

# JOURNÉE DE L'OBSERVATOIRE DES SÉDIMENTS DU RHÔNE



ZABR



## L'observation des sédiments du Rhône

Enjeux opérationnels et acquis scientifiques

Jeudi 17 octobre 2013 – Espascaf, Lyon (69)



graie



Rhône-Alpes Région



---

# Sommaire

---

## **Avant-propos** ----- 3

## **Programme de la conférence**----- 4

## **Supports d'interventions** ----- 5

L'observatoire des sédiments, une plate-forme de recherche pluri-partenaire

Patrick Vauterin, *Délégué de bassin RMC*  
Olivier Radakovitch, *AMU, CEREGE UMR 7330* ----- 7

### ***Charge de fond et géométrie du chenal***

Expression des enjeux  
Sylvain Reynaud, *CNR* ----- 13

L'évolution historique du chenal  
Hervé Piégay, *UMR 5600, ENS Lyon* ----- 17

Les caractéristiques du fond du lit  
Michal Tal, *CEREGE, UMR 7330, Aix-Marseille Université*  
Benoit Camenen, *IRSTEA Lyon*----- 25

### ***Flux et réseaux de suivi***

Expression des enjeux  
Alain Poiré, *EDF*----- 35

La quantité et la qualité des matériaux qui transitent  
Jérôme Le Coz et Marina Coquery, *IRSTEA Lyon*----- 39

Le rôle des évènements extrêmes dans ce transit  
Christelle Antonelli, *IRSN*  
Hélène Angot, *IRSTEA Lyon* ----- 45

### ***Dynamiques des contaminants***

Expression des enjeux  
Eve Sivade, *Agence de l'Eau RMC*----- 53

Historique, zones contributrices et dynamique des polluants à l'échelle du fleuve : le cas des PCB  
Brice Mourier, *ENTPE, UMR 5023 LEHNA*----- 57

Dynamique spatiale des contaminants métalliques sur le Rhône  
Olivier Radakovitch, *CEREGE UMR 7330, Aix-Marseille Université* -- 63

### ***Sédimentation et lit majeur***

Expression des enjeux  
Sylvie Vigneron, *DREAL Rhône-Alpes* ----- 71

Les marges du Rhône, évolution historique du lit mineur et enjeux de restauration  
Guillaume Fantino, *UMR 5600, ENS Lyon*----- 75

Les apports à la mer en termes de sable  
François Sabatier, *CEREGE UMR 7330, Aix-Marseille Université*----- 85

---

# Avant Propos

---

## Contexte :

Comme l'eau et les substances dissoutes, les sédiments font partie des flux véhiculés par les cours d'eau, de leur source à la mer. Que ce soit les galets charriés par les crues ou les sables et limons transportés en suspension, ces sédiments sont alternativement déposés et repris au fil du Rhône. Ce dernier collecte les apports des Alpes et du Massif Central (avant de nourrir la Camargue et les côtes du Golfe du Lion).

Les sédiments sont les supports de la vie dans le lit fluvial et sur les berges ; ils sont le siège de mécanismes biochimiques. Ils fixent et « relarguent » des contaminants, lesquels participent à la pollution des eaux. Les sédiments sont une composante importante de l'hydrosystème. Leur évolution et donc leur gestion ont un impact essentiel sur l'équilibre du fleuve.

Une première journée d'échanges a permis, en 2005, de faire un point sur les acquis scientifiques et techniques sur la dynamique des sédiments du Rhône, d'identifier des points de connaissances importants sur lesquels se mobiliser, de révéler la nécessité pour les scientifiques et techniciens de partager les mêmes diagnostics sur l'état et la gestion des sédiments du Rhône. Pour répondre à ces questions, l'Observatoire des Sédiments du Rhône (OSR) a été mis en place en 2009.

Scientifiques et acteurs de cet observatoire proposent de vous faire part des connaissances acquises ces dernières années. Quelles sont les avancées réalisées dans le cadre de l'OSR depuis 2009 ? En quoi ces résultats sont utiles à une gestion durable du fleuve ?

## Objectifs de la journée :

- Diffuser les acquis de l'Observatoire des Sédiments du Rhône 4 ans après son démarrage.
- Identifier les enjeux de connaissances dans le cadre des politiques publiques en matière de sécurité des biens et des personnes et de qualité environnementale.
- Favoriser le dialogue entre les acteurs du corridor rhodanien.

## Public :

Cette journée s'adresse en premier lieu aux acteurs du bassin du Rhône : **collectivités locales et prestataires, bureaux d'études, partenaires institutionnels, scientifiques**. Elle intéressera également toute personne concernée par la gestion sédimentaire sur d'autres bassins.

---

# Programme

---

## 09h00 Accueil

### 09h30 Ouverture

#### **L'observatoire des sédiments, une plate-forme de recherche pluri-partenaire**

Patrick Vauterin, Délégué de bassin RMC  
Olivier Radakovitch, AMU, CEREGE UMR 7330

## CHARGE DE FOND ET GEOMETRIE DU CHENAL

### 10h00 Expression des enjeux

Sylvain Reynaud, CNR

### 10h10 L'évolution historique du chenal

Hervé Piégay, UMR 5600, ENS Lyon

### 10h40 Les caractéristiques du fond du lit

Michal Tal, CEREGE, UMR 7330, Aix-Marseille Université  
Benoit Camenen, IRSTEA Lyon

## FLUX ET RESEAUX DE SUIVI

### 11h10 Expression des enjeux

Alain Poirel, EDF

### 11h20 La quantité et la qualité des matériaux qui transitent

Jérôme Le Coz, IRSTEA Lyon  
Marina Coquery, IRSTEA Lyon

### 12h00 Le rôle des événements extrêmes dans ce transit

Christelle Antonelli, IRSN  
Hélène Angot, IRSTEA Lyon

## 12h45 Déjeuner

## DYNAMIQUES DES CONTAMINANTS

### 14h15 Expression des enjeux

Eve Sivade, Agence de l'Eau RMC

### 14h25 Historique, zones contributrices et dynamique des polluants à l'échelle du fleuve : le cas des PCB

Brice Mourier, ENTPE, UMR 5023 LEHNA

### 14h55 Dynamique spatiale des contaminants métalliques sur le Rhône

Olivier Radakovitch, CEREGE UMR 7330, Aix-Marseille Université

## 15h30 Pause

## SEDIMENTATION ET LIT MAJEUR

### 16h00 Expression des enjeux

Sylvie Vigneron, DREAL Rhône-Alpes

### 16h10 Les marges du Rhône, évolution historique du lit mineur et enjeux de restauration

Guillaume Fantino, UMR 5600, ENS Lyon

### 16h40 Les apports à la mer en termes de sable

François Sabatier, CEREGE UMR 7330, Aix-Marseille Université

### 17h15 Conclusions

## 17h30 Fin de la journée

---

# **SUPPORTS D'INTERVENTIONS**

---



## **L'observatoire des sédiments, une plate-forme de recherche pluri-partenariale**

---

Patrick Vauterin, Délégué de bassin RMC  
Olivier Radakovitch, AMU, CEREGE UMR 7330

# Bilan et acquis scientifiques de l'Observatoire des Sédiments du Rhône (2010-2013)

Journée de restitution : 17 Octobre 2013



## Qu'est ce que l'OSR?

Un programme de recherche pluridisciplinaire (géographie, géomorphologie, hydrologie, géochimie) basé sur un système d'observation à long terme (~10 ans)

## Pourquoi l'OSR ?

Constat d'un déficit de connaissances actualisées sur les dynamiques sédimentaires du fleuve

Zone d'étude : Ensemble des compartiments de l'hydrosystème rhodanien (chenal, îlons, delta, lit majeur)



## Objectif des 2 premiers programmes d'action :

Après une phase de lancement (2009), un programme pluriannuel (2010-2013) décliné en 12 actions pour dresser un état des lieux général

## Qu'est ce que l'OSR?

Un programme de recherche pluridisciplinaire (géographie, géomorphologie, hydrologie, géochimie) basé sur un système d'observation à long terme (~10 ans)

## Pourquoi l'OSR ?

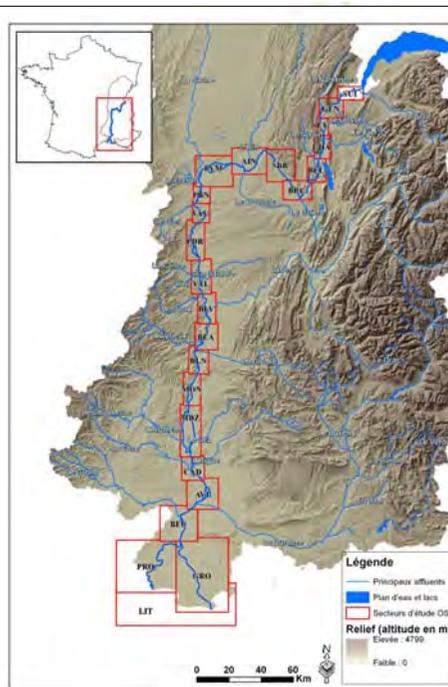
Constat d'un déficit de connaissances actualisées sur les dynamiques sédimentaires du fleuve

Zone d'étude : Ensemble des compartiments de l'hydrosystème rhodanien (chenal, îlons, delta, lit majeur)



## Objectif des 2 premiers programmes d'action :

Après une phase de lancement (2009), un programme pluriannuel (2010-2013) décliné en 12 actions pour dresser un état des lieux général



## Co-construction gestionnaires/scientifiques

### OBJECTIFS DE CONNAISSANCES

- Impacts des ruptures de la continuité sédimentaire sur le transit et l'évolution du trait de côte
- Evolution du chenal et lien avec les inondations
- Lien entre forme sédimentaire et habitat écologique
- Connaitre les flux sédiment/polluant à la mer et la contribution des sous bassins versants
- Comprendre l'impact de certaines pratiques et les minimiser

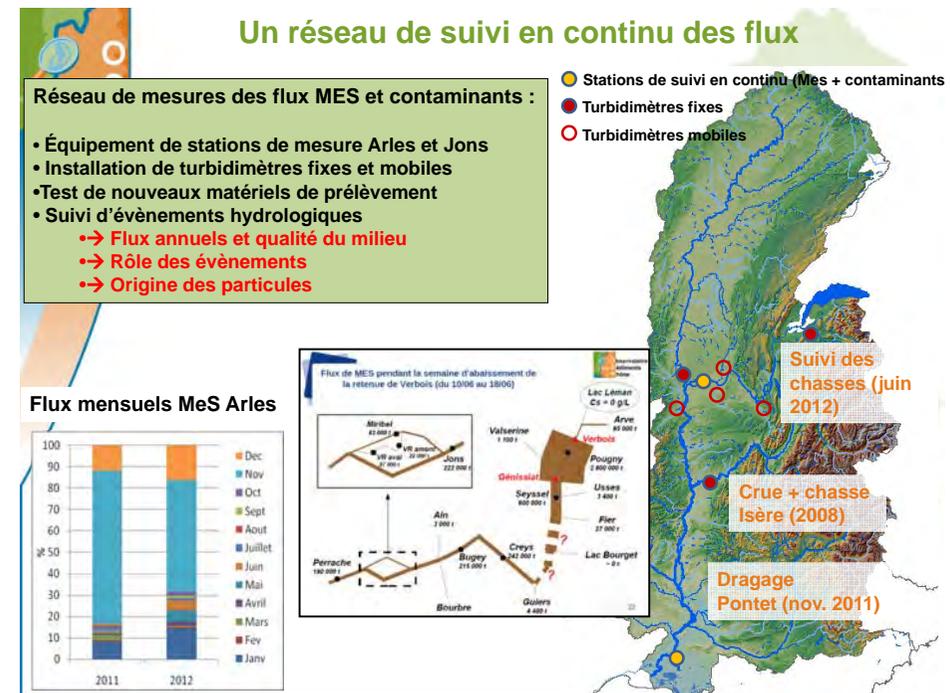
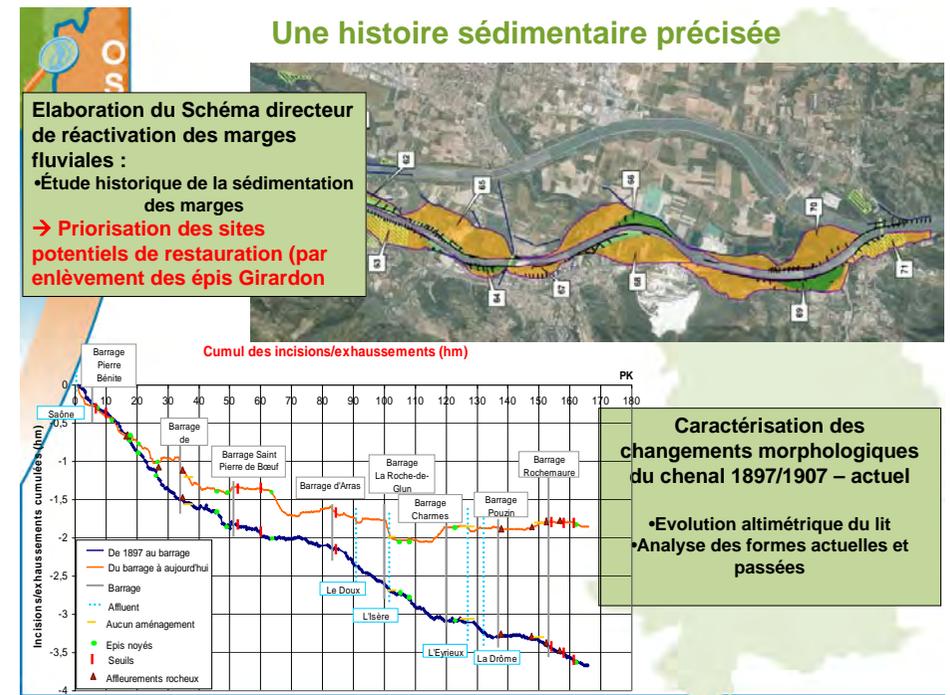
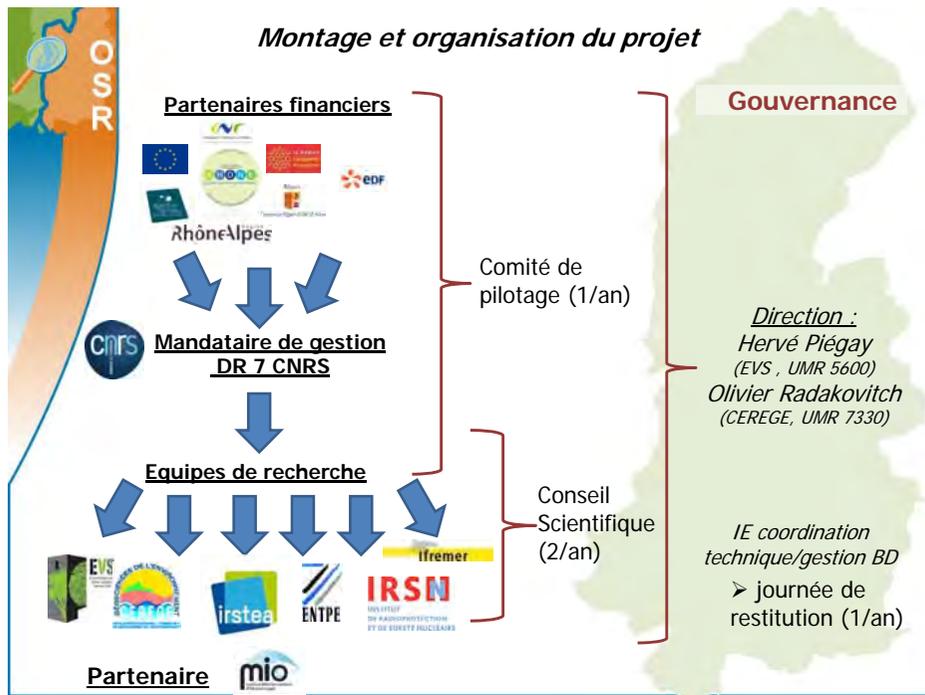
### MÉTHODES PROPOSÉES

- Quantifier le transfert de sédiments et des polluants associés
- Évaluer les conséquences hydrologiques et hydrauliques de l'histoire sédimentaire
- Caler un modèle hydrodynamique avec transport et dépôt
- Comprendre et caractériser la répartition des polluants hydrophobes et leur remobilisation
- Analyser les effets du changement climatique sur les dynamiques fluvio-sédimentaires et l'interface fleuve/mer

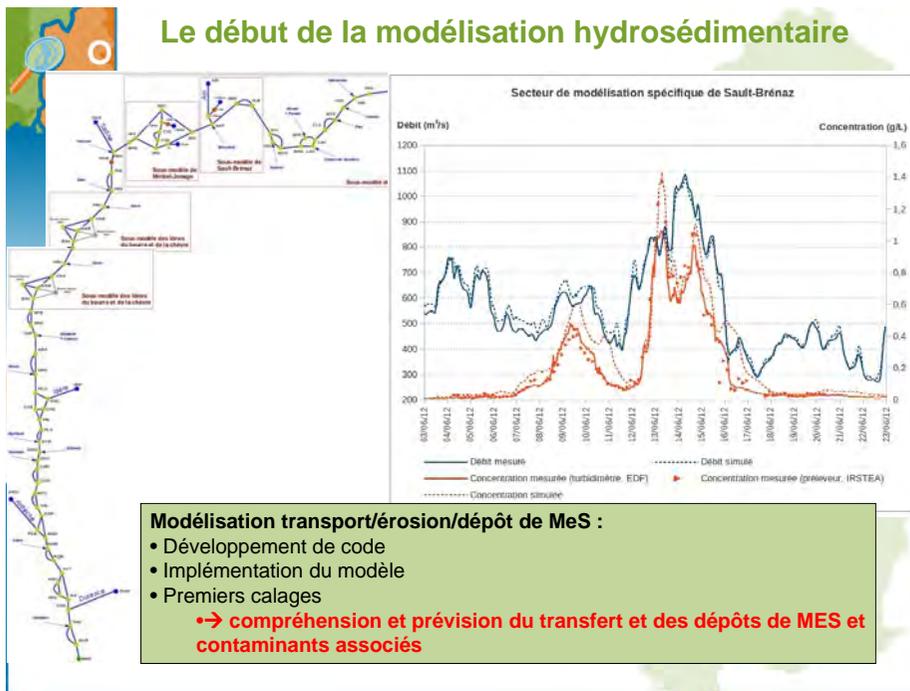
Centraliser et archiver les connaissances

Créer des bases de données et outils web





## Le début de la modélisation hydrosédimentaire



**Modélisation transport/érosion/dépôt de MeS :**

- Développement de code
- Implémentation du modèle
- Premiers calages

→ **compréhension et prévision du transfert et des dépôts de MES et contaminants associés**

## Mise en place d'outils numériques et communication

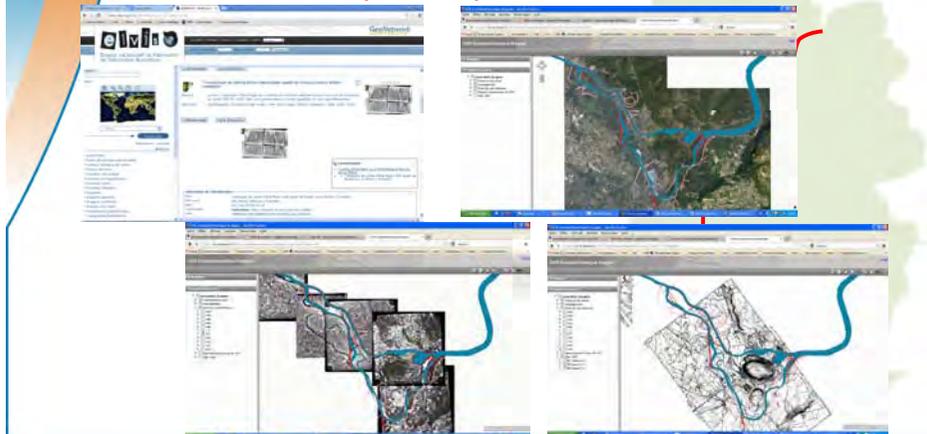
**Constitution d'une base de données géographiques et développement d'outils de recherche/visualisation :**

- Catalogage des métadonnées
- Diffusion des couches d'informations géographiques

**Valorisation / Communication :**

- Site web et publication des résultats
- Organisation de journées d'information / restitution

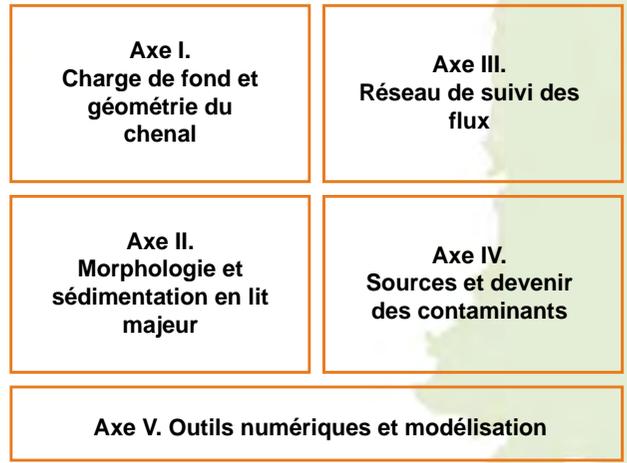
→ **Bancarisation données, capitalisation connaissance**  
 → **Mise à disposition des partenaires OSR**



## Propositions pour le futur

Besoins : • faciliter la transversalité entre actions, les échanges  
 • simplifier la vision externe

**12 ACTIONS** → **5 AXES**



## Merci de votre attention

**Direction Scientifique : H. Piégay, O. Radakovitch**

**EVS :** H. Piégay, J.P. Bravard, E. Parrot, P. Gaydou, G. Fantino, L. Bultingaire

**CEREGE :** O. Radakovitch, F. Sabatier, D. Sabatier, S. Gairoard, M. Tal, I. Sakko

**Irstea Lyon :** J. Le Coz, M. Coquery, M. Launay, H. Angot, B. Camenen

**ENTPE :** B. Mourier, J.P. Bedell, Y. Perrodin, G. Roux

**IRSN :** F. Eyrolle-Boyer, C. Antonelli, M. Zebracki

**IFREMER :** D. Cossa



# **CHARGE DE FOND ET GEOMETRIE DU CHENAL**

---



## **Expression des enjeux**

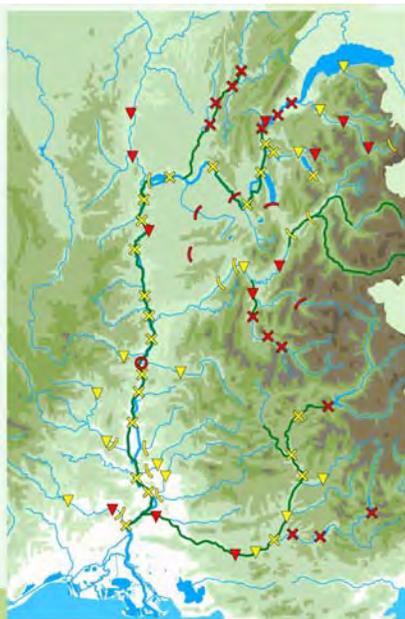
---

Sylvain Reynaud, CNR



## Apports des affluents très fortement réduits

Les grands réservoirs (Serre Ponçon sur la Durance, retenues du Drac, de l'Ain et du Verdon) réduisent les apports de limons au Rhône. Les aménagements hydroélectriques sur l'Arve, le Fier, l'Ain, l'Isère et la Durance et les souilles profondes dans le lit dus aux extractions constituent des pièges durables au transport des graviers et galets.

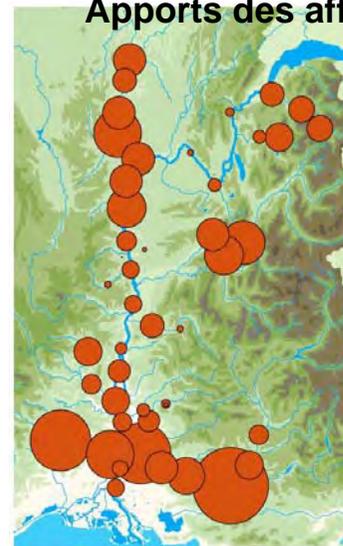


## Extractions et barrages

### Interruption du transport solide sur le bassin versant

- Barrage effaçable généralement sans assurer le transit
- Barrage non effaçable
- Interruption naturelle
- Piégeage à l'arrivée au Rhône
- Réduction naturelle
- Souilles profondes très fort abaissement
- Réduction par fort abaissement
- Tronc à hydrologie réduite

## Apports des affluents très fortement réduits



Les volumes extraits (période 1960 - 2000)

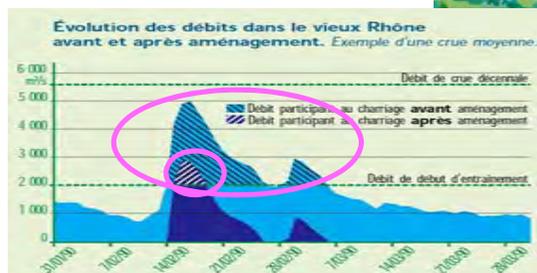
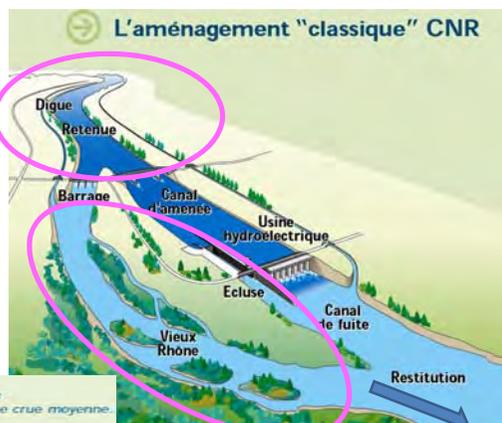


Les anciennes fosses d'extraction sont de véritables pièges à graviers qui interrompent durablement le transit résiduel sur le Rhône

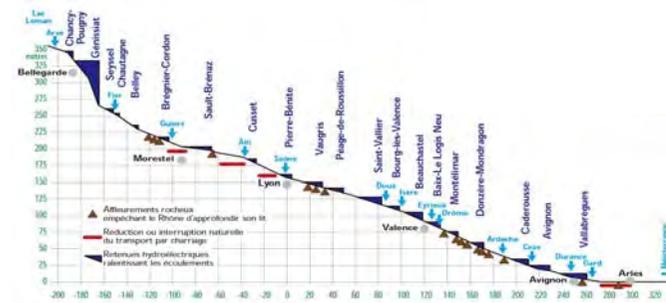
Les anciens sites d'extractions constituent des pièges durables pour le transit des graviers



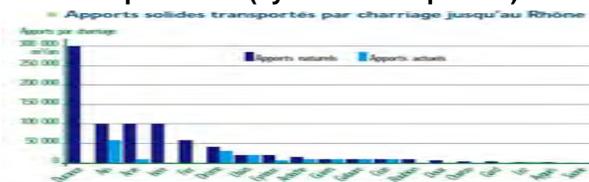
## Transit des graviers dans les retenues fortement limité par une pente motrice réduite



Débits dans le vieux Rhône ne permettent plus aussi fréquemment le transport par charriage de matériaux arrivant encore de l'amont



Avec cette dynamique fluviale actuelle presque à l'arrêt, le Rhône présente aujourd'hui un profil en long qui n'a que peu évolué depuis 1950 (système en équilibre)



Le Rhône donne l'image d'un système figé en équilibre qui n'a pas connu d'évolutions significatives liées au transit de graviers depuis ces dernières décennies

## Les enjeux de l'OSR pour la CNR

1. Une meilleure connaissance des flux de sédiments fins (sables, limons), pour une meilleure gestion des chasses sur le Haut Rhône et l'Isère
2. Quels sont les tronçons qui peuvent faire l'objet d'une réinjection de sédiments grossiers (graviers/galets) et ceux où il ne faut surtout pas faire de réinjection
3. Quelle dynamique de reprise des sables et limons bloqués sur les marges alluviales, une fois les épis Girardon démantelés?

## I-Charge de fond et géométrie du chenal: questions posées à l'OSR

- Quelle a été l'évolution du lit du fleuve au cours du dernier siècle? Quelles en sont les conséquences actuelles en termes de risques et de potentiel d'habitat? Quelles sont les caractéristiques des sédiments constituant le fond du chenal? Ces sédiments sont-ils mobiles, constituent-ils un substrat propice en termes d'habitats?
- Quelles quantités de matériaux transitent annuellement dans le Rhône? Quels sont les affluents participant le plus au transport solide?
- Les sédiments vont-ils jusqu'à la mer? Quels sont les impacts des aménagements du fleuve sur le transit des sédiments?

# **L'évolution historique du chenal**

---

Hervé Piégay, UMR 5600, ENS Lyon



# L'évolution historique de la géométrie du chenal

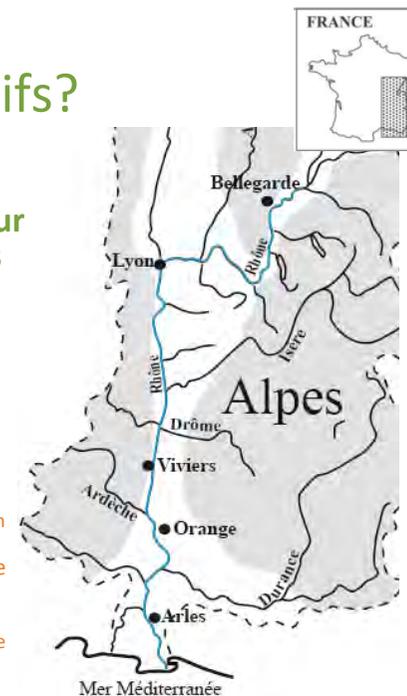
E. Parrot, H. Piégay, M. Tal,

Avec la participation de :  
 J. Ambert, G. Fantino, J. Fleury,  
 L. Mathieu, G. Raccasi, L. Reboul, T. Troussier, L. Vaudor,

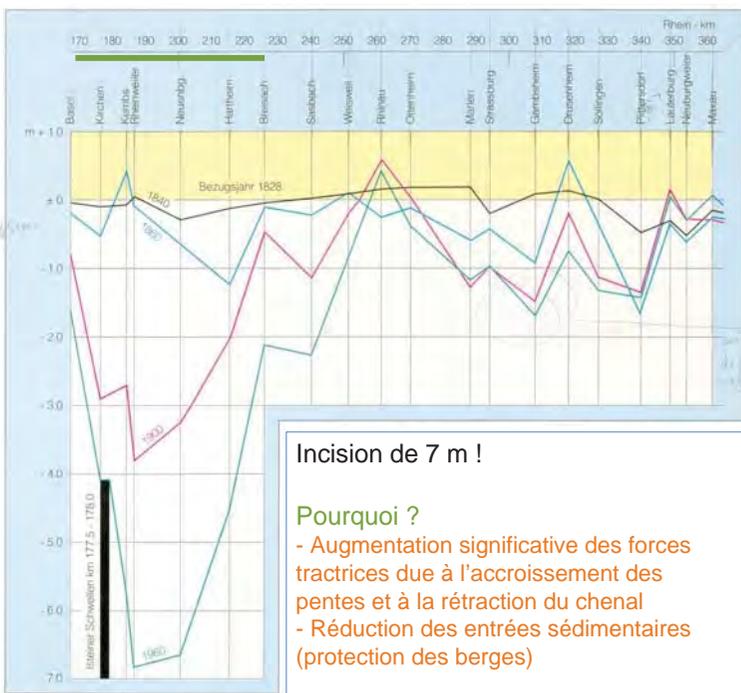


## Objectifs?

- Décrire l'évolution morphologique du Rhône... sur 512 km et sur 1 siècle ou plus
- Pourquoi?
  - Avoir une référence pour préconiser des actions
    - Réparer / restaurer (évaluer l'altération)
    - Evaluer le risque (l'aléa) en terme de causalité/responsabilité
    - Se faire une idée de la sensibilité du fleuve aux changements et de sa réactivité en lien avec les flux sédimentaires résiduels
  - Avoir une base quantifiée, partagée, datée des évolutions morphologiques
    - s'entendre sur les faits / les causes,
    - Les ré-explore si besoin au fur et à mesure que d'autres éléments sont disponibles



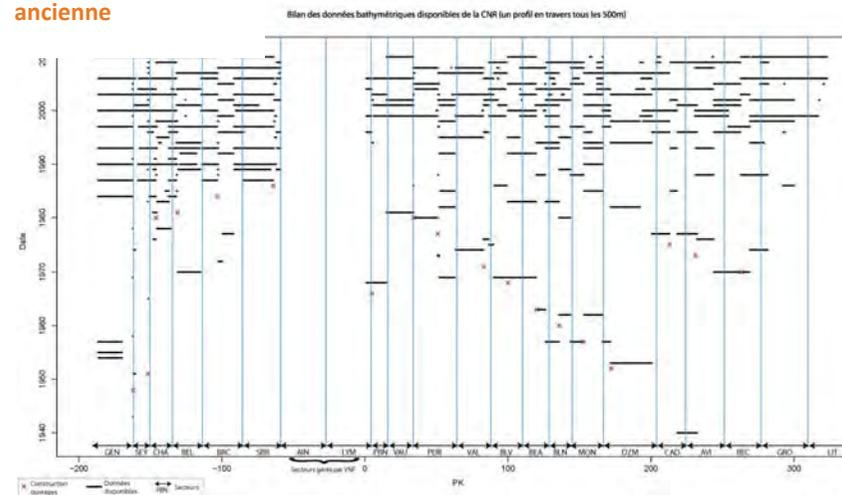
## Le Rhin



Gallusser et Schenker, 1992

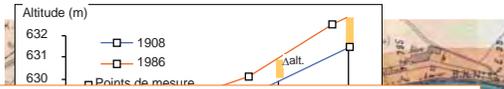
## Comment?

