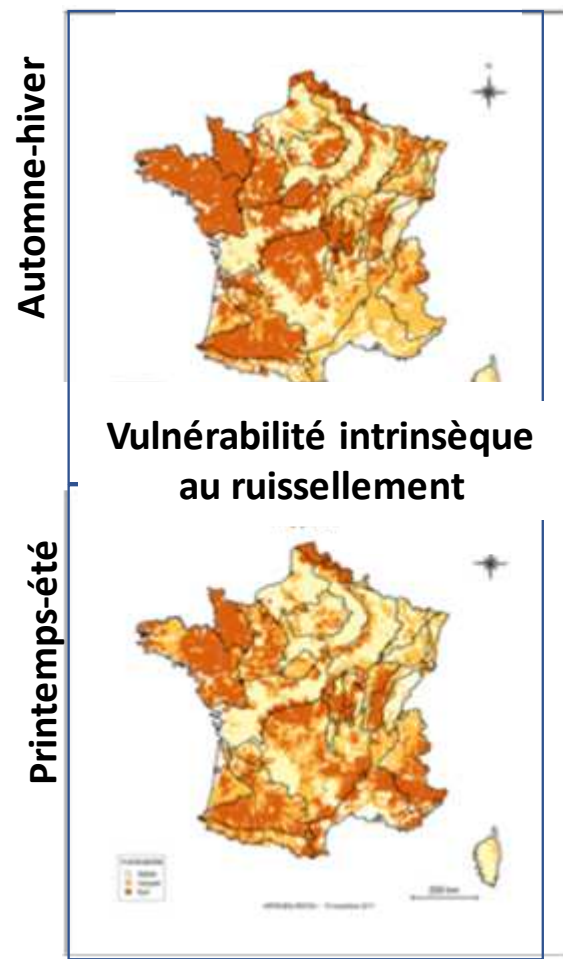
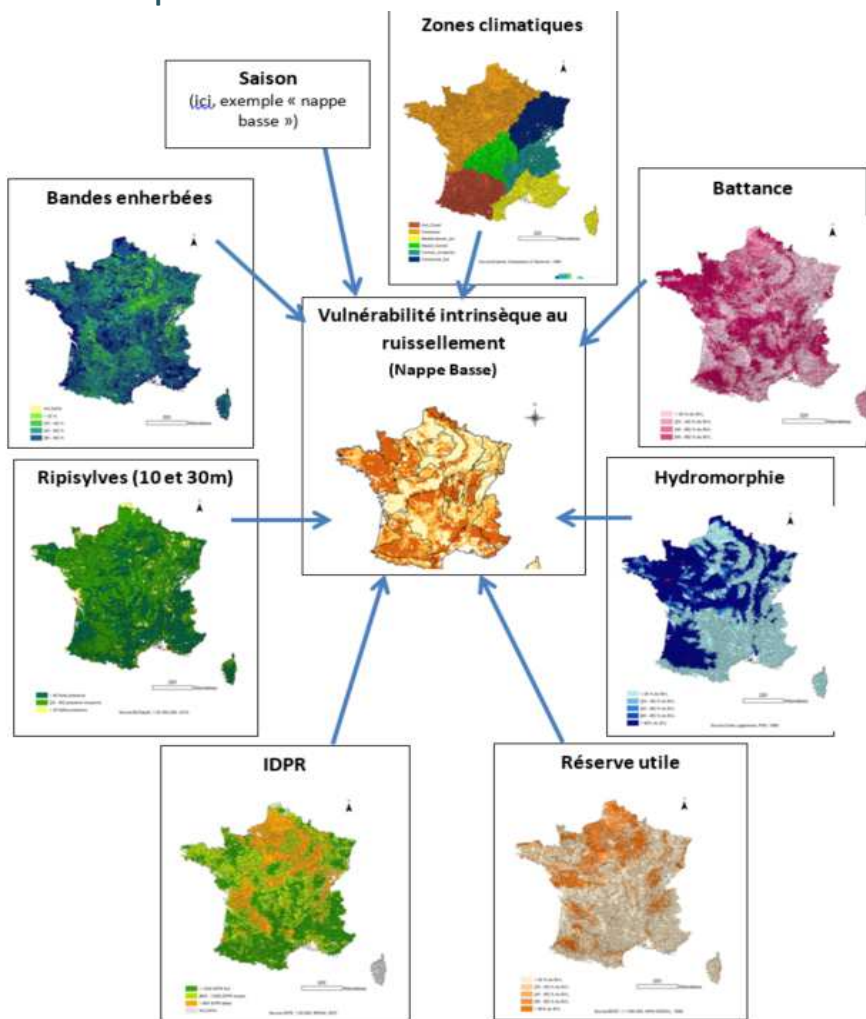
Thématique de données d'entrée	Nœud parent	Intitulé de la donnée disponible	Type de donnée	Etats	Seuils de discrétisation	Probabilité de l'état	Source	Unité spatiale ou échelle spatiale	Date	Méthode d'évaluation du niveau du BVME
Données pédologiques	IDPR	idem	continue	faible	<800	100 % pour l'état résultant de la discrétisation	IDPR	1/50 000	2010	Agrégation par la moyenne
				moyen	800 < x < 1200					
				fort	>1200					
	Battance des sols	Sensibilité des sols à la formation d'une croûte de battance	discrète	faible		% de la surface du BV en faible	BDGSF	UCS	2002	Agrégation probabiliste
				moyen		% de la surface du BV en moyen				
				fort		% de la surface du BV en fort				
	Hydromorphie des sols	Présence de sols hydromorphes	discrète	faible		100 % pour l'état résultant de la discrétisation	Carte Lagacherie	PRN	1987	Agrégation probabiliste
				moyen						
				fort						
	Réserve utile	idem	discrète	faible		% de la surface du BV en faible	BDGSF	UCS	1998	Agrégation probabiliste
moyen				% de la surface du BV en moyen						
fort				% de la surface du BV en fort						
Matière organique du sol	Teneur du sol en carbone organique	continue	faible	< 10 g/kg	100 % pour l'état résultant de la discrétisation	BDAT	Cantons	2000-2004	Agrégation probabiliste	

➤ Données spatiales utilisées sur le territoire national pour les variables d'entrée d'ARPEGES  
 Modes d'agrégation / désagrégation



# ➤ Vulnérabilité intrinsèque : exemple du ruissellement

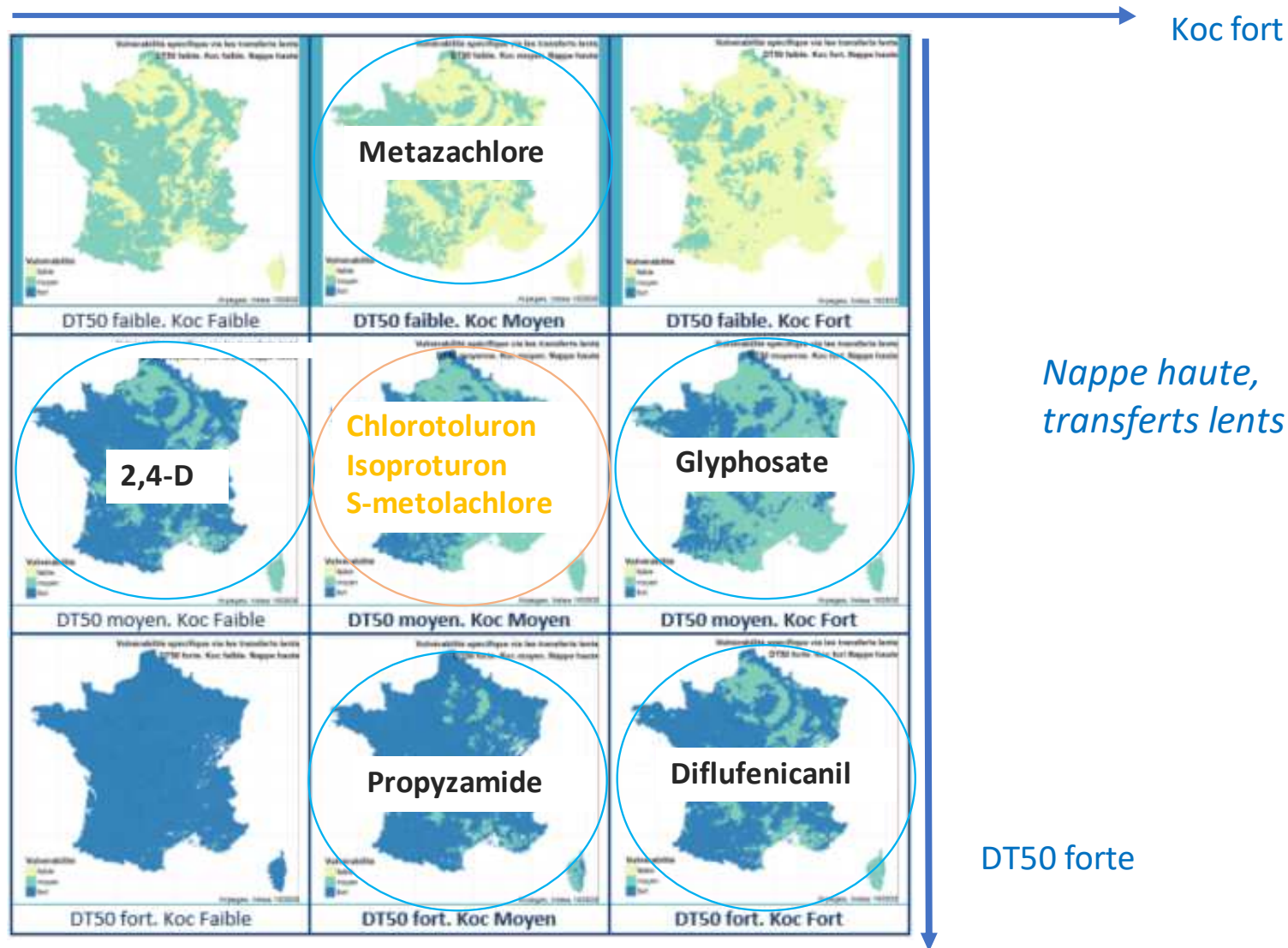
Variables déterminant la vulnérabilité intrinsèque aux transferts



**Indice de confiance**  
**Probabilité de risque fort ou très fort**



# > Vulnérabilité spécifique



9 combinaisons de propriétés physico-chimiques :  
3 DT50 \* 3 Koc

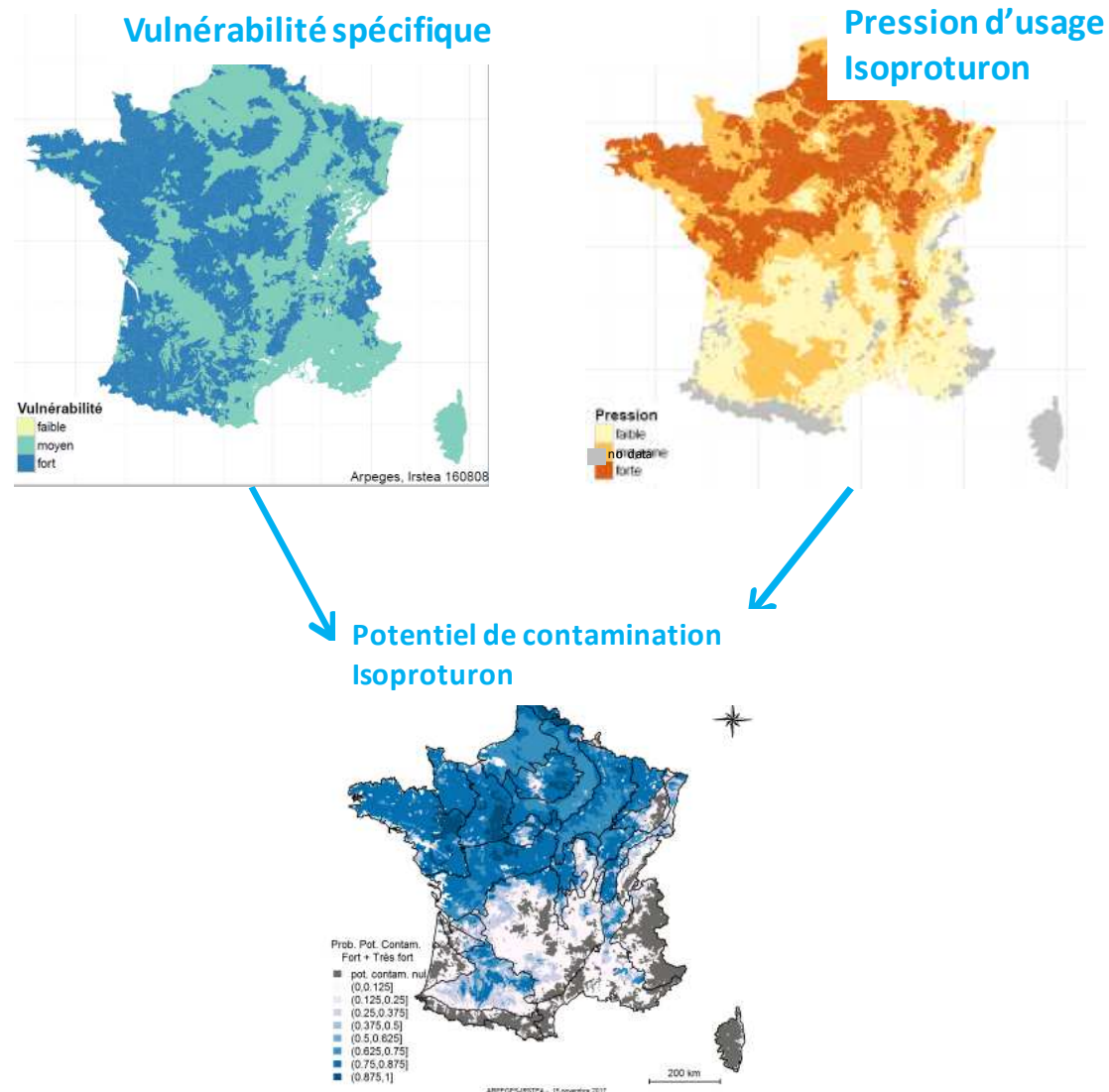
## ➤ Potentiel de contamination

Spatialisation de la donnée d'entrée « pression phyto ». ODR

- Utilisation de la BNVD spatialisée au code postal de l'acheteur (depuis 2012)
  - Pondération de la spatialisation par les doses homologuées
  - Prise en compte du parcellaire d'exploitation
- ⇒ conduit à quelques cas où certaines quantités achetées restent « orphelines »
- Répartition des applications selon les périodes nappe haute / nappe basse selon les usages des substances

Prise en compte de 5 niveaux de pression, homogène selon les substances

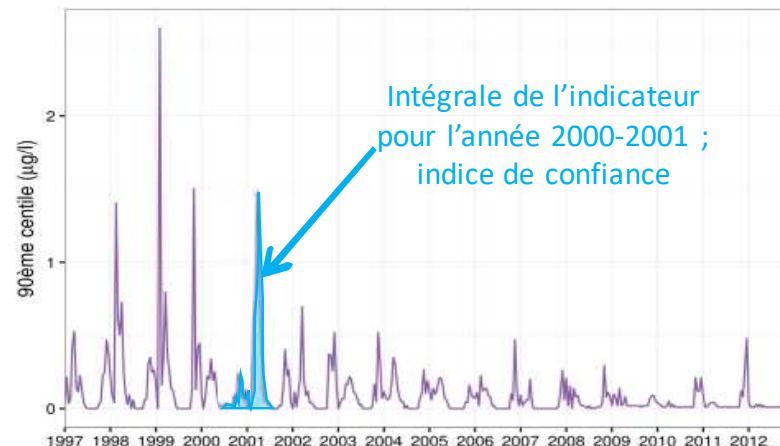
Seuil 1 (g/ha)	Seuil 2 (g/ha)	Seuil 3 (g/ha)	Seuil 4 (g/ha)
0,1	1	5	10



# ➤ Méthode d'analyse des données de surveillance

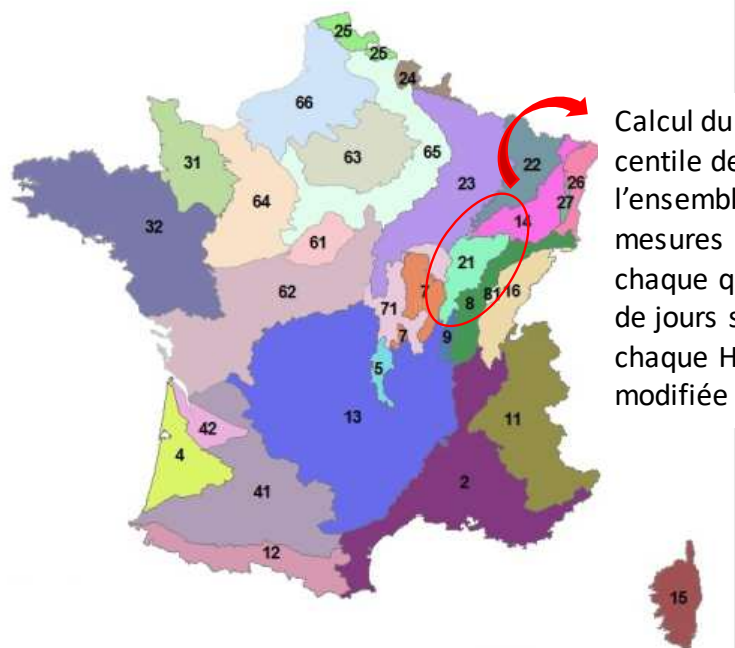
Données peu nombreuses à chaque station et réseau non stable au cours du temps

⇒ Hypothèses que l'agrégation temporelle et spatiale des données de surveillance permet de compenser leur manque de représentativité à l'échelle d'une station pour approcher la dynamique de la contamination.

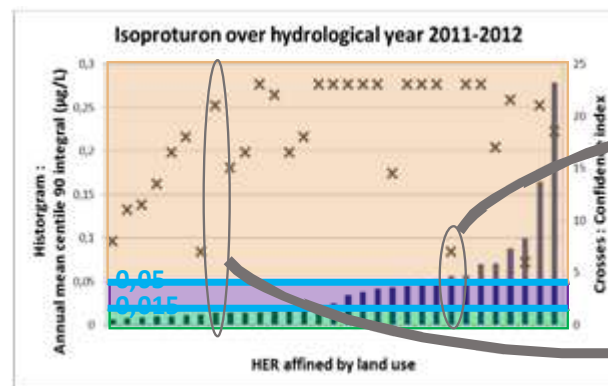


Evolution de l'isoproturon à l'échelle nationale (1997-2012)

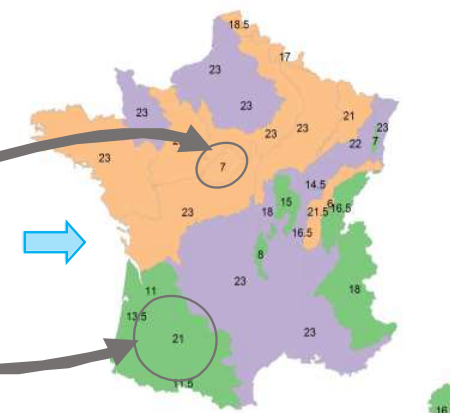
## Hydro Eco Régions modifiées



Calcul du 90<sup>ème</sup> centile de l'ensemble des mesures pour chaque quinzaine de jours sur chaque HER modifiée (OTEX)



a Number of fortnights taken into account for the integral calculation (max=24)



Annual mean centile 90 integral (µg/L)

- Green: [0.00625, 0.0145]
- Orange: [0.0145, 0.0447]
- Yellow: [0.0447, 0.278]

A gauche, indice de confiance : croix ; à droite : inscrit dans la HER concernée

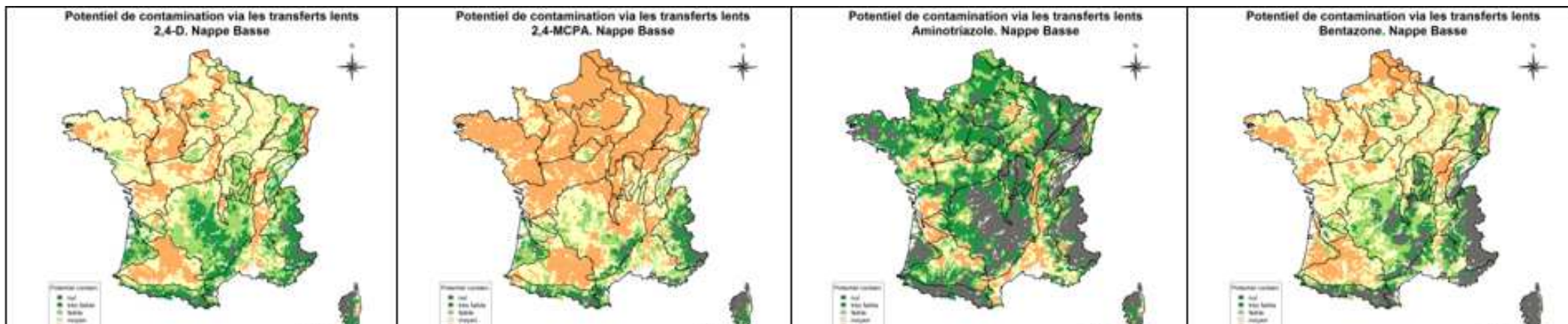
# ➤ Comparaison des résultats d'Arpeges aux données observées

2,4-D  
(NQE = 2,2 µg/L)

2,4-mcpa

Aminotriazole  
(NQE = 0,08 µg/L)

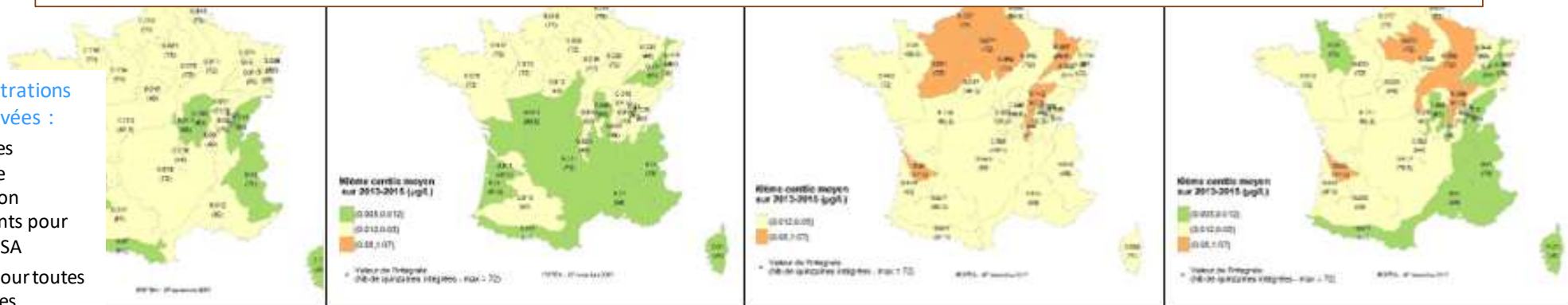
Bentazone  
(NQE = 70 µg/L)



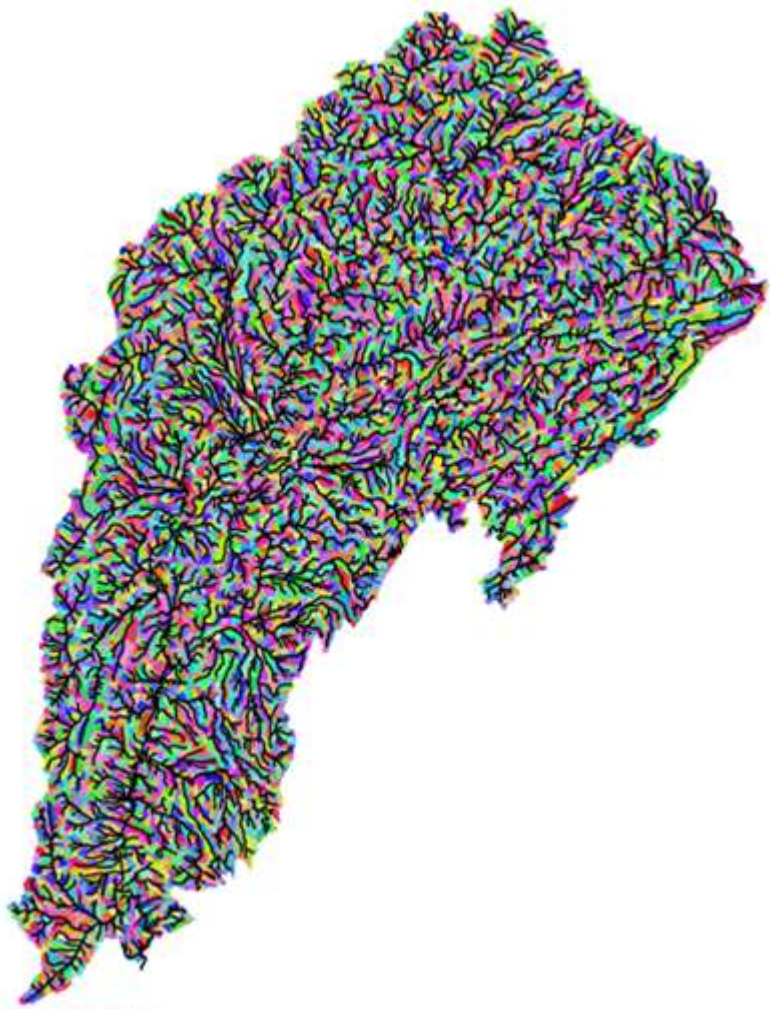
90<sup>ème</sup> centile moyenné sur l'année, et non sur les périodes de transfert : à prendre en compte pour la comparaison à des observations  
ARPEGES donne un potentiel de risque de contamination, pas un risque réalisé

Seuils de concentrations moyennes observées :

- ajustés sur les potentiels de contamination transferts lents pour une saison/SA
- identiques pour toutes les substances



➤ Intérêt d'Arpeges pour cartographier la vulnérabilité du BV de la Saône aux transferts de contaminants ?



En complément au diagnostic « ESO » :

- Détermination de la vulnérabilité intrinsèque aux différents types d'écoulements pour les ESU, à l'échelle des BV de masses d'eau (ruissellement, subsurface, drainage)
- Possibilité d'ajuster les classes des variables mère pour mieux discriminer les situations
- Possibilité d'appliquer à d'autres types de contaminants que les seuls pesticides ?



**Séminaire scientifique Saône**  
**9 avril 2024 | Dijon**



# CONTASAÔNE

## Evaluation de la distribution, des sources et des flux de contaminants à l'échelle du bassin versant de la Saône (2023 – 2026)

*INRAE UR RiverLy – Laboratoire de chimie des milieux aquatiques (LAMA),*

*Aymeric Dabrin, Maeva Claveau*

*Université Bourgogne Franche Comté, BIOGEOLOGIE, UMR CNRS 6282*

*Philippe Amiotte-Suchet*

*Université Bourgogne Franche Comté, CHRONOENVIRONNEMENT, UMR CNRS 6249*

*François Degiorgi, Axelle Chiffre*



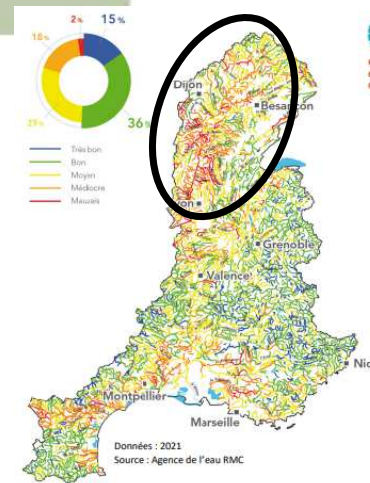
Cofinancé par  
l'Union européenne

9 avril 2024

# Contexte

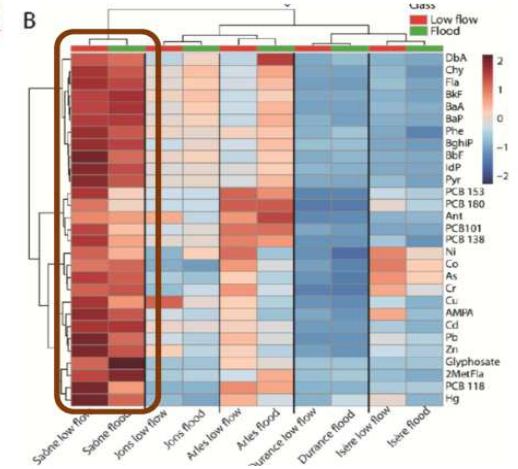
- **Superficie** du bassin versant de la Saône : 30 000 km<sup>2</sup> soit **1/3 du bassin versant du Rhône**.
- Nombreuses masses d'eau du bassin versant de la Saône classées comme **médiocre à mauvais**.
- **Contamination** de la Saône : données **spatio-temporelles** parcellaires et ciblées.

## CONTASAÔNE



Carte de l'état écologique des masses d'eau du bassin RMC en 2022

OSR  
Observatoire  
des Sédiments  
du Rhône

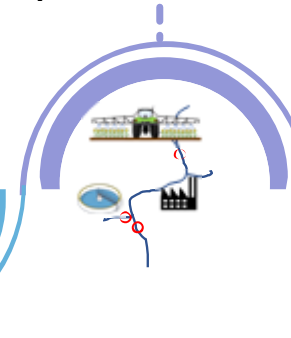


Hugo Delile et al. Rapport final de l'action C1.3- OSR5. ZABR, Lyon. 2020

Contaminations : natures, concentrations, flux, extension, dynamique ?



Quelles sont les pressions ? Où ?

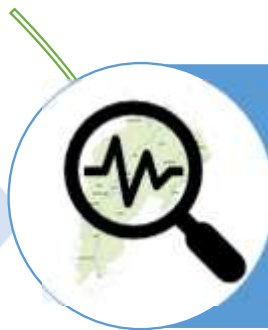


Dans quelle.s fraction.s ?  
Dissous / particulaire ?



# OBJECTIFS

**A.** Quels **affluents** et quels **micropolluants** présentent des anomalies de **concentration** à l'échelle de la Saône et des affluents ?



- Effectuer un bilan des données existantes pour bien dimensionner le réseau CONTASAONE
- Identifier la nature et la **localisation** des **contaminants** dans le BV.
- Evaluer le **rôle de l'hydrologie** sur la variabilité des concentrations.

**B.** Quelles sont les **contributions** des principaux **affluents** aux **flux de MES** transportés par la Saône en utilisant les approches de **traçage géochimique** des particules ?



- **Sélectionner les stations à équiper** en pièges à MES et échantillonneurs passifs.
- **Identifier les traceurs géochimiques** permettant de distinguer des signatures contrastées et conservatrices des MES /sédiments des affluents de la Saône.
- Estimer la **contribution relative** des affluents aux **flux** de MES à la Saône.

**C.** Dans quelle **fraction (dissoute/particulaire)** les contaminants sont-ils majoritairement présents ?



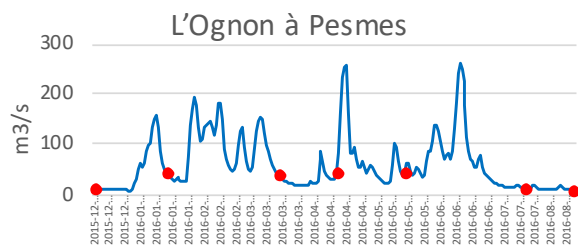
- Déterminer dans quelle **matrice** (dissous / particulaire) les contaminants d'intérêt sont majoritairement retrouvés.
- Calculer les **flux particulaires et dissous** apportés par les **affluents** et par la Saône.

# Démarche

1

## Données existantes

- Données préliminaires pour la mise en place du réseau
- Echantillonnage ponctuels
- Fréquence d'échantillonnage hétérogène selon les stations
- Disparité entre matrices (peu de suivi dans les phases particulaires)
- Variabilité temporelle des LQ



Mise en place d'un réseau de surveillance des contaminants dans les phases dissoutes et particulaires

2

## Réseau Contasaône

- Identification de 6 stations représentatives
- Echantillonnage **intégratif** de la variation **temporelle** (15 à 30 jours)
- **Matrice dissoute et particulaire**
- Pré-concentration = **abaissement des LQ**
- Recherche de **signature** géochimique
- Estimation de **flux** et de la contribution des affluents



DGT



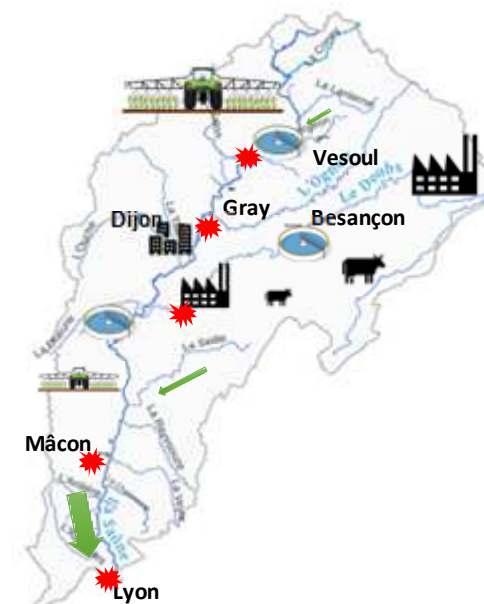
POCIS



Pièges à particules

3

Caractérisation des pressions de pollution du BV de la Saône



# Démarche

1

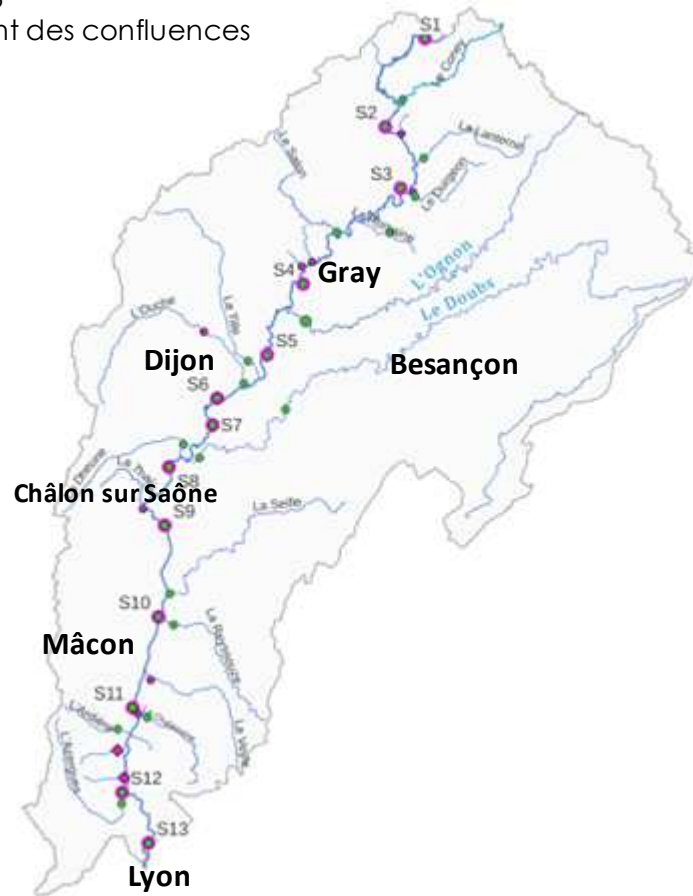
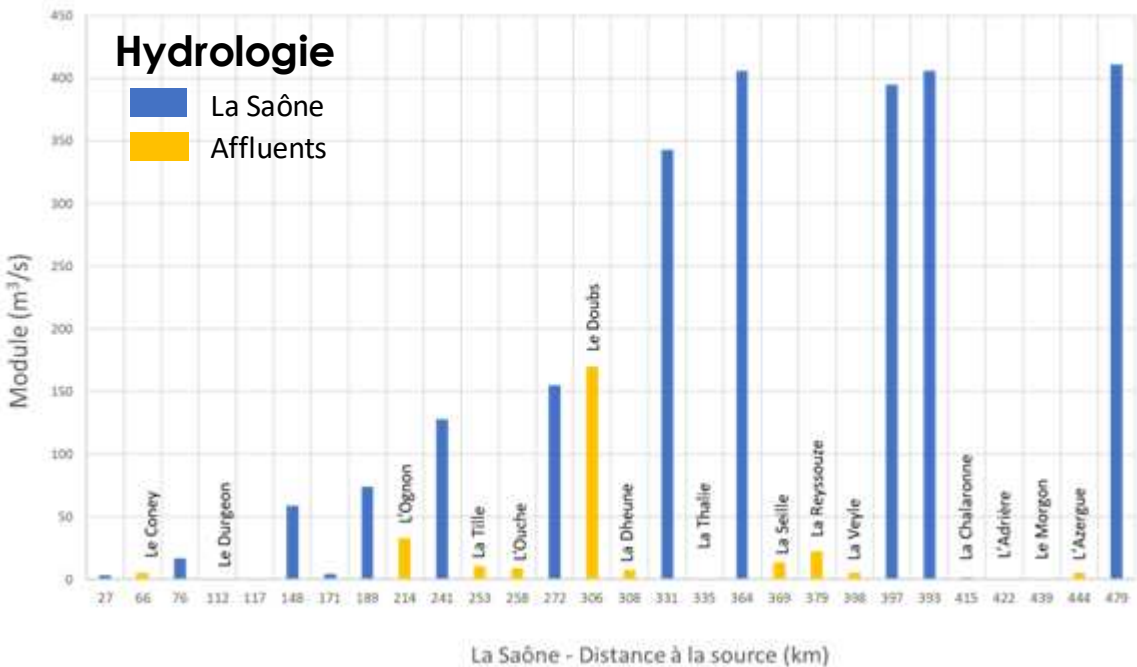
Collecter et synthétiser les données existantes issues de réseaux de surveillance



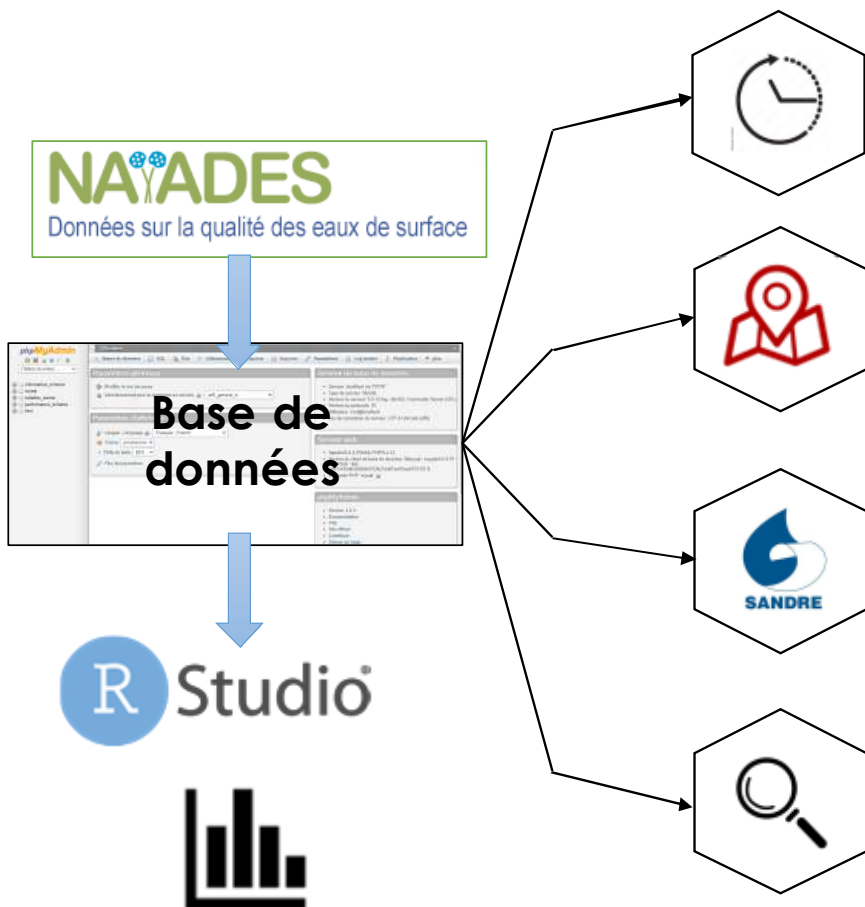
## SÉLECTION DES STATIONS

Réseau de surveillance et opérationnel de l'agence de l'eau :

- 13 stations sur la Saône de S1 à S13
- 24 stations sur les affluents en amont des confluences



# Extraction des données



## PÉRIODE

Support **eau** : 2014 – 2109 (**5 ans**) / Support **sédiment** : 2007 – 2019 (**12 ans**)

## SÉLECTION DES STATIONS

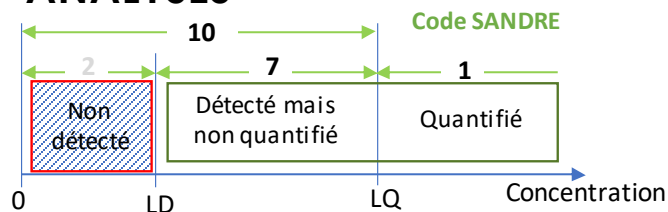
**13 stations** sur la Saône du réseau RCS/RCO  
**24 stations** sur les affluents en aval de sous bassins versants avant la confluence

## SÉLECTION DES SUBSTANCES

Programme de surveillance de l'état des eaux (Art. R.212-22 du code de l'environnement) et listes **SANDRE** (Système d'administration National des Données sur l'Eau) dans les eaux de surface

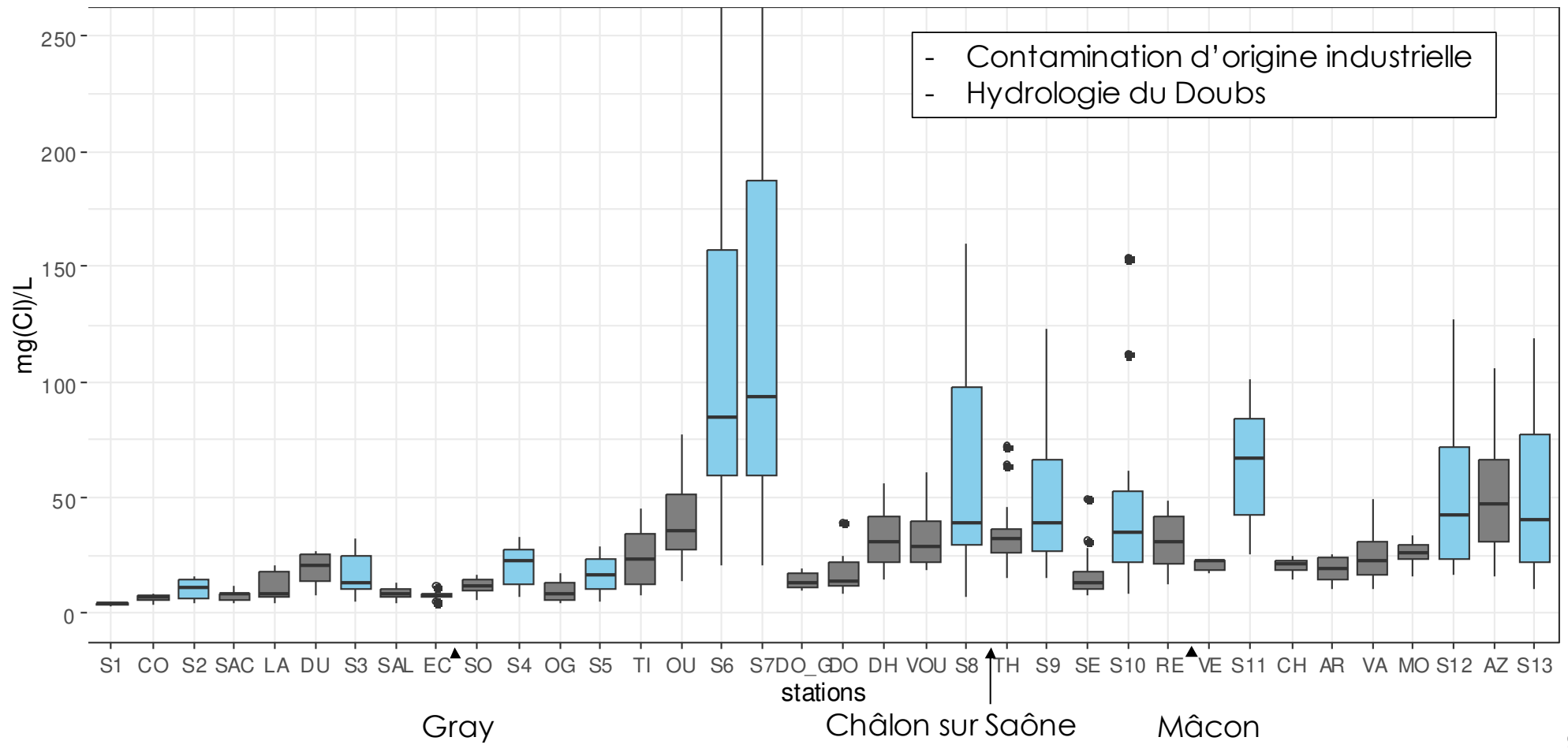
- Paramètres physico-chimique pour les cours d'eau (liste 212)
- Substances prioritaires et pertinentes (liste 210 et 211)
- Autres listes : Phytosanitaires (97, 203, 204, 206, 207)

## ANALYSES



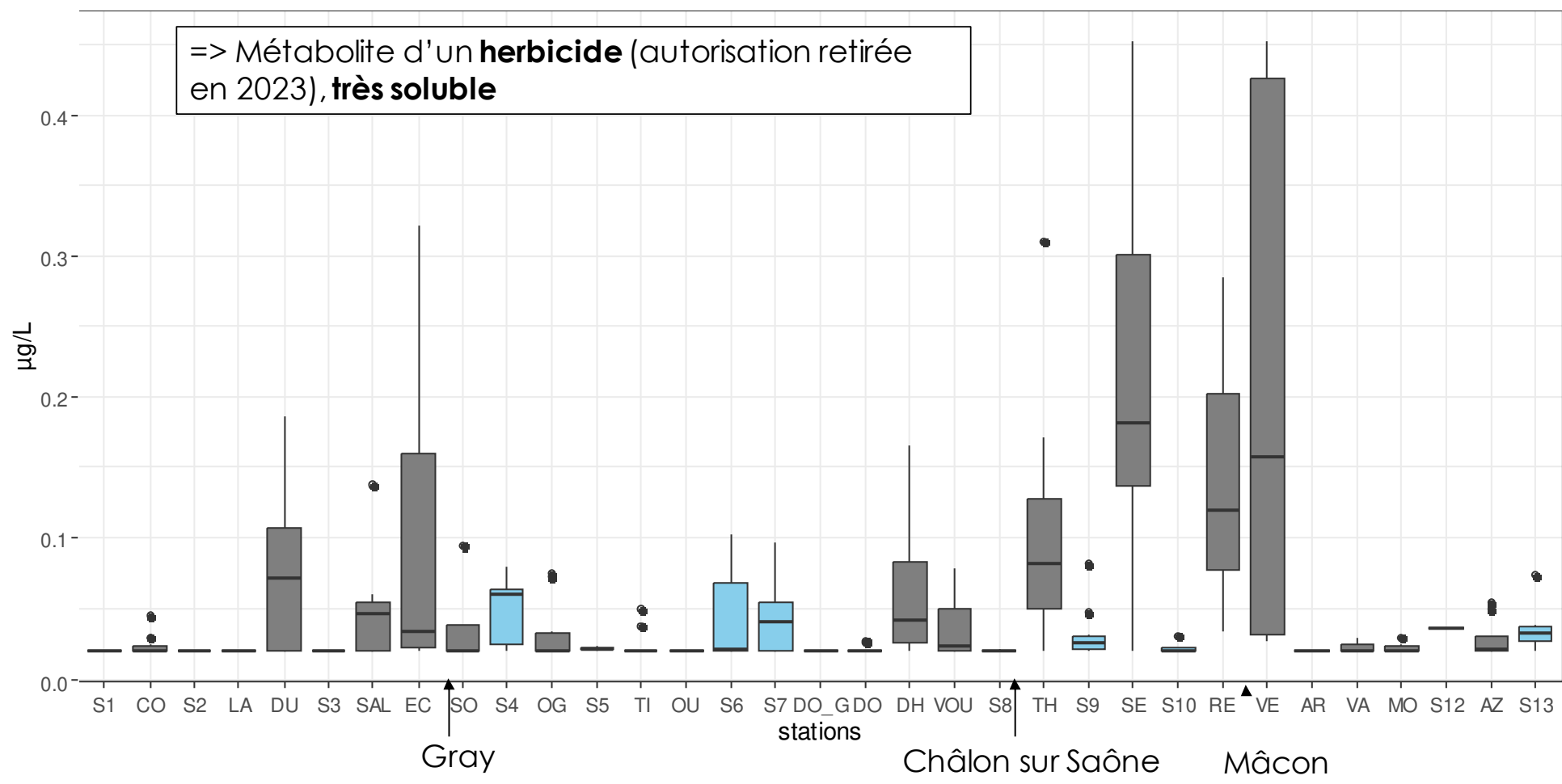
**Plusieurs centaines de milliers de données...**

