



Observatoire  
des Sédiments  
du Rhône

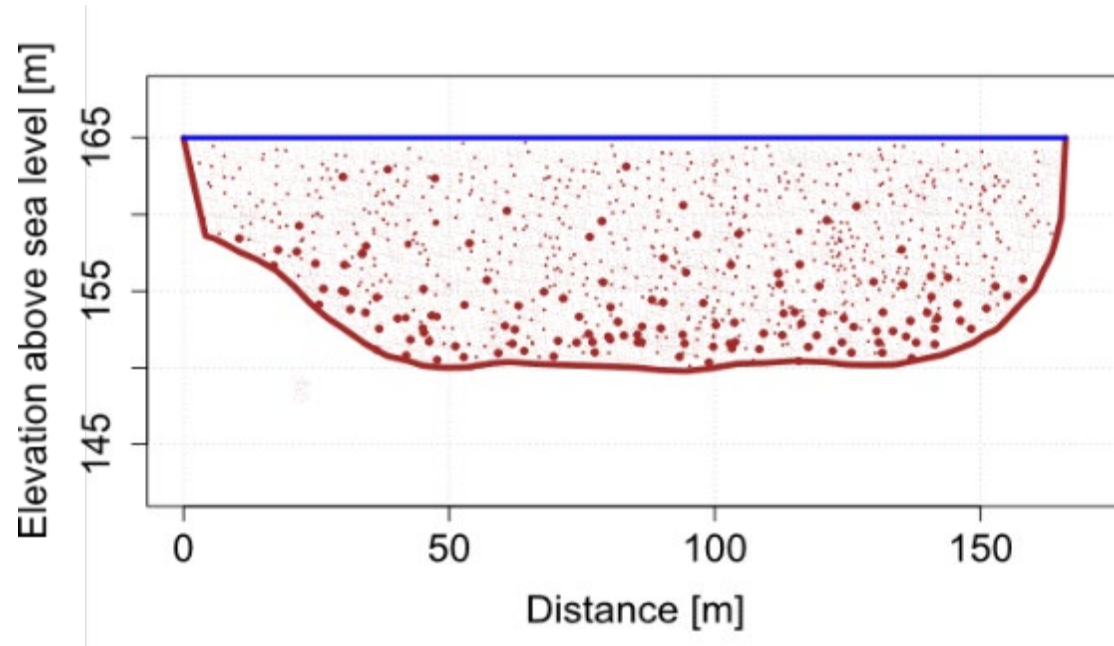
# Quels sont les volumes de sable transportés par le Rhône?

Benoît Camenen – INRAE-RiverLy | François Lauters – EDF-DTG

# Importance du suivi des flux de sable

Qu'est-ce qu'on entend par sable?

- Particules avec un diamètre entre 63  $\mu\text{m}$  et 2 mm



- La suspension fine (limons/argiles) ( $<63\mu\text{m}$ )
- La suspension graduée (sables/limons grossiers)
- La charge de fond (graviers/sables) ( $>2\text{mm}$ )

Information sur la dynamique du sable plus partielle que pour les graviers ou les très fines (argile et limons) du fait du manque de mesure

# Importance du suivi des flux de sable

Des enjeux pour l'équilibre des cours d'eau et du Rhône en particulier

- **Préservation des habitats, de la qualité des eaux**
- **Sécurité des installations de captage d'eau potable, d'ensembles industriels**
- **Protection contre les inondations**
- **Maintien de la capacité de stockage des retenues, entretien des voies navigables**



Des flux non-négligeables ...

- **Exemples des apports de l'Isère suite aux crues/chasses de 2015 et 2018**

... mais nécessaires

- **Apports à l'embouchure, maintien du trait de côte**

# La mesure des flux de sable

Mesures compliquées et lourdes à mettre en œuvre

- Forts gradients vertical et latéral des concentrations
- Nécessité d'explorer l'ensemble de la section de mesure
- Transport par charriage et suspension, potentiellement mélangés aux graviers

Voir Stand Technique - Mesures des sables et modélisation



# Apport de l'OSR sur le suivi des flux de sable

## Travail méthodologique

- **Proposition de méthodologies de mesure par prélèvement avec une estimation des incertitudes associées**
  - Thèse de G. Dramais (2019)
- **Développement de méthodes de mesures indirectes (acoustique)**
  - Thèses de S. Moore (2011), A. Vergne (2018)
  - Postdocs I. Sakho, M. Launay (analyse ADCP de Barcarin)

## De premières estimations de flux

- **Identification des principaux affluents contributeurs: Arve, Ain, Isère, Drôme (?)**
- **Evaluations de flux ponctuels ou évènementiels (crues, chasses)**

