

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

Journée de restitution: 17 Octobre 2013

Logos of funding and partner organizations: l'Europe s'engage pour le fleuve Rhône, Agence de l'eau, Compagnie Nationale du Rhône, EDF, Région Rhône-Alpes, Région Provence-Alpes-Côte d'Azur, Région Languedoc-Roussillon, CNRS, ZABR, ENTPE, IRSN, Ifremer, and others.



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)



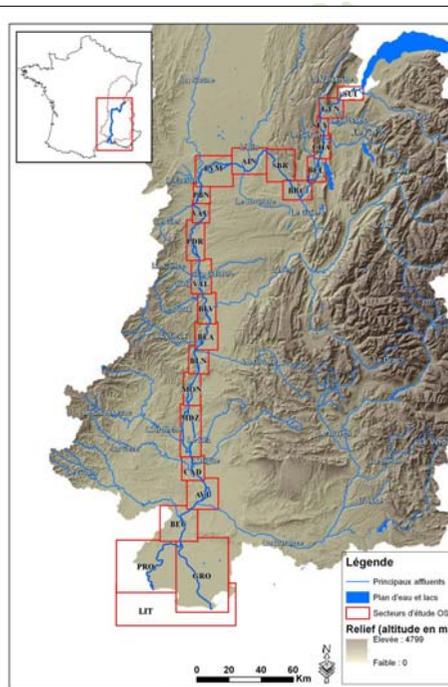
Qu'est ce que l'OSR?

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
- Centraliser et archiver les connaissances

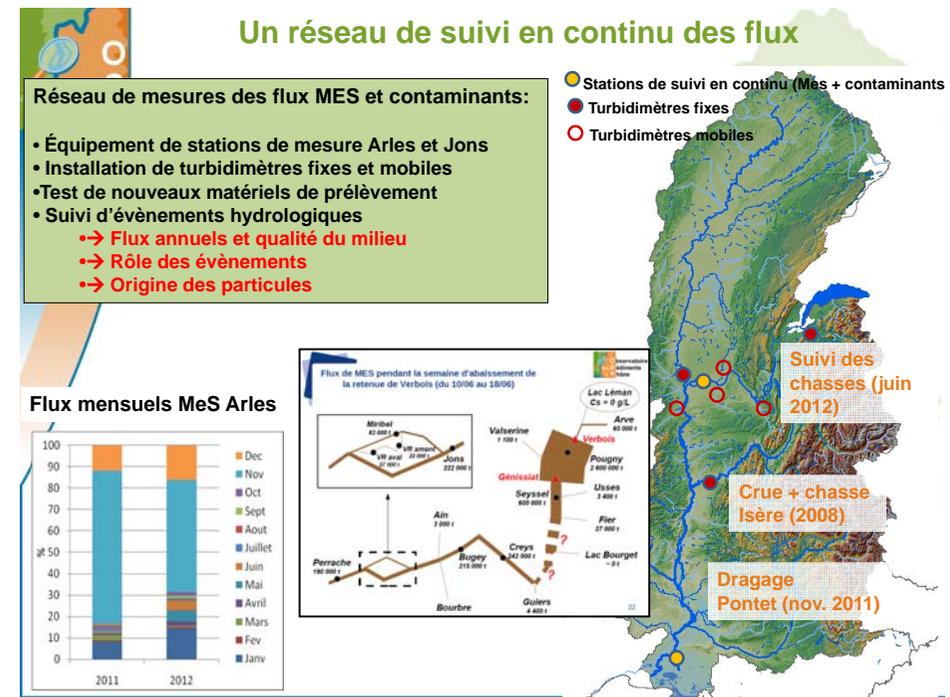
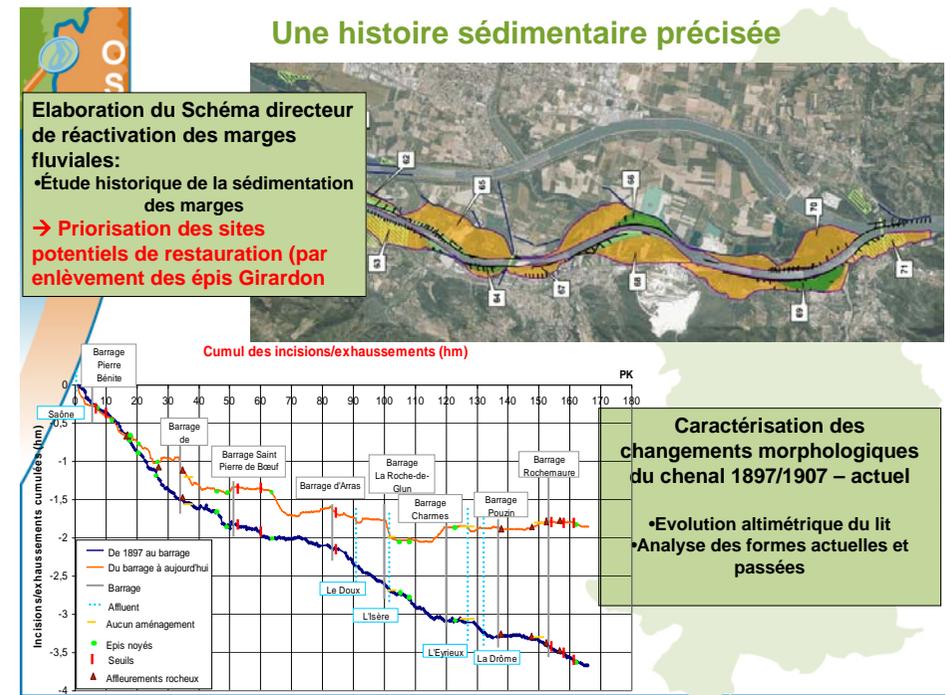
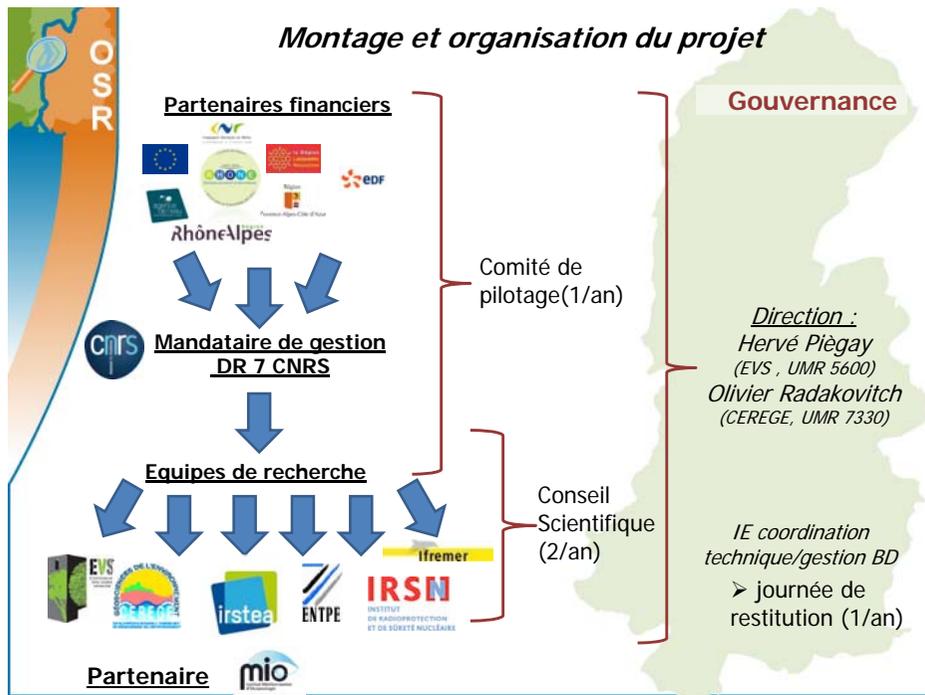
MÉTHODES PROPOSÉES