- Rassembler les données existantes
- BD CNR
  - Carte bathymétrique ancienne

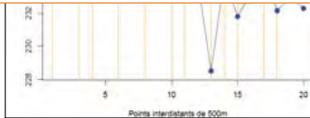


# Comment?

- Rassembler les données existantes
  - BD CNR



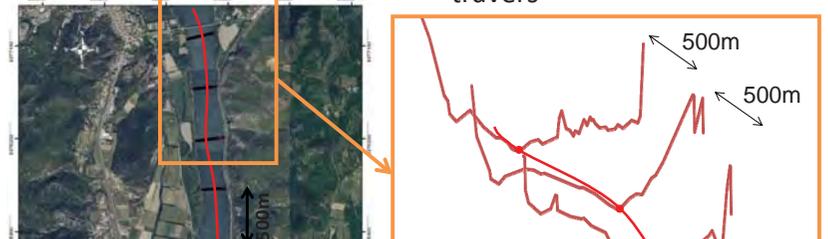
- Encore rien entre les pk -60 et 0 (concession EDF)
- Données rares avant 1970 (pk-184/-169 et pk 120-200)
- Bathymétrie 1897-1907 (référentiel discutable car 13 ans après le début de la phase Girardon – ajustements partiels; uniquement aval de Lyon)



chenal datant de 1897 entre les PK 76 et 93

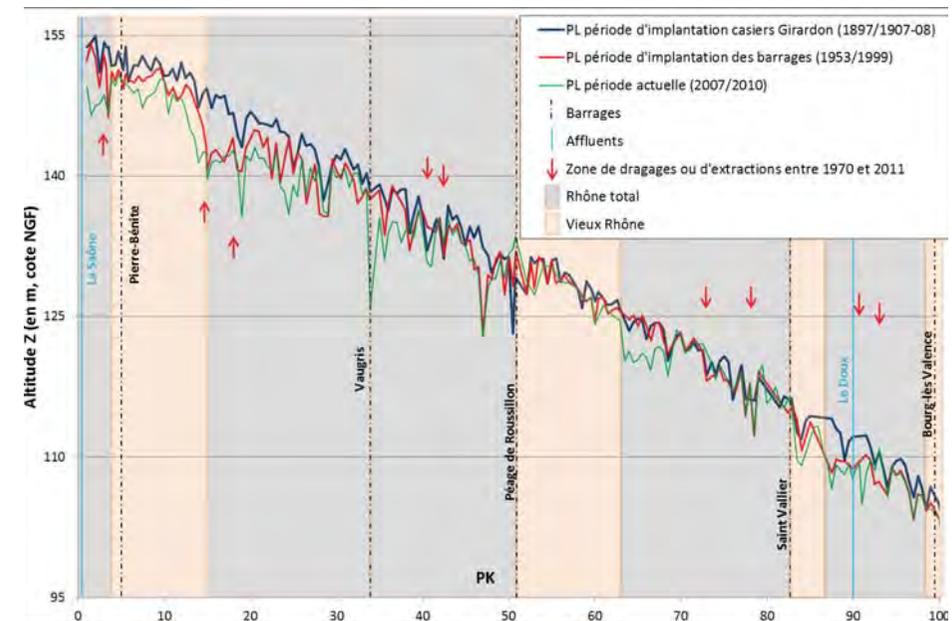
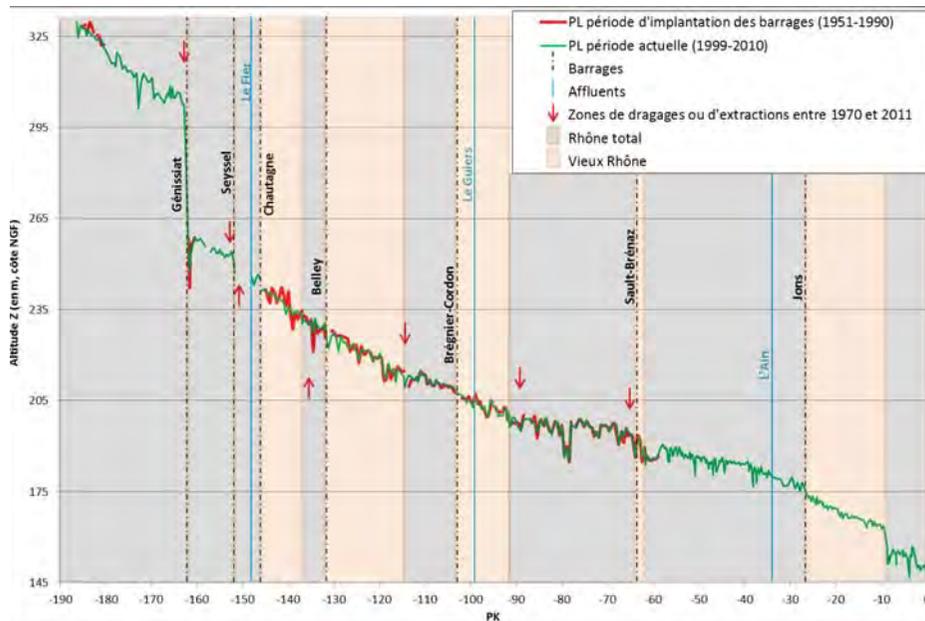
## Comparaison des profils en long

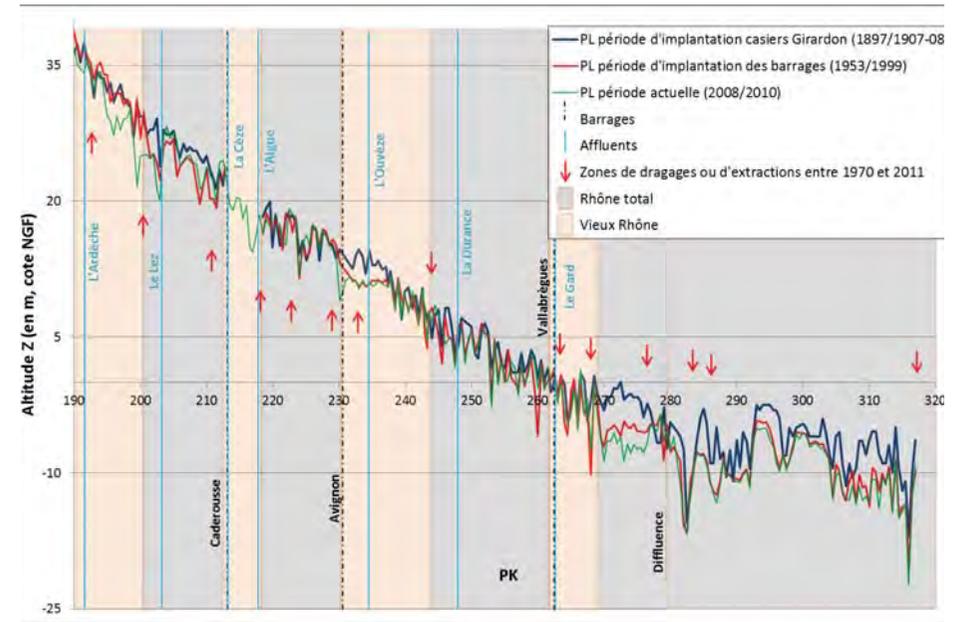
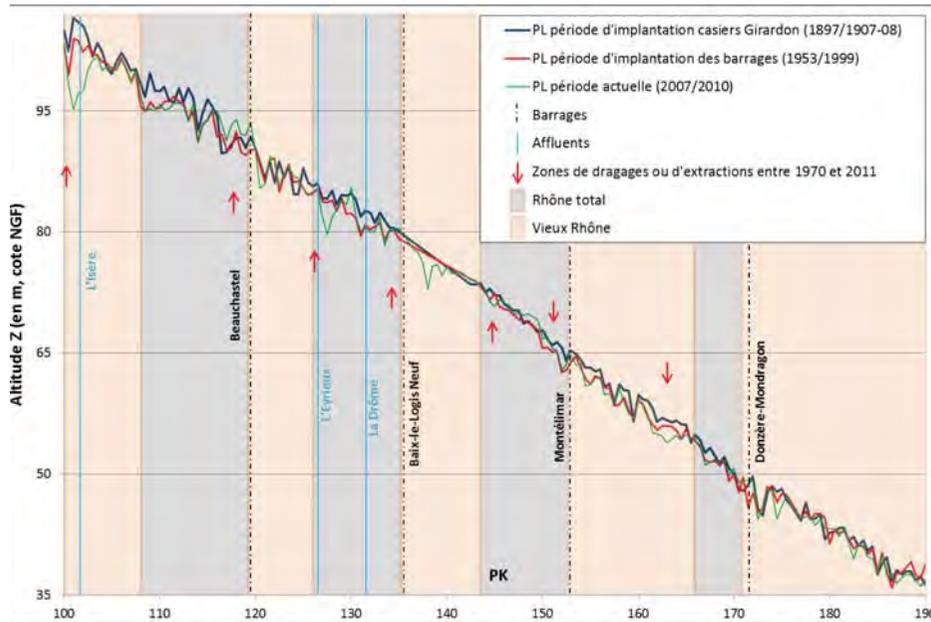
- Extraits à partir de profils en travers



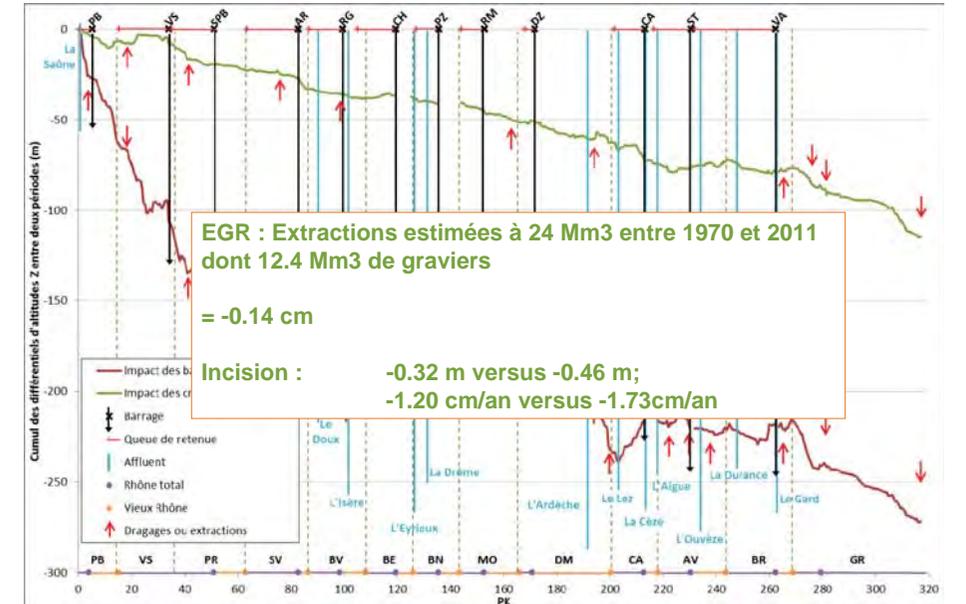
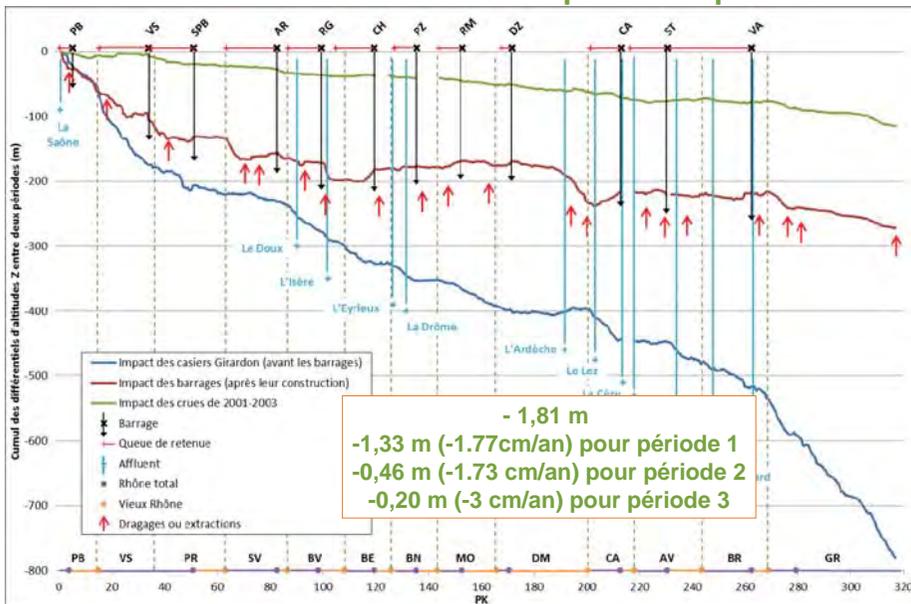
### 3 temps :

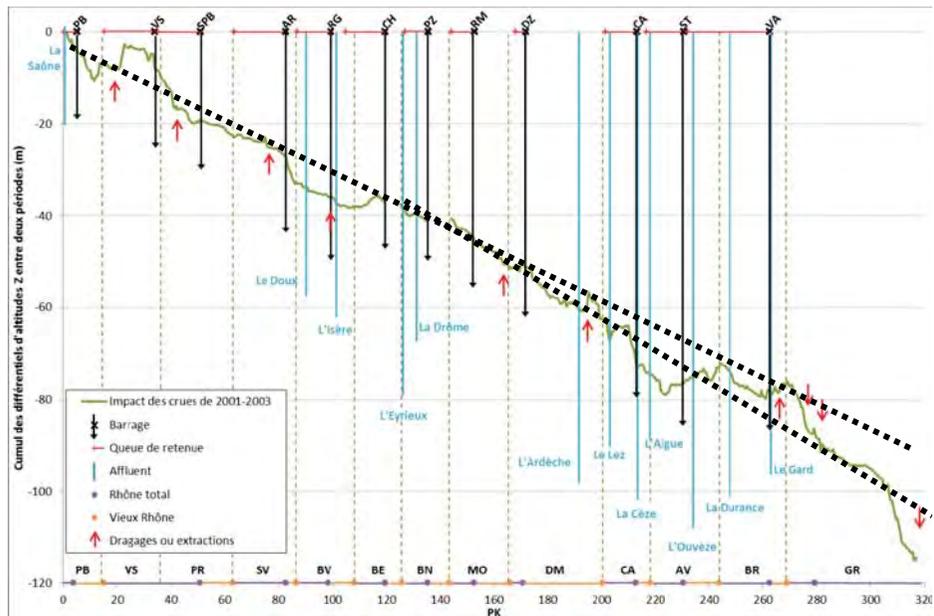
- Avant barrages
- Après barrages
- Actuelle (Réactivité/sensibilité crue de référence)



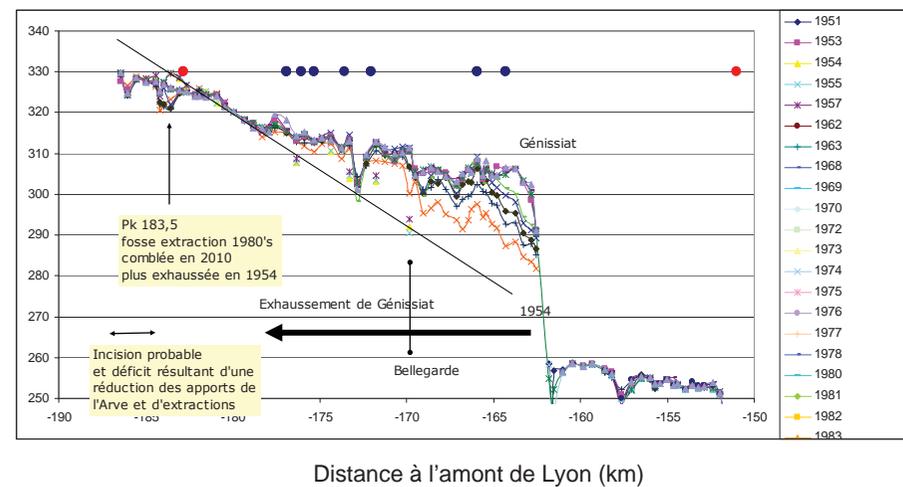


### Cumul des différences altimétriques inter-périodes

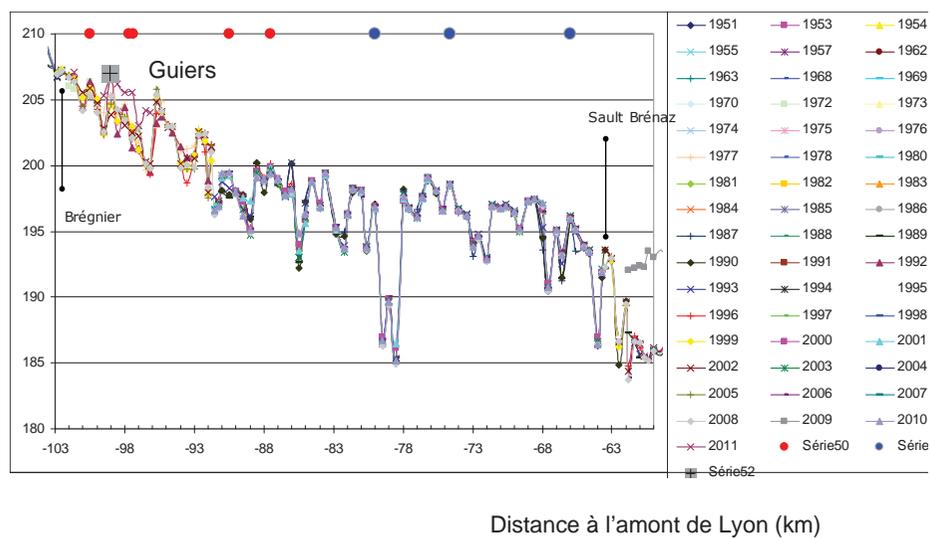




### Extrait graphique de la BD de la CNR – Secteur de Génissiat



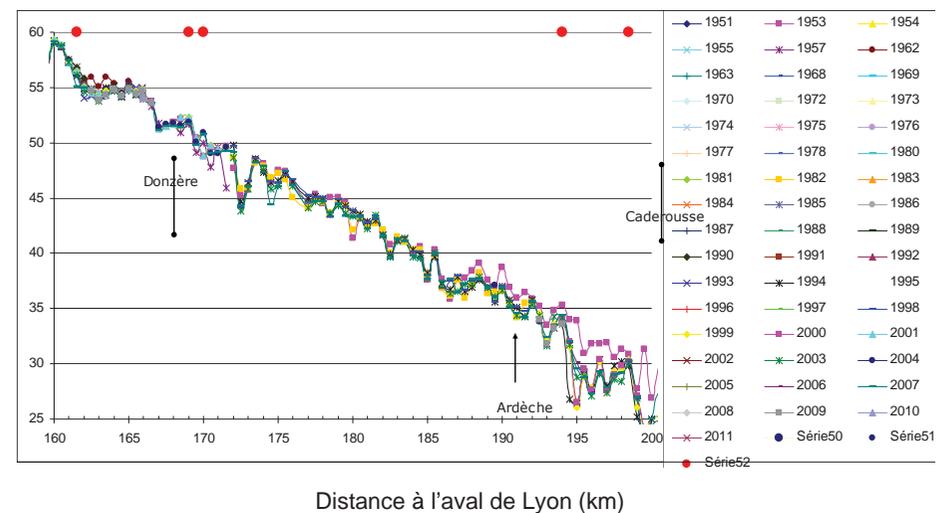
### Extrait graphique de la BD de la CNR Secteur de Brégnier-Cordon / Sault Brénaz



En plus de l'exhaussement du Canal de Miribel en lien avec des apports solides élevés de l'Ain, l'autre point marquant apparu à l'issue de l'analyse des données bathymétriques concerne les apports importants de sédiment dans le Vieux Rhône de Neyron. Il semble que le transit sédimentaire en provenance de la brèche de Neyron qui, jusqu'ici, était bloqué dans le delta de Neyron est maintenant capable de transiter jusqu'au Vieux Rhône. Ce point est aussi apparent sur les photos aériennes (source Google Earth) :

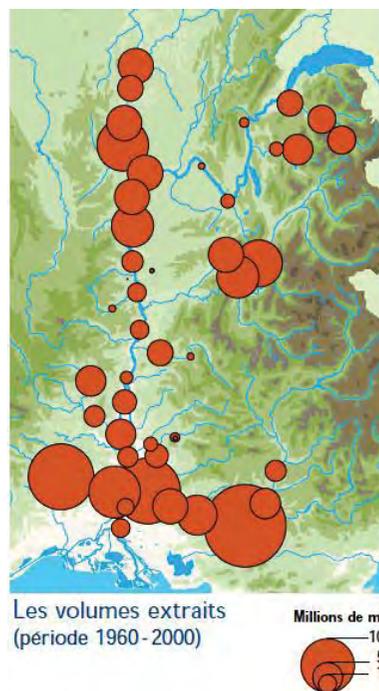


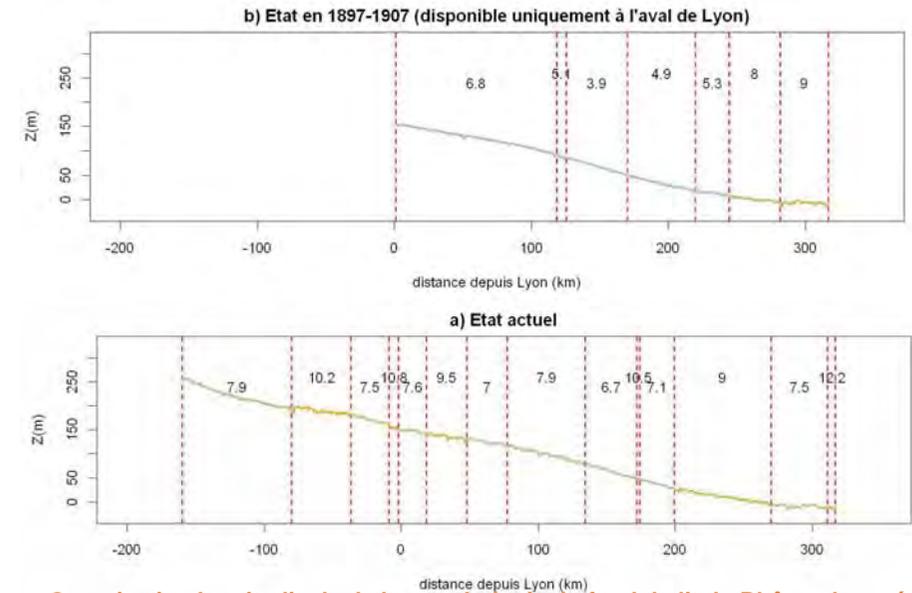
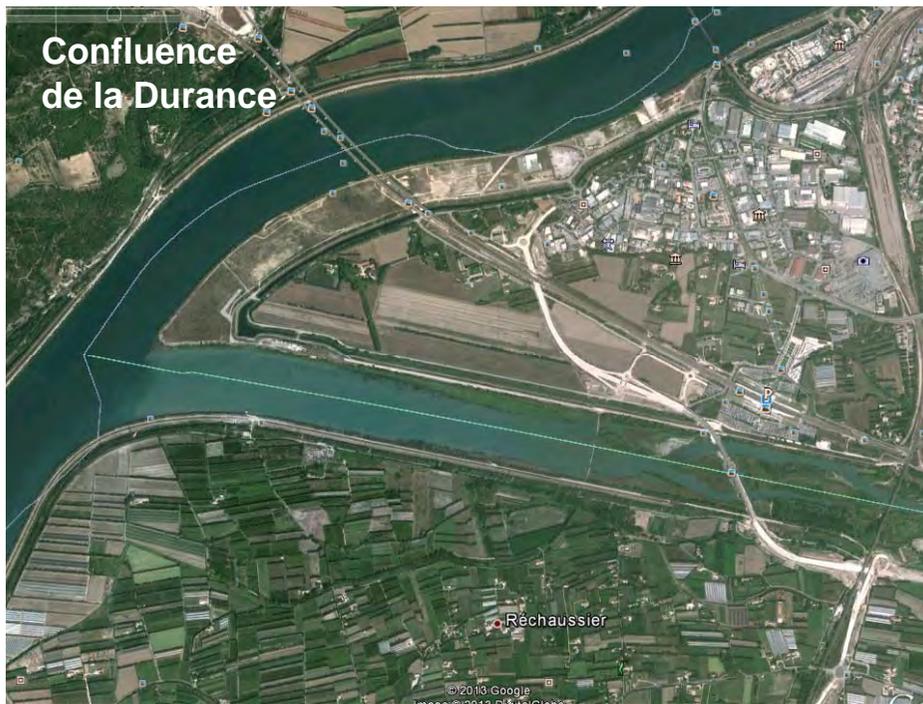
### Extrait graphique de la BD de la CNR – Secteur de Donzère



**EGR : Réduction par 5 des apports des affluents**

**... sans doute mais déconnexion du Rhône et de ses affluents => il peut en arriver encore!**





Organisation longitudinale de la morphologie du fond du lit du Rhône observée à partir de l'analyse de la variabilité de l'altitude à l'échelle locale (tous les 500 m) (L. Vaudor)

## Conclusions

- Incision la plus importante antérieure aux ouvrages hydroélectriques
  - Incision postérieure beaucoup plus localisée liée principalement aux extractions
  - Lit plus profond et plus uniforme
  - Rares apports grossiers depuis les affluents (Arve, Guiers, Ain, Ardèche, Gard)
  - Dynamique actuelle liée au flux de sables principalement (stockage, déstockage) mais une grosse crue a aussi un impact sur le déstockage
  - Moindre hydraulicité liée aux barrages
- **Système en équilibre? ... plutôt en mauvaise santé**
  - **Recommandations**
    - Préserver la continuité là où cela est possible (ressources disp.) et réintroduire du gravier
    - Favoriser les flux de sables

## Conclusions

- Incision la plus importante a Nouveau / EGR hydroélectriques
  - Lit mieux quantifié et relativisé par rapport à d'autres facteurs / EGR
  - Lit Nouveau / EGR forme
  - Rares apports grossiers depuis les affluents (Arve, Guiers, Ain, Ardèche, Gard)
  - Dynamique actuelle liée au flux de sables principalement (stockage, déstockage) mais une grosse crue « Figé » / EGR Oui et non impact sur le déstockage
  - Moindre hydraulicité liée aux barrages Sans doute, le mesurer maintenant
- **Système en** Evaluation experte EGR On dispose maintenant des données pour évaluer la faisabilité de différentes actions
  - **Recommandations**
    - Préserver la continuité là où cela est possible
- Imaginer le Rhône de demain  
Flux de sables?  
Flux graveleux?  
=> Mise en place des outils pour l'analyser, le scénariser
- sables**



## **Les caractéristiques du fond du lit**

---

Michal Tal, CEREGE, UMR 7330, Aix-Marseille Université  
Benoit Camenen, IRSTEA Lyon



# Granulométrie du fond et transport solide



## Questions opérationnelles

Quelle est la dynamique sédimentaire d'un grand fleuve aménagé?

- Impact sur les risques d'inondation?
- Quantification des apports grossiers au delta et impact sur l'évolution du delta et du littoral?
- Impact du transport solide grossier sur la qualité écologique des milieux alluviaux?

## Plan de la présentation

- Partie I. La granulométrie du fond
- Partie II. Mesure du transport solide par charriage



# Partie I. La granulométrie du fond



E. PARROT, H. PIEGAY, M. TAL



## Retour sur l'Étude Globale du Rhône et données bibliographiques

Aménagement	Caracteristiques	dm mm	d10 mm	d30 mm	d50 mm	d70 mm	d90 mm	d70/ dm
Bregnier-C	restitution, fond PK 90,3	16/28	0.7/8	7/19	15/28	22/35	35/50	1.33
Sault-Brenaz	Dragage retenue, sables	0.37	0.2	0.27	0.35	0.45	0.6	
Miribel	Matériaux de surface (analyse D.Poinsart)				23/26		49/64	
Pierre-Benite	Courbes enveloppe des graviers en place, Rhône court-circuité	8/33	0.25/ 0.35	0.6/7	1.8/ 24	8/50	30/85	1.51
Pierre-Benite	Alluvions RD du Rhône, PK 15.5	21	0.35	1	12	27	65	1.29
Pierre-Benite	Alluvions RD du Rhône, PK 27.5	25	3	14	22	30	55	1.20
Pierre-Benite	graviers tout venant PK 1.05, 40m rive droite	24	0.5	10	20	36	55	1.50

extrait page 10; V3D1A4 1ère étape Diagnostic de l'état actuel Calcul du transport solide

Secteur	diamètre moyen (mm)	diamètre de surface (mm)	commentaire
Génissiat	50	70	apports de l'Arve et des autres affluents ; fraction grossière importante par reprise des dépôts fluvio-glaciaires

extrait page 10; V3D1A4 1ère étape Diagnostic de l'état actuel Calcul du transport solide





## Retour sur l'État et données

### Limites et inconvénients des données existantes

Aménagement	Caractéristiques
Bregnier-C	restitution, fond PK 90,3
Sault-Brenaz	Dragage retenue, sables
Miribel	Matériaux de surface (analyse D.Poinsart)
Pierre-Benite	Courbes enveloppe des graviers en place, Rhône court-circuité
Pierre-Benite	Alluvions RD du Rhône, PK 15,5
Pierre-Benite	Alluvions RD du Rhône, PK 27,5
Pierre-Benite	graviers tout venant PK 1.05, 40m rive droite

extrait page 10; V3D1A4 1ère étape Diagr

Secteur	diamètre moyen (mm)	diamètre de surface (mm)
Génissiat	50	70

extrait page 10; V3D1A4 1ère étape Diagr

- Méthodes de prélèvements différentes : mélange des données prélevées dans la masse (matériaux dragués) et sur la surface du lit – ce qui sous-estime la granulométrie des alluvions de surface
- Localisation des prélèvements non précisée (longitudinalement et latéralement : milieu du chenal, berge, seuil, mouille, etc...)
- Espacement non homogène des prélèvements
- Diamètre moyen vs diamètre médian ( $D_{50}$ )
- Couverture du linéaire incomplète
- Absence des données brutes



## Retour sur l'État et données

### Limites et inconvénients des données existantes

Aménagement	Caractéristiques
-------------	------------------

### Objectif :

Une caractérisation détaillée de la distribution de la granulométrie du fond du lit sur tout le linéaire, à partir d'une méthode uniforme et adaptée aux différents faciès du Rhône.

extrait page 10; V3D1A4 1ère étape Diagr

Secteur	diamètre moyen (mm)	diamètre de surface (mm)
Génissiat	50	70

extrait page 10; V3D1A4 1ère étape Diagr

- Méthodes de prélèvements différentes : mélange des données prélevées dans la
- Espacement non homogène des prélèvements
- Diamètre moyen vs diamètre médian ( $D_{50}$ )
- Couverture du linéaire incomplète
- Absence des données brutes



## Prélèvement du lit dans le cadre de l'OSR

Méthodologie adaptée à un système complexe

Chenal navigable



Chenal non-navigable



Bancs



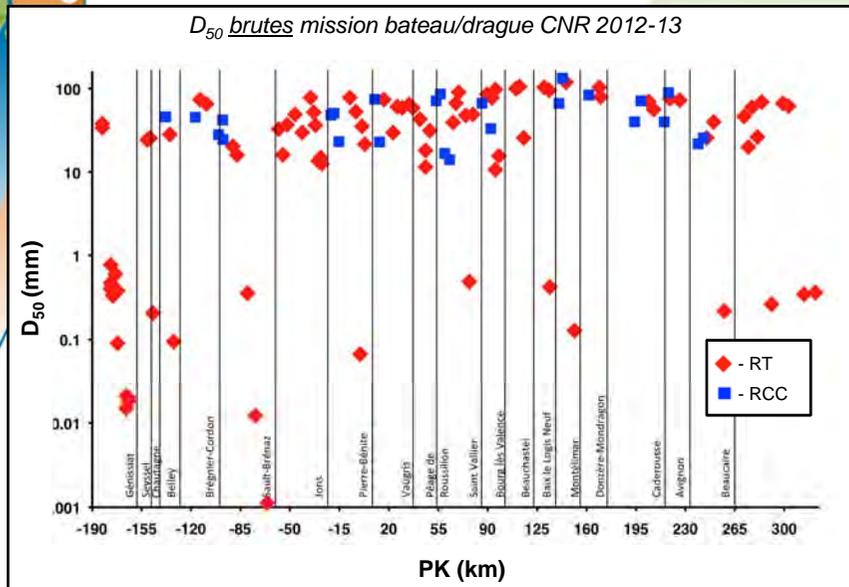
## Prélèvement du lit dans le cadre de l'OSR

Prélèvements systématiques sur tout le linéaire navigable à partir du bateau et avec la drague de la CNR

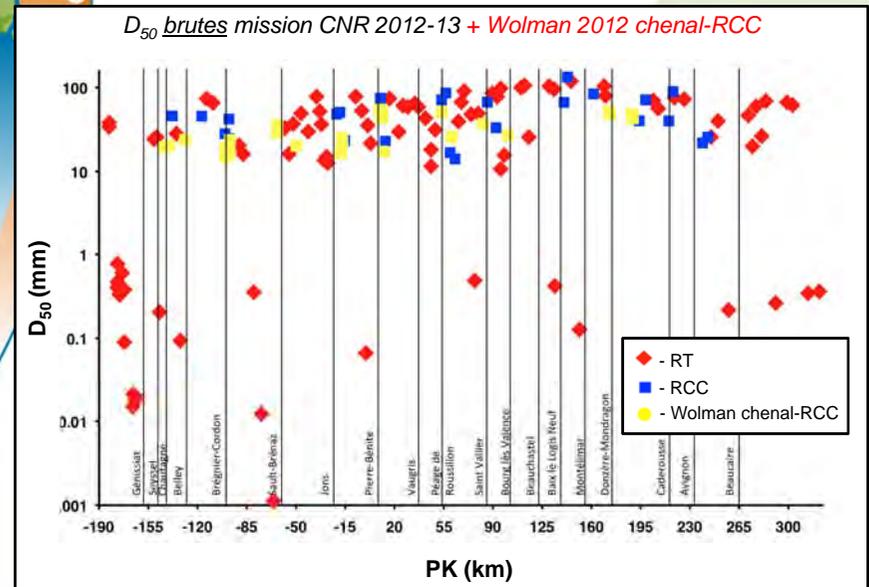
- Points de prélèvements dans le thalweg et sur les seuils
- Trois prélèvements par point
- Inter-distance des points approximative de 5 km (RT – Vieux Rhône *navigable*) avec une densification amont – aval des barrages. Pas de prélèvements dans le canal.
- Densification des points autour des confluences
- Analyse volumétrique de tous les échantillons



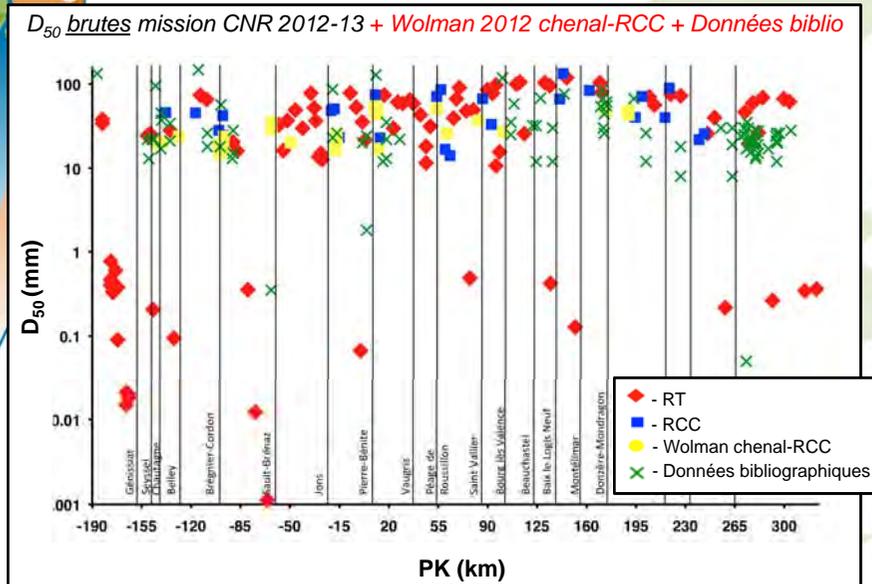
## Résultats



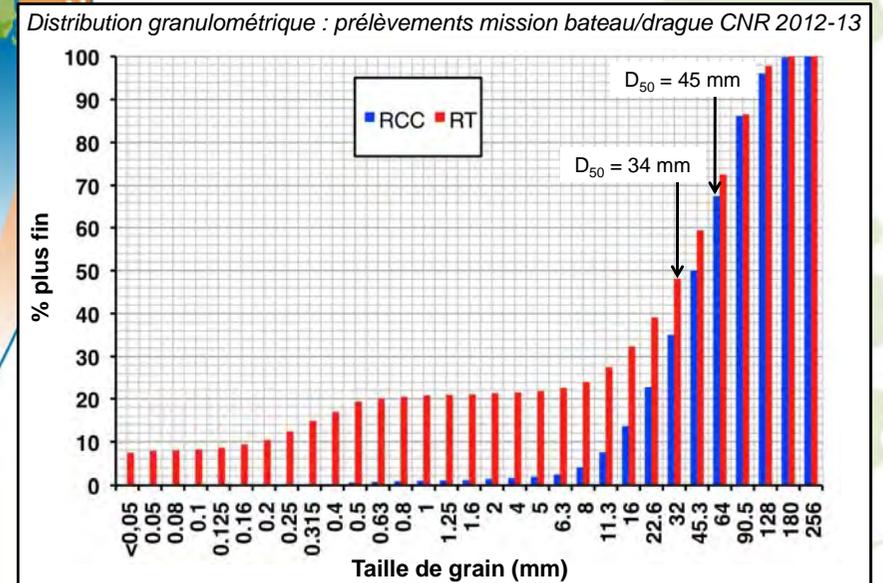
## Résultats



## Résultats

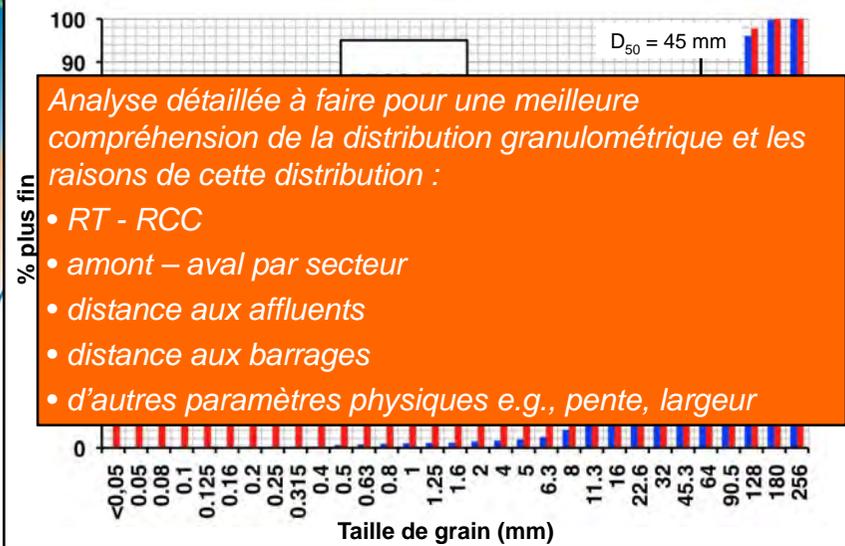


## Analyse détaillée des données



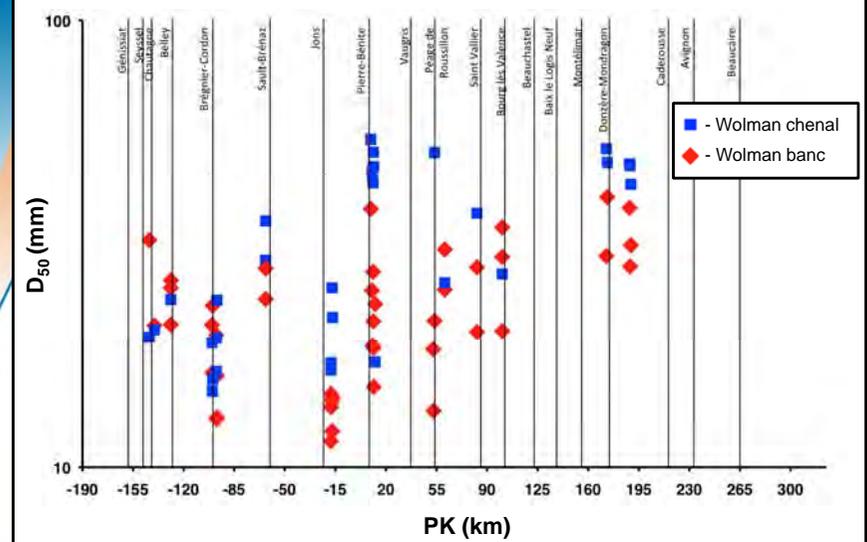
# Analyse détaillée des données

Distribution granulométrique : prélèvements mission bateau/drague CNR 2012-13



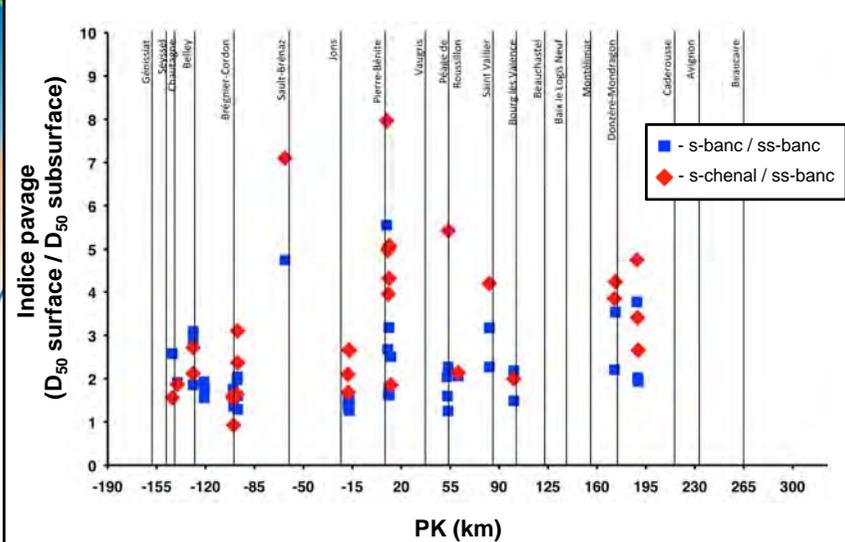
# Résultats

Comparaison granulometrie banc / chenal, compagne Wolman 2011-12 RCC



# Résultats

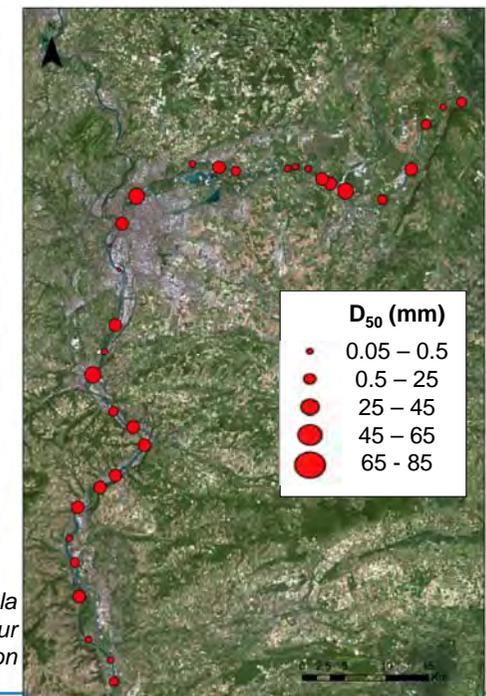
Indice pavage (surface / subsurface) Wolman 2012 RCC