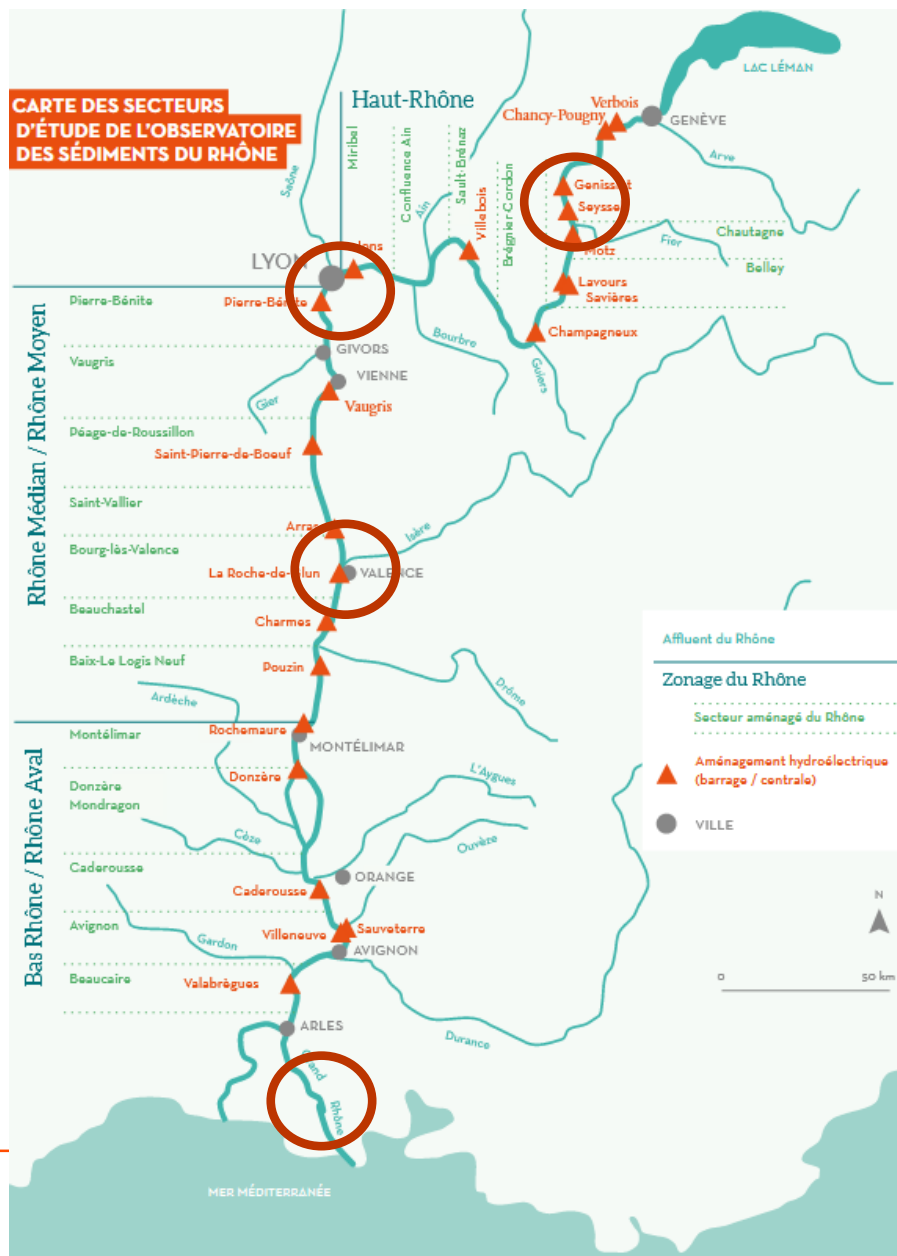
# Suivi des flux de sable sur le Rhône

## Mesures réalisées à Lyon (Perrache)

- Crue de janvier 2018

## Mesures réalisées à l'embouchure

- Mesures ADCP sur le bac de Barcarin (2010-2017)
- Campagnes de jaugeage solide (2012, 2016, 2021) à Port-Saint-Louis



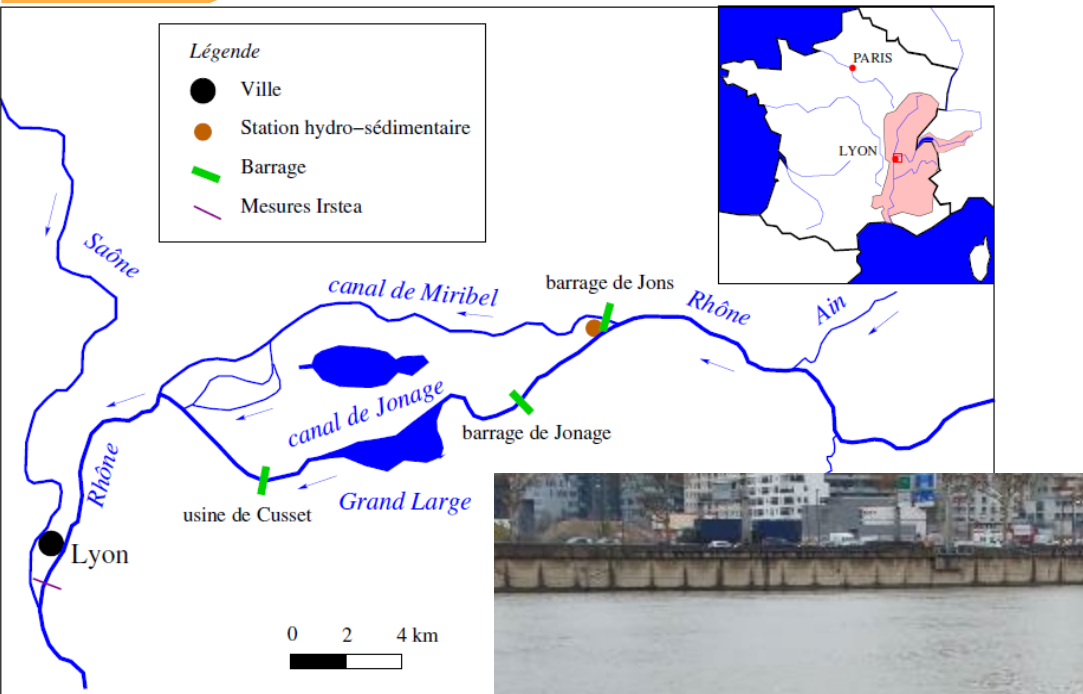
## Haut-Rhône: mesures réalisées autour de Génissiat lors des APAVER

- Mai 2016 / Mai 2021

## Mesures réalisées à la confluence Isère-Rhône

- Crues-chasses de juin 2015, janvier 2018 et janvier 2021

# Flux sur le Rhône à Lyon lors de la crue de 2018



Rhône à Perrache  
(décembre 2017)