- 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
- Créer des bases de données et outils web

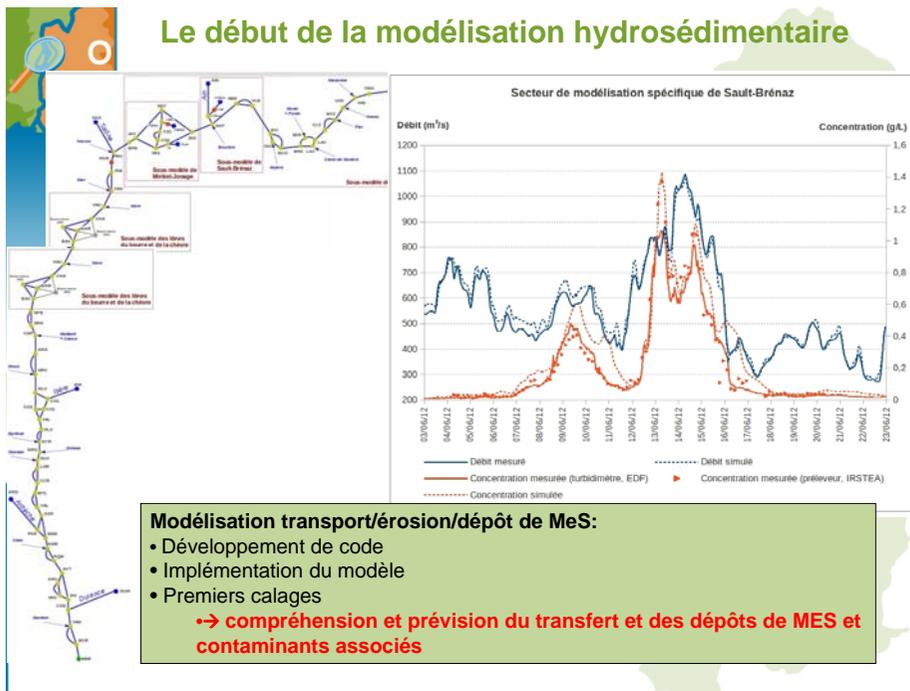
12 actions

Produits opérationnels immédiats

Réponses sur questions à long terme (500 km, temporel)



Le début de la modélisation hydrosédimentaire



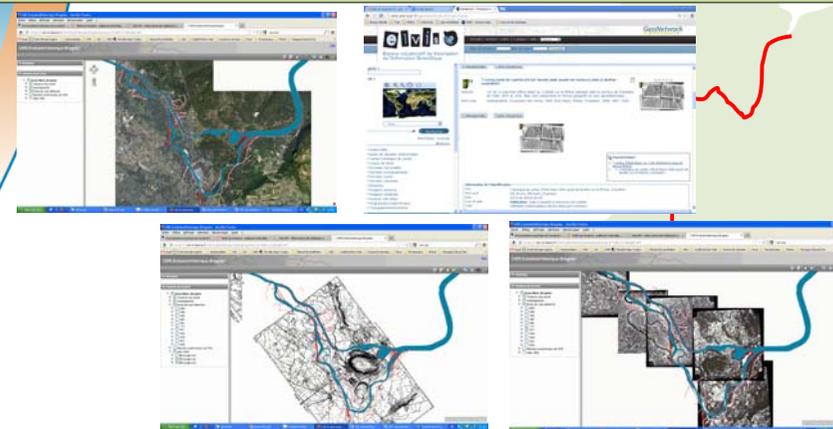
Modélisation transport/érosion/dépôt de MeS:

- 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

Constitution d'une base de données géographiques et développement d'outils de recherche/visualisation - Valorisation / Communication :

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

Axe I.
Charge de fond et géométrie du chenal

Axe III.
Réseau de suivi des flux

Axe II.
Morphologie et sédimentation en lit majeur

Axe IV.
Sources et devenir des contaminants

Axe V. Outils numériques et modélisation

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

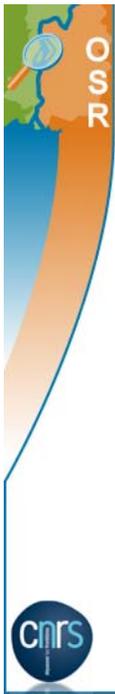
Irstea Lyon : J. Le Coz, M. Coquery, M. Launay, H. Angot, B. Camenen

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

IRSN : F. Eyrolle-Boyer, C. Antonelli, M. Zembracki

IFREMER : D. Cossa





Axe n°1: Charge de fond et géométrie du chenal

S Reynaud – CNR
17 octobre 2013

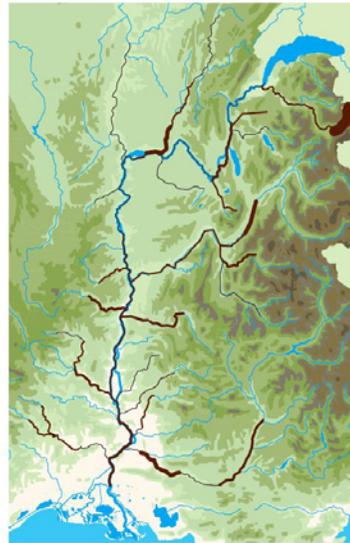
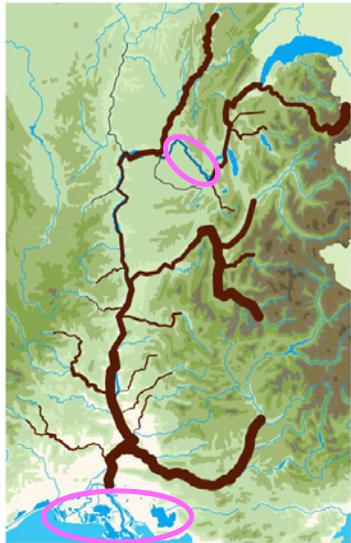


