Observatoire des Sédiments du Rhône

Quelles sont les sources des MES et des contaminants qui circulent dans le fleuve ?

Isabelle EUDES - AE RMC | Aymeric DABRIN – INRAE, UR RiverLy

Ce que cherche l'Agence au travers son soutien à des programmes de recherche

L'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse

● Un **établissement de service public**, qui relève du Ministère de la transition écologique et solidaire

● Une mission inscrite dans le cadre de la **Directive européenne sur l'eau** afin d'atteindre le **bon état des eaux.**

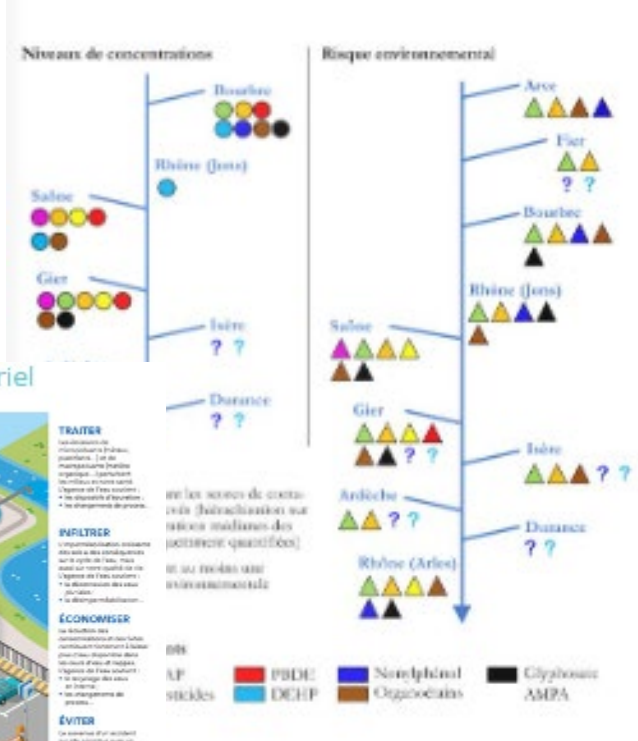
● Un organisme **technique** et **financier**

- L'Agence de l'eau et ses partenaires signataires du plan Rhône Saône financent des actions de restauration du fleuve Rhône (125 millions d'€ par plans)
- Ces actions ont besoin des programmes de recherche pour disposer de **données** et **d'outils afin de savoir comment agir ? Où agir ?**
- Connaître les **effets des politiques** publiques sur le fleuve Rhône et leur durabilité – **Est-ce que ça marche ?**
- Favoriser les liens entre gestionnaires et scientifiques – Des connaissances utiles au territoire : **Comment transférer la connaissance aux gestionnaires ?**

Pourquoi évaluer les sources de contaminants dans le Rhône ?

- Connaître pour améliorer l'état des eaux (Bon état – bon potentiel DCE)
- Méthodes de détection et de quantification : concentrations/flux
- Evaluer les effets écologiques et toxicologiques
- Identifier l'origine des contaminants pour agir à la source :
  - **limiter les rejets des STEP des collectivités : temps de pluie, métabolites et traitements plus poussés…**
  - **limiter les rejets industriels**
  - **limiter les utilisations agricoles, Conversions bio, PSE…**

Tendances spatiales des concentrations en contaminants particulaire et du risque environnemental associé



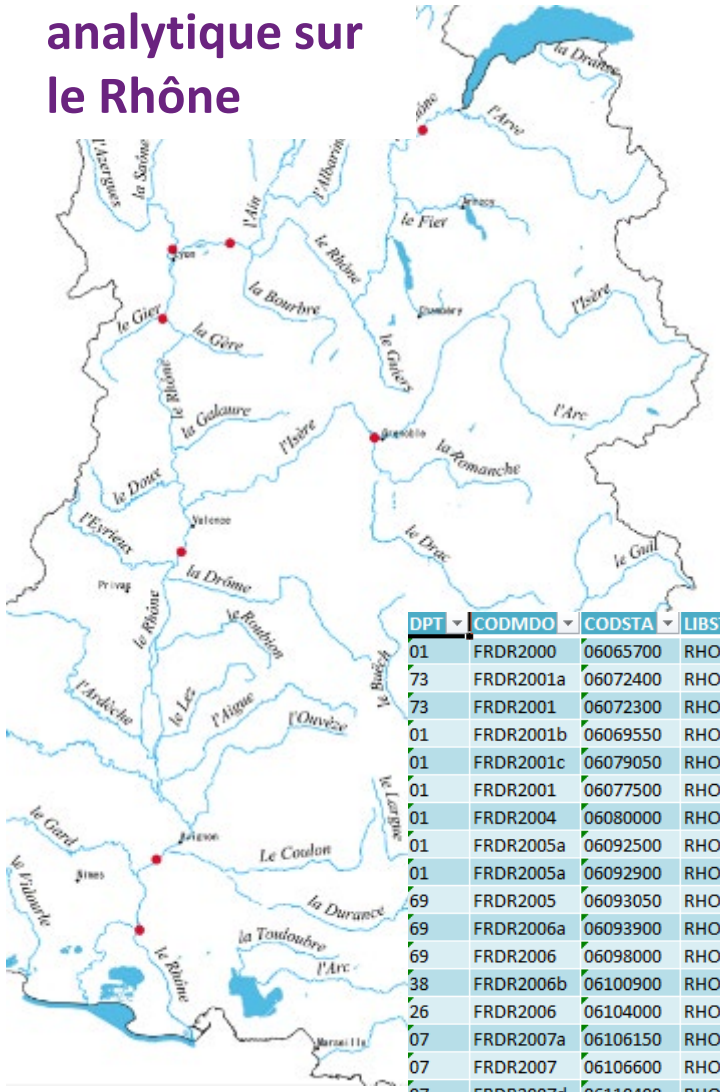
L'appui au monde industriel

- 57,8 M€ d'aides (2019-2024)
- 553 bénéficiaires
- 9,2 tonnes de micropolluants abattus

Préciser l'importance des apports en contaminants à la mer et évaluer l'efficacité des mesures de réduction des rejets de polluants en amont (Convention de Barcelone, Directive cadre stratégie marine).

L'agence de l'eau a pour mission la surveillance des milieux du Bassin (DCE, Directive nitrate, captages prioritaires…)

Le programme analytique sur le Rhône



Le Rhône - 22 stations de suivi qualité

- 6 stations suivies tous les 3 ans pour les substance
- 5 stations suivies tous les 3 ans pour les pesticides

SORA - 24 à 3 prélèvements par an (Eau+MES)

- 24 prélèvements bimensuels
- 3 prélèvements / crue (montée, pic, descente) *(pas toujours réalisé)*
- Plus de 1000 paramètres sur eau (25 000 analyses/an)
- Plus de 300 paramètres sur MES (7500 analyses/an)

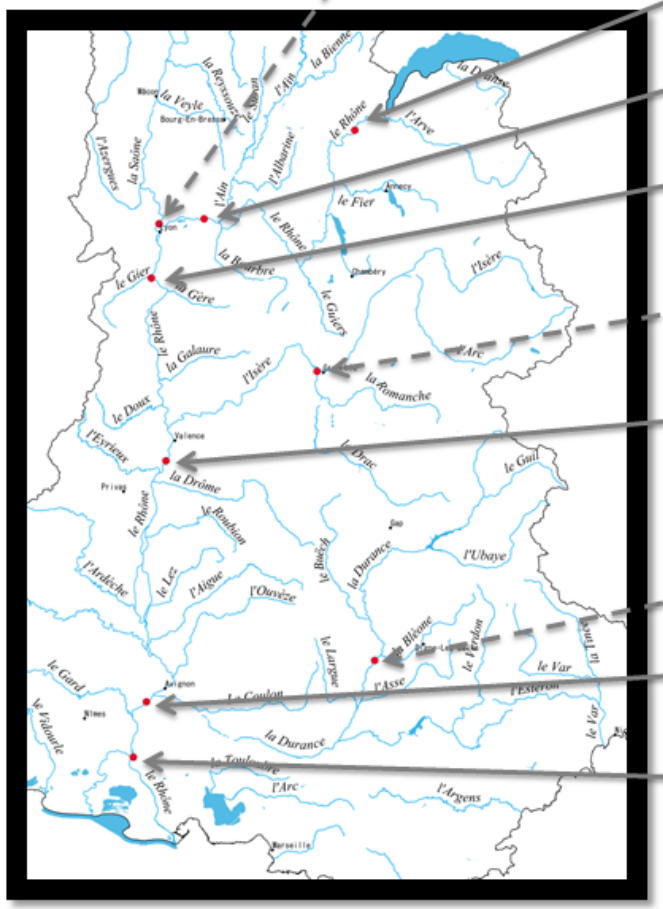
DPT	CODMDO	CODSTA	LIBSTA	RCS	RCS_PEST	SUIVI PCH CLASSIQUE	SUIVI SUBSTANCES	SUIVI PESTICIDES
01	FRDR2000	06065700	RHONE A POUGNY	1		Tous les ans	Tous les ans	
73	FRDR2001a	06072400	RHONE A RUFFIEUX	1		Tous les ans	Tous les 3 ans (N+2)	
73	FRDR2001	06072300	RHONE A CULOZ	1		Tous les ans	Tous les 3 ans (N+0)	
01	FRDR2001b	06069550	RHONE A MASSIGNIEU-DE-RIVES	1		Tous les ans	Tous les 3 ans (N+1)	
01	FRDR2001c	06079050	RHONE A BREGNIER-CORDON 1	1		Tous les ans	Tous les 3 ans (N+1)	
01	FRDR2001	06077500	RHONE A BREGNIER-CORDON 3	1		Tous les ans	Tous les 3 ans (N+0)	
01	FRDR2004	06080000	RHONE A ST-SORLIN-EN-BUGEY	1		Tous les ans	Tous les 3 ans (N+0)	
01	FRDR2005a	06092500	RHONE A JONS	1	1	Tous les ans	Tous les ans	Tous les 3 ans (N+0)
01	FRDR2005a	06092900	RHONE A MIRIBEL	1		Tous les ans	Tous les 3 ans (N+0)	
69	FRDR2005	06093050	RHONE A LYON	1		Tous les ans	Tous les 3 ans (N+0)	
69	FRDR2006a	06093900	RHONE A VERNAISON 1	1		Tous les ans	Tous les 3 ans (N+0)	
69	FRDR2006	06098000	RHONE A CHASSE-SUR-RHONE	1		Tous les ans	Tous les ans	
38	FRDR2006b	06100900	RHONE A SERRIERES	1		Tous les ans	Tous les 3 ans (N+1)	
26	FRDR2006	06104000	RHONE A ST-VALLIER	1		Tous les ans	Tous les ans	
07	FRDR2007a	06106150	RHONE A CHATEAUBOURG	1		Tous les ans	Tous les 3 ans (N+0)	
07	FRDR2007	06106600	RHONE A BEAUCHASTEL 1	1		Tous les ans	Tous les ans	
07	FRDR2007d	06110400	RHONE A ROCHEMAURE	1	1	Tous les ans	[illegible]	[illegible]