## Mesures réalisées à Lyon (Perrache)

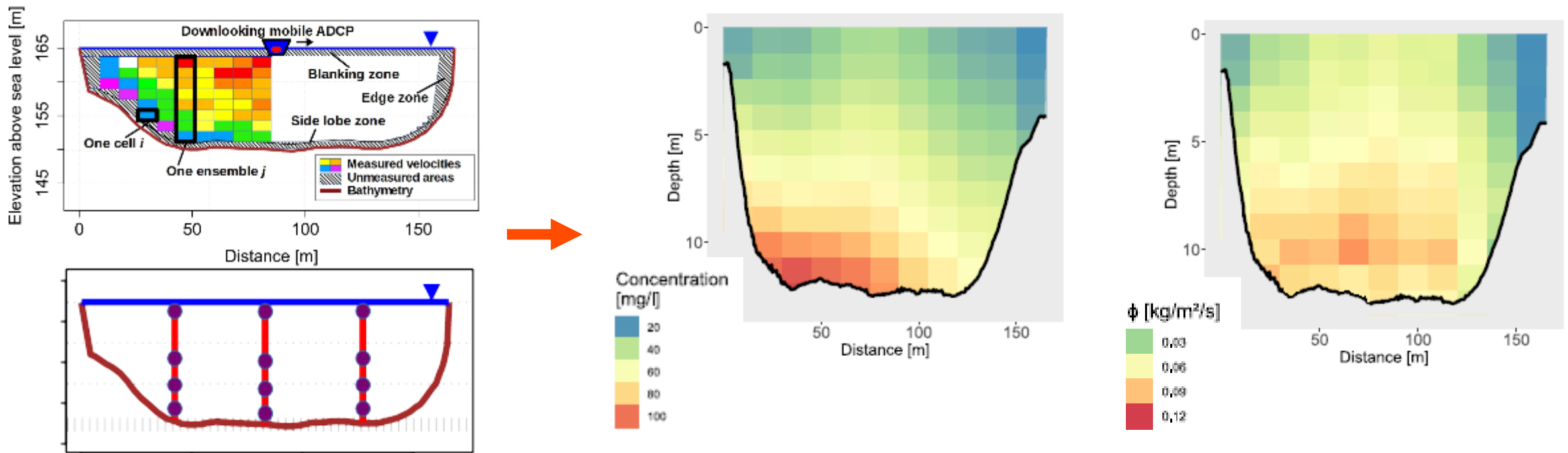
- Une dizaine de jaugeages solides pour des débits allant de 900 à 2700 m<sup>3</sup>/s

Date	Débit (m <sup>3</sup> /s)	Phase
13/12/2017	1500	oscillations de décrue
05/01/2018	2200	crue
05/01/2018	2300	crue
22/01/2018	2000	crue
23/01/2018	2500	crue
24/01/2018	2700	Plateau-amorce de décrue
25/01/2018	2100	décrue
12/06/2018	930	Plateau-montée lente
06/03/2020	1750	Pic de crue

# Flux sur le Rhône à Lyon lors de la crue de 2018

Mise en place d'une méthodologie de mesures des sables et leur dépouillement en combinant prélèvements et mesures ADCP (Dramais et al., 2019)

- Prélèvements ponctuels sur plusieurs verticales et jaugages ADCP
- Interpolation et extrapolation verticale et horizontale des vitesses et concentrations de sables sur la base de lois physiques

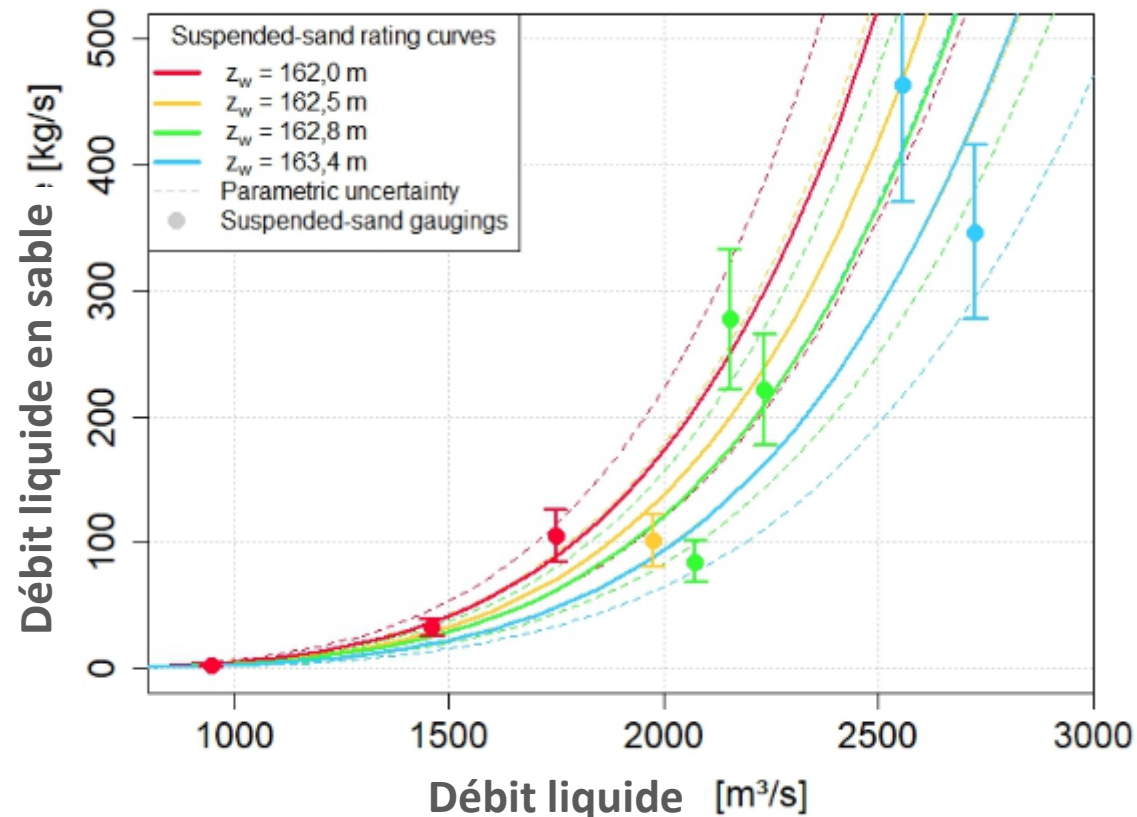




# Flux sur le Rhône à Lyon lors de la crue de 2018

Proposition d'une courbe de tarage sédimentaire avec incertitudes à Perrache (Dramais, 2020)