Avant l'OSR, l'Etude Globale du Rhône donne les grandes tendances

Apports des affluents très fortement réduits

Charriage naturel

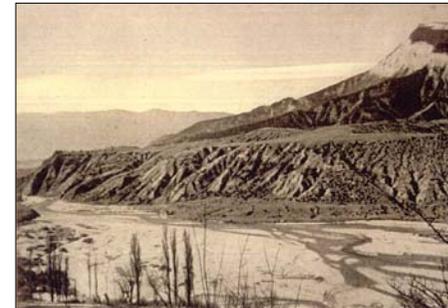
Charriage actuel



m³/an 500 000 à 200 000 100 000 à 50 000 25 000 à 10 000 5 000 à 1 000

Apports des affluents très fortement réduits

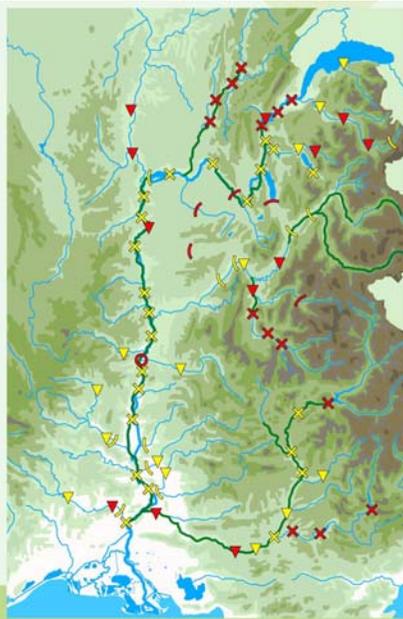
Maitrise de l'érosion en montagne RTM, reboisement:
Exemple vallée de la Drôme



Photos: Mireille Provansal, UMR 6635 - Pauline Gaydou, UMR 5600

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.

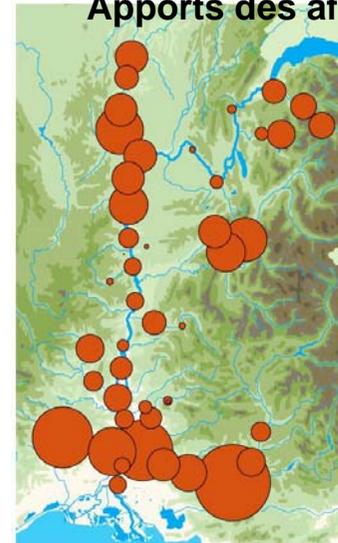


Interruption du transport solide sur le bassin versant

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

Extractions et barrages

Apports des affluents très fortement réduits



Les volumes extraits (periode 1960 - 2000)

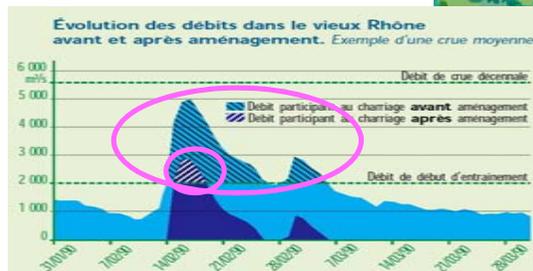
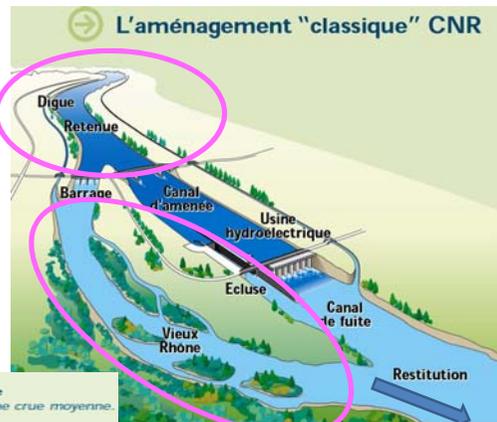


Les anciennes fosses d'extraction sont de véritables pièges à graviers qui interrompent durablement le transit résiduel sur le Rhône

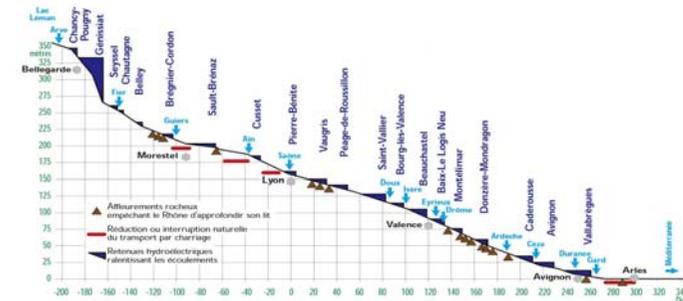
Les anciens sites d'extractions constituent des pièges durables pour le transit des graviers



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



Débits dans les 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)



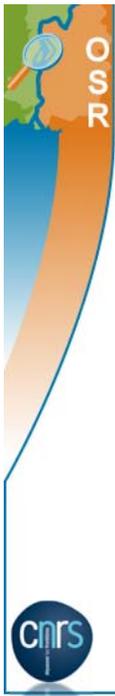
Le Rhône donne l'image d'un système figé en équilibre qui n'a pas connu d'évolutions significatives liées au transit de graviers depuis ces dernières décennies