# Chlorures

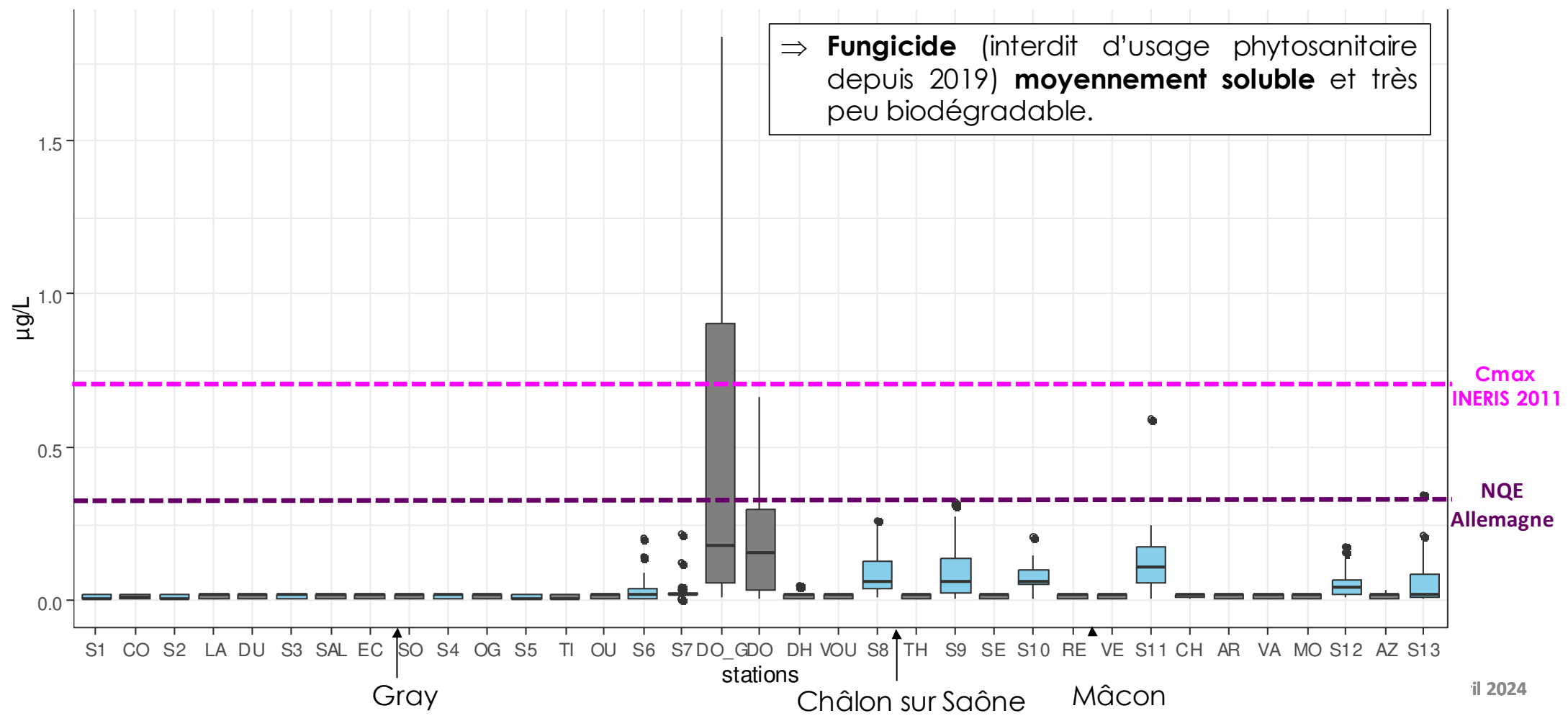


# Métolachlore OXA

=> Métabolite d'un **herbicide** (autorisation retirée en 2023), **très soluble**



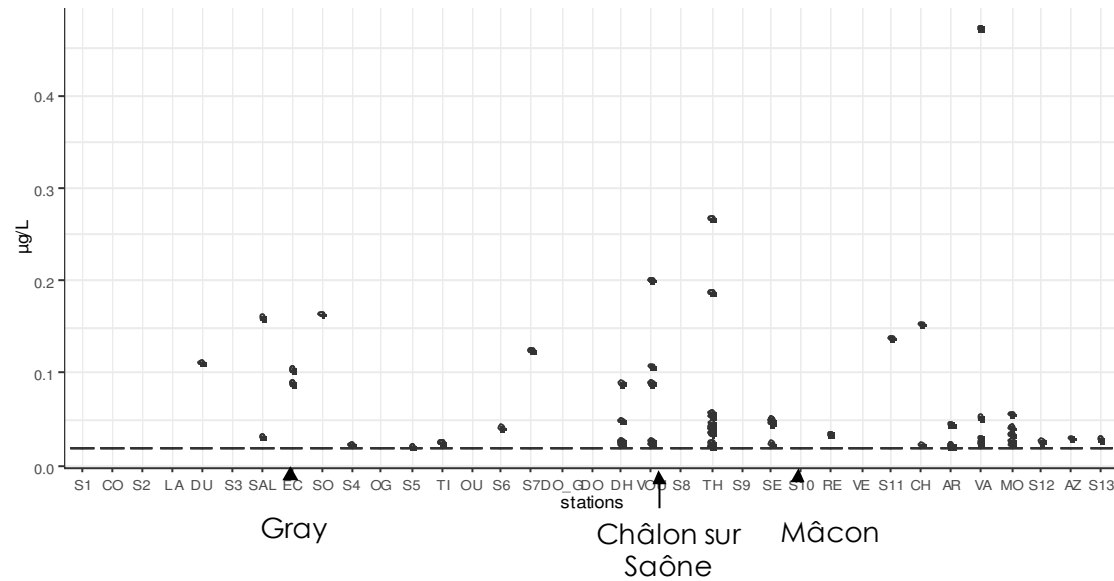
# Carbadenzime



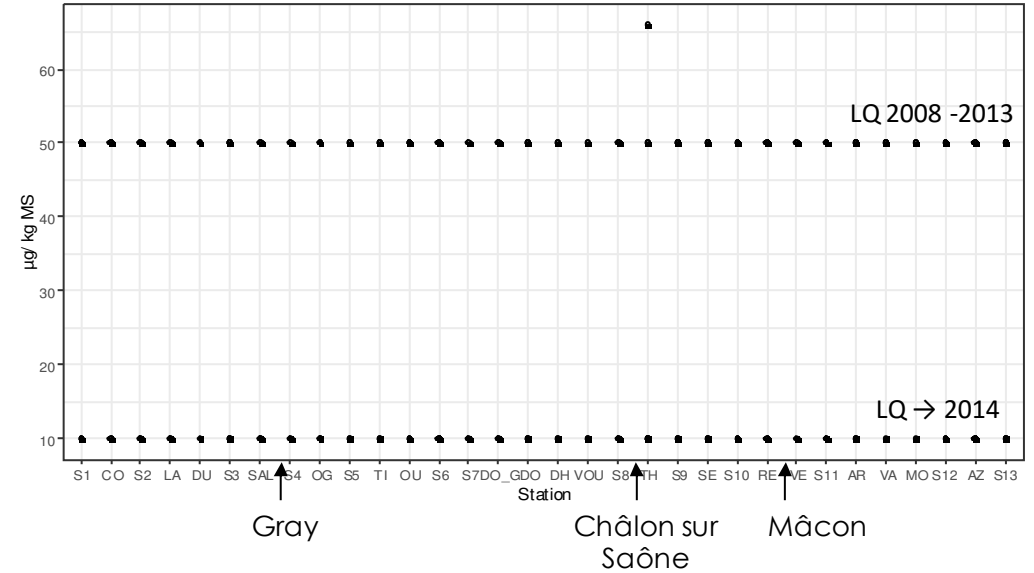
# Tebuconazole

⇒ **Fongicide** (+ accélérateur de croissance) très utilisé mais **peu soluble** et **très peu biodégradable**.

## Eau



## Sédiments



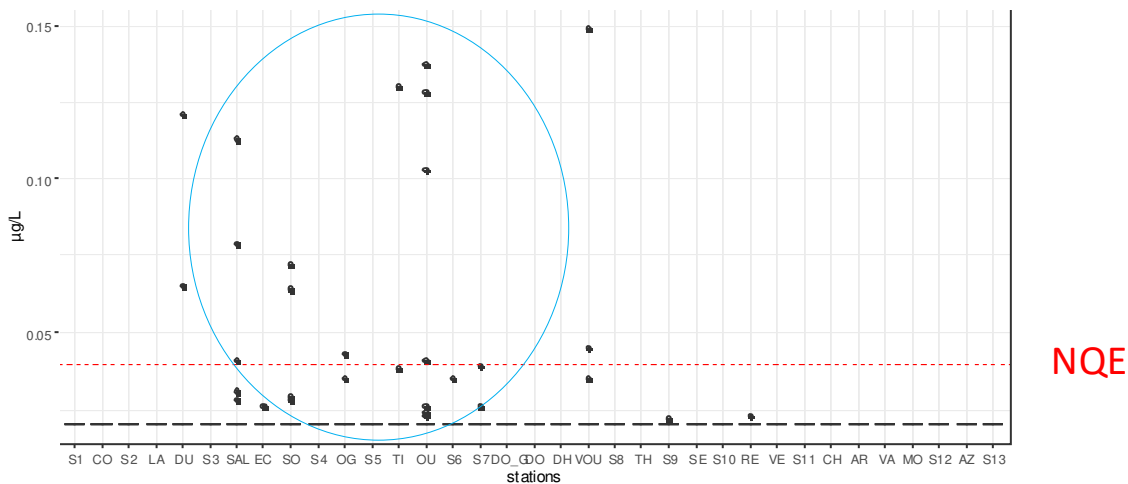
⇒ **Résultats ≤ LQ dans les sédiments**



# Variabilité spatiale

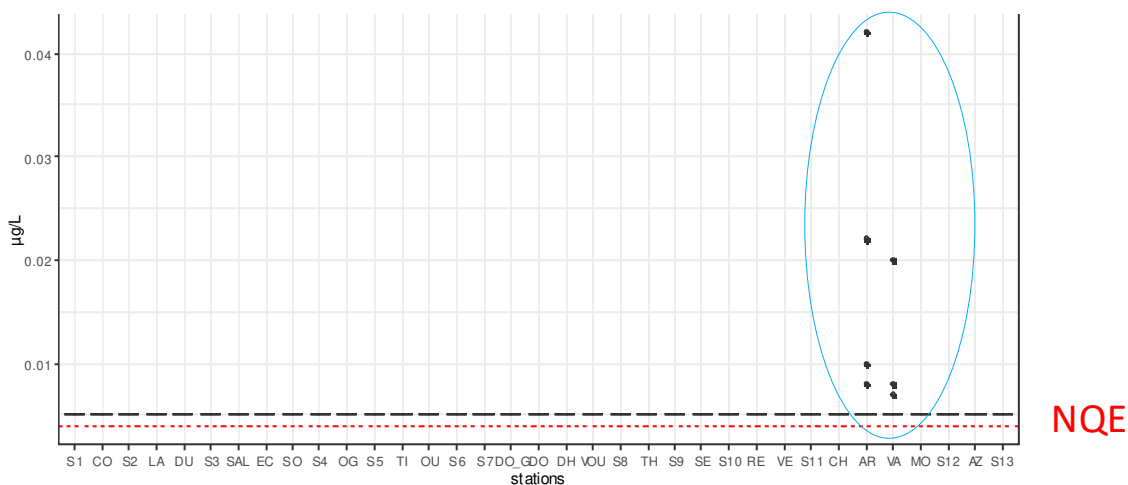
## Flufénacet

- ⇒ Herbicide soluble
- ⇒ Désherbage **céréales**



## Fluomioxazine

- ⇒ Herbicide peu soluble
- ⇒ Utilisation **viticole**
- ⇒ Non détecté dans les sédiments
- ⇒ LQ > Norme de qualité environnementale (Ineris)



# Bilan sur l'extraction des données



- Grande **hétérogénéité** des résultats (N échantillons, LQ)
- Matrices inégalement échantillonnées :
  - **MES : pas de données**
  - **Sédiments : prélèvement une fois par an à une fois tous les 3 ans**
  - **Eau : 1 prélèvement par mois à 1 par an** selon les paramètres
- Prélèvements réalisés **ponctuellement** et surtout **en période d'étiage** => **représentativité ?**
- « **Flash** » de certains affluents : **bonne sensibilité du réseau pour détecter certaines contaminations !**
- **Seuils de quantification trop élevés pour plusieurs substances (LDQ >> NQE ou LOEC)**
- Molécules **détectées** mais **non quantifiées** dans la Saône : **réelles absences ?**  
ou **limites de l'échantillonnage ?**  
ou **seuils de quantification trop élevés ?**

# Thèse – Sujet

## Projet CONTASAÔNE

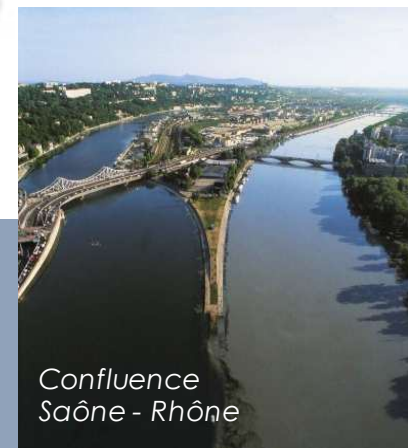
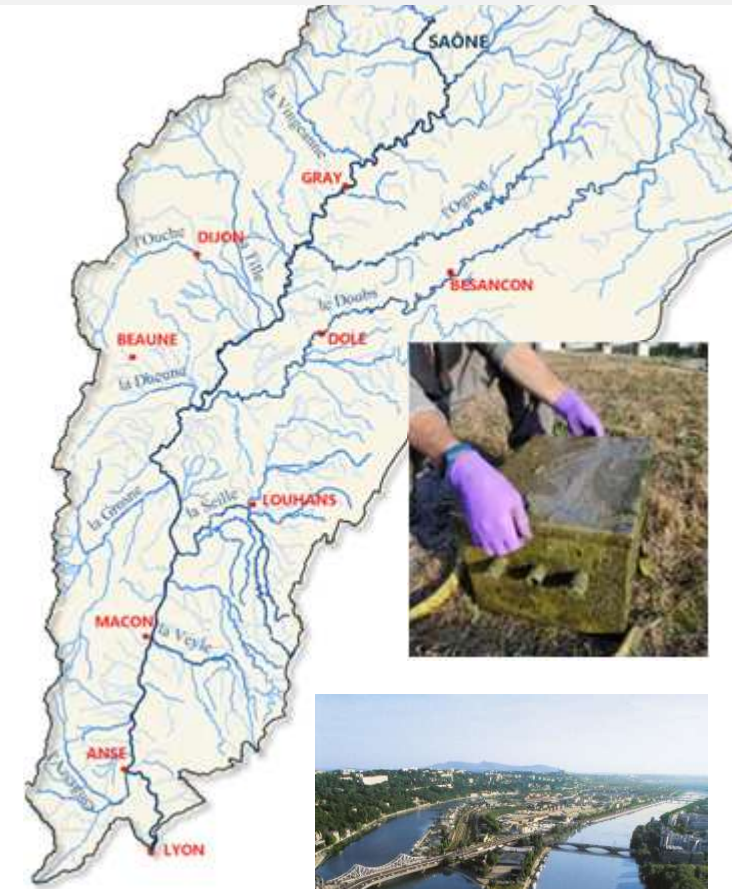
**Axe B** : Proposer une première estimation des contributions des principaux affluents aux flux de MES à l'embouchure de la Saône en utilisant les approches de traçage géochimique des particules.

Traçage géochimique des sources de sédiments à l'échelle du bassin versant de la Saône : atouts et limites de l'échantillonnage intégratif des matières en suspensions

nov. 2023 - oct. 2025

**OBJECTIF** : Tracer l'**origine des MES** à l'échelle d'un système fluvial comme la Saône, et proposer une **méthode généralisable à d'autres systèmes fluviaux**.

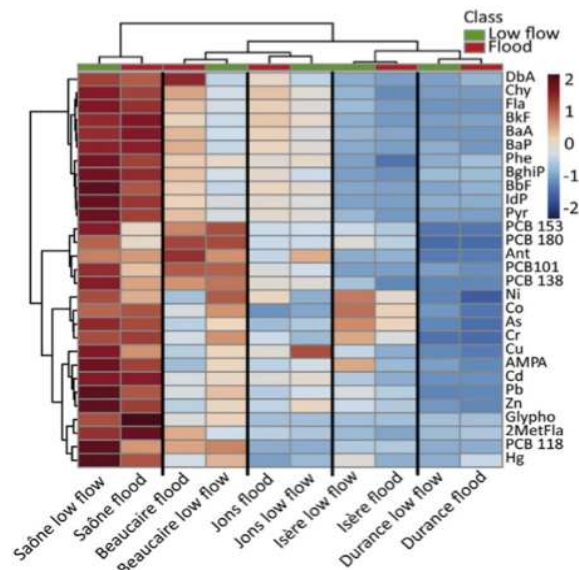
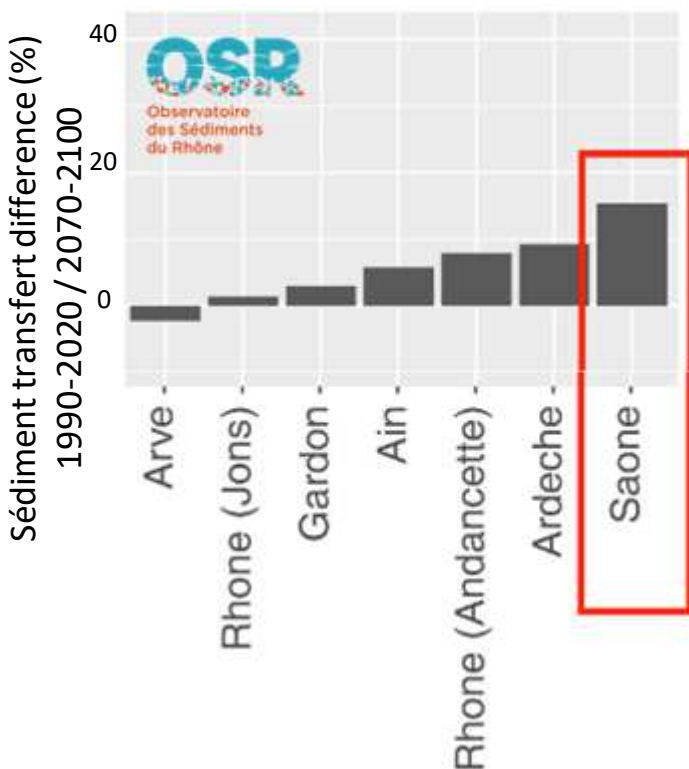
\* MES = matières en suspensions



Confluence  
Saône - Rhône

# Thèse – Enjeux

\* MES = matières en suspensions



Delile et al., 2020

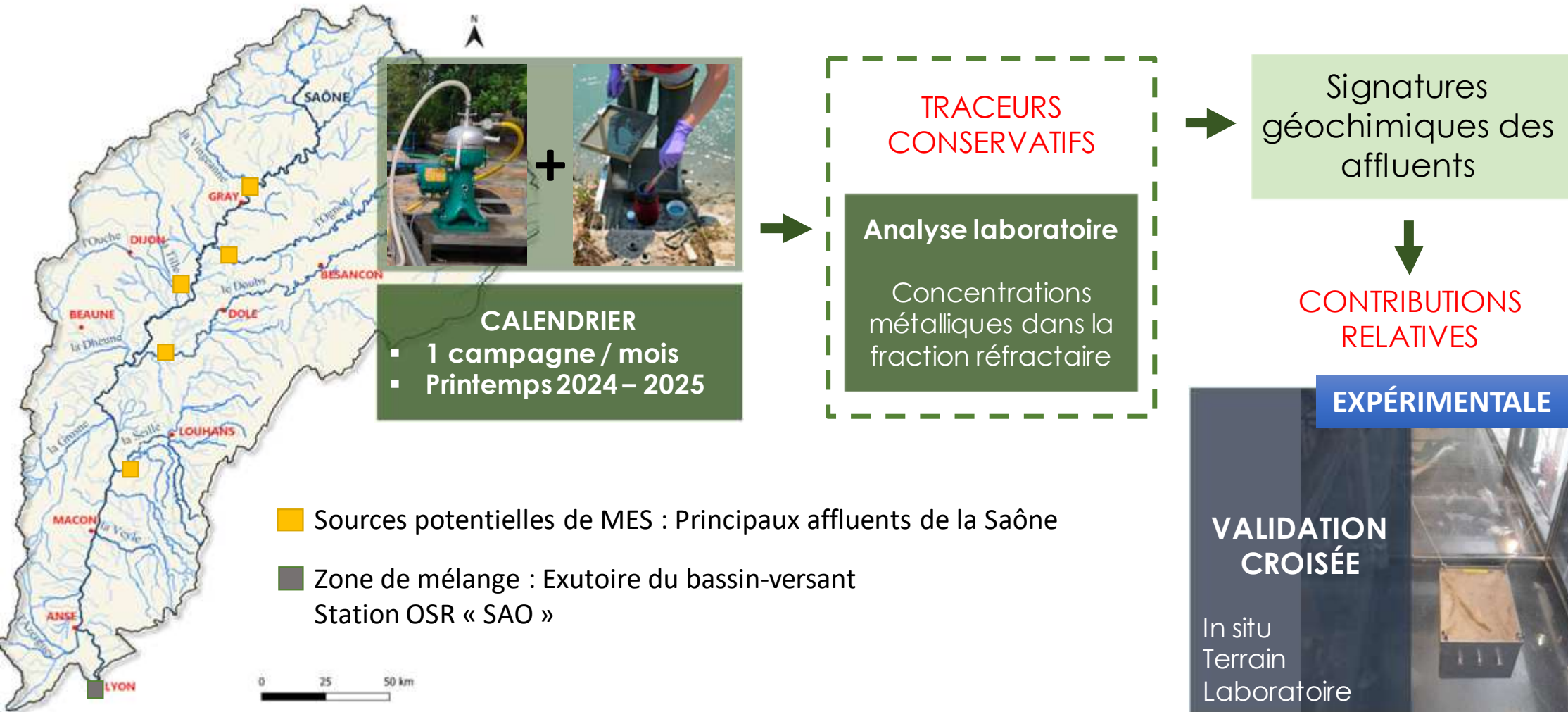


## Changement climatique

- Augmentation probable des transferts de particules → **Contaminants particulaires (ou associés aux particules)**
- Fort intérêt de tracer les MES
- Utilisation des empreintes géochimiques (éléments traces et majeurs) des principaux affluents → **Traceurs conservatifs**
- **Piège à particule (PAP) :**
  - Quantité suffisante de MES pour les différentes analyses
  - Intégratif dans le temps (crue)
  - Biais granulométrique + sous estimation de certains métaux

Différence du taux de transfert de sédiment des principaux affluents du Rhône entre les périodes 1990-2020 et 2070-2100 selon le modèle ALADIN – Modifiée à partir de Fressard et al., 2024

# Thèse – Matériel et méthodes



# CONCLUSION - PERSPECTIVES

Phase A

Extraction des données AE

Oct 2023

Avril 2024

Juillet 2024

Décembre 2024

Phase B

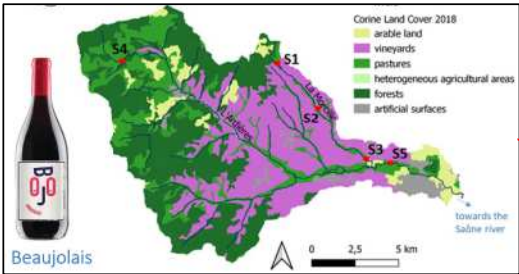
Traitement des données et stratégie d'échantillonnage

Installation équipement et prélèvements

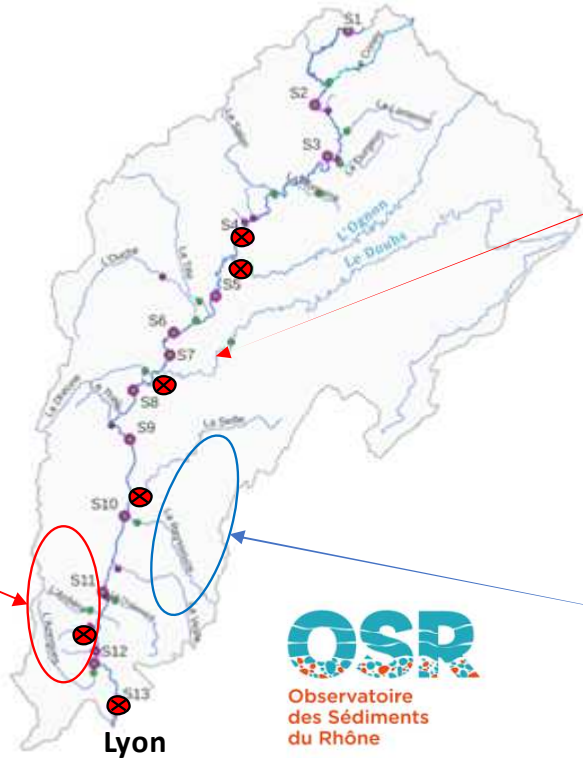
Analyse et bancarisation des échantillons d'eau et MES

Propositions de sites à équiper selon l'étude préliminaire et thèse Mae v a Claveau

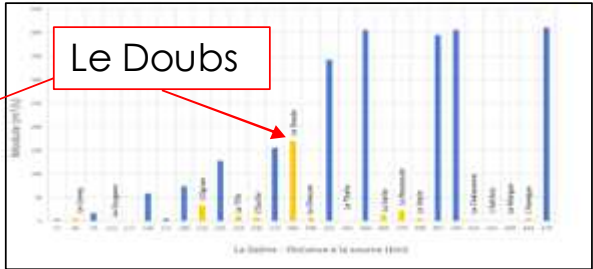
L'Ardière/L'Azergues



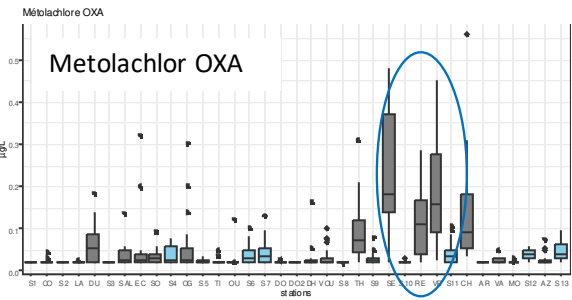
Bassin versant Ardières/Morcille (Site atelier de la ZABR : SAAM)



Le Doubs



La Reyssouze, La Seille



9 avril 2024



**Séminaire scientifique Saône**  
**9 avril 2024 | Dijon**



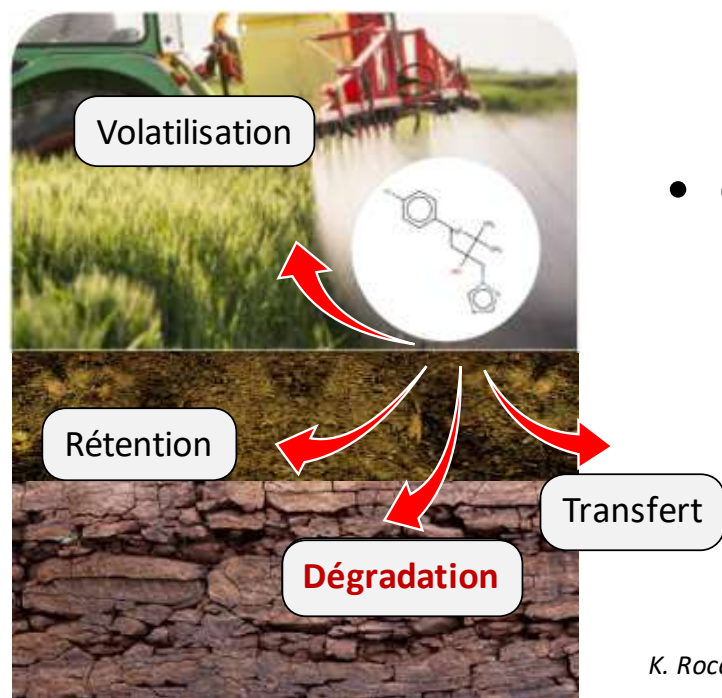
# Stratégie d'échantillonnage et d'analyses - ciblée et non ciblée - pour caractériser la contamination d'une parcelle viticole par les pesticides et leurs produits de transformation

**Christelle MARGOUM**, Kevin ROCCO, Céline GUILLEMAIN, Véronique GOUY, Marina COQUERY  
Equipe de chimie des milieux aquatiques (LAMA)  
UR RiverLy, INRAE Lyon-Villeurbanne



## Contexte et problématique

- Viticulture en France : 3 % de la surface agricole et  $\approx 14$  % des ventes de pesticides
- Forte **contamination de tous les milieux environnants** (sols, eaux : surface et souterrain)



- Comment évaluer le **devenir** des pesticides ?
  - Suivi ciblé des pesticides organiques et de quelques produits de transformation (TP) connus
  - De **nombreux TP potentiellement formés** => besoin de développer des **stratégies analytiques non ciblées à large spectre** pour les identifier

# Objectifs et stratégies analytiques

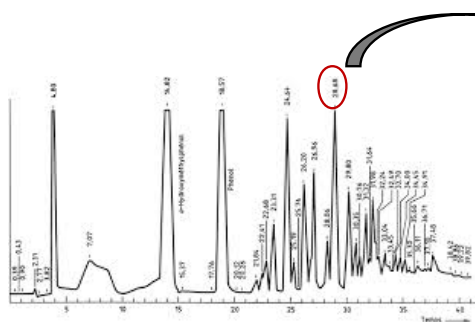
Caractériser la **contamination par les pesticides et leurs TP** d'une parcelle viticole du **Site Atelier Ardières-Morcille** en combinant des approches analytiques ciblées et non ciblées.



**Analyse ciblée** : on sait ce qu'on cherche et on dispose d'étalons analytiques -> quantitatif

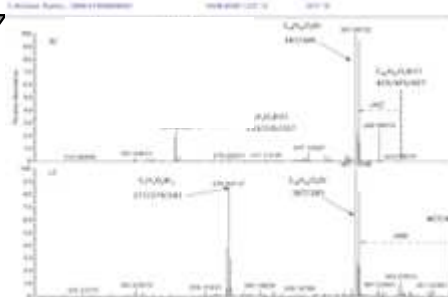
≠

**Analyse non ciblée** : on acquiert toutes les informations présentes dans l'échantillon grâce à un instrument analytique spécifique de pointe -> qualitatif



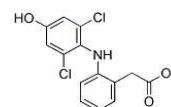
1 pic chromatographique  
=> temps de rétention

+

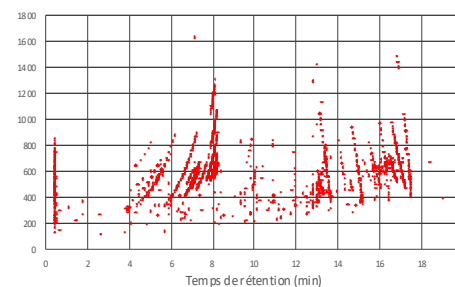


spectre de masse haute résolution  
(HRMS)

+BDD

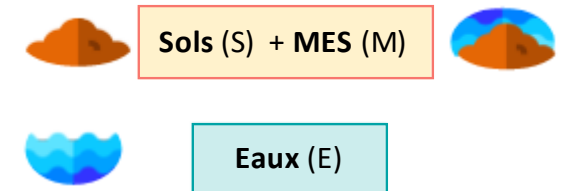
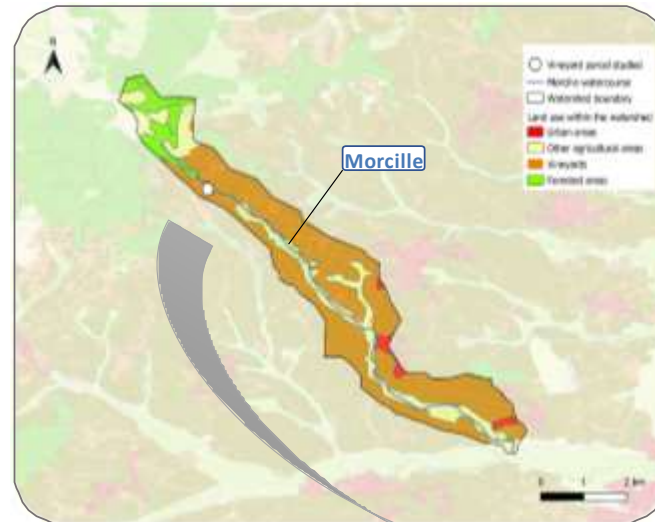
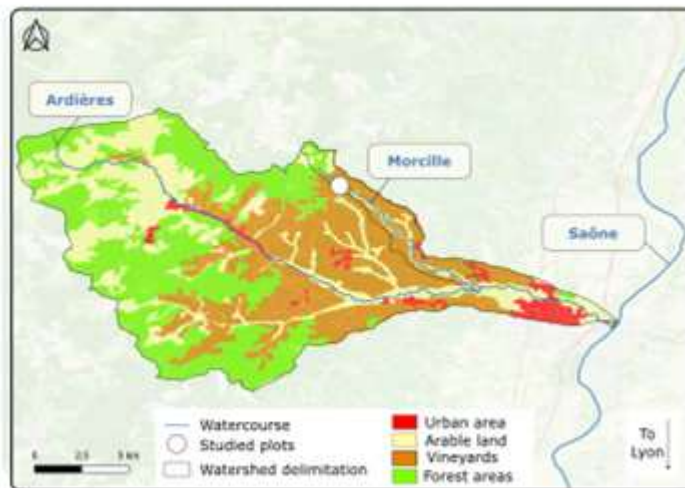


=> Détection de **substances suspectées**



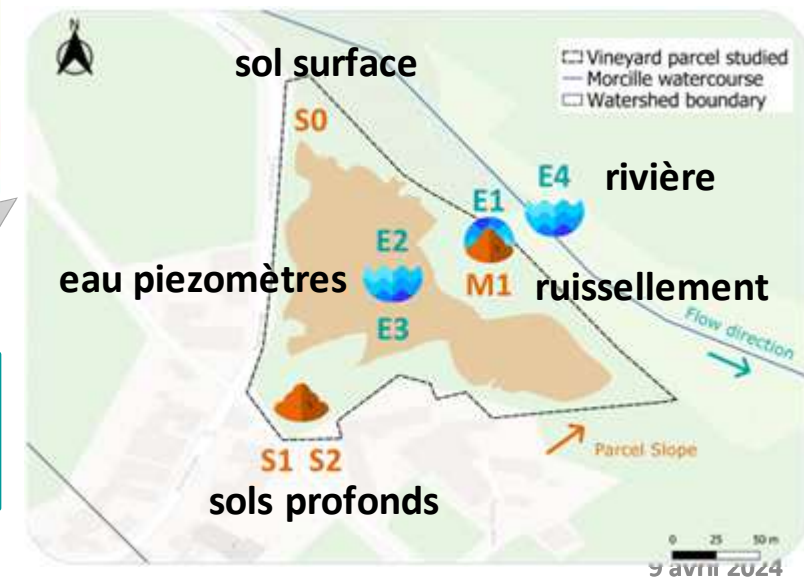
Cartographie => **empreinte non ciblée**  
de l'échantillon

# Site d'étude et stratégie d'échantillonnage

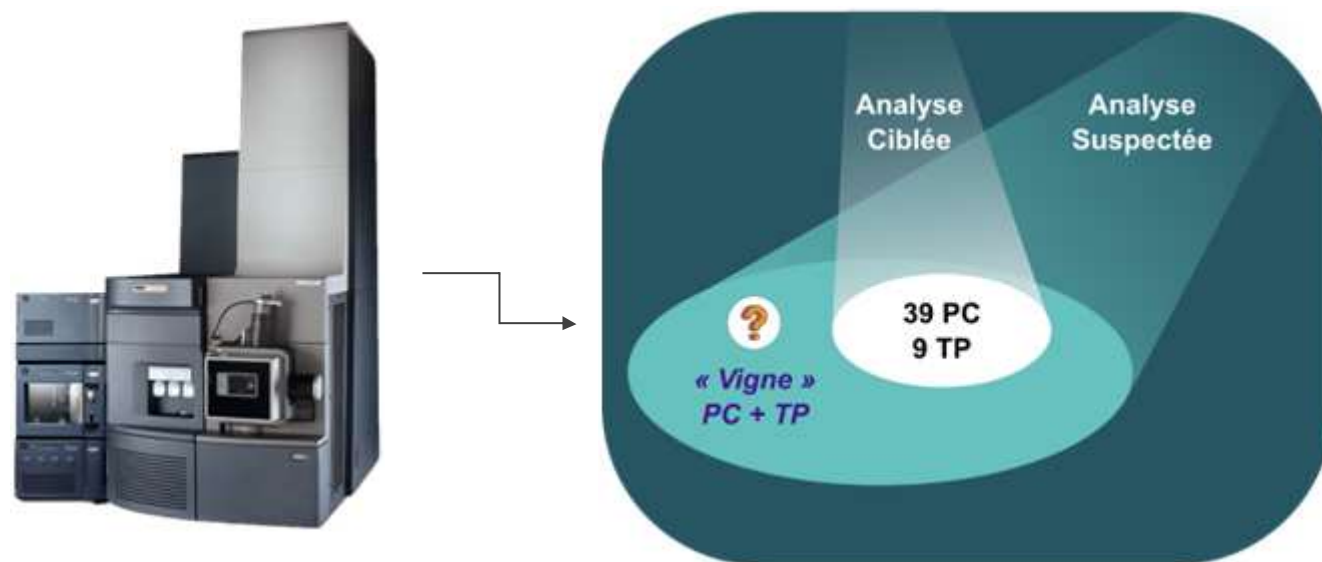


Site Atelier instrumenté Ardieres-Morcille (SAAM) – ZABR  
Affluent de la Saône

7 points de prélèvement sur la parcelle + 1 cours d'eau (E4)  
2 types de matrices : solides/eaux  
Plusieurs temporalités → n=12 échantillons




# Stratégies analytiques




**Analyse ciblée :**  
 39 pesticides (PC)  
 + 9 produits de transformation (TP)  
 « connus »

**Analyse suspectée :**

- Pesticides appliqués en viticulture
- TP associés

BDD 1 :  239 pesticides viticulture

BDD 2 :  1559 TP

« Noms » des composés +  
 « Identité analytique »  
 (RT/MS<sup>1</sup>/MS<sup>2</sup>)



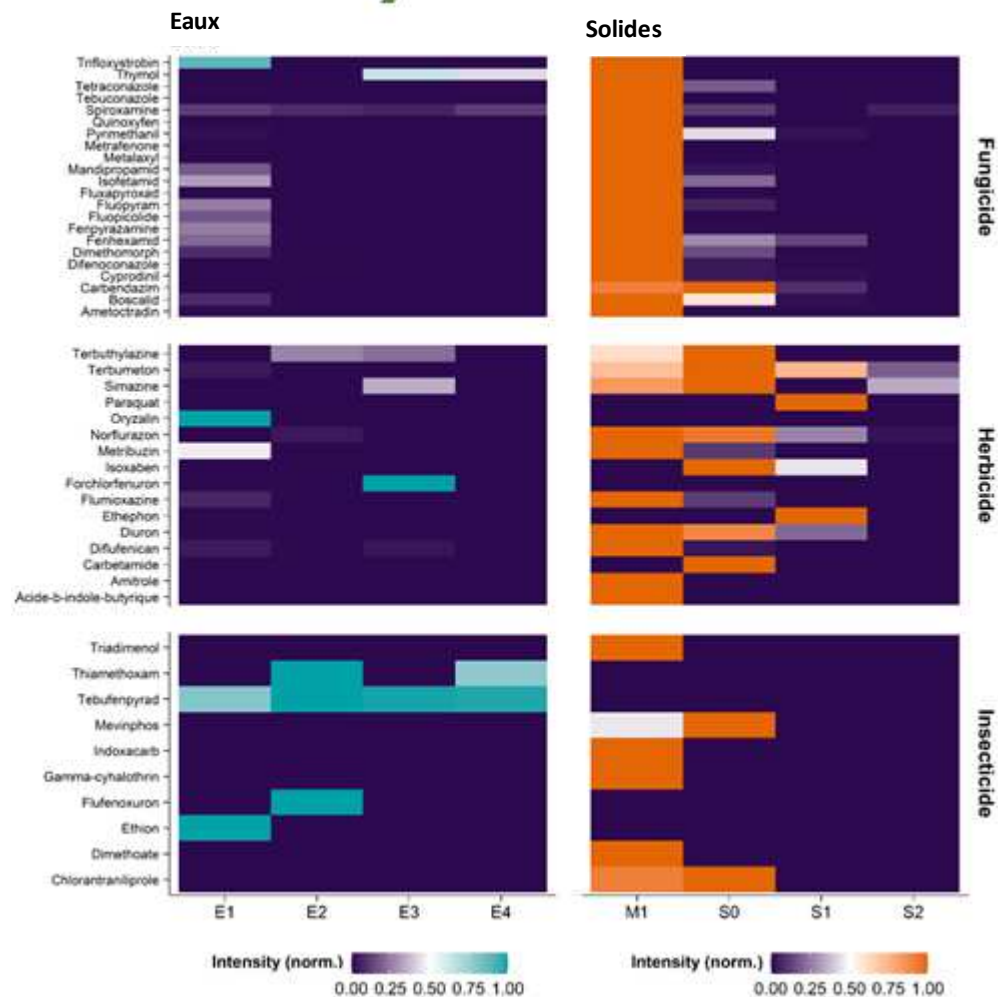
Création de **2 BDD**

## Analyse ciblée (39 PC et 9 TP)

- **26 composés quantifiés** (19 PC dont 80% d'herbicides et 7 TP d'herbicides), tous échantillons confondus (n=12)
- Le produit de transformation **norflurazon-desmethyl** est présent et quantifié dans tous les échantillons (eau, sols, sédiments)
- Forte variabilité des niveaux de **concentrations** :
  - eaux : 0,03 → 28  $\mu\text{g.L}^{-1}$
  - sols : 0,17 → 309  $\mu\text{g.kg}^{-1}$

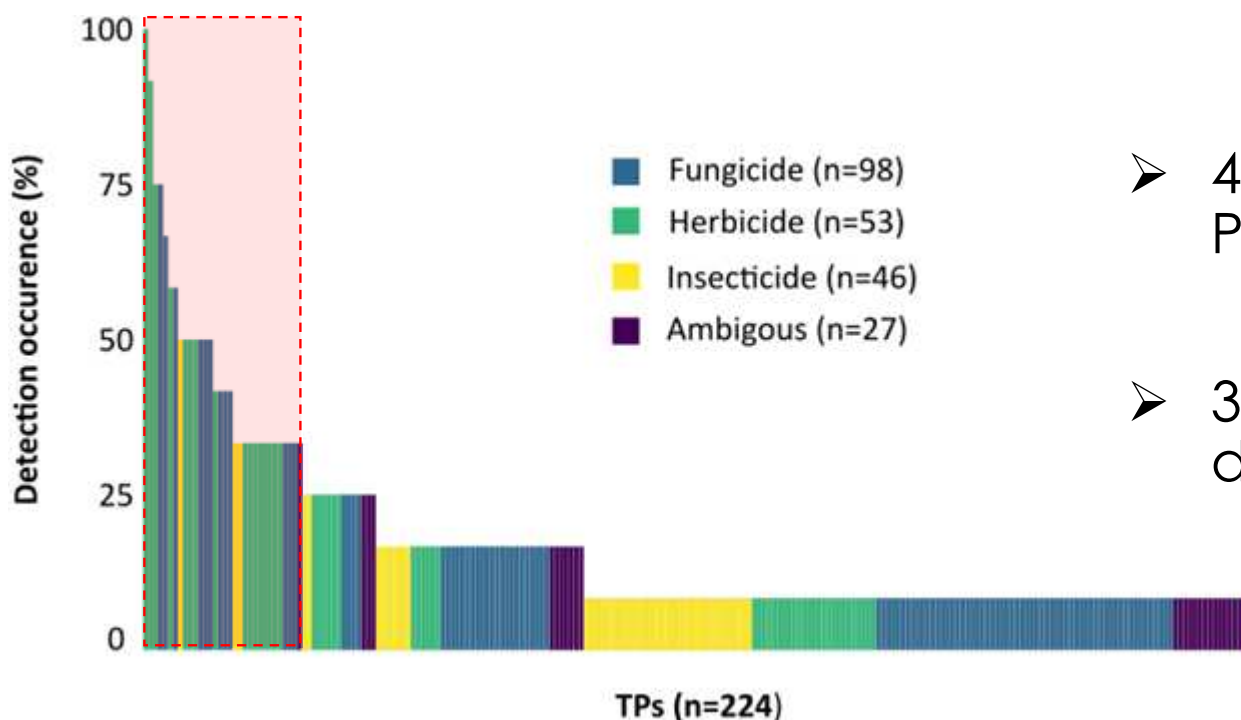
# Analyse suspectée des pesticides (PC)

- **48 PC suspectés** / 239 recherchés (BDD1)
  - 33 de plus que par analyse ciblée
- **Répartition par famille**
  - 22 fongicides / 90 recherchés
  - 16 herbicides / 60
  - 10 insecticides / 90
- **Répartition par matrice**
  - Les MES du ruissellement contiennent 80 % des PC suspectés
  - Eaux et sols de surface contiennent + de PC que les échantillons souterrains