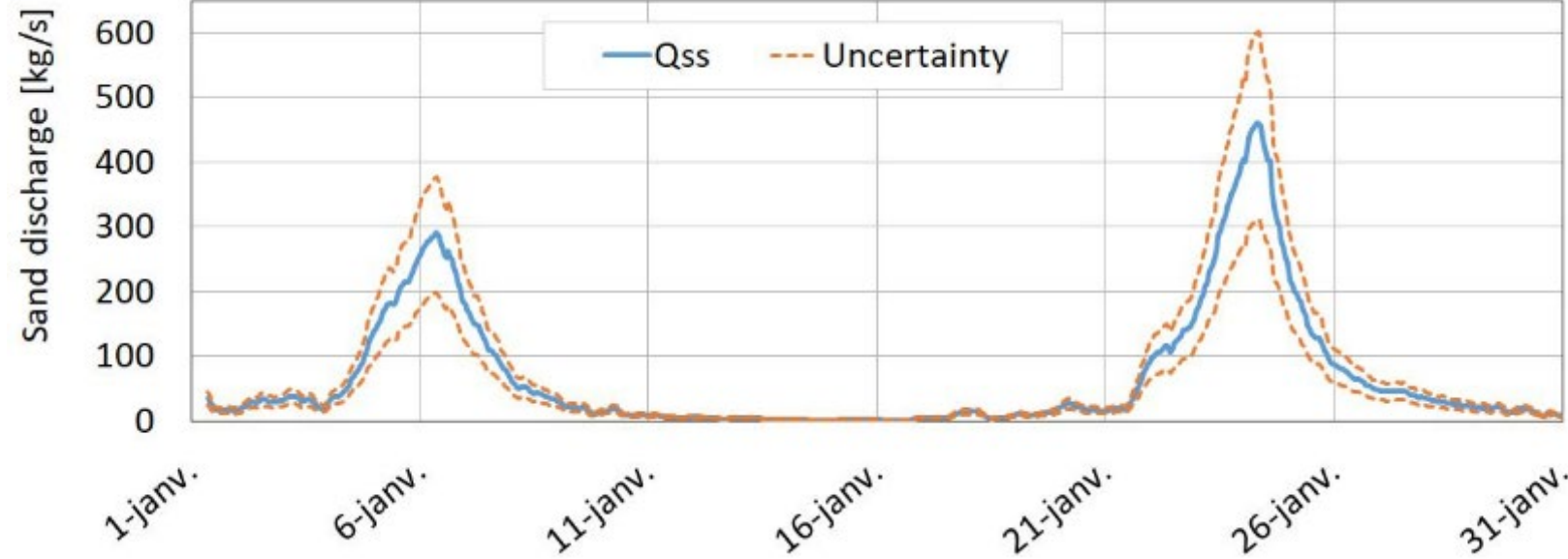
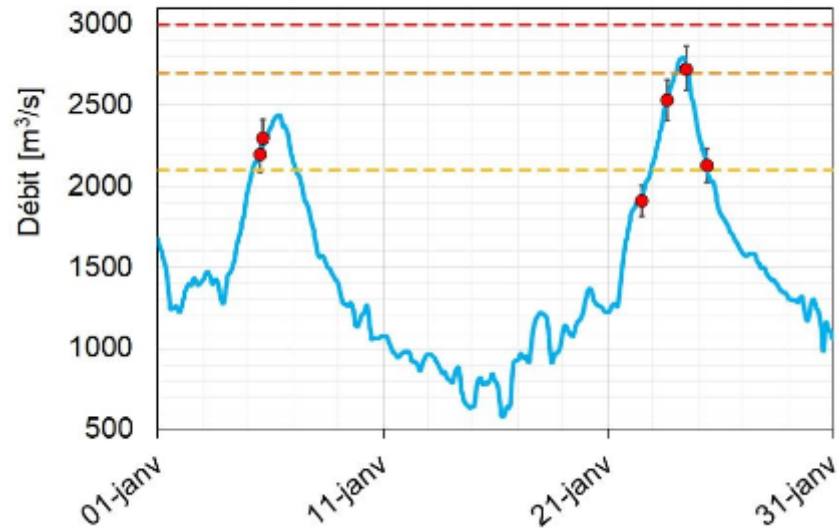
- Hydraulique influencée par le barrage de Pierre-Bénite
- Evaluation des incertitudes à partir du simulateur bayésien BaM! avec une formule de capacité



# Flux sur le Rhône à Lyon lors de la crue de 2018

- Propagation des incertitudes jusqu'aux bilans de flux (intervalle de confiance à 95%)