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 de la géométrie du chenal

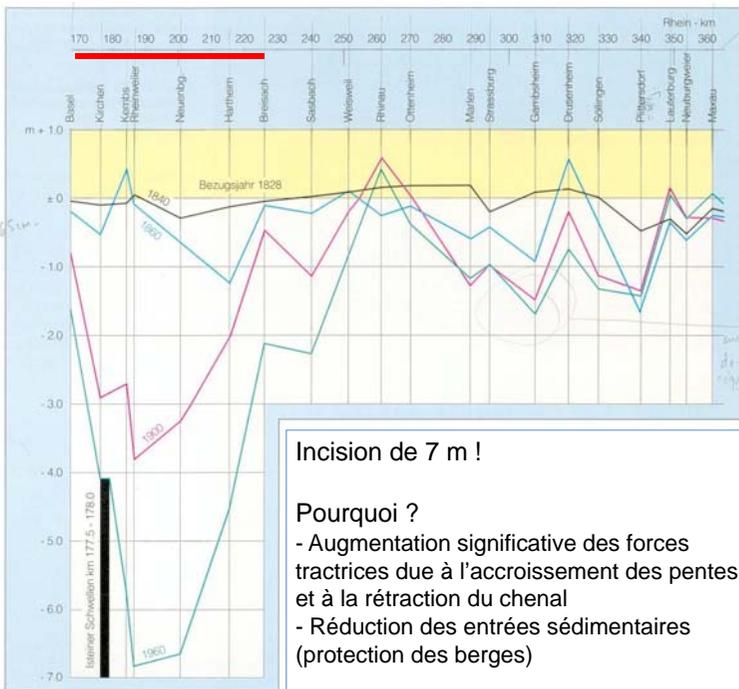
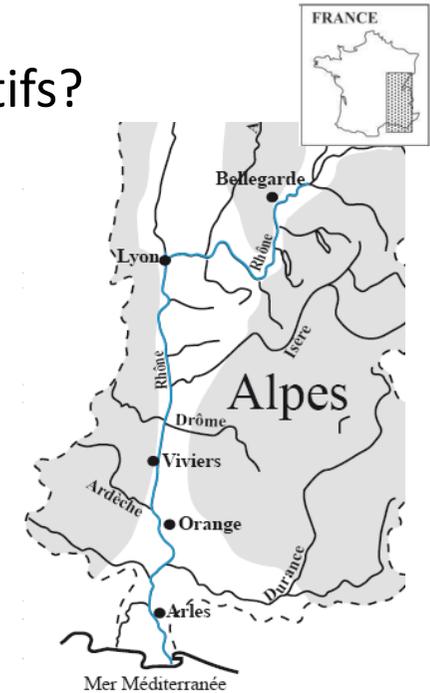
E. Parrot, H. Piégay, M. Tal,

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

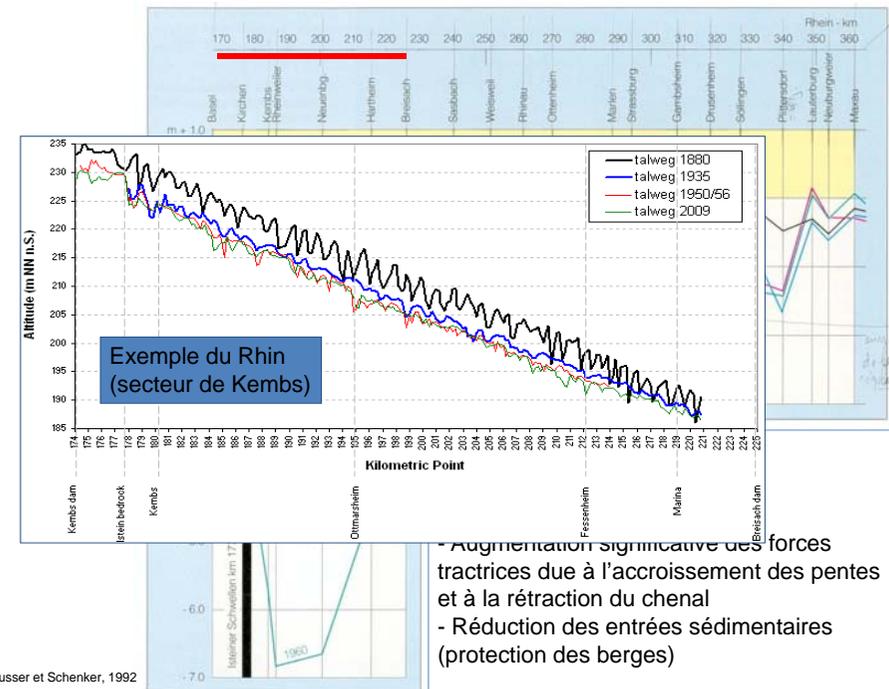


Objectifs?

- 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



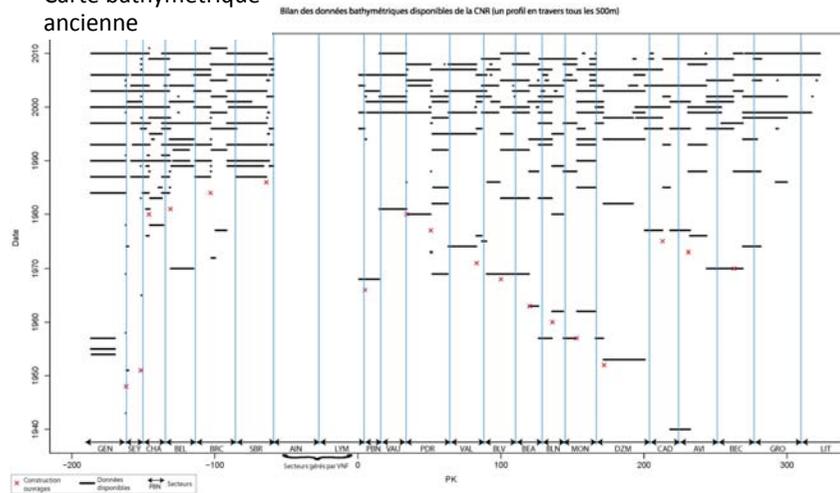
Gallusser et Schenker, 1992



Gallusser et Schenker, 1992

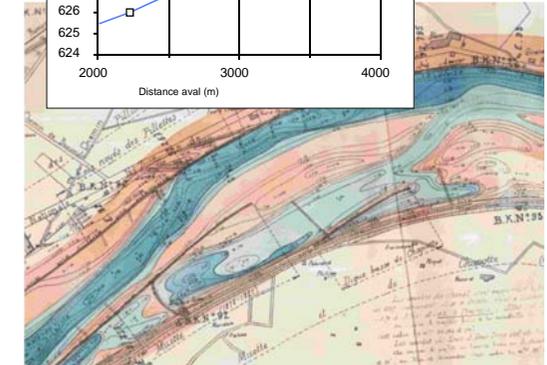
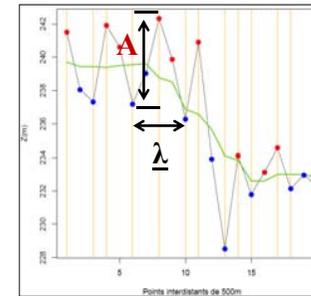
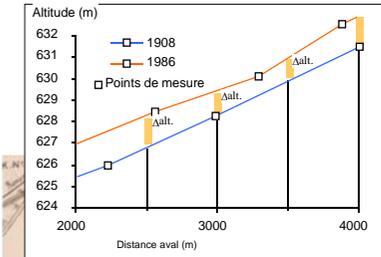
Comment?