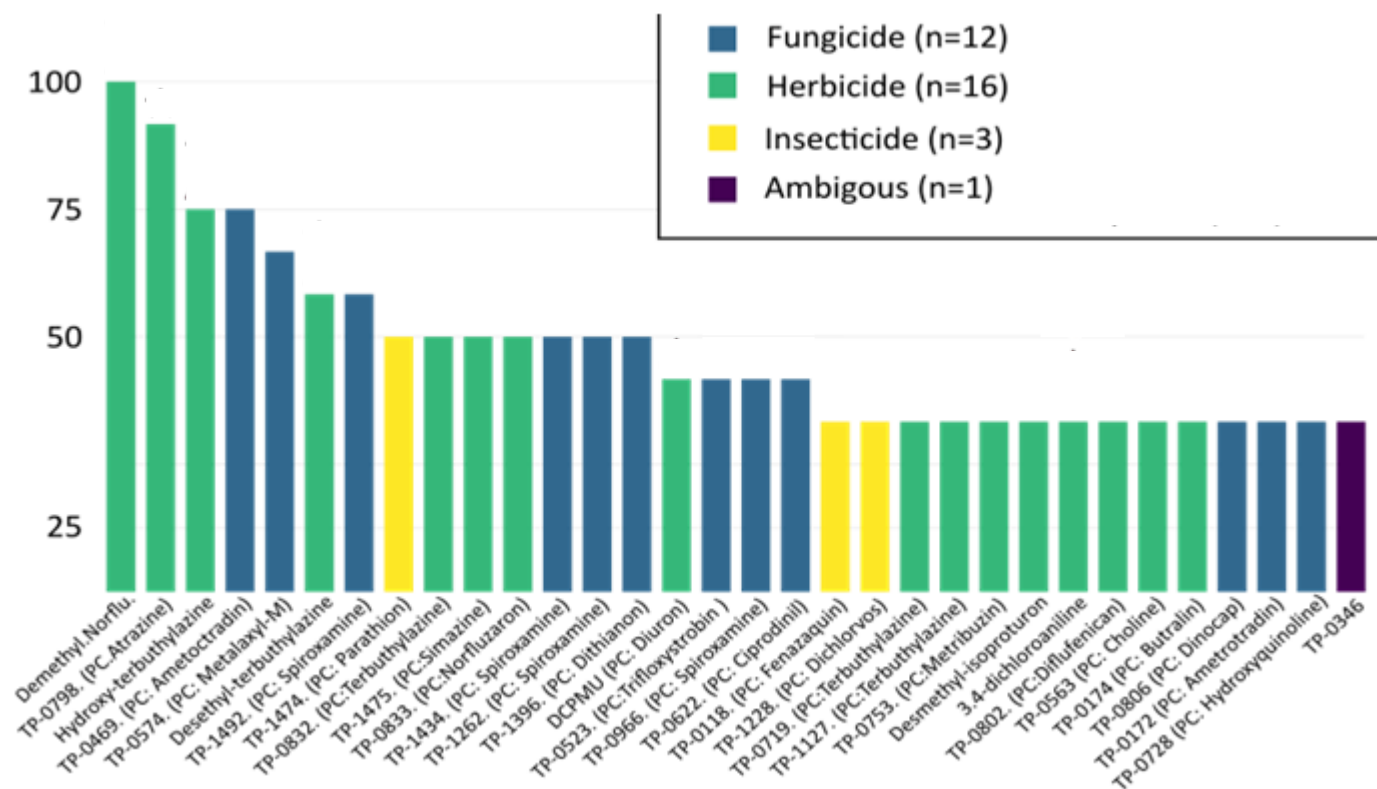
# Analyse suspectée des produits de transformation

- Toutes matrices : **224 TP suspectés** / 1559 recherchés (BDD 2)
- Seulement **20% de TP communs entre matrices solides et eaux**
- Répartition suivant la **famille du pesticide correspondant**



- 40% des TP suspectés sont issus de PC fongicides
- 32 TP (12%) ont une fréquence de détection >25%

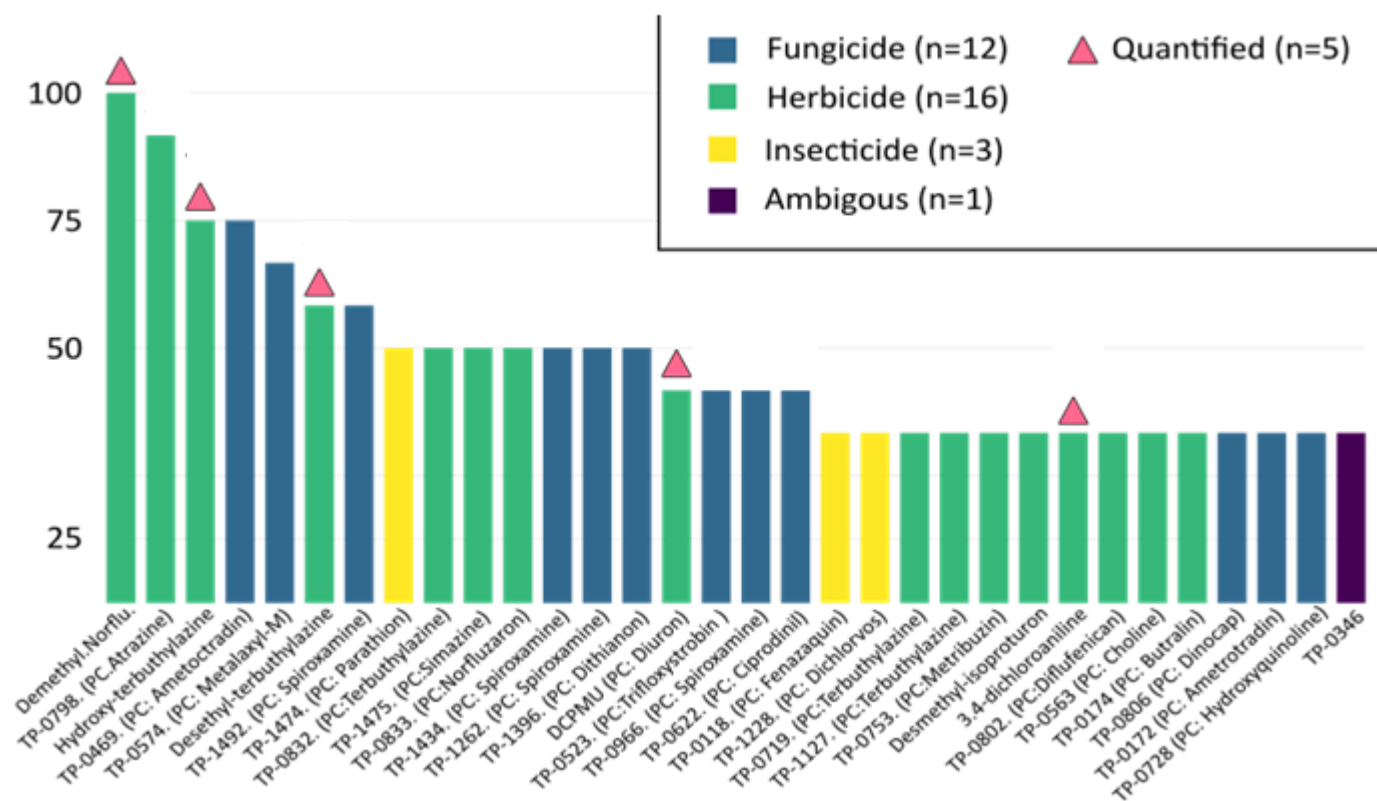
# Nature des 32 TP les plus fréquemment détectés en suspecté



- Issus **de 21 PC**, dont 9 retirés du marché
- Principalement **fongicides et herbicides**



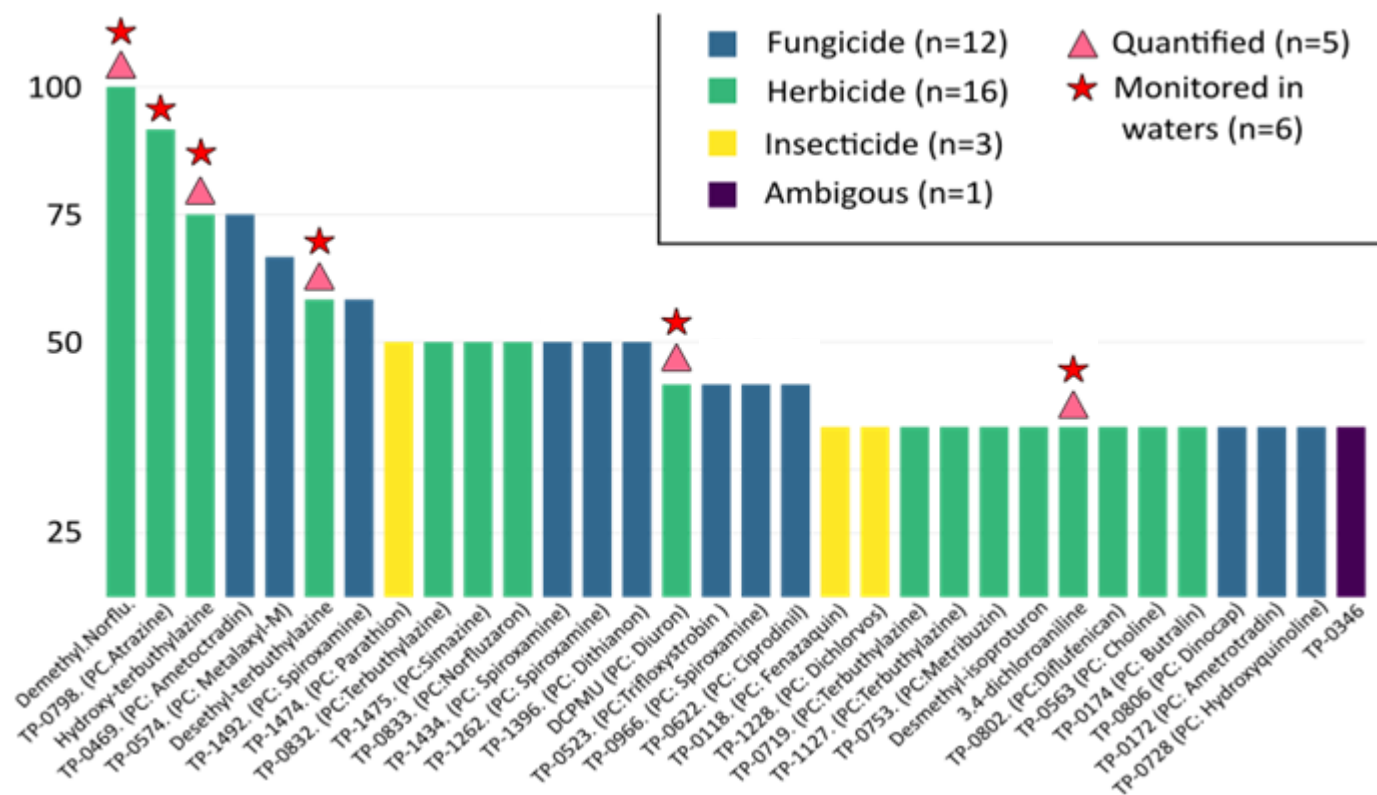
# Nature des 32 TP les plus fréquemment détectés en suspecté



Dont :

- **5 TP quantifiés** en analyse ciblée

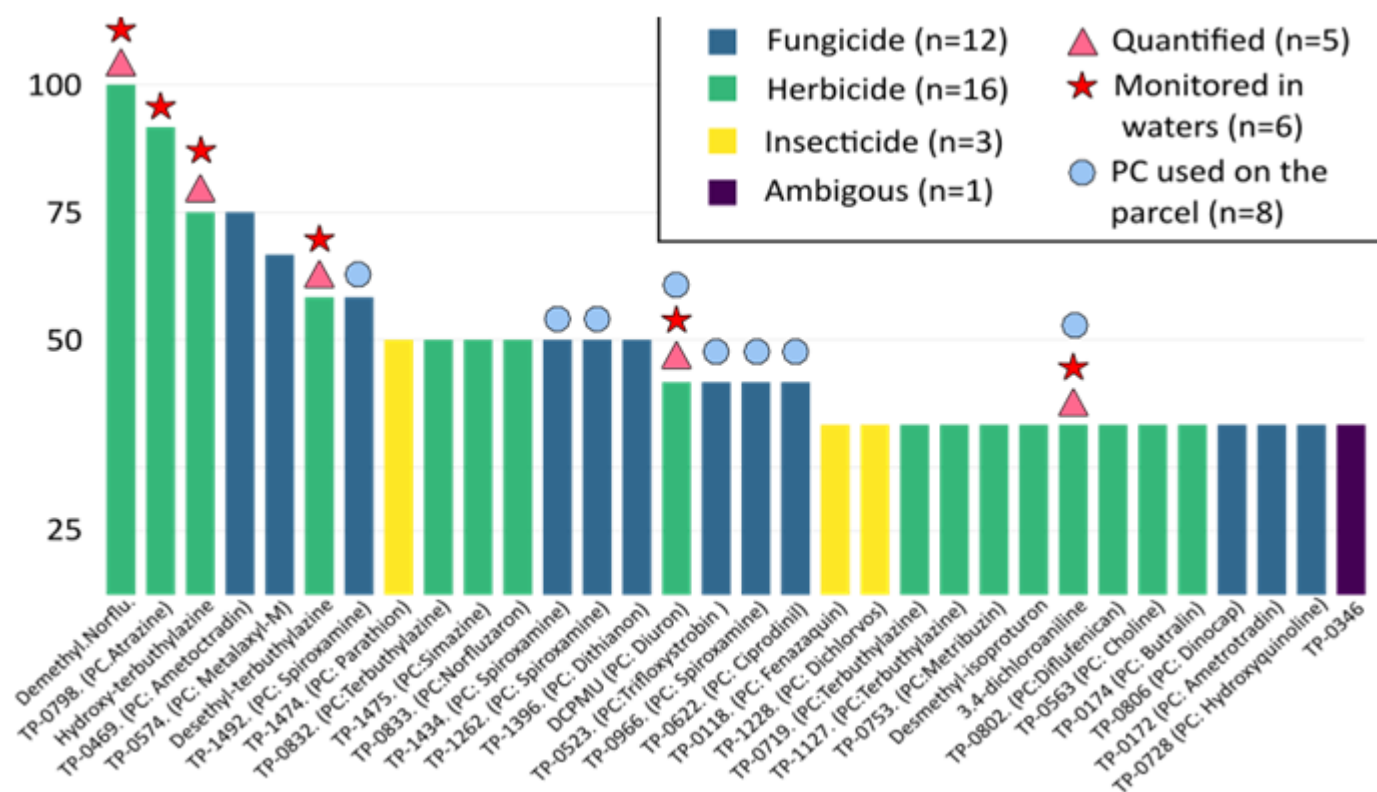
# Nature des 32 TP les plus fréquemment détectés en suspecté



Dont :

- **5 TP quantifiés** en analyse ciblée
- **6 TP suivis** réglementairement dans les eaux en France

# Nature des 32 TP les plus fréquemment détectés en suspecté



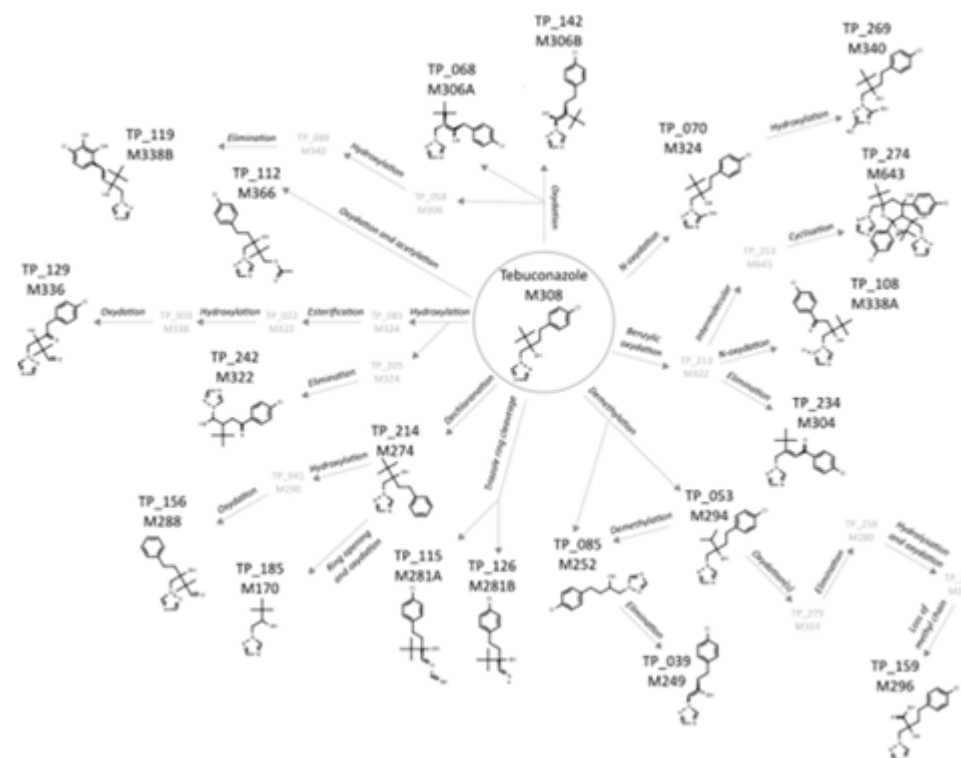
Dont :

- **5 TP quantifiés** en analyse ciblée
- **6 TP suivis** réglementairement dans les eaux en France
- **8 TP** issus de 4 pesticides utilisés sur la parcelle (enquêtes 2004-2015)

# Conclusions et perspectives

- Potentiellement de **nombreux produits de transformation (TP)** de contaminants organiques encore inconnus

Exemple de TP mis en évidence pour le fongicide Tébuconazole (thèse K. Rocco)



# Conclusions et perspectives

- Potentiellement de **nombreux produits de transformation (TP)** de contaminants organiques
- Développement d'une **approche d'analyse suspectée innovante** qui a permis de :
  - Détecter des **produits de transformation indétectables** par analyse ciblée classique,
  - Identifier une **contamination de tous les milieux** par les TP, et plus particulièrement les **matrices solides**
  - Mettre en évidence un **stockage des TP dans les sols**.
- Des **perspectives de recherches** pour :
  - Mieux caractériser l'**occurrence des TP dans l'environnement** et espérer avoir plus d'étalons analytiques commercialement disponibles pour confirmer et quantifier,
  - Identifier les **processus de formation des TP** (modifications des pratiques, changement global...)
  - Modéliser les **propriétés des TP** pour prédire leur comportement et devenir dans l'environnement (présence dans quel milieu ?),
  - Faire le **lien avec l'impact sur l'écosystème** via l'expérimentation, la prédiction (approches in silico structure-activité QSAR).

# Merci pour votre attention

- Travaux réalisés dans le cadre du **projet TAPIOCA\*** (2021-2024)



Action pilotée par les Ministères de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire (MASA), de la Transition écologique et de la Cohésion des Territoires (MTECT), de la Santé et de la Prévention (MSP) et de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (MESR), avec l'appui financier de l'Office Français de la Biodiversité, dans le cadre de l'APR « Produits phytopharmaceutiques : de l'exposition aux impacts sur la santé humaine et les écosystèmes », grâce aux crédits issus de la redevance pour pollutions diffuses attribués au financement du plan Écophyto II+

Contact : [christelle.margoum@inrae.fr](mailto:christelle.margoum@inrae.fr)



Site atelier SAAM



(\*) <https://ecophytopic.fr/recherche-innovation/exposition-et-impacts/projet-tapioca>



**Séminaire scientifique Saône**  
**9 avril 2024 | Dijon**



# Suivi de la qualité de ruisseaux de tête de bassin de la Saône

M.N. Pons<sup>1,2</sup>, A. Poszwa<sup>2,3</sup>, J.B. Colon<sup>3</sup>, C. Heyser<sup>1</sup>, S. Pontvianne<sup>1</sup>, A. Zahm<sup>3</sup>

1: Université de Lorraine, CNRS, LRGP

2: ZA Zone Atelier du Bassin de la Moselle

3: Université de Lorraine, CNRS, LIEC



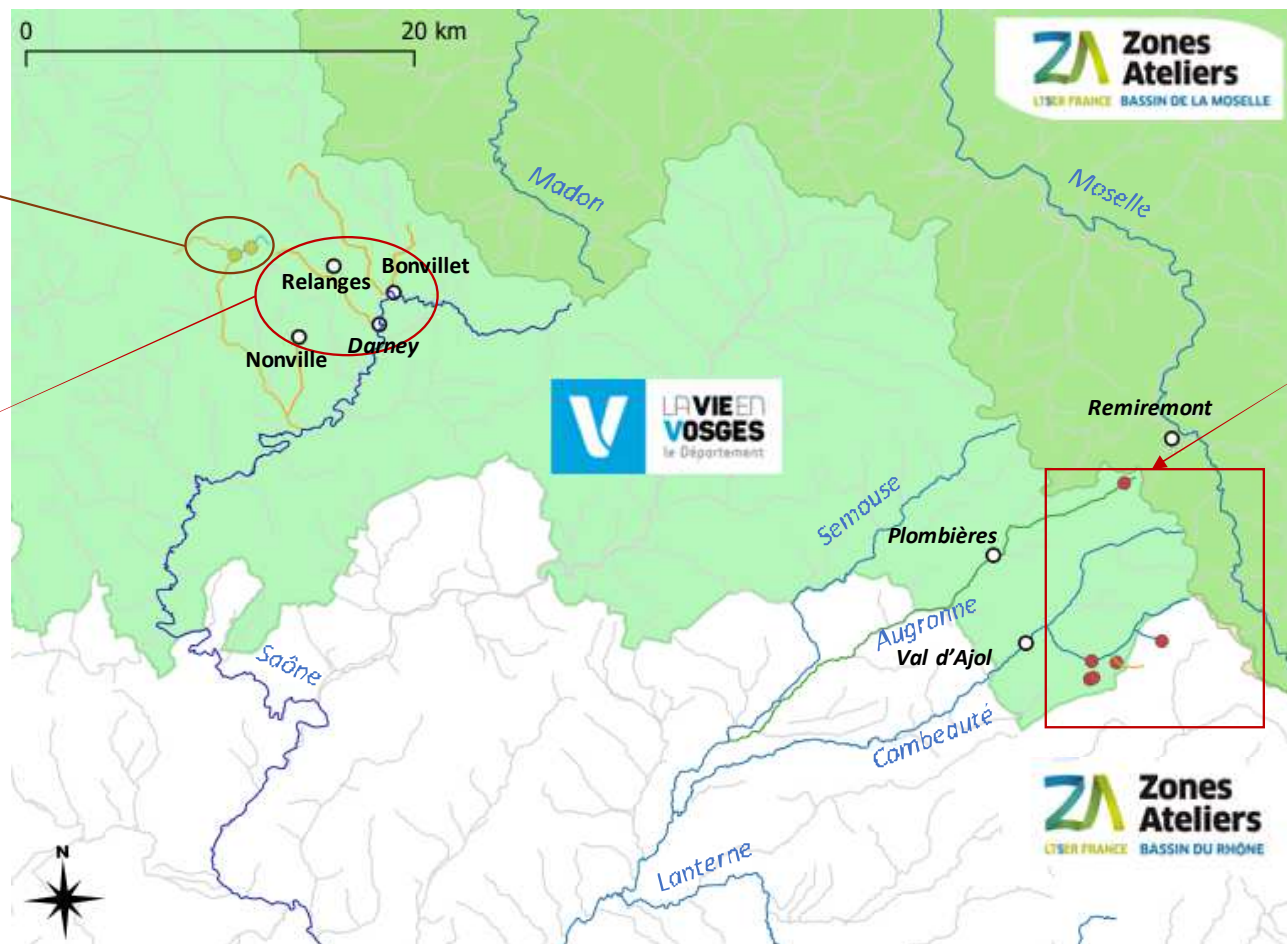
# Localisation de nos travaux



LaVigie  
del'Eau



Recherche  
participative

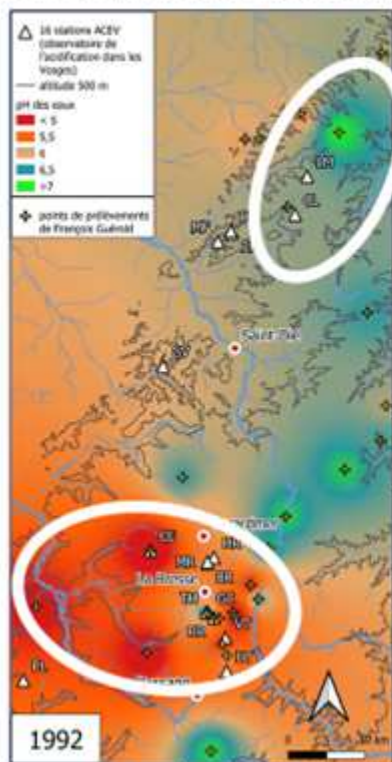


ACEV  
Observatoire de  
l'acidification  
dans les Vosges  
2003



# La problématique de l'acidification: ACEV

Stations de F. Guérold :



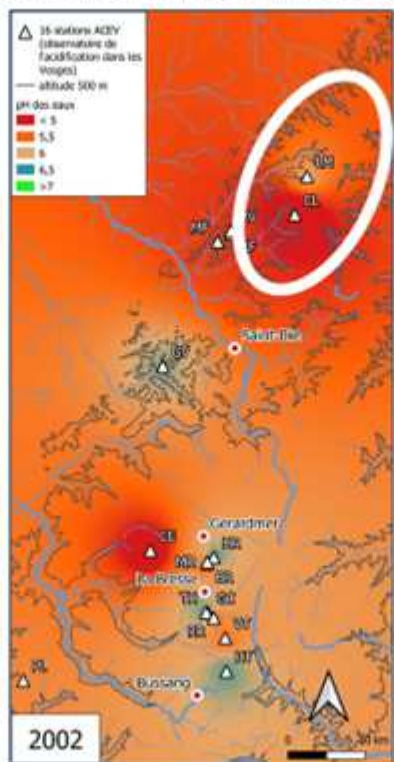
D'après les données de Guérold 1992.

pH élevés sur les grès

pH des eaux  
■ < 5  
■ 5,5  
■ 6  
■ 6,5  
■ >7

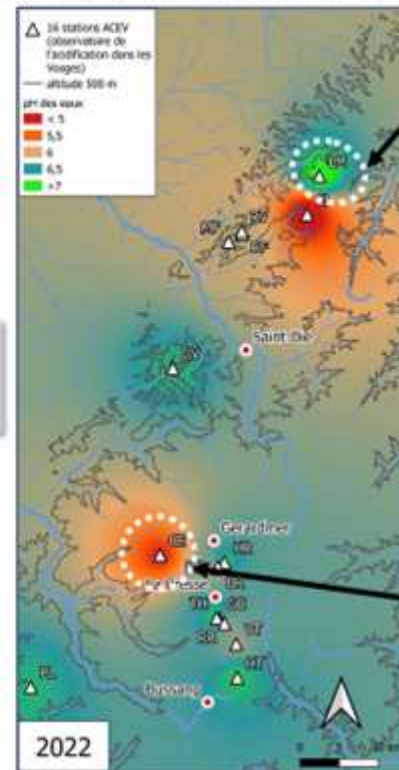
Zone très acide autour de la Bresse

Stations de l'observatoire :



Acidification des grès

Stations de l'observatoire :



Non acide

Tendance globale à la diminution de l'acidité

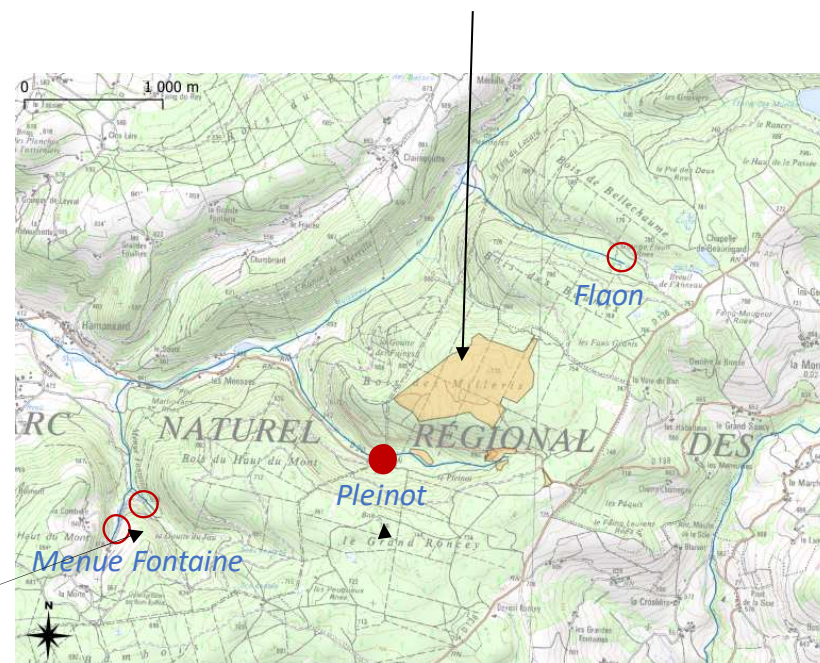
Très acide

# Sites ACEV du bassin de la Saône

Suivi de la végétation par satellites



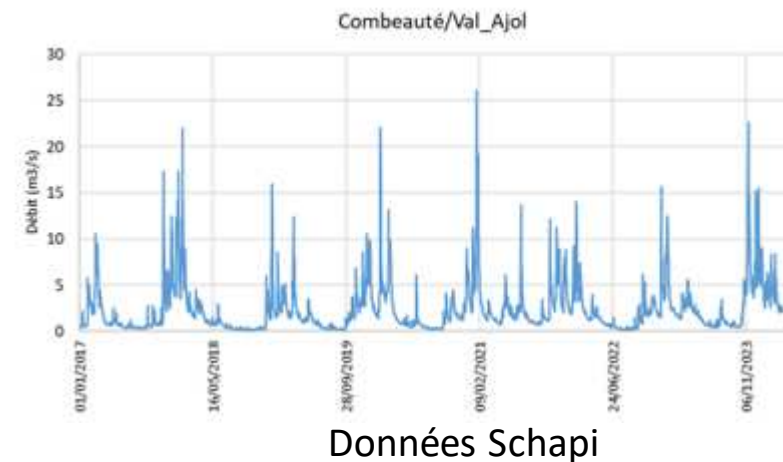
Echantillonnés par A. Probst avant 2000



ACEV depuis 2003

# Méthodologie

- Prélèvements mensuels
- pH, conductivité, alcalinité
- Anions et cations majeurs
- Al, Si, Fe, Mn dissous (< 0.45µm)
- Carbone organique et inorganique dissous
- Azote total dissous
- Structure du COD par méthodes optiques (UV-vis + fluo)
- Pas de débit (station sur la Combeauté au Val d'Ajol)
- Suivi de la végétation par NDVI (Sentinel-2)



Le Pleinot en hiver



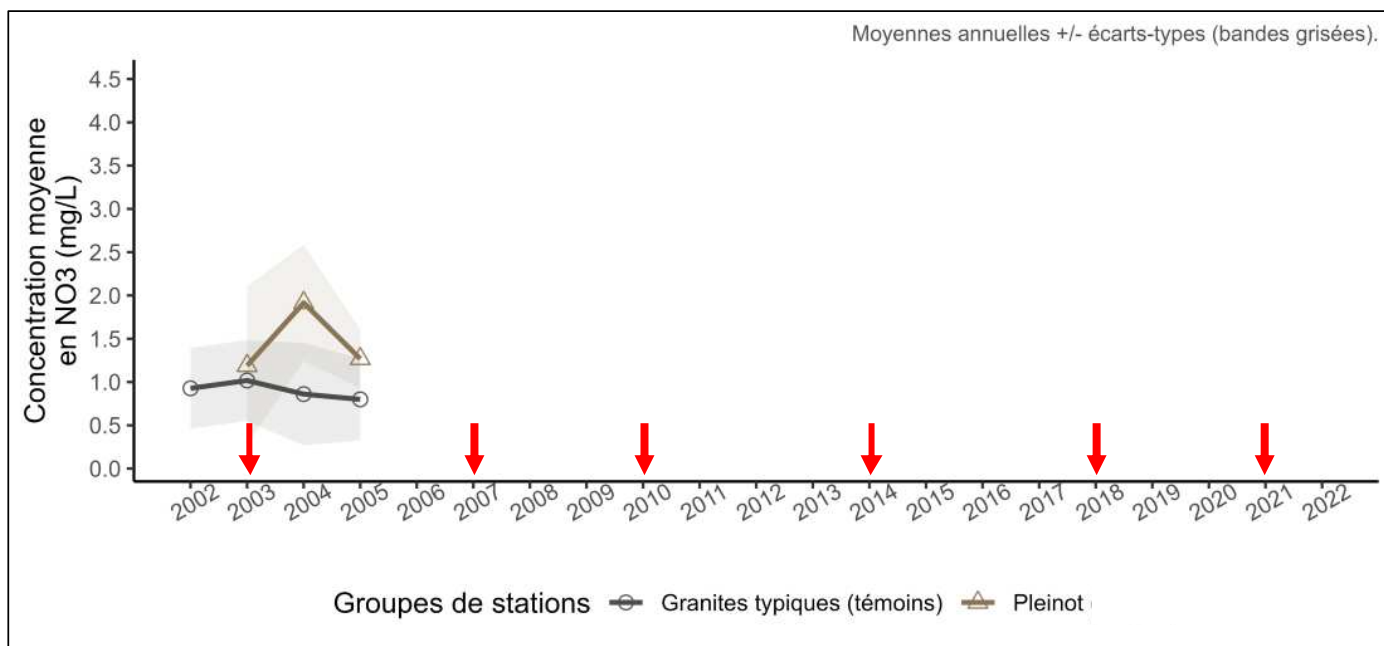
## Attaque des scolytes

- Depuis 2019, forte attaque des plantations d'épicéas (*Picea abies*) par les scolytes (*Ips typographus*) sur la ligne de crête
- Coupes rases
- Renaturation naturelle et nouvelles plantations (épicéa, Douglas, mélèze essentiellement)
- Quid de la qualité de l'eau du Pleinot après les coupes rases ?

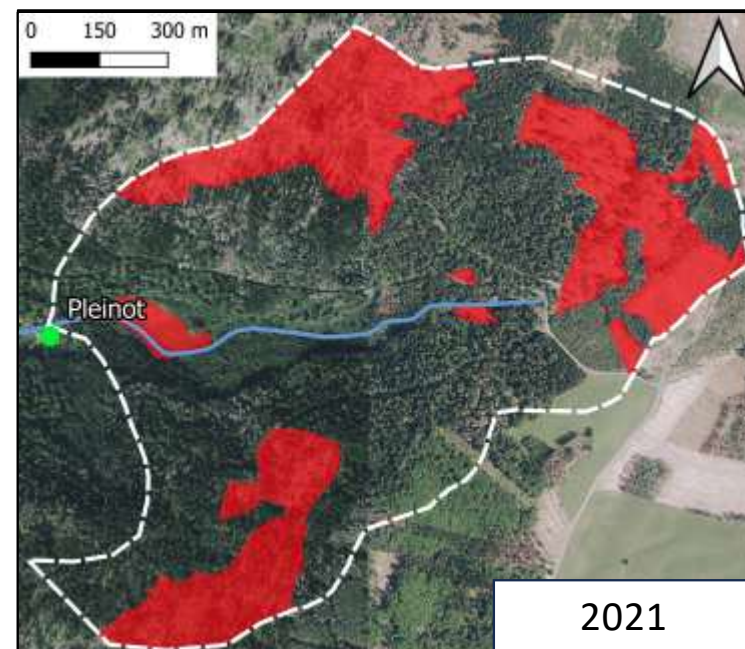


# Gestion forestière : coupes rases sanitaires et nitrates

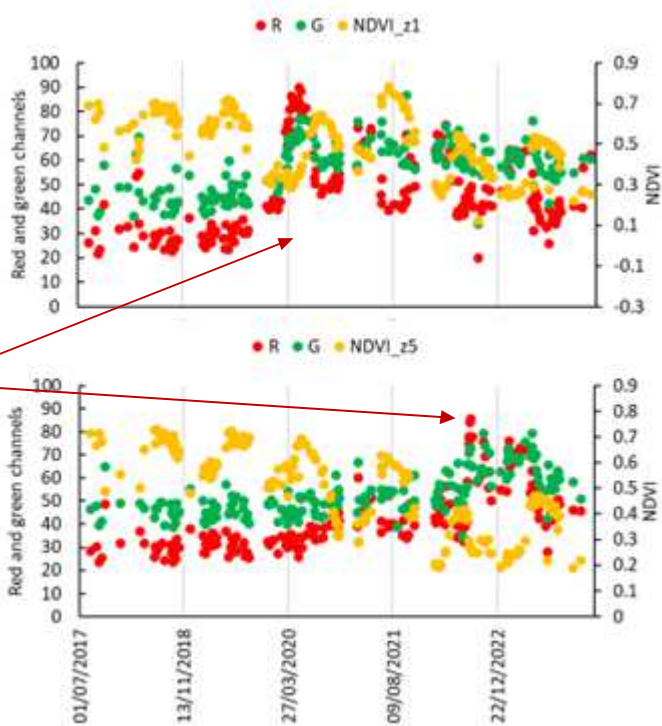
## Évolution des concentrations en nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) :



## Photos aériennes :



# Suivi de l'évolution de la végétation sur six zones progressivement déforestées du BV Pleinot

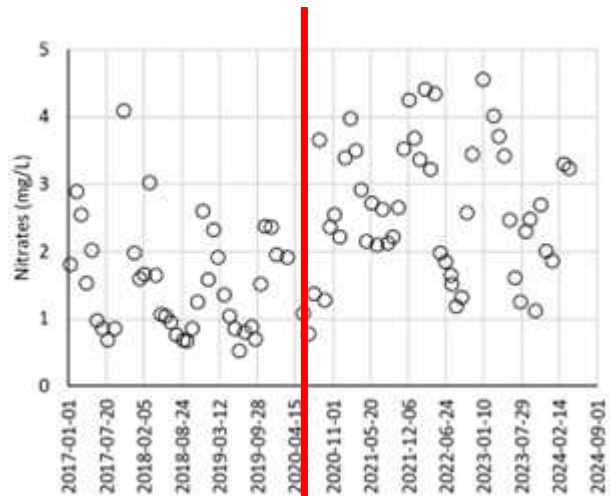


Coupes



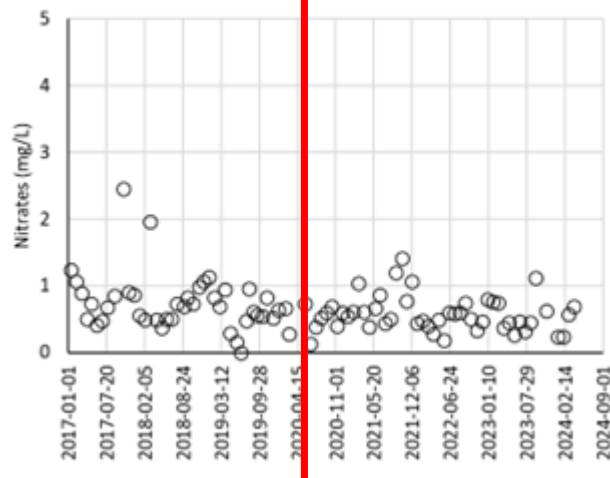
Z1 en septembre 2021

# Effet sur le cours d'eau



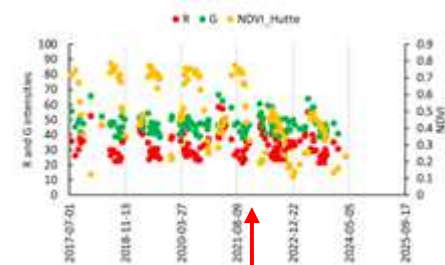
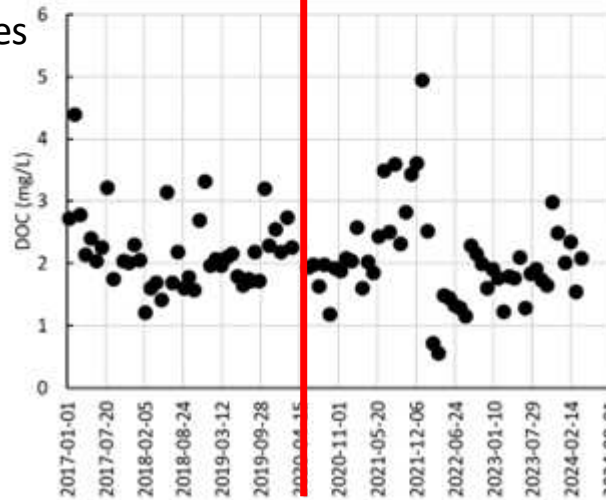
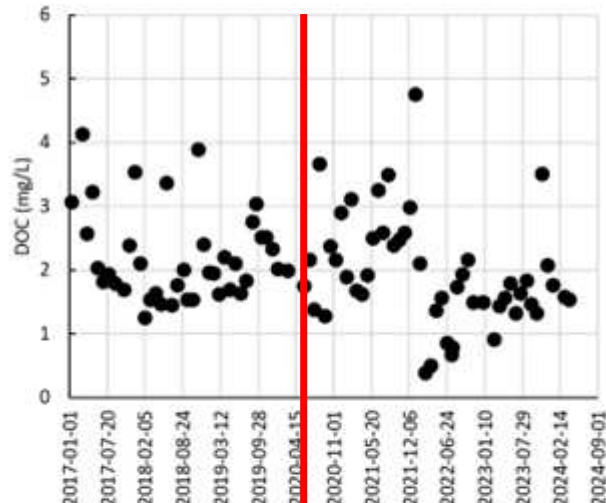
Effet visible sur les nitrates

Effet sur le COD ?



Pas d'effet à ce jour sur les autres éléments suivis

Ruisseau de référence (La Hutte à Bussang)



Canicule 2021



## Conclusion et perspectives

- Certes le Pleinot n'appartient pas au BV de la Moselle ...
- Nous allons cependant continuer à suivre sa dynamique
- Ainsi que celle de la tête de BV de l'Augronne
- Pas très loin de Nancy
- Questions scientifiques:
  - Acidification: Pré du Renard toujours très acide
  - Stress multiples: scolytes, canicules, tempêtes
  - Scolytes: régénération de la végétation, nouvelles plantations
  - O'Citeaux:
    - Qualité des eaux, écrevisse à pattes blanches
    - Base de données matière organique dissoute





**Séminaire scientifique Saône**  
**9 avril 2024 | Dijon**

**Damien CALLUAUD**  
Professeur des Universités . *Full professor*

Tel. : +33 (0)5 49 49 69 43  
damien.calluud@univ-poitiers.fr  
[www.pprime.fr](http://www.pprime.fr)



**INFLuE**

**projet n° ANR-23-CE51-0032-01**

## Fiche identité du projet

# Impact de la Navigation **FLU**viale sur l'**E**nvironnement

Consortium



Damien Calluaud *porteur*  
*damien.calluaud@univ-poitiers.fr*



Delphine Brancherie  
*delphine.brancherie@utc.fr*



Sami Kaidi  
*sami.kaidi@cerema.fr*



Franck Weingertner  
*franck.weingertner@eptb-saone-doubs.fr*

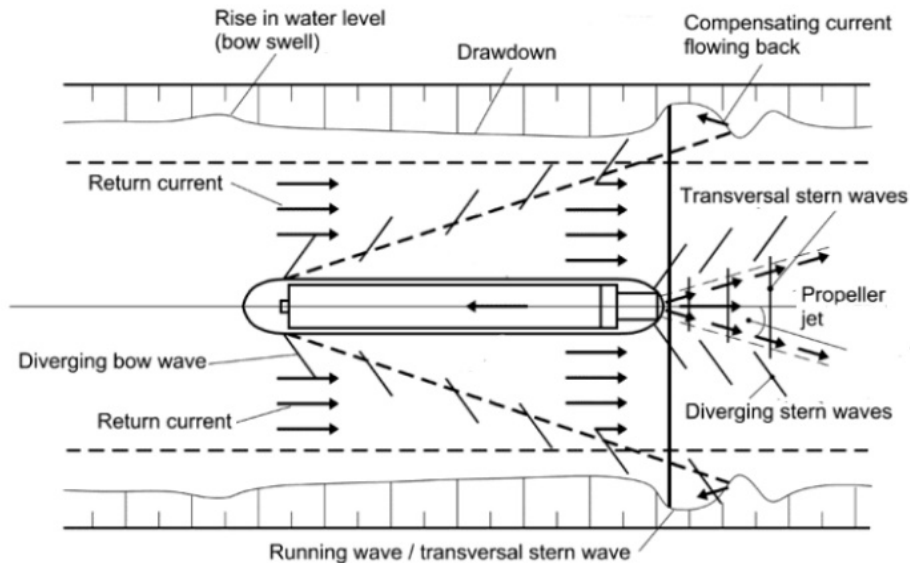
Date de début du projet : 8 janvier 2024 / Durée : 48 mois

Aide ANR: 516 708 € / Coût complet: 1 222 500 €

*site internet: [anr-influe.prd.fr](http://anr-influe.prd.fr) (en cours de construction)*

# Contexte

## Report modal vers le transport fluvial + Modifications climatiques



Domaine "Sciences de la matière et de l'ingénierie"

axe B.4: "Sciences de l'ingénierie et des procédés"

mécanique des fluides

dynamique d'écoulement

interaction fluide structure pour le sediment

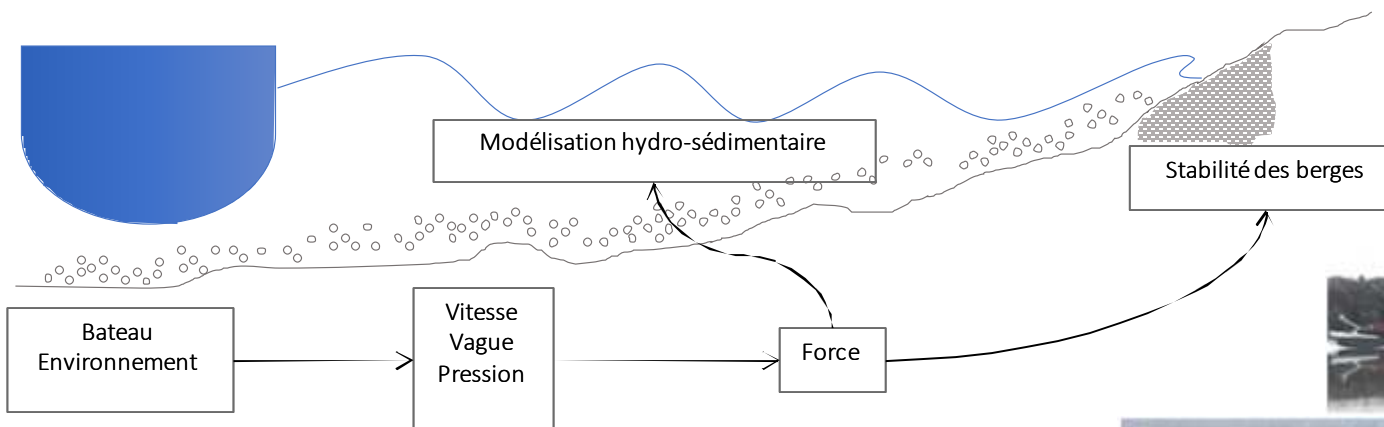
interface fluide matériau

ingénierie géotechnique

stabilité des berges

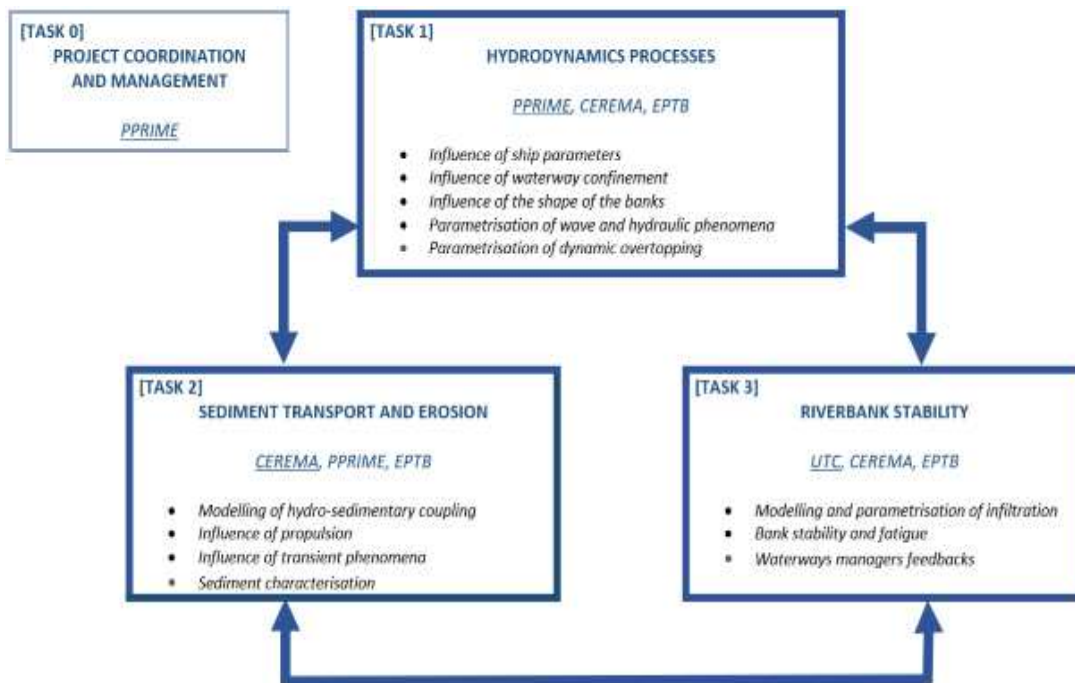
mécanique des sols

# Objectifs

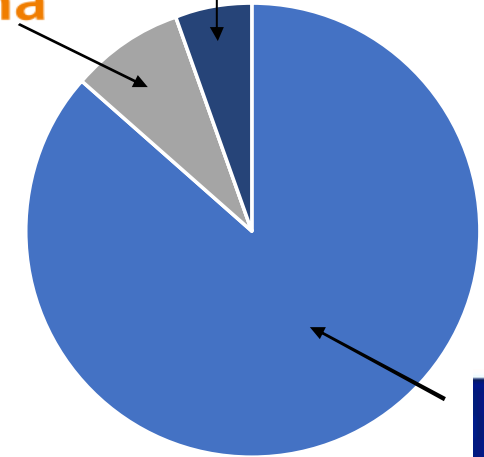


## Batillage d'une péniche

IBIS: Impact du Batillage Investigation en Seine  
 Projet GIS Seine Aval, 2010



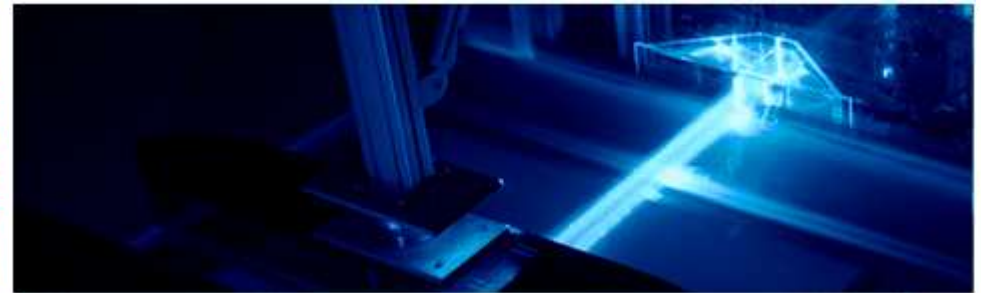
leader tâche:



# Hydrodynamique

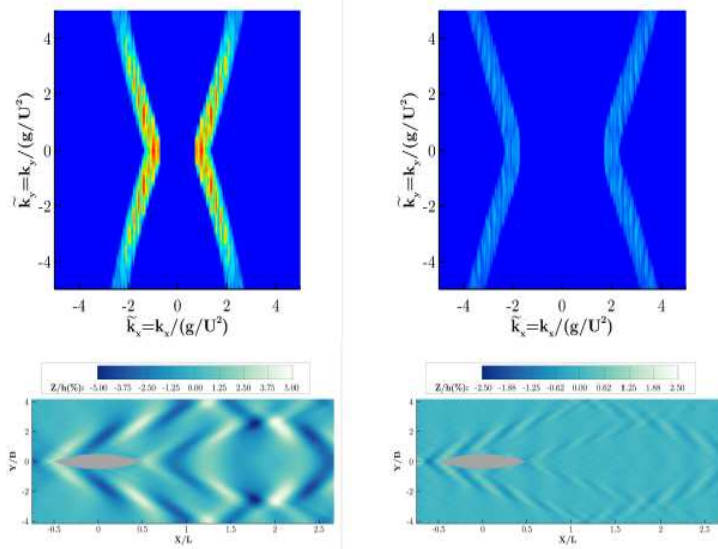
2024 | 2025 | 2026 | 2027

thèse en cours: Clément Maubant ([clement.maubant@univ-poitiers.fr](mailto:clement.maubant@univ-poitiers.fr))



# Objectifs

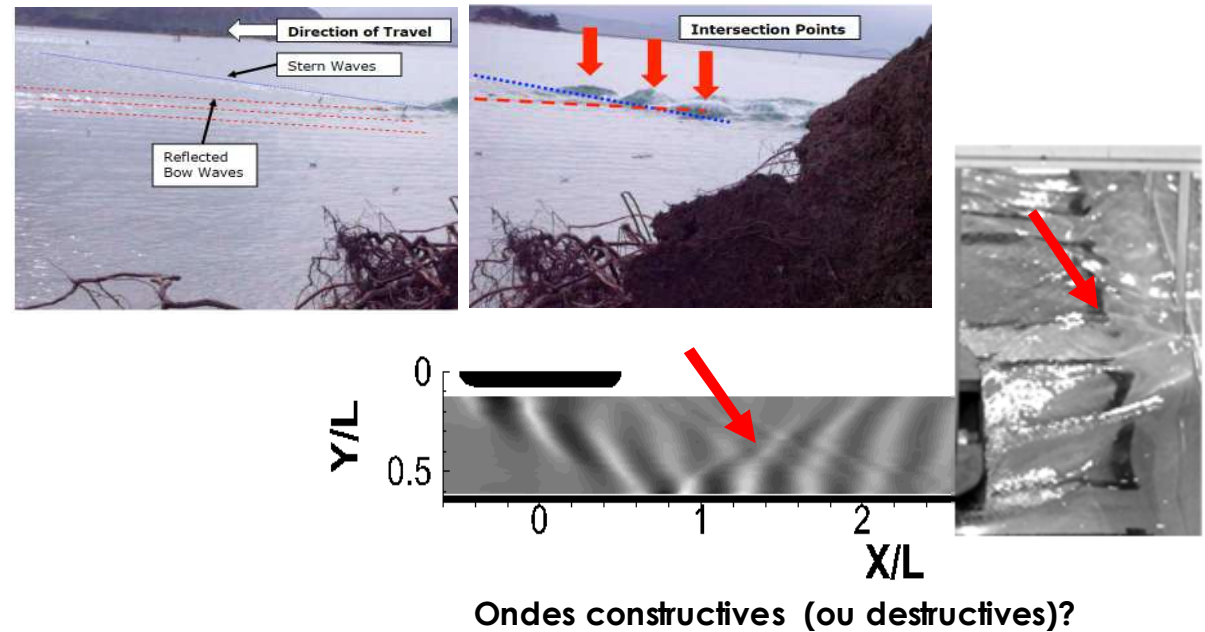
## 1- Caractérisation et quantifications des phénomènes



*fondamentale*

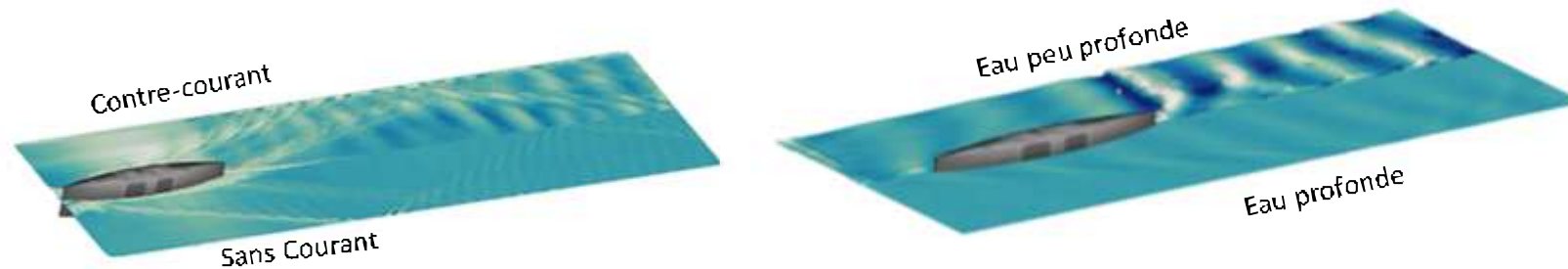
*harmonique*

Composante hydraulique  
Composante ondulatoire  
Fondamentale  
Harmonique  
Non linéarités



# Objectifs

- 1- Caractérisation et quantifications des phénomènes
- 2- Quantification du batillage



Revisiter la loi d'Havelock (1903)  $\chi_i = \alpha \cdot Y^{(-1/3)}$

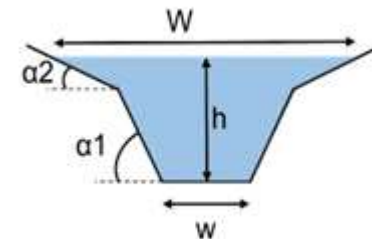
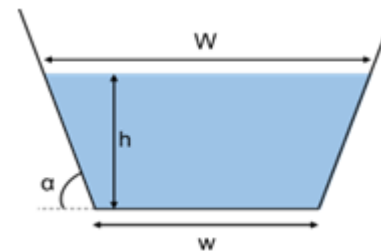
avec  $\chi_i = \{\text{vitesse ou force ou amplitude ou ...}\}$

où  $\alpha = f(W, w, A_b, A_C, B, D, h, h_0, U_b, U_C) \otimes U_{\text{courant de retour}}$

Influence du courant de retour?

Influence de la bathymétrie?

Influence des autres effets (co ou contre courant, etc...)?

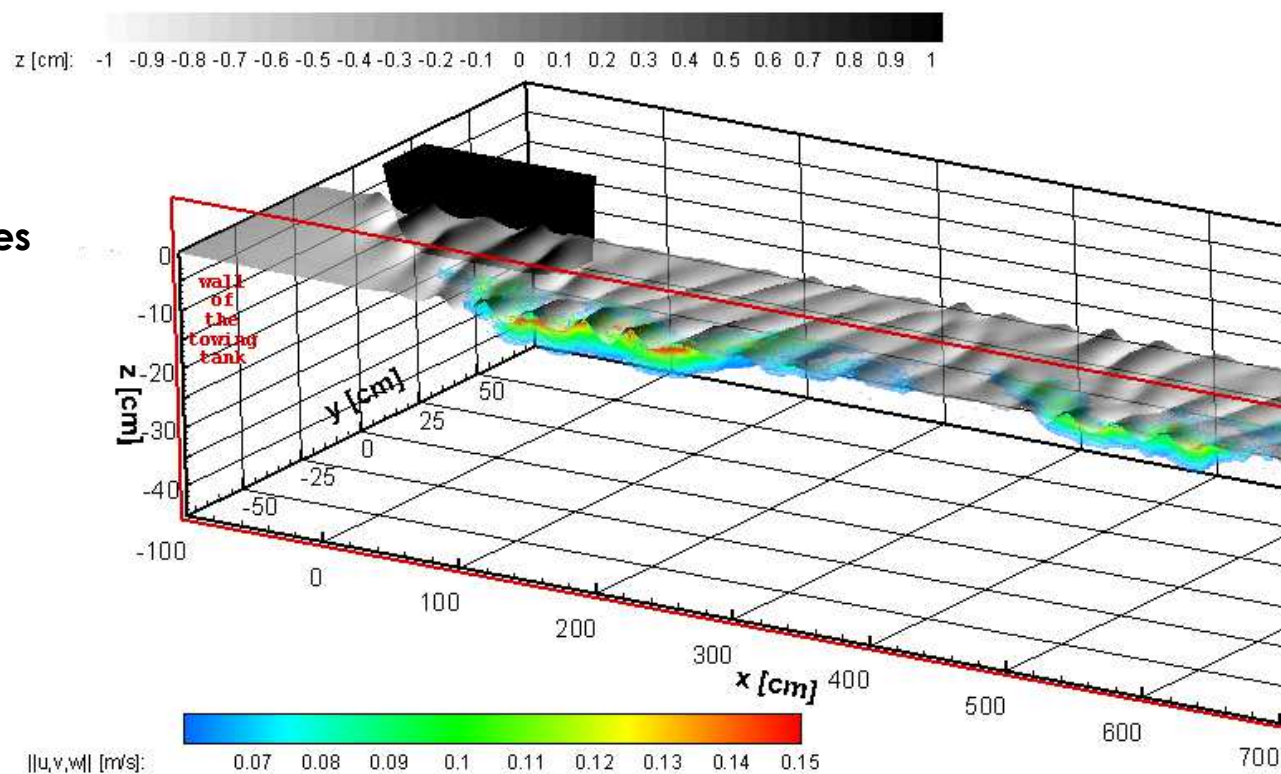




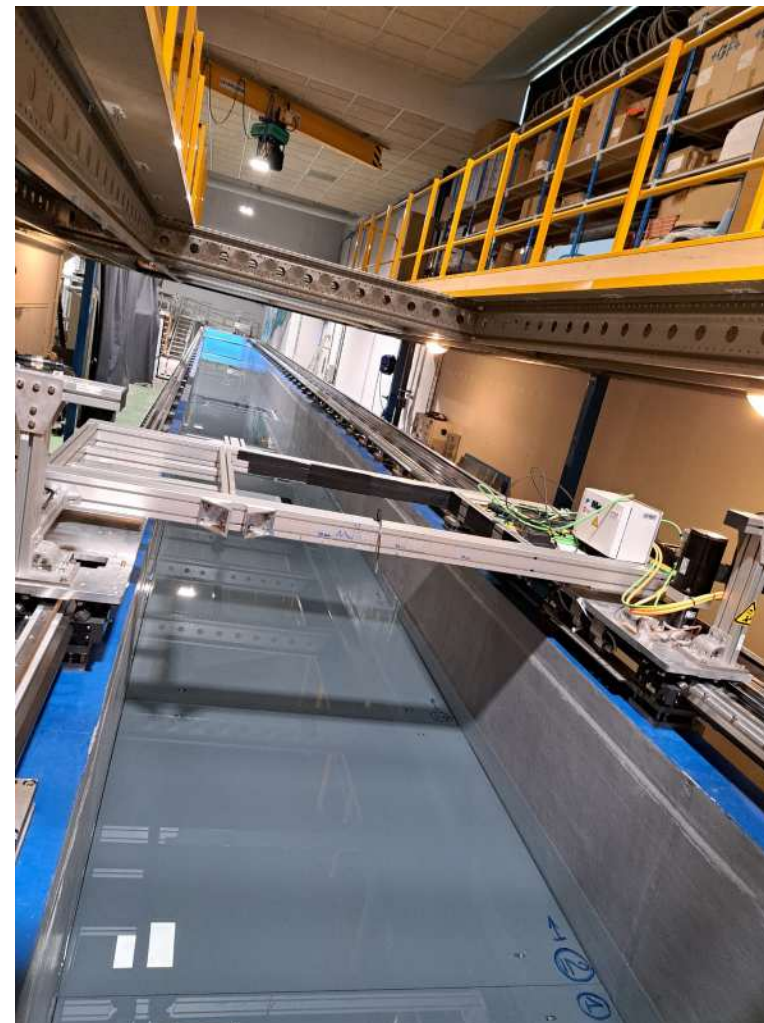
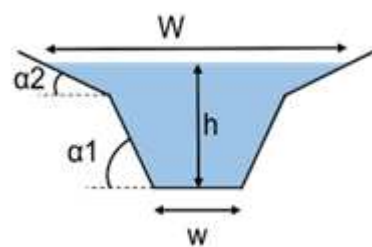
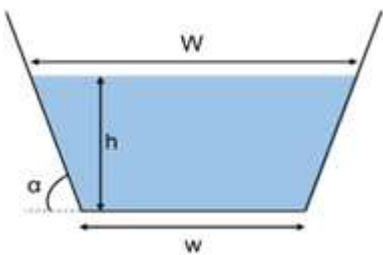
# Objectifs

- 1- Caractérisation et quantifications des phénomènes
- 2- Quantification du batillage
- 3- Quantification de l'impact sur les berges

**Génération de courants induits de grandes intensités aux régions de réflexions des ondes sur les berges**

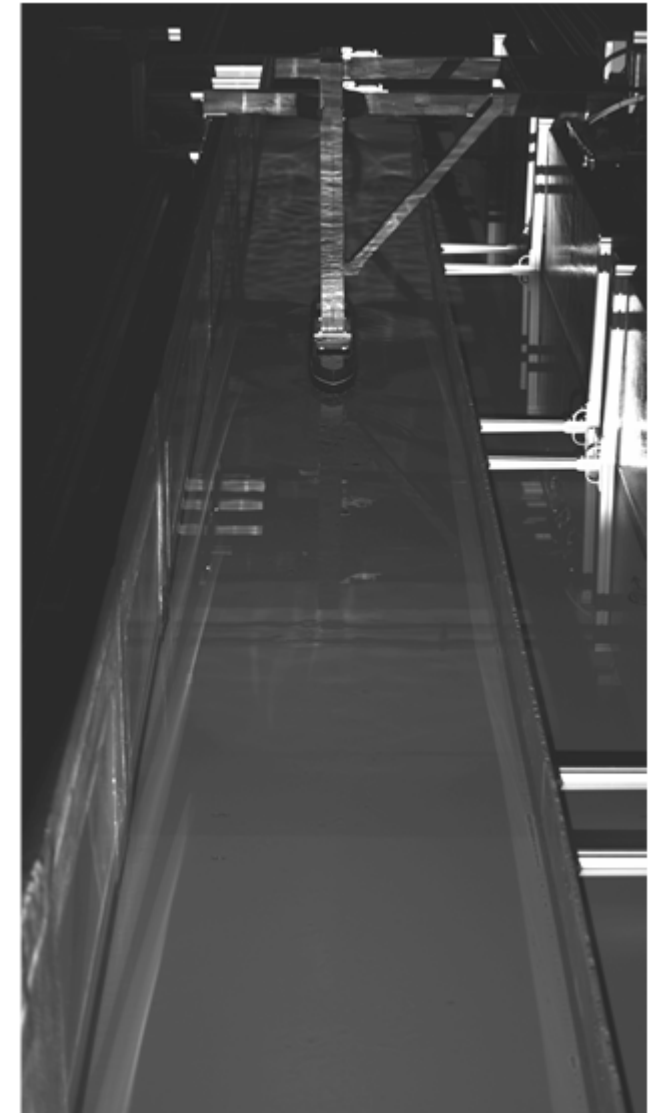
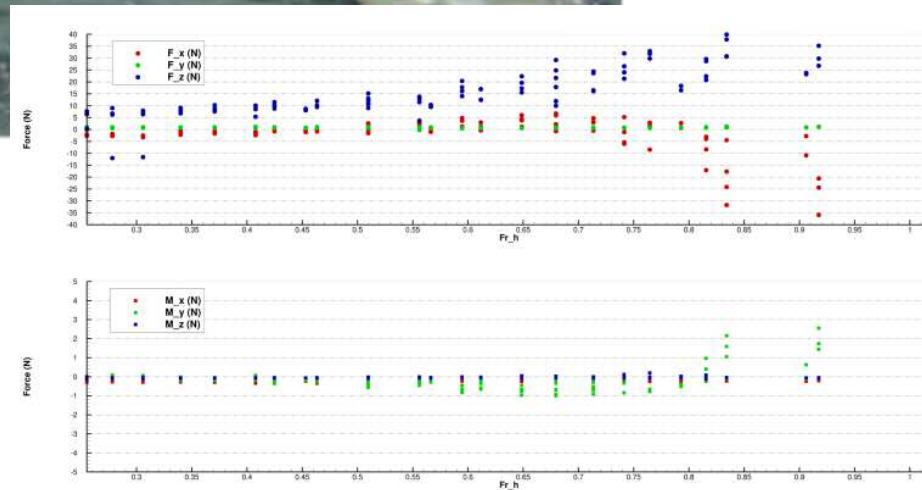
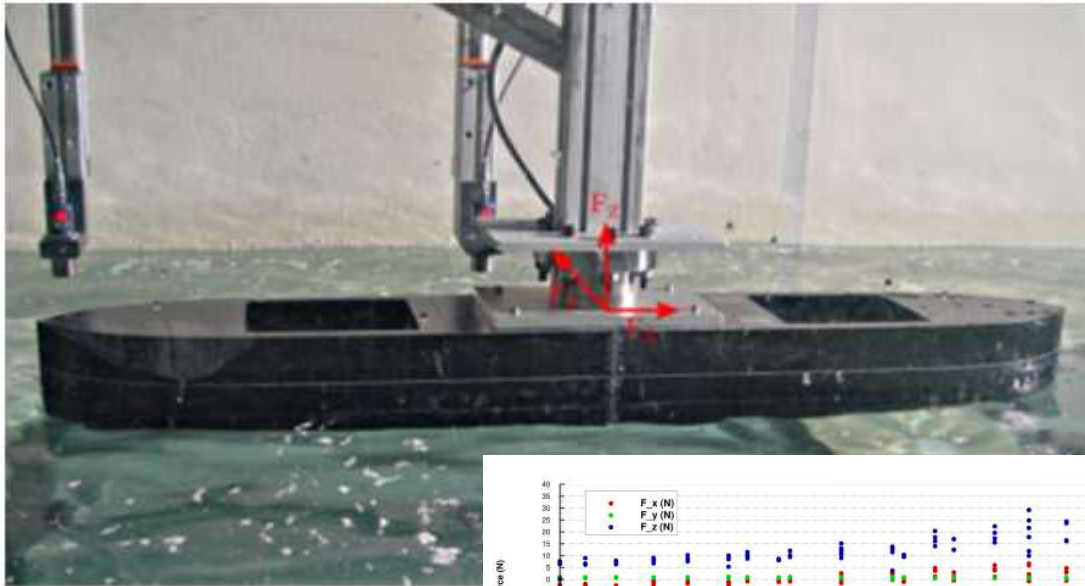


# Bassin de traction de l'Institut Pprime



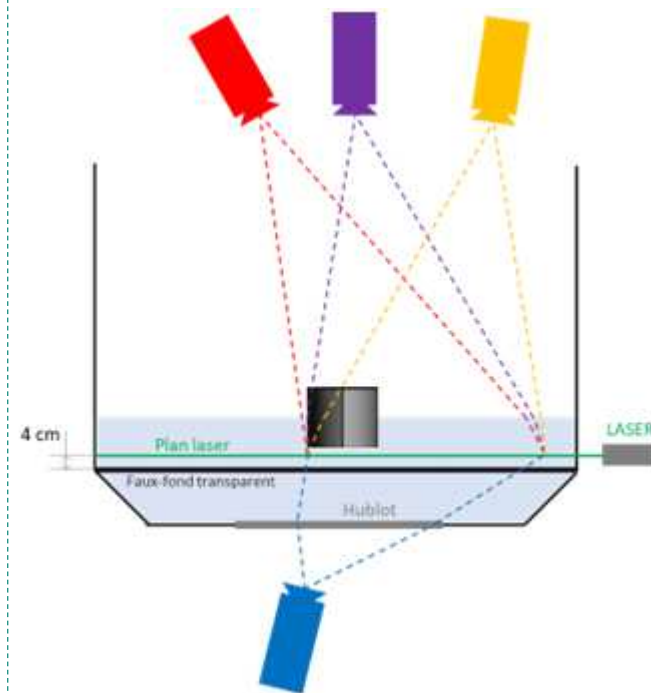
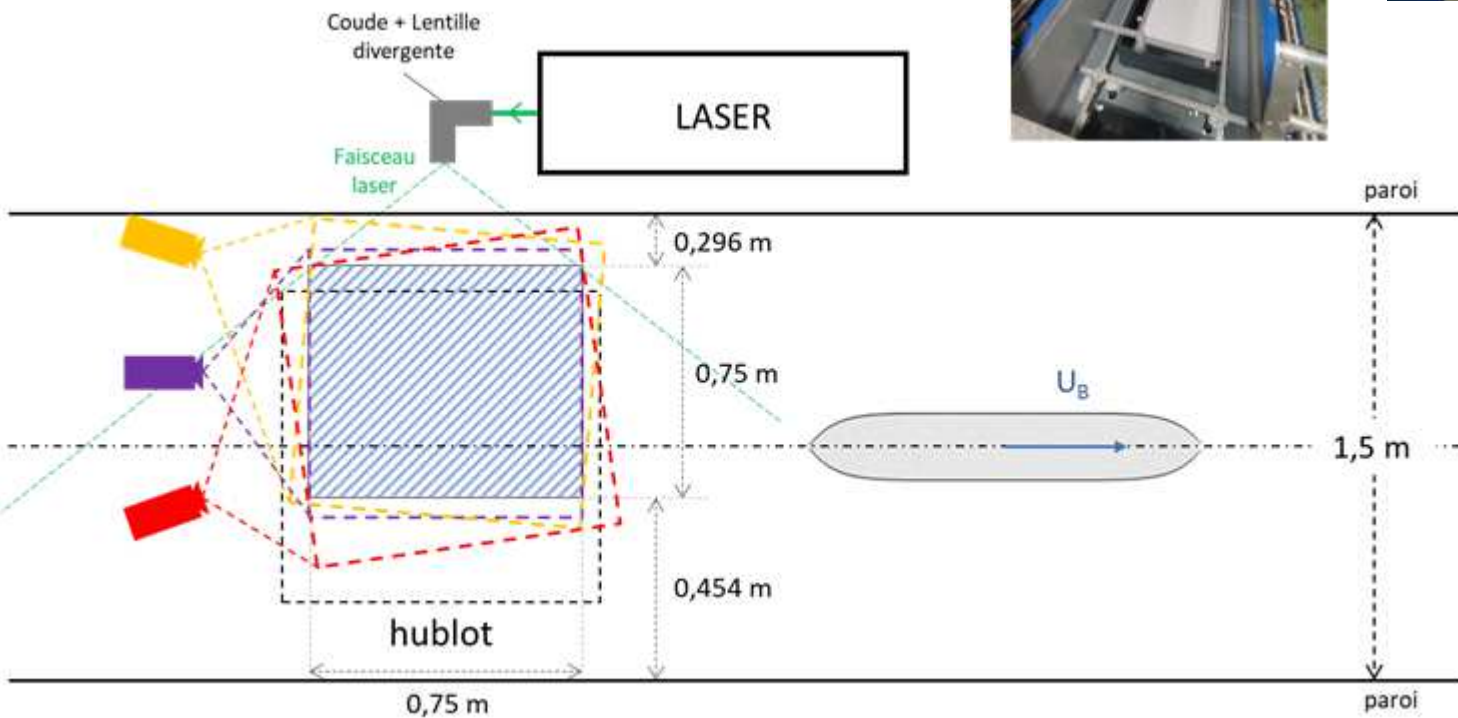
# Métrologie appliquée

## Résistance à l'avancement & Visualisations



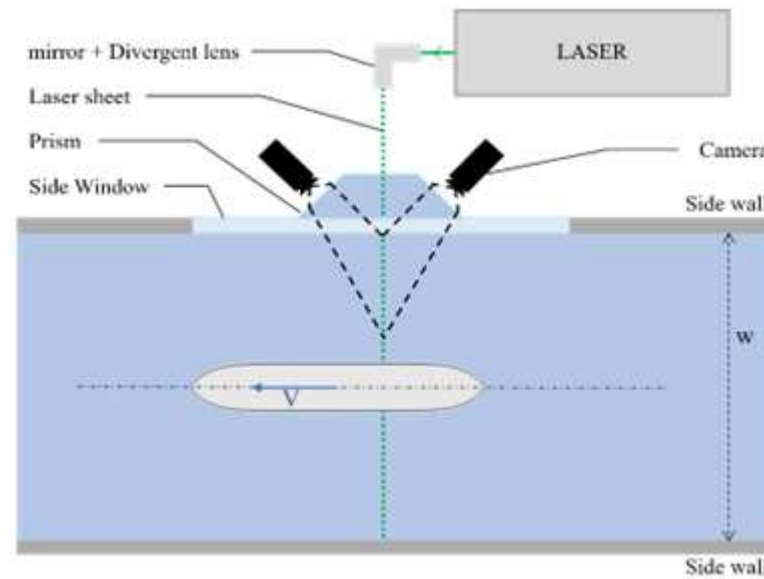
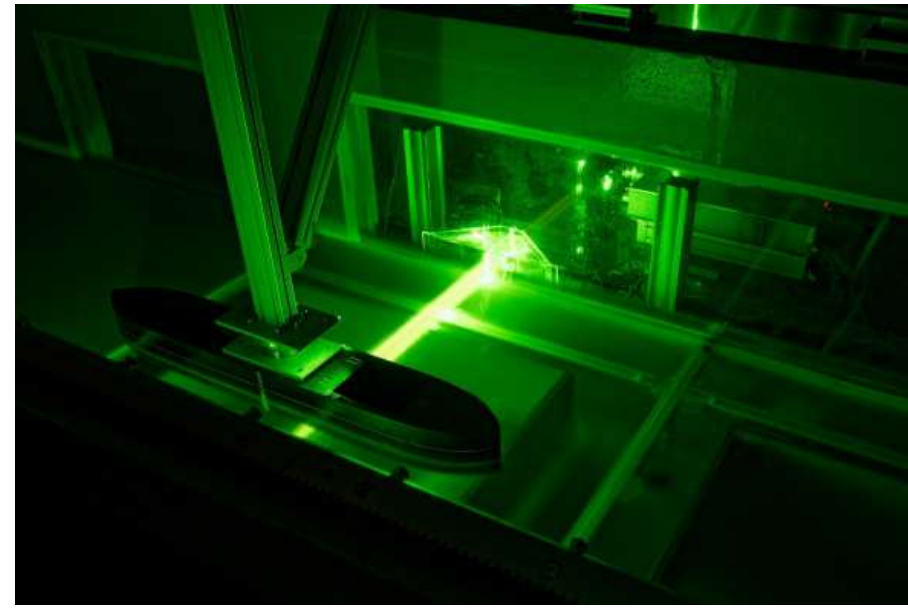
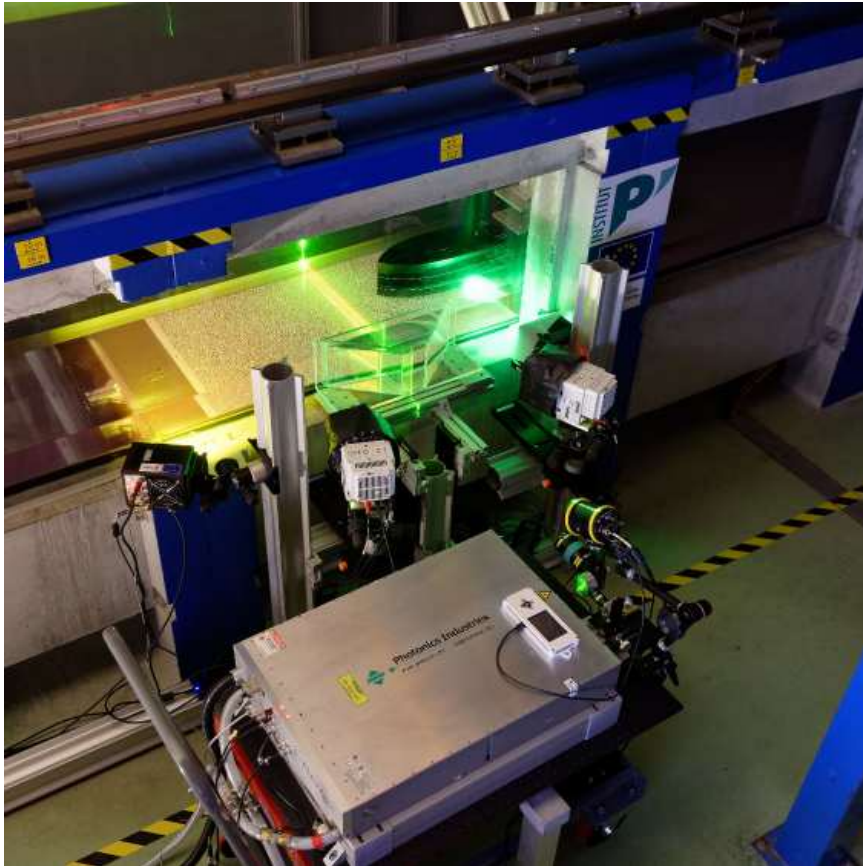
# Métrologie appliquée

Mesure de surface



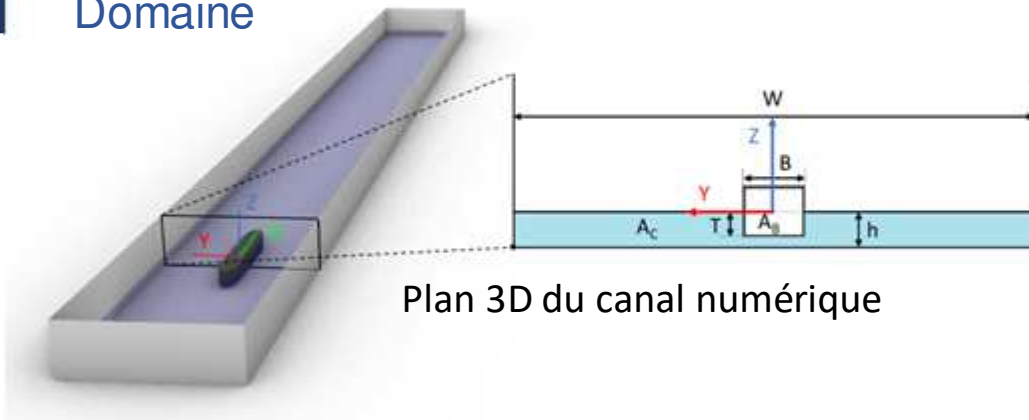
# Métrologie appliquée

PIV, SPIV, tomoPIV



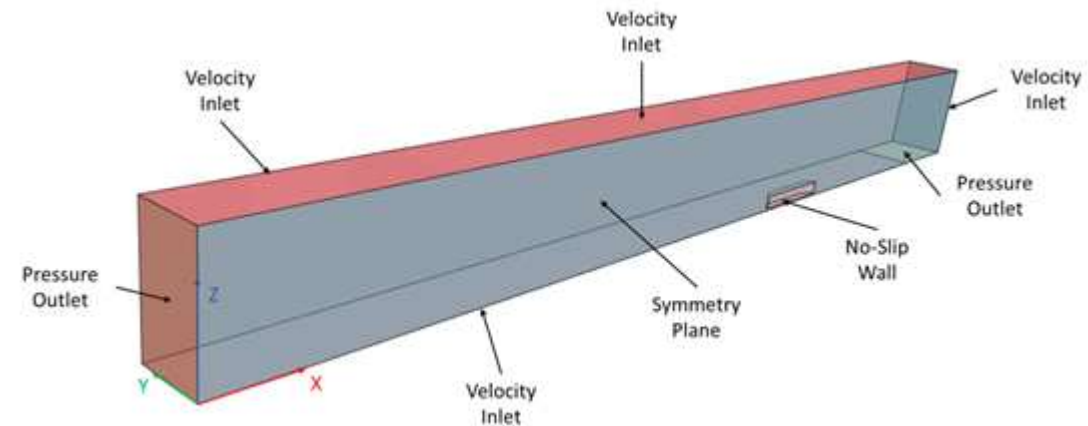
# CFD appliqué à INFLUE

## Domaine



Logiciel utilisé : StarCCM+, version 15.06.07

Type de simulation : URANS, méthode Volume of Fluid



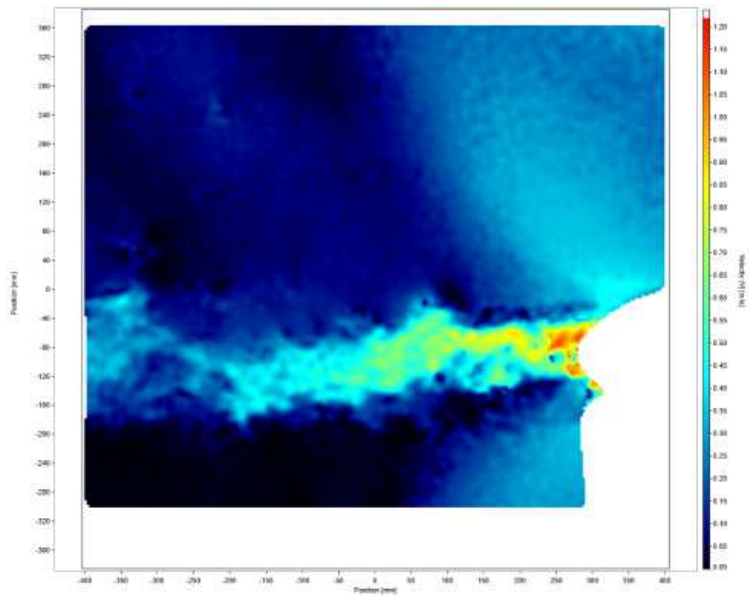
## Méthode

- **Overset (OV)** : Navire en mouvement dans de l'eau initialement au repos
- **Quasi-stationnaire (QS)** : Navire fixe dans de l'eau se déplaçant à vitesse constante autour. Les parois du canal sont également mises en mouvement.

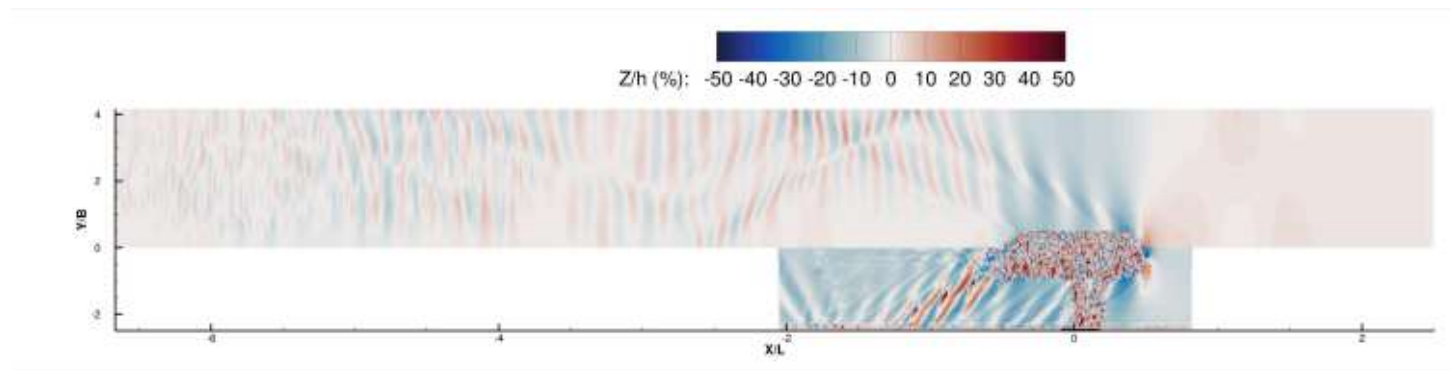
Limite	<i>OV</i>	<i>QS</i>
Symétrie	Symmetry Plane	Symmetry Plane
Paroi du navire	No-slip Wall	No-slip Wall
Face amont	Pressure Outlet	Velocity Inlet
Face aval	Pressure Outlet	Pressure Outlet
Paroi latérale	No-slip Wall	Velocity Inlet
Fond du canal	No-slip Wall	Velocity Inlet
Face du dessus	Velocity Inlet	Velocity Inlet

Conditions aux limites du canal numérique

## Quelques résultats préliminaires

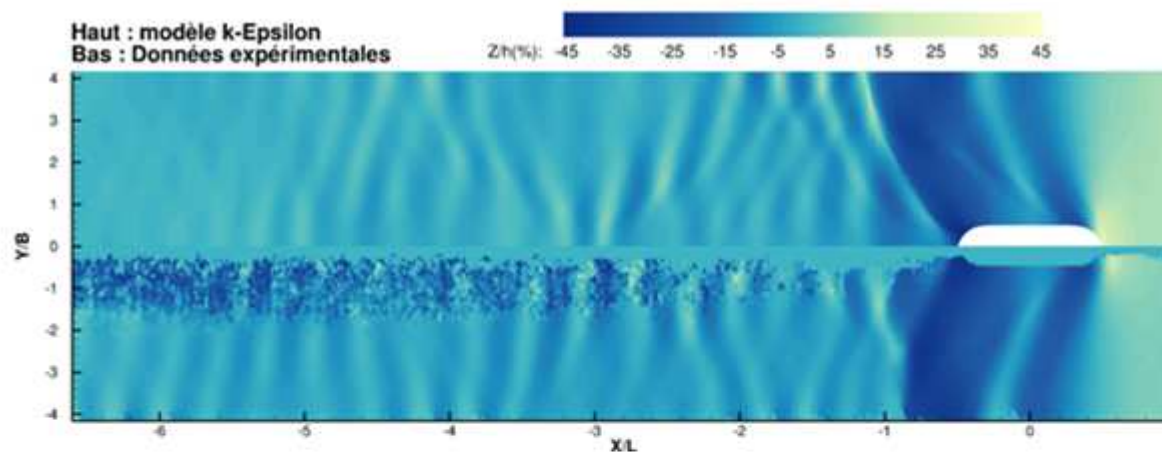


Norme de la vitesse dans le  
sillage de la maquette

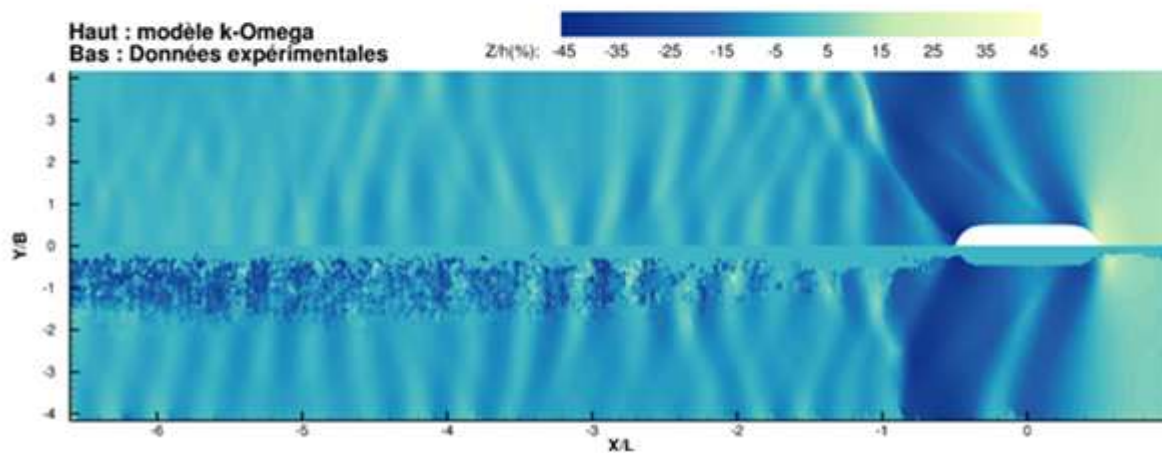


**Haut** : simulation numérique  
**Bas** : Surface libre reconstruite par stéréo-réfraction

## Quelques résultats préliminaires



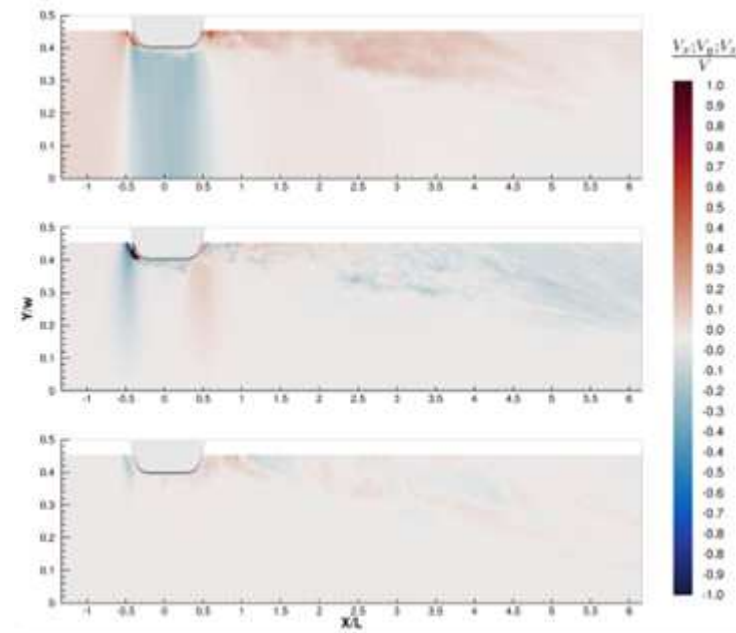
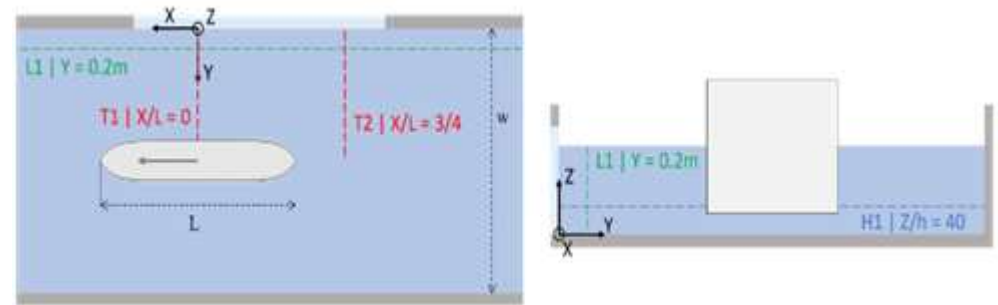
**k- $\epsilon$**  : « Creuse » légèrement plus les vagues dans le sillage



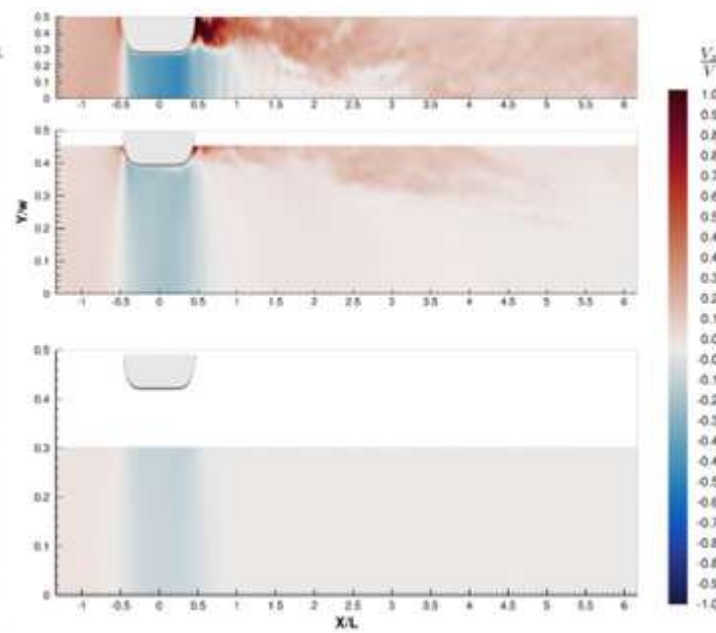
**k- $\omega$**  : Réduit légèrement la diffusion numérique. Permet de voir une vague supplémentaire dans le sillage



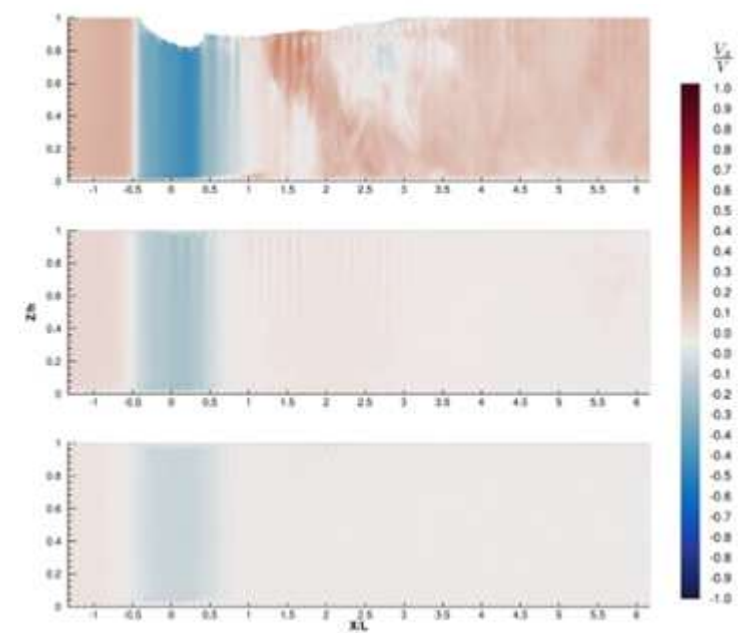
# Quelques résultats préliminaires



Longitudinal (top), transversal (middle) and vertical (bottom) component of the velocity on plane. The boat goes from the right to the left.