— Débit à Perrache — crue biennale — crue quinquennale — crue décennale

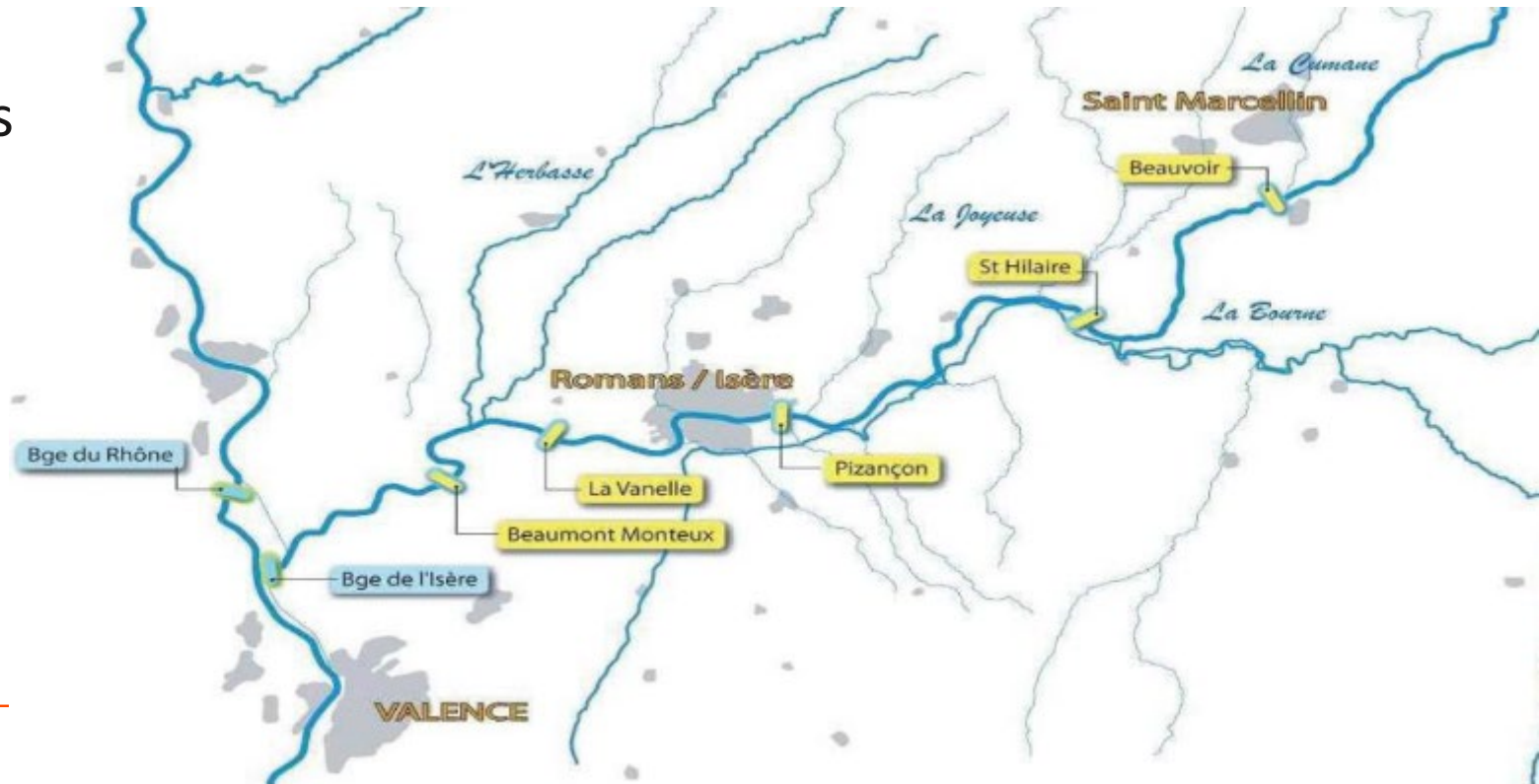


(Dramais, 2020)

- Bilan de flux de sable pour janvier 2018 : **0.175 Mt [0.120-0.226]**
- Sources des sables ? Miribel? Ain?

# Evaluation des apports de l'Isère au Rhône

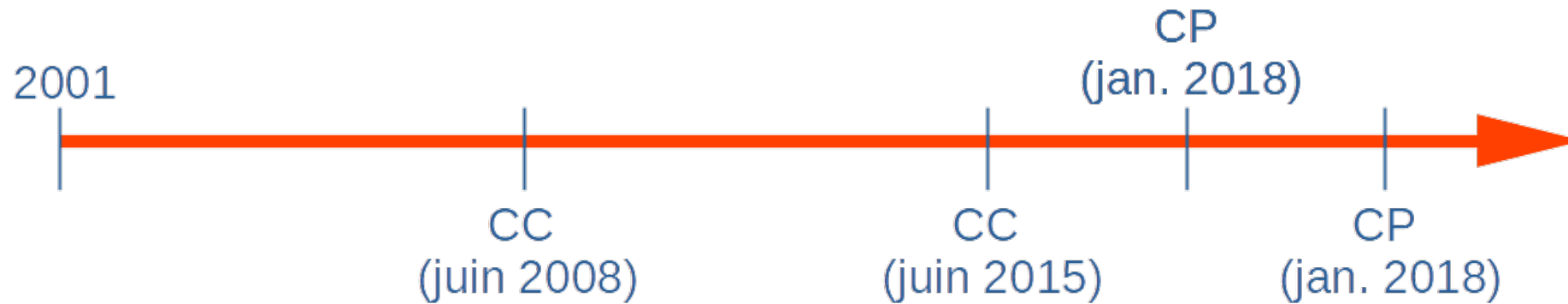
- Bassin versant de l'Isère fortement aménagé, avec notamment des ouvrages hydroélectriques structurant pour l'hydrologie et le transport solide
- 6 barrages entre Grenoble et la confluence, avec un transit des sables essentiellement lors des ouvertures de vannes (crues et chasses)
- Données sur les flux de sables imparfaites et acquises depuis les chasses de 2008



# Evaluation des apports de l'Isère au Rhône

- Evénements :

- Chasses **C**omplètes de 2008 et 2015 après 7 années sans chasse
- Chasses **P**artielles (sans Beauvoir) de 2018 et 2021