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



Comment?

- Rassembler les données existantes
 - BD CNR
 - Carte bathymétrique ancienne
- Choisir des indicateurs
 - Incision/exhaussement
 - Bilan volumétrique (?)
 - Formes fluviales



Exemples de cartes bathymétriques du chenal datant de 1897 entre les PK 76 et 93

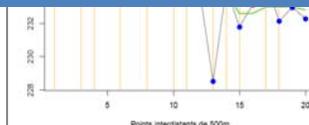
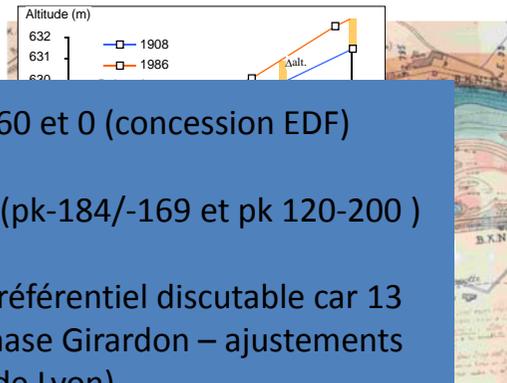
Comment?

- 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)

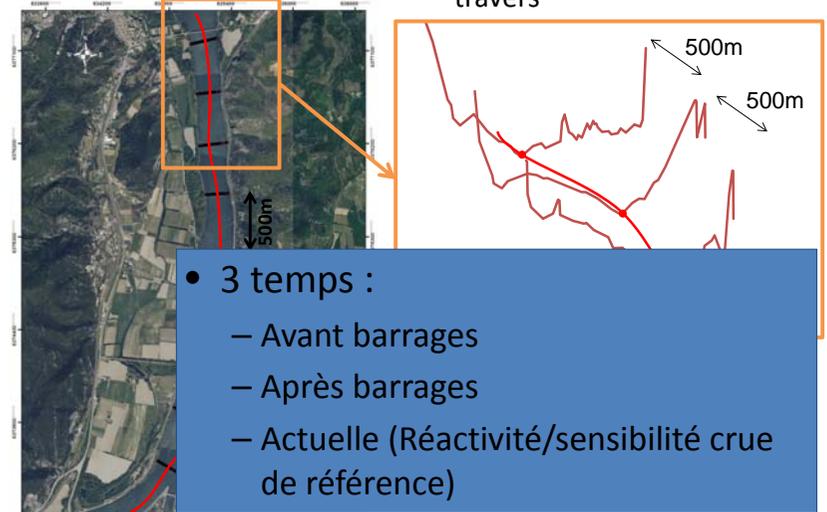
- Bathymétrie 1897-1907 (référentiel discutable car 13 ans après le début de la phase Girardon – ajustements partiels; uniquement aval de Lyon)