OSR
Observatoire des Sédiments du Rhône

Ce suivi existe mais est utile à compléter grâce aux travaux de l'OSR

Nombre de substances analysées et quantifiées (par grands groupes de micropolluants)

	06059500 - SAONE A LYON 1							
	HAP	PCB	PEST	MET	MPO	PHAR	PFAS	TOTAL
Nb subst. ana	19	50	635	26	200	119	16	1065
Nb subst.quanti	19	18	57	25	21	19	5	164



	06065700 - RHONE A POUGNY							
	HAP	PCB	PEST	MET	MPO	PHAR	PFAS	TOTAL
Nb subst. ana	19	30	619	26	198	119	16	1027
Nb subst.quanti	17	3	6	25	8	15	1	75

	06065700 - RHONE A JONS							
	HAP	PCB	PEST	MET	MPO	PHAR	PFAS	TOTAL
Nb subst. ana	19	50	634	26	198	119	16	1062
Nb subst.quanti	18	19	8	25	11	14	4	99

	06065700 - RHONE A CHASSE-SUR-RHONE							
	HAP	PCB	PEST	MET	MPO	PHAR	PFAS	TOTAL
Nb subst. ana	19	50	635	26	200	119	16	1065
Nb subst.quanti	16	23	32	25	23	19	5	143

	06146500 - DRAC A FONTAINE 1							
	HAP	PCB	PEST	MET	MPO	PHAR	PFAS	TOTAL
Nb subst. ana	19	50	635	26	200	119	16	1065
Nb subst.quanti	15	26	18	25	22	4	1	111

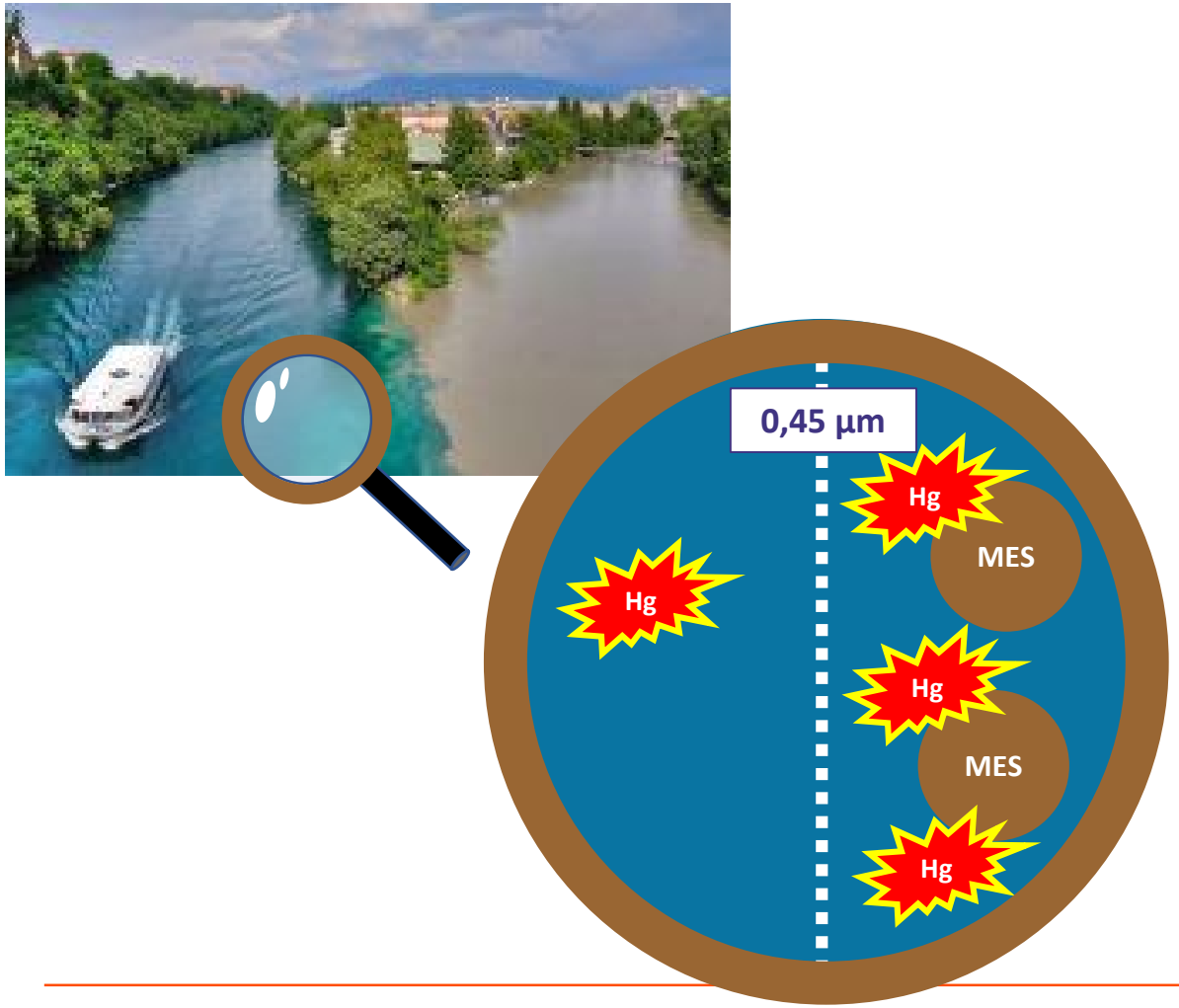
	06065700 - RHONE A BEAUCHASTEL 1							
	HAP	PCB	PEST	MET	MPO	PHAR	PFAS	TOTAL
Nb subst. ana	19	50	622	26	200	119	16	1052
Nb subst.quanti	17	20	27	25	16	17	5	127

	06159000 - DURANCE A LES-MEES							
	HAP	PCB	PEST	MET	MPO	PHAR	PFAS	TOTAL
Nb subst. ana	19	50	635	26	200	119	16	1065
Nb subst.quanti	15	20	10	25	45	12	1	128

	06065700 - RHONE A ARAMON							
	HAP	PCB	PEST	MET	MPO	PHAR	PFAS	TOTAL
Nb subst. ana	19	30	633	26	200	119	16	1043
Nb subst.quanti	15	11	30	25	22	18	4	125

	06065700 - RHONE A ARLES 2							
	HAP	PCB	PEST	MET	MPO	PHAR	PFAS	TOTAL
Nb subst. ana	19	50	635	26	200	119	16	1065
Nb subst.quanti	19	21	45	26	34	25	6	176

Observatoire des Sédiments du Rhône
« Tracer les sources de contaminants particulaires, c'est tout d'abord tracer les sources de matières en suspension (MES) »



Equilibre

Contaminants avec une forte affinité pour la matrice solide (particules fines, <200 µm) :