# Résultats

Absence d'affinement granulométrique amont – aval due :

- à la recharge sédimentaire locale par les affluents
- au stock sédimentaire propre du Rhône (dépôts glaciaires, ou fluvio-glaciaires, ou fluviales anciens)
- à la présence des barrages qui imposent des discontinuités hydrauliques fortes



D50 sur le linéaire entre la confluence de l'Ain et le secteur de Péage de Roussillon

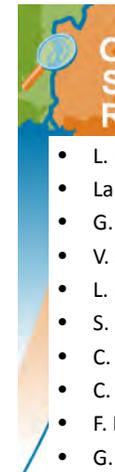


## Conclusions

- Présence de grandes discontinuités longitudinales (confirme EGR)
- Une distribution granulométrique différente entre le RT et le RCC (effet barrage sur les sables)
- Présence d'un pavage : chenal avec une granulométrie plus grossière que les bancs et une surface plus grossière que le subsurface – cette tendance est plus importante dans le secteur médian du fleuve
- Haut-Rhône caractérisé par un pavage peu ou pas marqué (existence d'un transport solide actif à Jons ou ajustement granulométrique pas encore réalisé)

## Perspectives

- Analyse détaillée à poursuivre pour mieux identifier les tendances dans la distribution granulométrique et leurs sources
- Intégration des données granulométriques dans les calculs de capacité de transport de la charge de fond et la modélisation



## Remerciements

- L. Bultingaire *EVS*
- La *CNR* et son équipe technique
- G. Fantino *EVS*
- V. Gaertner *OMEAA*
- L. Meric *CNR*
- S. Moiroud *CNR*
- C. Mora *CNR*
- C. Perial *OMEAA*
- F. Perret *OMEAA*
- G. Raccasi *Ginger*
- S. Renaud *CNR*
- D. Sabatier *CEREGE*
- M. Singer *Univ St. Andrews*
- Stagiaires :
  - L. Hammou (*EVS*), J. LeGuern (*CEREGE*), L. Reboul (*CEREGE*)



## Partie II. Le transport solide par charriage

Benoît CAMENEN, Marie COURTEL,  
Lucie GUERTAULT, Jérôme LE COZ,  
Thierry FRETAUD, Christophe PETEUIL

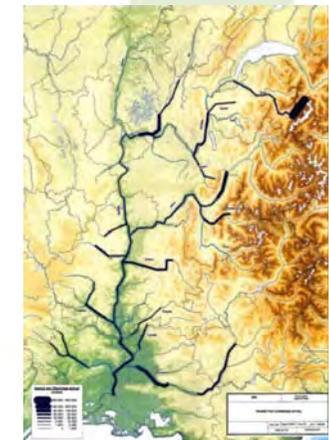


## Retour sur l'étude globale: étude du transport solide par charriage

Etat « Naturel »



Etat « Actuel »





## Retour sur l'étude globale: étude du transport solide par charriage

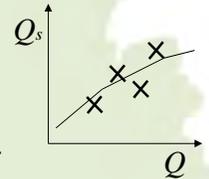
- Estimation du transport solide à partir d'une loi empirique de capacité de transport, fonction du débit  $Q$ , de la pente du lit  $i$ , et de la taille des sédiments  $d_i$
- Peu de données de granulométrie en particulier sur le chenal, calage très difficile d'un débit critique de mise en mouvement des sédiments  $Q_{cr}$
- Fortes incertitudes sur les apports des affluents (Arve, Ain, Isère, Durance...)
- Transport de sables non inclus

AUCUNE MESURE IN SITU DU CHARRIAGE NI DE LA SUSPENSION SABLEUSE



## Intérêt, voire nécessité des jaugeages solides

- La mesure du débit  $Q$  est en fait déduite d'une mesure de niveau d'eau  $z$  relié par une courbe de tarage  $Q=Q(z)$  nécessitant la mise en place de jaugeages ponctuels.
- De la même manière, l'estimation du transport solide  $Q_s$  peut être relié au débit  $Q$  (si équilibre) par une loi empirique  $Q_s=Q_s(Q)$ . La validité d'une telle loi nécessite un calage avec des jaugeages solides.



DIFFICULTÉS LIÉES A LA DISPONIBILITÉ EN SÉDIMENTS ET À L'ÉTAT DU FOND

DIFFICULTÉS DE LA MESURE DU JAUGEAGE SOLIDE  
PREMIERS ESSAIS EXPLORATOIRES SUR LE RHÔNE DANS LE CADRE DE L'OSR



## Préleveurs testés

Préleveur de charriage de type Helley-Smith



Préleveur de suspension sableuse : bouteille de Delft



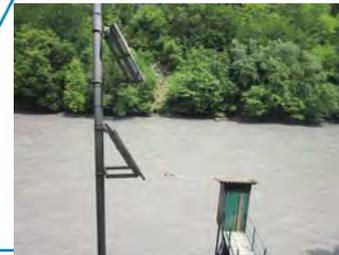
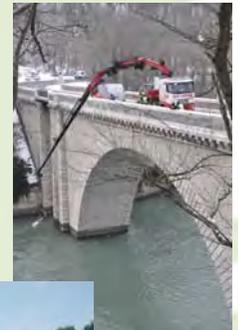
Préleveur de charriage de type Ehrenberger

Photos: B. Camenen, Eijkelpamp Agrisearch Equipment



## Différentes méthodologies de prélèvement

- Mesure à partir d'un pont avec une grue
  - Difficultés liées à la hauteur du pont
  - Gestion de la circulation
- Mesure à partir d'une traîle
  - Coûteux à mettre en place
- Mesure à partir d'un bateau
  - Difficultés liés à la navigation
  - Stabilité de l'embarcation lors de la mesure



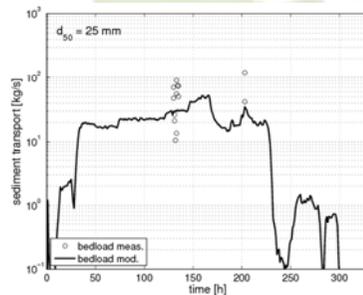
Photos: B. Camenen, J. Le Coz et T. Pollin



## Quelques premiers résultats: chasse du Haut-Rhône de 2012

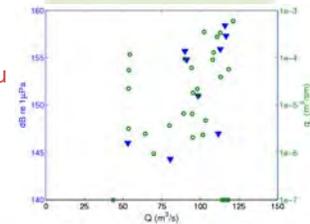
→ Transport solide a priori proche de la capacité pendant la chasse

- En amont de la retenue de Génissiat (pont Carnot)
  - Diamètre médian des échantillons  $d_{50} \sim 25\text{mm}$
  - Charriage au cours de la chasse estimé à 1800 tonnes (sables exclus)
- En aval de la retenue de Génissiat (Bognes)
  - Diamètre médian des échantillons  $d_{50} \sim 0.9\text{mm}$  à  $5\text{mm}$  en fin de chasse
  - Charriage au cours de la chasse estimé à 5000 tonnes



## Hydrophone

- Mesure du bruit lié à l'entrechoc des sédiments (acoustique passive)
    - Intensité, fréquence du signal fonction du flux charrié et de la taille des sédiments
    - Difficultés liées aux bruits de fond (turbulence, agitation du surface)
    - Traitement du signal complexe
    - Possible détermination de l'initiation du transport voire de l'intensité si calibration avec des mesures contradictoires
- (doctorat de T. Geay, 2013)



- Mise en place d'une station hydrophone à Pougny
  - Objectif qualitatif: déterminer s'il y a mouvement des sédiments ou pas lors de crues, classes granulométriques mobiles

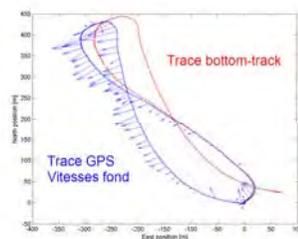
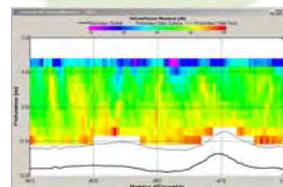


Photo P. Belleudy



## Mesures ADCP

- Mesure spatialisée des concentrations en sables
  - Estimation de la suspension graduée en sable à partir de la rétrodiffusion du signal ADCP (concentration en argiles et limons supposée homogène sur la section)
- Mesure spatialisée du charriage
  - Extraction de la vitesse apparente de déplacement du fond par différence entre la vitesse bottom-track et la vitesse GPS
  - Utile pour le calcul de flux charrié (mesures et modèles)
- Applications sur le Rhône
  - station de Barcarin
  - lors de crues, si navigable
  - retraitement d'anciens jauges ADCP?



## Conclusions et perspectives

- Etude globale (transport solide par charriage)
  - Bonne vision globale de l'état du Rhône mais...
  - Beaucoup d'incertitudes liées au manque de données
- Apport du programme OSR2
  - Description amont-aval de la granulométrie du chenal
  - Tests de méthodologies de mesure du charriage et de la suspension de sable
- Possible mise à jour de l'étude globale
  - Développement et utilisation du modèle hydro-sédimentaire du Rhône
  - Mise en place de mesures hydro-sédimentaires régulières avec l'aide des gestionnaires pour le calage de lois empiriques

# **FLUX ET RESEAUX DE SUIVI**

---



## **Expression des enjeux**

---

Alain Poirel, EDF




## Flux et réseaux de suivi des sédiments fins (les enjeux)

Alain POIREL 




## Des limons fertiles aux colmatants concentrateurs des polluants : 150 ans d'histoire...

- Médecins, Agronomes, Constructeurs/Exploitants de barrages, Environnementalistes : une mesure nomade.
- La perception des sédiments fins avec le temps :
  - 1850 – les « troubles » des rivières et l'eau dans les villes
  - 1880 – les riches limons des rivières à capter par des ouvrages pour « atterrir » les vallées (les ouvrages de colmatages et d'encaissement)
  - 1910 – le dimensionnement des retenues en fonction de l'envasement et la perte de capacité/patrimoine
  - 1940 – les colmatants des frayères et la perte de capacité biogène
  - 1960 – le support préférentiel de nombreux contaminants
  - 1980 – le matériau des roselières/vasières (et la biodiversité associée)
  - 2000 – le support majeur des chaînes trophiques marines dans des bassins versant en évolution (RTM, barrages et souilles, pratiques agricoles, imperméabilisation, évolutions climatiques...)




## Les sédiments fins









## La mesure des sédiments fins : une histoire chaotique

- 1850-1890 : **Les médecins et agronomes** établissent les premiers bilans par pesée (non pondérés par le débit).
- 1910-1960 : **Les constructeurs de barrages** établissent de courtes chroniques pondérées (rapidement arrêtées).
- 1995-2000 : **Les environnementalistes** et les **exploitants de barrages** initient les premières chroniques actuelles (calcul des flux, gestion particulière des crues solides)
- 2000-2010 : Les stations de suivi se généralisent avec la maîtrise accrue de la turbidimétrie en temps réel. Elles commencent à s'organiser en réseau.

 **Aujourd'hui les plus longues séries continues de concentrations et flux de sédiments fins ont à peine une dizaine d'années => nécessité de modélisation des apports en fonction de l'hydroclimatologie**



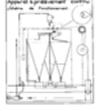
## La mesure des sédiments fins : une histoire chaotique

**Les débits liquides et solides de la Durance**

DATES.	ISÈRE. SABLE ET LIMON par litre.	DRAC. SABLE ET LIMON par litre.
1845. Avril.....	7 92	23 13
Mai.....	11 08	16 72
Juin.....	31 48	30 76
Juillet.....	10 88	7 25
Août.....	8 02	6 16
Septembre.....	11 24	6 84
Octobre.....	5 88	30 05
Novembre.....	1 30	36 16
Décembre.....	6 04	35 42
1846. Janvier.....	8 14	33 76
Février.....	4 20	9 24
Mars.....	13 96	16 41
Pour douze mois.....	128 32	243 02
Moyenne d'un mois.....	10 71	20 25
Moyenne d'un jour.....	9 352	9 666
1 mètr. cube d'eau contient.....	332 "	666 "
2 <sup>m</sup> .84 de l'Isère.....	1000 "	" "
1 mètr. cube de la Drac.....	" "	1000 "
1 mètr. cube sable et limon non tassé.....	983 kil. "	1380 kil. "
Tassé.....	1263 kil. "	1533 kil. "

par M. BONNIN  
Ingénieur au Service des Etudes et Recherches hydrauliques

Deuxièmes Journées de l'Hydraulique  
Grenoble 25-29 Juin 1952


Emile GEYHAARD.  
EDF PRODUCTION TRANSPORT  
DIVISION TECHNIQUE GÉNÉRALE

Service Ressources en Eau  
Méthodes & Qualité

29 octobre 1997

D. TOMB HENSHAW  
ETUDE DU TRANSPORT SOLIDE  
DU RHÔNE EN ARLES A PARTIR  
DES DONNÉES DE TURBIDITE ET DE MES

EDF

cnrs

## Les chroniques des sédiments fins : une mesure/donnée à haute technicité

Un paramètre complexe avec de multiples méthodes de calcul, une incertitude forte à plusieurs niveaux

- Flux instantané : **souvent estimé avec d'une mesure locale de concentration \* débit instantané**

$$Flux(t) = \iint_{Section} S_i * V_i * [C]_i * Q_{(t)} * [C]_{locale}$$

- Flux cumulé sur une période : **souvent estimé par produit de moyenne(s)**

$$Flux(t_1 \rightarrow t_2) = \int_{t_1}^{t_2} Flux(t)$$

$$? \sim (t_2 - t_1) * \{ Flux(t_1) + Flux(t_2) \} * 0.5$$

$$? \sim (t_2 - t_1) * Q(t_1 \rightarrow t_2) * C(t_1 \rightarrow t_2)$$


la moyenne des concentrations (écologie)  
<> concentration moyenne (flux)

cnrs

## Les enjeux associés à la mesure des flux de sédiments fins

Une variabilité spatiale forte sur 3 ordres de grandeur entre les rivières (1 à 1000 t/an/km<sup>2</sup>) => **Nécessité d'un réseau de suivi adapté**

- Une variabilité des concentrations sur 3 ordres de grandeur, une variabilité des débits sur 1 ordre de grandeur => 3 à 4 ordre de grandeur sur les flux => **Mesure en temps réel indispensable**
- Une répartition très déséquilibrée...fréquemment 50% du sédiment fin passe en 2% du temps. => **Actions de gestion ciblées**
- Des dépôts rapidement fixés (cohésion, végétalisation, etc...) d'où des actions coûteuses => **Actions de gestion au plus près de l'événement avant la fixation**

cnrs

## Conclusions : les enjeux associés à la mesure des flux de sédiments fins

Les enjeux sur les sédiments fins sont liés à :

- la qualité de la mesure indirecte en continu, sur une longue période
- avec des mesures directes lors d'épisodes rares, peu prévisibles
- la capacité d'extrapolation (modèles temporels, bassins non mesurés)
- la connaissance des effets globaux sur l'écologie (antagonistes : effet toxique des concentrations, effets long terme des contaminants associés, effet sur les habitats - ripisylve, roselière, colmatage -, rôle sur les chaînes trophiques)
- la connaissance des effets sur les usages (hydroélectricité, AEP, Agriculture)
- la transformation des mesures en données et en métriques
- la connaissance des réponses du BV à l'échelle pluri-décennale (réponses du BV au Changement Climatique, au Changement d'Occupation des sols,...)

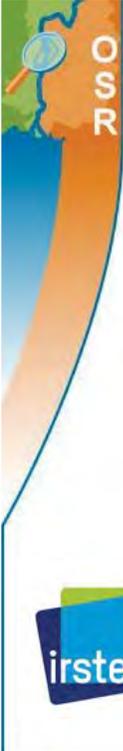
cnrs



## **La quantité et la qualité des matériaux qui transitent**

---

Jérôme Le Coz, IRSTEA Lyon  
Marina Coquery, IRSTEA Lyon



# Quantité et qualité des matériaux qui transitent en suspension dans le Rhône

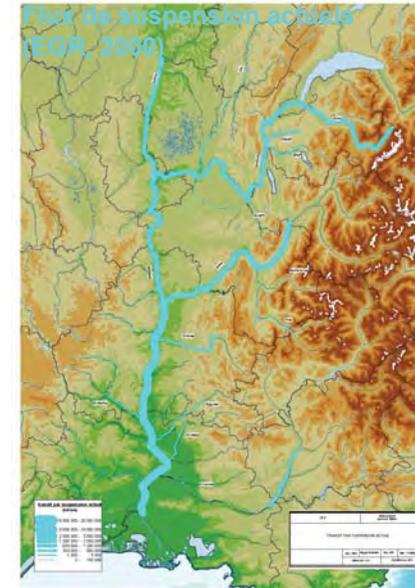
J. Le Coz et M. Coquery

Contributeurs principaux :

H. Angot, C. Antonelli, F. Eyrolle-Boyer, G. Fantino, S. Gairoard, M. Launay, O. Radakovitch, P. Raimbault



# Connaissances pré-existantes à l'OSR et lacunes à surmonter



Des estimations incertaines et lacunaires des flux particulaires du Rhône

- Étude Globale Rhône (EGR, 2000)
- suivi Agence Eau&MES (1991-2009)
- station-observatoire SORA et stations turbidimétriques éparses
- suivi des sédiments et étude des archives sédimentaires (suivi sédiments Agence, carottes ENTPE, projet TSIP-PCB, etc.)

Des verrous méthodologiques liés à l'échantillonnage temporel discontinu

- prélèvements manuels ou par centrifugation, avec peu de documentation des crues
- peu de caractérisation des particules
- méthodes de calcul des flux à partir de mesures discontinues : approche statistique par le projet Variflux



# Disponibilité et variabilité des paramètres mesurés par les réseaux classiques

$$\Phi_c = \int_{t_1}^{t_2} Q(t) C_s(t) C_c(t) dt \longrightarrow \Phi_c = \sum_{i=1}^N \Phi_{c,i} = \sum_{i=1}^N Q_i C_{s,i} C_{c,i} T_i$$

Mesure : ■ Continue ■ Discontinue ■ Rare ou absente

Variation	Intérêt	Débit (eau)	Concentration en MES	Teneur en contaminants dans les MES
Temporelle	Quantification des flux événementiels et moyens	1 → 100	1 → 10 000	??
Spatiale	Comparaison des contributions des affluents	1 → 1000	1 → 100	PCBs : 1 → 10 ? Hg : 1 → 10 ?

La variabilité temporelle des flux vient surtout de la concentration en MES.  
La variabilité spatio-temporelle des teneurs est généralement mal documentée.



# Stratégie d'observation des flux de l'OSR

Des techniques de mesure et de prélèvement adaptés à :

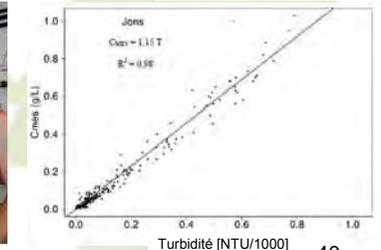
un meilleur suivi temporel

- turbidimètres étalonnés pour le suivi des MES
- pièges à particules (prélèvement intégratif)
- centrifugations bihebdomadaires à Arles et Jons
- suivi renforcé des événements hydro-sédimentaires



une meilleure couverture spatiale

- réseau structuré de stations permanentes
- stations temporaires et documentation des affluents
- collaboration entre équipes pour prélèvements et analyses



## Le réseau de stations de mesure des flux MES

Bonne couverture du Haut-Rhône, de l'exutoire et des 4 affluents sédimentaires majeurs (Arve, Saône, Isère, Durance)

Deux stations-observatoires avec suivi intensif

- ★ → Arles (SORA) opérationnelle depuis 2002, avec suivi récent de la granulométrie et de certains nouveaux éléments
- ★ → Jons opérationnelle depuis septembre 2011 et avec centrifugeuse fixe depuis juin 2013

Stations de suivi en continu (Mes + contaminants) ★

Turbidimètres fixes : OSR ●

Partenaire ●

Turbidimètres mobiles : ○

Possible turbidimètres fixes : ●

Possible turbidimètres mobiles : ○

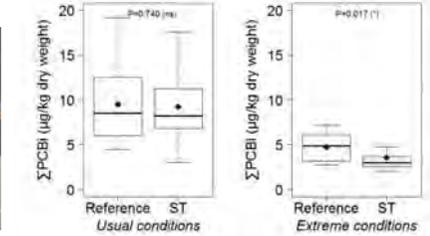
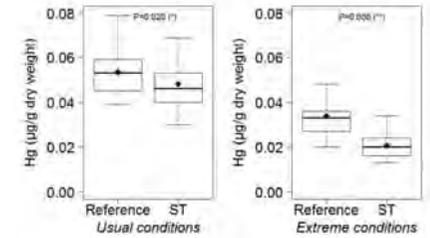
Autres points de mesure : ●



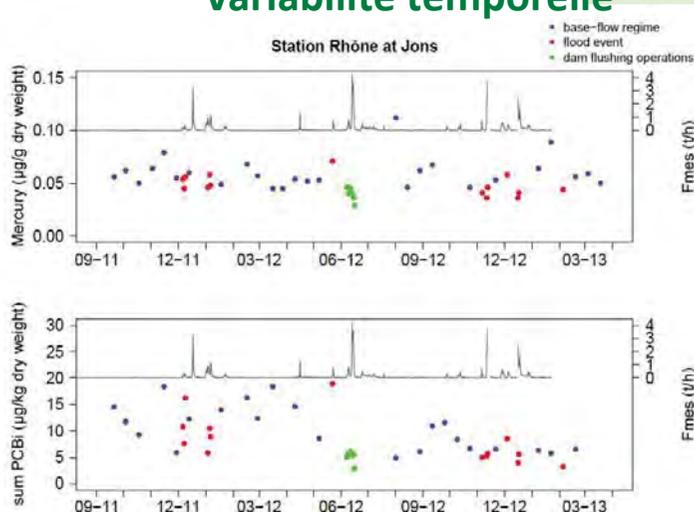
## Les teneurs en contaminants dans les MES : méthodes de prélèvement et d'analyse

La caractérisation des particules en granulométrie et COP est souvent nécessaire pour corriger et normaliser les teneurs

- techniques de prélèvement complémentaires : centrifugation et pièges à particules (ou dépôts de crue)
- développement d'une méthode de correction granulométrique pour les prélèvements potentiellement biaisés
- documentation des protocoles de prélèvement et d'analyse : granulométrie, métaux, organiques (dont PCBi), mercure, radio-éléments



## Les teneurs en contaminants dans les MES : variabilité temporelle



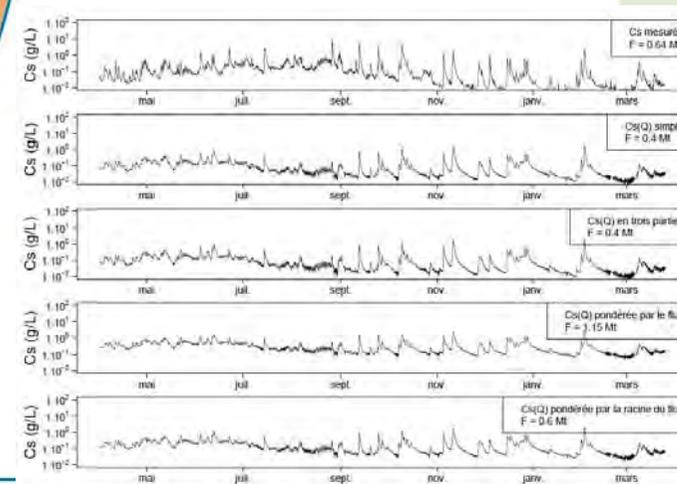
Variabilité des teneurs Hg/PCBi à Jons modérée mais corrélée aux événements et changements de nature des particules  
→ à prendre en compte pour l'établissement des flux

Journée de l'Observatoire des Sédiments du Rhône - 17 octobre 2013

## Les méthodes de calcul des flux de MES

Une approche basée sur la mesure ou modélisation de chroniques continues

- aucune méthode de calcul ne permet d'obtenir des incertitudes réduites sur les flux en l'absence d'un suivi continu des MES (ex : Arve 1965-2009)
- le calage d'une relation débit-concentration ne permet d'estimer que l'ordre de grandeur des flux de MES, avec des incertitudes fortes



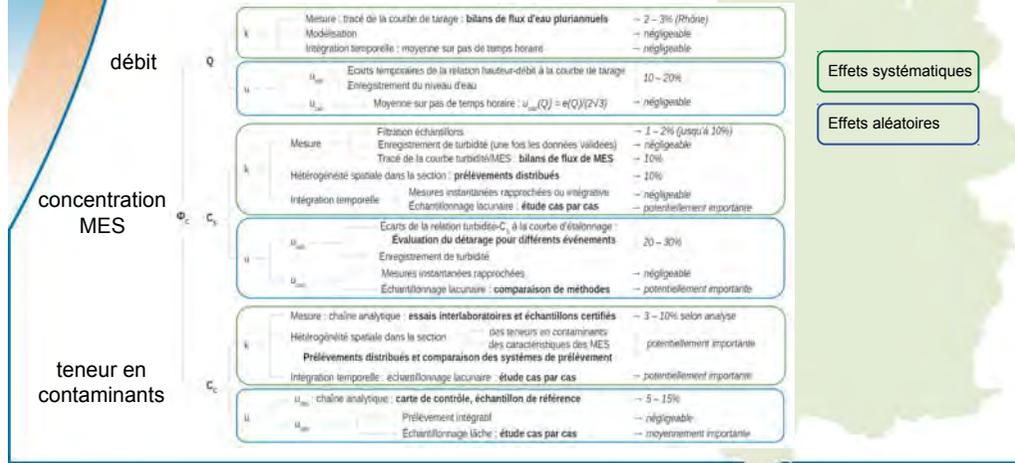
Evaluation de courbes de tarage sédimentaires sur l'Arve à Genève en 2012-2013

Difficile de reproduire à la fois la dynamique des concentrations et le bon flux moyen

## Analyse des incertitudes sur les flux mesurés

Développement d'une méthode-cadre inspirée du GUM (JCGM, 2008)

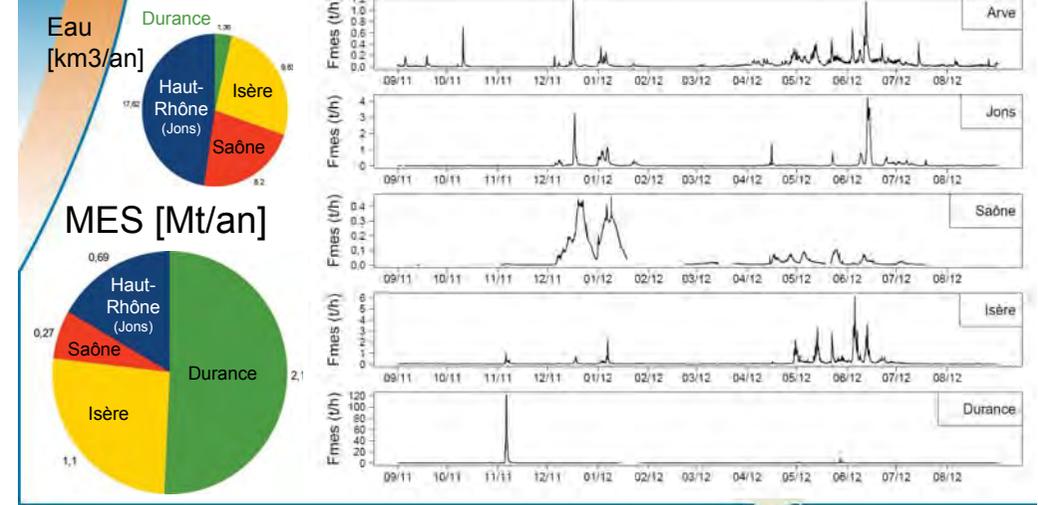
- mise en équation du modèle d'erreur
- identification des sources d'incertitudes
- hiérarchisation et quantification des composantes d'incertitude
- estimation de marges d'incertitude sur les flux mesurés (pas reconstitués)



## Les flux mesurés par l'OSR en 2011-2012

Des dynamiques et des intensités de flux de MES très contrastées

- les cycles hydrologiques et sédimentaires se découpent mieux de septembre à août qu'en années civiles



## Les flux mesurés par l'OSR en 2011-2012

Stations-observatoires : le Rhône à Arles et à Jons  
Substances-cibles : métaux, Hg, PCB, radio-éléments

- le suivi en continu doit se poursuivre sur plusieurs années, mais il apporte déjà un éclairage nouveau sur les flux
- poids des événements suivis sur la période 2011-2012
- intérêt d'une analyse des apports : affluents sources, caractéristiques des particules

Station	Flux de MES (Mt/an)		Flux de Hg (kg/an)		Flux de PCB <sub>i</sub> (kg/an)	
	Arles	Jons	Arles	Jons	Arles	Jons
<b>Année 2011</b>	2,7	0,21	300	13	30	1,4
<b>Année 2012</b>	5,6	0,89	610	47	80	6,2

- importance des apports de MES entre Jons et Arles (facteur 6 à 12)
- différences accrues pour Hg et PCB<sub>i</sub> : forte augmentation des teneurs à Arles
- année 2011 plus contrastée entre Jons et Arles : année sèche avec crues méridionales en fin d'année

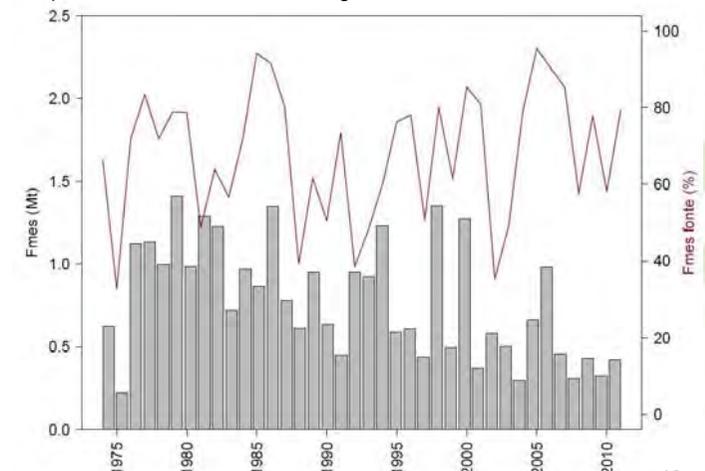
## La variabilité inter-annuelle des flux de MES

Souvent la première source d'incertitude sur le flux moyen inter-annuel

- la variabilité inter-annuelle dépend fortement des crues (2003, 2008, 2011...)
- mais aussi des impacts anthropiques : travaux dans le lit (Isère), chasses et manœuvres d'aménagements hydro-électriques (Haut-Rhône, Isère, Durance)
- se pose aussi la question de tendances de long-terme, ou non-stationnarités

Flux de MES reconstitués pour l'Arve à Genève entre 1974 et 2011 (suivi OFEV) :

Flux par années hydrologiques et proportion en semestre de fonte





# Une nouvelle image des flux particuliers moyens inter-annuels

Des valeurs revues à la baisse pour le Rhône et ses affluents majeurs

- les flux de MES annoncés par l'EGR apparaissent fortement surestimés
- les teneurs moyennes en contaminants obtenues avec des protocoles d'analyse documentés et sensibles permettent de préciser certaines valeurs pré-existantes

	Arve	Jons	Saône	Isère	Durance	Arles	J+S+I+D	bilan
<b>Flux MES mesuré sur année hydrologique 2011-2012 [Mt/an]</b>	<b>0,35</b>	<b>0,69</b>	<b>0,27</b>	<b>1,1</b>	<b>2,1</b>	<b>3,9</b>	<b>4,1</b>	<b>8%</b>
<i>concentration mesurée [µg/l]</i>	0,168	0,039	0,033	0,110	1,544	2002-2012		
<b>Flux MES moyen sur les 10 dernières années hydrologiques [Mt/an]</b>	<b>0,49</b>	<b>0,61</b>	<b>0,39</b>	<b>2,3</b>	<b>1,65</b>	<b>4,2</b>	<b>4,9</b>	<b>18%</b>
<i>Min - Max</i>	<b>0,30 - 0,96</b>	<b>0,28 - 1,36</b>	<b>0,30 - 0,52</b>	<b>0,82 - 8,1</b>	<b>0,60 - 3,2</b>	<b>0,98 - 9,1</b>		
<i>Ecart-type interannuel</i>	-41%	52%	-17%	94%	56%	69%		
<i>Incertitude d'estimation de la moyenne</i>	26%	33%	11%	60%	35%	44%		
<b>Flux spécifique [t/an/km²]</b>	<b>248</b>	<b>30</b>	<b>13</b>	<b>400</b>	<b>116</b>	<b>35</b>		
<i>concentration moyenne [µg/l]</i>	0,245	0,036	0,030	0,254	1,100	0,100		
<i>concentration mesurée [µg/l]</i>	0,248	0,029	0,026	0,254	2,033			
<b>Flux MES moyen long-terme [Mt/an]</b>	<b>0,78</b>	<b>0,80</b>	<b>0,45</b>	<b>2,3</b>	<b>?</b>	<b>6,7</b>	<b>3,6</b>	<b>-47%</b>
<i>Min - Max</i>	<b>0,22 - 1,4</b>	<b>0,25 - 2,0</b>	<b>0,07 - 1,1</b>	<b>0,82 - 8,1</b>		<b>0,98 - 20</b>		
<i>concentration moyenne [µg/l]</i>	0,390	0,047	0,035	0,256	0,160	6,7		
<b>Flux EGR min [Mt/an]</b>	<b>1</b>	<b>1,4</b>	<b>1,5</b>	<b>3,5</b>	<b>0,1</b>	<b>6,7</b>	<b>6,5</b>	<b>-2%</b>
<i>concentration moyenne [µg/l]</i>	0,500	0,082	0,116	0,389	0,067	0,159		
<b>Flux EGR max [Mt/an]</b>	<b>3,6</b>	<b>4,1</b>	<b>3</b>	<b>3,5</b>	<b>1,8</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>23%</b>
<i>concentration moyenne [µg/l]</i>	1,600	0,240	0,233	0,389	1,200	0,240		

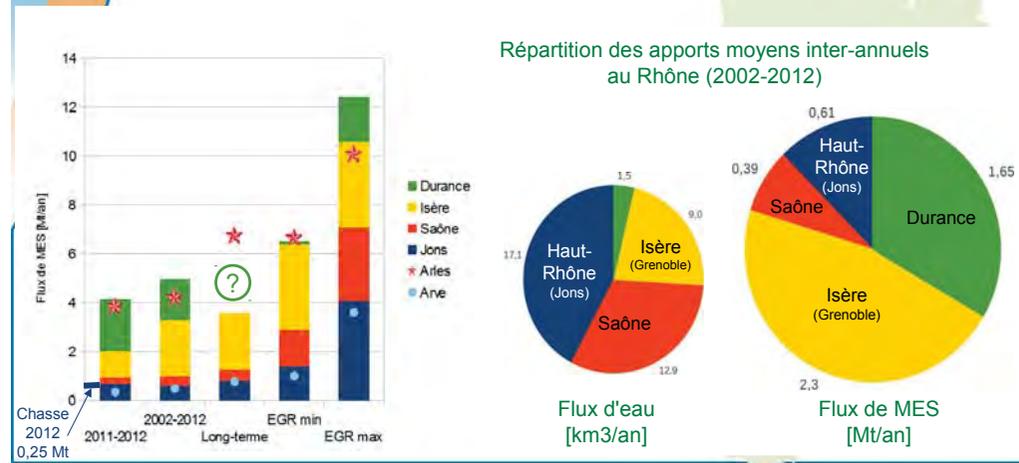
Notes. Pour l'Isère, les flux 10 ans et long-terme sont mesurés à Grenoble-Campus. Pour EGR flux Arles, on a considéré 90 % de Beaucaire. La moyenne 10 ans sur la Durance est établie à partir des années civiles 2002-2003-2008-2009-2011-2012 (données EDF).