chenal datant de 1897 entre les PK 76 et 93

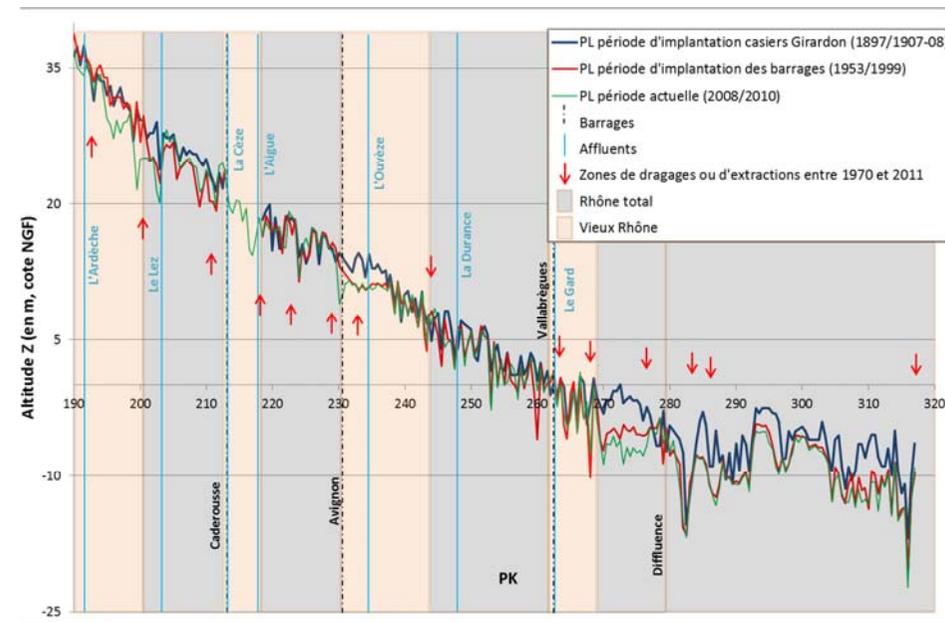
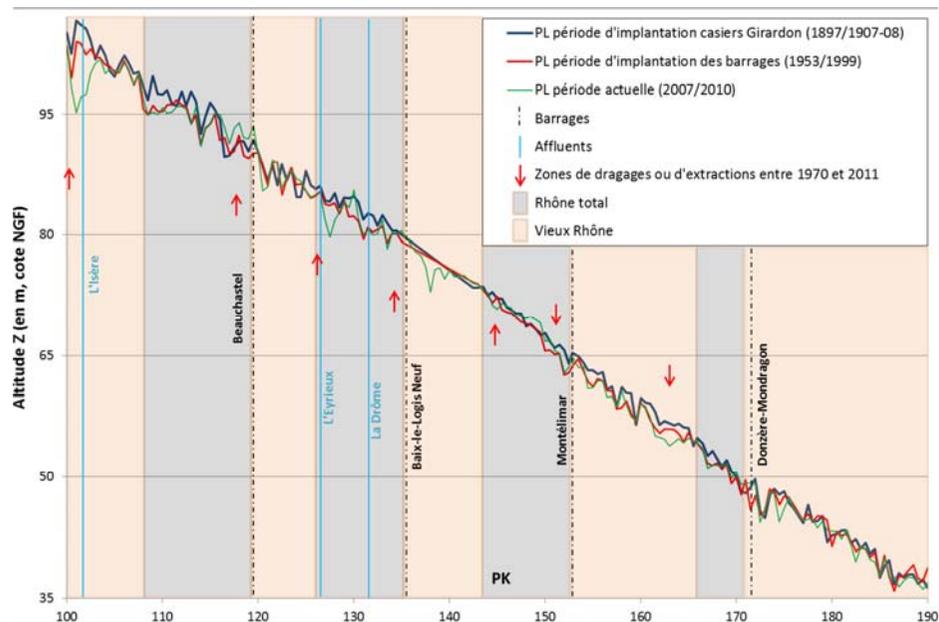
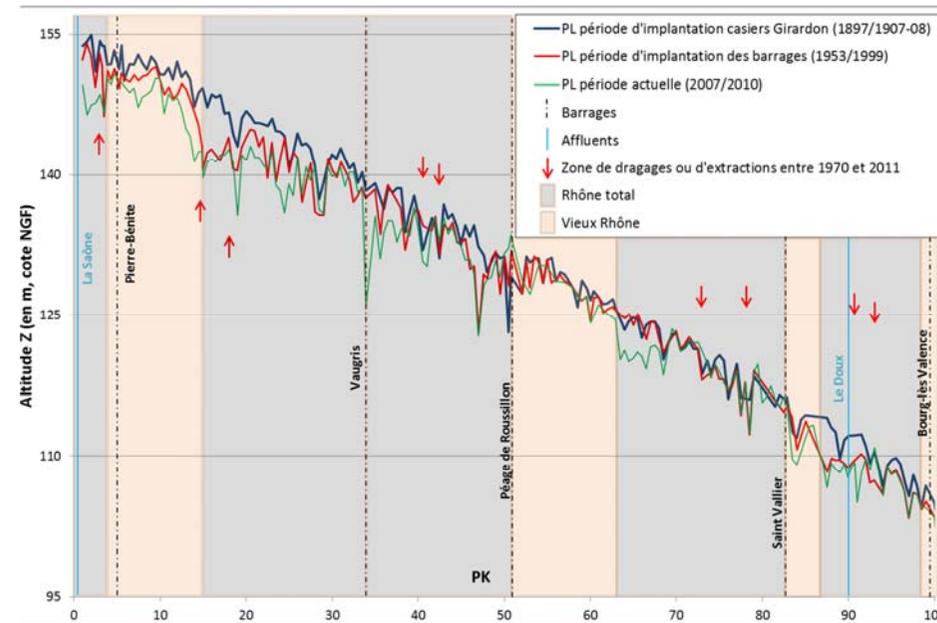
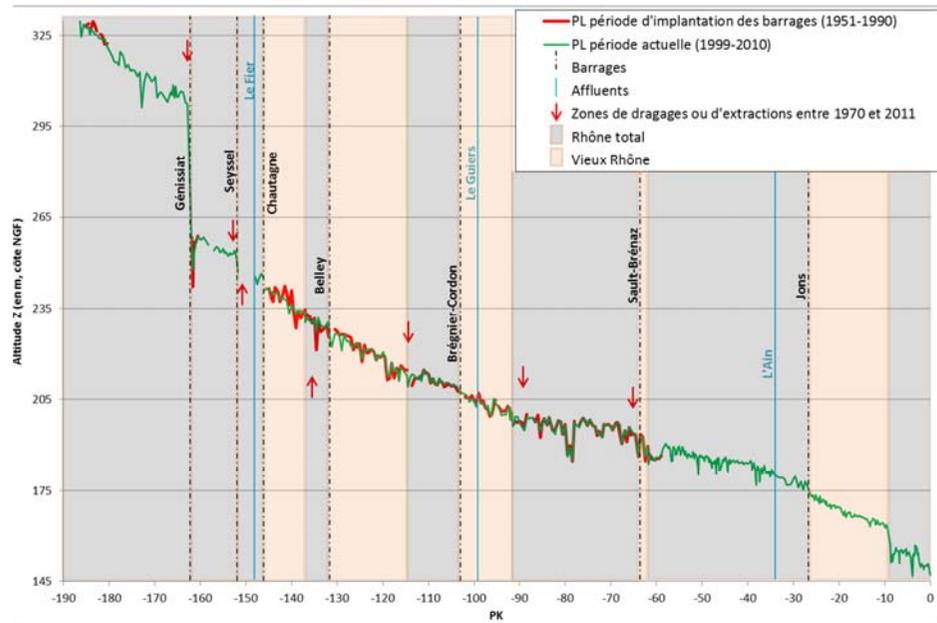
Comparaison des profils en long