Arrêts navigation sur le Rhône dû aux dépôts de sable

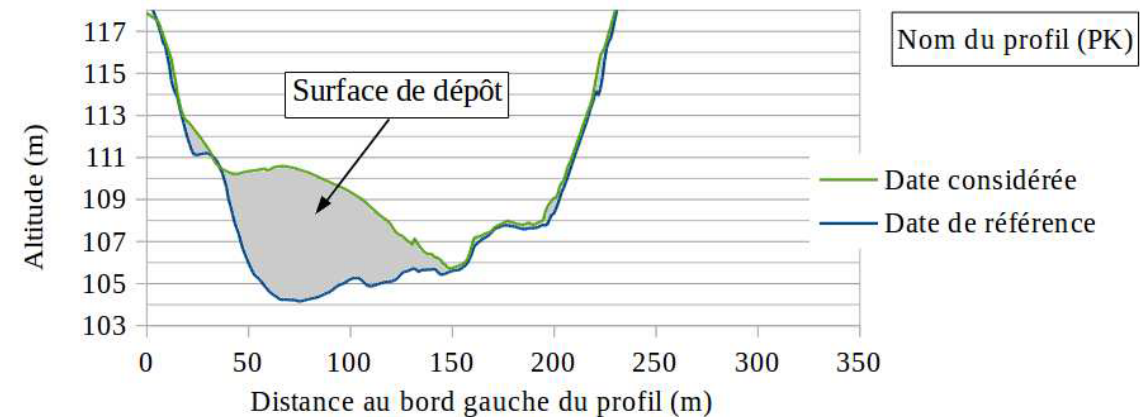
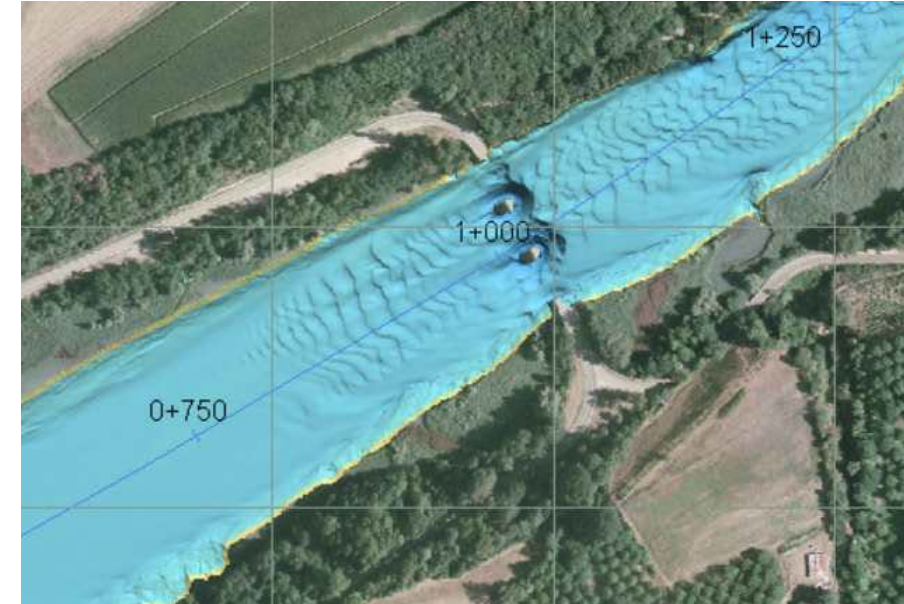
# Evaluation des apports de l'Isère au Rhône

## Données bathymétriques retenues

- Complètes post chasse 2008 et 2015
- Beauvoir et Pizançon post chasse 2021
- Volumes sédiments en place post chasse (2008 et 2015)
- Estimation part de sable post chasse (2021)

## Données bathymétriques Isère aval

- Avant et après chasses 2008, 2015, 2018 et 2021
- Volumes de sédiments déposés (sable) pendant la chasse



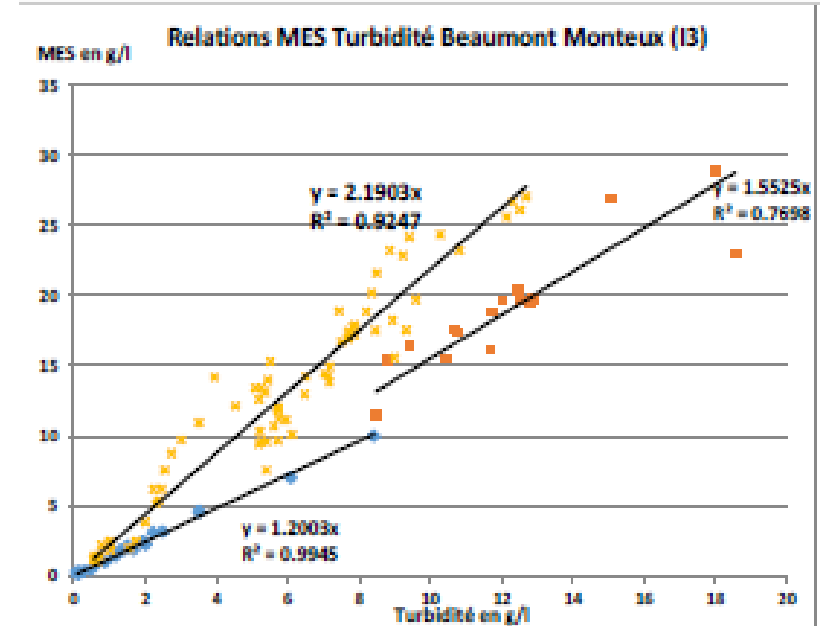
# Evaluation des apports de l'Isère au Rhône

## Données issues des mesures de turbidité

- Relation MES/Turbidité lors des suivis de flux de MES en aval des barrage (2015/ 2018/2021)
  - Dans les trois cas, au plus fort des flux, relation proche de 2
  - même proportion de sable ?

## Campagnes de jaugeages solides

- Estimation de flux solides ponctuels (2018, 2021) et totaux en combinant avec une modélisation



Site	Flux fines	Flux sables
Tullins	$0.1 \times 10^6$ t	0
Beaumont-Monteux (barrage)	$1.9 \times 10^6$ t	$1.7 \times 10^6$ t
Beaumont-Monteux (station turbidité)	$1.8 \times 10^6$ t	$1.1 \times 10^6$ t
Beaumont-Monteux (ISCO)	-	$1.5 \times 10^6$ t
Beaumont-Monteux (prélèvements + modèle)	-	$1.1 \times 10^6$ t
Pont vélo route (prélèvements + modèle)	-	$0.6 \times 10^6$ t
Rhône (barrages Isère et BLV)	$2.4 \times 10^6$ t	$0.7 \times 10^6$ t