Longitudinal velocity on plan H1. The widths of the channels are  $w = 0.5\text{m}$  (top);  $w = 1.0\text{m}$  (middle);  $w = 0.5\text{m}$  (bottom).



Longitudinal velocity for plane L1. Top:  $w = 0.5\text{ m}$ ; middle:  $w = 1.0\text{ m}$ ; bottom:  $w = 1.5\text{ m}$ .

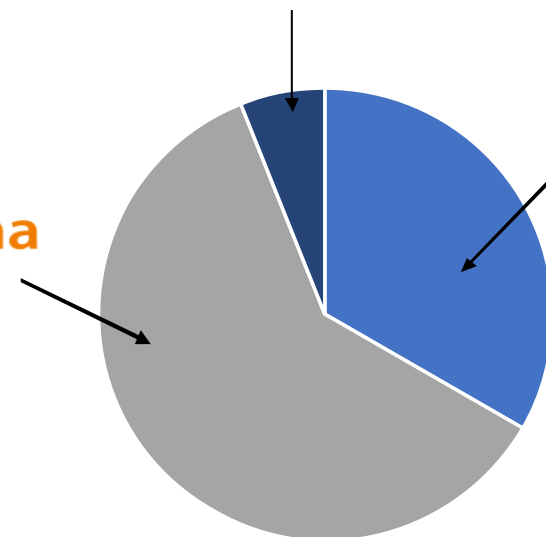
leader tâche:  Cerema

E.P.T.B  ÉTABLISSEMENT PUBLIC  
territorial du bassin  
saône & doubs

 Cerema

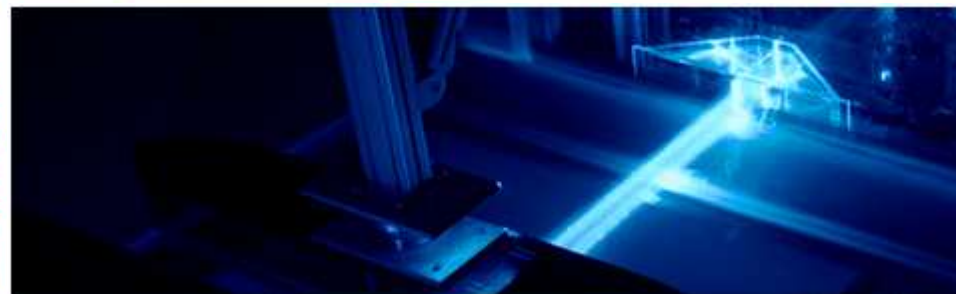
  
Institut  
Pprime

# Couplage hydro-sédimentaire



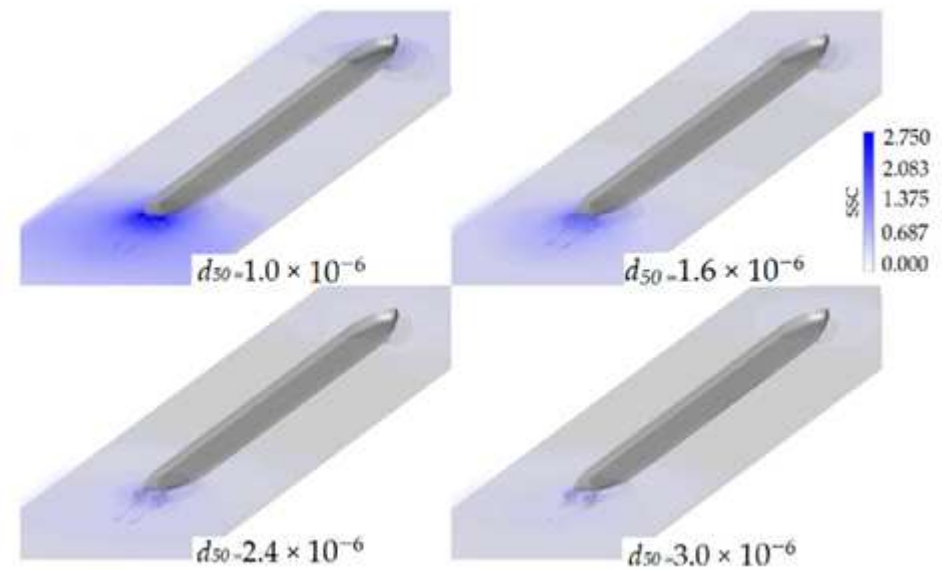
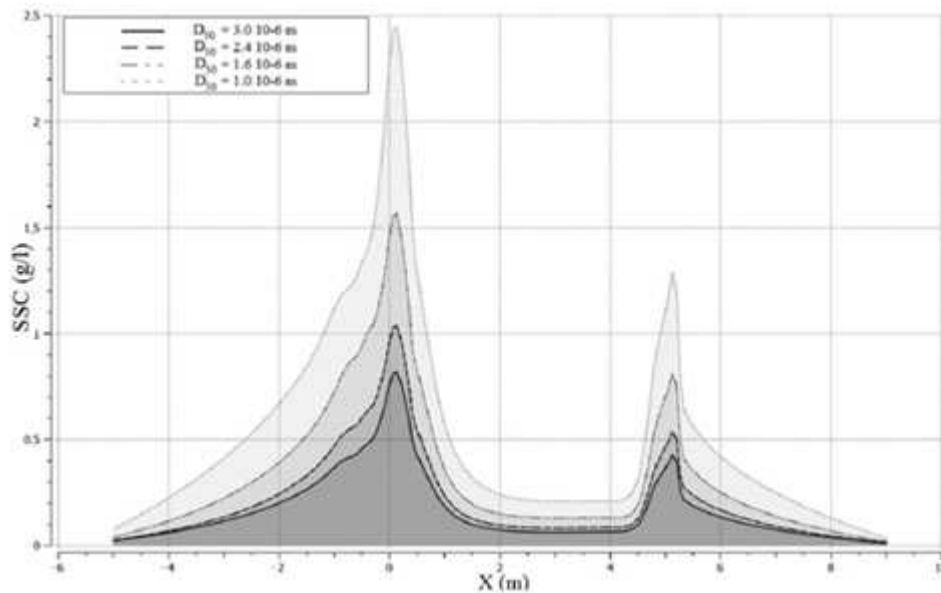
2024 | 2025 | 2026 | 2027

*post-doc CEREMA à venir*



## Couplage numérique Hydro-sédimentaire basé sur la méthode CFD

- Développer un modèle de couplage hydro-sédimentaire basé sur la méthode CFD dans le but de bien représenter l'écoulement turbulent en 3D autour de la coque ainsi que l'écoulement rotationnel généré par les propulseurs.
- Simuler de manière très fine les vagues générées et leurs interactions avec le sol.
- Intégrer les lois de comportement adéquates pour une meilleure représentation du sol (sédiments cohésifs ou non-cohésifs).



# Caractérisation des sédiments

Sédiments non-cohésifs

Prélèvements et conditionnement



Prélèvements *in situ* par pelle Van Veen



Séchage des sédiments

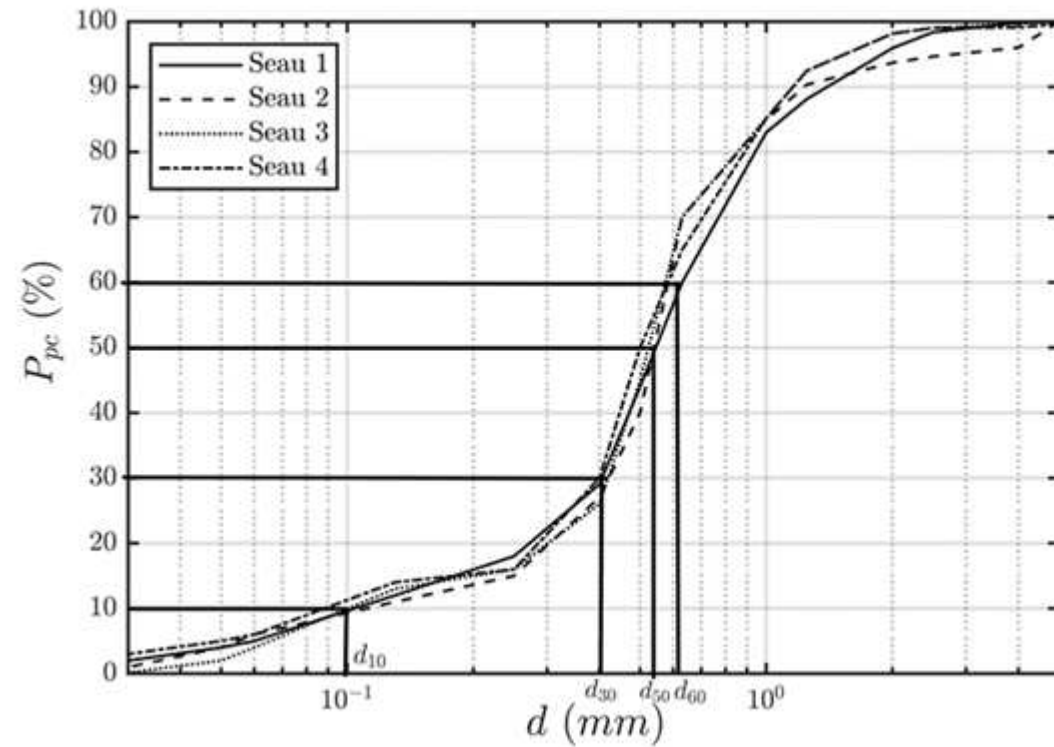
# Caractérisation des sédiments

Sédiments non-cohésifs

Granulométrie

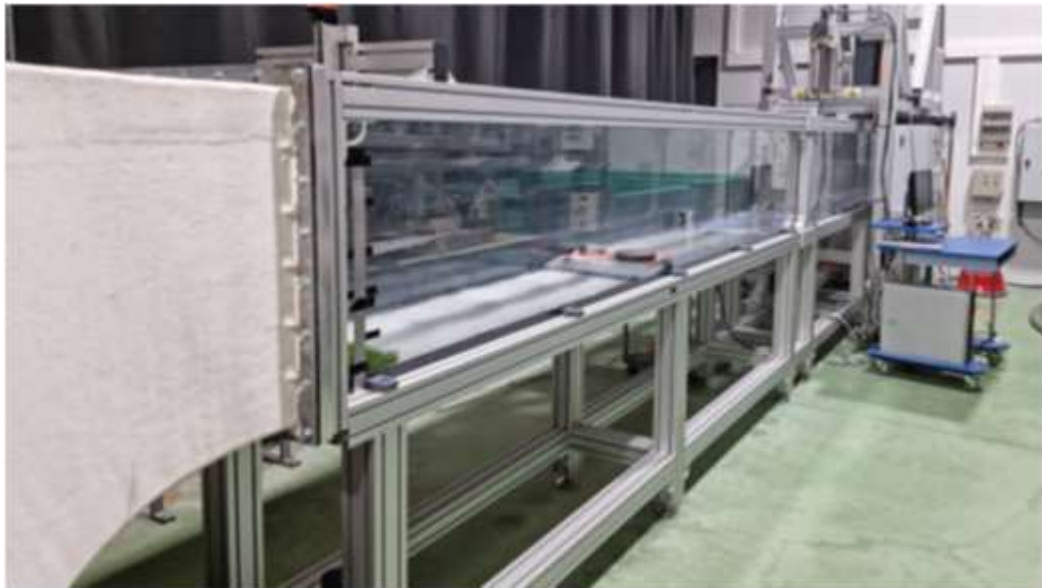


Granulomètre par tamisage



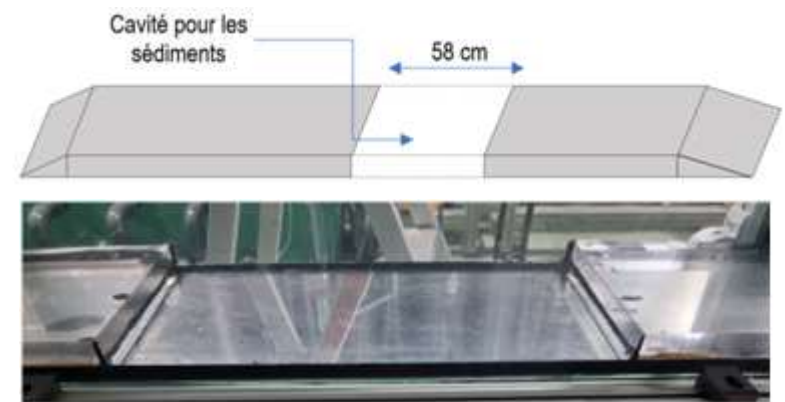
Courbes granulométriques de différents échantillons

# Lois d'érosion



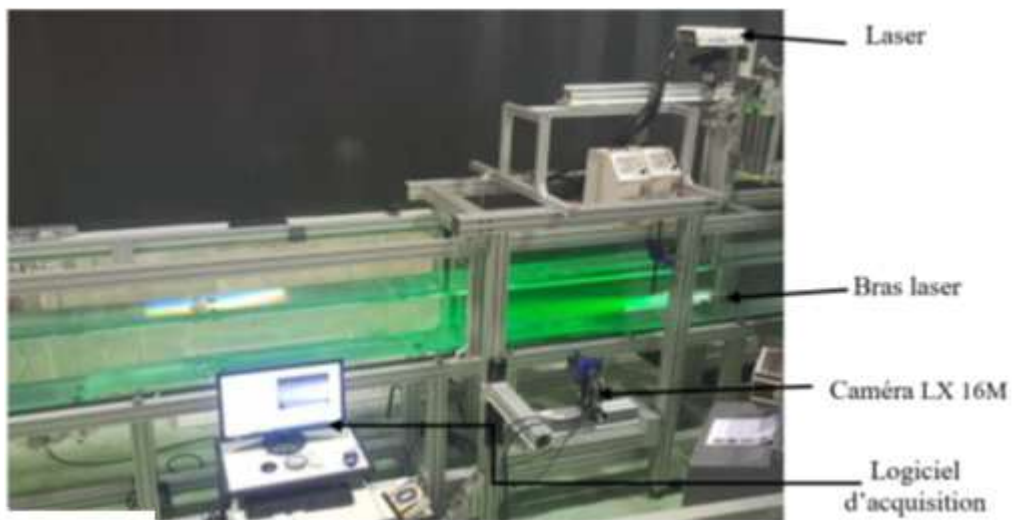
Longueur : 7 m  
Largeur : 0,385 m  
Hauteur : 0,6 m  
Débit max : 65 l/s

Essais d'érosion en canal hydro-sédimentaire de l'Institut Pprime

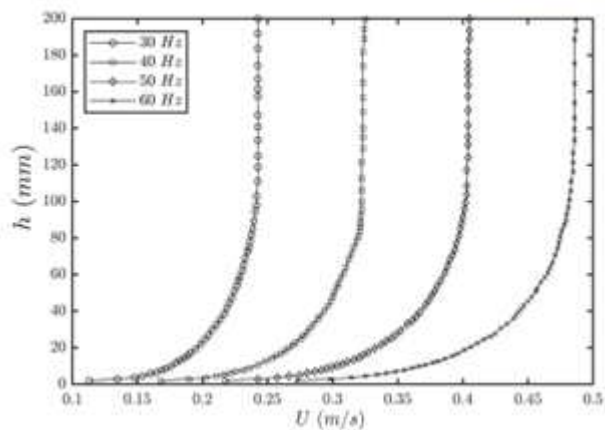


# Lois d'érosion

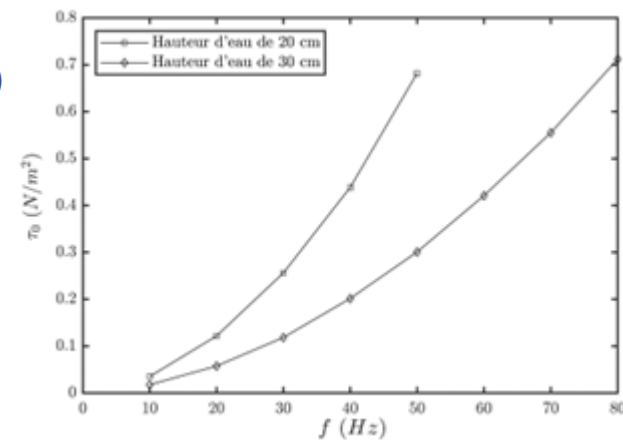
A)



B)



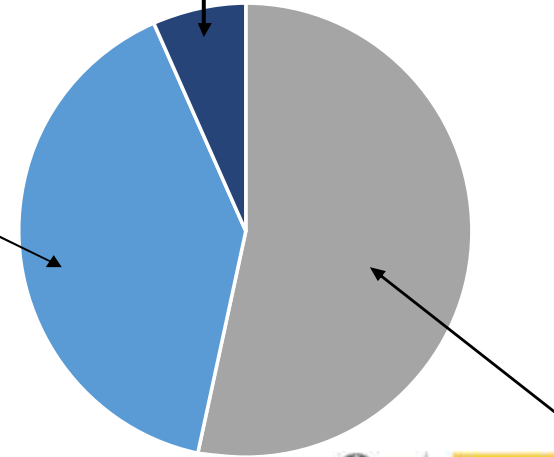
C)



Mesures PIV de caractérisation de la couche limite

A) Mesures PIV sur fond fixe (lisse ou rugueux) B) Définition des profils de vitesses dans la couche limite C) Estimation de la contrainte de frottement pariétal à partir des profils de vitesses

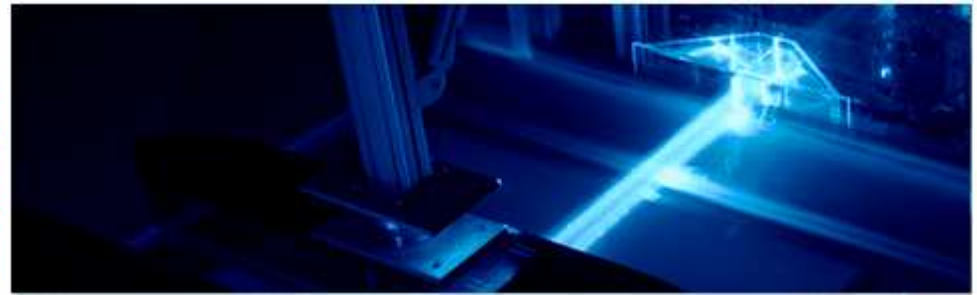
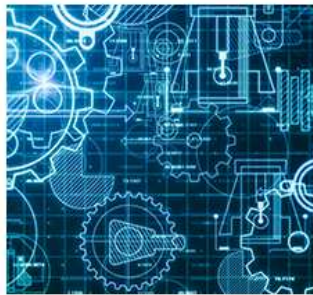
leader tâche:



# Stabilité des berges

2024 | 2025 | 2026 | 2027

thèse UTC à venir





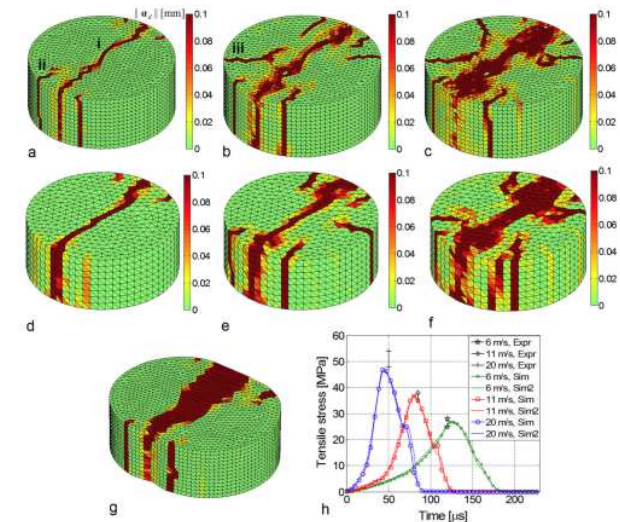
# Exploitation et extension des méthodes «EFEM» pour la description de la rupture de milieux poreux

## Endommagement et rupture des berges

Fluctuation du niveau de saturation des berges →  
endommagement progressif des berges jusqu'à rupture, perte de stabilité

### Objectif :

- Développement d'outils numériques de prédiction de la rupture des berges en vue d'évaluer les quantités de matière qui alimentent la voie d'eau.



# Exploitation et extension des méthodes «EFEM» pour la description de la rupture de milieux poreux

## Verrous scientifiques :

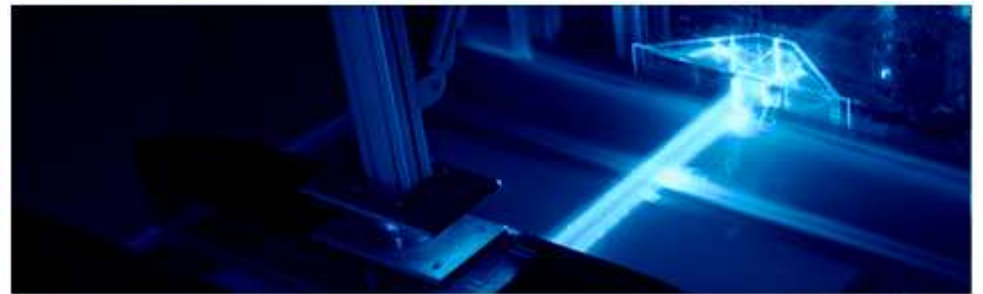
- Rupture de milieux poreux avec fluctuation du niveau de saturation
- Couplage des équations de Richards à la mécanique de l'endommagement

## Partenariat CEREMA / UTC Roberval :

- Équations de Richards (CEREMA) : évolution du niveau de saturation dans le milieu poreux avec le chargement hydrodynamique associé au passage des bateaux
- Mécanique de l'endommagement et rupture des berges (UTC Roberval) : dégradation progressive du milieu poreux jusqu'à rupture
- Enjeux :
  - Couplage d'approches numériques fortement non-linéaires
  - Prise en compte des fluctuations du chargement hydrodynamique
  - Identification de lois de comportement réalistes

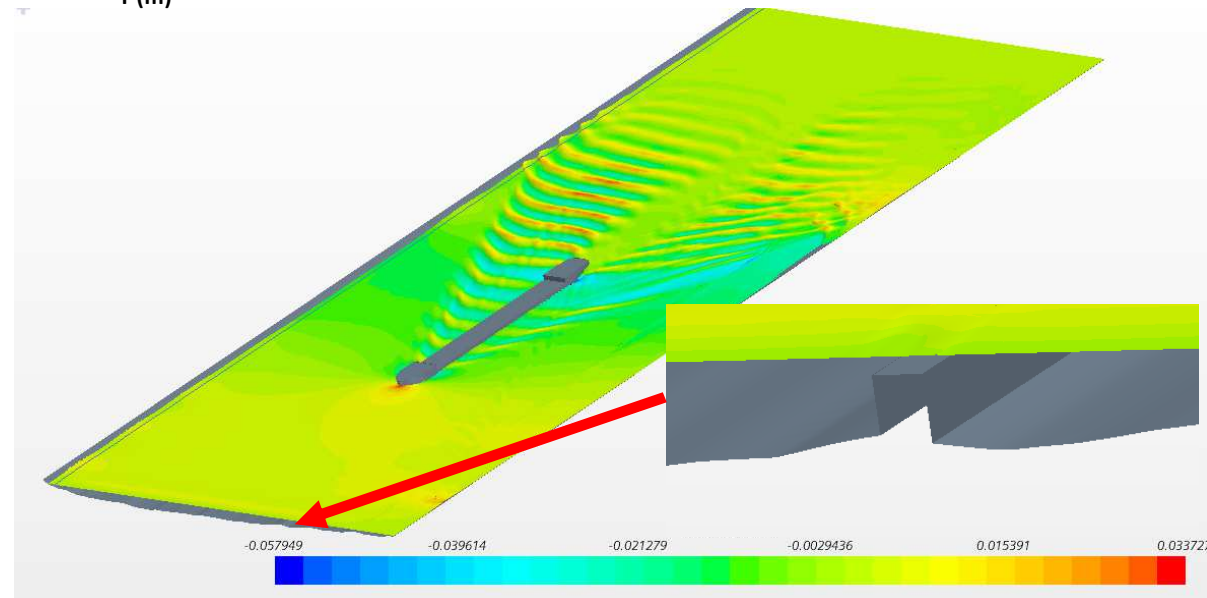
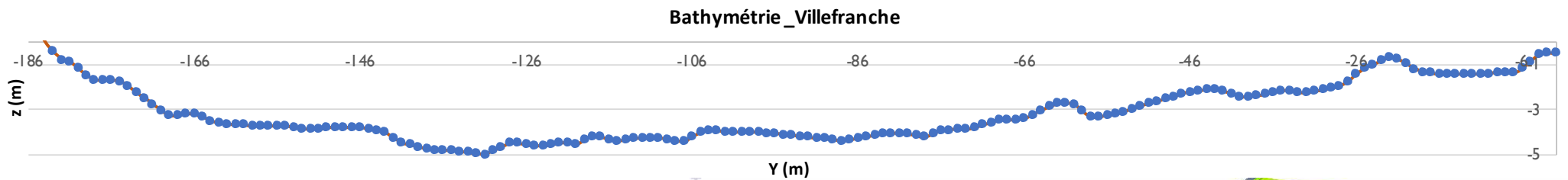


# Sur la Saône!



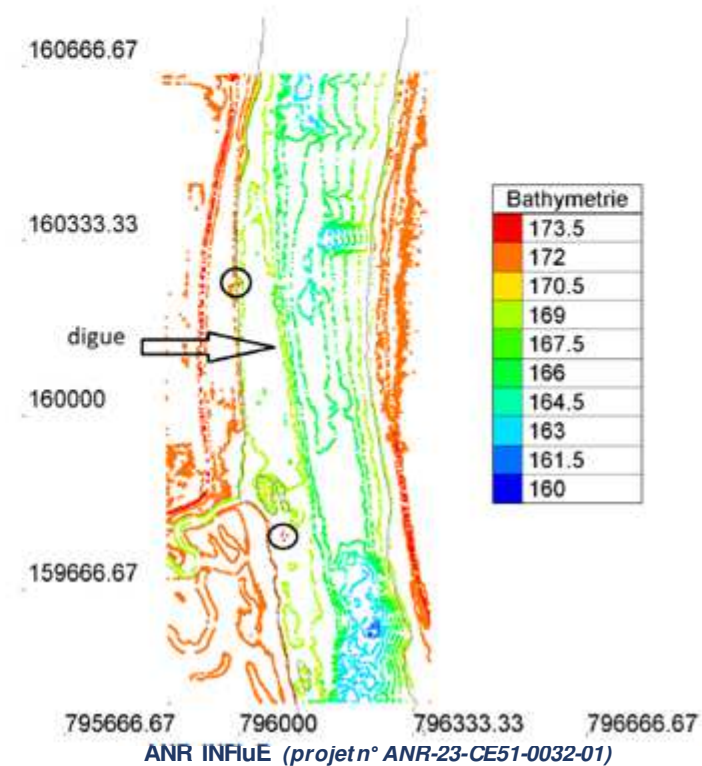
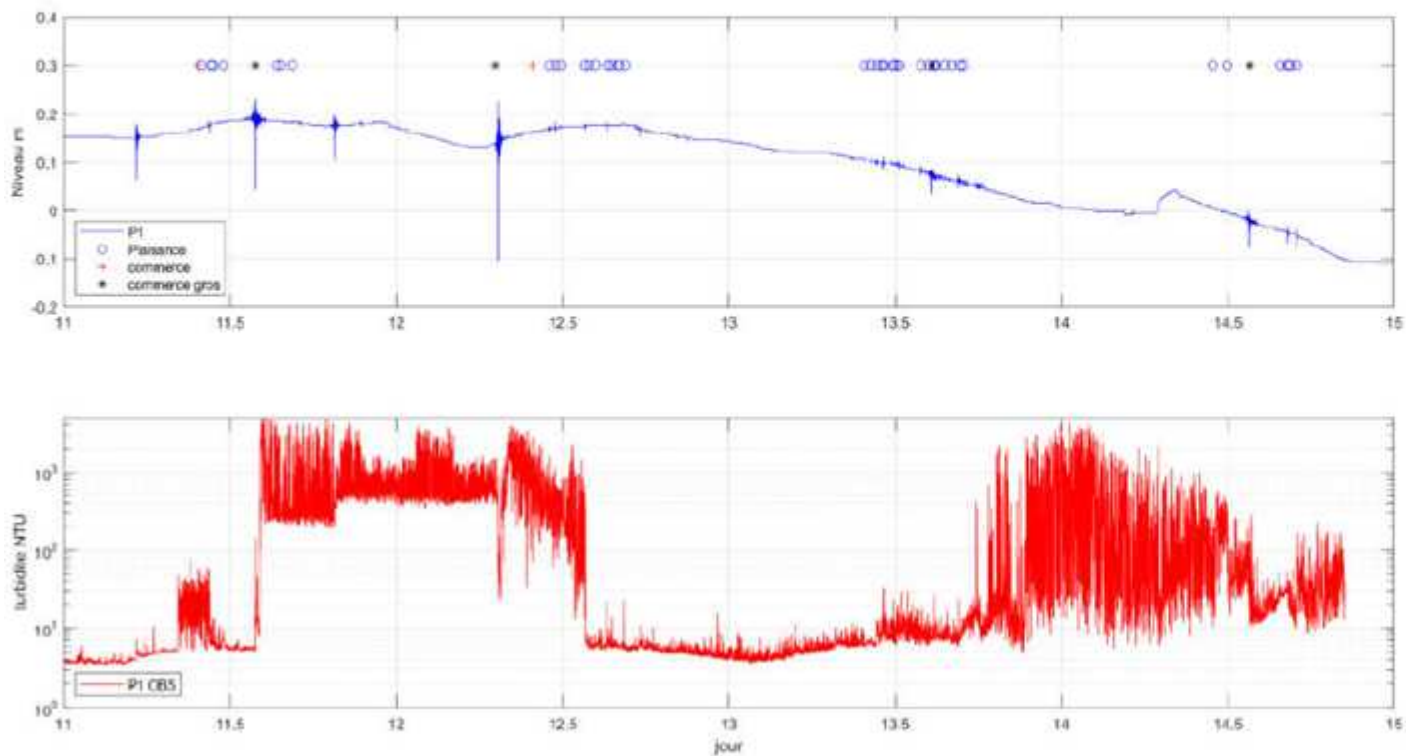
# Cas d'application

Etude de l'hydrodynamique causée par le passage d'un bateau d'un milieu confiné, site de Villefranche-sur-Saône. Rive droite protégée par une digue submergée.

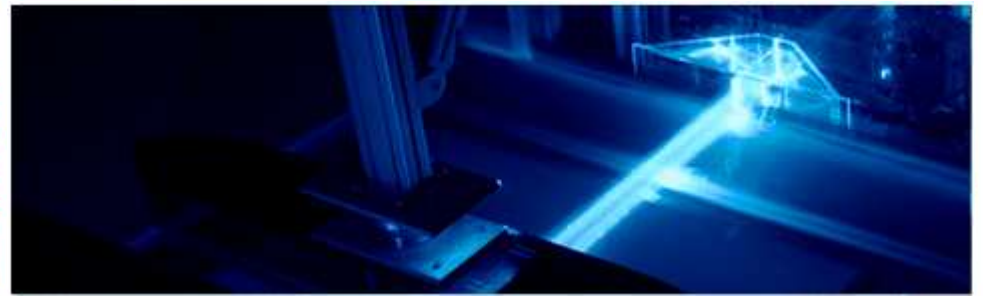
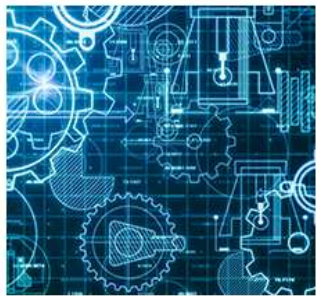


# Cas d'application

## Mesure In-situ du niveau de la surface libre (Villefranche-sur-Saône)



# Les retombées attendues



# Retombées attendues

Maintien de la biodiversité et la préservation des écosystèmes

("Plan climat-biodiversité et transition écologique de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche")

INFLUE se positionne dans cet **apport de connaissances et de savoir-faire** afin d'enrichir les jumeaux numériques des rivières **en proposant des modèles prédictifs fiables et robustes**, aux petites échelles de temps et d'espace, des phénomènes dus au passage des navires dans une voie d'eau.

## Produire des connaissances et des savoir-faire

- publications dans des revues internationales à comité de lecture et en OpenAccess
- présentations à des conférences de grande audience
- Organisation d'un colloque national

## Se structurer autour d'experts produisant des observations/données de qualité

- une approche couplée CFD, mesures en laboratoire, mesures de terrains et feedback avec les gestionnaires
- fournir des outils prédictifs robustes et fiables pour identifier les zones des voies navigables susceptibles d'être plus affectées par l'érosion accrue due à la navigation

## Apporter une expertise issue des connaissances produites et consolidées

- fournir à la communauté du transport par voie d'eau des orientations scientifiques, des recommandations en termes de régulation du trafic, de protection des berges ou de conception des berges
- essaimer les connaissances par l'enseignement et la formation qu'elle soit professionnelle, universitaire ou à destination d'ingénieurs et techniciens

## Soutenir les politiques publiques

- proposer une base scientifique solide pour la prise de décision
- contribuer à développer l'expertise publique dans les domaines de la gestion de la navigation intérieure

## Ouverture affichée

## Participation aux réunions du projet Organisation d'un symposium national Devenir membre du consortium élargi



...

...







# Merci



**Damien CALLUAUD**  
Professeur des Universités . *Full professor*

Tel. : +33 (0)5 49 49 69 43  
damien.calluud@univ-poitiers.fr  
[www.pprime.fr](http://www.pprime.fr)

Cette recherche a été financée en tout ou partie, par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) au titre du projet ANR-23-CE51-0032-01



**Séminaire scientifique Saône**  
**9 avril 2024 | Dijon**

**BiodiverSaône**  
(2023-2026)  
Loic Bollache &  
F.-X. Dechaume-Moncharmont



# Axe 1:

**rôle de l'hétérogénéité des habitats de la Saône sur la diversité piscicole et à mesurer l'efficacité des projets de restauration dans le maintien des espèces piscicoles locales**





**Thème 1 : Evolution de la diversité piscicole de la Saône**

**Thème 2 : caractérisation de la diversité piscicole dans les différents compartiments du lit mineur et du lit majeur de l'écosystème Saône.**

**Méso habitat et micro-habitat**

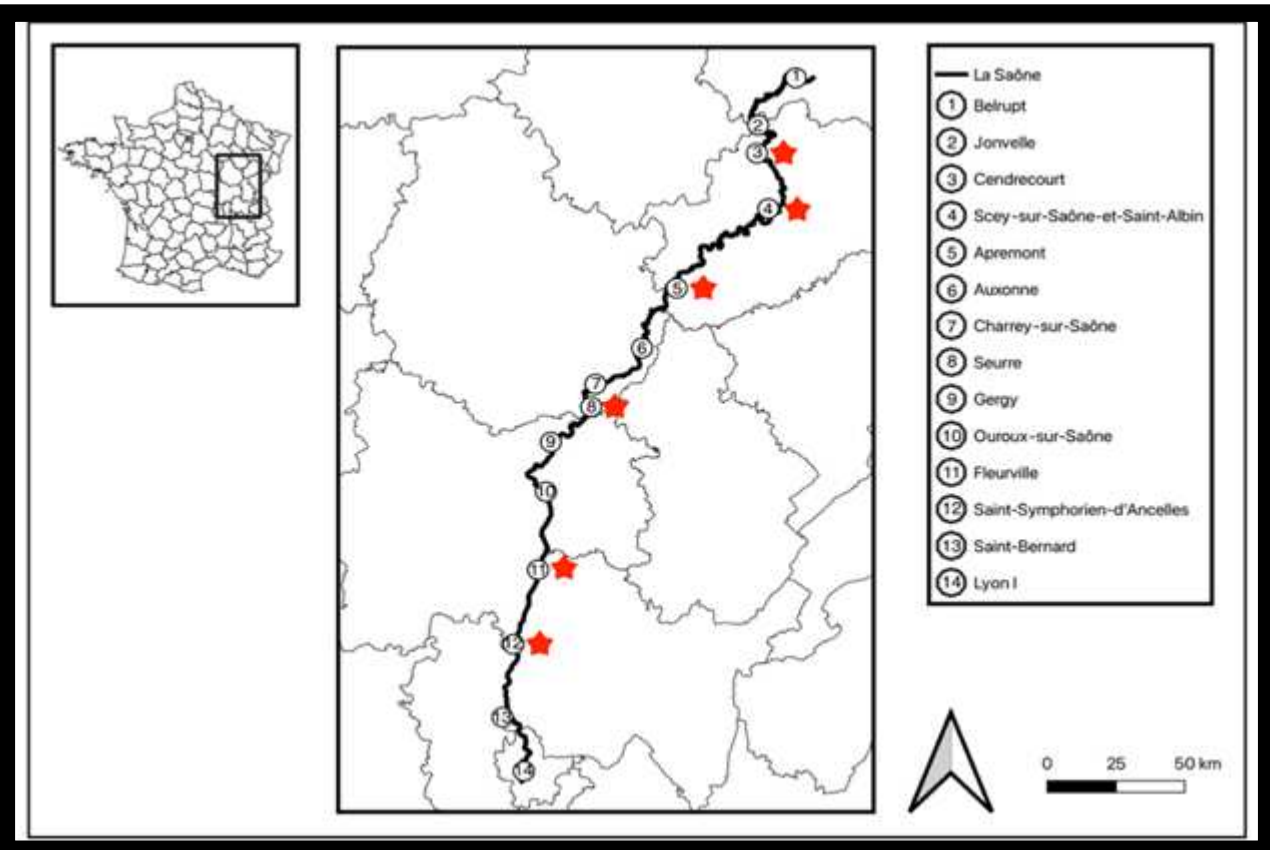
**Thème 3 : évaluation de la diversité piscicole suivant un gradient d'anthropisation (milieux anciens ou récemment aménagés)**

**Thème 4 - Evaluation de l'efficacité des travaux de restauration sur les peuplements piscicoles**

**Thème 5 - Conséquences des invasions biologiques sur la dynamique des communautés de parasites acanthocéphales. Transfert de pathogènes acanthocéphales entre les espèces invasives et autochtones**



# Thème 1 : Evolution de la diversité piscicole de la Saône



**Utilisation des données de l'OFB entre 1976 et 2024**



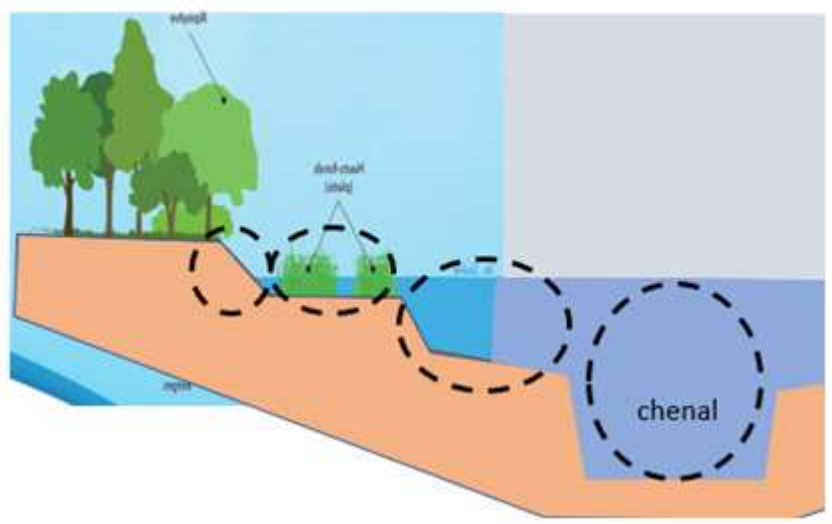
## Thème 1 : Evolution de la diversité piscicole de la Saône

Thème 2 : caractérisation de la diversité piscicole dans les différents compartiments du lit mineur et du lit majeur de l'écosystème Saône.

Méso habitat et micro-habitat



Typologie des milieux





**Thème 1 : Evolution de la diversité piscicole de la Saône**

**Thème 2 : caractérisation de la diversité piscicole dans les différents compartiments du lit mineur et du lit majeur de l'écosystème Saône.**

**Méso habitat et micro-habitat**

**Thème 3 : évaluation de la diversité piscicole suivant un gradient d'anthropisation (milieux anciens ou récemment aménagés)**

### 3 types de Milieux avec des niveaux d'anthropisation différents

Saône navigable

Canal de dérivation



Saône non navigable





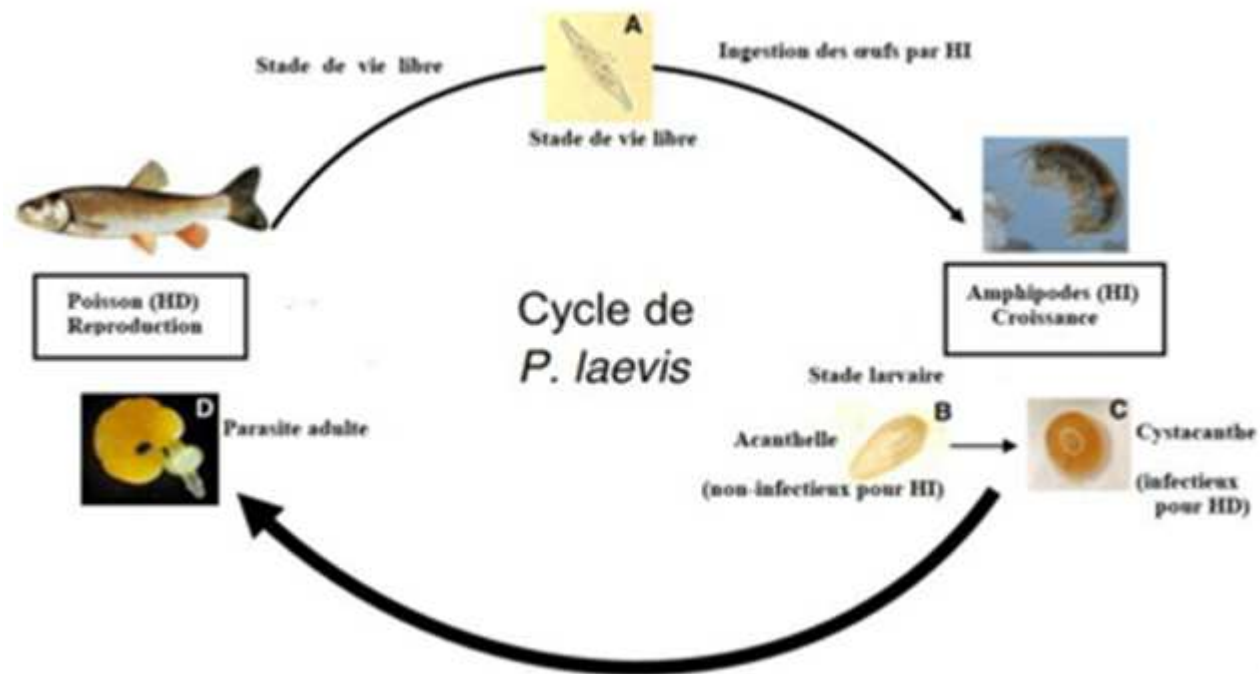
**Thème 1 : Evolution de la diversité piscicole de la Saône**

**Thème 2 : caractérisation de la diversité piscicole dans les différents compartiments du lit mineur et du lit majeur de l'écosystème Saône.  
Méso habitat et micro-habitat**

**Thème 3 : évaluation de la diversité piscicole suivant un gradient d'anthropisation  
(milieux anciens ou récemment aménagés)**

**Thème 4 - Conséquences des invasions biologiques sur la dynamique des communautés de parasites acanthocéphales. Transfert de pathogènes acanthocéphales entre les espèces invasives et autochtones**

Conséquences des invasions biologiques sur la dynamique des communautés de parasites acanthocéphales.  
Transfert de pathogènes acanthocéphales entre les espèces invasives et autochtones





## Méthodologie d'échantillonnage

Pêches électriques par point  
Inventaire des espèces de poissons  
Biométrie, taille et poids

Pêches électriques (en Mai Juin)

Inventaire en plongée  
Transect berge-chenal

**Espèces locales :** Chevaine (*Squalius cephalus*), Barbeau (*Barbus barbus*), Goujon (*Gobio gobio*), Gardon (*Rutilus rutilus*), Vairon (*Phoxinus phoxinus*), Loche (*Barbatula barbatula*), Ablette (*Alburnus alburnus*)

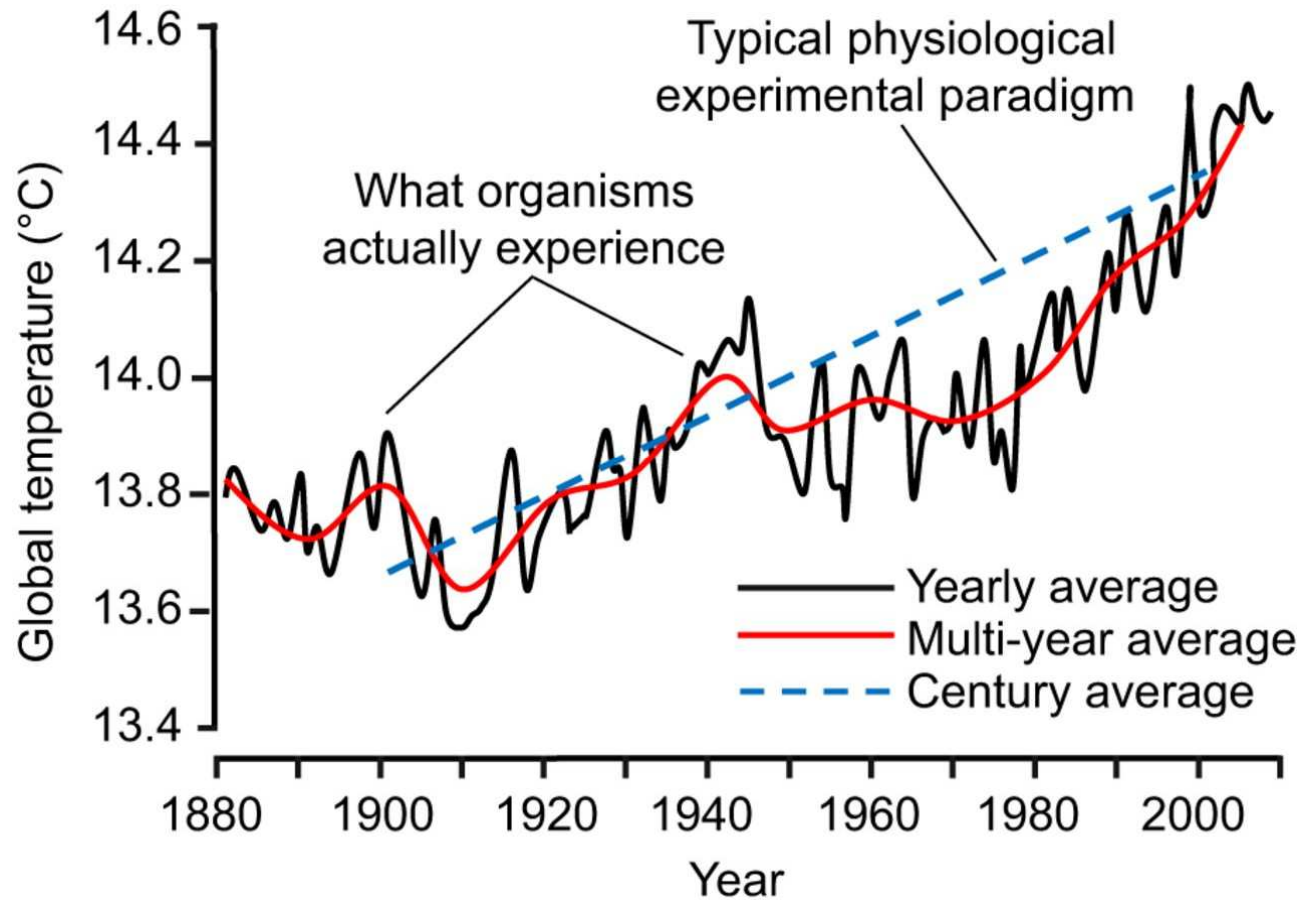
**Espèces invasives :** Poisson chat (*Ameiurus melas*), Perche soleil (*Lepomis gibbosus*), Pseudorasbora (*Sphaerothericum destruens*), Gobie à tache noire (*Neogobius melanostomus*)