- Extraits à partir de profils en travers

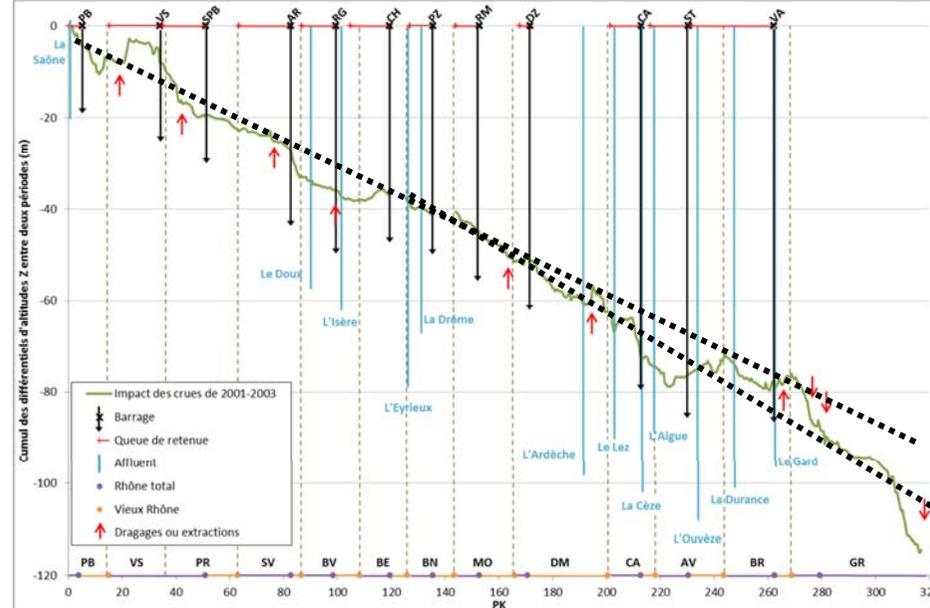
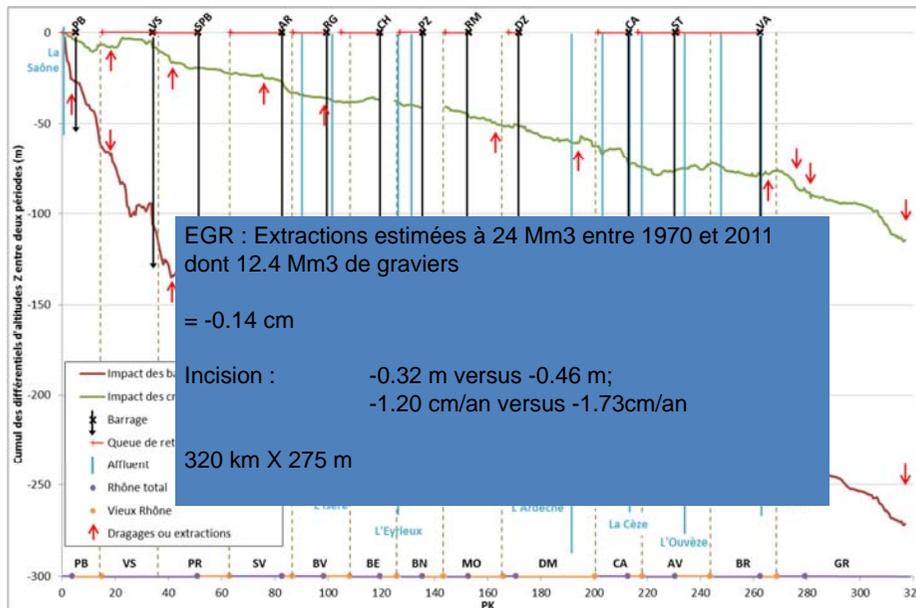
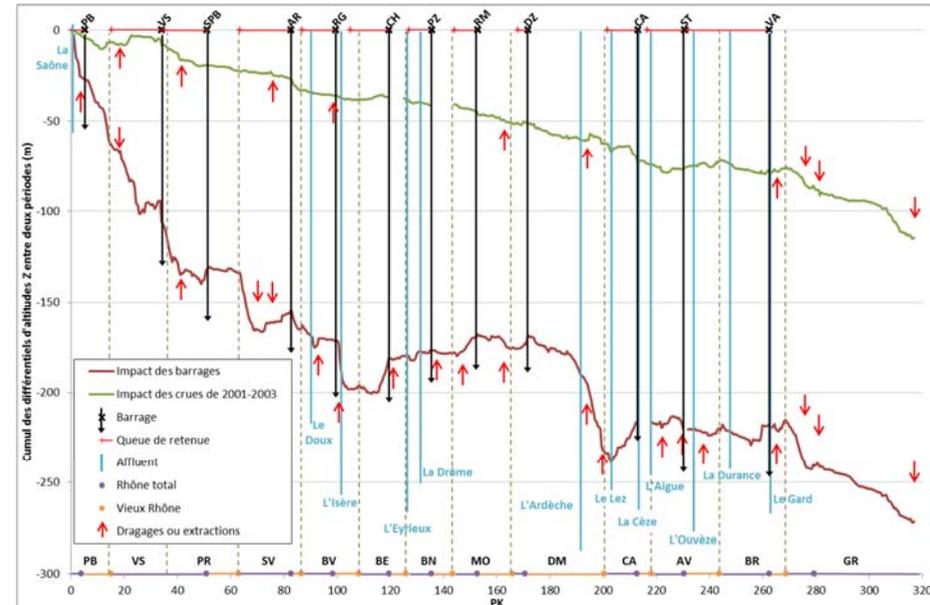
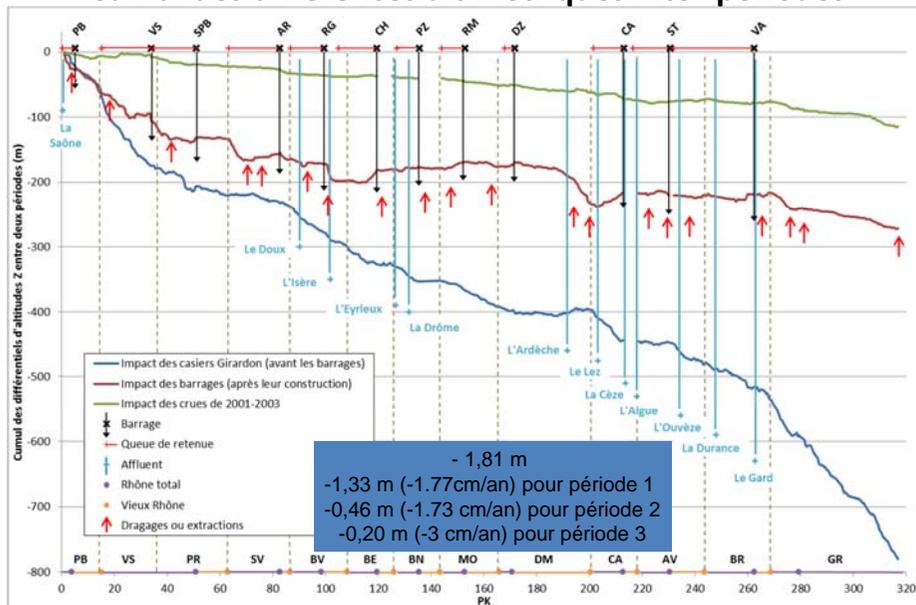


3 temps :

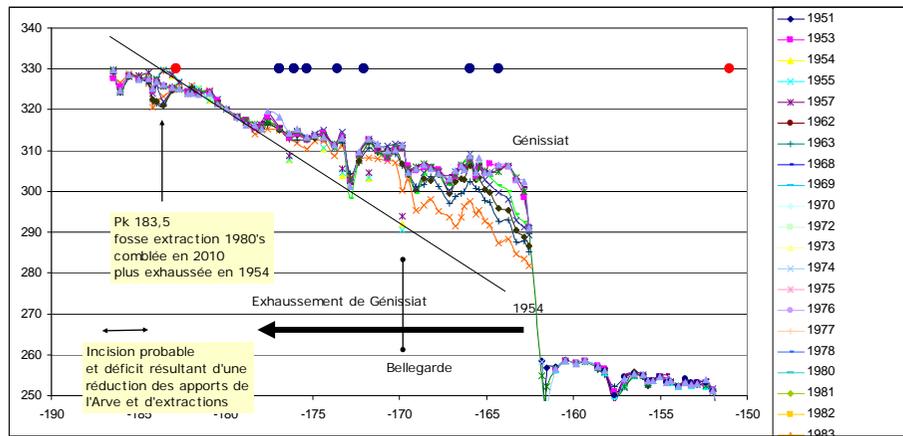
- Avant barrages
- Après barrages
- Actuelle (Réactivité/sensibilité crue de référence)