- Métaux : Cd, Pb, Ni, Hg, Cu…
- PCB
- Radionucléïdes
- HAP
- PBDE
- …

<u>Enjeu : identifier les sources de MES</u>

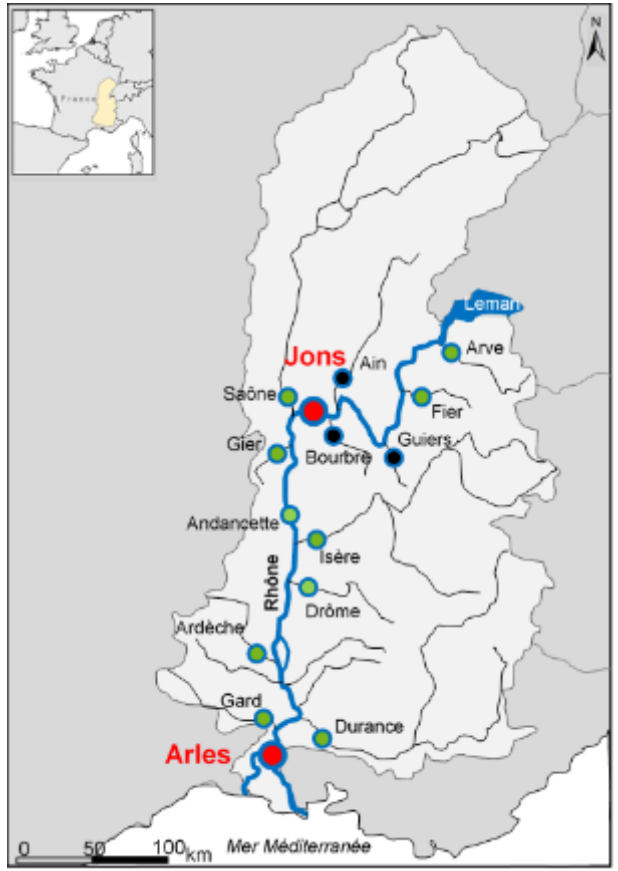
- Diminuer les apports sédimentaires
- Identifier les sources de contaminants

Quels sont les moyens et les méthodes à disposition pour identifier les sources de MES ?

- 14H30 – **QUELS SONT LES BILANS DES FLUX DE MATIÈRES EN SUSPENSION ET DE CONTAMINANTS DANS LE RHÔNE ?**

HUGO DELILE *(INRAE - CNRS)* & BRICE MOURIER *(ENTPE)*

1 Mesurer les flux de MES

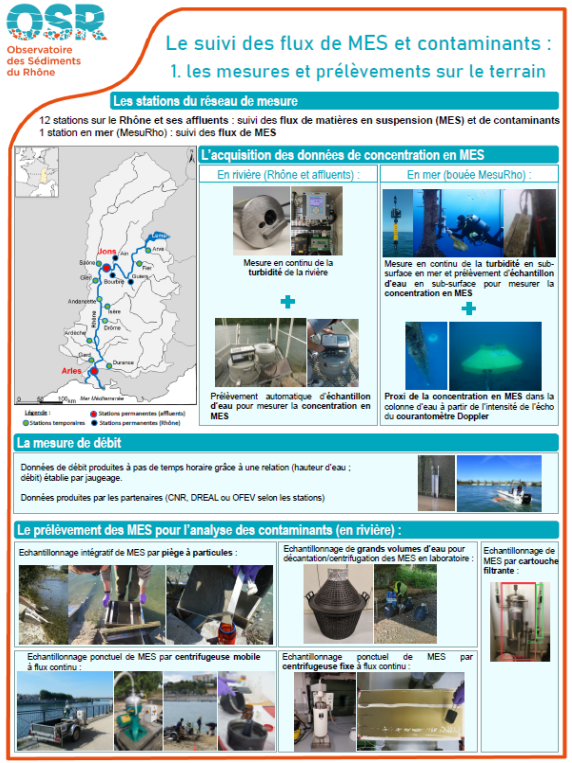


- Déploiement réseau de mesure
- Données de débits en continu
- Données de turbidité en continu
- Calibration (préleveurs automatiques)

Estimations des flux de MES robustes pour les principaux affluents

Obtenir des flux de MES sur les mêmes périodes temporelles pour tous les affluents

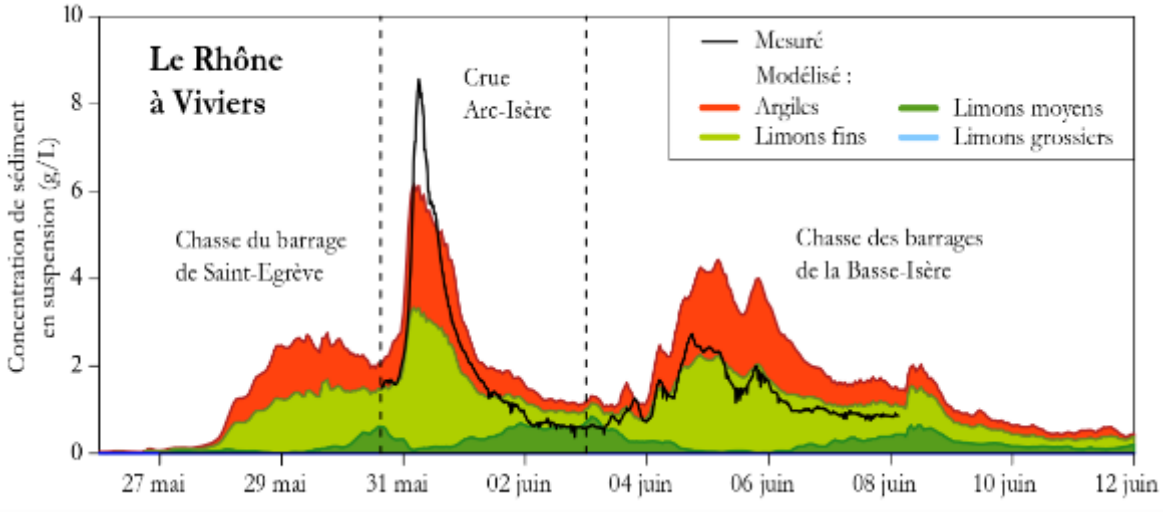
PRENEZ EN MAIN LES OUTILS DE L'OSR !



Quels sont les moyens et les méthodes à disposition pour identifier les sources de MES ?

2 Modélisation numérique des flux de MES

- Etablissement de la géométrie (BD Topo Rhône, ouvrages…)
- Règles de gestion aménagements hydro-électriques
- Calage des lignes d'eau
- …



Mai-juin 2008, crue et chasse de l'Isère

- 15H30 - **QUELLES SONT LES AVANCÉES DE LA MODÉLISATION DES FLUX SÉDIMENTAIRES SUR LE CONTINUUM FLUVIAL ?**

JÉRÔME LE COZ *(INRAE)* & VIOLAINE DUGUÉ *(CNR)*

Simulations à grandes échelles (Rhône entier, plusieurs décennies) à haute résolution spatio-temporelle

Incertain quand les apports amonts ne sont pas identifiés pour propager le transfert

Quels sont les moyens et les méthodes à disposition pour identifier les sources de MES ?

3

Traçage géochimique des particules (Fingerprinting)

- Echantillonnage des MES des sources (affluents) et de la zone de mélange (Rhône)
- Analyse des traceurs (éléments traces, majeurs)
- Détermination des empreintes des MES des affluents

Possibilité de tracer n'importe quel évènement hydrologique sur le Rhône dès lors que les sources (affluents) ont été caractérisées

S'assurer de la conservativité des traceurs dans le temps et dans l'espace

Les étapes majeures des approches de traçage des particules

Echantillonnage MES
Sources + zone de mélange (Rhône)

1

Comment valider la conservativité des traceurs?

Extraction et analyses des traceurs

2

3

Sélection des traceurs
Validation de la conservativité des traceurs

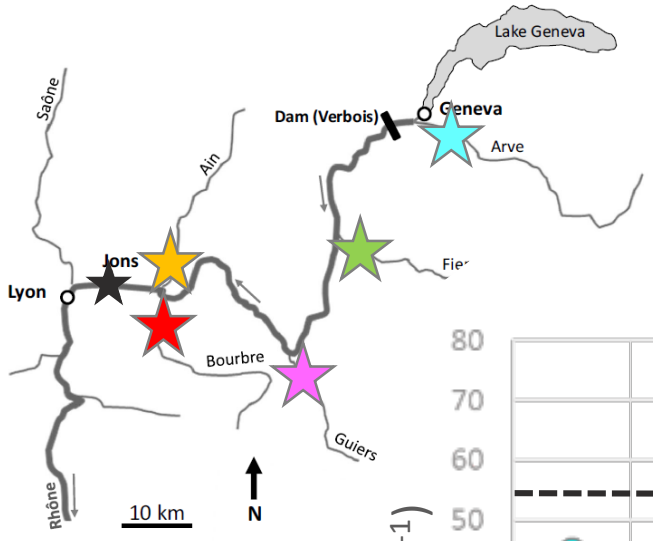
Cd Ni Zn Cr As U Li

4

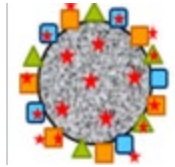
- Equation de mélange à partir du signal dans les MES de la zone de mélange
- Contributions relatives des affluents aux apports en MES