# Axe 2 :

## Résistance au stress thermique

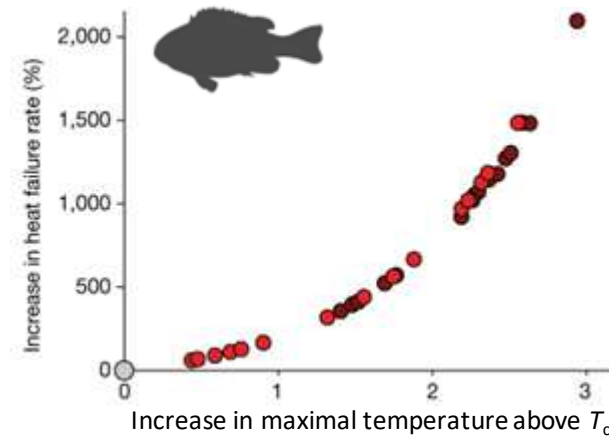




Burggren WW (2019) Inadequacy of typical physiological experimental protocols for investigating consequences of stochastic weather events emerging from global warming. *Amer J Physiol-Regul, Integ Comp Physiol* 316:R318–R322



« L'augmentation prévue des vagues de chaleur va aggraver de manière disproportionnée la mortalité des espèces **ectothermes**. »

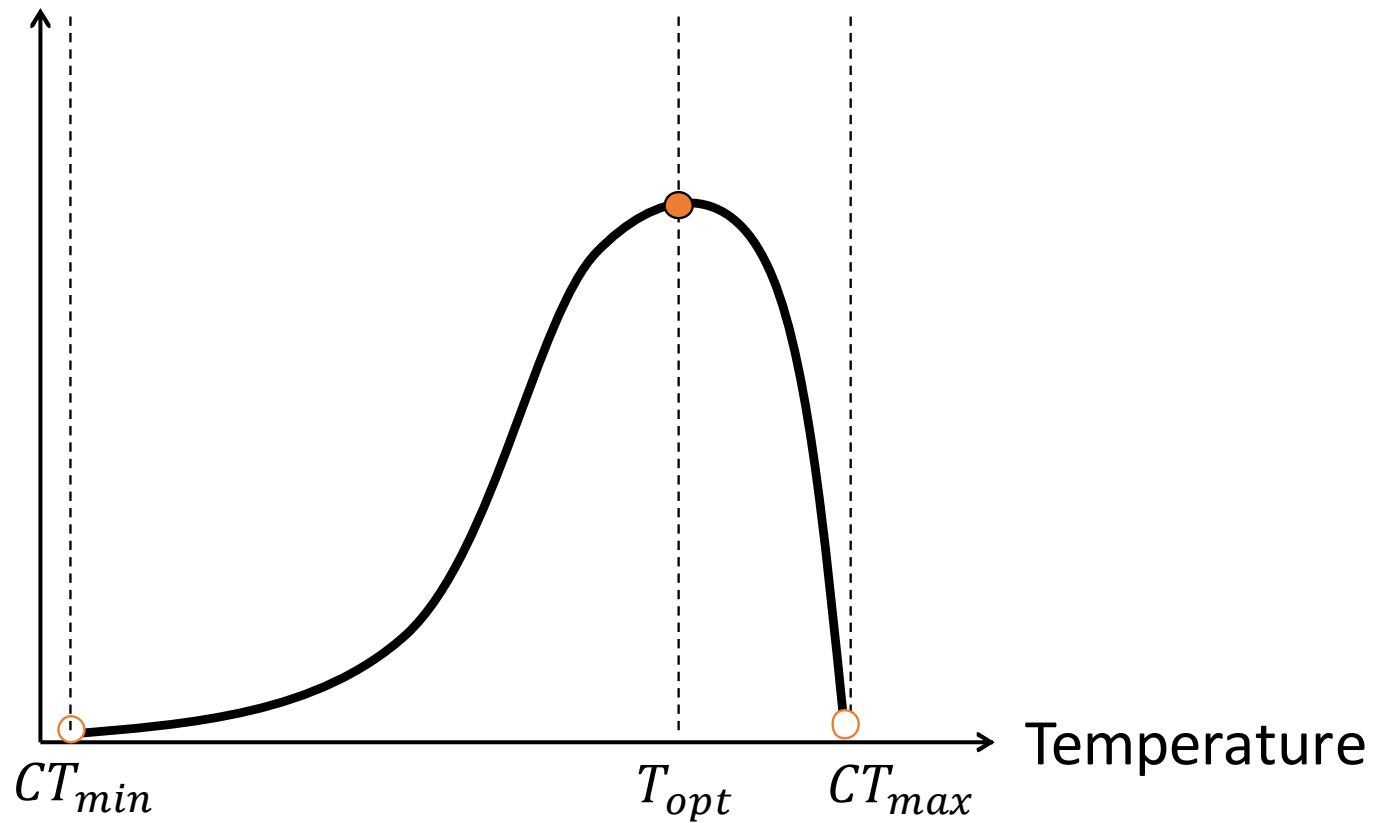


Jørgensen et al (2022) Extreme escalation of heat failure rates in ectotherms with global warming. *Nature* 611:93–98



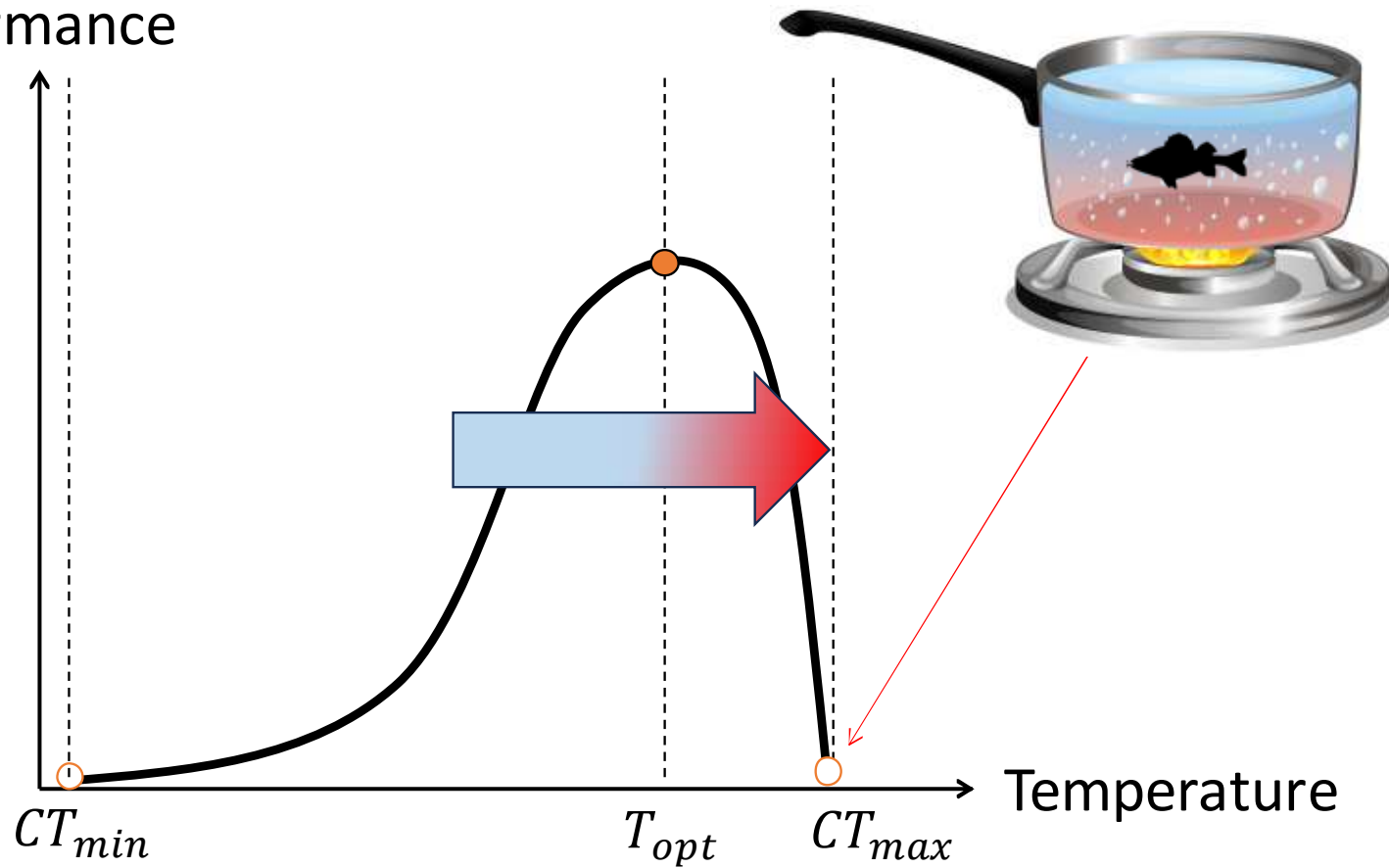
# Thermal performance curve (TPC)

Performance



# Thermal performance curve (TPC)

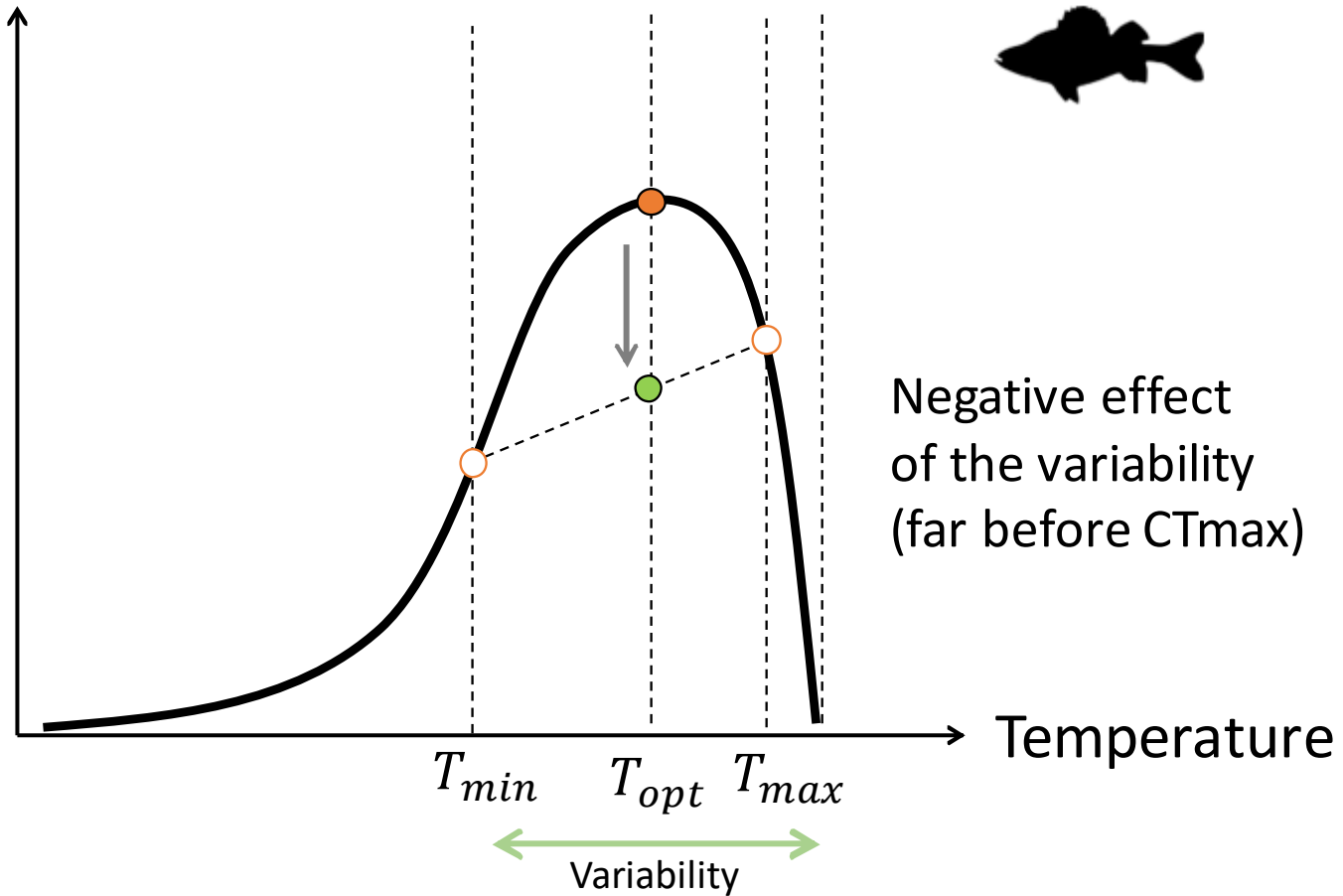
Performance





# Thermal performance curve (TPC)

Performance



# Phénotypage comportemental

## Préférences thermiques

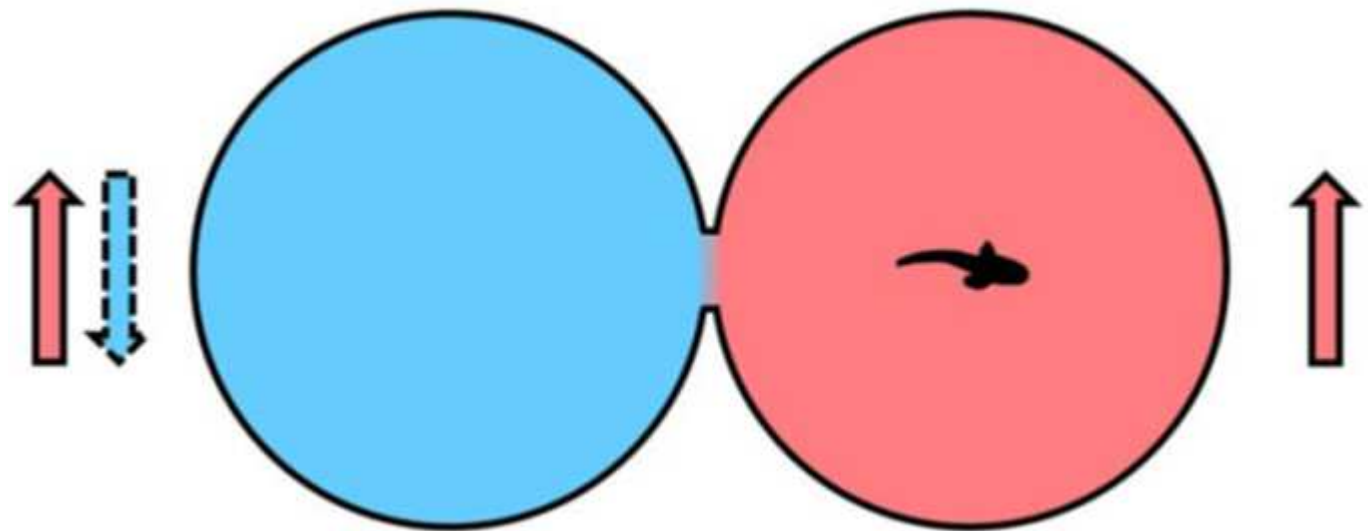
### (Shuttle box)



Anne Morales



Mae Fabra



Christensen et al. (2021) Shuttle-box systems for studying preferred environmental ranges by aquatic animals. *Conservation Physiology* 9:coab028

# Phénotypage comportemental

## Préférences thermiques

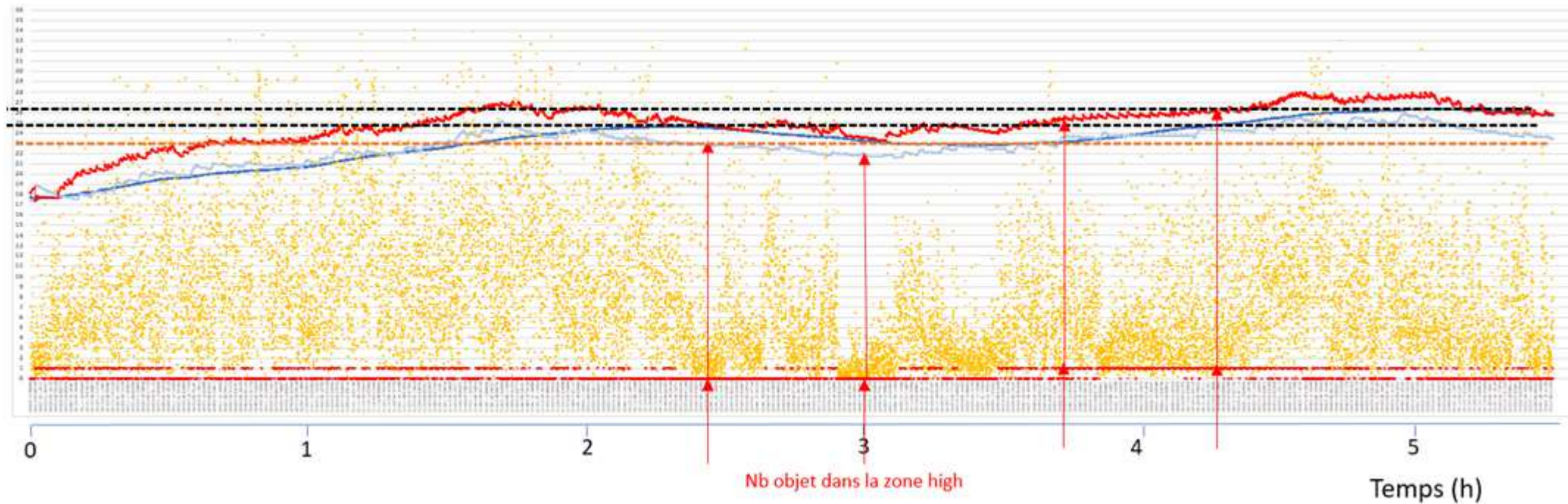
(Shuttle box)



Anne Morales



Mae Fabra





Apron



Gobie à tache noire

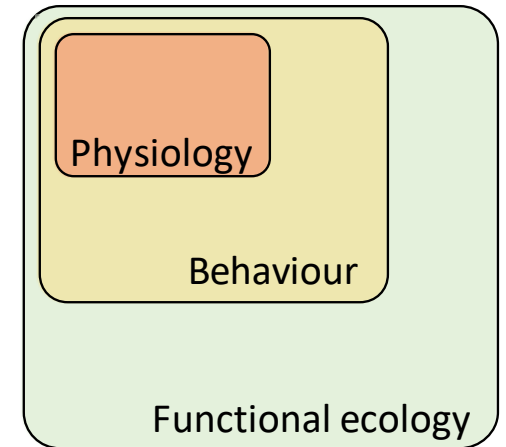
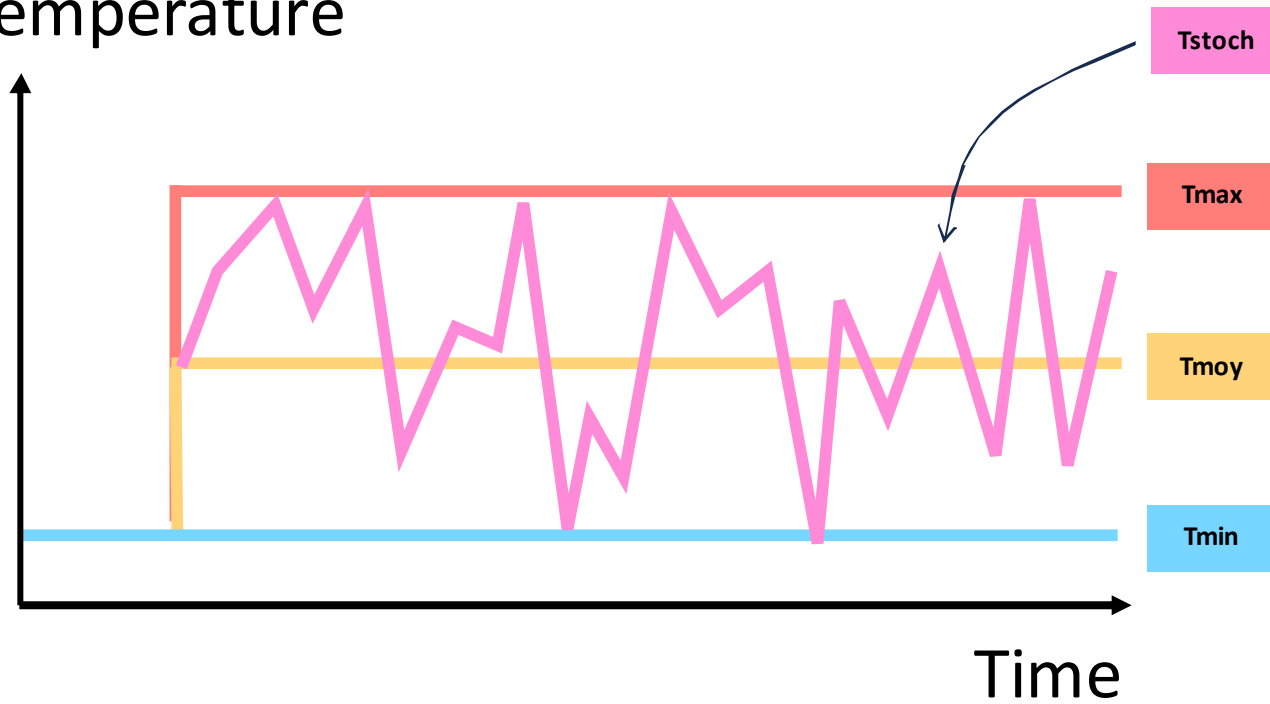


Spirlin

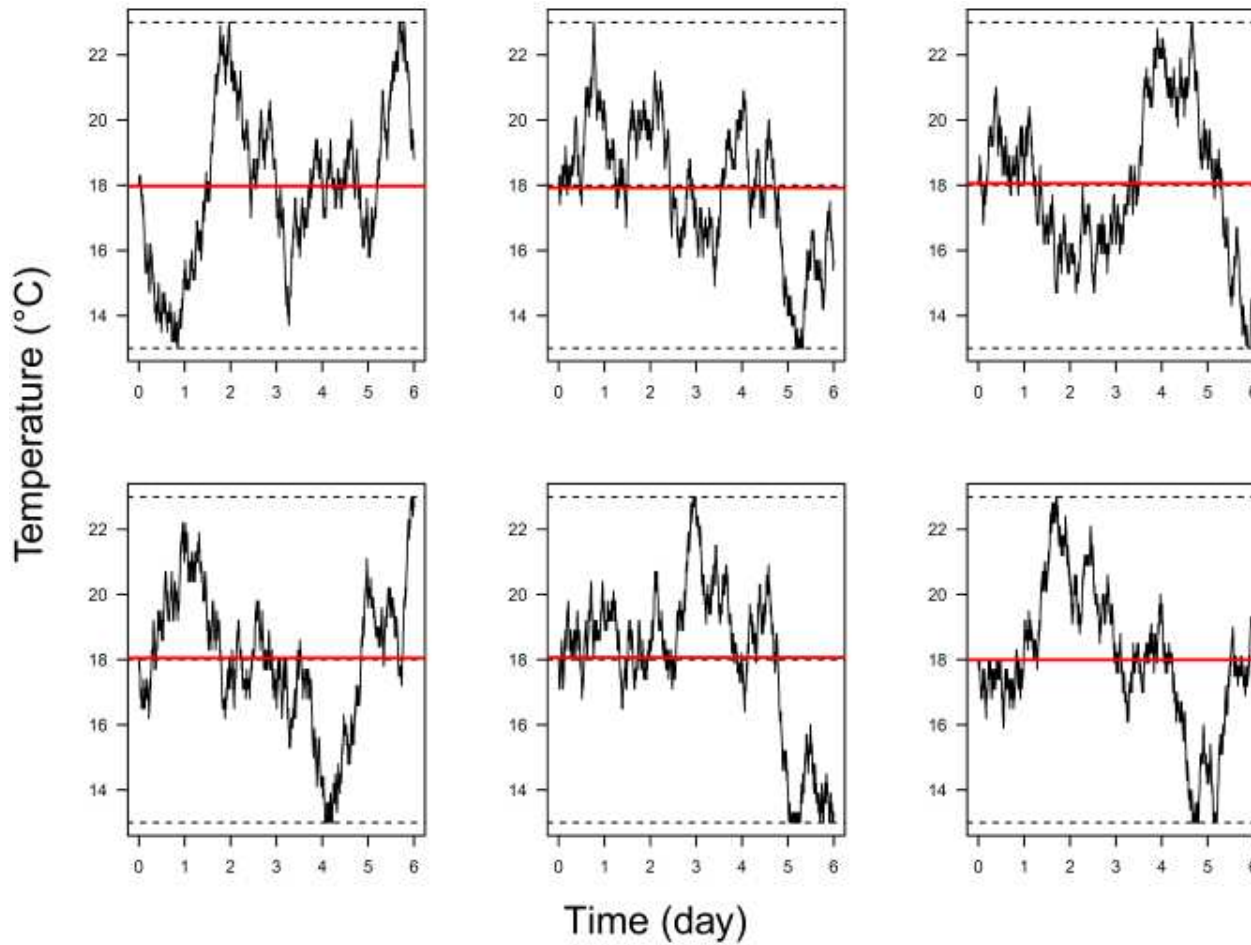


Chloé Souques  
Loïc Teulier  
Yann Voituron

# Temperature



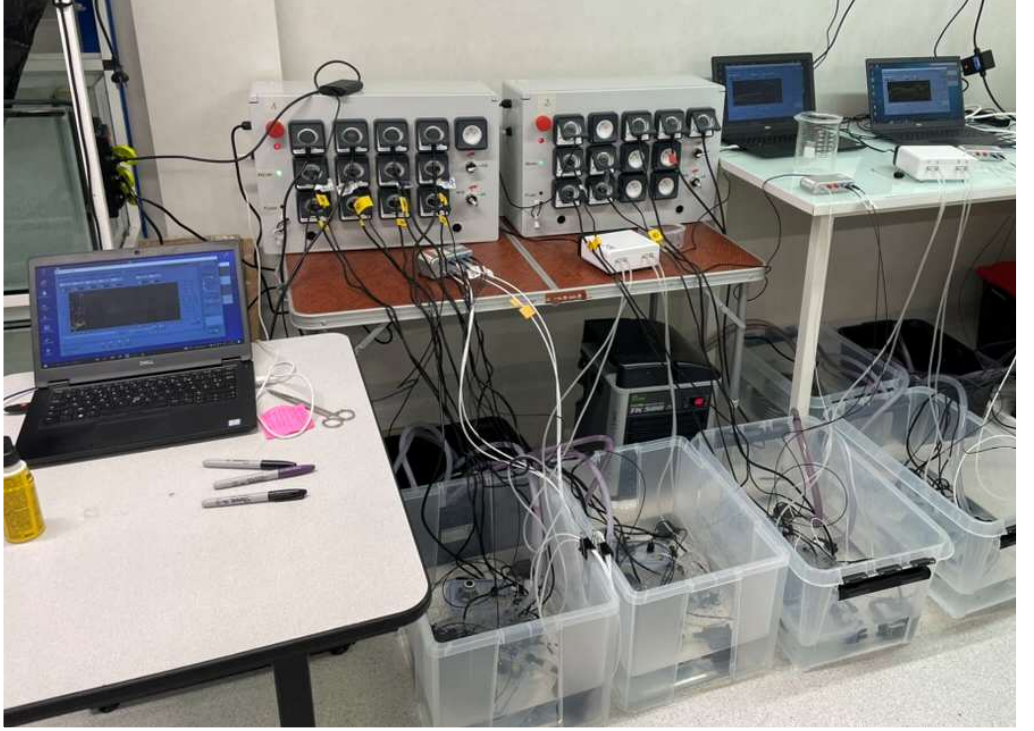
# Stochasticité thermique

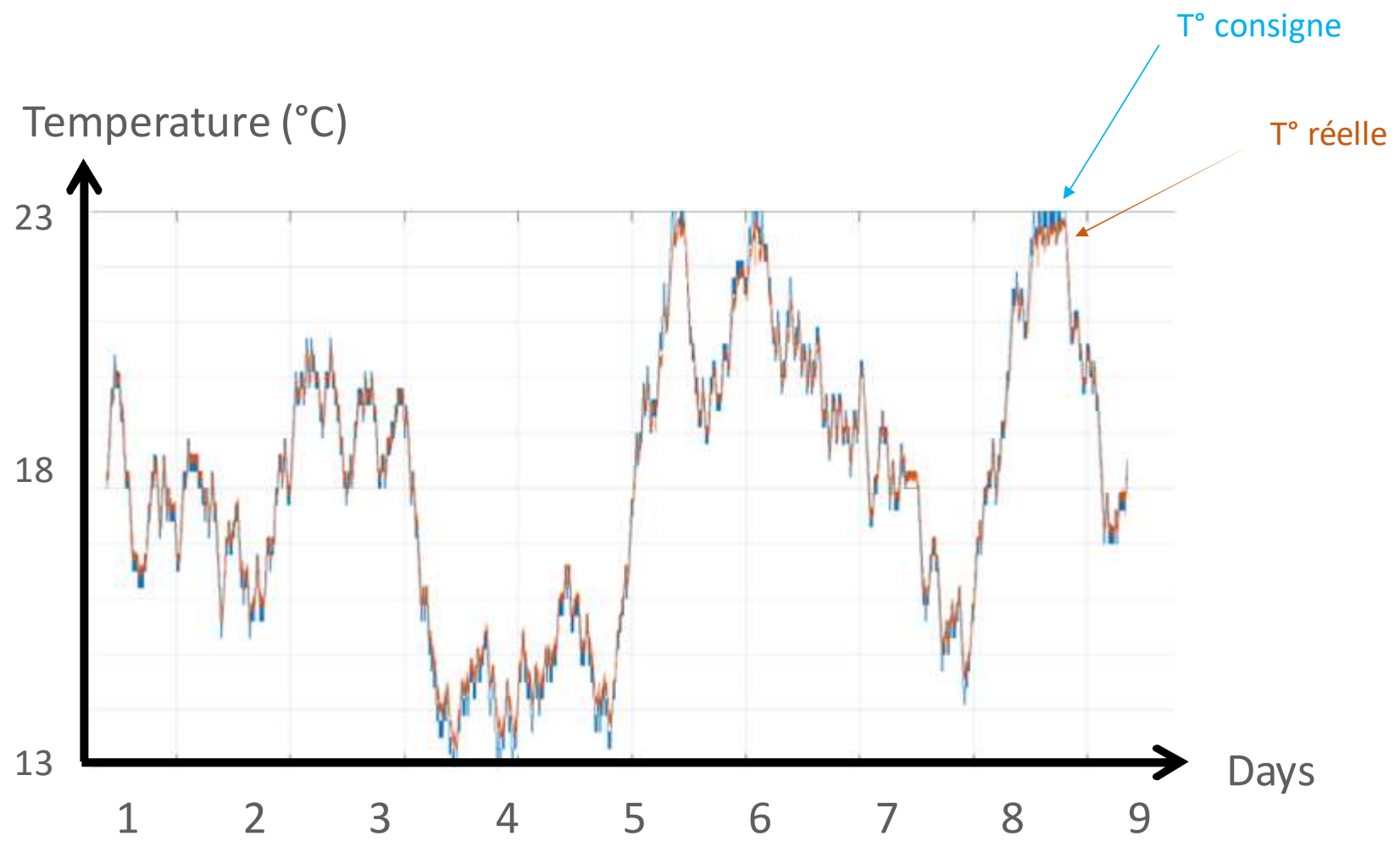


Constrained random walk  
(même moyenne et même  
variance)



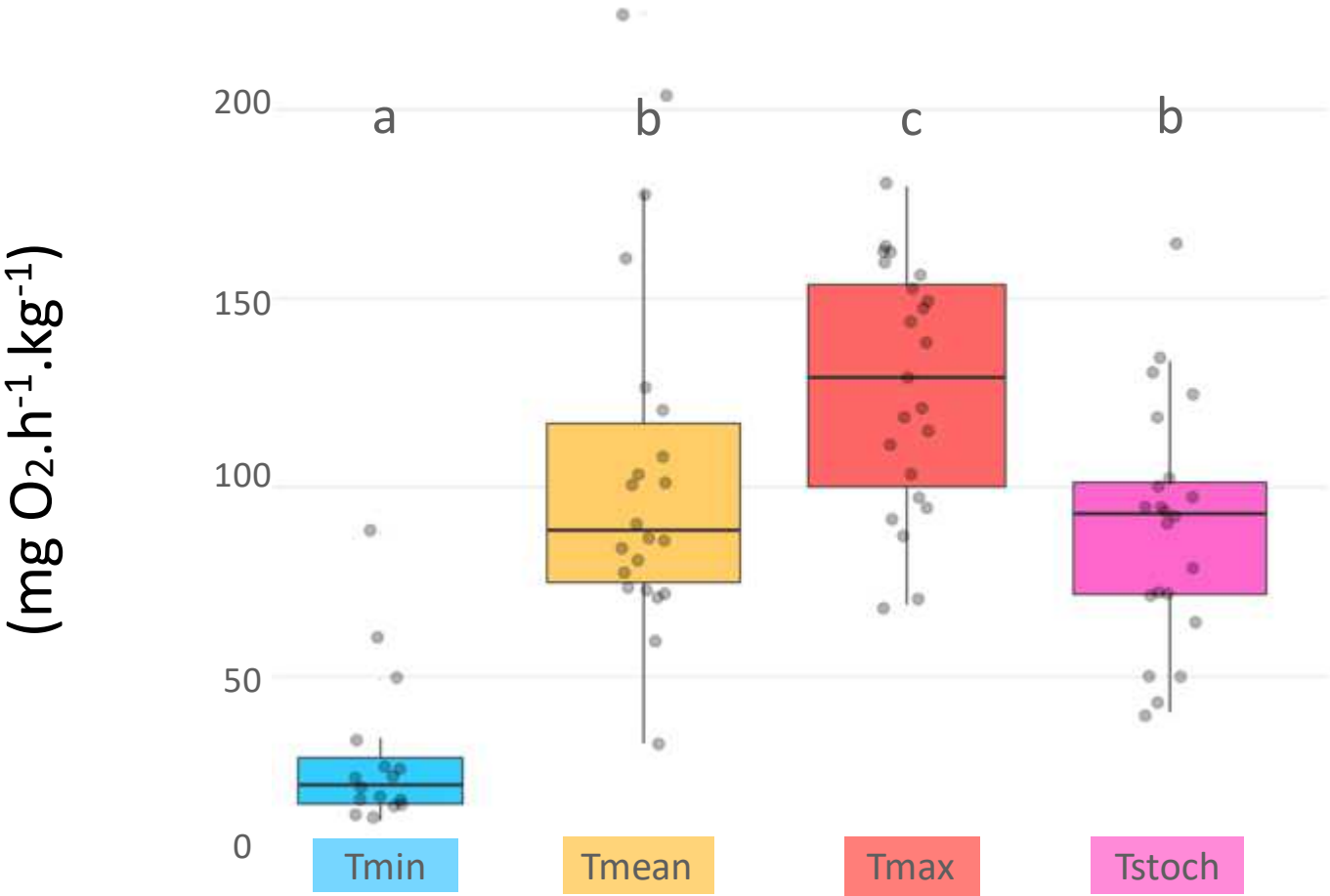
Ludovic Guillard







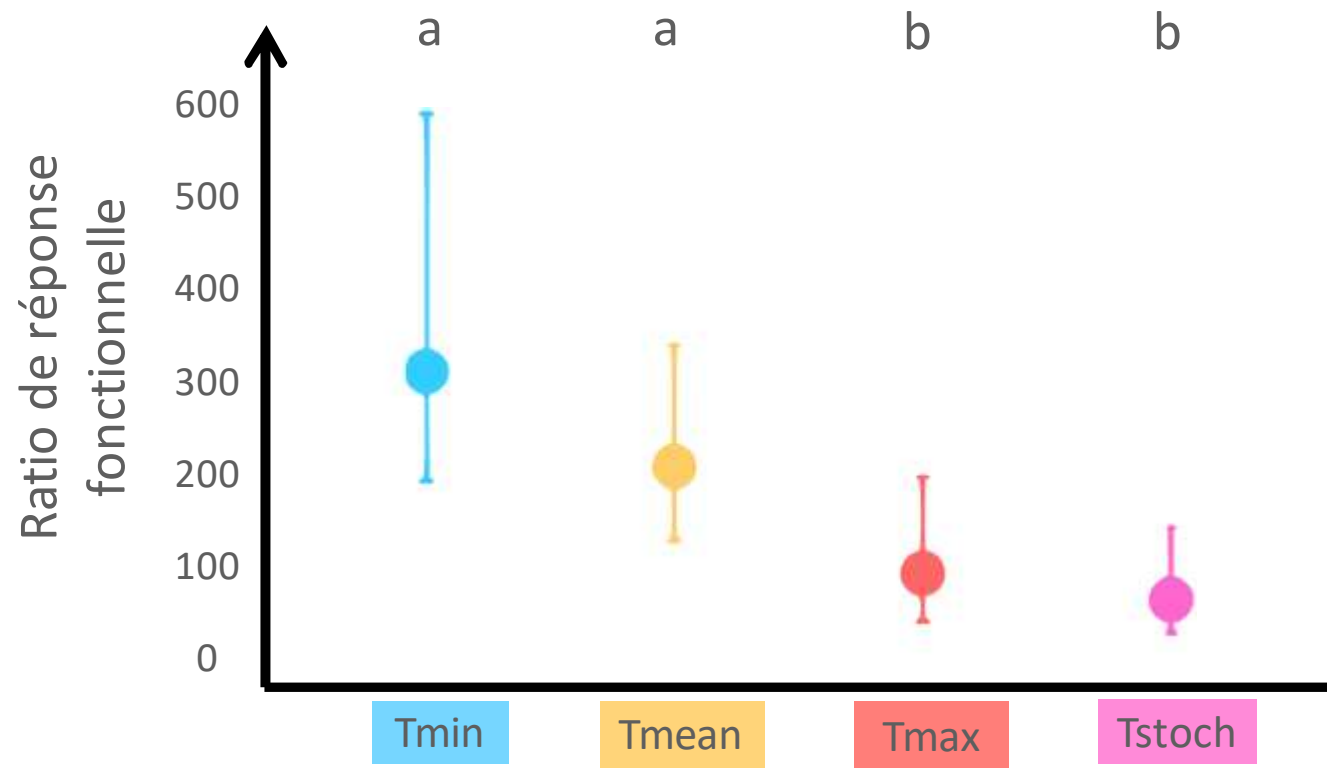
# Metabolic rate







# Trophic impact : functional response

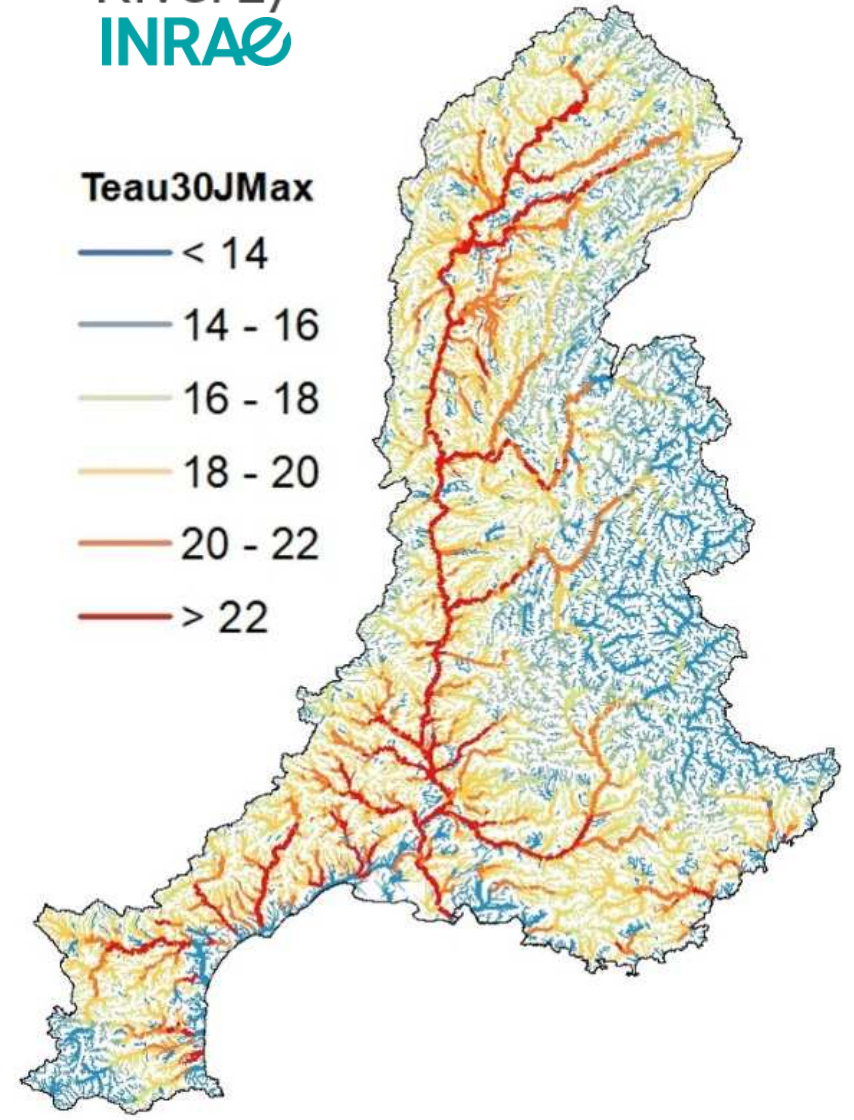




Quelles sont les parties de la Saône les plus menacées en termes de risque thermique pour les poissons ?

Florentina Moatar, INRAe Riverly

RiverLy  
INRAe



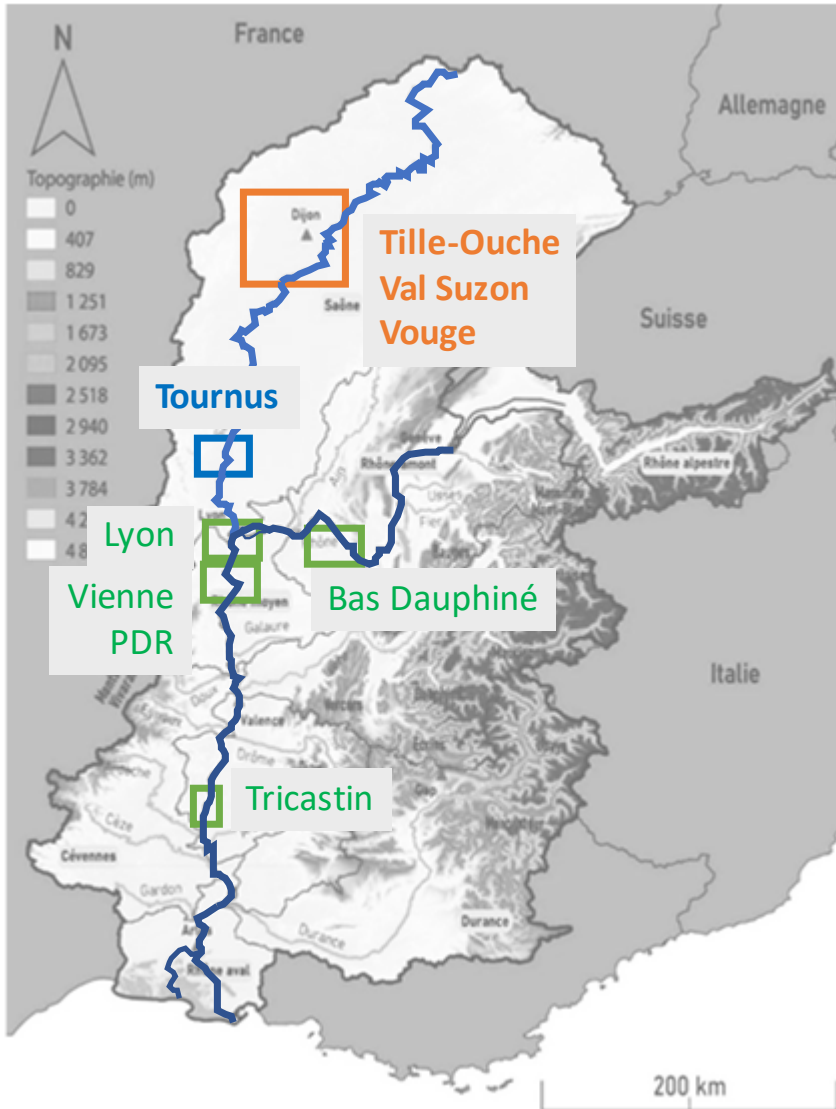
# Projet Collectif de Recherche – Trajectoires de l'Hydrosystème Saône-Rhône : Premiers résultats sur la Tille et la Grande Saône

A.-M. Dendievel, I. Jouffroy-Bapicot, D. Sordoillet, J.-F. Berger et collègues

Séminaire scientifique Saône  
9 avril 2024 | Dijon



# Introduction



## Projet Collectif de Recherche (PCR) Saône-Rhône

- Coordonné par JF Berger depuis 2022
- Fenêtres d'étude le long de l'axe Saône-Rhône
- Questions de recherche :
  - **Comment se sont organisés les cycles de peuplement des espaces fluviaux depuis le Néolithique ?**
    - variations hydroclimatiques, forçages anthropogéniques et effets combinés
  - **Comment restituer l'évolution des couplages versants/cours d'eau?**
    - occupation du sol, évolution et intensification des pratiques et techniques agraires, et de la structure paysagère
  - **Comment évaluer l'impact d'une anthropisation croissante depuis le Néolithique (7500 ans) sur les hydro-écosystèmes fluviaux ?**

# Introduction

## PCR Saône-Rhône

- Zoom sur les travaux initiés sur la Saône

- **Fenêtre Tille-Ouche – Finage dolois**

- 🏛️ Laboratoire Chrono-Environnement CNRS-UFC / INRAP

- ✓ Fenêtre Tille-Ouche – sociétés humaines environnement alluvial d'après les données bio et géo-archéologique

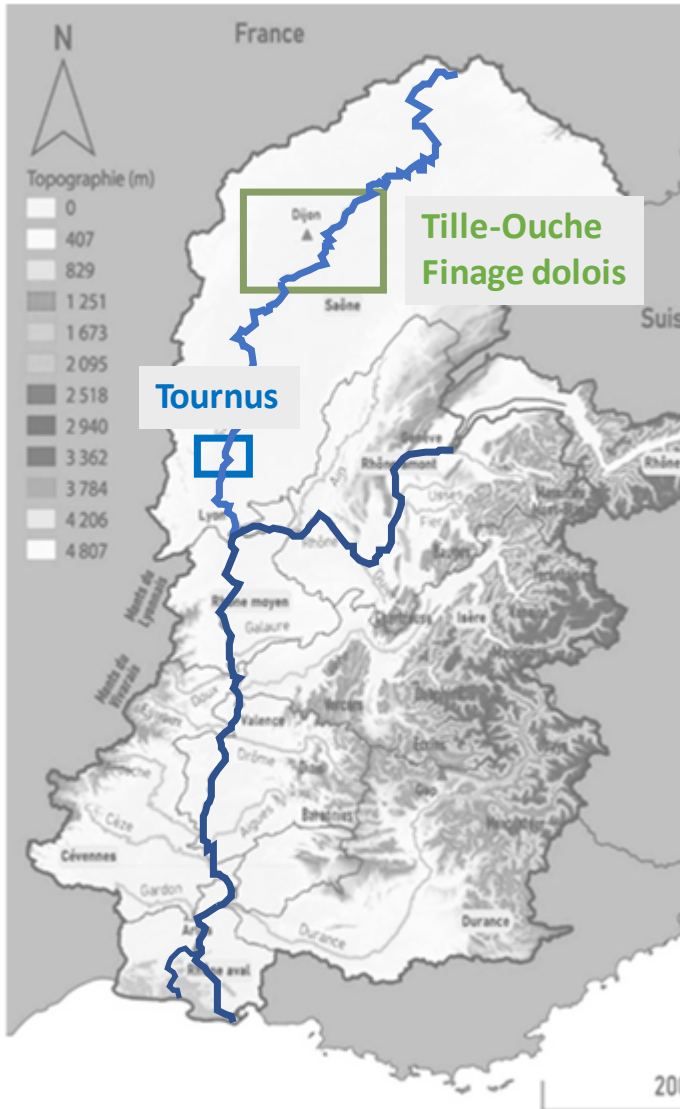
- ✓ Fenêtre finage dolois. PAS PalEnBre INRAP

- **Fenêtre Tournus**

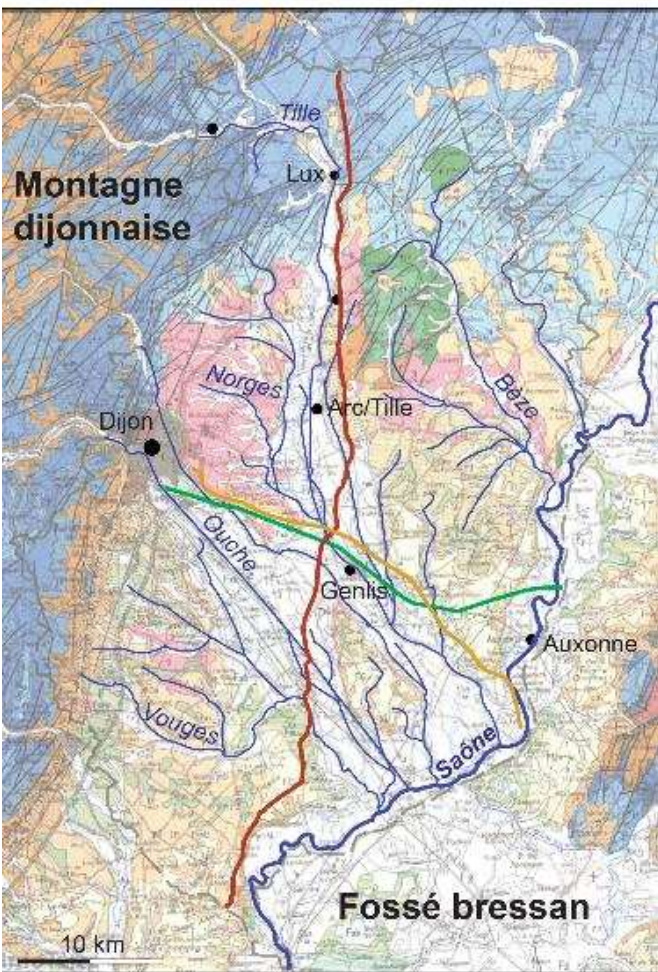
- 🏛️ Laboratoire LEHNA / ENTPE

- 🏛️ GRAT / ARPA / ASM – Paléotime

- ✓ Géophysique, carottage, datation et analyses des polluants dans les sédiments stockés dans les annexes fluviales de la Grande Saône



# Méthode et Résultats Fenêtre Tille / Ouche



© Sodoillet D. - inédit

## (UMR 6249 Chrono-environnement) – PCR Saône/Rhône

I. Jouffroy-Bapicot et D. Sordoillet (coord.) , O. Girardclos, M. Le Bailly, C. Schaal, E. Bustin... et collaborateurs dont différents opérateurs d'archéologie préventive

*Etudier sur le temps long les interrelations entre les sociétés humaines et leur environnement alluvial, Entre contraintes et attractivité*

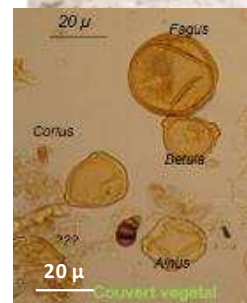
### Utiliser les données de l'archéologie préventive

Restituer l'histoire :

- ✓ du couvert végétal ;
- ✓ des pratiques agro-pastorales ;
- ✓ d'autres activités humaines ;
- ✓ réseau hydrographique...