# Evaluation des apports de l'Isère au Rhône

- Bilan sédimentaire

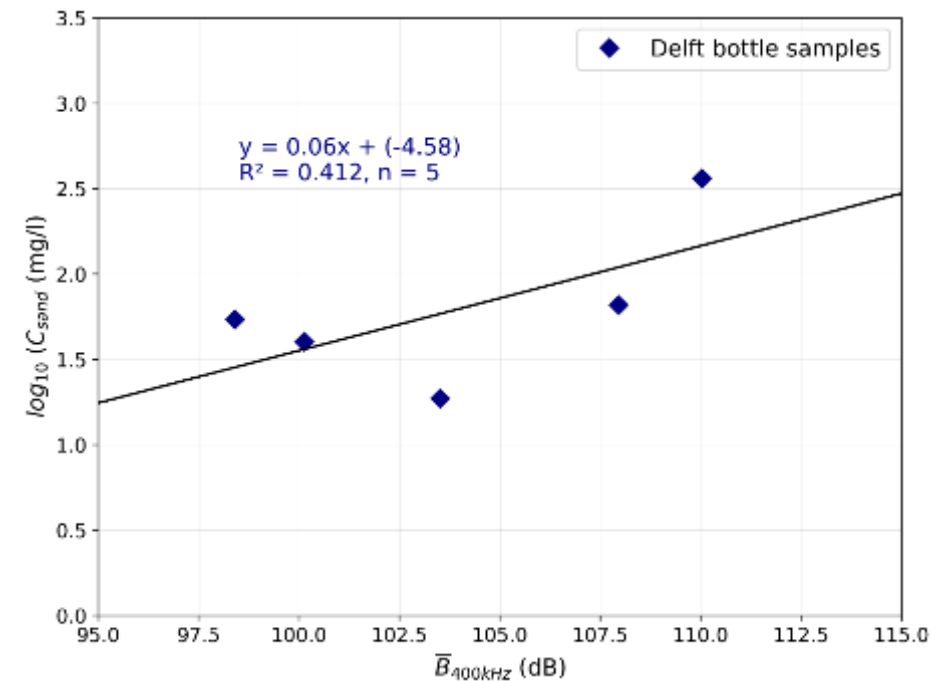
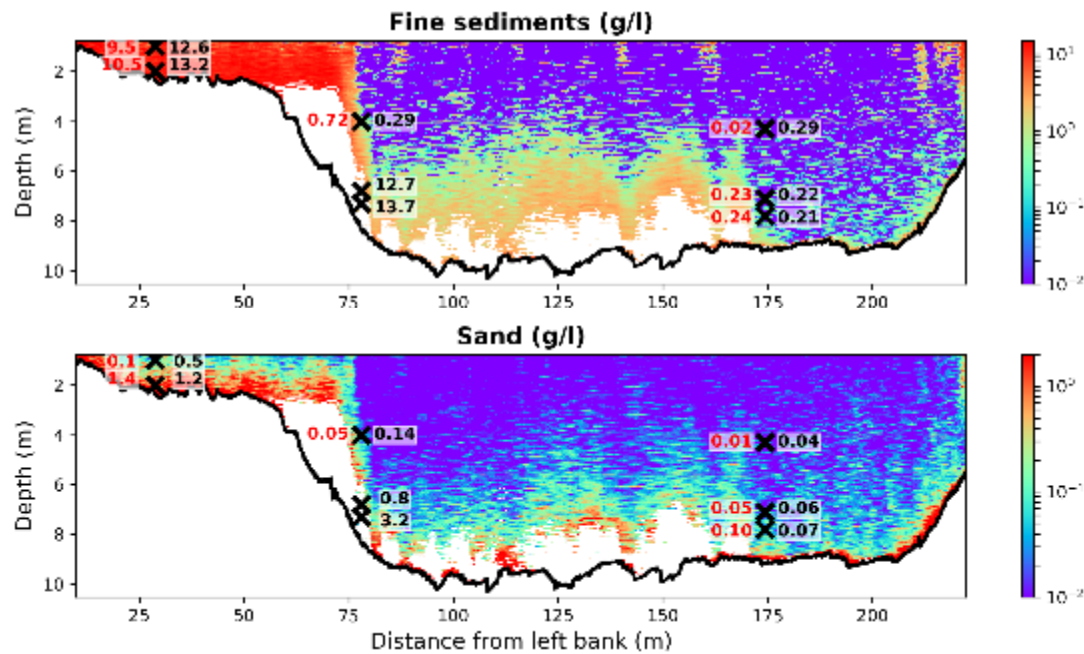
Evénement	Flux évacué (Mt)	Flux stocké (Mt)	Apport Isère (Mt)	Durée associée (année)	Flux annuel (Mt)
CC mai 2008	~5	0	~5	7	0,71
CC mai 2015	4,5	0	4,5	7	0,64
CP jan. 2018	0,7	1,8	4	5,6	0,71
CP jan. 2021	1,5				

- Flux moyen annuel des apports en sable de l'Isère (2008-2021) : 0,7 Mt
- Partiellement inclus dans le flux moyen en MES (estimé à Grenoble): 2 Mt
- Importance de cette connaissance pour les gestions des crues-chasses

# Conclusions et perspectives

Gros progrès méthodologiques sur la mesure des sables ces dix dernières années

- Jaugeages solides (thèse Guillaume Dramais, 2020)
- Méthodologies indirectes (concentration témoin, turbidimétrie, bilans bathymétriques)
- Acoustique (thèses d'Adrien Vergne, 2018 et Jessica Laible, 2020-2023)





# Conclusions et perspectives

Avec un transfert opérationnel

- **Logiciel pour le dépouillement des jaugeages solides basés sur des mesures ADCP et prélèvements**
  - méthode Dramais et al. (2019)
  - Codé en Python, basé sur MAP et QRevInt
- **Logiciel pour l'inversion acoustique à l'aide d'un Aquascap pour estimer les concentrations en sable et en fines**
  - Méthode Vergne et al. (2020)
  - Codé en Python; postdoc de B. Moudjed

Autre méthode pour évaluer le charriage de sable à l'embouchure: suivi de la dynamique des dunes de fond