$$C_i = \sum_{s=1}^{m} P_s * C_{is}$$

Les étapes majeures des approches de traçage des MES



Concentration totale du traceur

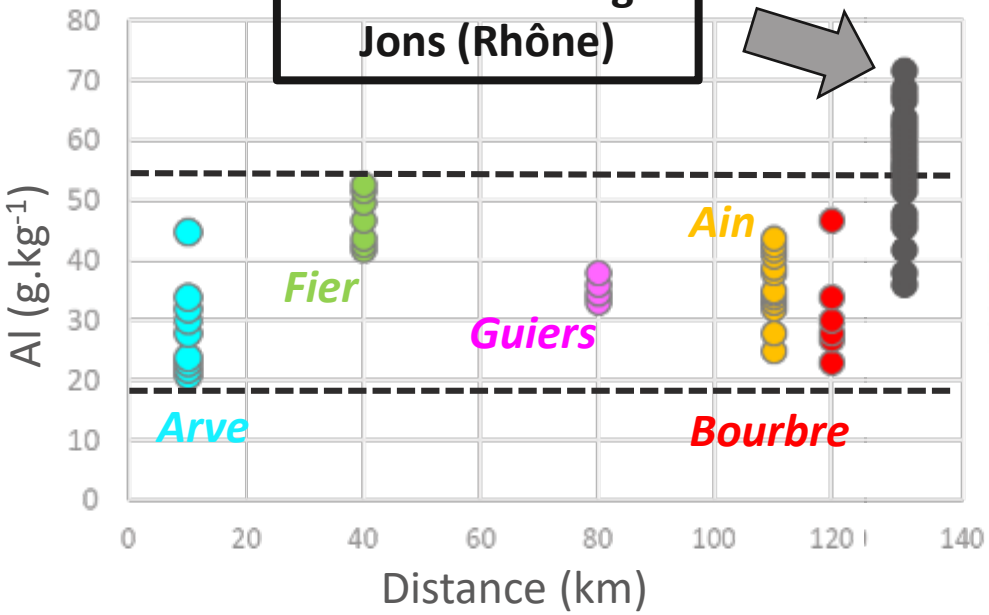


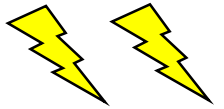
Elements traces

Comportement non conservatif

Transformation de la signature pendant le transport des MES

Zone de mélange Jons (Rhône)

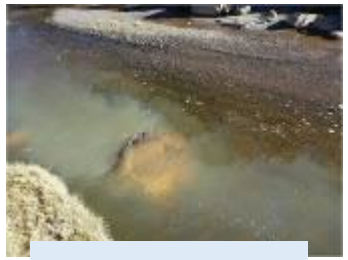




Facteurs environnementaux

Oxygène

Conductivité/salinité



Précipitation

Désorption

Oxydation

Perte de traceurs disponibles après le test de conservativité

Des transformations peuvent affecter les signatures tout en restant dans la gamme de la zone de mélange

Danger d'utiliser les concentrations totales des traceurs = réactives

Sélection des traceurs : comment s'affranchir de la réactivité des traceurs ?

Marie Bretier
Master 2 (2015)

Laurent Colonnette
Master 2 (2016)

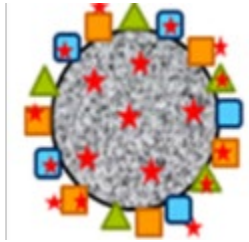
Thèse Céline Bégorre (2017-2021)

Utilisation des concentrations en traceur dans la fraction conservative des MES (fraction résiduelle)

Les concentrations en traceurs dans cette fraction sont supposées être invariables dans le temps et dans l'espace

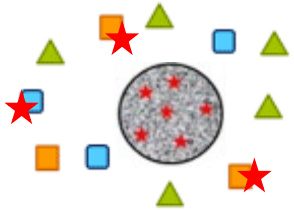
A

Minéralisation totale
HNO_3, HCl, HF



B

Extraction douce
HCl 1M

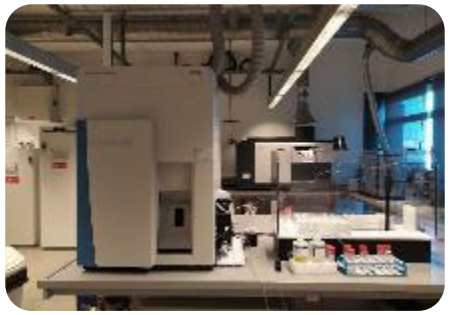


★ Traceurs

▲ Sulfure et MO

■ Oxydes de Fer et Manganèse

■ Carbonates



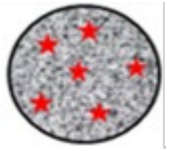
Métaux
Métalloïdes
Non métaux

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	Se	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	**	Rf	Dn	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Fl	Uup	Lv	Uus	Uuo

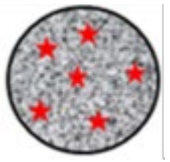
*	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
**	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

C

Traceurs dans la fraction résiduelle



Détermination de la contribution relative des affluents sur le Haut-Rhône pour différentes conditions hydrologiques