# Une nouvelle image des flux particuliers moyens inter-annuels

Des valeurs revues à la baisse pour le Rhône et ses affluents majeurs

- les flux de MES annoncés par l'EGR apparaissent fortement surestimés
- les teneurs moyennes en contaminants obtenues avec des protocoles d'analyse documentés et sensibles permettent de préciser certaines valeurs pré-existantes



# Analyse spatiale de la production particulaire des sous-bassins versants

La méthode quantitative PESERA, calée pour des grands bassins européens, fournit des résultats incohérents avec les mesures de flux

La méthode qualitative de Bertrand (2009) fournit une cartographie des érosivités pour hiérarchiser les contributions des sous-bassins



→ l'indicateur de sensibilité à l'érosion est calculé par croisement d'indicateurs (relief, géologie, occupation du sol)

→ pour évaluer les flux particuliers moyens : croisement avec le forçage hydro-climatique, sources et sols pollués, connectivité hydrographique

→ nécessaire agrégation par sous-bassins  
→ un préliminaire à la modélisation hydrologique spatialisée

Sensibilité à l'érosion sur le Haut-Rhône et la Saône allant du vert (faible) au rouge (forte)



# Perspectives

Poursuite de l'effort multi-partenarial d'observation des flux particuliers

Prélèvements et analyses

- résultats en cours de traitement, notamment sur affluents
- maintenance, développement et homogénéisation du réseau
- extension à d'autres substances d'intérêt émergentes

Gestion des données

- expression des incertitudes sur les flux
- bancarisation des chroniques et flux dans la base de données FluxOSR
- bancarisation des échantillons et des résultats d'analyse

Modélisation

- modélisation des flux dans le réseau avec le modèle Adis-TS
- croisement des flux observés avec les archives sédimentaires
- analyse spatiale des bassins-versants sources et modèle hydrologique



## **Le rôle des évènements extrêmes dans ce transit**

---

Christelle Antonelli, IRSN  
Hélène Angot, IRSTEA Lyon

# Rôle des événements extrêmes dans le transit des MES et des contaminants associés

H. Angot et C. Antonelli

Contributeurs principaux :

M. Coquery, D. Cossa, F. Eyrolle-Boyer, S. Gairoard,  
M. Launay, J. Le Coz, O. Radakovitch, M. Zebracki



# Introduction

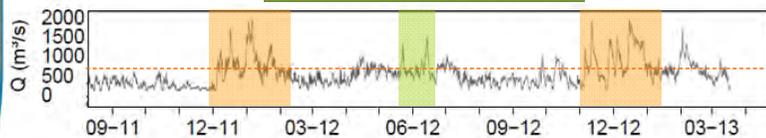
Qu'entend-on par « événements extrêmes » ?

- Origine naturelle : crues
- Origine anthropique : gestion d'ouvrage et entretien du chenal de navigation (chasses, dragage)

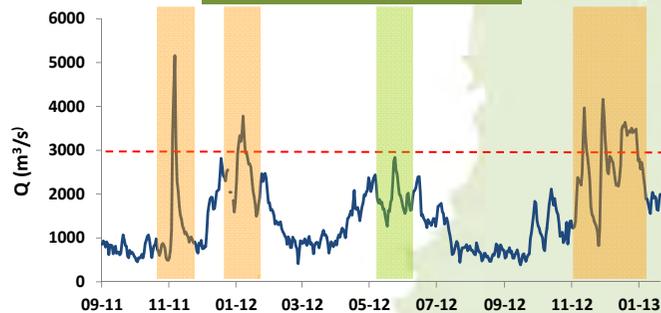
Pourquoi s'y intéresser ?

- Evènements rapides et limités dans le temps
- Influence à large échelle
- Flux importants de MES et de contaminants associés

Station du Rhône à Jons



Station du Rhône à Arles

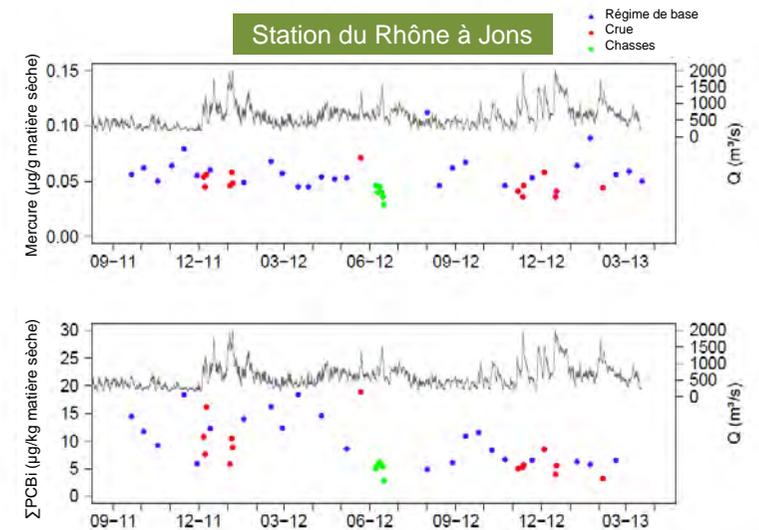


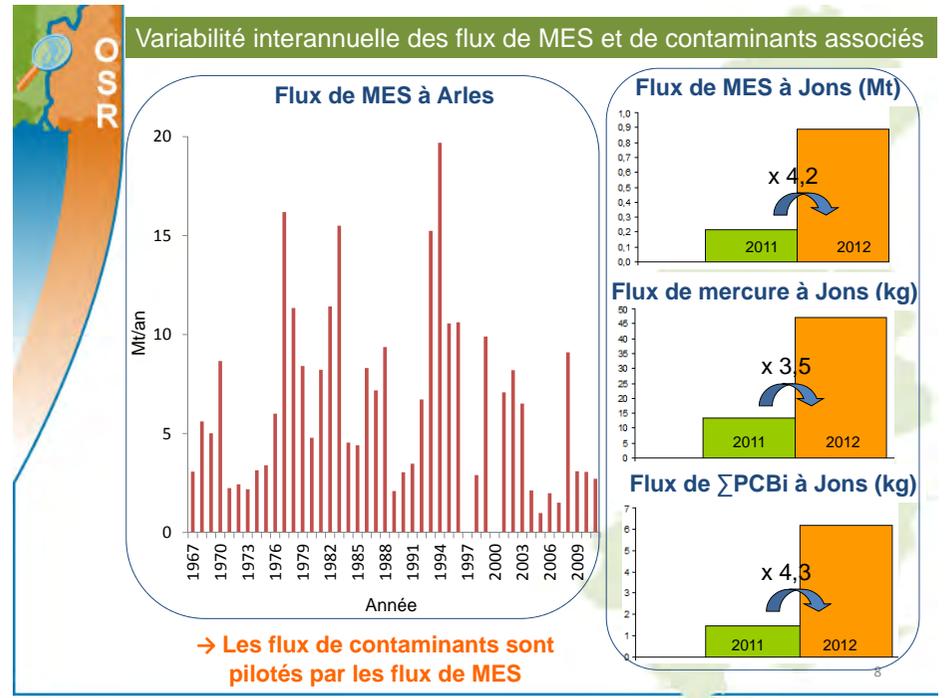
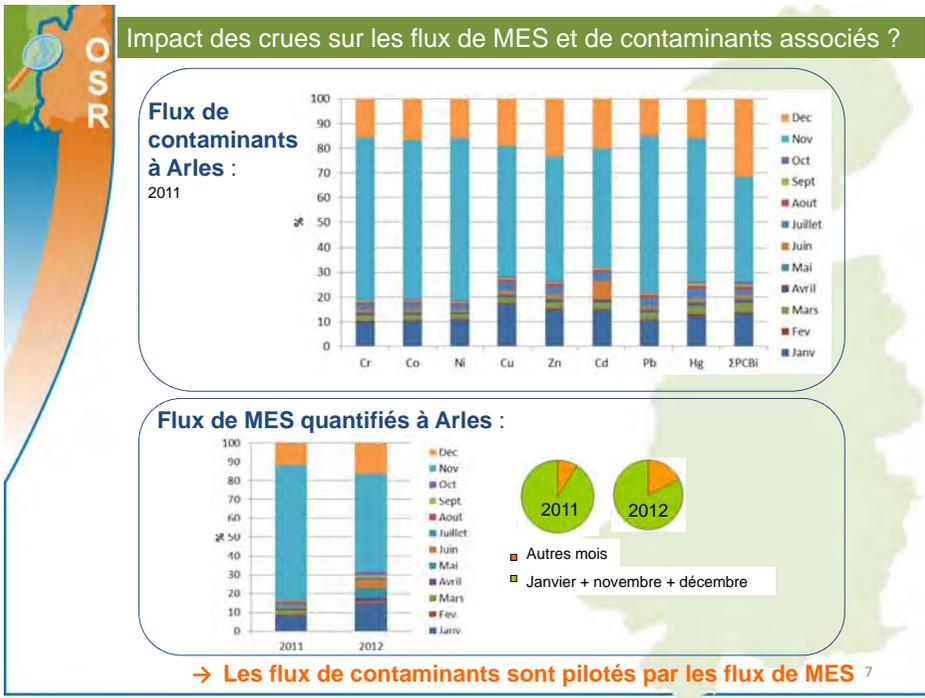
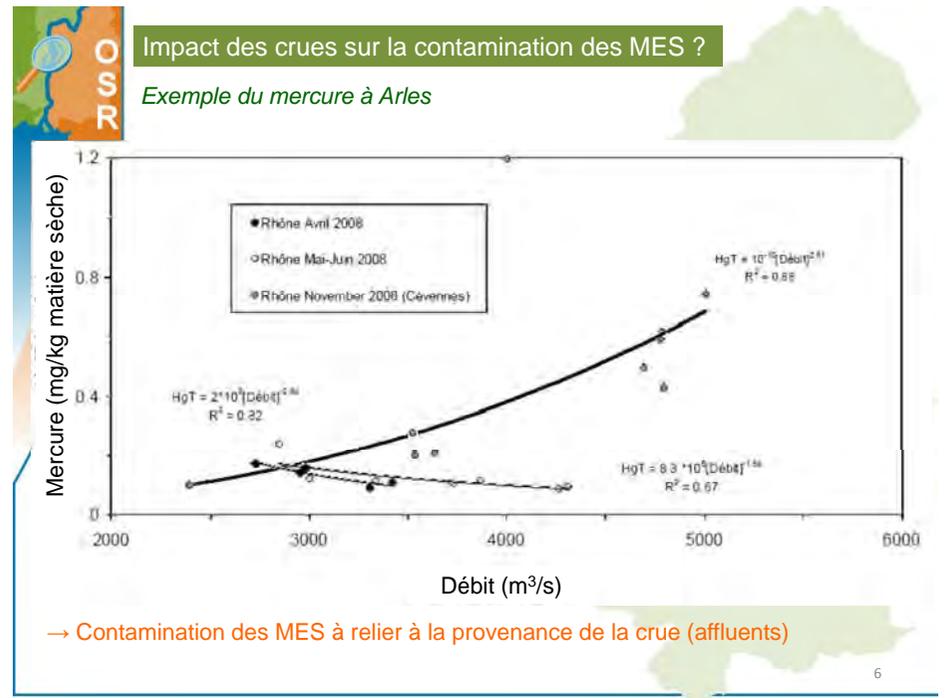
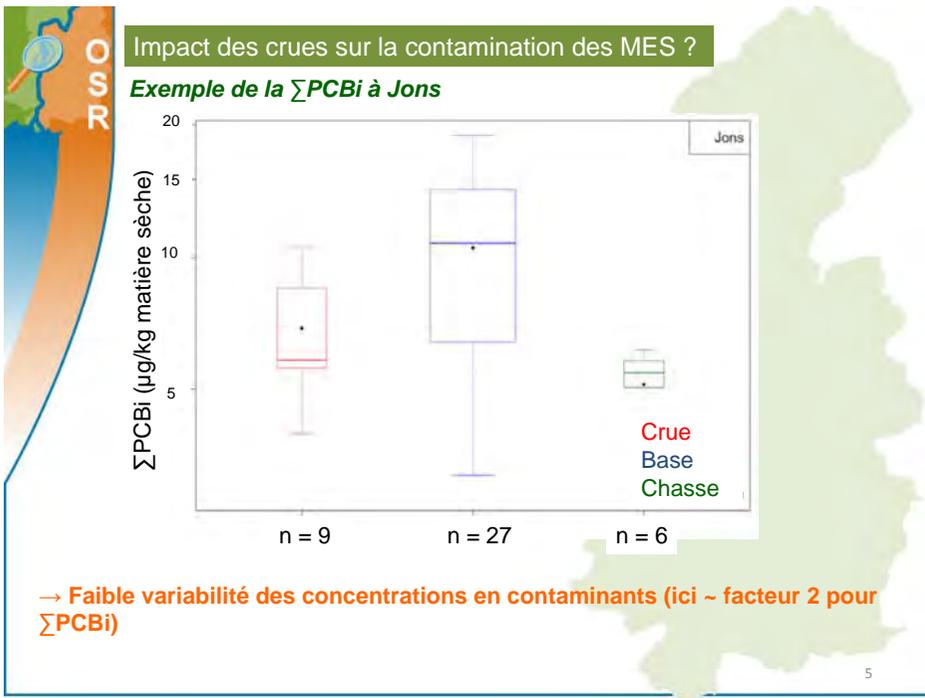
Crue : débit > 800 m³/s à Jons et 3 000 m³/s à Arles

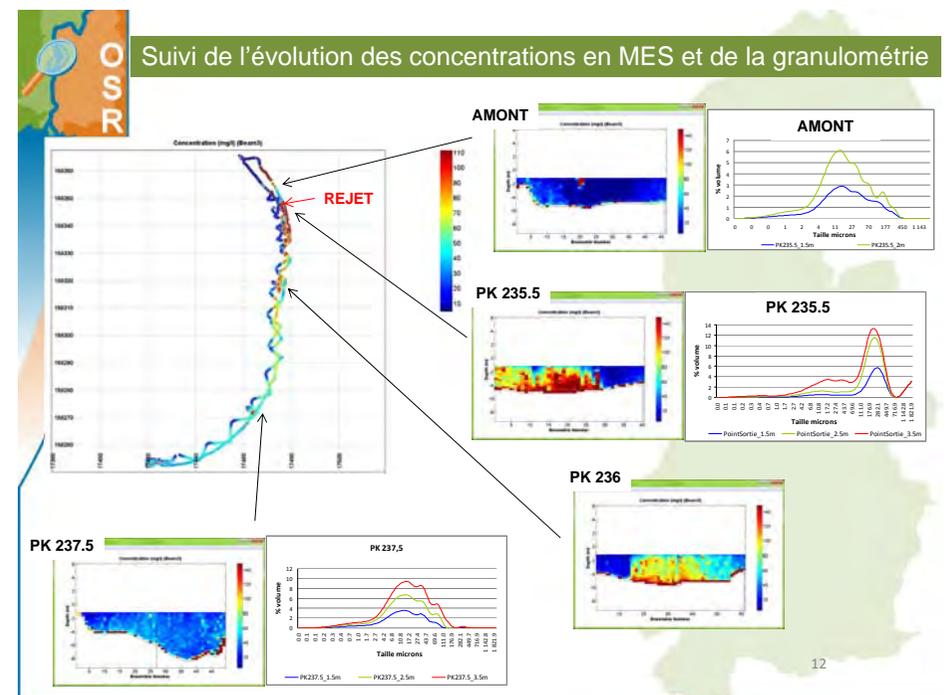
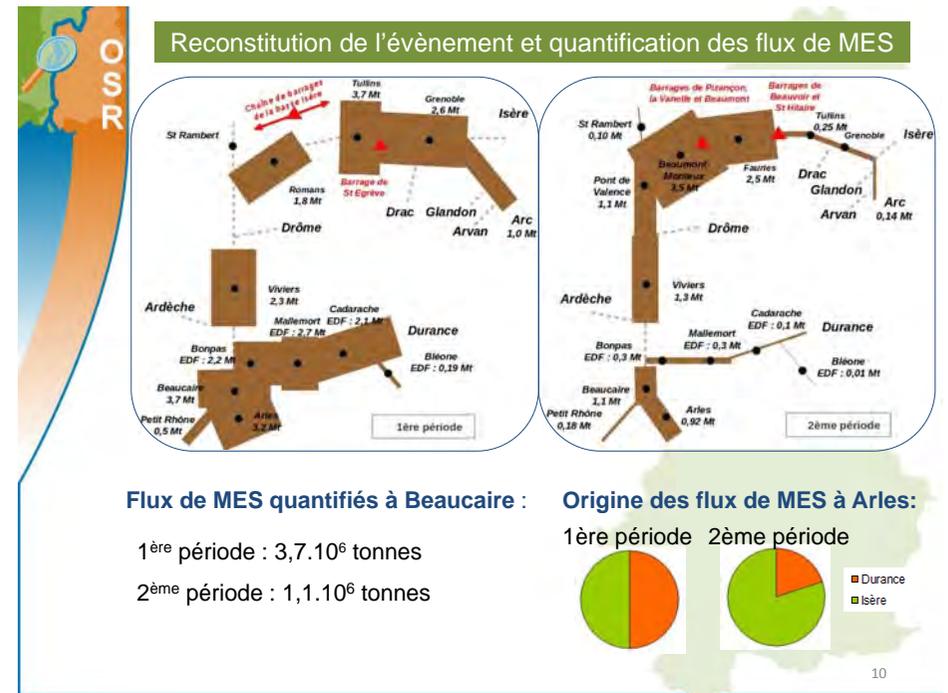
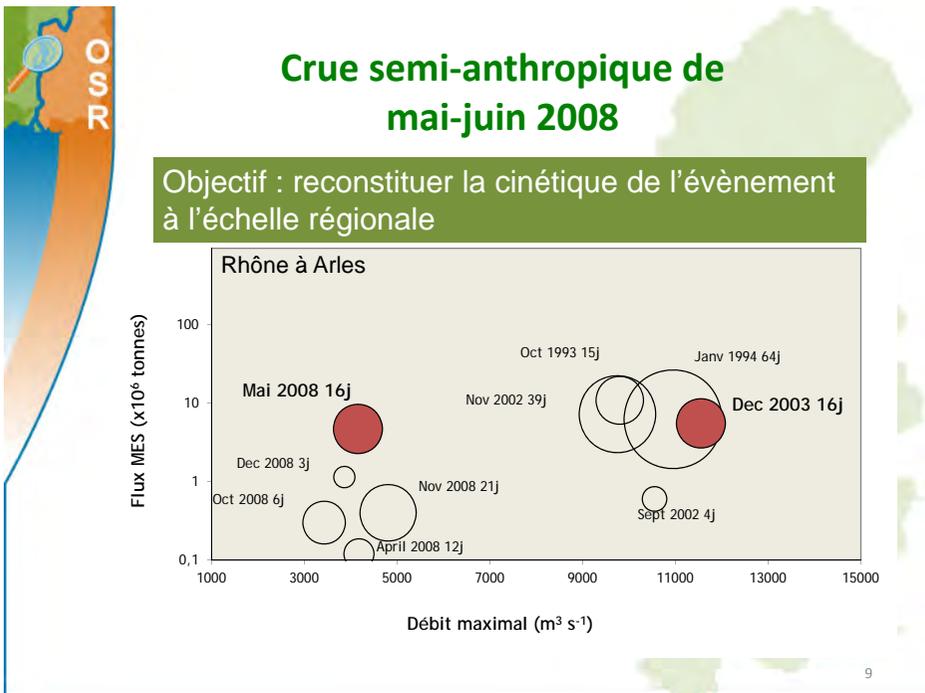
Opérations de chasse sur le Haut-Rhône (juin 2012)

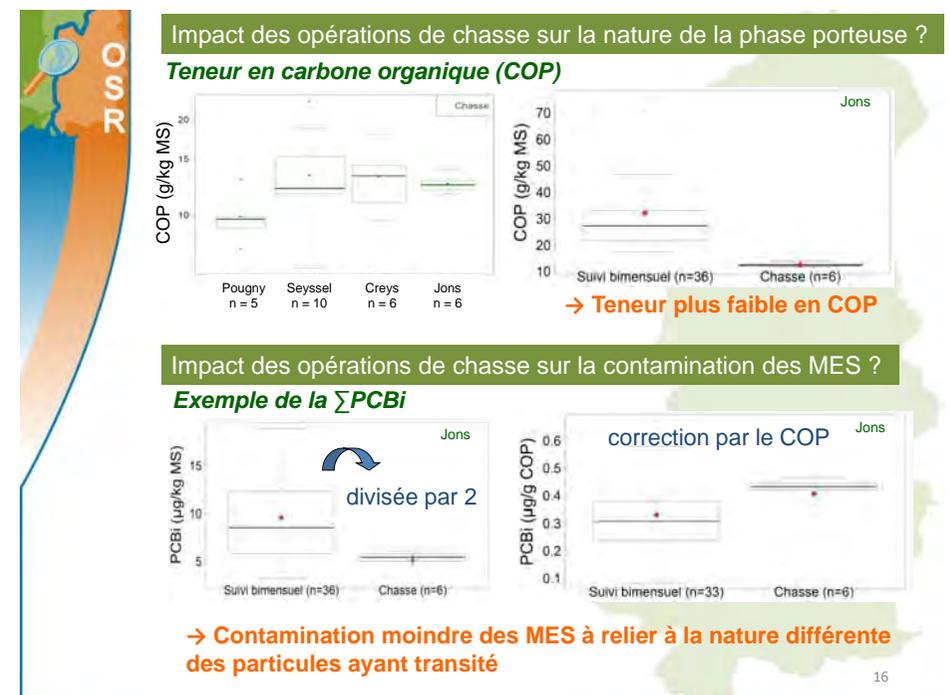
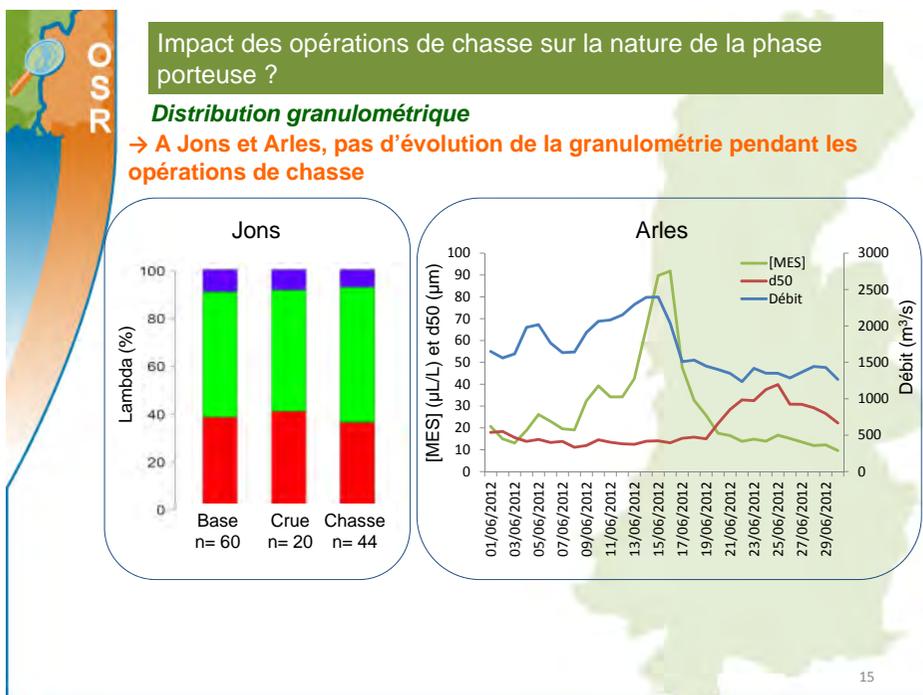
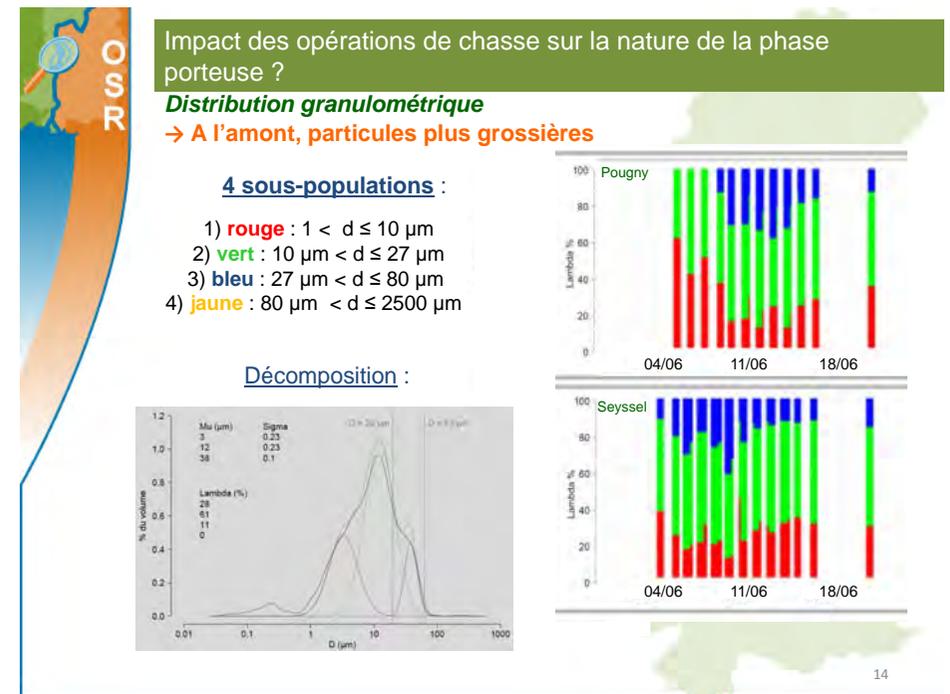
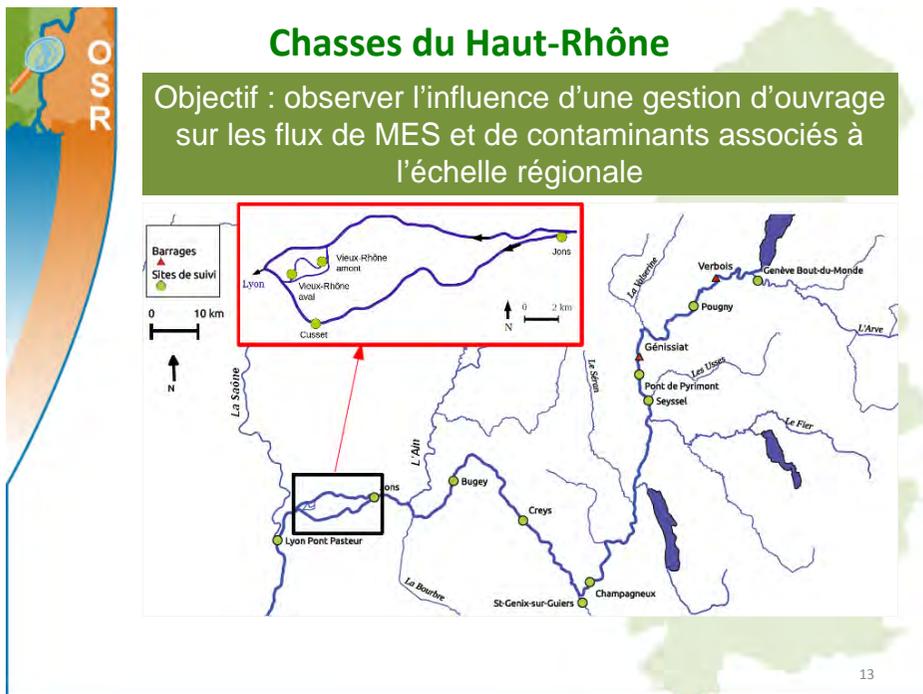
# Suivi des crues du Rhône

Station du Rhône à Jons



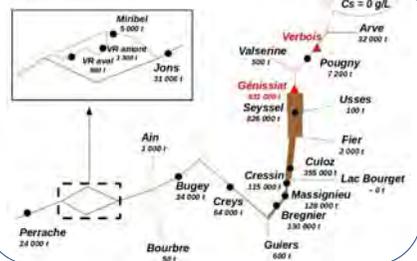






## Impact des opérations de chasse sur les flux de MES et contaminants associés ?

### Semaine 1 :



### Flux de MES quantifiés à Jons :

Semaine 1 : 0,03.10<sup>6</sup> tonnes

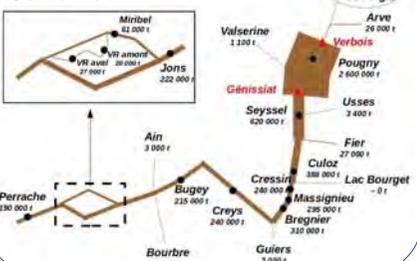
Semaine 2 : 0,22.10<sup>6</sup> tonnes

Total : 0,25.10<sup>6</sup> tonnes

► **près de 30% du flux annuel de MES 2012**  
~ crue



### Semaine 2 :



**Flux de mercure quantifié à Jons : 10,8 kg**

**Flux de ΣPCBi quantifié à Jons : 1,5 kg**

► **près de 25% des flux annuels 2012**  
~ crue



→ **Les flux de contaminants sont pilotés par les flux de MES**

17

## Conclusions et perspectives :

→ Evénements générateurs de flux importants de MES (jusqu'à 80% du flux annuel selon les secteurs / années)

→ Les flux de MES pilotent les flux de contaminants particulaires, expliquant de fait les variations intra et inter-annuelles

→ Acquisition de données permettant de caractériser les phases porteuses et les zones de production (sédimentaires, contaminants)

→ Intérêt de mettre en place un suivi collaboratif entre partenaires de recherche et opérationnels pour étendre la couverture spatio-temporelle des suivis et la complémentarité des analyses (optimisation des moyens et des compétences)

→ Intérêt d'utiliser le modèle hydraulique pour comprendre la cinétique des événements. Nécessité de développer le modèle sédimentaire pour simuler les flux dans le bassin versant, depuis les zones de production jusqu'au milieu marin.

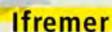
18

## Rôle des événements extrêmes dans le transit des MES et des contaminants associés

H. Angot et C. Antonelli

Contributeurs principaux :

M. Coquery, D. Cossa, F. Eyrolle-Boyer, S. Gairoard,  
M. Launay, J. Le Coz, O. Radakovitch, M. Zebracki



# **DYNAMIQUES DES CONTAMINANTS**

---



## **Expression des enjeux**

---

Eve Sivade, Agence de l'Eau RMC



# Sédiments et qualité du fleuve : quels enjeux ?

Agence de l'eau  
Eve SIVADE  
Chargée d'études « fleuve Rhône »

## Les priorités d'actions sur le fleuve

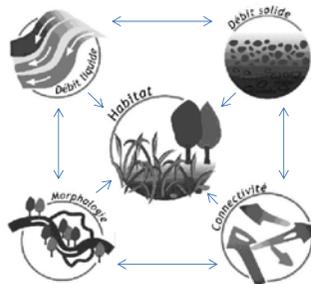
- Volet Qualité, Ressource et Biodiversité du Plan Rhône



- ✓ La **lutte contre les toxiques** dissous et particulaires ;
- ✓ La restauration physique et écologique pour **améliorer la qualité du milieu** qui consiste :
  - à réactiver les connexions avec le chenal afin de remettre en eau de façon permanente ou temporaire les annexes fluviales
  - à augmenter le débit dans les Rhône court-circuités au minimum au 1/20<sup>e</sup> du module ;
- ✓ **L'amélioration de la gestion des sédiments** à l'échelle du fleuve et sur les Vieux Rhône prioritaires

## Objectifs et actions

- Améliorer la diversité et la qualité des organismes vivants
- Qualité d'habitats



- Qualité physico-chimique

## Stratégie de restauration hydro-écologique

- **Actions charge de fond/géométrie chenal**
  - Intérêt opérationnel : modéliser les transferts de charge grossière et établir des bilans sédimentaires large échelle
- **Actions liées à la morphologie et sédimentation en lit majeur**
  - Intérêt opérationnel lors des travaux de restauration :
    - Estimer les secteurs d'élargissement potentiel
    - Estimer les volumes de sédiments qui pourraient être remobilisés et simuler les phénomènes de sédimentation *en lien avec différents scénarios de restauration*
    - affiner la temporalité des phénomènes, *afin de cerner les conséquences dans l'espace et dans le temps des travaux de restauration.*
    - Estimer les polluants remobilisés lors des travaux sur le marges alluviales. (Intervention ENTPE)

## Stratégie de lutte contre la pollution toxique

- **Actions de mesure des flux de matière en suspension et polluants associés**
  - **Contribution des BV affluents à la pollution, origine de la pollution**
    - Intérêt opérationnel : Prioriser les actions contre la pollution par les substances toxiques rejetées par les entreprises et les collectivités (Intervention Cerege/RSN)
  - **Mise en place d'un réseau pérenne de suivi des flux à l'échelle de l'axe Rhône**
    - Intérêt opérationnel : Améliorer le suivi et évaluer l'impact des actions de lutte contre la pollution.



## Protection du milieu marin et le littoral méditerranéen

- **Mesure la contribution du fleuve à la Mer : suivi long terme et haute fréquence**
  - Intérêt opérationnel : évaluer la charge de pollution transférée dans l'environnement marin
- **Quantifier les apports en sable à la Mer et leur devenir**
  - Intérêt opérationnel : problématique de l'embouchure (stabilité du chenal) et du littoral (trait de côte)



## Les questions posées à l'OSR sur la dynamique des contaminants

- Quels sont les flux de pollution particulaire en provenance des principaux affluents et à la Mer ?
- Quels sont les niveaux de pollutions des sédiments dans le chenal et sur ses marges ?
- Quelle est l'origine des sédiments transportés et des polluants associés ?
- Quel pourrait être le devenir des sédiments remobilisés et des polluants associés ?



## **Historique, zones contributrices et dynamique des polluants à l'échelle du fleuve : le cas des PCB**

---

Brice Mourier, ENTPE, UMR 5023 LEHNA

# Historique, zones contributrices et dynamique des polluants à l'échelle du fleuve

## Le cas des PCB

B. Mourier, J.P. Bedell, G. Roux, Y. Perrodin

M. Desmet

M. Babut

B. Malher, P. van Metre



Contact: brice.mourier@unilim.fr

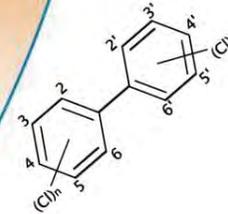
## Contexte



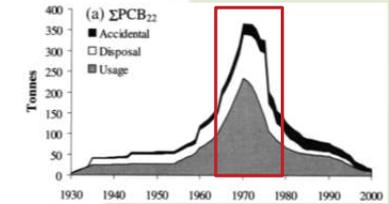
Depuis 2005, le souci de l'exposition humaine aux PCBs a pris de l'ampleur (consommation de poisson, qualité de l'eau...)