Géomorphologie



Palynologie



Dendrologie  
Dendrochronologie



Carpologie

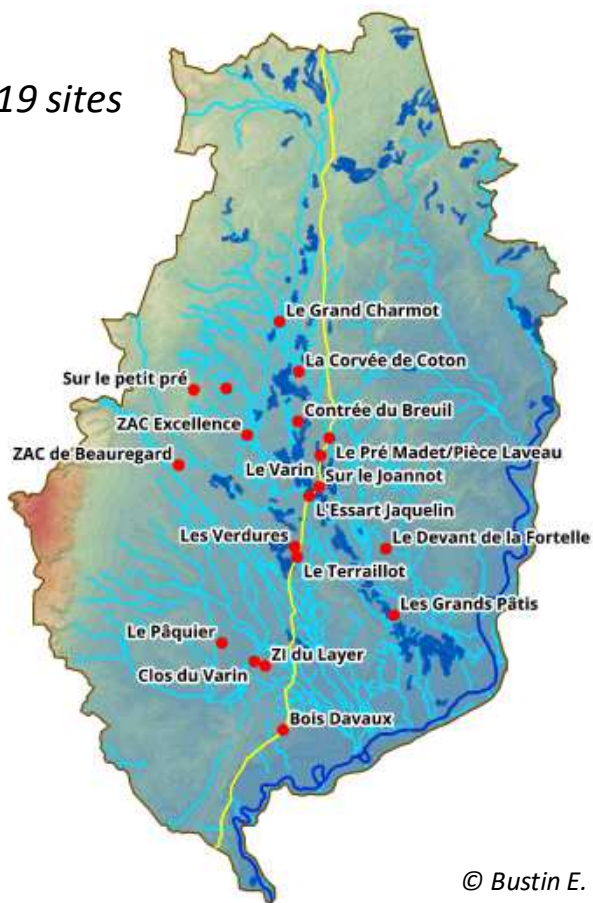
# Méthode et Résultats

## A l'échelle du bassin versant :

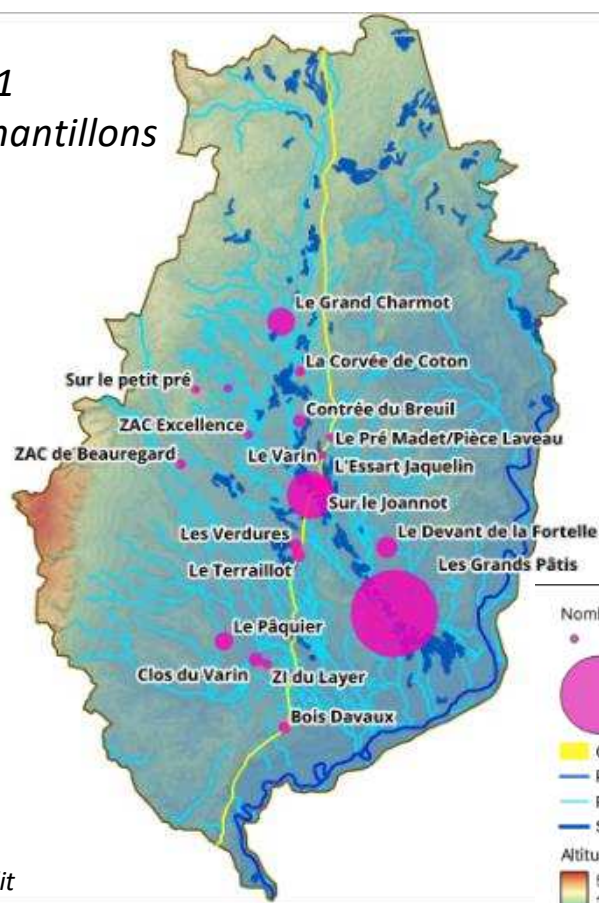
Evolution de l'environnement végétal et occupation humaine dans le bassin versant nord de la Saône au cours de l'Holocène

M2 Earine Bustin  
Master ASA Besançon UFC

19 sites

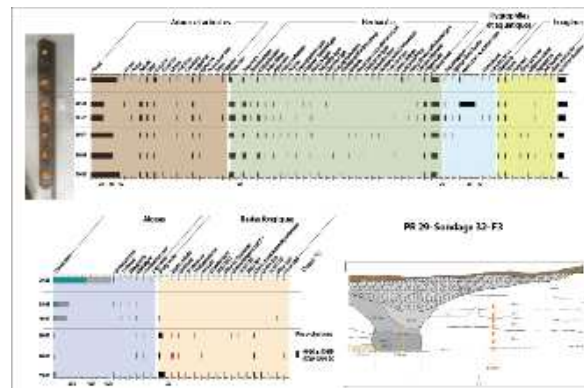
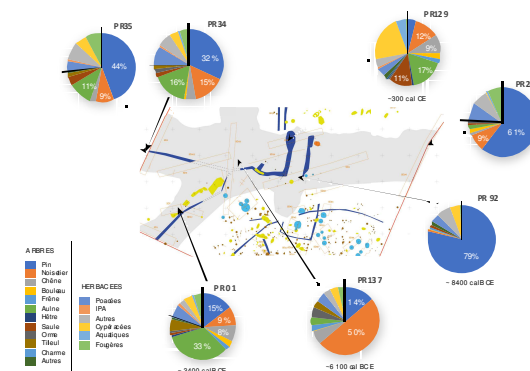


181 échantillons



© Bustin E. - inédit

## Données palynologiques



# Méthode et Résultats

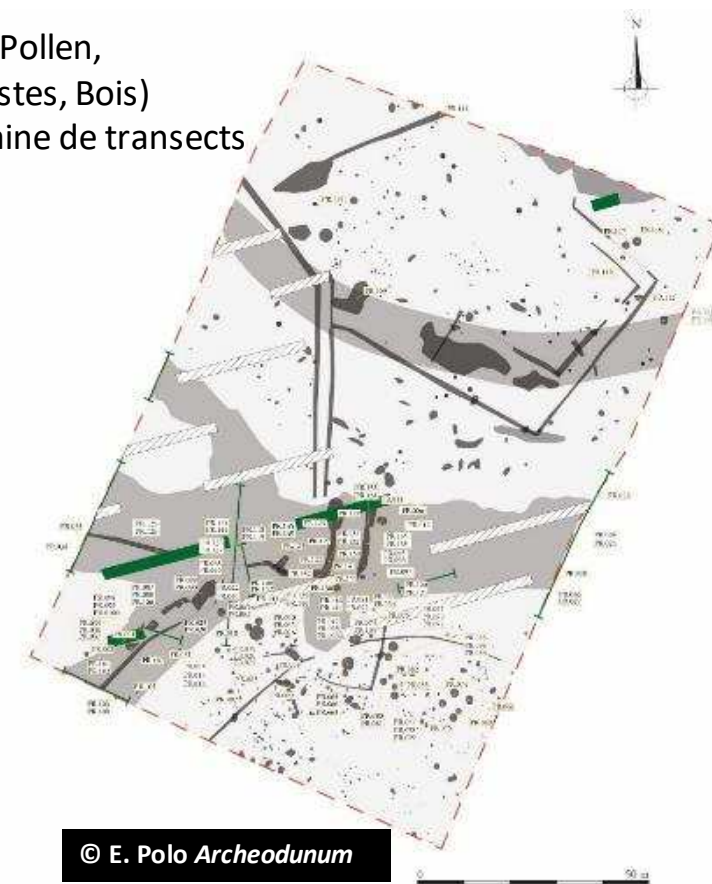
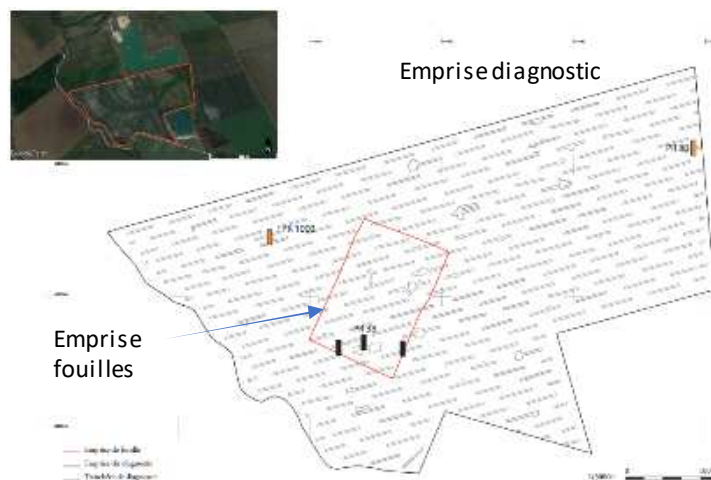
## A l'échelle d'un site/d'une fouille

### Exemple de Champdôtre *Les Grands Pâtis*

- Diagnostic (Guicheteau, INRAP 2017)
- Une fouille 2020 (E. Polo dir., Archeodunum 2023)

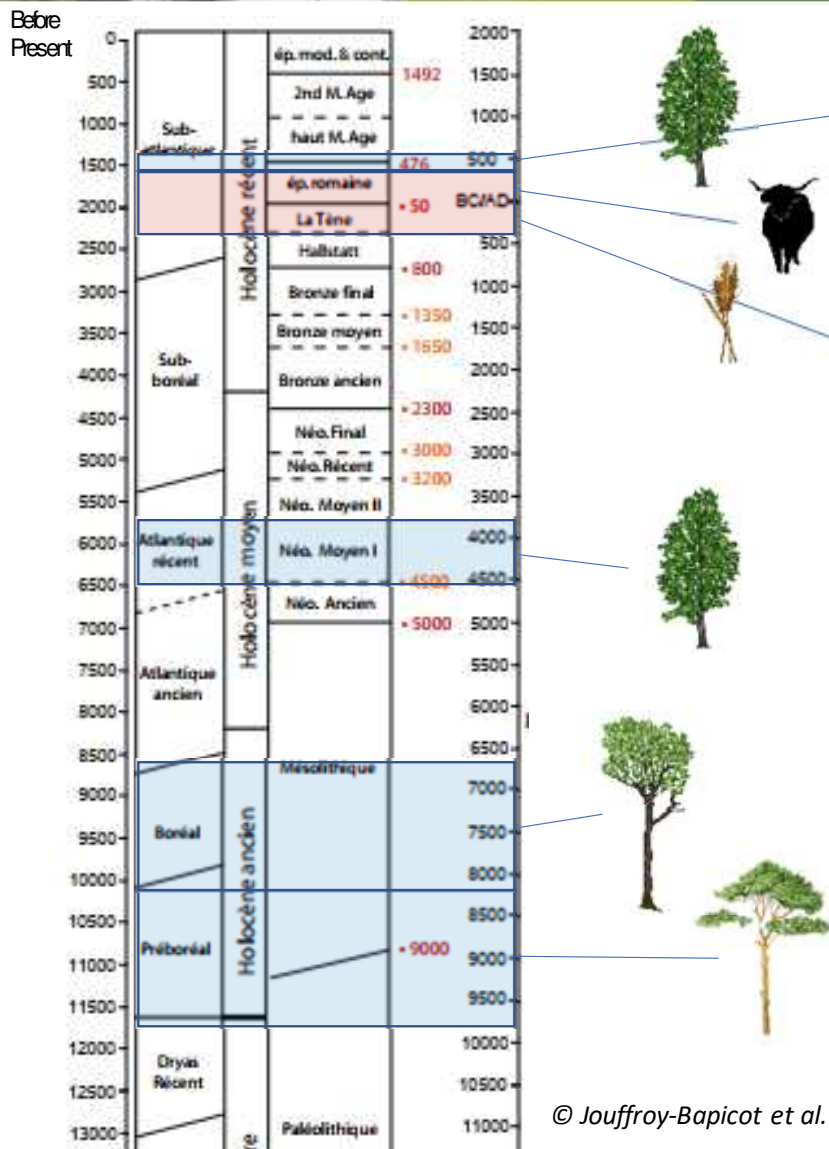


**132 PR** (Pollen,  
Carporesses, Bois)  
Une dizaine de transects





# Méthode et Résultats



**Fin de l'Antiquité** : Retour de la forêt (essences pionnières), aulnaie, disparition des indices polliniques d'anthropisation

**Antiquité I<sup>er</sup> – II<sup>e</sup> siècle ap.** : Faible représentation de la forêt (hormis noisetier), aulnaie bcp moins importante, indices agro-pastoraux

**La Tène-période augustéenne** : Forêt mésophile (chêne-hêtre-charme), forêt alluviale, aulnaie, indices agro-pastoraux

**Néolithique moyen** : Forêt mésophile, aulnaie, indices polliniques d'anthropisation

**Mésolithique** : Evolution vers la forêt de feuillus : Noisetier, chêne, tilleul, forêt alluviale orme et frêne, installation d'une aulnaie

**Paléolithique/Mésolithique** : Reconquête forestière pin, saule/bouleau, zone marécageuse assez ouverte localement, Troupeaux gde faune ?

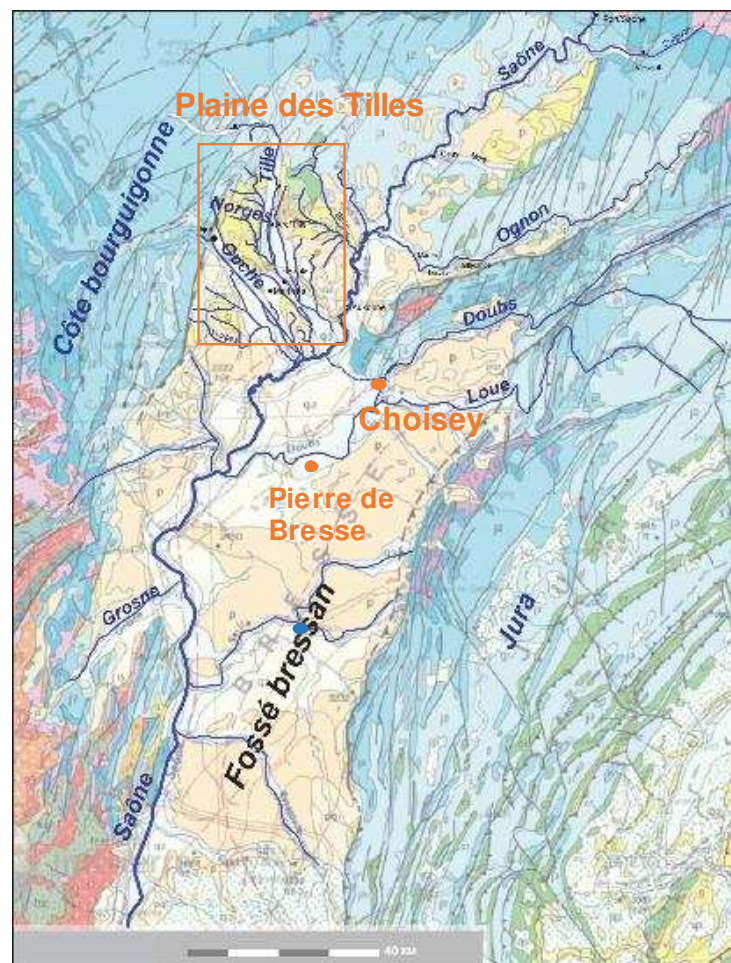
Jouffroy-Bapicot et al. in press *Publication des Journées Régionales de l'archéologie Bourgogne-Franche-Comté*, déc.2022

# Méthode et Résultats

## Fenêtre Finage Dolois (PAS PalEnBre / Inrap, SRA, UMR6249)

### PaléoEnvironnement et Occupation humaine dans le Fossé Bressan bourguignon et comtois (et ses marges)

- Inventorier et exploiter dans un SIG les données archéologiques et environnementales anciennes et récentes du fossé bressan (BFC)
- Comprendre l'évolution du paysage et du peuplement de cette région depuis la fin des temps glaciaires



- Nombreuses données, notamment d'archéologie préventive

*(A39, LGV, Gazoduc, carrières...)*

- Approche pluridisciplinaire archéologique et paléoenvironnementale

*Archéologues, Géoarchéologues, Bioarchéologues, Géomaticiens ...*

Vaste territoire => Zones ateliers

*Plaine des Tilles*

*Choisey*

*Pierre de Bresse*



# Méthode et Résultats

## Fenêtre Finage Dolois (PAS PalEnBre)

### 1 - DONNEES ADMINISTRATIVES

**Numéro de site**  
 Département  
 Commune  
 Coordonnées Lambert (X; Y; Z)  
 Nom du site/ lieu dit

### 2 - DONNEES ARCHEOLOGIQUES

**Numéro de site**

Chronologie	Type d'occupation	Datation
Paléolithique	Habitat	14C OSL
Mésolithique	Funéraire / lieu de culte	
Néolithique	Voirie	
Bronze	Artisanat / commerce	
Âge du fer	Exploitation agropastorale	
Antiquité	territoire exploité/fréquenté	
Moyen âge		
Moderne/Cont		

**Type de structure**  
 structure agricole (Grenier, silo)  
 Structure de combustion  
 structures en creux (fosse, fossé,...)  
 Objet isolé

### 3 - DONNEES PALEO-ENVIRONNEMENTALES

**Numéro de site**

#### Géo et pédo-archéologie

Géosystèmes (Plateau, versant, plaine...)  
 Données litho - et pédostratigraphie

*> Indications géo- et pédologique de milieu*

Argile organique / "tourbe" ; Paléochenal ; Oncolithes ;  
 Zones humides (mare, étang) ; Profondeur de nappe ;  
 Fentes de dessiccation fossiles ; Fentes de gel ; Précipitations secondaires (CaCO3, FeMn) ; Paléosol ; Alluvions grossières / alluvions fines ; Colluvion / érosion

#### Bioarchéologie

(palyno, carpo, archéozoo...)

*> Indications bioarchéologiques de milieu*

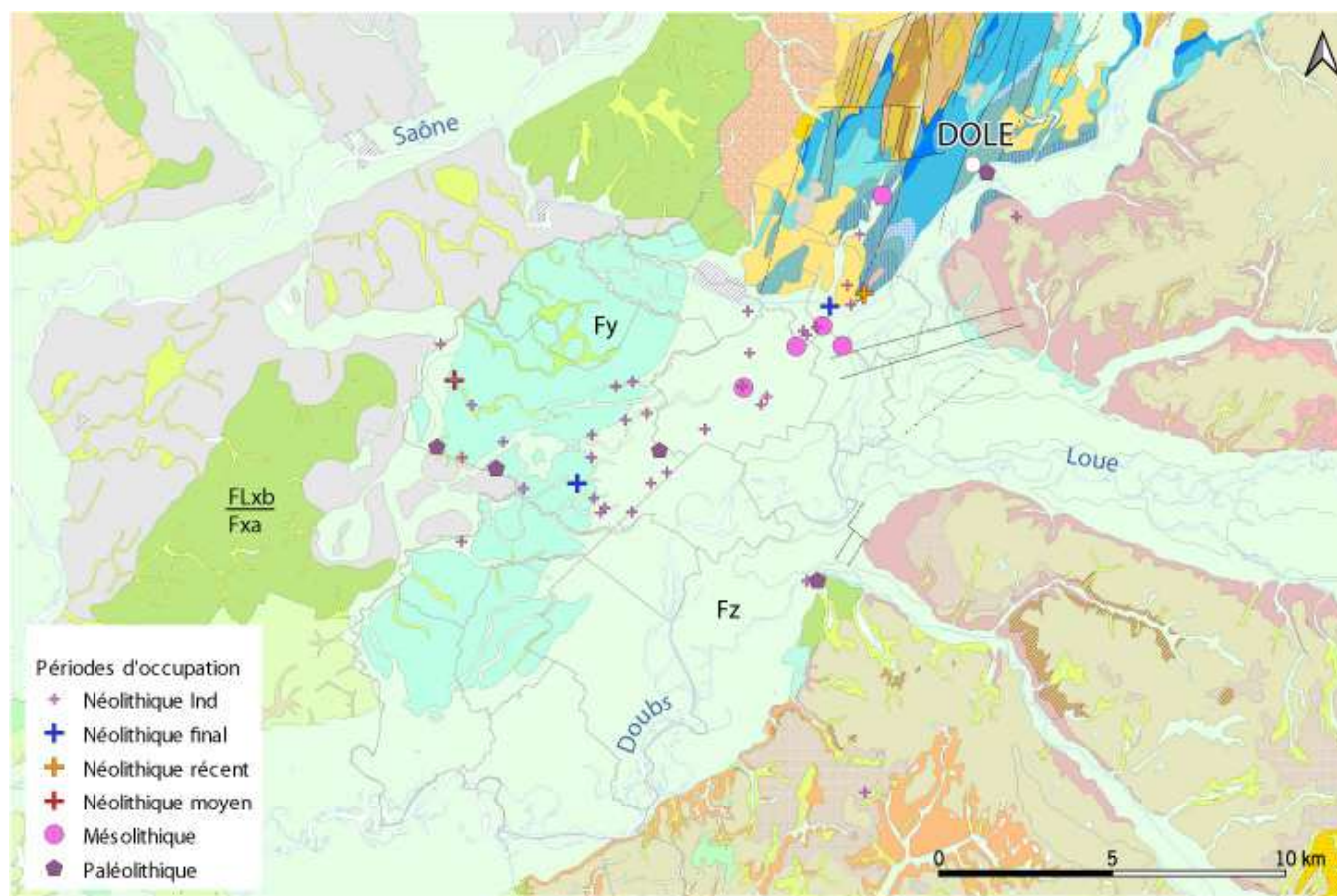
(Paysage fermé, Milieu humide, anthropisé...)

#### Chronologie

Dryas ancien 15 000 - 13000 BP  
 Bölling 13000 à 12 000 BP  
 ...  
 Subboréal 4 700 à 2 700 BP  
 Subatlantique 2 700 à 0 BP

# Méthode et Résultats

## Fenêtre Finage Dolois (PAS Palenbre)



V. Lamy et al. (carte géologique harmonisée – BRGM)

A propos de la transition  
Mésolithique / Néolithique

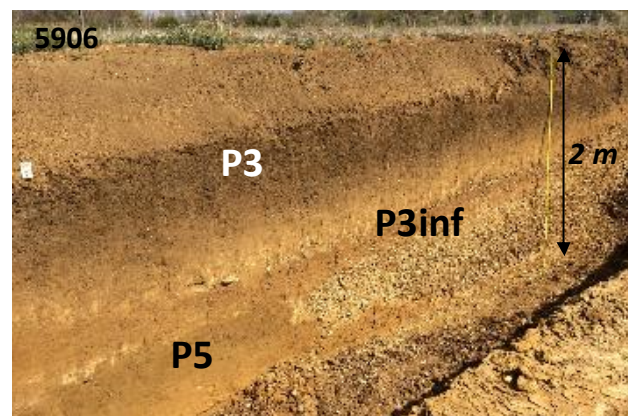
- Nombreux indices d'occupation mésolithique entre 9000 et 5000 BC
- Pas de Néolithique ancien ? (5500-4700 Cal BC)
- Cause anthropique ou environnementale ?

Nombreuses données autour de Choisey (étude archéologique et paléoenvironnementale en cours)

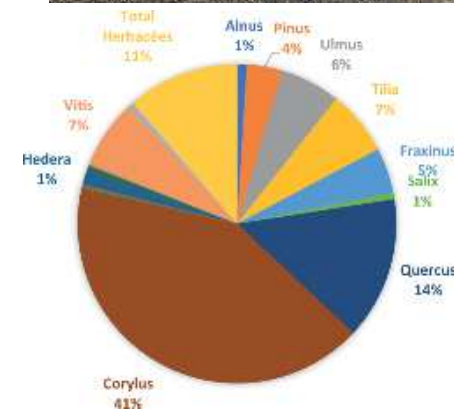
# Méthode et Résultats

## Fenêtre Finage Dolois (PAS PalEnBre)

Occupations du Mésolithique à l'Antiquité  
Paléosols, paléochenaux, puits...



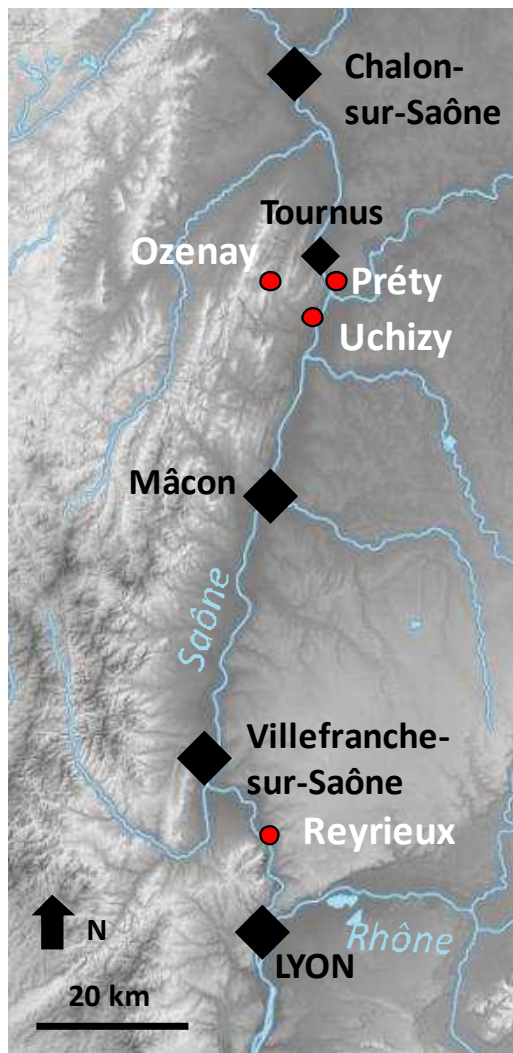
Paléochenal début  
Holocène 10107-9655 BC



Palynologie

forêt de feuillus -  
début de  
l'optimum  
climatique

# Méthode et Résultats Fenêtre Tournugeoise



# Méthode et Résultats Fenêtre Tournugeoise

## Zoom sur la lône d'Uchizy (71)

### 1. Analyse rétrospective géohistorique – cartes anciennes



Carte de Cassini (vers 1780-1790; Gallica)



Carte générale de la Saône en 1838 (Gallica)



Carte du Rhône et de la Saône en 1857 (Archives VNF)



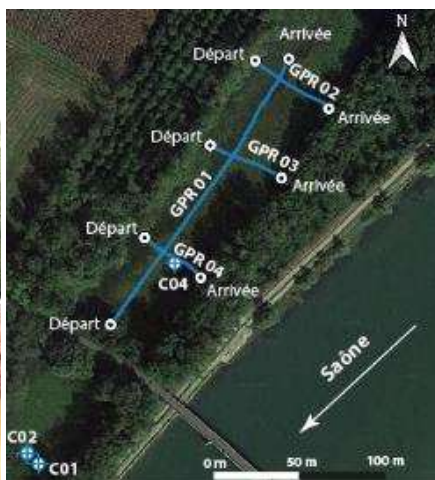
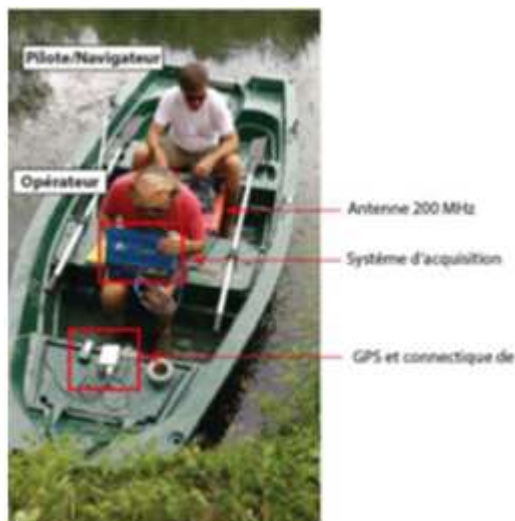
Carte de la Saône de Tournus à Lyon en 1885 (Gallica)

- fin XVIIIe s. – début XIXe s. : deux bras séparés par l' « Ile de Farges ou d'Uchizy »
- En 1846 : dragages et « digue basse » en clayonnage réalisées en amont, et des « perrés de défense »
- Vers 1865 : un pont fixe est construit ce qui sépare la lône en deux et accélère la sédimentation en aval
- En 1944 : le pont est détruit par les Allemands, reconstruit en 1950-51
- En 2007-2011 : la lône est en partie restaurée et la digue abaissée

# Méthode et Résultats

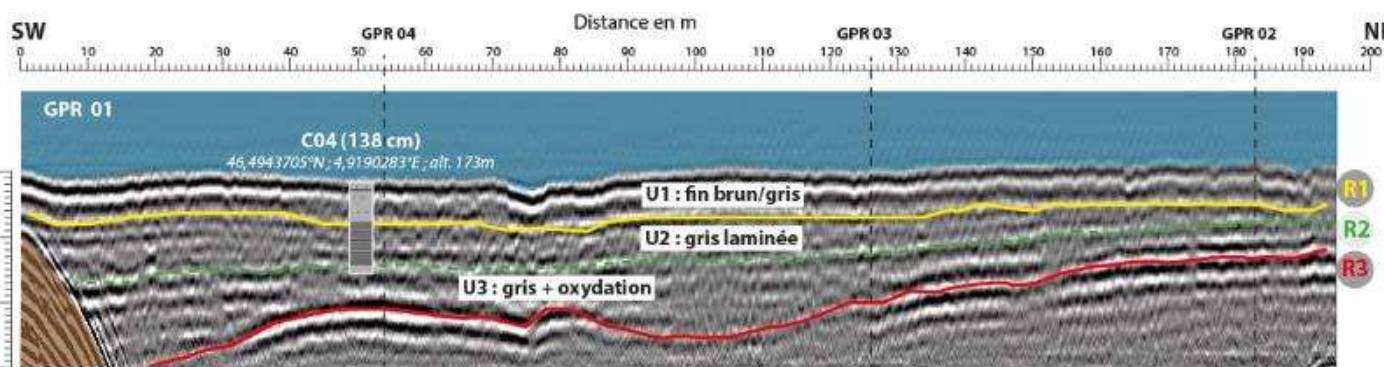
## Zoom sur la lône d'Uchizy (71)

### 2. Prospections géophysiques et carottages



## Fenêtre Tournugeoise

- Géoradar aquatique (WGPR)
- La pénétration des ondes radar = 3 m
- Quatre profils acquis dans la lône amont d'Uchizy sous 1 m d'eau
- Trois réflecteurs sont bien identifiés :
  - R1 – assez plat vers 0,6 m de prof.
- L'environnement de dépôt est homogène et représentatif
- Plusieurs carottes ont été extraites dont C04 (138 cm) qui sera étudiée en détails



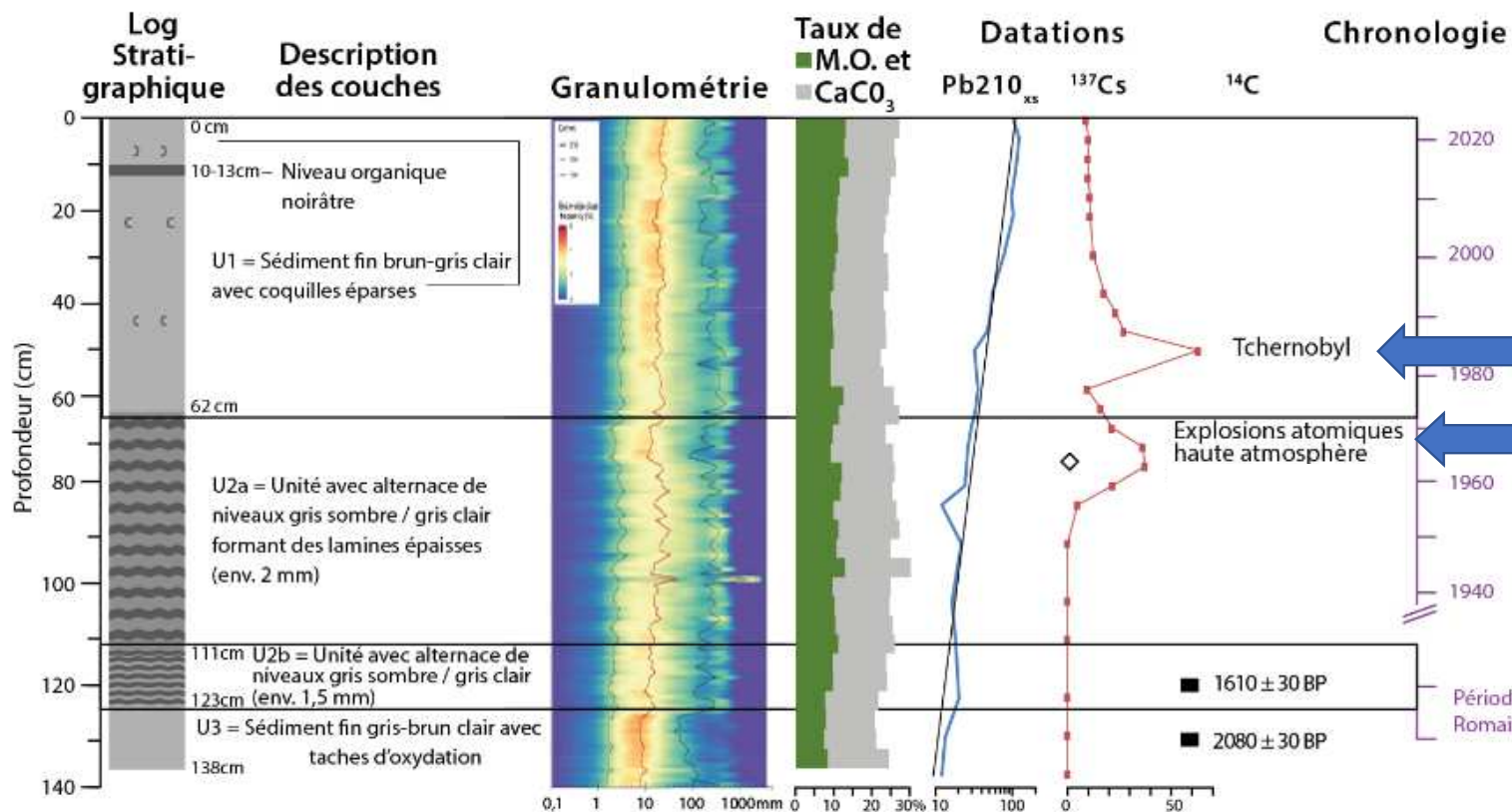


# Méthode et Résultats

## Fenêtre Tournugeoise

### Zoom sur la lône d'Uchizy (71)

### 3. Analyses de carotte en laboratoire : 3.1 Chronologie



Tchernobyl = 1986

Essais Nucléaires en haute atmosphère (dont Américium)

Séquence romaine !

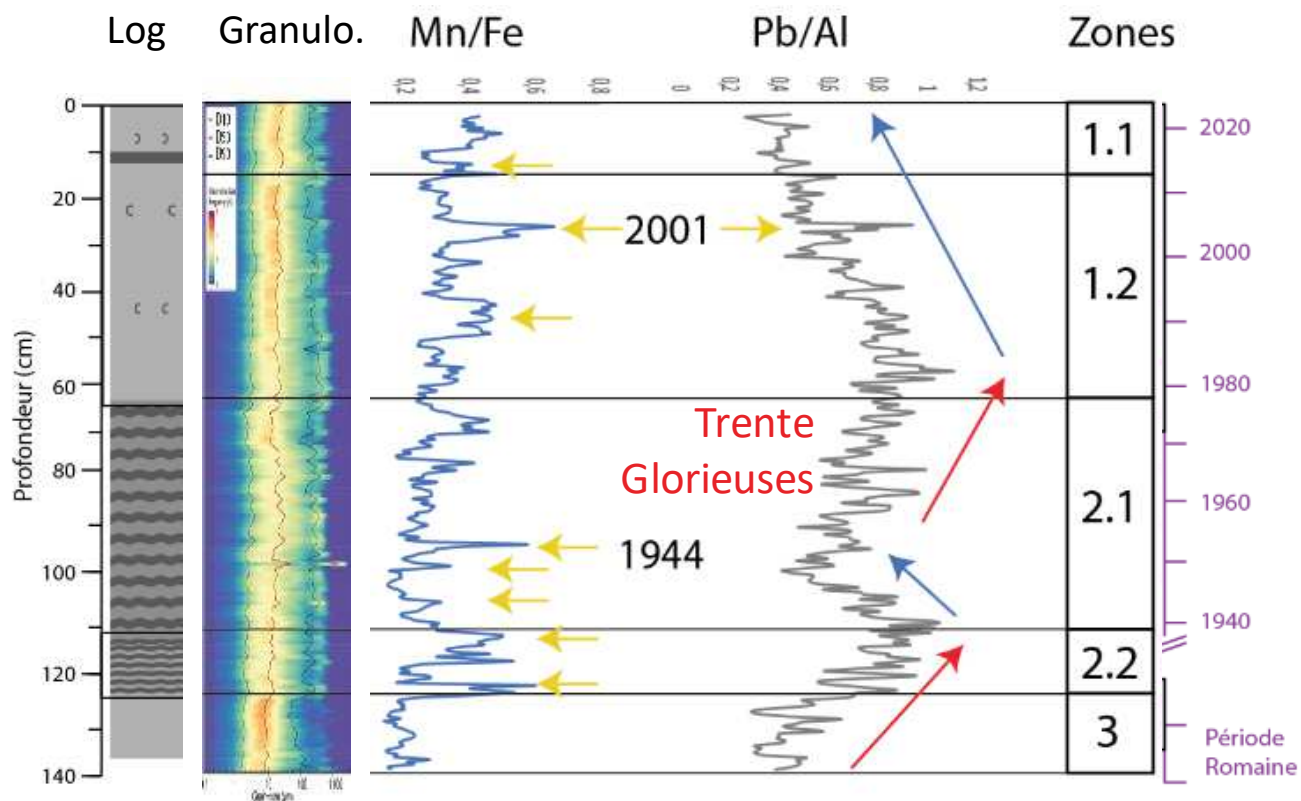
# Méthode et Résultats

## Zoom sur la lône d'Uchizy (71)

# Fenêtre Tournugeoise

### 3. Analyses de carotte en laboratoire

### 3.2 Pollutions et tendances



*Autres analyses en cours et à venir :  
microplastiques – dosage des éléments  
trace métalliques par ICP-MS -  
palynologie*



# Conclusions et Perspectives

## **AAP AE RMC – ZABR 2025 : Projet « Rétro-Saône/Rhône - VR »**

« Analyse rétrospective du régime de crue et des impacts hydroclimatiques du passé sur les corridors fluviaux de la Saône et du Rhône moyen : recherche d’analogues au réchauffement climatique actuel »

### Equipes «ZABR» :

- UMR CNRS 5600 EVS (J.F. Berger)
- UMR CNRS 7263 IMBE (E. Gandouin)
- UMR CNRS 5023 LEHNA-ENTPE (A.M. Dendievel)
- UR 1469 INRAE-équipe Riverly (A.Dabrin)

### Equipes externes :

- UMR CNRS 6249 Chrono-environnement (I. Jouffroy-Bapicot)
- UMR CNRS 6042 Geolab (A.Beauger)

## **Thème de rattachement ZABR: Changement Climatique et Ressources**


1-« Comment les séries de données de différentes profondeurs temporelles permettent-elles de comprendre et anticiper les réponses des hydrosystèmes au changement climatique ?

2- « Quels sont les impacts du changement global sur les ressources, sur le fonctionnement et les capacités de résilience des écosystèmes aquatiques ? »

## **Thème de rattachement Agence de l’Eau : Risques environnementaux et vulnérabilité des milieux**



**Séminaire scientifique Saône**  
**9 avril 2024 | Dijon**



# Une campagne de recherche interdisciplinaire en bateau le long de la Saône et du Rhône

Amandine Reist (M2 ENS de Paris - EHESS)  
& Valentin Brochet (ENS de Paris - M2 MNHN)



# L'association **juste** 2





## L'ITINÉRAIRE



**4 mois de navigation**



# Le bateau



Un bateau réaménagé en **laboratoire** et en **lieu de vie** pour faire de la **recherche scientifique**



# Une équipe de recherche interdisciplinaire



**Apoline Zahorka**

Comportement des  
dépôts plastiques



**Jean-Loup Baudouin**

Géographie des îles  
fluviales

# Une anthropologie des pratiques naturalistes

***Comment les pratiques naturalistes contribuent à façonner les conceptions d'une nature souhaitée ?***

Anthropologie de l'environnement - philosophie de terrain

**Un travail auprès des praticien.nes de la nature :**  
écologues, naturalistes (amateurs ou professionnels, chasseurs, pêcheurs, particuliers...)

Étudier leurs pratiques et leurs savoirs dans un contexte de transformation et de perte de connexion à la nature.



# Une ethnographie de la restauration écologique

## *Comment répare-t-on les milieux naturels de la Saône ?*

Sociologie des sciences et des techniques ;  
sociologie des institutions

### **Cinq sites restaurés entre 2016 et 2023**

- La lône du Breuil (VNF)
- Le Pâquier des Bordes (EPTB)
- L'île de Montmerle (EPTB)
- La zone humide de Trévoux (EPTB)
- Le plan d'eau de Chamalan (EPTB)



Photographie : La Lône du Breuil, 07 avril 2024.

# Partager notre démarche : un projet pédagogique



Photographie : Port-sur-Saône, le 14 mars 2024.



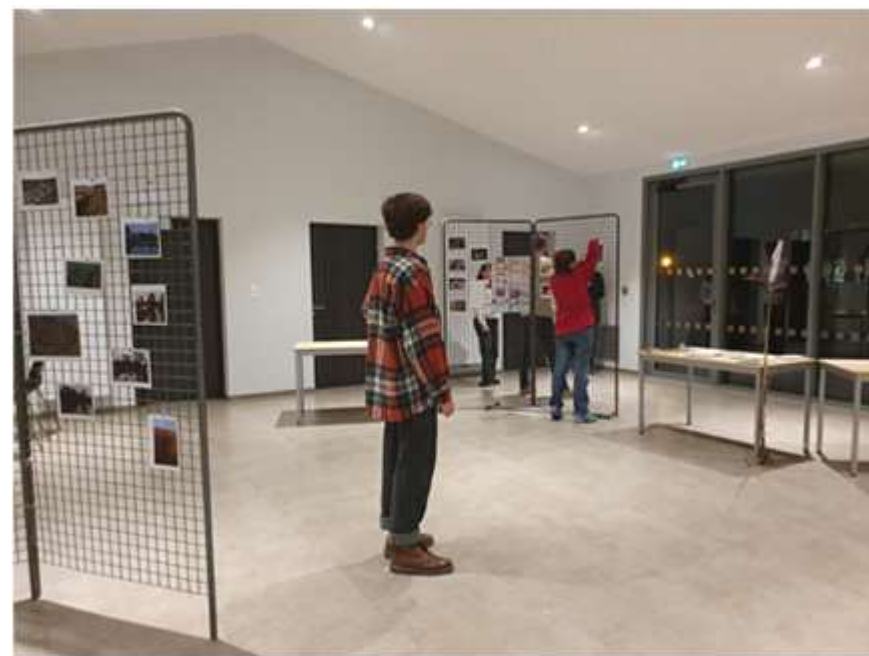
Photographie : Saint-Jean-de-Losne, le 05 avril 2024.

# Partager notre démarche : un projet de médiation scientifique

Un contact étroit avec les communes traversées

Des ateliers participatifs autour de nos projets de recherche

Une exposition construite au fil de la descente



Photographie : Port-sur-Saône, mise en place de l'exposition, 08 mars 2024.



# Restituer notre projet

**Des restitutions académiques** : rapports de recherche (stage, mémoire de master)

**Des restitutions tous publics :**

- une exposition inaugurée à notre arrivée à Arles ;
- un podcast autour de la restauration de la Saône et du Rhône ;
- ...