Crue sur le Fier

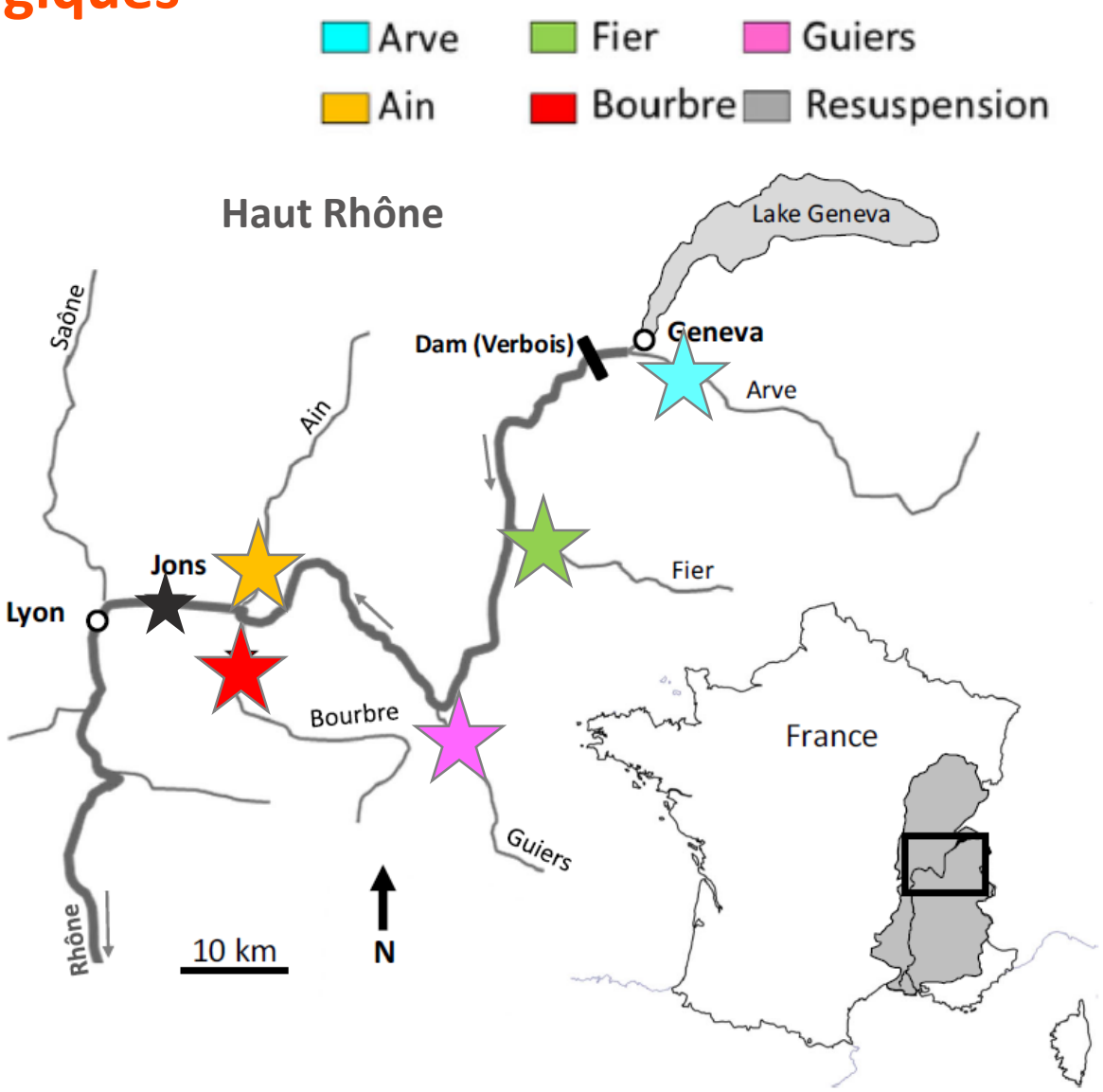
Juin 2012 – 1975 $m^3.s^{-1}$

Régime de base

Juin 2012 – 440 $m^3.s^{-1}$

Chasse hydro-sédimentaire

Juin 2012 – 1290 $m^3.s^{-1}$



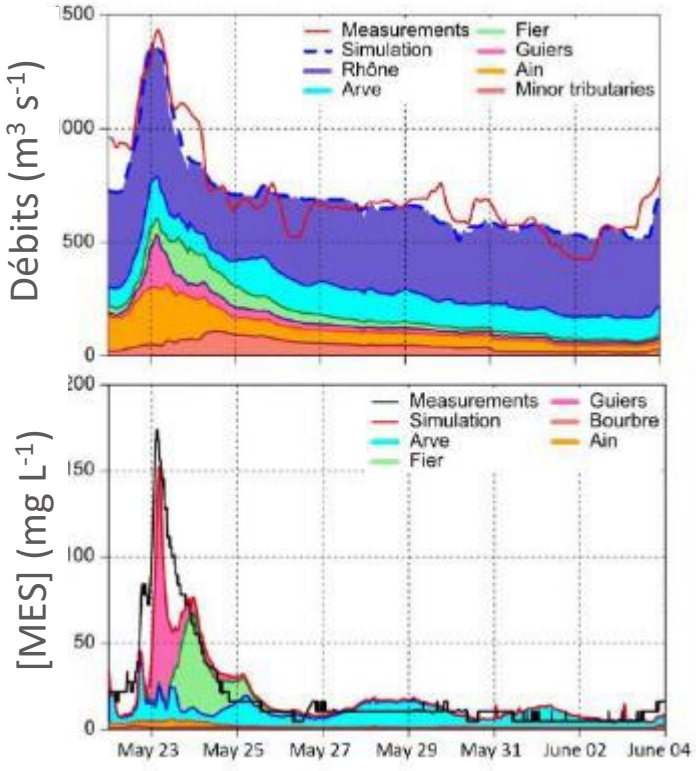
Dabrin et al. 2021, Journal of soils and sediments

Complémentarité des résultats obtenus par traçage géochimique avec les modèles numériques

Temporel

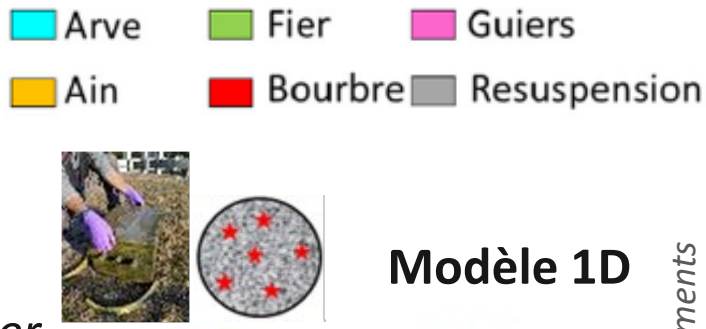
Modèle hydro-sédimentaire 1D (INRAE)

Déconvolution des flux d'eau et de MES de chaque affluent correspondant à la période de déploiement des pièges à particules



MAGE
(Modèle numérique pour l'eau)

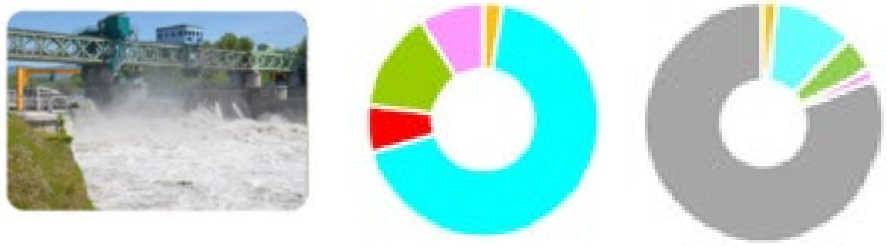
Adis-TS
(modèle numérique pour les MES)



Modèle 1D

Crue sur le Fier

Chasse hydrosédimentaire



Dabrin et al. 2021, Journal of soils and sediments

Complémentarité des approches

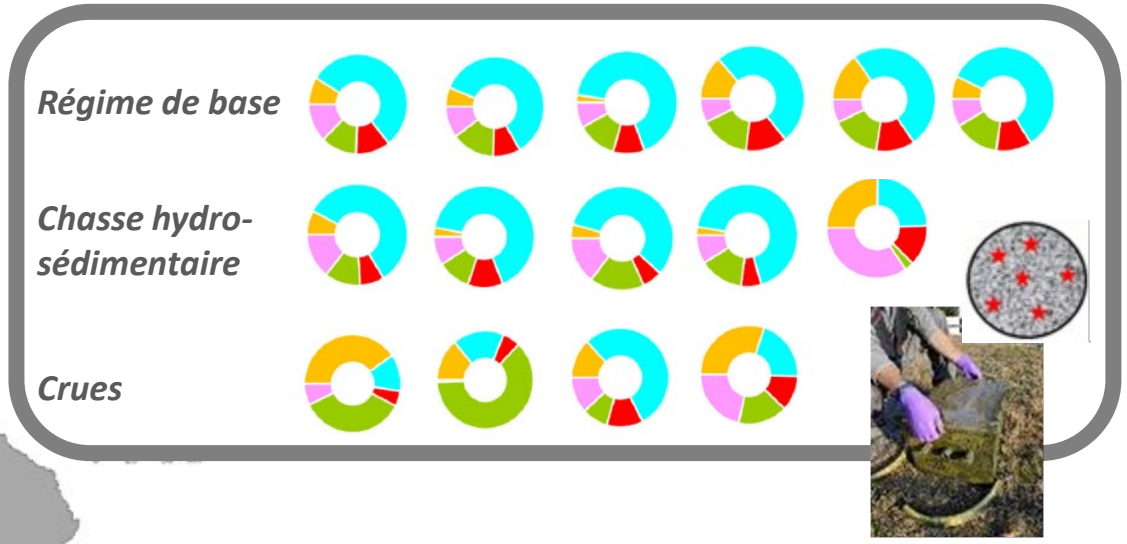
Complémentarité des résultats obtenus par traçage géochimique avec les modèles numériques

Spatial

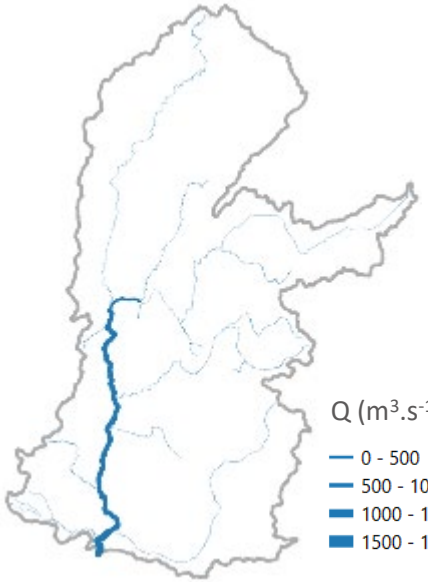
Modèle CASCADE (EVS)

- Simulation des apports des versants en MES au chenal
- Propagation prenant en compte les débits, la rétention des aménagements, la granulométrie (BDOH) et l'érosion

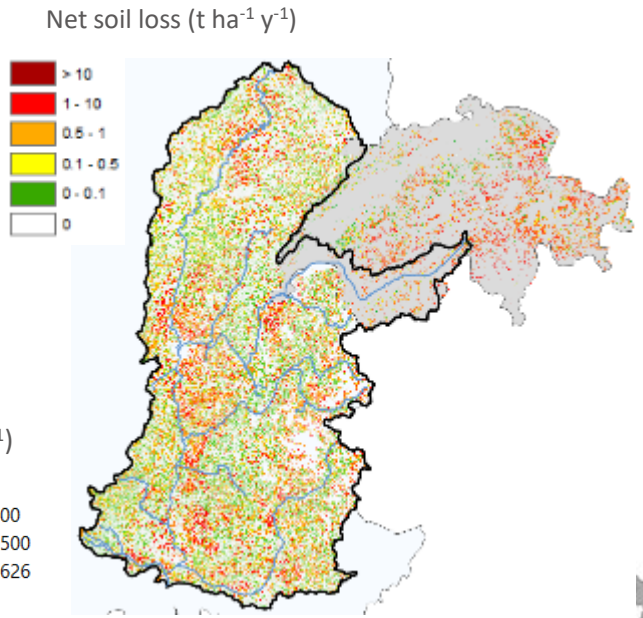
15 échantillons à Jons – Année 2012

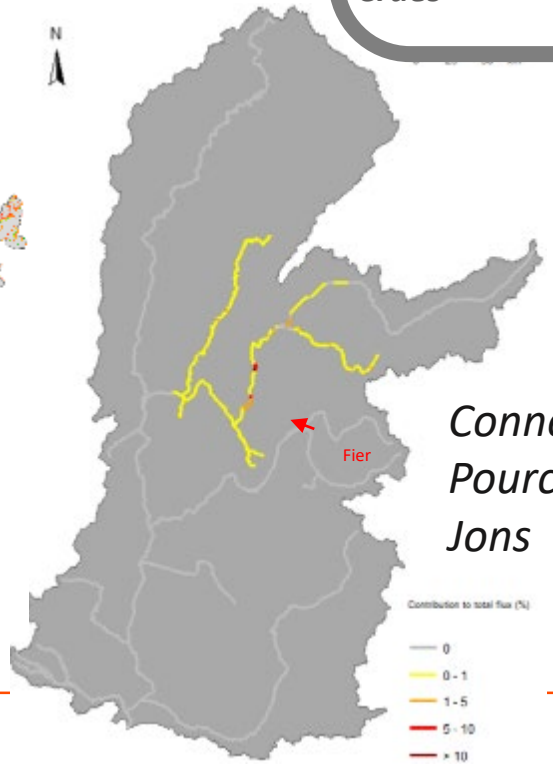


Débits
(Basé sur J2000-Rhône)