Principales propriétés physico-chimiques des PCB

- Faiblement biodégradables
  - Lipophiles (transfert vers les êtres vivants & bioaccumulation)
  - Peu volatils
  - Hydrophobes
- Adorption sur les particules



Historique des émissions globales de PCB (Breivik et al. 2002)



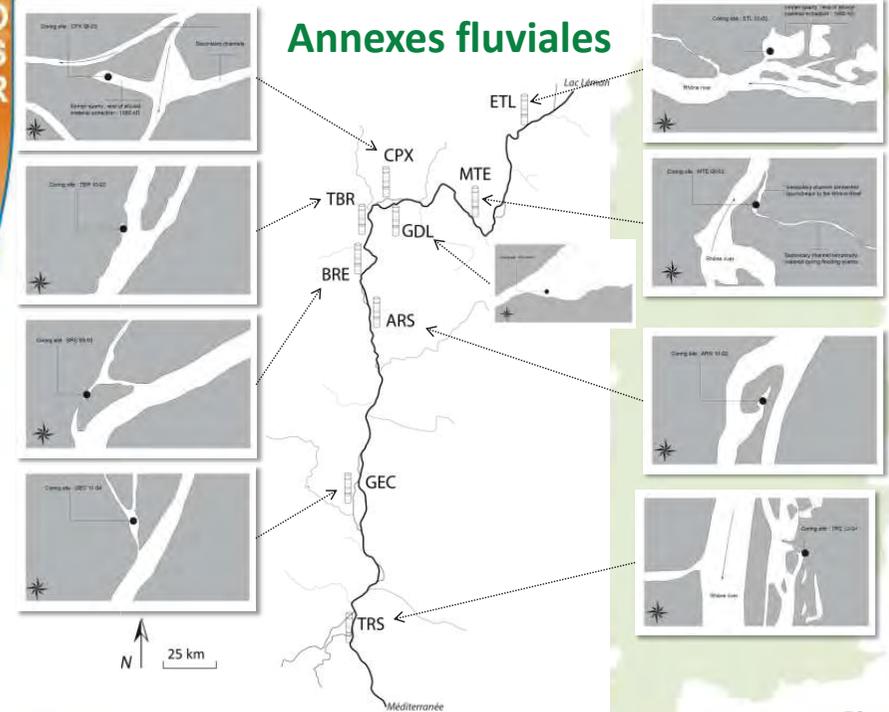
La qualité chimique des sédiments stockés représente donc un enjeu pour les gestionnaires et décideurs

## Objectifs

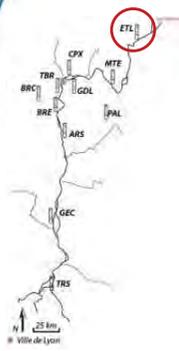
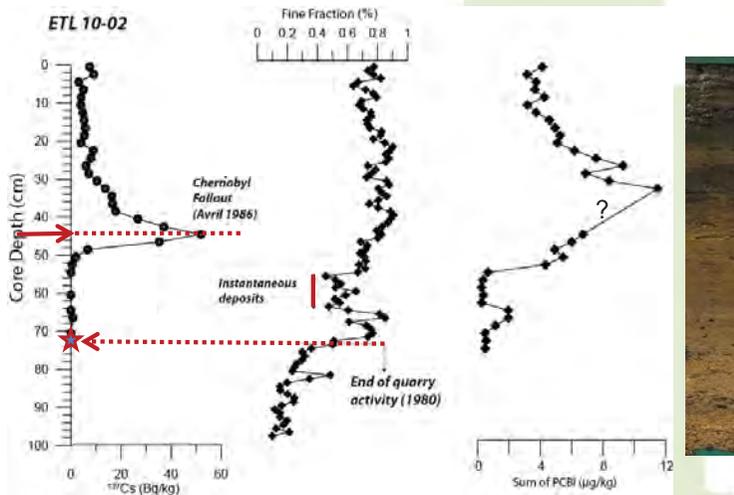
Caractériser (datation, granularité, polluants...) les stocks sédimentaires dans le lit majeur et établir une typologie des remplissages.

Comprendre la dissémination dans l'espace et le temps des polluants hydrophobes stockés et identifier les zones sources

## Annexes fluviales



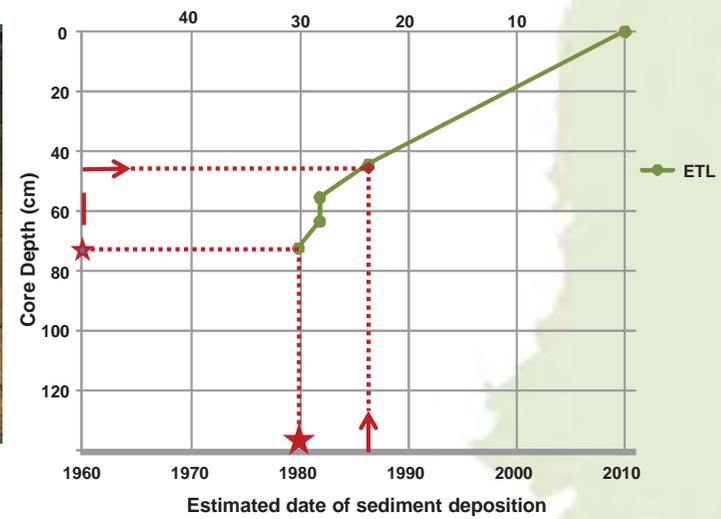
# Méthodologie



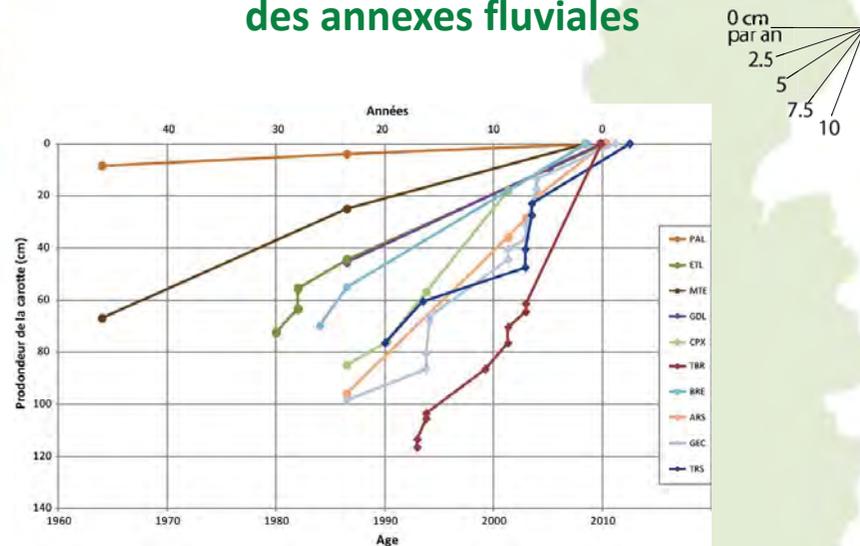
# Méthodologie



Modèle Age-Profondeur

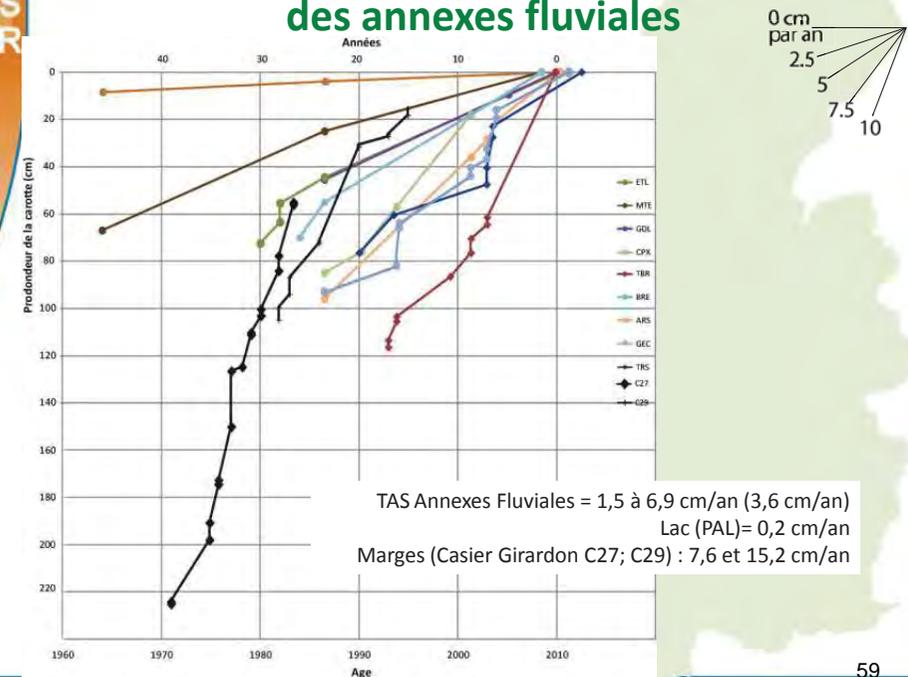


# Dynamique de remplissage des annexes fluviales



TAS annexes fluviales : de 1,5 à 6,9 cm/an (3,6 cm/an) → De 20 à 50 ans  
Lac (PAL)= 0,2 cm/an

# Dynamique de remplissage des annexes fluviales



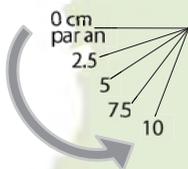
TAS Annexes Fluviales = 1,5 à 6,9 cm/an (3,6 cm/an)  
Lac (PAL)= 0,2 cm/an  
Marges (Casier Girardon C27; C29) : 7,6 et 15,2 cm/an

## Bilan sur la sédimentation des annexes fluviales

La datation des carottes est contrainte par des marqueurs chronologiques robustes

Les données acquises sur ces 9 carottes fournissent des indications chiffrées de la dynamique et des modalités de remplissage de ces annexes fluviales.

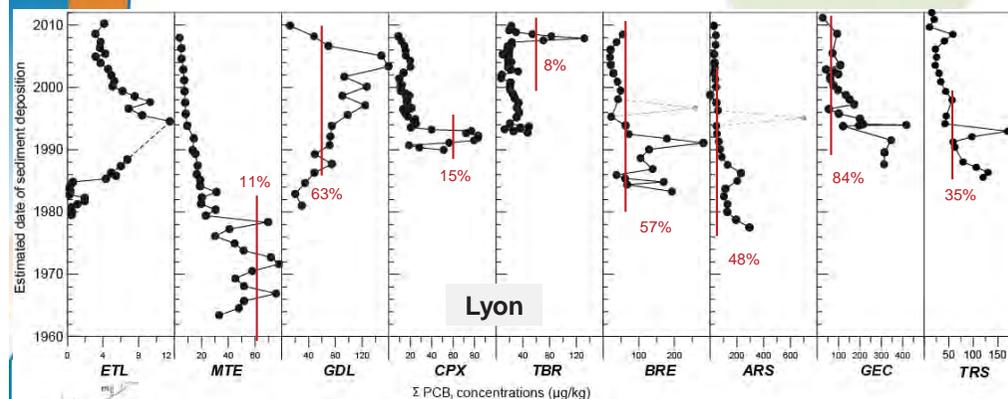
Décanteur  
Enregistrement continu



Accrétion verticale importante  
Variations granulométriques (crués)  
Connexion au chenal actif

- Reconstruire des tendances récentes à l'échelle pluri décennale (entre 20-50 années)
- Perspectives là où les données historiques n'existent pas

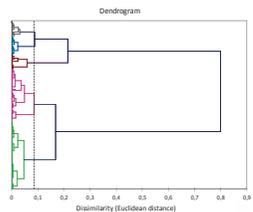
## Profils de concentration en PCB



- Variabilité des teneurs en PCB intra- et inter-sites
- Tendence générale de diminution par rapport aux années 70 avec l'existence d'émission récentes (GDL, TBR). Augmentation des [C] en aval
- Les niveaux (couches) dépassant le seuil de recommandation à 60µg/kg sont plus nombreux en aval

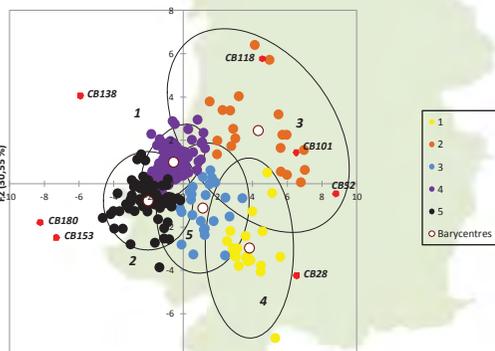
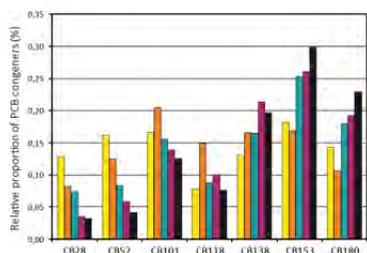
## Analyse multivariée des profils de congénères

Méthode CAH sur les congénères



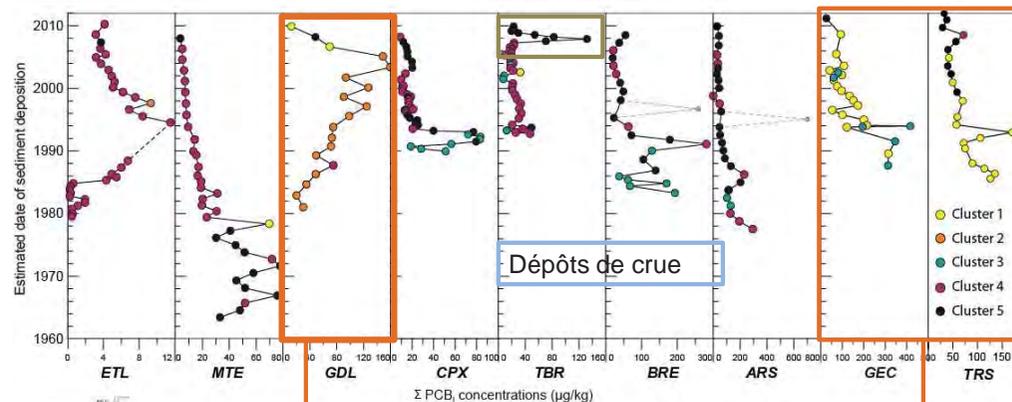
Observations (axes F1 et F2 : 96,42 %)

Composition des clusters



## Profils de congénères un traceur de source?

Source Ponctuelle



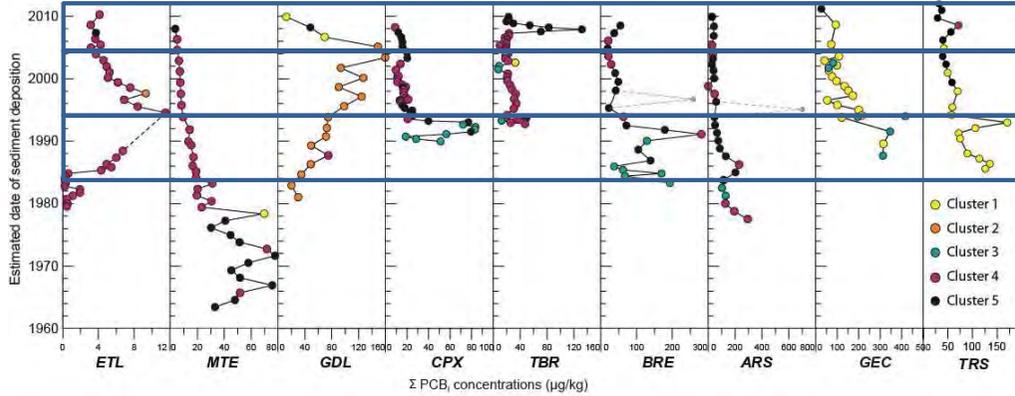
Autre source Bourbre?

Lyon

Isère, Agglo Valence, Source Ponctuelle?



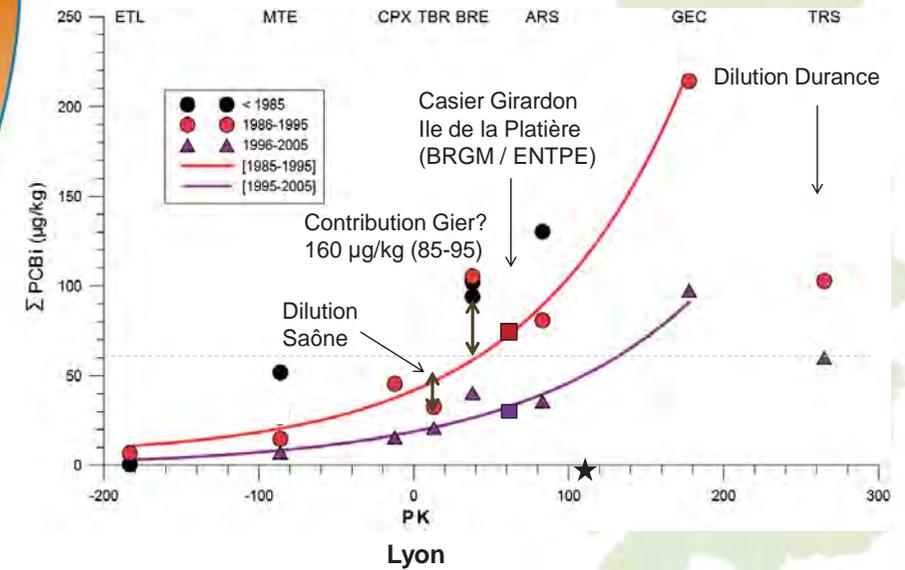
## Composition des congénères un traceur de source?



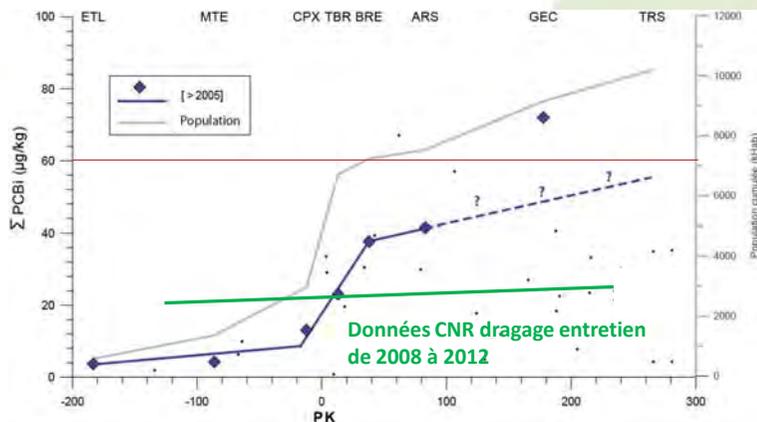
Découpage en trois fenêtres temporelles  
Avant 1985 // 1986-1995 // 1996-2005 // >2005



## Tendances spatiales à l'échelle du corridor Années 1990 et 2000



## Tendances spatiales à l'échelle du corridor Après 2005



Plus de sources en amont, agglomération Lyonnaise et affluents en aval  
En aval, tendances à confirmer au niveau des AF et marges  
Jusqu'à ARS, émissions corrélée avec la population cumulée



## Bilan sur le modèle de répartition des PCB dans le Rhône

- Meilleure connaissance de la répartition spatiale des PCBs à l'échelle du fleuve.  
*Gradient amont/aval pour les pollutions anciennes*  
*Actuellement: stabilisation des teneurs avec zones et points sources toujours actifs (agglomérations ...)*
- Atténuation importante entre 1990 et 2000, plus lente sur le récent.  
*Effets de l'arrêt de la production de PCB et de l'élimination des gros équipements (réglementation)*
- Valeurs [>2005] en dessous du seuil de recommandation à 60 µg/kg
- Projections à 10-30 ans pour atteindre des valeurs seuils pour le poisson (10 et 28 µg/kg dans le sédiment)
- Éléments pour la gestion des stocks pollués (Projets de restauration du vieux Rhône...)

# Délicivrables Toxicité et Mobilité



OBSERVATOIRE DES SEDIMENTS DU RHÔNE  
CONVENTION CNRS N°2010-1078  
ACTION 4

**Délicivrable :**  
Essais d'écotoxicité et préconisation de gestion de  
sédiments déposés à terre  
« Application à cinq sédiments du Bassin du Rhône »

Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat (ENTPE)  
Laboratoire d'Ecologie des Hydrosystèmes Naturels et Anthropisés(LEHNA)  
UMR 5022 LEHNA - CNRS-ENTPE Université Lyon 1  
Boulevard Pinel, 69623 Villeurbanne cedex 3  
2, Rue Maurice Audin  
69518 Villeurbanne, France



OBSERVATOIRE DES SEDIMENTS DU RHÔNE  
CONVENTION CNRS N°2010-1078  
ACTION 4

**Délicivrable :**  
Essais de mobilité des polluants des sédiments du Rhône  
« Approche de la mobilité et de la bioaccumulation dans des plantes des polluants  
PCB et métaux de 5 sédiments du Rhône »

Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat (ENTPE)  
Laboratoire d'Ecologie des Hydrosystèmes Naturels et Anthropisés(LEHNA)  
UMR 5022 LEHNA - CNRS-ENTPE Université Lyon 1  
Boulevard Pinel, 69623 Villeurbanne cedex 3  
2, Rue Maurice Audin  
69518 Villeurbanne, France

# Merci



# **Dynamique spatiale des contaminants métalliques sur le Rhône**

---

Olivier Radakovitch, CEREGE UMR 7330, Aix-Marseille Université



# Dynamique spatiale des contaminants métalliques sur le Rhône

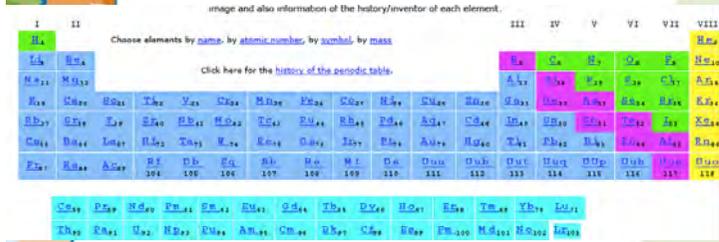
Radakovitch O., Eyrolle-Boyer F.

Contributeurs : Angot H., Antonelli C., Bedell J.P. Cossa D., Coquery M., Gairoard S., Launay M., Mourier B., Perrodin Y., Sabatier D., Zebracki M.,

- Objectifs:
- évaluer le degré de contamination
  - caractériser les sources et les phases porteuses
  - définir les mécanismes majeurs du transport



# Quels contaminants métalliques étudiés ?



Métal : élément qui manque d'électron sur sa couche externe et est susceptible de former des cations.

## Éléments traces métalliques d'intérêt pour l'OSR

- Listés par la DCE 2008 : Ni, Pb, Cd et Hg
- Apports anthropiques globaux: Cu, Zn
- Contaminations plus spécifique: As, Sb, Cr, Co
- Connaissances relativement faibles : Ag, Sn, Terres rares (Nd, Dy, Gd, ...)
- Radioisotopes artificiels et naturels: <sup>137</sup>Cs, <sup>239,240</sup>Pu, <sup>238</sup>U, <sup>235</sup>U, <sup>232</sup>Th...

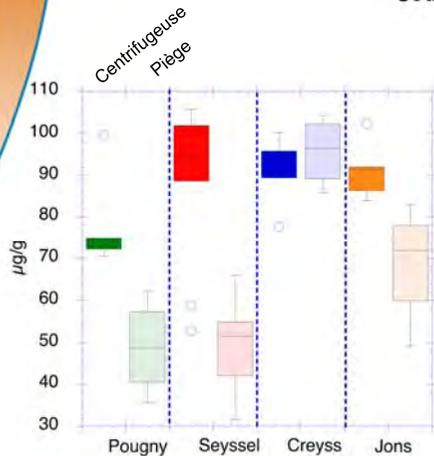


Sources très diverses (rejets industriels, mines, urbanisation, station d'épuration, intrants agricoles, atmosphère, sols)



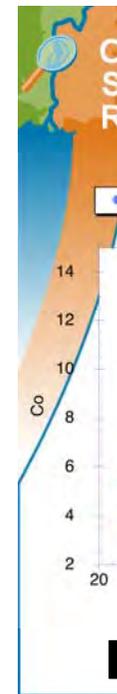
# Les matrices étudiées à l'OSR

- MES prélevées en surface
  - Pièges à sédiment
  - Laisses de crues
  - Sédiment
- Transfert actuel
- Accumulations passées (historique)  
Source potentielle



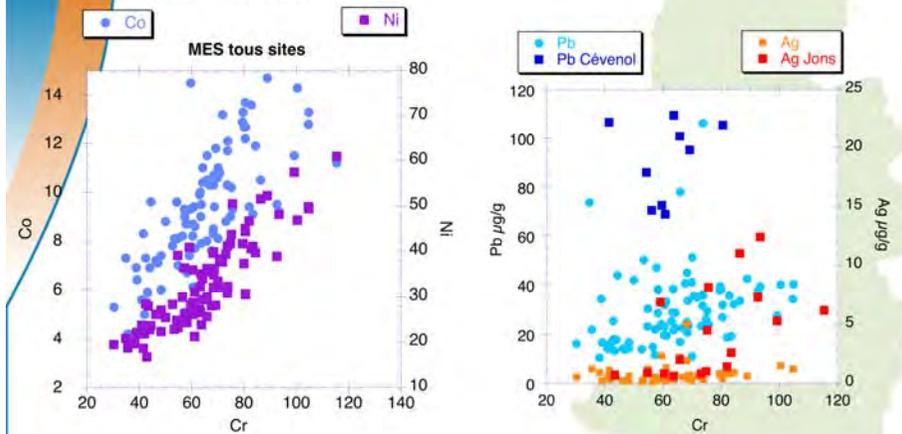
Teneurs en Zn durant les chasses 2012

La comparaison de ces matrices requiert des précautions de normalisation.



# Teneurs naturelles vs anthropiques

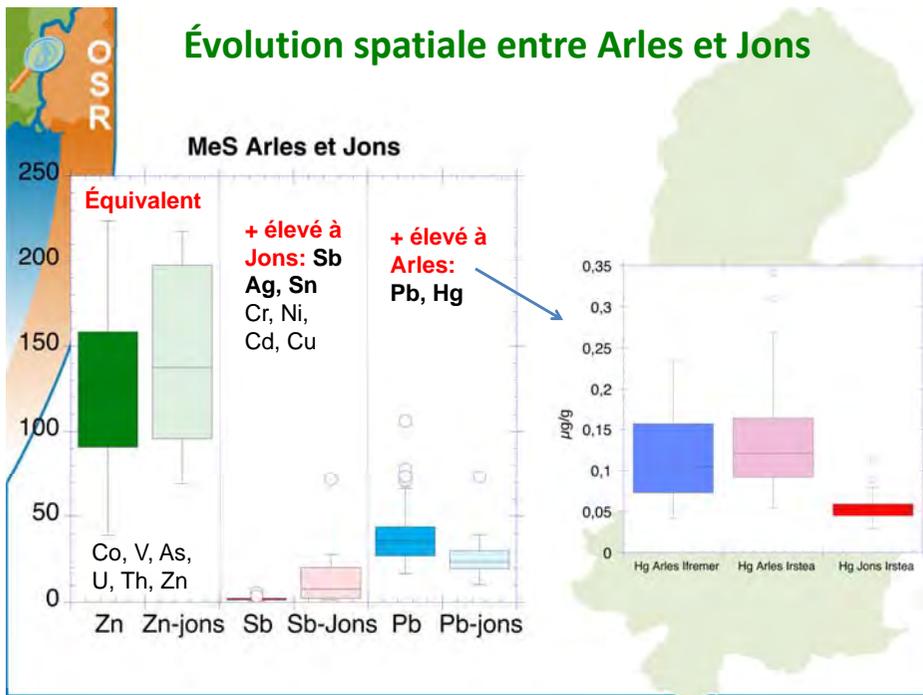
La possibilité de distinguer entre teneurs naturelles ou liées à des apports anthropiques à une échelle globale peut se faire sur la base des relations entre métaux, mais l'évaluation des fonds géochimiques de chaque affluent offrira une meilleure précision.



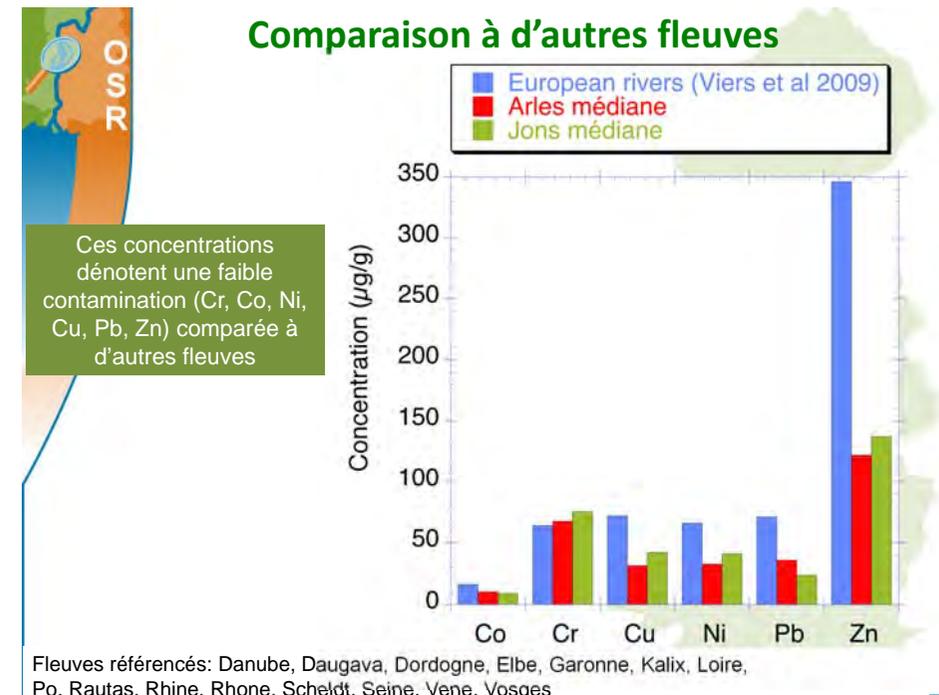
Naturels: Cr, Co, Ni, V

Anthropisés: Pb, Ag, Sn, Sb, Zn, Cu, Cd, Hg

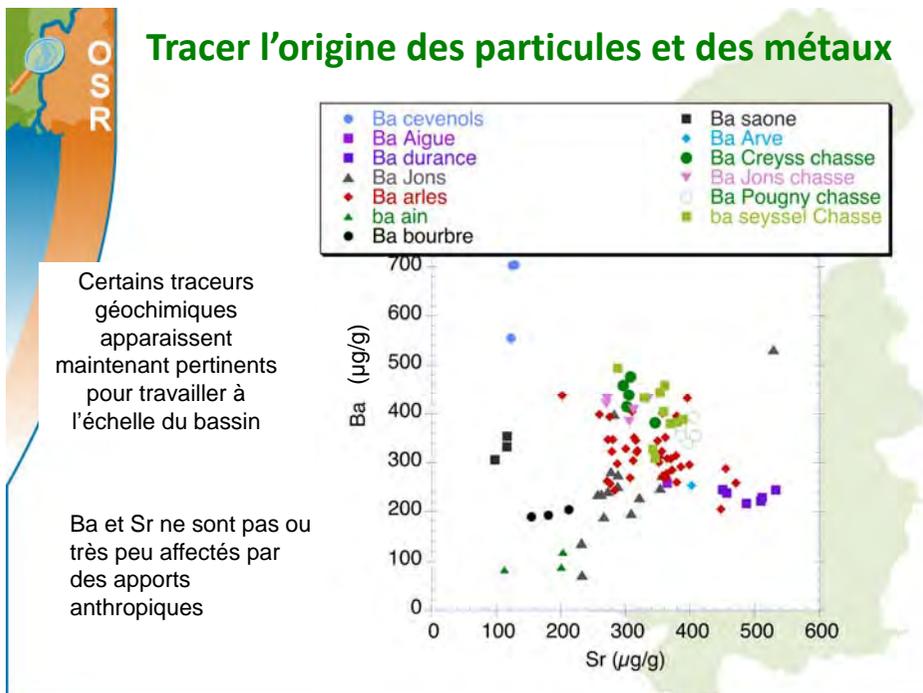
## Évolution spatiale entre Arles et Jons