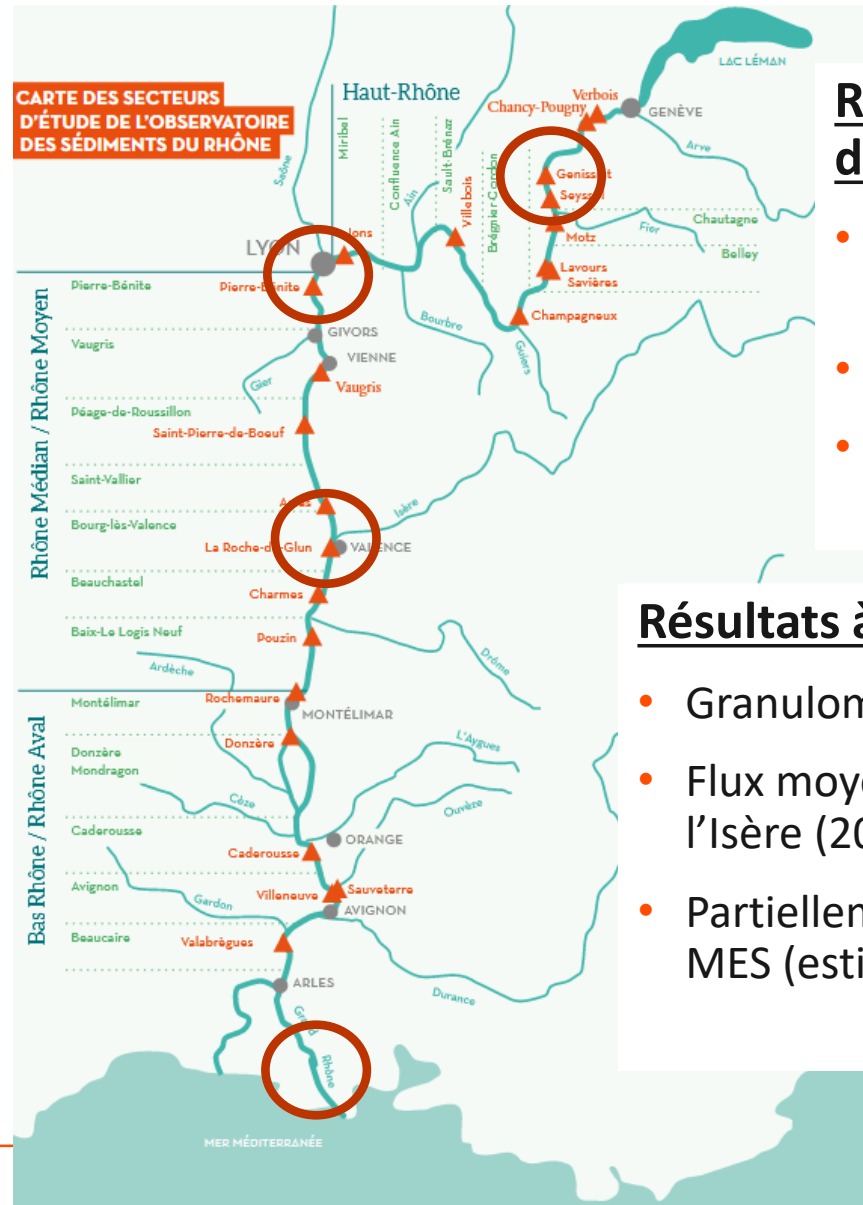
# Conclusions et perspectives

## Résultats à Lyon (Perrache)

- Granulométrie entre 0,15 et 0,2 mm
- Flux total de sable 0,175 Mt (soit 30% du flux MES) crue de janvier 2018

## Résultats à l'embouchure

- Exploitation difficile des mesures ADCP pour le sable
- Granulométrie ~0,1 mm: flux variant entre 10 et 500 kg/s selon les débits
- Estimations de Antonelli (2002) et Provensal et al (2014) entre 0,6 et 1,4 Mt à confirmer
- Bilan sédimentaire à l'embouchure négatif depuis les années 2000



## Résultats autour de Génissiat lors des APAVER

- Granulométrie proche de 0,1 mm (2016 et 2021)
- Flux variant entre 100 et 1000 kg/s
- Flux total de sable ~0,2 Mt, soit 10% du flux MES (mai 2021)

## Résultats à la confluence Isère-Rhône

- Granulométrie proche de 0,2 mm
- Flux moyen annuel des apports en sable de l'Isère (2008-2021) : 0,7 Mt
- Partiellement inclus dans le flux moyen en MES (estimé à Grenoble): 2 Mt

**Merci pour votre attention !**



Bateau Salmo rénové et équipé (financements OSR )  
opérationnel pour les jaugeages solides et le déploiement de nombreux instruments



Observatoire  
des Sédiments  
du Rhône

Dispositifs scientifiques cadres



Partenaires techniques et financiers



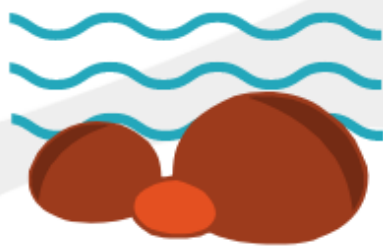
AVEC LE SOUTIEN DE L'UNION EUROPÉENNE



# STANDS TECHNIQUES

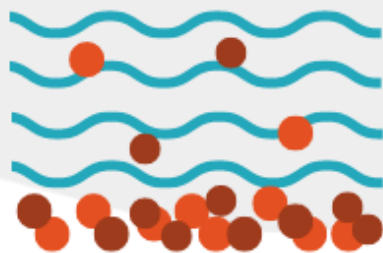


**PRENEZ EN MAIN LES OUTILS DE L'OSR !**



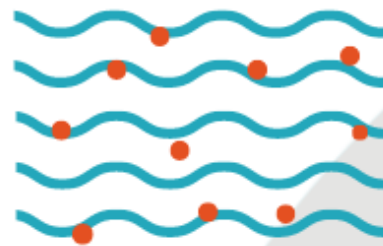
Suivis  
hydromorphologiques

== CNRS, INRAE



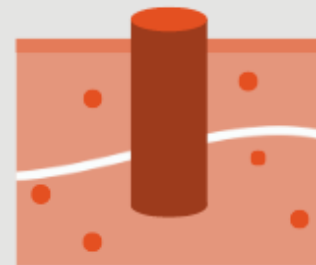
Mesures des  
sables

== INRAE



Mesure des flux de  
matières en suspension  
et contaminants

== INRAE, CEREGE,  
IRSN, IFREMER



Mesures  
sédimentologiques  
et géophysiques

== ENTPE