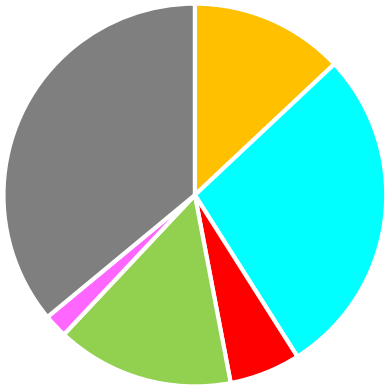


Erosion



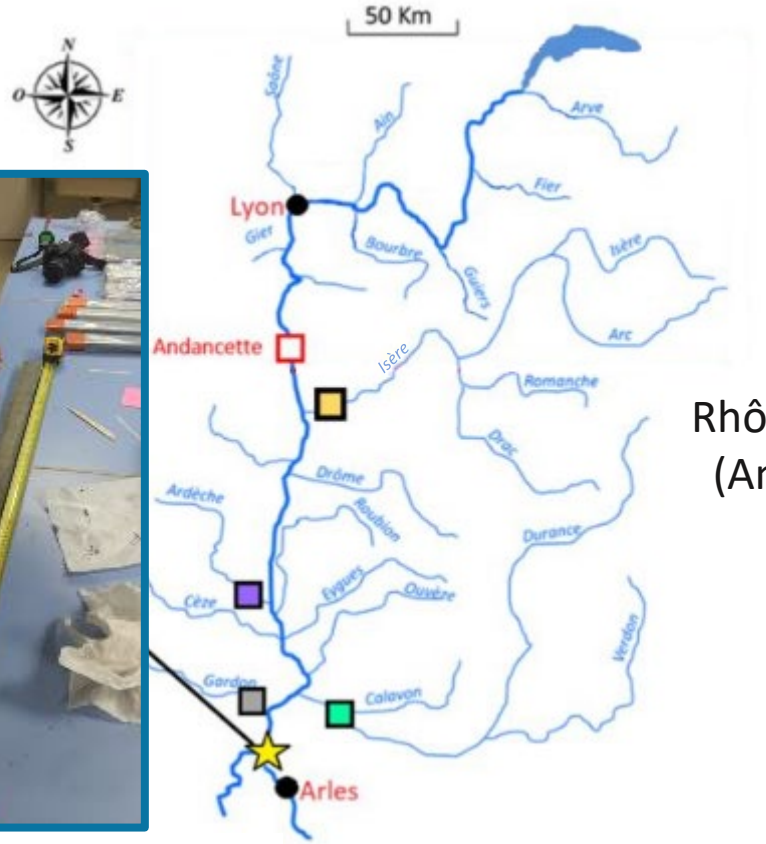


Connectivité à Jons (2010-2019)
Pourcentage du flux de MES à Jons



Détermination de l'historique des contributions des affluents aux flux de MES vers la Mer Méditerranée

Carotte de sédiments



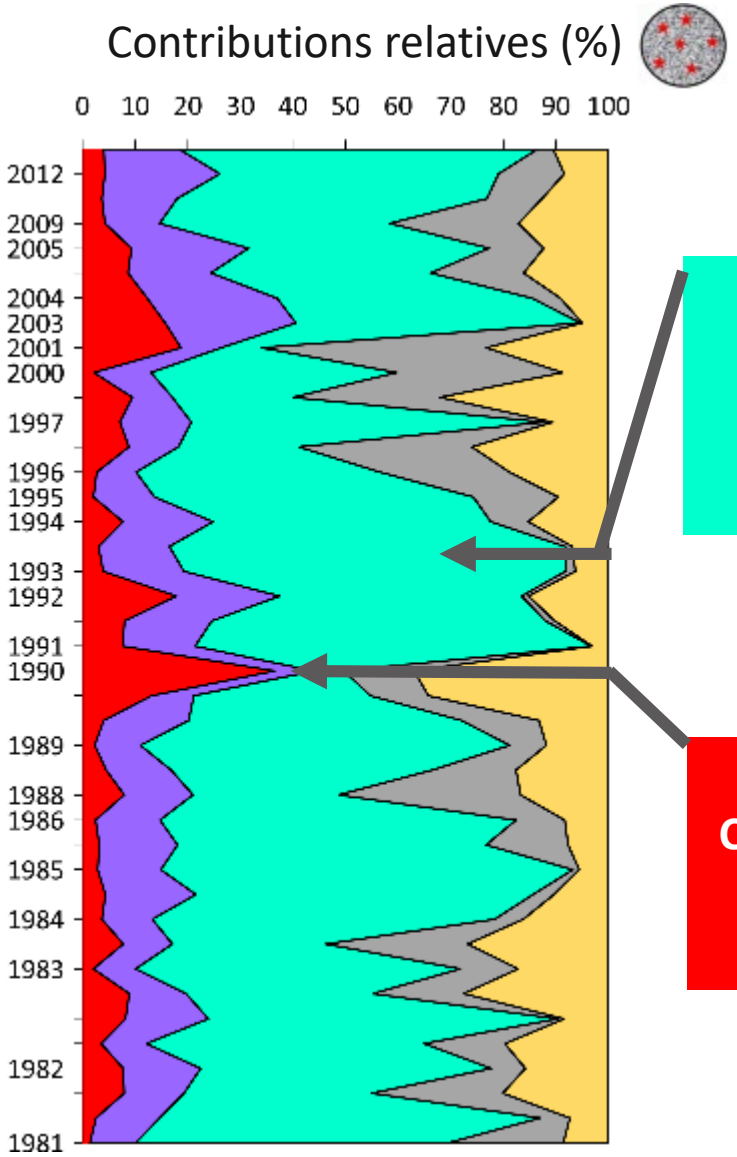
Rhône amont (Andancette)