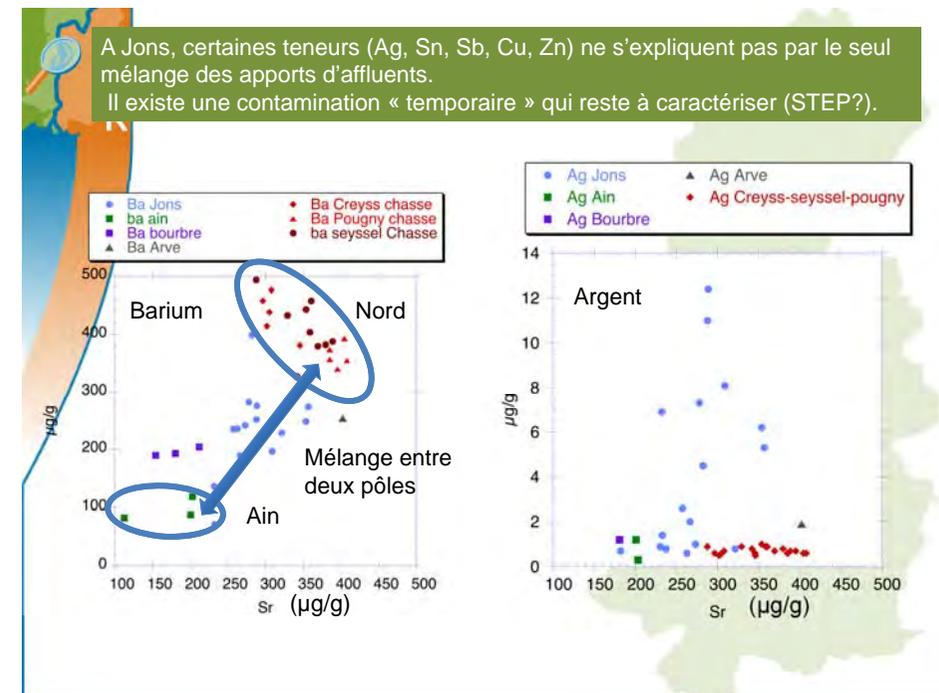
## Comparaison à d'autres fleuves

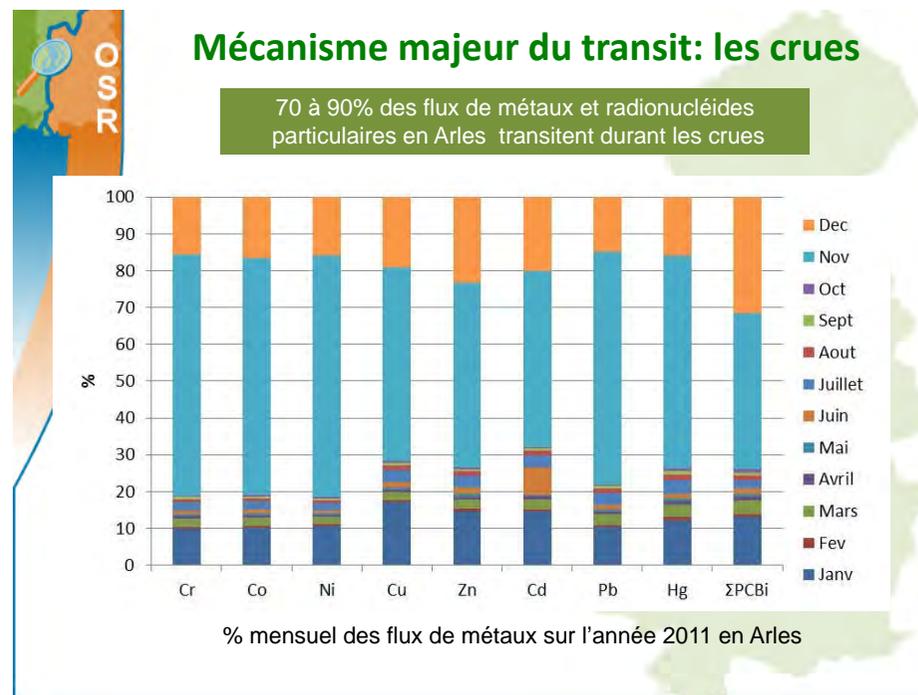
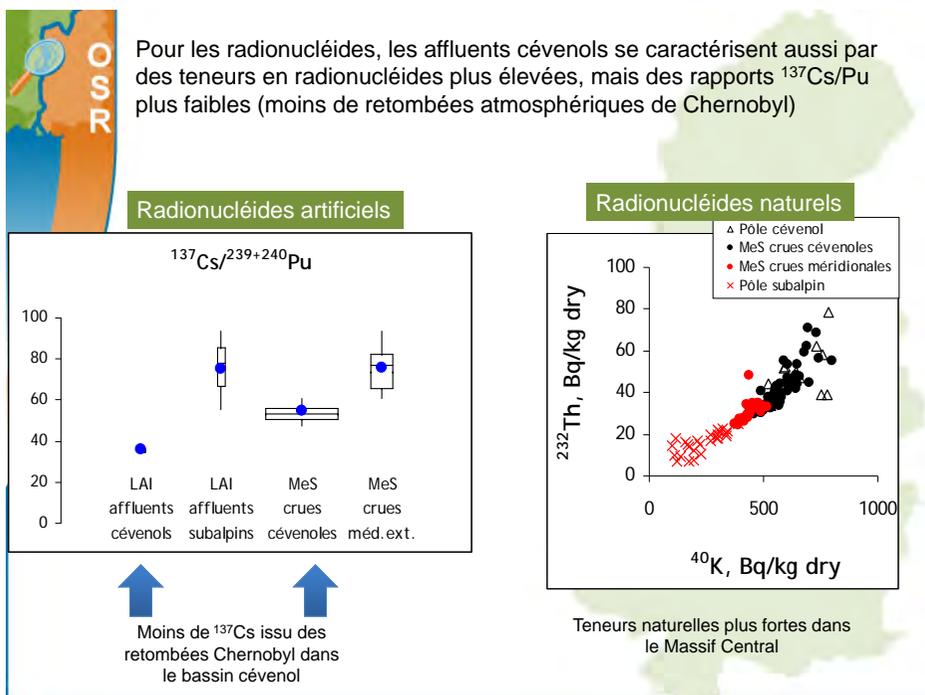
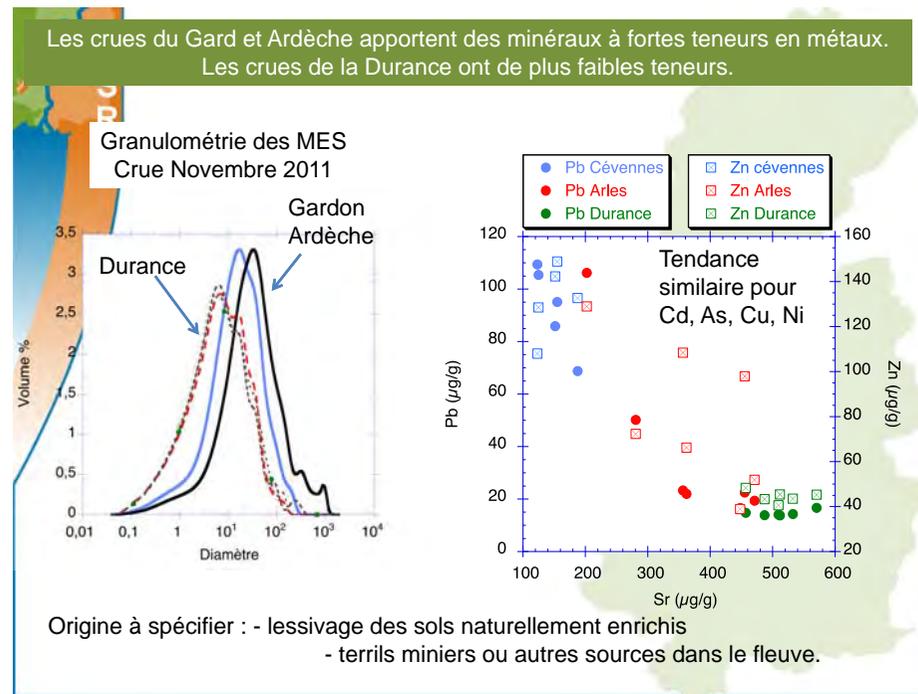
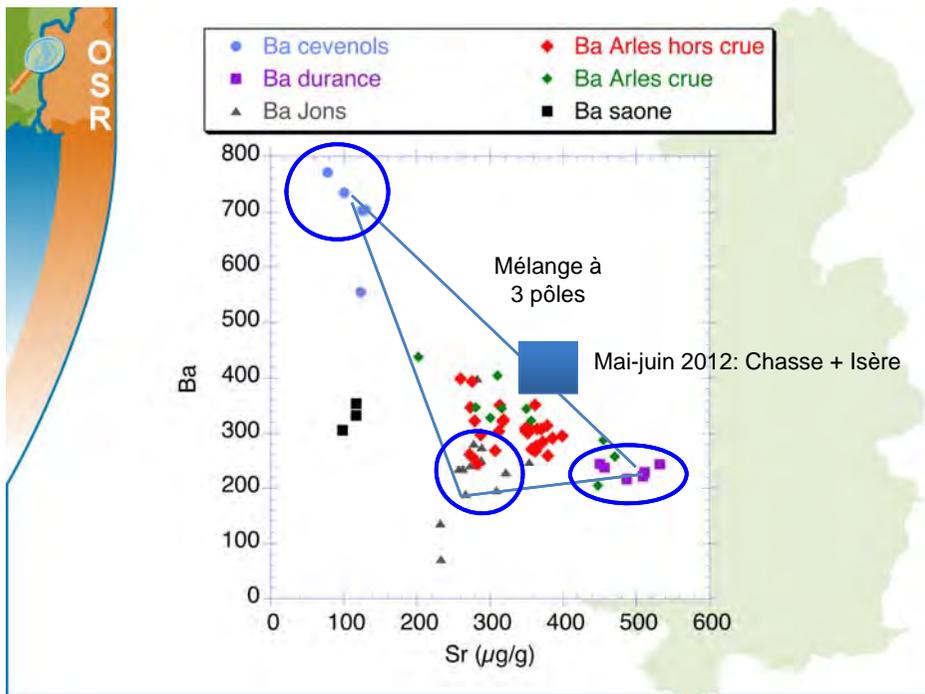


## Tracer l'origine des particules et des métaux



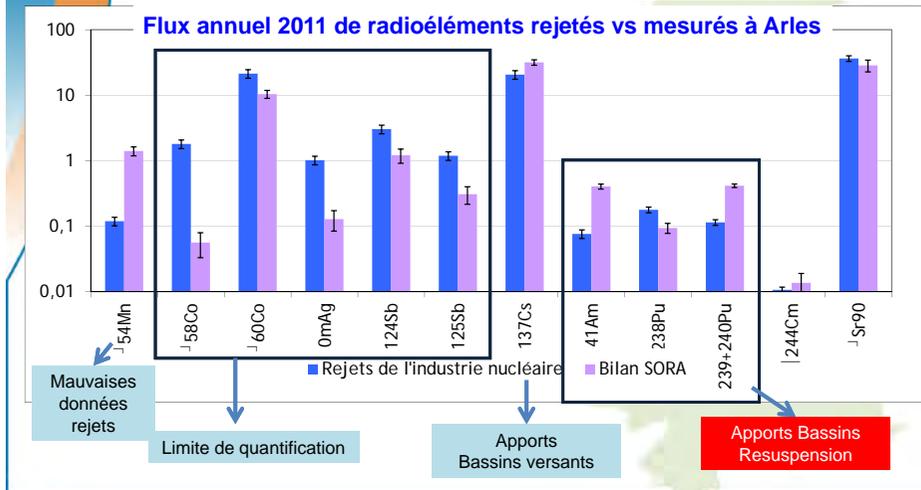
A Jons, certaines teneurs (Ag, Sn, Sb, Cu, Zn) ne s'expliquent pas par le seul mélange des apports d'affluents. Il existe une contamination « temporaire » qui reste à caractériser (STEP?).





## Bilan radionucléides artificiels

Depuis quelques années, les flux totaux des radionucléides artificiels mesurés à Arles sont proches des rejets autorisés par l'industrie nucléaire.  
Quelques différences existent toutefois mais très globalement ce qui « rentre » annuellement « ressort ».



## Resuspension lors des crues

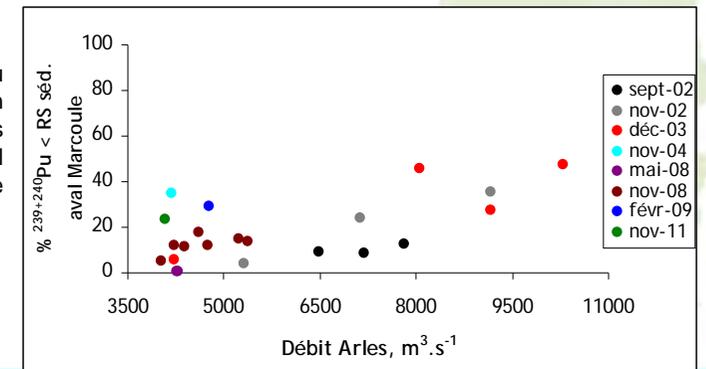
Les différentes valeurs du rapport du Plutonium permettent d'évaluer en Arles la part de sédiment issu de resuspension entre Arles et Marcoule.  
Cette remobilisation varie en général autour de 10-20%

$$^{239+240}\text{Pu}_{\text{Séd}} = \frac{\text{Pu}_{\text{AR}}^{\text{sample}} - \text{Pu}_{\text{AR}}^{\text{charbon}}}{\text{Pu}_{\text{AR}}^{\text{Marcoule}} - \text{Pu}_{\text{AR}}^{\text{charbon}}} \times 100$$

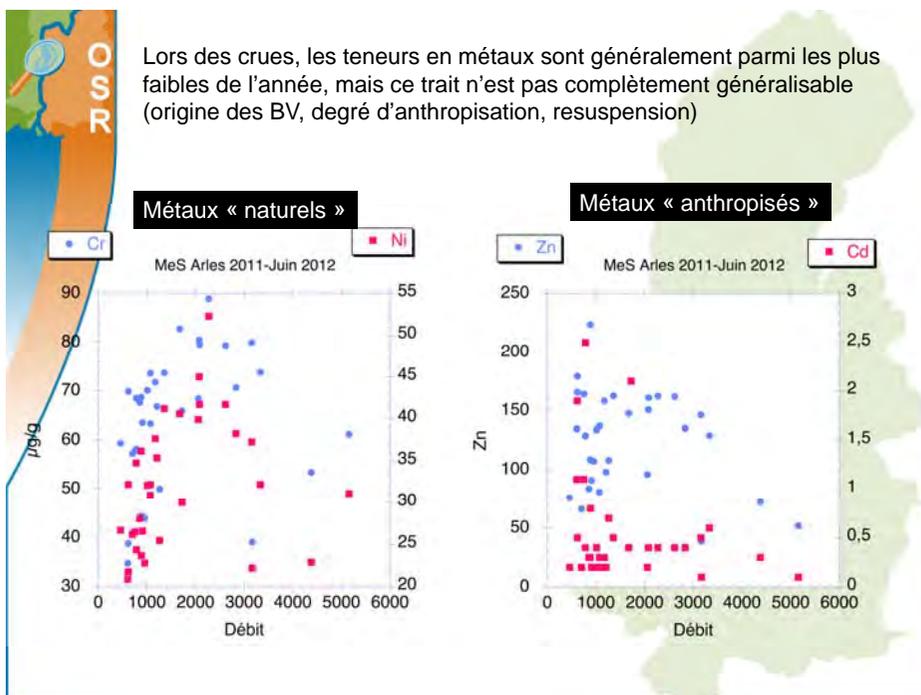
$$\frac{^{238}\text{Pu}_{\text{M&S}}}{^{239+240}\text{Pu}_{\text{M&S}}} = \frac{^{238}\text{Pu}_{\text{Marcoule}} + ^{238}\text{Pu}_{\text{BV}}}{^{239+240}\text{Pu}_{\text{Marcoule}} + ^{239+240}\text{Pu}_{\text{BV}}}$$

Values in red boxes: 0,3 and 0,03

Fraction Pu issu de la resuspension des sédiments marqués à l'aval de Marcoule

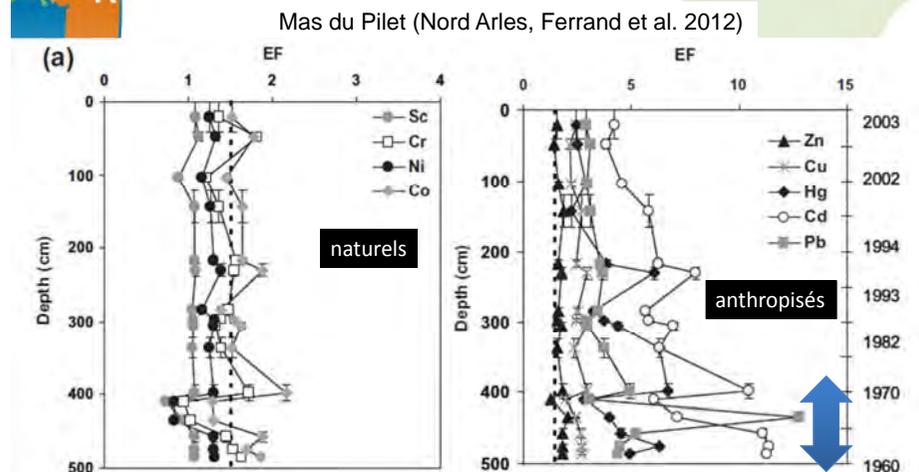


Lors des crues, les teneurs en métaux sont généralement parmi les plus faibles de l'année, mais ce trait n'est pas complètement généralisable (origine des BV, degré d'anthropisation, resuspension)



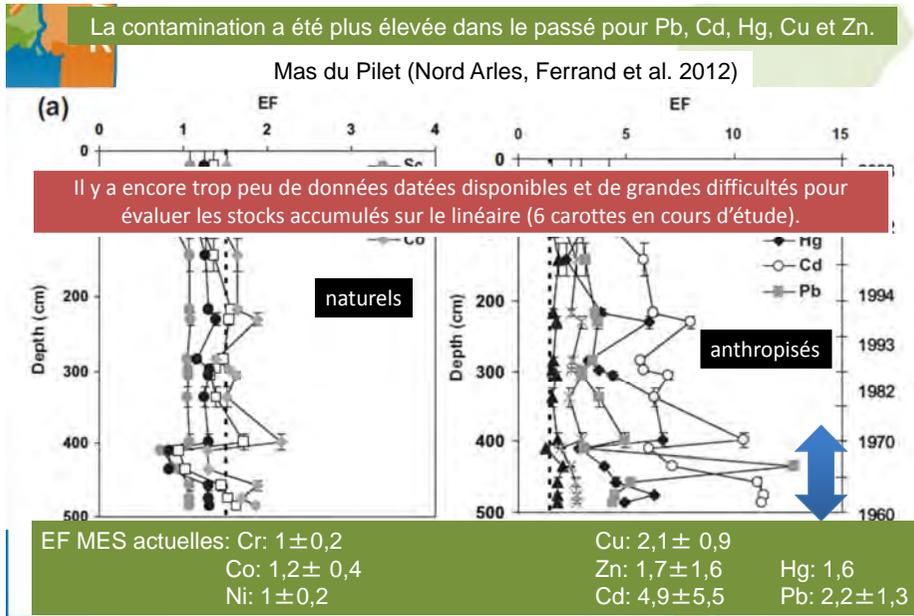
## Quel historique et quels stocks dans les sédiments ?

La contamination a été plus élevée dans le passé pour Pb, Cd, Hg, Cu et Zn.



EF : facteur enrichissement :  $(\text{Métal}/\text{Al})_{\text{échantillon}} / (\text{Métal}/\text{Al})_{\text{référence pré-anthropique}}$   
Si EF > 1,5 → contamination

## Quel historique et quels stocks dans les sédiments ?



## Conclusions

- Métaux naturels ou faiblement contaminés par apports anthropiques
  - *Des contaminations spécifiques à investiguer (Jons, Gard)*
- Une contamination plus forte dans le passé (1960-1970)
- Un transfert rapide, à une échelle proche de l'année.
- Une faible participation des stocks en place dans le fleuve
- Plusieurs points à finaliser:
  - *Évaluation des Fonds géochimiques par affluents*
  - *Traitement statistiques et normalisations à réaliser pour déterminer les meilleurs marqueurs de sources*
- Flux de métaux directement reliés au flux de MES: concentrations globalement plus basses pendant les crues
- Besoin de différencier « concentration » et « flux » en termes de gestion

# **SEDIMENTATION ET LIT MAJEUR**

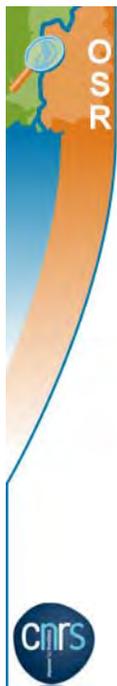
---



## **Expression des enjeux**

---

Sylvie Vigneron, DREAL Rhône-Alpes



# L'OSR, quels enjeux opérationnels pour la DREAL ?

Sylvie Vigneron,  
DREAL Rhône-Alpes



# L'OSR, pour quelles missions de la DREAL ?

- Acquisition et diffusion de données
- Élaboration et diffusion de doctrine, bonnes pratiques, stratégies
- Pilotage du volet « Inondations » du Plan Rhône
- Instruction et suivi d'opérations au titre de la police de l'eau et des concessions



# Sédimentation et lit majeur Connaissances ?

- Peut-on quantifier les sédiments piégés dans les marges ?
- Quel rôle des aménagements dans le processus de sédimentation dans les marges ?
- Quels effets ont ces engraissements de marges sur la biodiversité ? Sur la ligne d'eau et le risque d'inondation ?



Photo DREAL



Photo CNR



# Sédimentation et lit majeur Quelle stratégie ?

- Doit-on et comment remobiliser les marges (suppression d'ouvrages Girardon, ...) ?
- Où en priorité ? Quels Vieux-Rhône ont le meilleur potentiel ? Faut-il favoriser la réhabilitation sur la continuité du linéaire ?



Schéma Pauline Gaydou



## Sédimentation et lit majeur

- Quels effets d'une remobilisation :
  - sur la diminution de la ligne d'eau ?
  - sur l'amélioration de la biodiversité ?
  - quelles conséquences à l'aval et sur le littoral ? où arrivent les sédiments remobilisés ?
  - effets négatifs, obstacles, limites ?
  - peut-on espérer une pérennité des effets ?



## Sédimentation et lit majeur Opérations de restauration

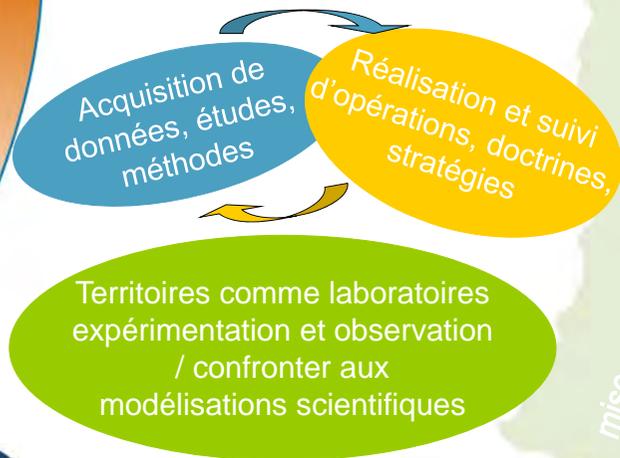


Photo DREAL

- Où remettre les sédiments grossiers extraits lors d'une opération de restauration d'un Vieux-Rhône (reméandrage, creusement d'une lône, désengrèvement ...) ?
- Quels effets d'une opération de restauration d'un Vieux-Rhône sur le fleuve à l'aval (exemple Miribel-Jonage) ?



## Conclusion



*mise en oeuvre à plus grande échelle*



## **Les marges du Rhône, évolution historique du lit mineur et enjeux de restauration**

---

Guillaume Fantino, UMR 5600, ENS Lyon



# Les marges du Rhône, évolution du lit moyen et enjeux de restauration

Journée de restitution, 17 oct. 2013, Lyon

P. Gaydou, JP. Bravard, G. Fantino



**Axe I : Stocks et déstockages**

- Ac1: Evolution de la géométrie du lit
- Ac2: Continuum granulométrique
- Ac3: Dynamique de l'embouchure
- Ac4: Histoire et caractérisation des stocks pollués
- Ac5: Schéma Directeur**

**Axe II : Métrologie des flux**

- Ac6: Réseau de mesure MES et contaminants
- Ac7: Analyse bio-physico-chimique des MES et traçage
- Ac8: Retour d'expérience et suivi d'événements
- Ac9: Suivi de la charge de fond
- Ac10: Modélisation

Ac11: Gestion des bases de données géographiques

Ac12: Valorisation

**Axe III : Outils**

## Schéma Directeur de la ré-activation de la dynamique fluviale des marges du Rhône



**Question de recherche opérationnelle :**  
Où démanteler des digues obsolètes qui servaient autrefois à la navigation?

**Pourquoi ce démantèlement ?**  
Pour remobiliser les sédiments stockés dans les marges à l'intérieur des vieux Rhône,

- Objectifs opérationnels**
- Restaurer la dynamique fluviale de façon passive et durable.
  - Ré-élargir le fleuve et augmenter la capacité d'écoulement en crue.
  - Restaurer des milieux fonctionnels en améliorant les connexions latérales et verticales.

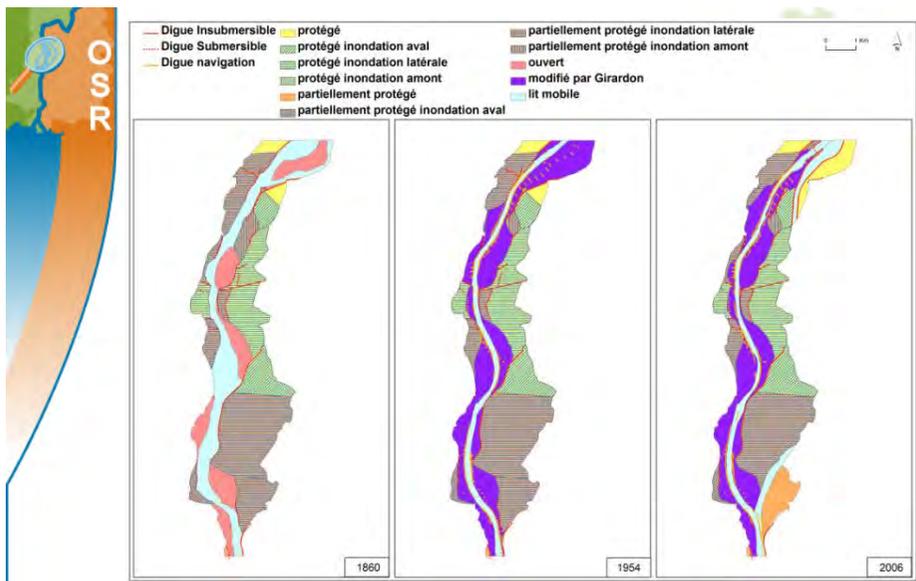
- Tout en...**
- Ne créant pas de risque supplémentaire pour les personnes et les biens
  - Conservant certains habitats et espèces existants (semenciers)
  - Conservant / mettant en valeur le patrimoine fluvial
  - Essayant de créer des paysages attractifs

- Etablir un diagnostic du remplissage
- Localiser les sites à restaurer en fonction de critères

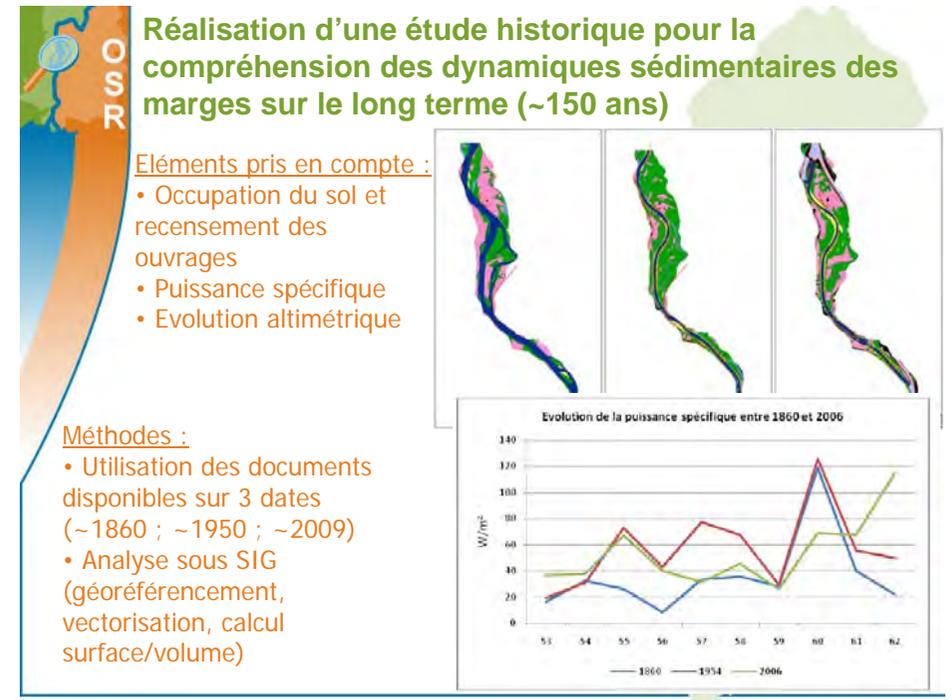
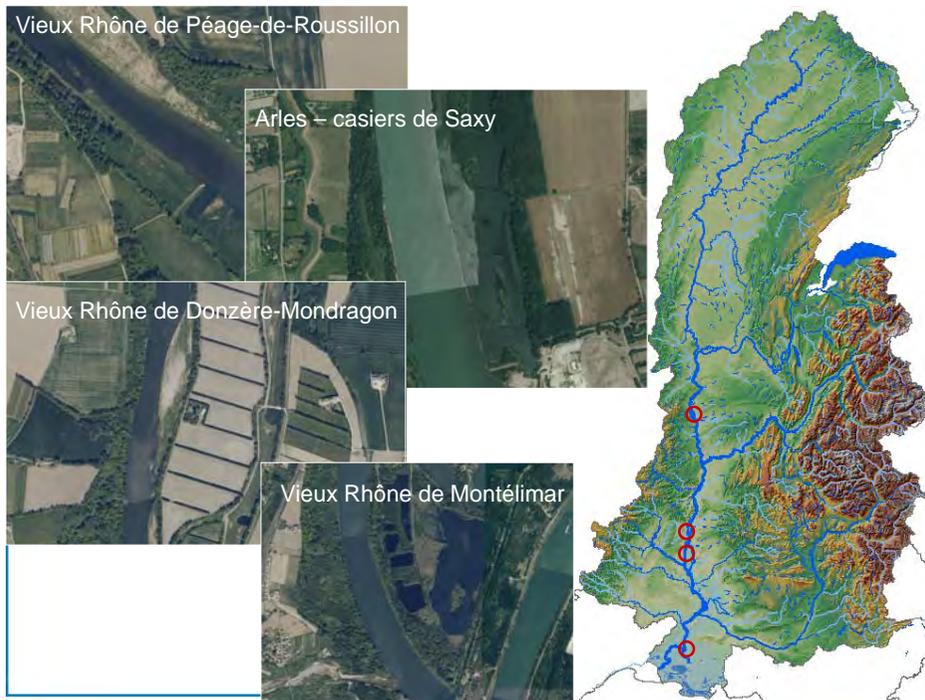
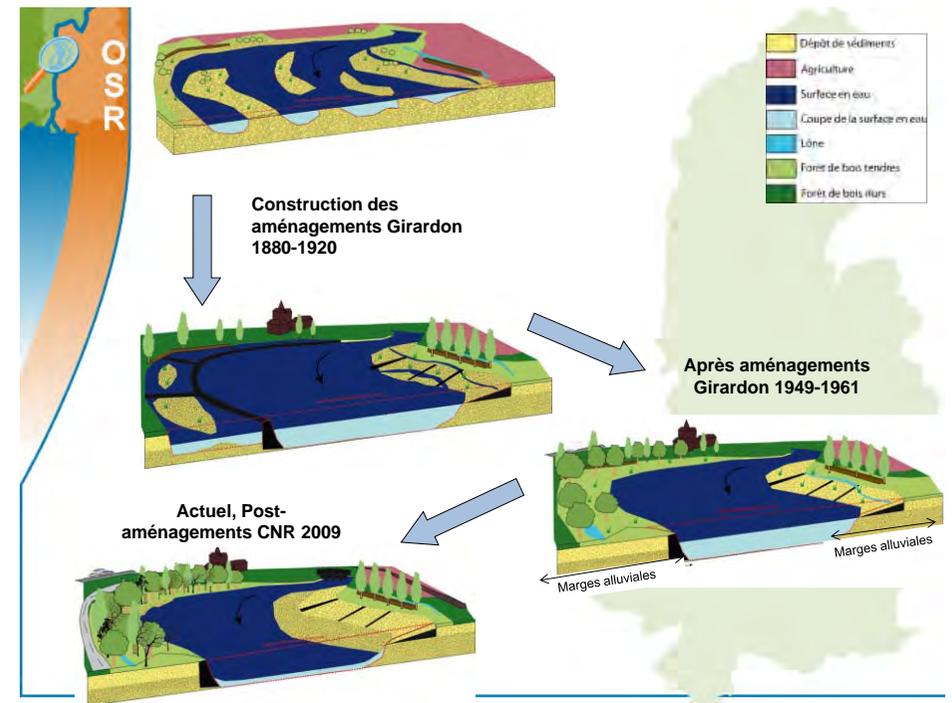
## Rappel / Définition les marges alluviales : espace correspondant à la bande active historique de 1860 (délimité par l'atlas des paléo-environnement de la vallée du Rhône ; DIREN 2007)



■ Bande Active de tressage  
■ Bande Active isolée au XIX<sup>e</sup>  
■ Bande Active abandonnée par migration ou recouvrement

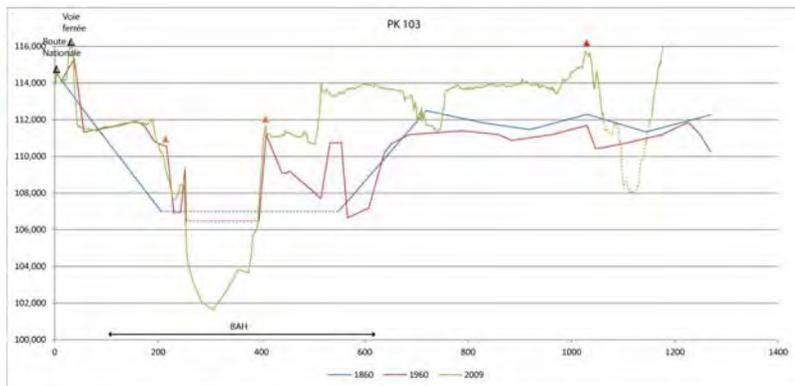


78 % du linéaire des Vieux Rhône ont été aménagé pour la navigation  
101 unités sont identifiés





## Quantification des volumes stockés dans les marges



Estimation du stockage sur les 14 Vieux Rhône + LYM :  
95 Mm<sup>3</sup> +/- 1 Mm<sup>3</sup>



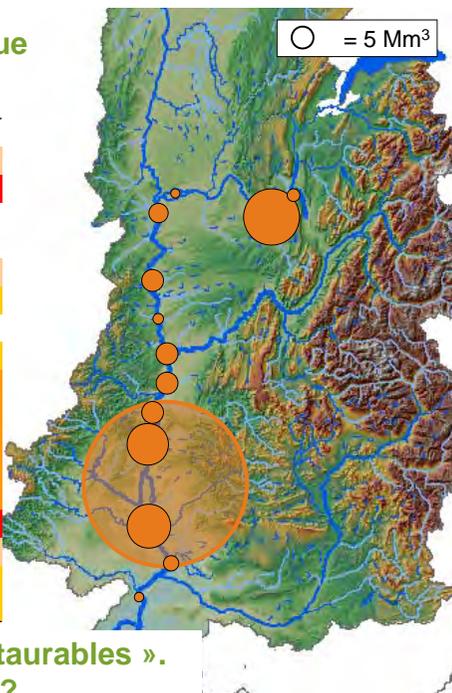
## Répartition géographique des stocks (1)

Secteur	m <sup>3</sup> stockés depuis 1860
Chautagne	---
Belley	2 945 178
Brégnier Cordon	12 878 575
Sault-Brenaz	---
Ain	---
Lyon-Miribel	2 133 743
Pierre-Bénite	4 451 881
Vaugris	---
Péage de Roussillon	4 866 490
Saint-Vallier	2 469 538
Bourg-les-Valences	5 035 881
Beauchastel	5 132 041
Baix Le Logis Neuf	5 997 492
Montellimar	9 519 466
Donzère-Mondragon	37 001 060
Caderousse	10 16 105
Avignon	3 511 226
Beaucaire/Vallabrègues	2 203 155
<b>Total</b>	<b>99 161 831</b>

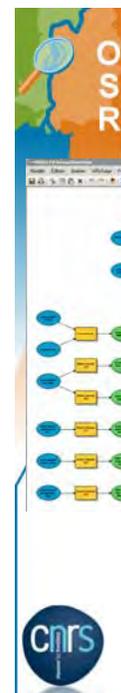


## Répartition géographique des stocks (2)

Secteur
Chautagne
Belley
<b>Brégnier Cordon</b>
Sault-Brenaz
Ain
Lyon-Miribel
<b>Pierre-Bénite</b>
Vaugris
<b>Péage de Roussillon</b>
Saint-Vallier
Bourg-les-Valences
Beauchastel
Baix Le Logis Neuf
Montellimar
<b>Donzère-Mondragon</b>
Caderousse
Avignon
Beaucaire/Vallabrègues

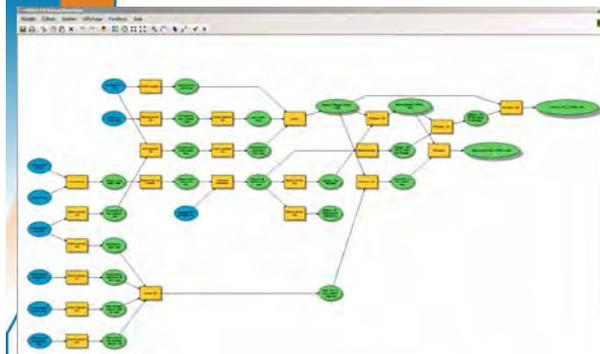


Identification des zones « restaurables ».  
Comment prioriser ?