# Merci à vous !

**Pédagogie**

Cap sur le Rhône  
iLes & L'ône  
IGESR  
Vigie Nature

**Médiation**

VILLE DE LYON  
Grand Parc  
sciences et industrie

**Saône2Rhône**  
Les partenaires qui nous soutiennent

**Technique**

DEFIFZ  
MÂCON

**Institutionnel**

VAL DE GRAY  
TREVOUX  
MÂCON

**Scientifique**

ENES  
RiverLy  
INRAE

**Financier**


EDF  
VEOLIA  
PSL

[www.j2d.org](http://www.j2d.org)  
**juste 2**



**Séminaire scientifique Saône**  
**9 avril 2024 | Dijon**





# Circuits du capital et généalogie des transformations socio-écologiques de la Petite Saône

Emeline Comby, Emmanuel Garnier et Yves-François Le Lay



# La Saône, une ressource pour la Haute-Saône ?

- Mission Saône

- CD 70
- 2019-2021

- Différents volets

- **Histoires** de la Saône
- Evolutions paysagères
- Evolutions des milieux
- **Représentations, pratiques et attachements**
- **Levier du développement territorial**

Une équipe d'universitaires mènera au cours des 24 prochains mois un programme de recherche scientifique sur la Saône, rivière emblématique et structurante de notre département. Les chercheurs conduiront leurs travaux autour de thématiques pluridisciplinaires. Ils auront la tâche de constituer une base la plus exhaustive possible et objectivée des diverses spécificités et ressources caractéristiques de cet espace géographique. L'objectif de la mission est de disposer à son issue d'une vision éclairée des forces et faiblesses de l'interaction qui se joue entre la Saône et son territoire. Ce travail scientifique veut être le fer de lance d'un projet collectif, où acteurs départementaux et locaux se dirigent ensemble vers l'ambition de structurer, conserver, dynamiser, exposer et faire valoir les richesses de la vallée de la Saône.

Extrait du dossier de presse lors du lancement de la Mission (2019)



9 avril 2024



## Circuits du capital en bref

- **Rotation du capital** (Marx 1867 ; 1885) : achat, vente, plus-value
- 2ème circuit du capital (Lefebvre 1970) : **suraccumulation, crise, circulation**
- Trois circuits du capital (Harvey 1973 ; 1978)
  - 1<sup>er</sup> - production locale et immédiate pour la consommation : **sueur**
  - 2<sup>ème</sup> - formation du capital fixe (production et reproduction) : **sommeil**
  - 3<sup>ème</sup> - recherche sc, technologie, dépenses sociales : **pensée**
- 4<sup>ème</sup> circuit du capital : **jeu** avec loisirs et récréation (Jauhainen 2006)



## **Socio-ecological fix en bref**

- **Spatial fix** (Harvey 1996 ; 2001)
- **Socio-ecological fix**
  - “little scholarship ... has systematically developed ... a political ecology of capitalist crises, that is the role of socio-natural transformations” (Ekers et Prudham 2015, p. 2438)
  - “the ways in which crises of capitalist overaccumulation might be displaced through spatial fixes that result in the production of nature” (Ekers et Prudham 2017, p. 1370)
- Proposer une approche **généalogique et critique** (Foucault 1971) des **relations entre circuits du capital et transformations socio-écologiques**
  - Croiser histoire environnementale et géographie

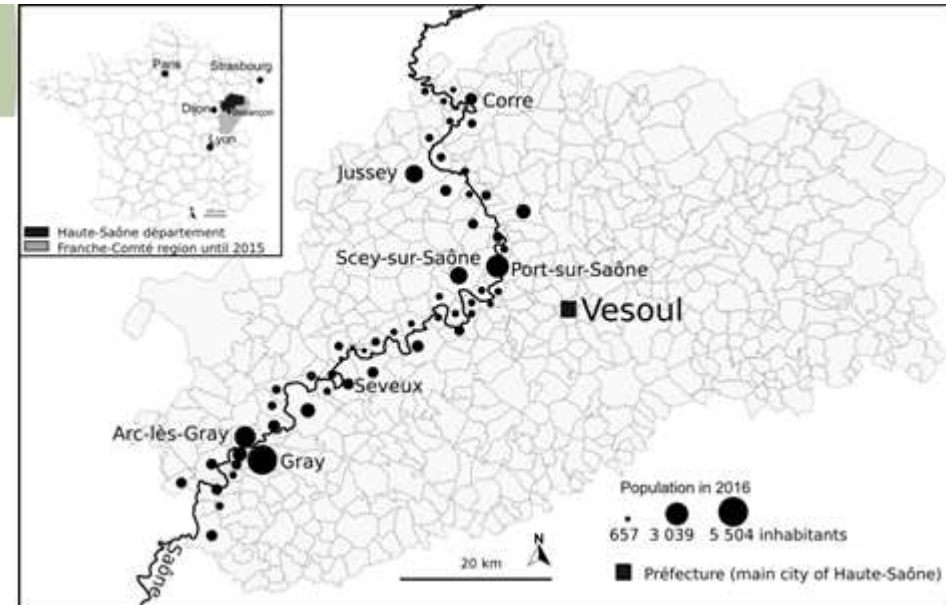


## Nos hypothèses

- H1 : la **marginalisation d'un espace rural** dans un ou plusieurs circuits du capital tend à **réduire les transformations socio-écologiques dues au développement capitaliste**
- H2 : les **acteurs politiques** tentent d'**intégrer** les espaces ruraux aux **circuits du capital** en développant **des stratégies** qui évoluent dans le temps, mais qui tendent à accroître l'urbanisation et les dynamiques économiques dans des espaces ruraux

## Notre site : la Petite Saône

- Intérêt scientifique en SHS centré sur la portion aval ? (e.g. Astrade 1995 ; Bravard *et al.* 2002)
- **Portion navigable** de la Saône entre Corre (dép. 70) et la Grande Saône à l'aval de Saint-Jean-de-Losne
- 20 000 habitant.es dans le 70
  - 1/10 dans le département 70
  - Marge des grands axes



Saône à Soing, © Département 70 K. Altemeyer



## Nos données (1/2)

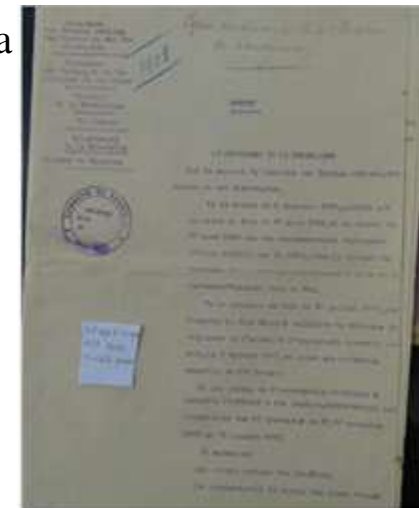
- **Archives** collectées par E. Garnier

- Archives départementales de Vesoul

- Série G du chapitre religieux de Gray : ancienneté et implication des chanoines dans la gestion de la rivière (nombreux ouvrages hydrauliques tels des moulins)
- Série C : administrations provinciales d'Ancien Régime telles que les généralités, les subdélégations, l'administration des domaines (notamment des rivières et des forêts) ou encore les maîtrises des Eaux et Forêts (flottage des bois) : curage, endiguements, travaux en rivière...
- Série S : travaux publics et transports donc sur inondations, fonctionnement des ouvrages hydrauliques, usines, réglementation du flottage des bois, endiguement et aménagement des chemins de halage

- Archives municipales : douze communes

Règlement de la Division de la  
Navigation pour la commune  
de Savoyeux en 1908  
(Arch. dép. 70, 4 E dep 63)



# Nos données (1/2)

- Contemporaines

**231 articles de l'Est  
Républicain**

Plateforme Europresse

2009-2019



**25 entretiens  
« experts »**

3 national, 7 régional, 7 dép., 8 local

Durée moyenne : 1h

Pratiques, paysages, patrimoine, attachement, développement économique...

**97 entretiens courts  
« tourisme »**

10 hôtels, 12 campings, 5 logements insolites et 1 MFR, 9 gîtes, 15 chambres d'hôtes  
11 restaurants, 4 commerces alimentaires  
5 offices du tourisme  
3 loueurs de bateaux, 11 ports publics ou privés  
11 autres activités





## Résultats – La production de la Saône : MA – 1560 (1/4)

- Garde-manger et **pêche**

- Clayonnages en forme de V, depuis 1500 bateaux ou écluses des moulins
- **Communauté juive** : politiques à Gray et prédisposition au commerce
- **Premier circuit du capital** : consommation locale et immédiate

- **Navigation**

- Transit de marchandises
- Port de Gray avec pont attesté en 1238, confrérie de Saint Nicolas (XV<sup>e</sup> s.)

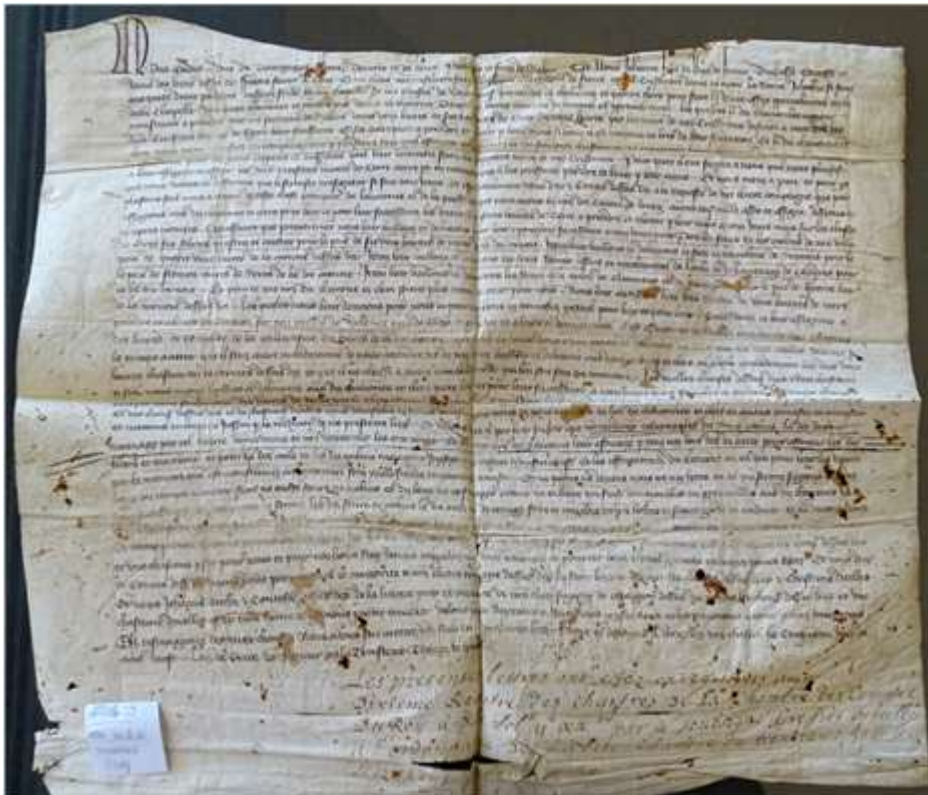
- Forces motrices et **énergie**

- **Moulins** et consommations locales

- Mouture du grain et pain : privilège confirmé par l'empereur Charles Quint (1500-1558) et le Roi d'Espagne Philippe II (1527-1598)
- Textile : foulage de la laine, draperie à Gray Jeanne II (début du XVI<sup>e</sup> s.)
- Verrous hydrologiques : **contrôles et péages**, une autre manne
- **Capitaux fixés** : du premier au deuxième circuit du capital ?

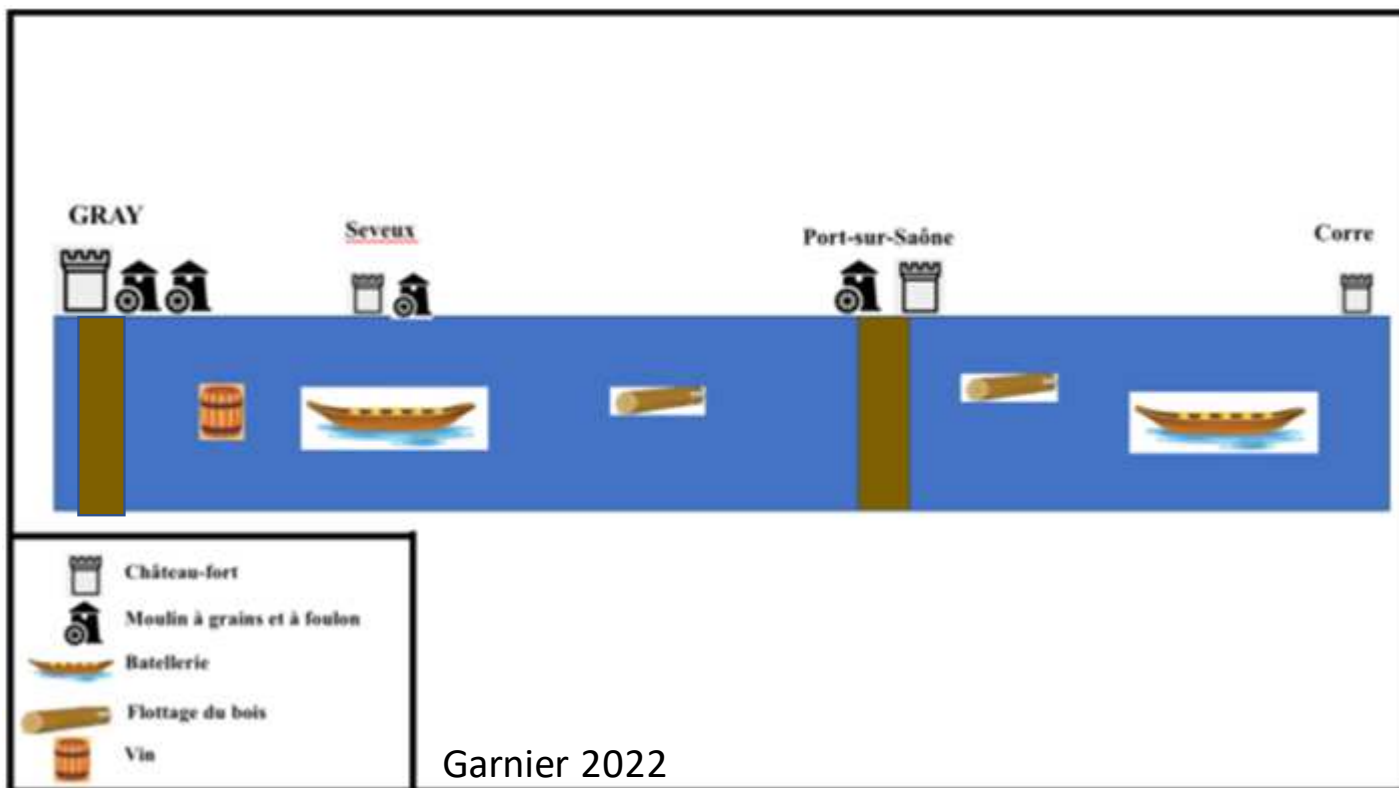
# Résultats – La production de la Saône : MA – 1560 <sup>(1/4)</sup>

- Donation des moulins de Gray par le Duc de Bourgogne Eude aux chanoines du lieu (1334) et carte des moulins en 1465



# Résultats – La production de la Saône : MA – 1560 <sup>(1/4)</sup>

- La Petite Saône médiévale : un faible impact anthropique dans des paysages ruraux et marqués par la proto-industrie



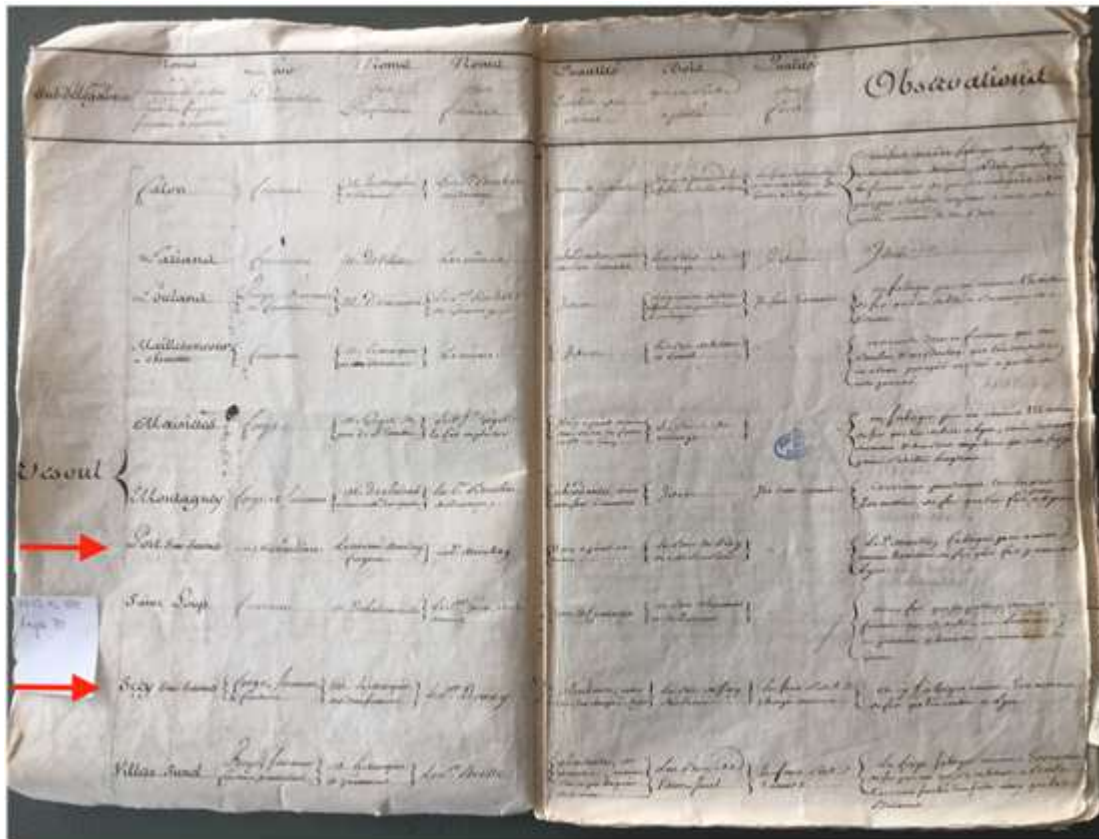


# Résultats – La production de la Saône : XVI-XVIII<sup>e</sup> s. (2/4)

- Navigation
  - Transports de marchandises
    - 1760-1840 : Gray le **Grenier du Midi**
      - Loi du 20 octobre 1830 : Gray comme **l'un des quatre ports français régulateurs** du prix des grains à hauteur des métropoles de Paris, de Lyon et de Marseille
    - Route du vin : **Bourgogne et Beaujolais**
    - **Bois flotté** pour la Marine Royale (Vosges)
  - Une **reconnaissance politique**
    - Archiducs Albert et Isabelle (1598-1621) : ordonnance promulguée pour protéger et favoriser la batellerie
    - 1580 : Gray ville d'étape et d'entrepôt (lettres patentes du roi d'Espagne Philippe II)
    - 1613 : haut responsable de la Saône (inspecter l'ensemble du cours d'eau et des rives, les ponts et les écluses)
- Couloir de la **sidérurgie**
  - A partir du XIV<sup>e</sup> s. , XVIII<sup>e</sup> s : 22 forges et 16 fourneaux
- Nombreuses **banques**

# Résultats – La production de la Saône : XVI-XVII<sup>e</sup> s. (2/4)

- Activités industrielles



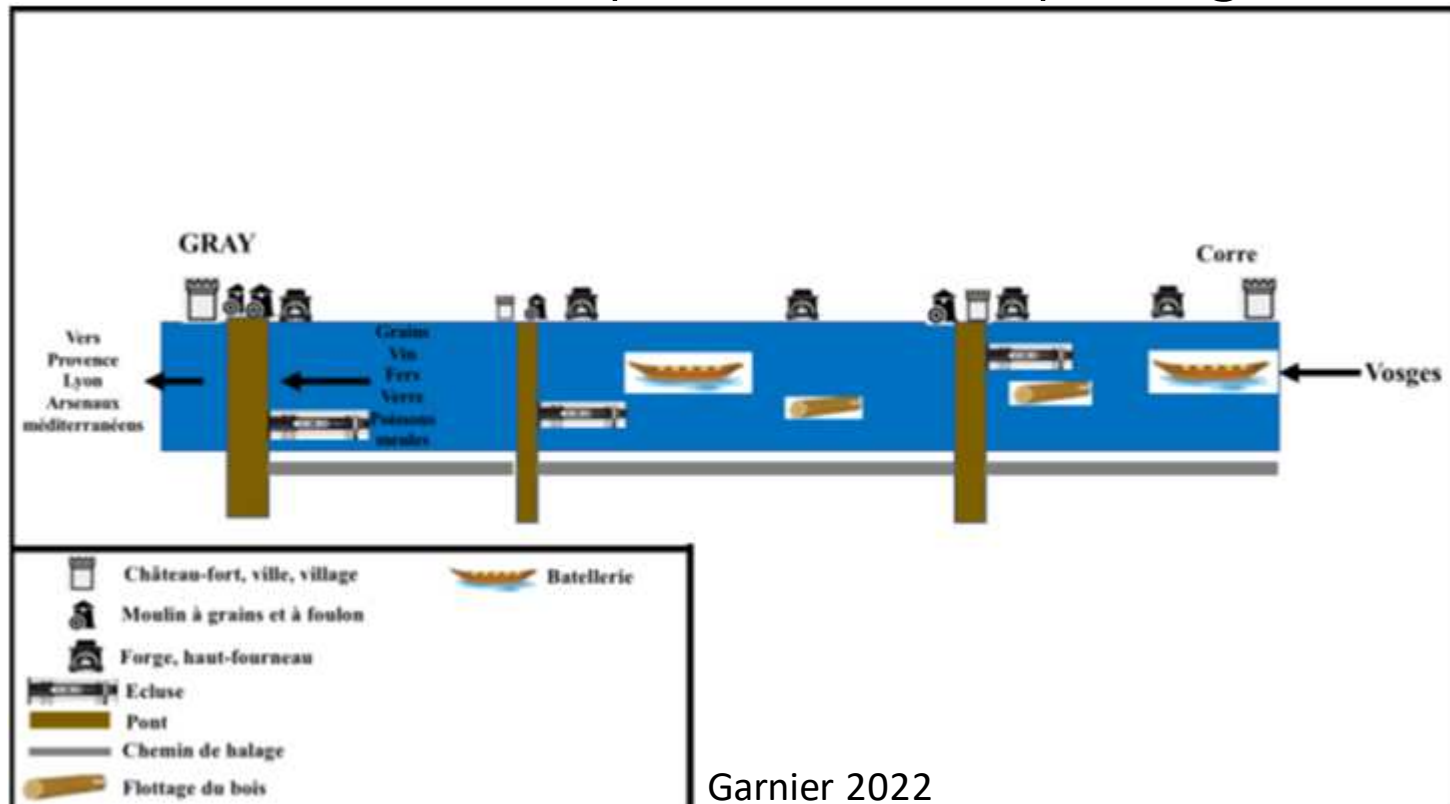
- Activités de navigation



Scène de halage à Gray au XVII<sup>e</sup> siècle 9 avril 2024

# Résultats – La production de la Saône : XVI-XVIII<sup>e</sup> s. (2/4)

- Navigation : chenal historique et canaux pour la navigation, écluses, mais maintien d'espaces ruraux pour gestion inondation





## Résultats – La production de la Saône XIX- auj (3/4)

- **Voies de communication**

- **Voie ferrée** et fin de l'avantage compétitif de la voie d'eau
  - 1856-1888 : voie ferrée depuis Gray, puis Fermeture des voies ferrées entre 1930-70's
- En marge des **autoroutes**

- Navigation

- Deuxième circuit : espaces de **production** et de **consommation** autres
- **Gabarit Freycinet** : faible tirant d'eau
- Fin de tête de ligne : canal de l'Est ou de la Saône à la Moselle en 1884
  - Rupt-sur-Saône : 3 149 bateaux présents en 2019, 7 péniches commerciales

- Axe industriel

- Proximité accès aux mines et aux ressources, usines et non eau

- Théories des **effets d'entraînement** et métropoles d'équilibre

- 1973 : Dijon, métropole d'équilibre
- **Campagnes rétrécissantes** :
  - Gray a perdu plus d'un quart de ses habitants sur la période de 1968 à 2013
  - Jussey 2 315 habitants en 1968 à 1 548 en 2019, 1 logement sur 4 vacant

## Résultats – La production de la Saône XIX- auj (3/4)

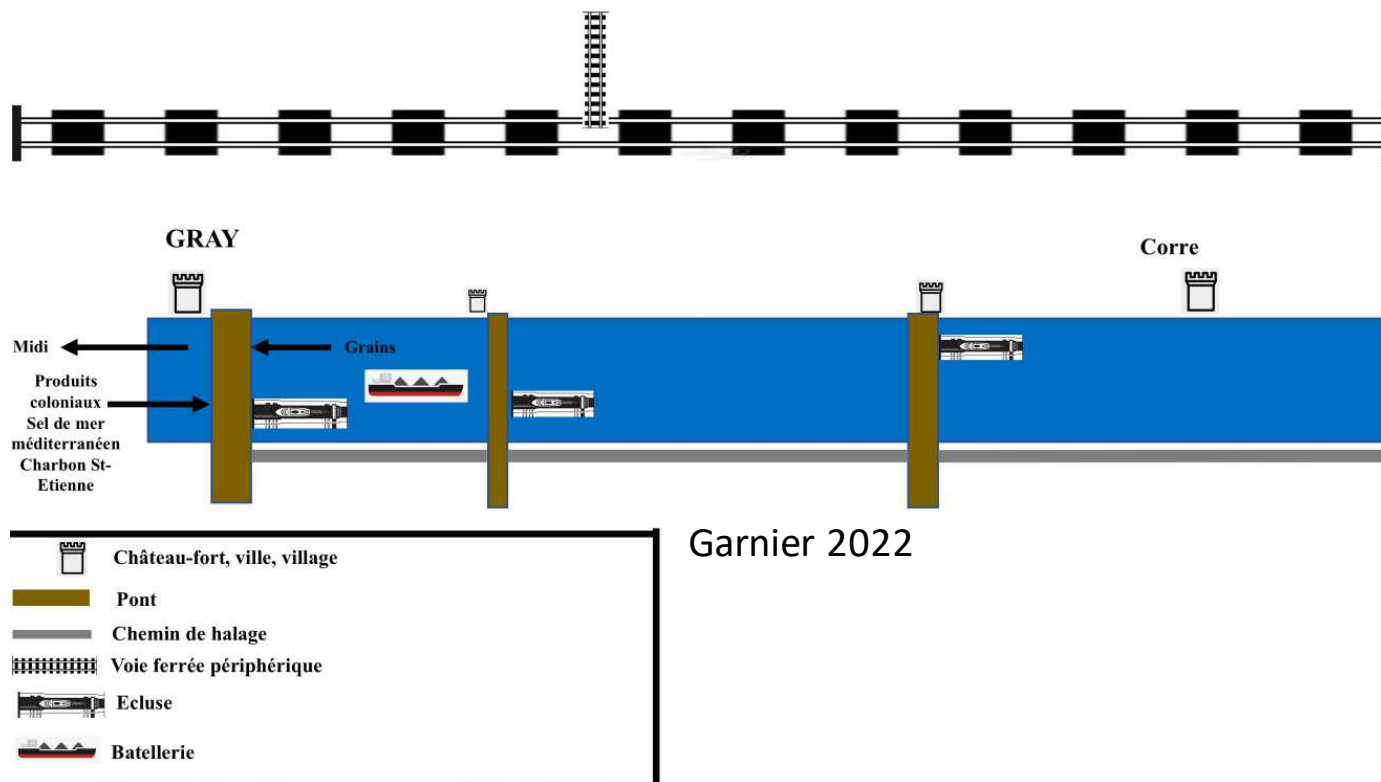
- Extrait du plan cadastral de Port-sur-Saône de 1828 : héritages
  - Grand moulin, écluses, biefs et barrages liés à l'ouvrage





# Résultats – La production de la Saône XIX- auj (3/4)

- La Petite Saône, une marge à l'écart du troisième circuit du capital



# Résultats – La production de la Saône auj et demain

- Conseil départemental et agence de développement touristique

- **Marque territoriale**
- **Logo** : espace d'entre-deux et itinérance

- Des codes urbains de la production néolibérale ?

- **Public-privé**
- **Attractivité** et concurrence inter-rurale
- Campagne de **communication**
- **Grands événements**

- La Saône du **tourisme** ?

- Ressource
  - Corre : marina de 85 places avec restaurant et chantier naval + hausse pop depuis 2013
  - « *comme j'ai dit c'est un écrin, un écrin à préserver, [...] à continuer d'améliorer* » (E8)
- Différence cours d'eau et berges
  - Développement portuaire
    - Rupt-sur-Saône en 2019 : 1 880 bateaux de location et 1 118 bateaux de plaisance privée dont 406 pavillons étrangers
  - Chemin de halage et voie cyclable
    - 2019 : 23 557 passages sur la voie cyclable à Apremont dont 54% de piétons

HAUTE  
SAÔNE  
LA COURSE  
EN TÊTE

VESOUL  
VAL DE  
SAÔNE

L'inattendu aux portes  
de la Bourgogne





## Éléments de discussion et de conclusion

- **Palimpseste** : chaque circuit, nouvelle anthropisation de la rivière
- En marge du 3<sup>ème</sup> circuit : **ruralité** et moins de dégradations env
  - Distinction par son statut de marge du capitalisme comme nouvel espace réservoir : *spatial fix*
    - **Socio-ecological fix** : **changement climatique** et développement portuaire
    - Annonce d'un projet de maison de la Saône (CD 70 en 2022)
  - Quid de l'urbain généralisé (Lefebvre 1970) avec le 4<sup>ème</sup> circuit ?
- Du rôle de l'Etat à d'autres **collectivités territoriales**
  - Maintien de VNF
  - Mais affirmation du département, des communautés de communes et des communes



© Département 70

# Circuits du capital et généalogie des transformations socio-écologiques de la Petite Saône

Emeline Comby, Emmanuel Garnier et Yves-François Le Lay





**Séminaire scientifique Saône**  
**9 avril 2024 | Dijon**

# PARASCC

## Enquêter sur les représentations et les perceptions du changement climatique dans le Val de Saône

Des théories en sciences humaines et sociales à un  
diagnostic territorialisé

Noé Brosse - Émeline Comby - Yves-François Le Lay

9 avril 2024



**EVVS**

Environnement,  
Ville, Société  
*UMR 5600*



**Plan  
Rhône  
Saône**

9 avril 2024

# Perceptions, actions et représentations du changement climatique par les acteurs du Val de Saône

## Axe 1

Représentations et perceptions du changement climatique dans le Val de Saône

**Campagne d'entretiens**

**Enquête par questionnaire**

Comment appliquer des théories et des méthodes génériques développées en SHS pour comprendre les représentations du changement climatique et les actions engagées par les individus dans le Val de Saône ?

## Axe 2

Adaptations, trajectoires et innovations : changement climatique et développement territorial

## Axe 3

Vulnérabilités, justices environnementale et climatique dans le Val de Saône

## Éléments de contexte sur le territoire

480  
KM

De linéaire de  
cours d'eau

223

Communes dans la  
plaine d'inondation

360 K

Habitant·es dans les  
communes ciblées

2500  
KM<sup>2</sup>

Pour l'ensemble du  
territoire étudié

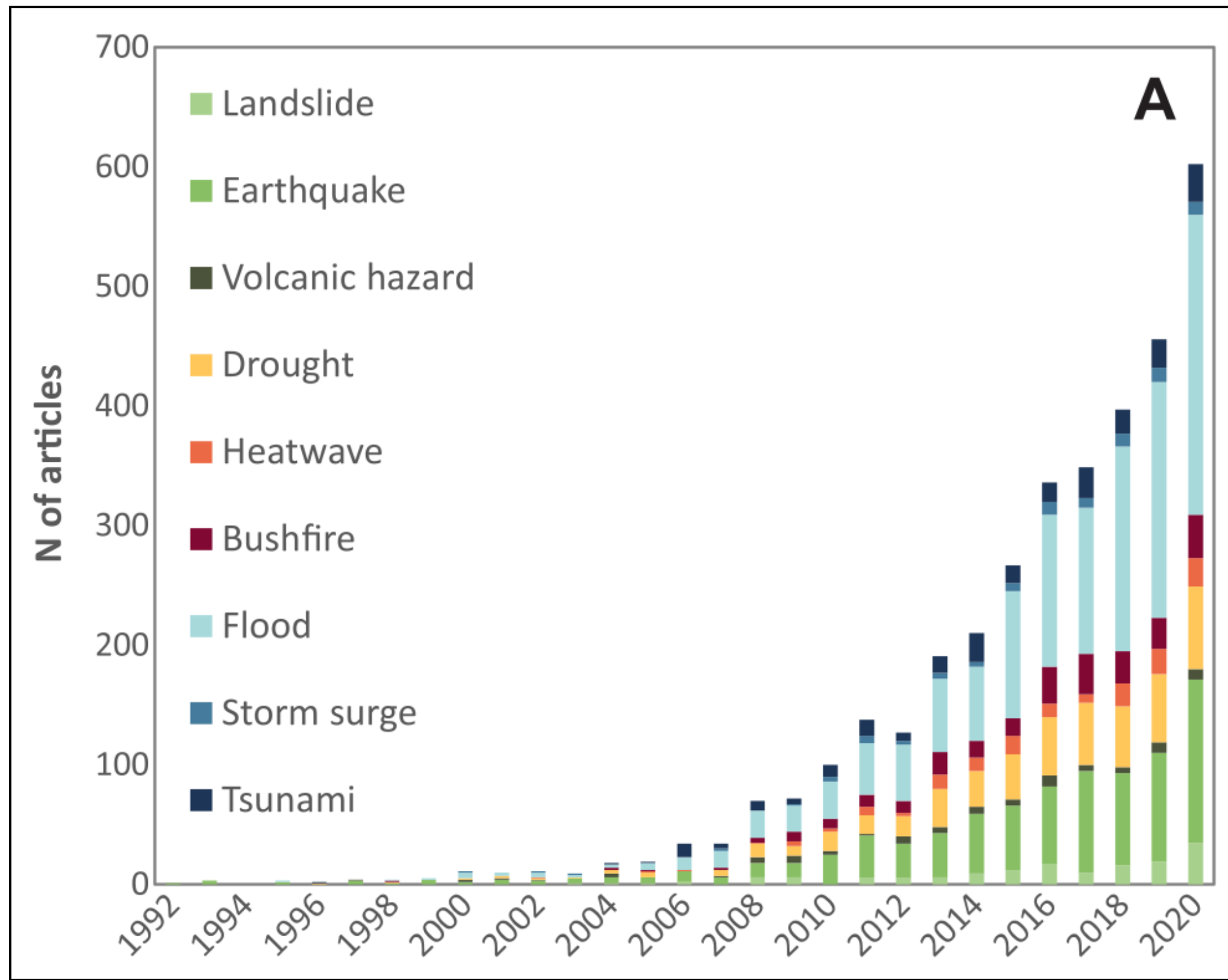
## Des changements environnementaux contemporains

- Crue estivale de 2021 : un phénomène inhabituel
- Des niveaux de sécheresse alarmants en 2022 et en 2023





# État de la connaissance scientifique



Répartition des articles traitant des SVRA\* (n = 2716) en fonction de l'année de publication et du type de danger traité. (Kuhlicke *et al.*, 2023)

\***SVRA** : social vulnerability, resilience, and adaptation



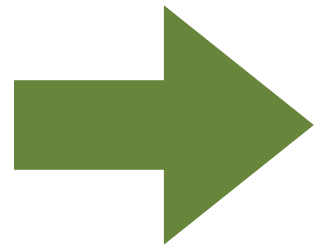
Environnement,  
Ville, Société  
UMR 5600



# État de la connaissance scientifique et hypothèses de recherche

- **Hazards of Place Theory** (Cutter, 1996 ; Alam *et al.*, 2017)

**Géographie des risques** - Une relation directe entre **perceptions** des effets et **adaptation** au changement climatique ?



**H1** - Les actions d'adaptation sont guidées par la représentation du changement climatique et la perception de ses effets.



**EVS**

Environnement,  
Ville, Société  
UMR 5600



**Plan  
Rhône  
Saône**

# État de la connaissance scientifique et hypothèses de recherche

- **Protection Motivation Theory (PMT)** (Rogers, 1975 ; van Valkengoed *et al.*, 2023)

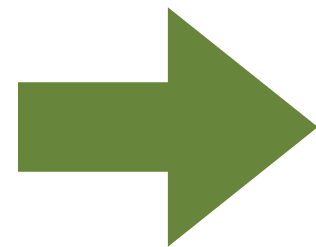
**Interdisciplinaire** - L'adaptation comme la conjugaison de l'**anticipation** du risque et de sa **capacité** à s'adapter ?

- **Protective Action Decision Model (PADM)** (Lindell and Perry, 2012)

**Interdisciplinaire** - Des actions modulées par le **contexte social, spatial et politique** dans lequel les individus évoluent ?

**H2** - La représentation des risques associés au changement climatique est guidée par la perception de ses effets, mais également par la vulnérabilité associée aux activités mises en danger par le changement climatique dans le Val de Saône.

**H3** - Les actions d'adaptation dépendent de la manière dont les individus s'estiment capables de mettre en place des solutions adaptées aux risques envisagés, mais aussi de l'action des pouvoirs publics, des freins et des leviers permis par le contexte social, spatial, économique et politique.



**EVS**

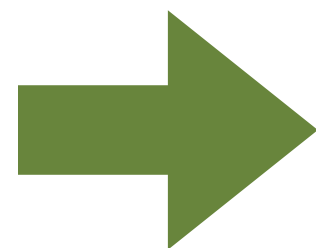
Environnement,  
Ville, Société  
UMR 5600



**Plan  
Rhône  
Saône**

# État de la connaissance scientifique et hypothèses de recherche

- **Construal Level Theory** (Trope and Liberman, 2010 ; van Valkengoed, *et al.*, 2021)  
**Psychologie environnementale** - Des actions reflétant la **prise de conscience** du changement climatique par les individus ?
- **Theory of Constructed Emotions** (Marczack *et al.*, 2023)  
**Psychologie environnementale** - Des actions résultant des **émotions** suscitées par le changement climatique ?



**H4** - La perception de changements environnementaux est modulée par la distance psychologique au changement climatique.

**H5** - Les émotions suscitées par le changement climatique ont une part explicative dans les écarts au modèle que l'on peut retrouver entre représentation du changement climatique et de ses risques, et actions envisagées à l'échelle individuelle et collective.



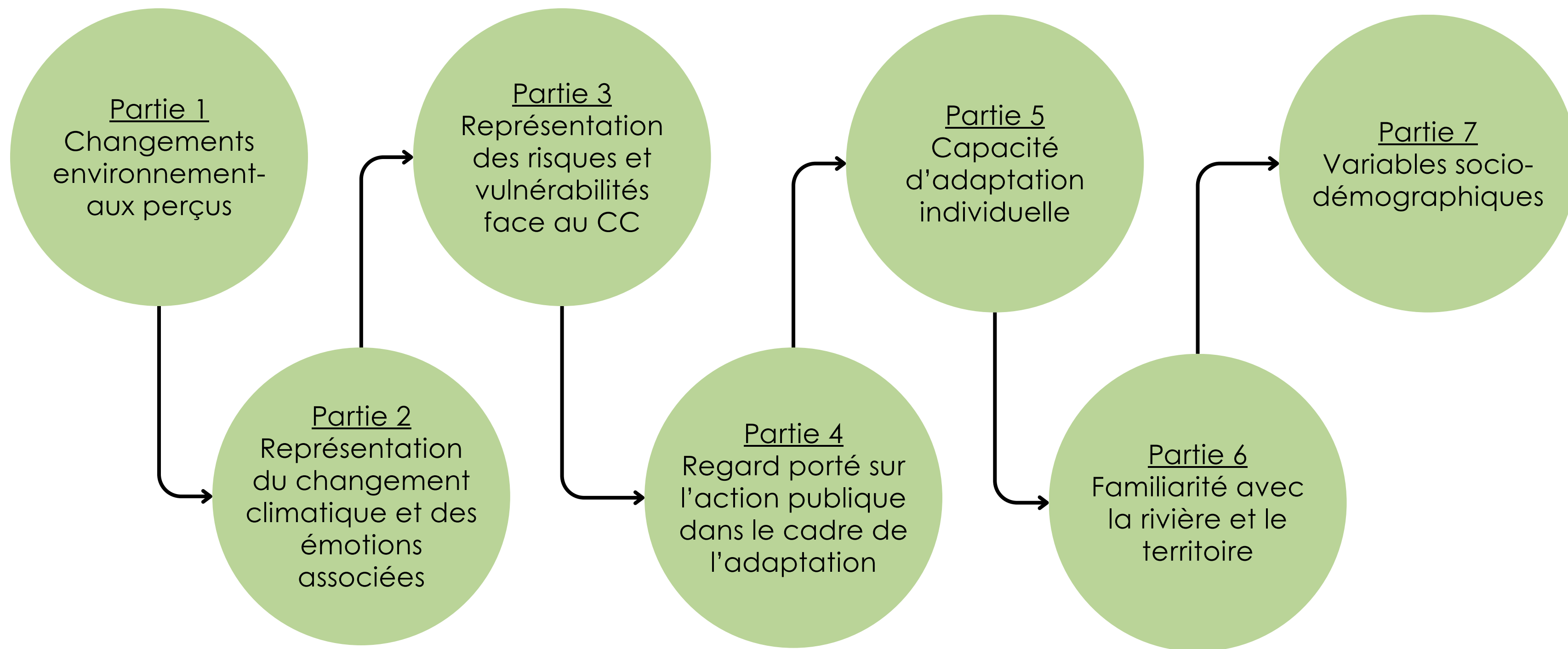
**EVS**

Environnement,  
Ville, Société  
UMR 5600

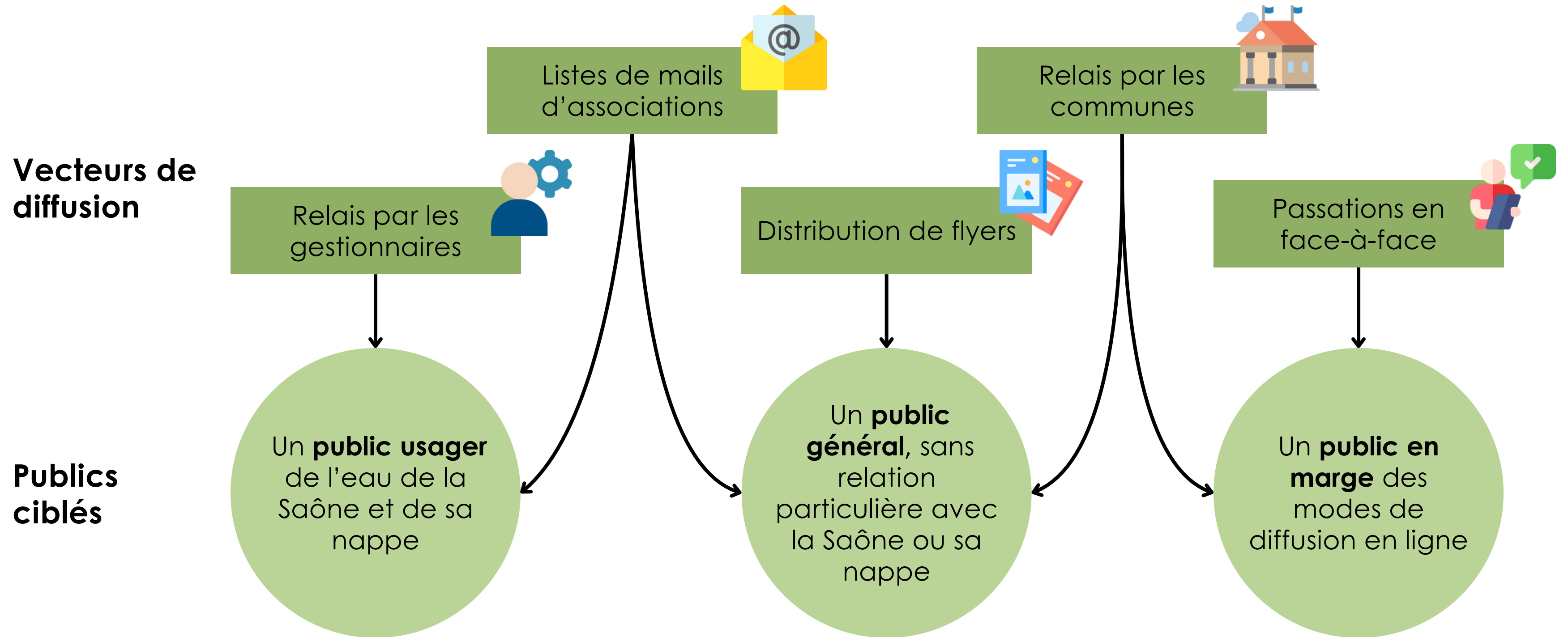


Plan  
Rhône  
Saône

# Indicateurs et construction du questionnaire



# Méthode de passation



**EVS**

Environnement,  
Ville, Société  
UMR 5600



**Plan  
Rhône  
Saône**

## En conclusion, quelques perspectives

- Le Val de Saône, un territoire largement absent des travaux de SHS que l'on cherchera à baliser, en vue de recherches futures sur cet espace.
- La perception et les représentations du changement climatique trouvent une dimension appliquée dans l'élaboration de stratégies d'adaptation appropriées au territoire et à sa population.



**EVS**

Environnement,  
Ville, Société  
UMR 5600



**Plan  
Rhône  
Saône**

# Bibliographie

- Alam, G.M.M., Alam, K., Mushtaq, S., 2017. "Climate change perceptions and local adaptation strategies of hazard-prone rural households in Bangladesh." *Climate Risk Management* 17, 52–63. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2017.06.006>
- Cutter, S.L., 1996. "Vulnerability to environmental hazards." *Progress in Human Geography* 20, 529–539. <https://doi.org/10.1177/030913259602000407>
- Kuhlicke, C., Madruga de Brito, M., Bartkowski, B., Botzen, W., Doğulu, C., Han, S., Hudson, P., Nuray Karanci, A., Klassert, C.J., Otto, D., Scolobig, A., Moreno Soares, T., Rufat, S., 2023. "Spinning in circles? A systematic review on the role of theory in social vulnerability, resilience and adaptation research." *Global Environmental Change* 80, 102672. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102672>
- Lindell, M.K., Perry, R.W., 2012. "The Protective Action Decision Model: Theoretical Modifications and Additional Evidence." *Risk Analysis* 32, 616–632. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2011.01647.x>
- Marczak, M., Wierzba, M., Zaremba, D., Kulesza, M., Szczypiński, J., Kossowski, B., Budziszewska, M., Michałowski, J.M., Klöckner, C.A., Marchewka, A., 2023. "Beyond climate anxiety: Development and validation of the inventory of climate emotions (ICE): A measure of multiple emotions experienced in relation to climate change." *Global Environmental Change* 83, 102764. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102764>
- Rogers, R.W., 1975. "A Protection Motivation Theory of Fear Appeals and Attitude Change1." *The Journal of Psychology* 91, 93–114. <https://doi.org/10.1080/00223980.1975.9915803>
- Trope, Y., Liberman, N., 2010. "Construal-level theory of psychological distance." *Psychological Review* 117, 440–463. <https://doi.org/10.1037/a0018963>
- van Valkengoed, A.M., Perlaviciute, G., Steg, L., 2024. "From believing in climate change to adapting to climate change: The role of risk perception and efficacy beliefs." *Risk Analysis* 44, 553–565. <https://doi.org/10.1111/risa.14193>
- van Valkengoed, A.M., Steg, L., Perlaviciute, G., 2021a. "Development and validation of a climate change perceptions scale." *Journal of Environmental Psychology* 76, 101652. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2021.101652>



**EVS**

Environnement,  
Ville, Société  
UMR 5600



**Plan  
Rhône  
Saône**



## Séminaire scientifique Saône

9 avril 2024 | Dijon

# Merci pour votre écoute

**Noé Brosse**

ENS de Lyon, UMR 5600 EVS  
noe.brosse@ens-lyon.fr

**Émeline Comy**

Université Lyon 2, UMR 5600 EVS  
e.comby@univ-lyon2.fr

**Yves-François Le Lay**

ENS de Lyon, UMR 5600 EVS  
yves-francois.le-lay@ens-lyon.fr

Lien et QR-code  
vers l'enquête



<https://enquetes.univ-lyon2.fr/index.php/137972?lang=fr>