Isère

Ardèche

Durance

Gardon

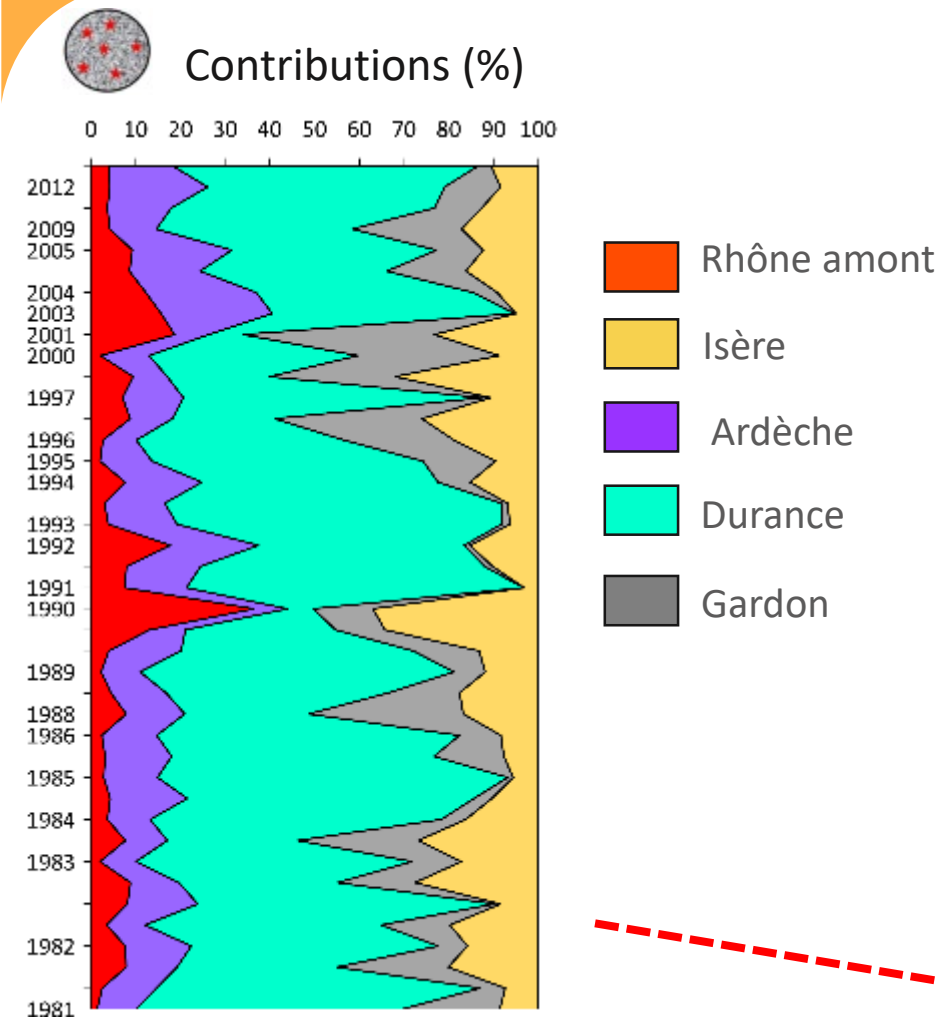


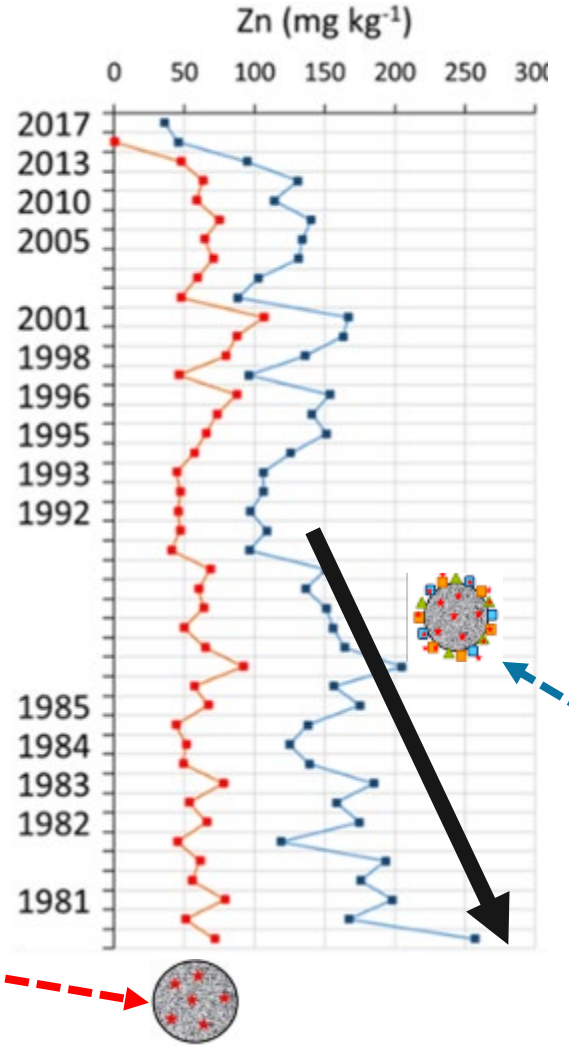
1993-94
Crue méditerranéenne extensive
Q= 3000 m³ s⁻¹

1990
Crue généralisée sur le Haut Rhône
Q= 2445 m³ s⁻¹

Bégorre et al., 2022, Geomorphology

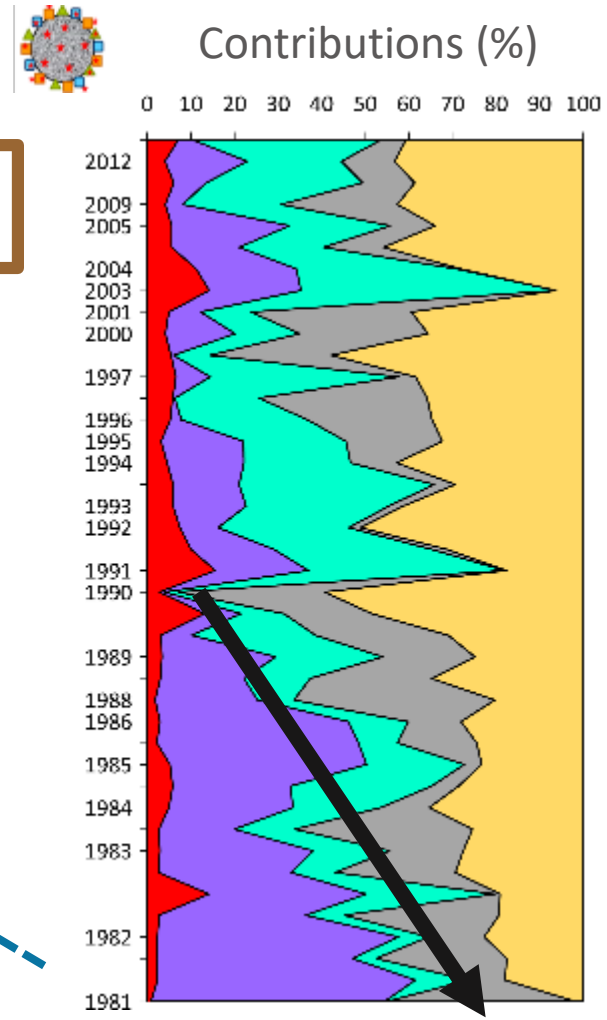
Détermination de l'historique des contributions des affluents aux flux de MES vers la Mer Méditerranée





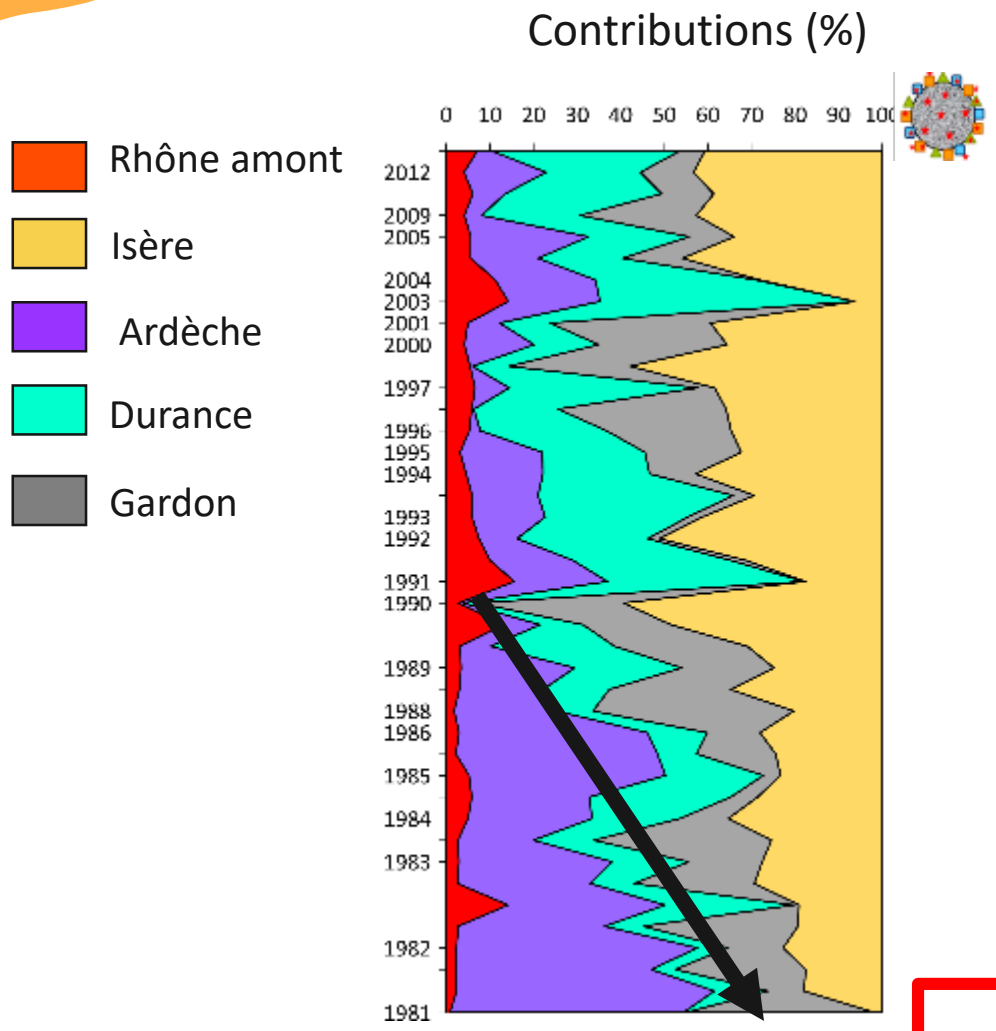
Traceurs sélectionnés

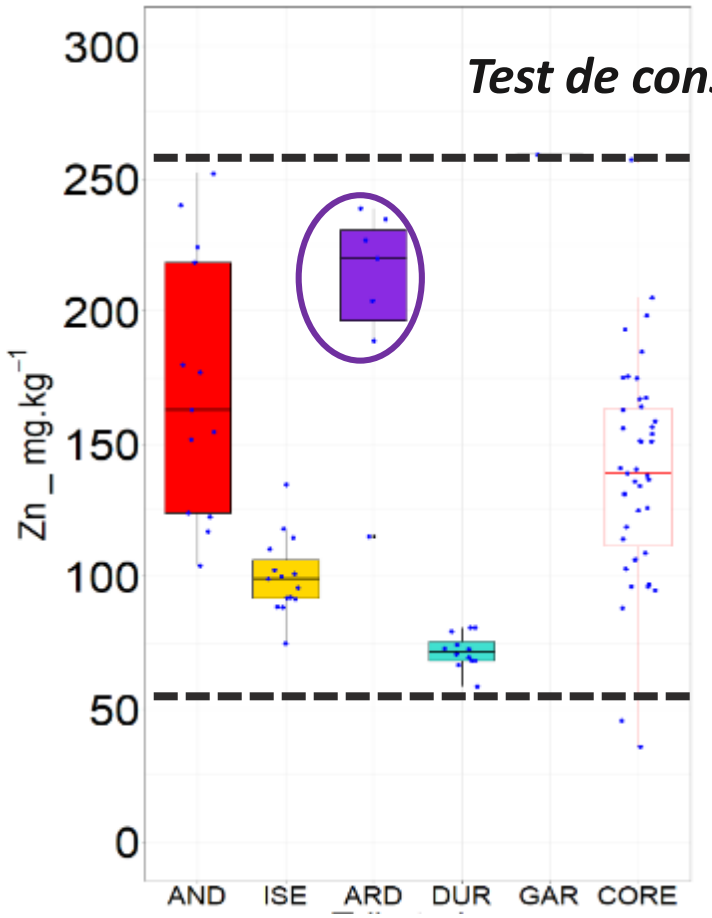
- Co
- Fe
- V
- Zn



Bégorre et al., 2022, Geomorphology

Détermination de l'historique des contributions des affluents aux flux de MES vers la Mer Méditerranée