## Obtention automatique des zonages

➤ Utilisation d'un modèle automatique de traitement SIG (ArcGIS Builder)



- Définition des zones :
- Jaunes
  - Orange
  - Hachurées
  - Vertes claire\* (priorité 2)
  - Vertes\* (priorité 1)

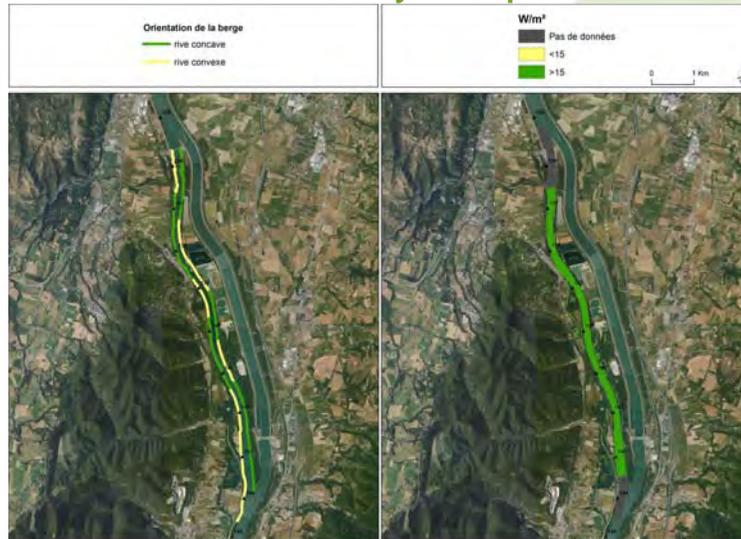
\*zones n'appartenant pas aux trois autres catégories

➤ Automatisation, scénarios et mises à jour possibles...  
mais une lecture experte des résultats à été nécessaire





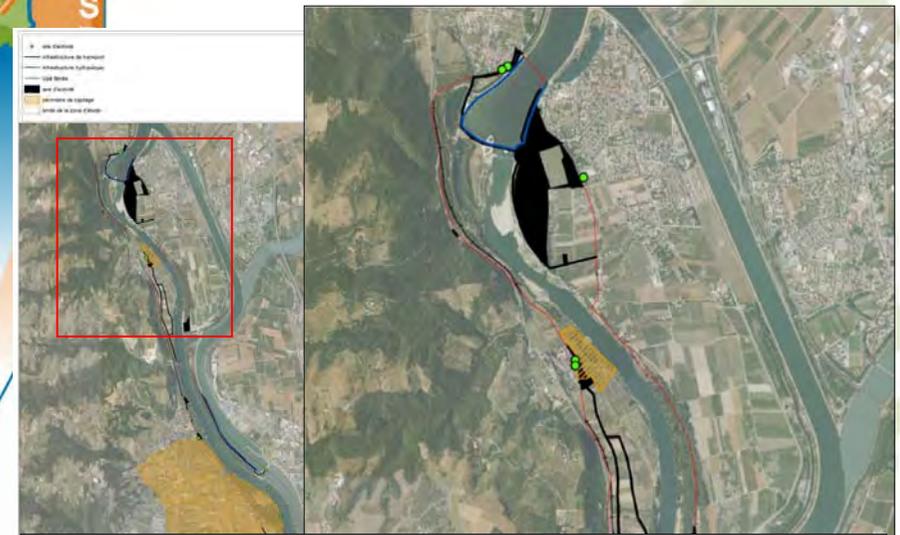
## Définition de la faisabilité hydraulique



➤ Définition des zones jaunes :  
faisabilité faible car puissance hydraulique insuffisante



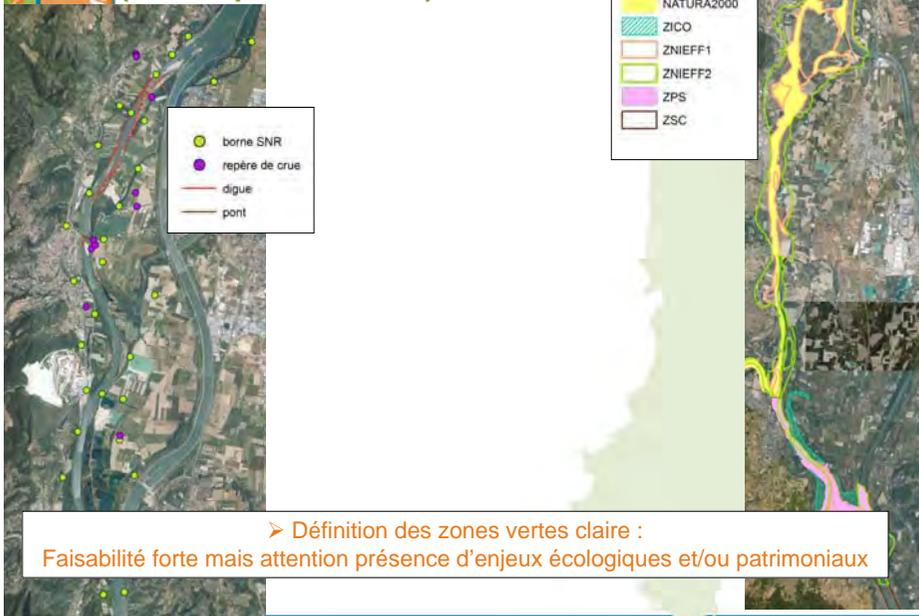
## Recensement des enjeux socio-économiques



➤ Définition des zones orange :  
présence d'éléments vulnérables faisabilité à discuter



## Recensement des éléments de patrimoine (historique et naturel)



➤ Définition des zones vertes claire :  
Faisabilité forte mais attention présence d'enjeux écologiques et/ou patrimoniaux



## Cartes de synthèse





## Tableaux de synthèse

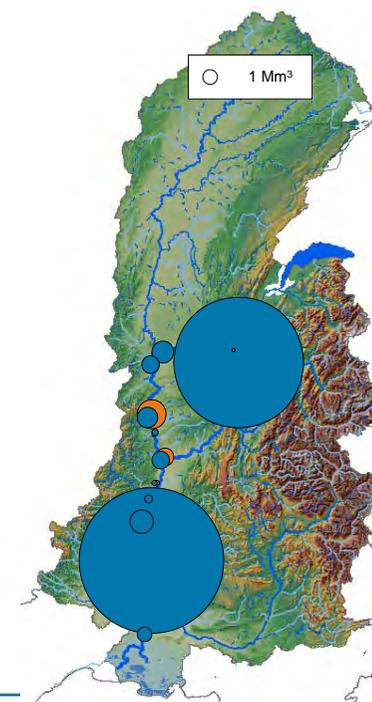
VR	Unité Girardon		Volume et superficie de l'unité modifiée par l'étatue historique				Aménagements Girardon		Erym		Espace retenu		Commentaire
	n°	Nom	TYPE1 volume m³	TYPE1 volume m³	TYPE4 volume m³	Superficie m²	volume m³	nombre d'ouvrages concernés	erym Ecologiques	erym patrimonial	Surface m²	Volume m³	
PCR	20	Arcades	43086			28350	15374	1 digue longitudinale 14 tenons 1 esp 1 canal de fond	ZNEFF 1, ZNEFF 2, ZCO Réserve Naturelle, Natura 2000	digue Girardon, bac, borne SBR	83173	43086	Opportunité des aménagements possible. Prévoir une protection en retard et à l'échelle relative à l'étatue forte.
	21	Oves			260620	274473	9506	10 épis	ZNEFF 1, ZNEFF 2, ZCO Réserve Naturelle, Natura 2000	digue Girardon, bac	114845	175200	L'énergie est probablement assez faible du fait de l'orientation de la berge (convexe).
	22	Lamoy			997413	1033004	9855	2 digues longitudinales 3 tenons 25 épis	ZNEFF 1, ZNEFF 2, ZCO Réserve Naturelle, Natura 2000	digue Girardon, bassin de joute, borne SBR, repère de rive	416403	771407	Disposer des épis passifs. État actuel, l'orientation de la berge (convexe), les épis sont corrigés par une fosse à énergie.
	23	Graviers	150400			469222	3205	1 digue longitudinale 10 tenons 24 épis	ZNEFF 1, ZNEFF 2, ZCO Réserve Naturelle, Natura 2000	digue Girardon, borne SBR	469222	150400	La Réserve est dirigée vers le 1° bassin. 2° bassin existant, ne se présente pas de la berge convexe. Les épis sont corrigés par une fosse à énergie.
	24	Planier			1765981	2208891	7243	digues du Gravieres epes village Sablon	ZNEFF 1, ZNEFF 2, ZCO Réserve Naturelle, Natura 2000	borne SBR	2231157	1765981	Opportunité pour aménagements à l'échelle de la berge. Prévoir une protection en retard et à l'échelle relative à l'étatue forte. Le canal de fond est corrigé par une fosse à énergie.
	25	Serrières	78525			103724	7571	3 digues longitudinales 11 tenons 17 épis	ZNEFF 1, ZNEFF 2, ZCO Réserve Naturelle, Natura 2000	digue Girardon	103724	78525	La berge est corrigée par une fosse à énergie. Prévoir une protection en retard et à l'échelle relative à l'étatue forte. Le canal de fond est corrigé par une fosse à énergie.
	26	Boucardie	556624			499992	11383	3 digues longitudinales 15 tenons 13 épis	ZNEFF 1, ZNEFF 2, ZCO Réserve Naturelle, Natura 2000	digue Girardon, repère de rive, borne SBR	241175	556624	État actuel de protection à l'échelle de l'ouvrage, mais une fosse à énergie peut être prévue dans le cas d'une érosion de la berge. Ce secteur a été fait l'objet d'une restauration dans le cadre du PPS.
	27	Village de Serrières	0			87956	0	5 tenons	ZNEFF 2	digue Girardon	0	0	Haute valeur patrimoniale des aménagements Girardon, établis comme berge de poste.
	27b	St Sattarin	79710			228275	3229	2 digues longitudinales 7 epis 2 avais de fond	ZNEFF 2	digue Girardon	0	0	De fait de la présence d'écouls, les aménagements d'ouvrage n'ont pas été envisagés.
	28	Peyraud RD	43200			179359	2420	2 digues longitudinales 5 tenons 17 épis	ZNEFF 1, ZNEFF 2	digue Girardon	0	0	Sur fait de la situation du site, les travaux de canalisation n'ont pas été envisagés.
	29	Delon	257868			942700	7525	2 digues longitudinales 7 tenons 8 épis	ZNEFF 1, ZNEFF 2	digue Girardon	80780	257868	Opportunité pour aménagements à l'échelle de la berge. Prévoir une protection en retard et à l'échelle relative à l'étatue forte. Le canal de fond est corrigé par une fosse à énergie.
30	Peyraud	245875			295707	8315	1 digue longitudinale 8 tenons 6 épis	ZNEFF 1, ZNEFF 2	digue Girardon	91545	245875	Opportunité pour aménagements à l'échelle de la berge. Prévoir une protection en retard et à l'échelle relative à l'étatue forte. Le canal de fond est corrigé par une fosse à énergie.	
31	La Sente				87921	61240	2 digues longitudinales 13 epis	ZNEFF 1, ZNEFF 2	digue Girardon	307922	174210	La berge d'épis est possible mais l'énergie est faible dans ce secteur.	



## Résultats : Volumens potentiellement remobilisables

➤ 1<sup>er</sup> niveau de priorité :  
14 millions de m<sup>3</sup>

➤ 2<sup>e</sup> niveau de priorité :  
27 millions de m<sup>3</sup>



## Conclusions et perspectives (1)

- Les cartes de synthèse de la faisabilité sont des propositions visant à alimenter le débat
- Elles peuvent être modifiées suite à des débats locaux ou la production de données nouvelles ou plus précises
- Le schéma directeur n'est pas une étude avant-travaux



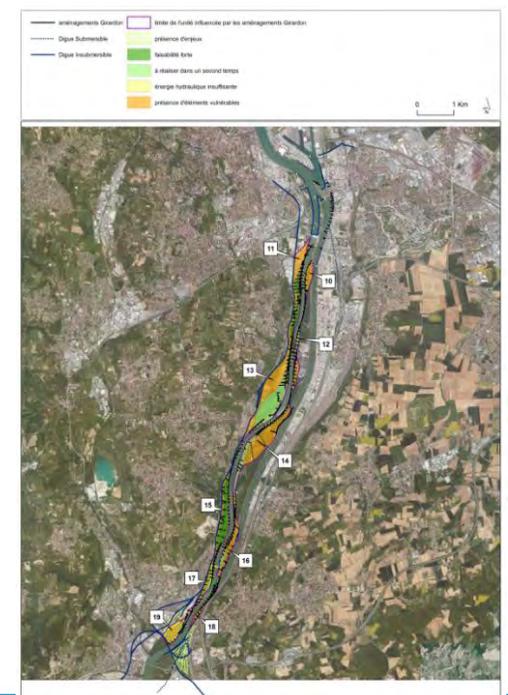
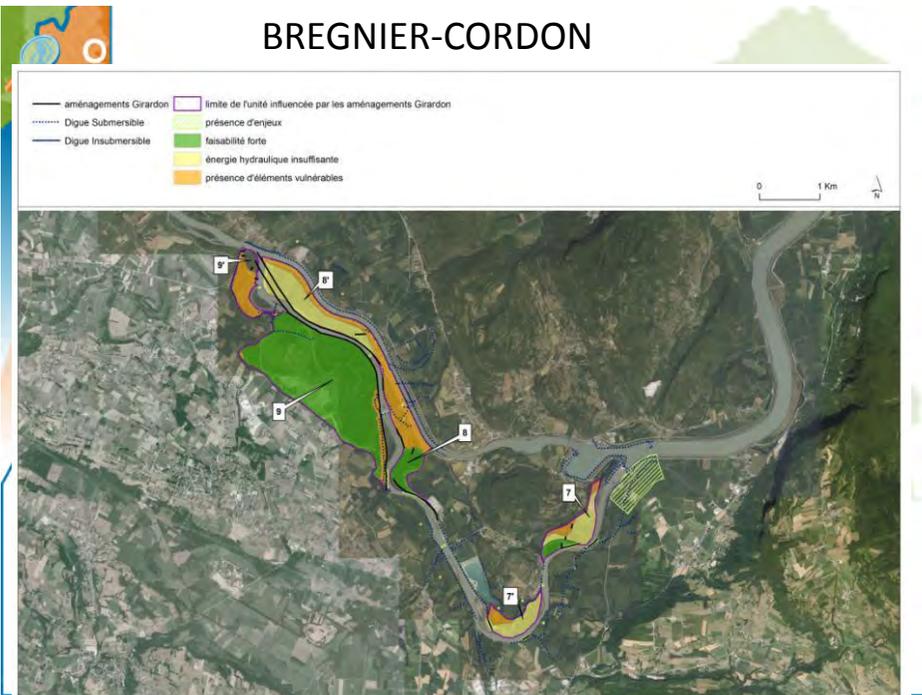
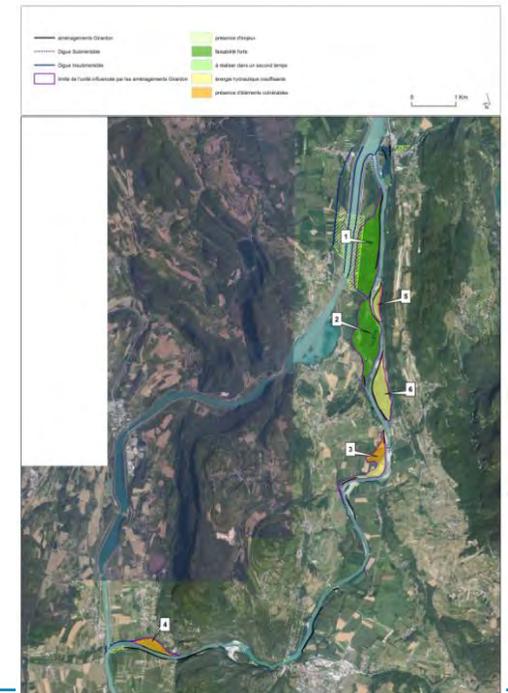
## Conclusions et perspectives (2)

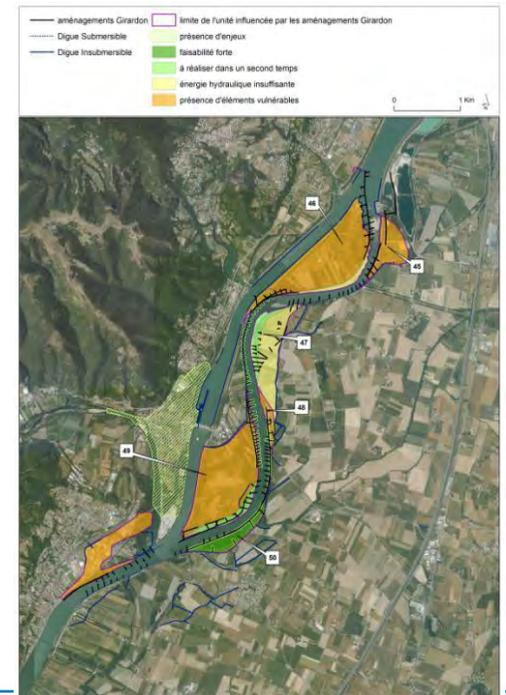
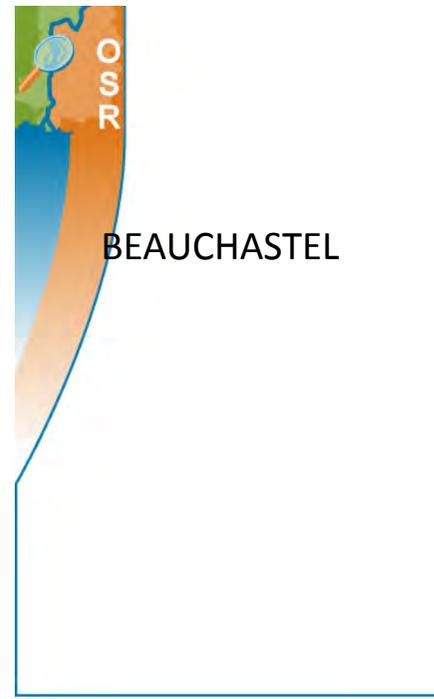
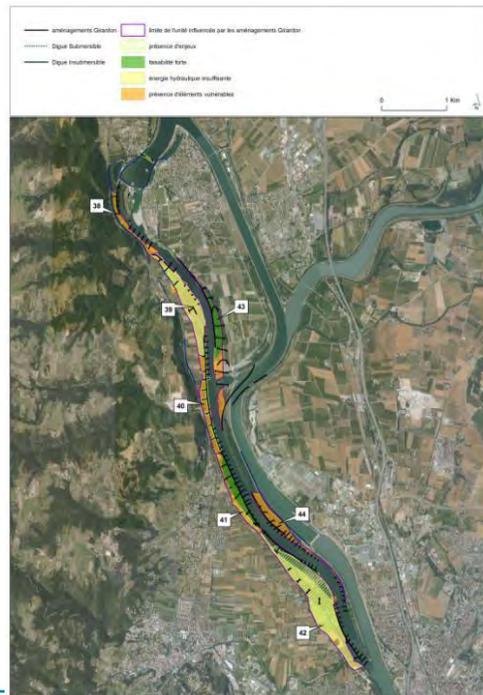
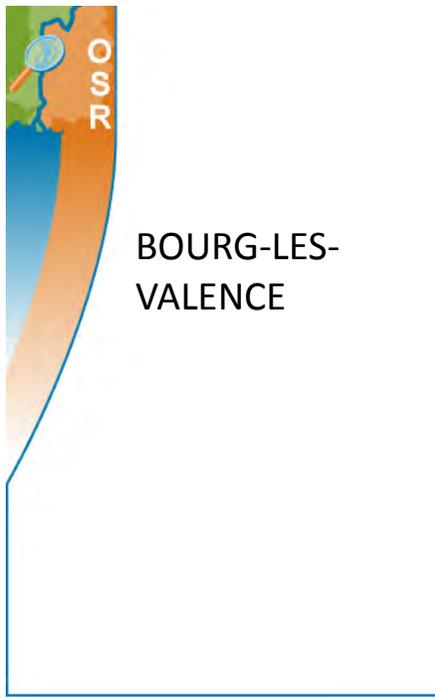
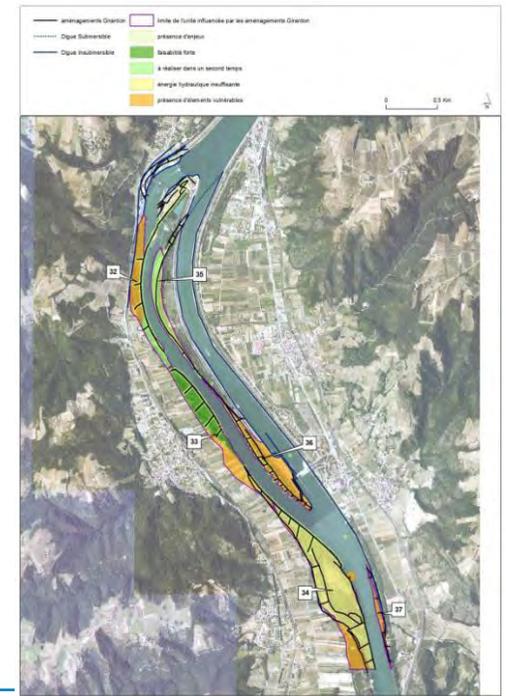
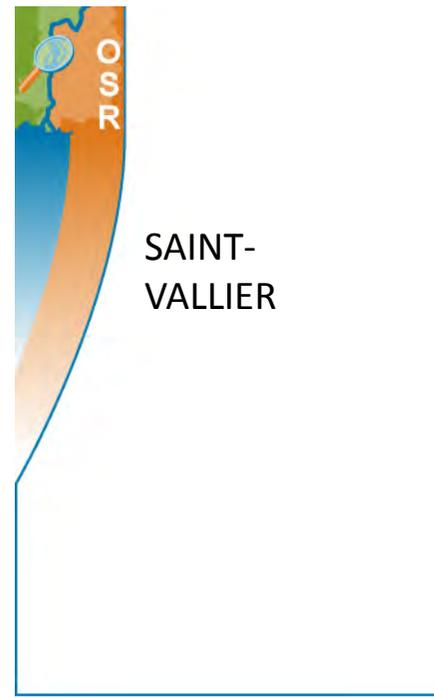
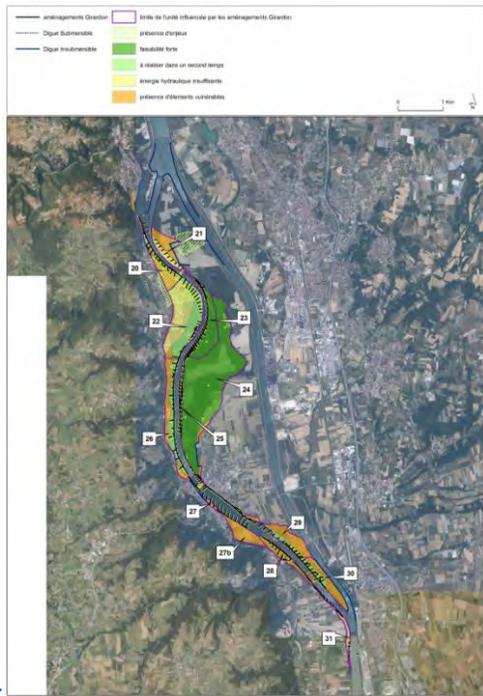
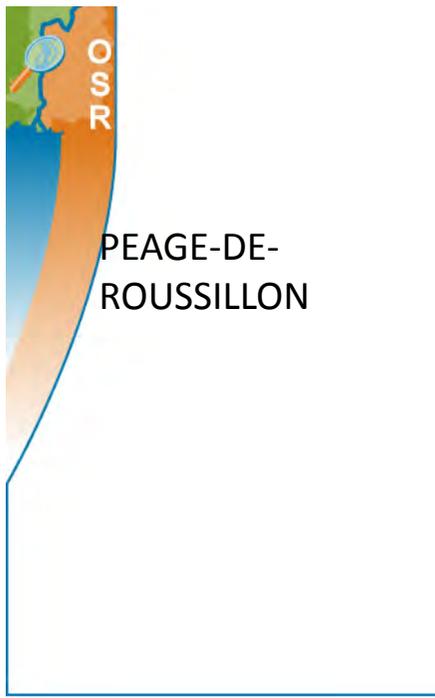
- Certains éléments de connaissance restent à acquérir avant des opérations de restauration :
  - Nature des sédiments (granulométrie) et épaisseurs des dépôts par nature (fin/grossier)
  - Niveaux de pollution des dépôts
- L'histoire et la chronologie de la sédimentation permet de mieux appréhender les niveaux de pollution (cf. étude BRGM)
- Evaluer la faisabilité des opérations de restauration en terme de risques (réponse morphologique, relargage de polluants) :
  - Mieux comprendre les patrons de sédimentation
  - Modéliser l'histoire des dépôts
  - Modéliser les fréquences de mise en mouvement, de transferts
  - Suivre la dynamique locale et notamment la végétation





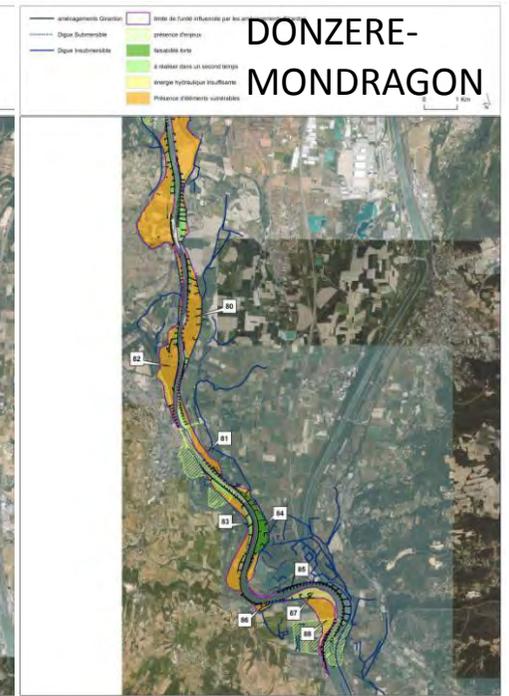
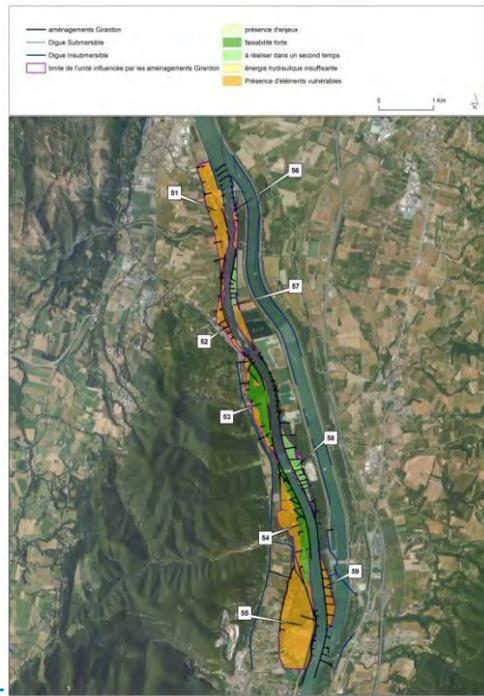
**Merci !**







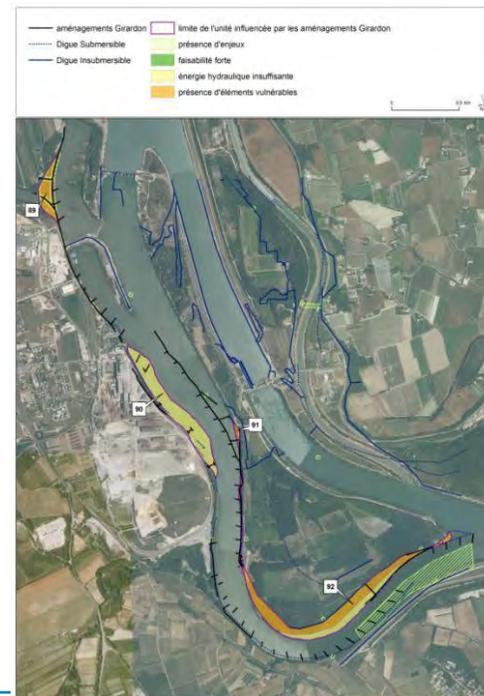
## BAIX-LE-LOGIS-NEUF



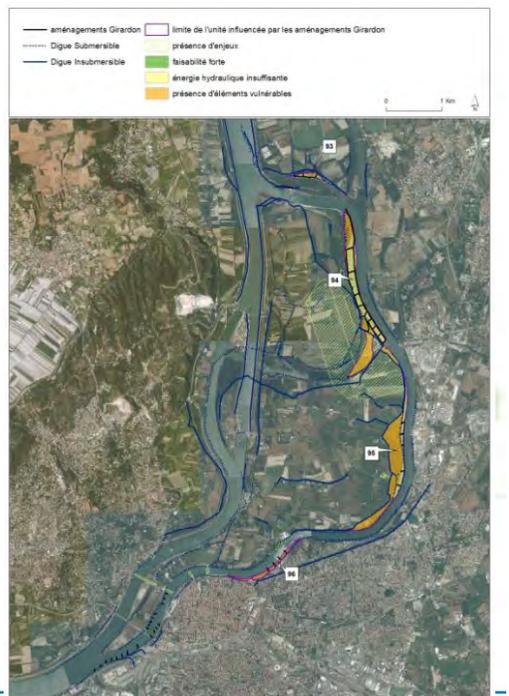
## DONZERE-MONDRAGON



## CADEROUSSE

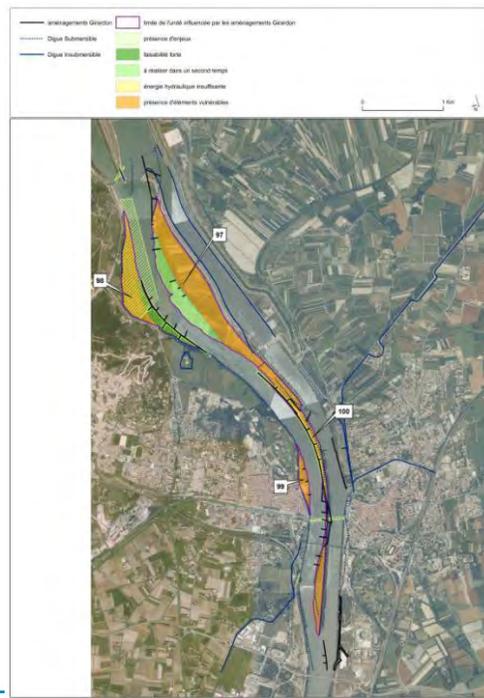


## AVIGNON





# VALLABREGUES



## **Les apports à la mer en termes de sable**

---

François Sabatier, CEREGE UMR 7330, Aix-Marseille Université



# Les apports à la mer en terme de sables

François Sabatier et Benjamin Kulling

Contributeurs : Mireille Provansal, Delanghe Doriane, Boris Hanot, SiGéo CERGE

### Objectifs:

- quantifier les apports sédimentaires du Rhône
- définir les modalités du charriage depuis le fleuve à la mer
- décrire les mécanismes sédimentaires



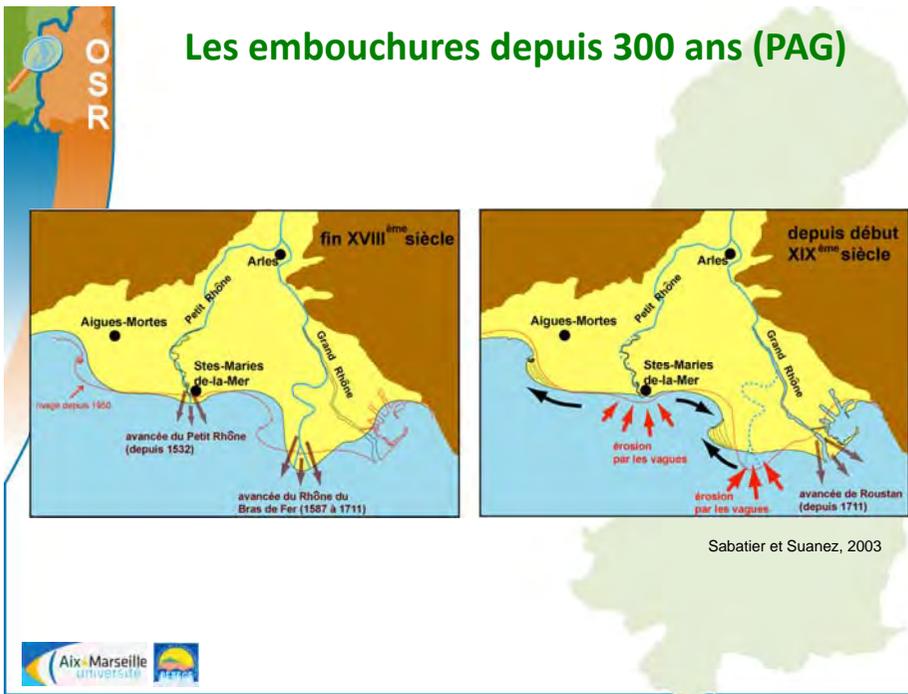
# Les embouchures depuis 300 ans (PAG)



Coll. Pichard et Provansal

*Accuratissima Patriae Provinciae  
Descriptio*, de Pierre-Jean Bompar, 1591.

## Les embouchures depuis 300 ans (PAG)



## Les embouchures depuis 300 ans (PAG)

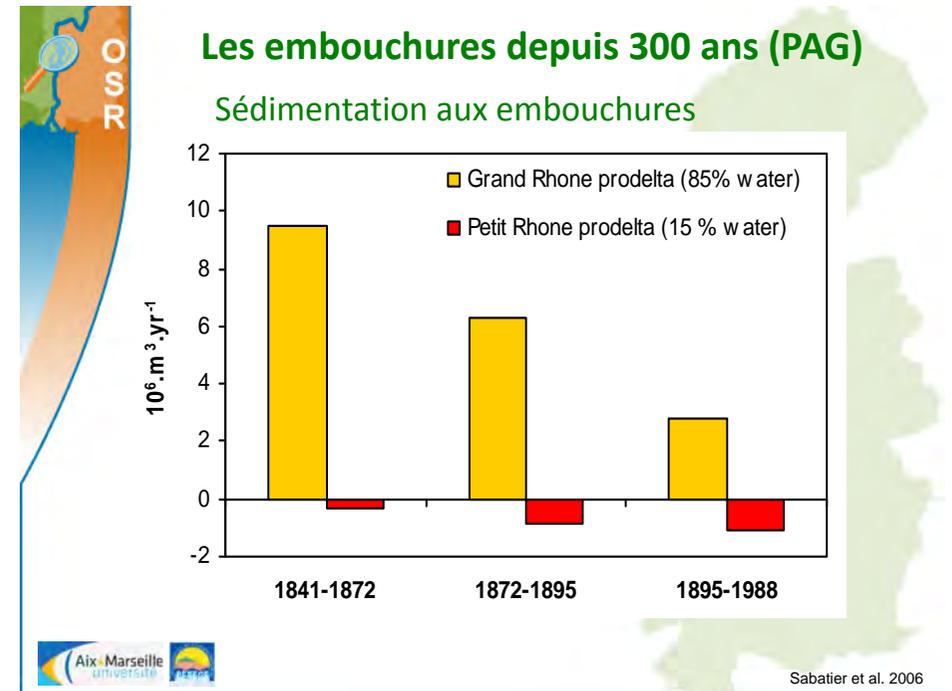


## Les embouchures depuis 300 ans (PAG)



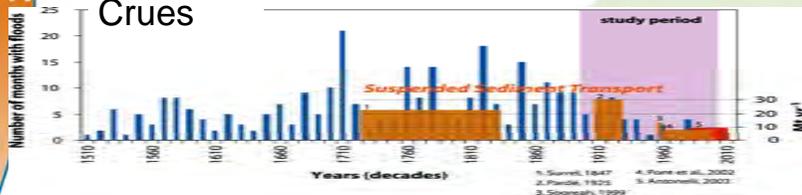
## Les embouchures depuis 300 ans (PAG)

### Sédimentation aux embouchures

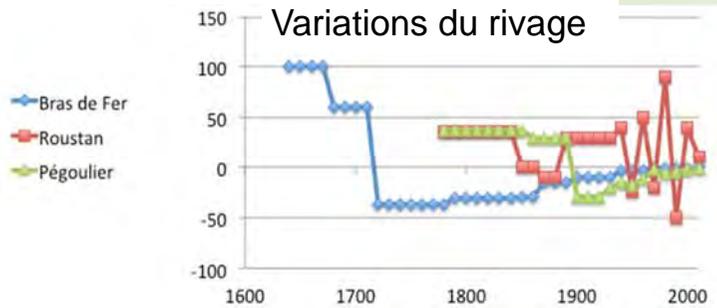


## Les embouchures depuis 300 ans (PAG)

### Crués



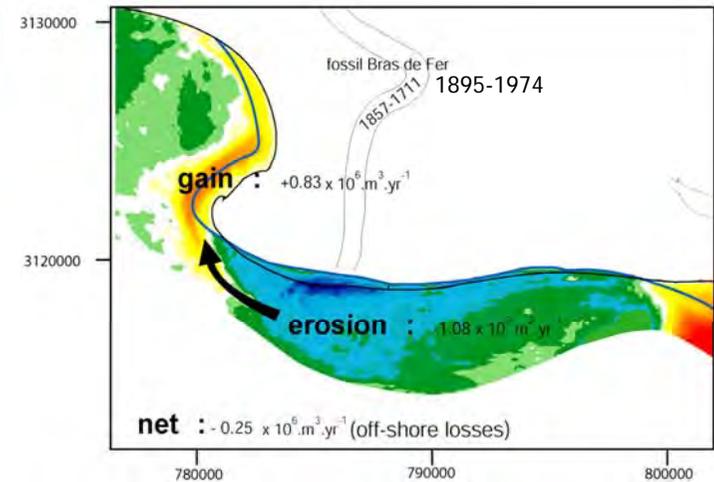
### Variations du rivage



Sabatier et al. 2006

## Les embouchures depuis 300 ans (PAG)

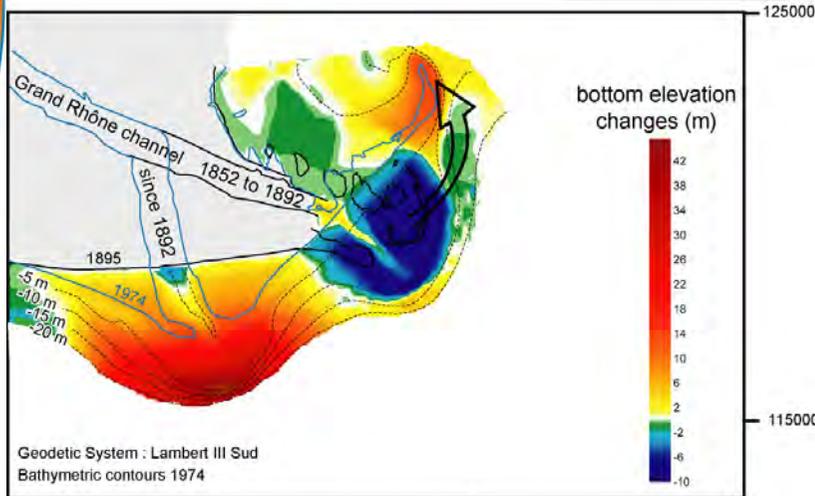
### Leurs déplacements créent des plages (Beauduc)



Sabatier et al. 2006

## Les embouchures depuis 300 ans (PAG)

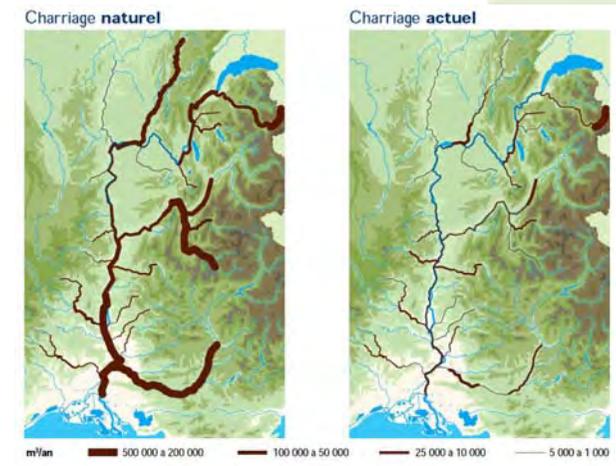
### Leurs déplacements créent des plages (Gracieuse)



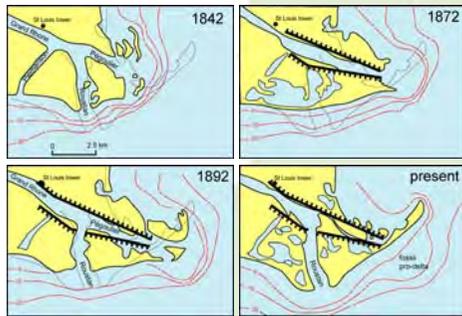
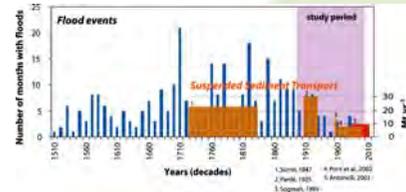
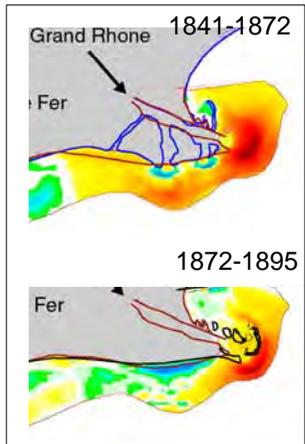
Sabatier et al., 2009

## Les embouchures depuis 300 ans (PAG)

### et le transport du fleuve



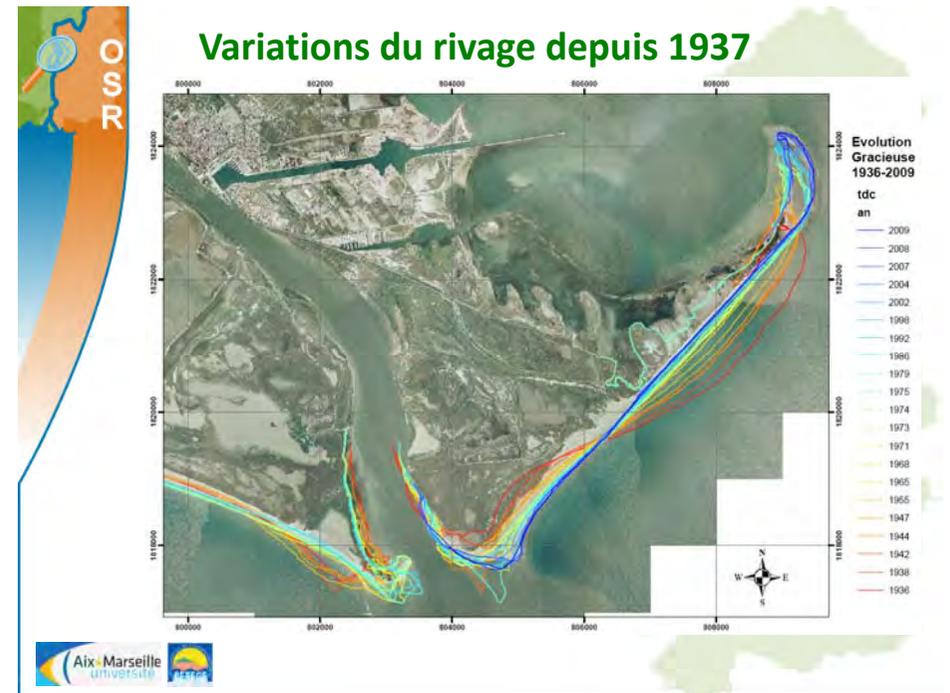
## Les embouchures depuis 150 ans



Aix-Marseille Université **810000**

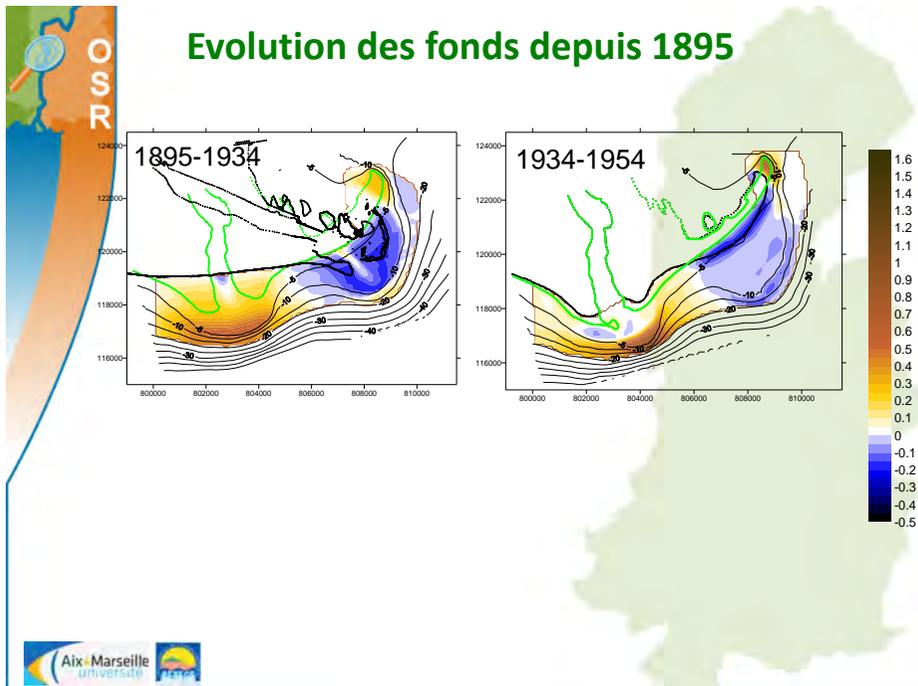
Sabatier et al. 2006

## Variations du rivage depuis 1937



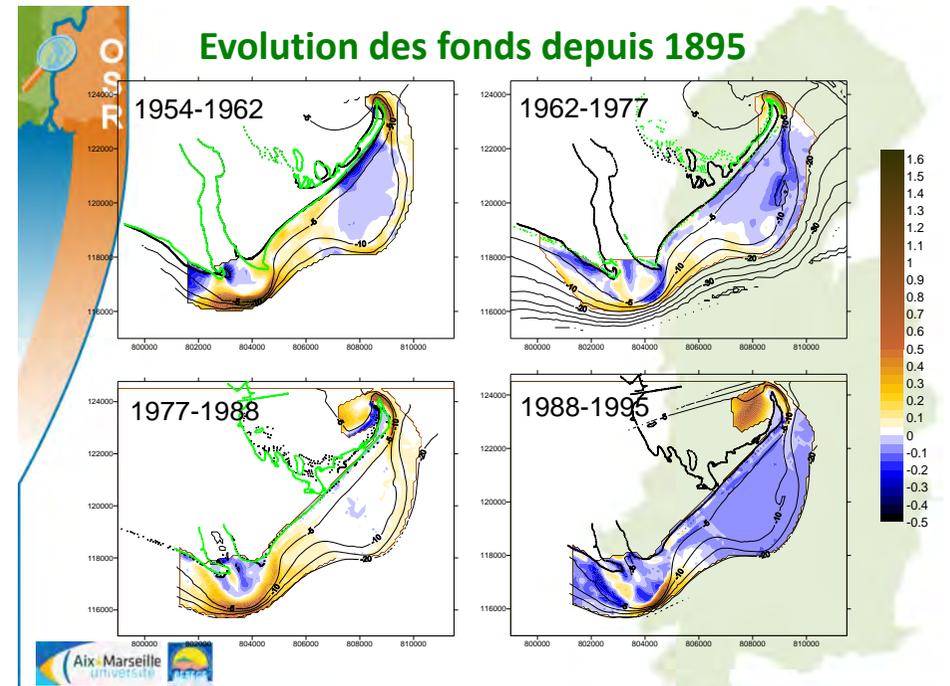
Aix-Marseille Université

## Evolution des fonds depuis 1895

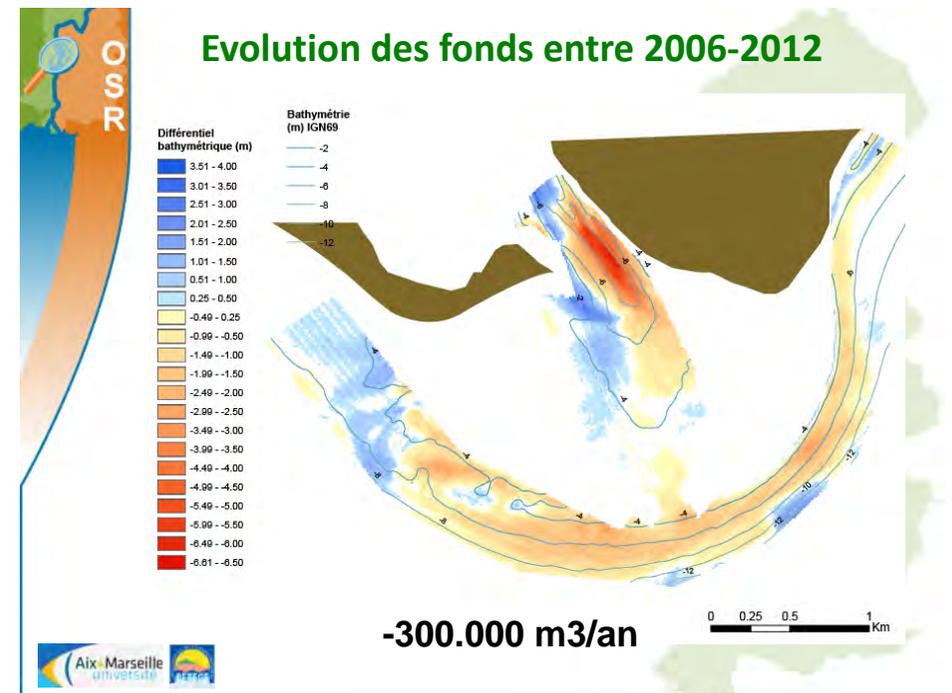
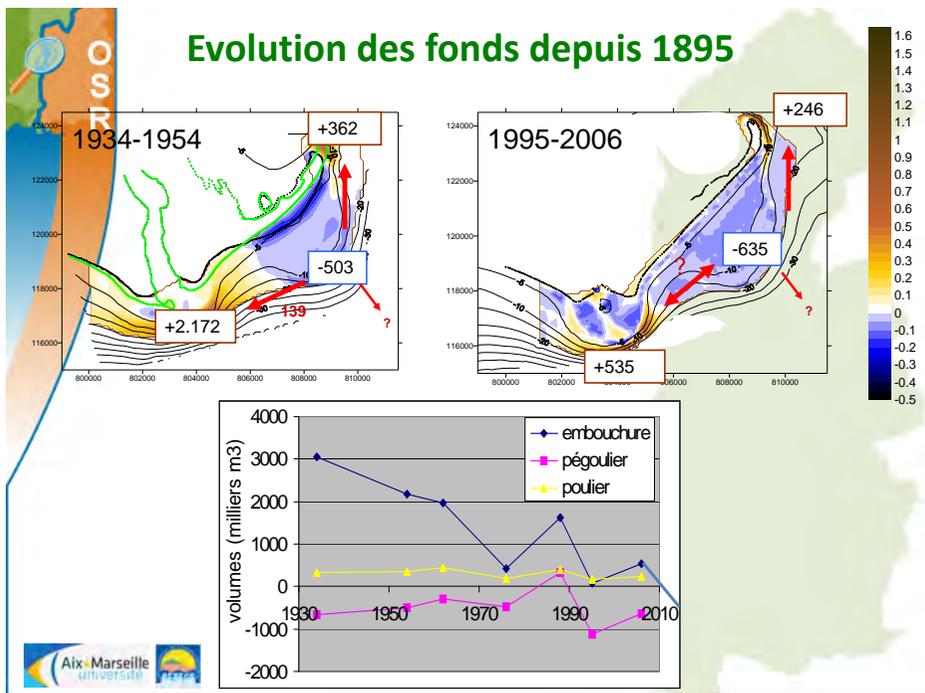
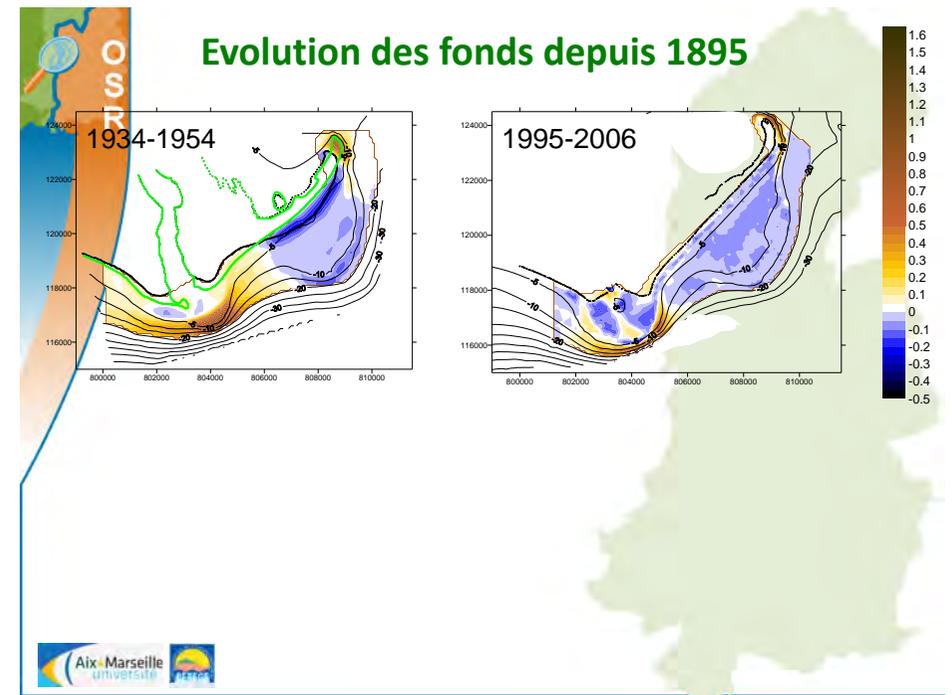
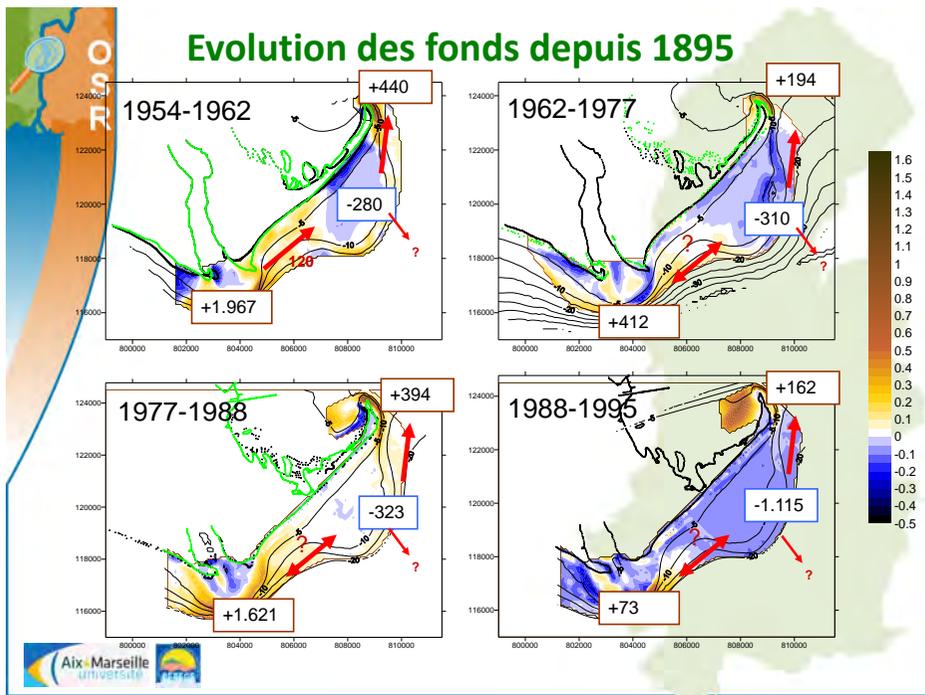


Aix-Marseille Université

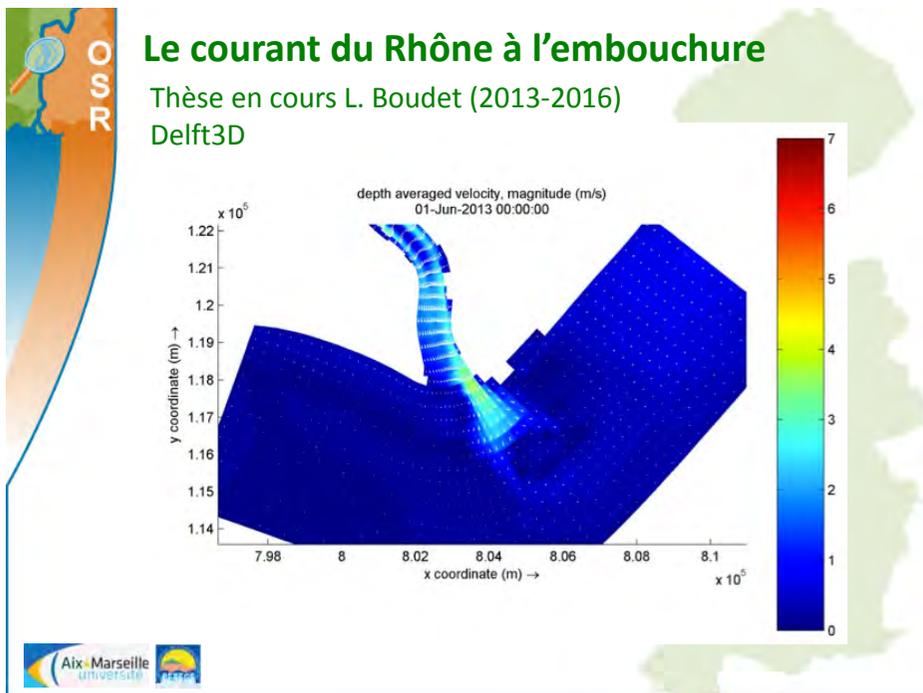
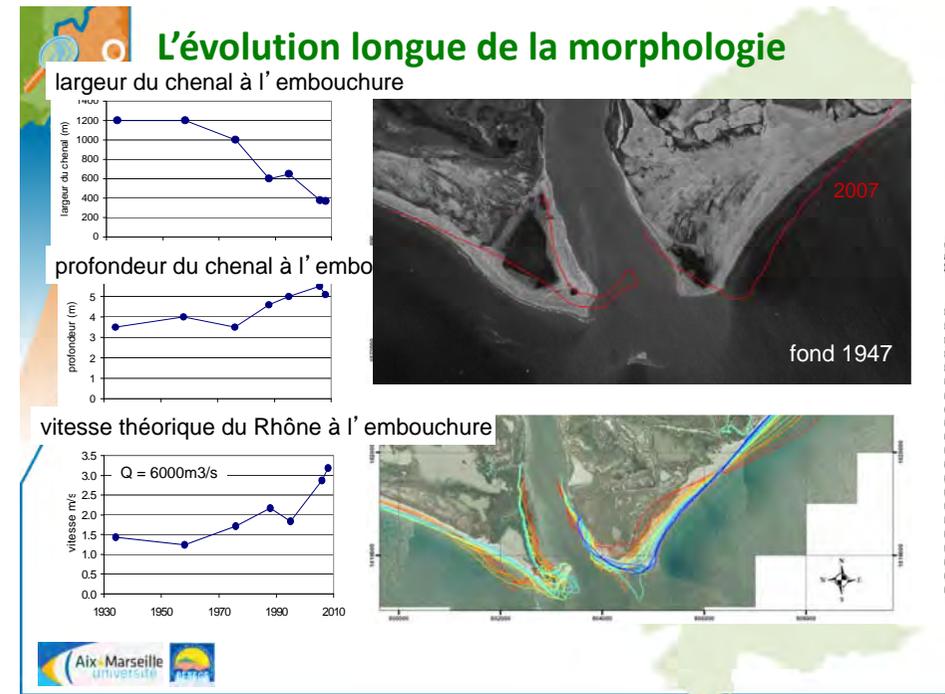
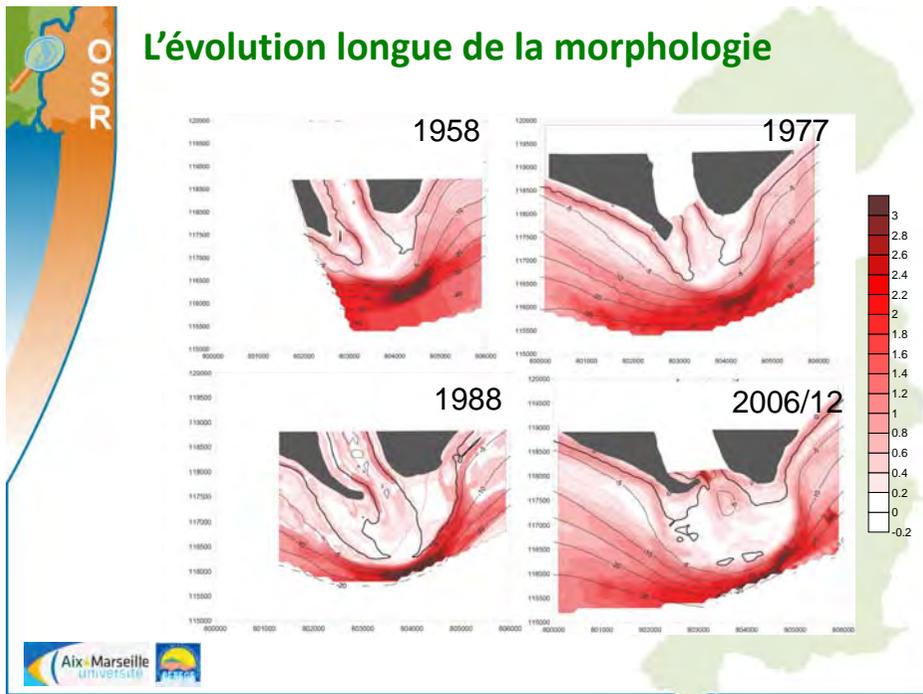
## Evolution des fonds depuis 1895



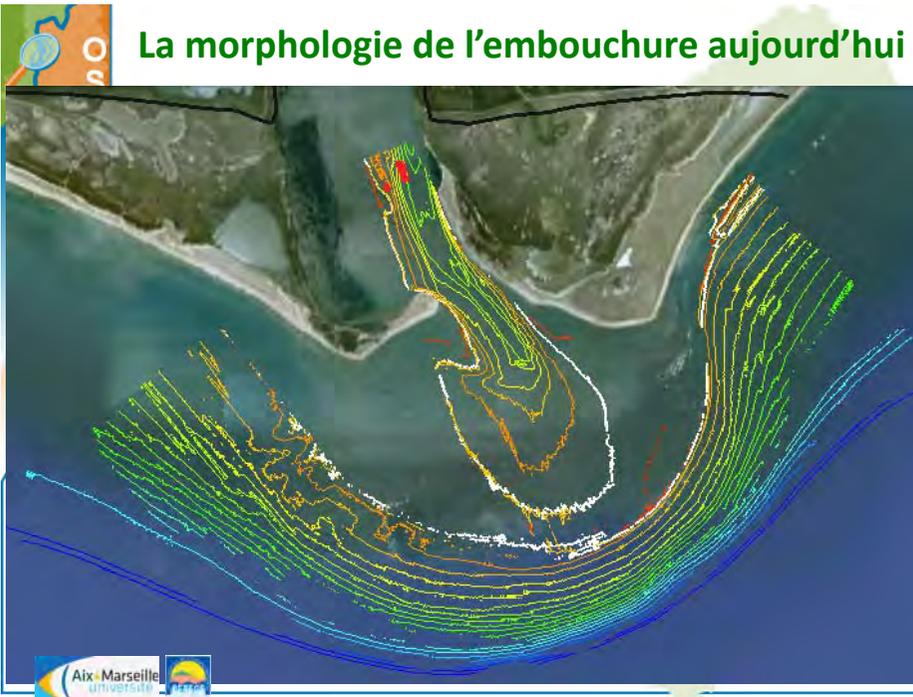
Aix-Marseille Université



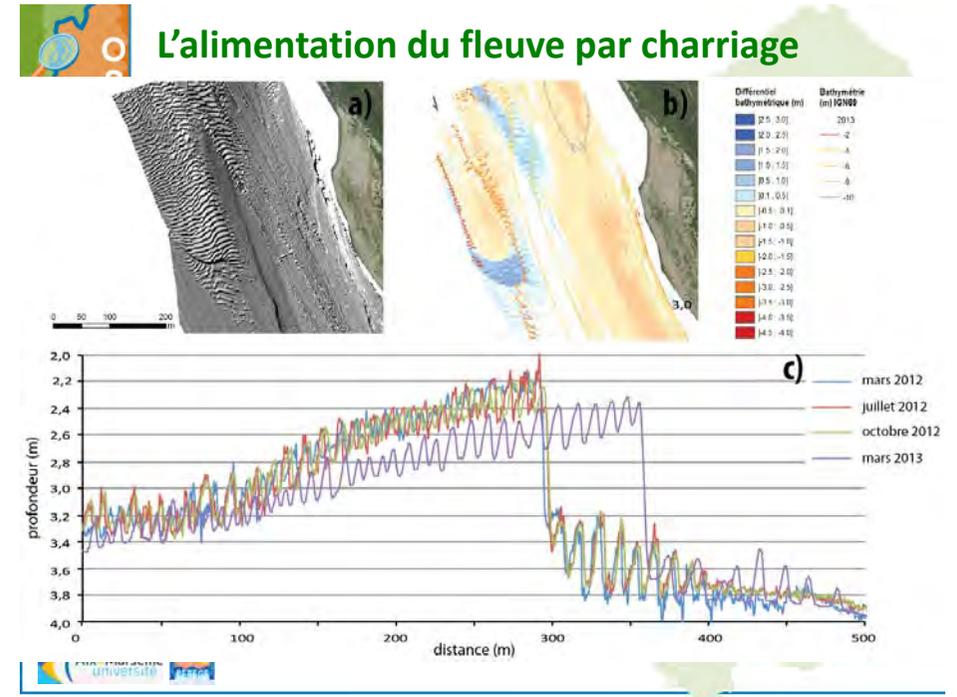




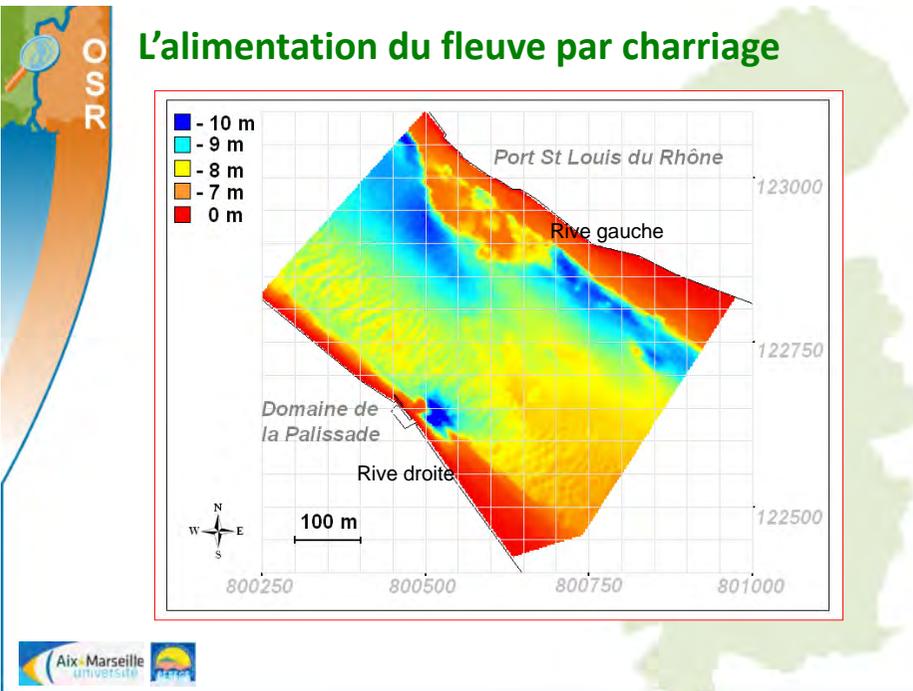
## La morphologie de l'embouchure aujourd'hui



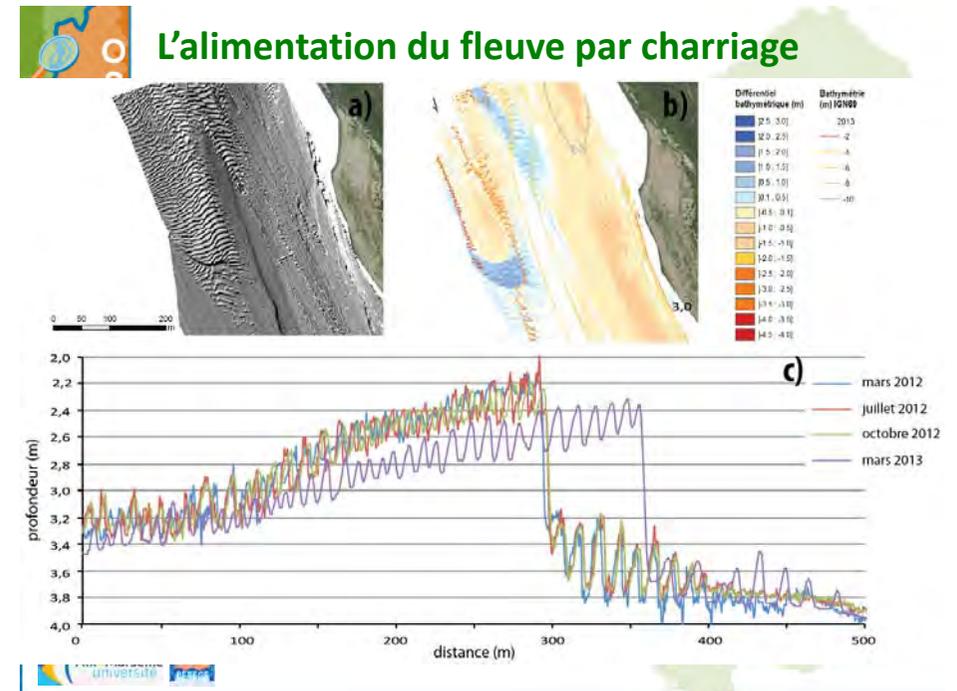
## L'alimentation du fleuve par charriage

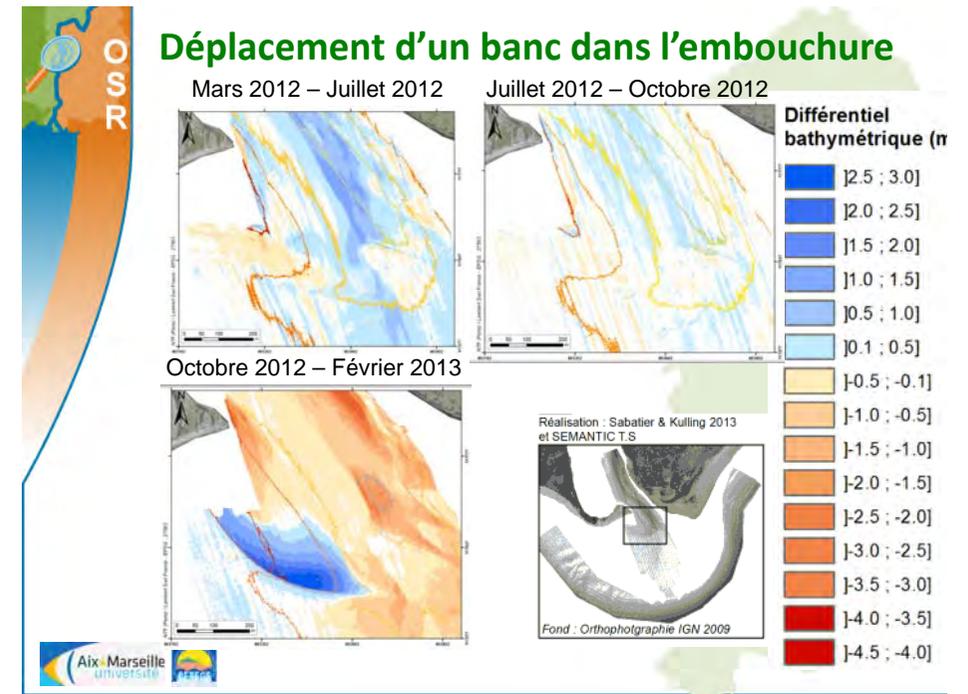


## L'alimentation du fleuve par charriage

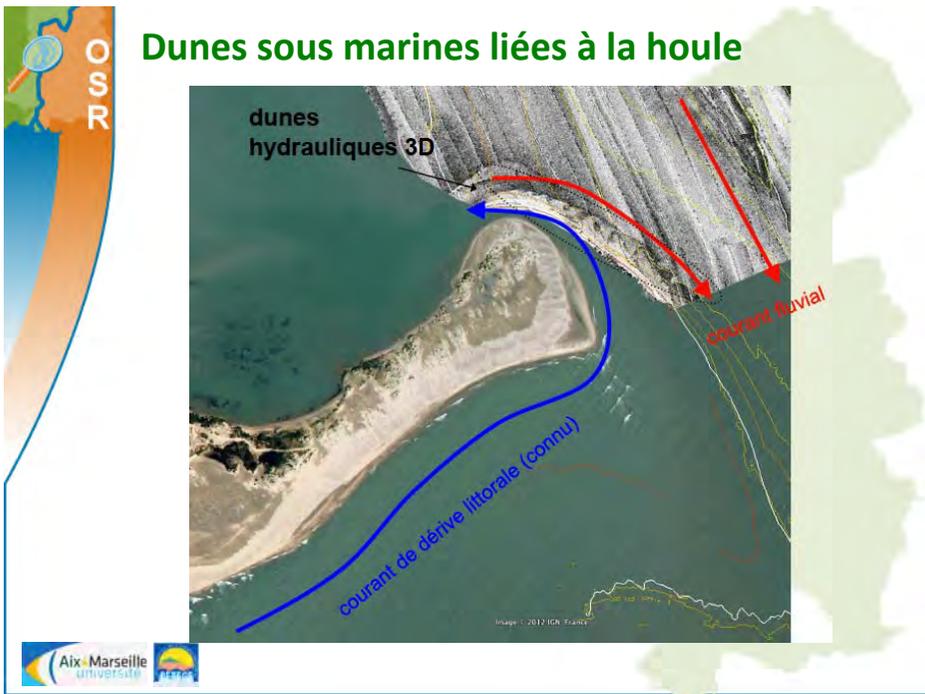


## L'alimentation du fleuve par charriage





## Dunes sous marines liées à la houle



## Conclusions

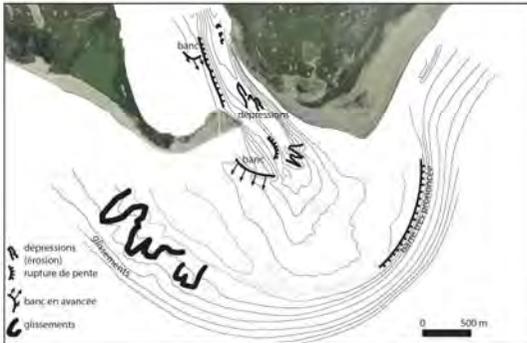


## La morphologie de l'embouchure aujourd'hui

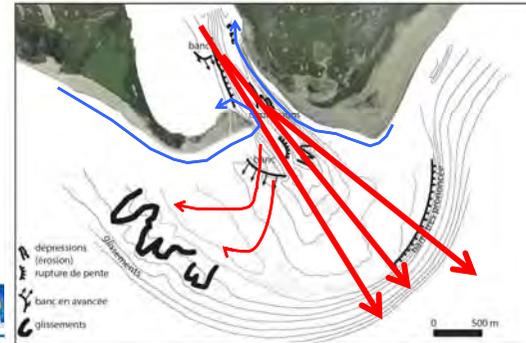




# Le fonctionnement de l'embouchure



# Le fonctionnement de l'embouchure





# Z A B R

---

Zone Atelier Bassin du Rhône



Domaine scientifique de la Doua  
66 bd Niels Bohr - CS 52132  
F-69603 Villeurbanne Cedex  
Tél : 04 72 43 83 68 - Fax : 04 72 43 92 77  
mél : asso@graie.org - www.graie.org