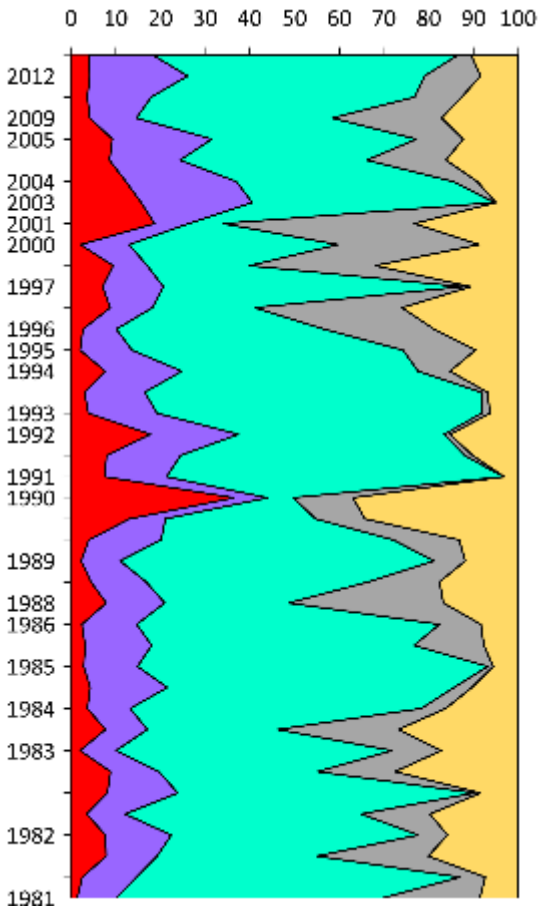


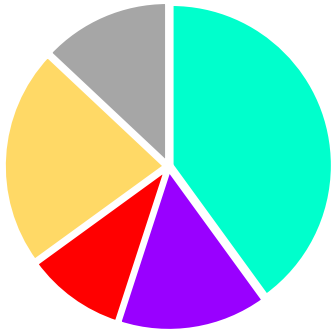


- Interprétation fausse si mauvaise méthode employée
- Importance de la méthode développée : traceurs dans la fraction résiduelle permet de corriger des apports historiques en métaux

Complémentarité des résultats obtenus par traçage géochimique avec les modèles numériques

Contributions (%)





Pourcentage des contributions (moyenne 1981-2015)

Rhône amont (Andancette)

Isère

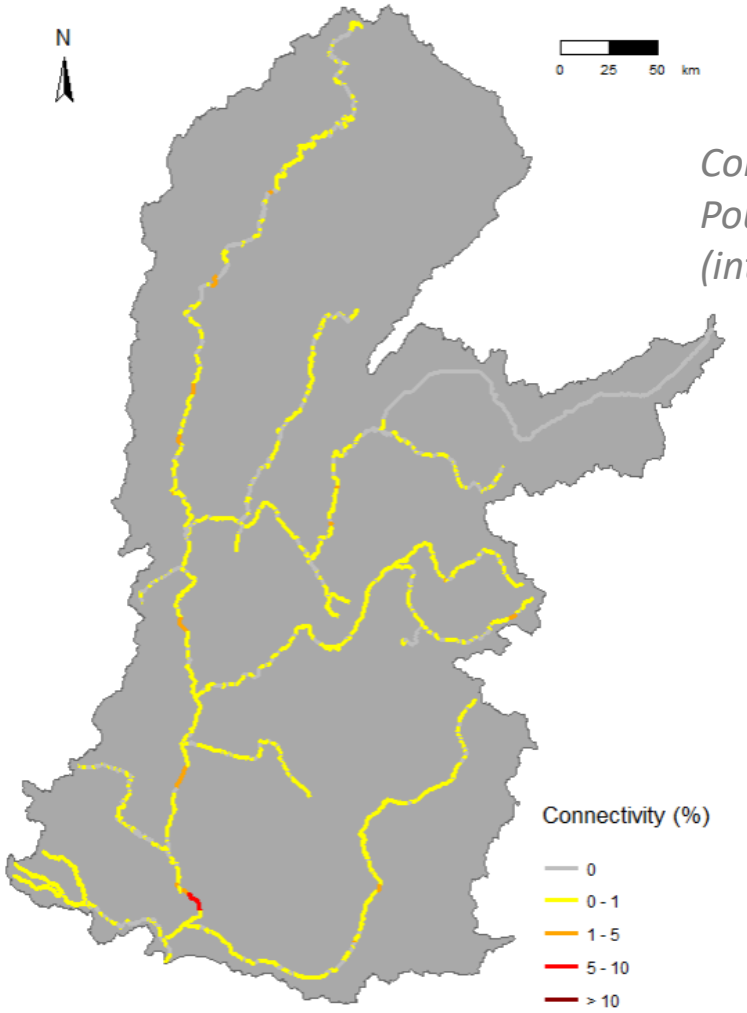
Ardèche

Durance

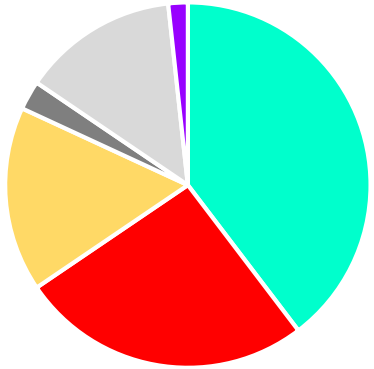
Gardon

Corridor Rhône + autres affluents

Connectivité à Beaucaire (Cascade)

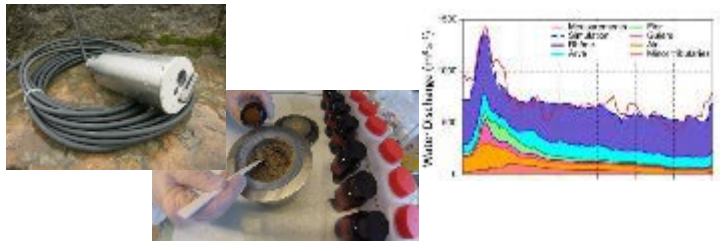


Connectivité à Beaucaire (2010-2019) Pourcentage du flux de MES (interannuel)



Conclusions et perspectives

Observatoire des Sédiments du Rhône



Performance et limites de l'identification des sources de MES

- Force du réseau « OSR » pour confronter 3 approches (réseau, modèles, fingerprinting)
- Puissance de l'approche de fingerprinting utilisant la fraction résiduelle : possible de déterminer les contributions relatives à l'échelle de l'évènement, pour des dépôts historiques et pour les sédiments du futur
- Utilisée seule, l'approche de fingerprinting ne permet pas d'estimer des quantités de flux de MES
- Suggère d'avoir un mélange homogène dans la zone cible de prélèvement

Validation et applications

- Nécessite de valider ce type d'approche par des mélanges en laboratoire ou des mélanges virtuels
- Pérenniser la comparaison avec les différents modèles développés (1D, CASCADE…)
- Revenir au but initial du fingerprinting : étudier les processus d'érosion (continuum sol-rivière)
- Application en lien avec l'évolution du fleuve : aménagements, restauration…

OSR6 et le futur

- Est-il possible de quantifier les MES liées à la production autochtone (blooms phytoplanctoniques) ou à la resuspension (radionucléides)?
- Est-il possible de quantifier les apports de MES liées aux apports des grandes agglomérations ?
- Croiser les sources de MES avec les sources/concentrations de contaminants

Observatoire
des Sédiments
du Rhône

Dispositifs scientifiques cadres

OHM VALLÉE DU RHÔNE

Zone Atelier LTSER FRANCE BASSIN DU RHÔNE

Partenaires techniques et financiers

Plan Rhône Saône

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

agence de l'eau RHÔNE MÉDITERRANÉE CORSE

CNR

EDF

RÉGION SUD PROVENCE ALPES CÔTE D'AZUR

La Région Auvergne-Rhône-Alpes

La Région Occitanie Pyrénées - Méditerranée

AVEC LE SOUTIEN DE L'UNION EUROPÉENNE

L'EUROPE S'ENGAGE pour le Rhône et la Saône avec le FEDER

UNION EUROPÉENNE