Cumul des différences altimétriques inter-périodes

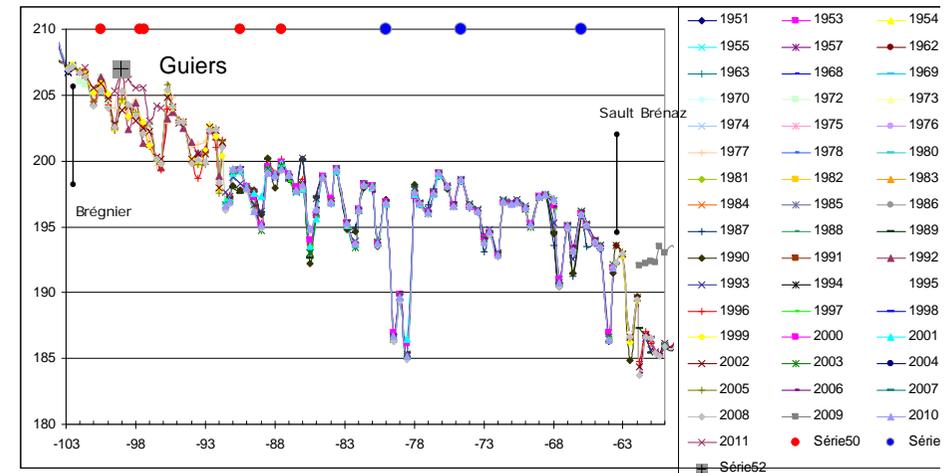


Extrait graphique de la BD de la CNR – Secteur de Génissiat



Distance à l'amont de Lyon (km)

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



Distance à l'amont de Lyon (km)

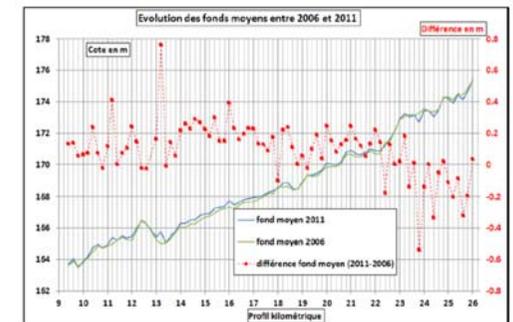


grand parc
GRANDLYON
EDF RhôneAlpes
2011
vmt

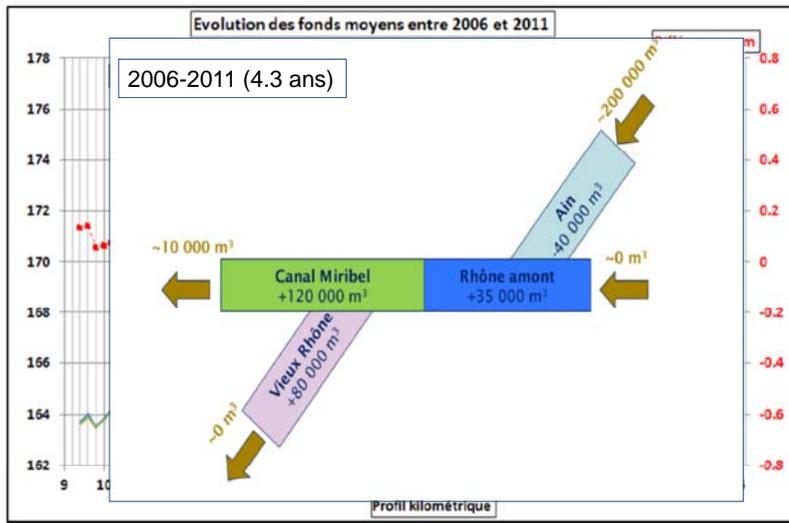
ASSISTANCE A MAITRISE D'OUVRAGE POUR LA DEFINITION D'UN PROGRAMME DE RESTAURATION HYDRAULIQUE, HYDROMORPHOLOGIQUE ET ECOLOGIQUE DU RHONE DE MIRIBEL JONAGE

Expertises thématiques complémentaires :
Note de synthèse et pistes de scénarios
Septembre 2012

hydratic
ASC OUIT



Le bilan est donc excédentaire sauf pour la zone du pk 26 au pk 23.4 pour laquelle des déstockages ont été observés entre 2006 et 2011. Au-delà de ce pk, nous constatons un apport de 165000 m³ environ. L'apport final est de 128300 m³, soit 25600 m³/an.

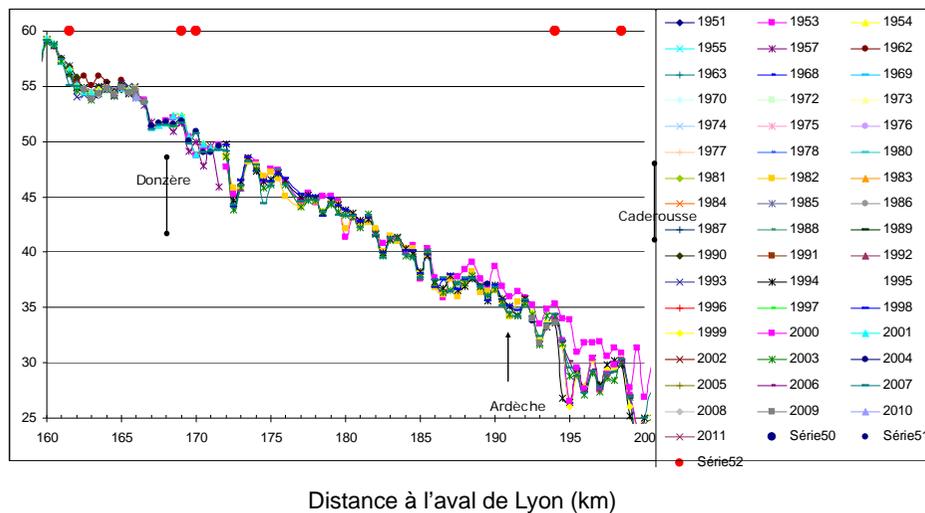


Le bilan est donc excédentaire sauf pour la zone du pk 26 au pk 23.4 pour laquelle des déstockages ont été observés entre 2006 et 2011. Au-delà de ce pk, nous constatons un apport de 165000 m³ environ. L'apport final est de 128300 m³, soit 25600 m³/an.

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) :

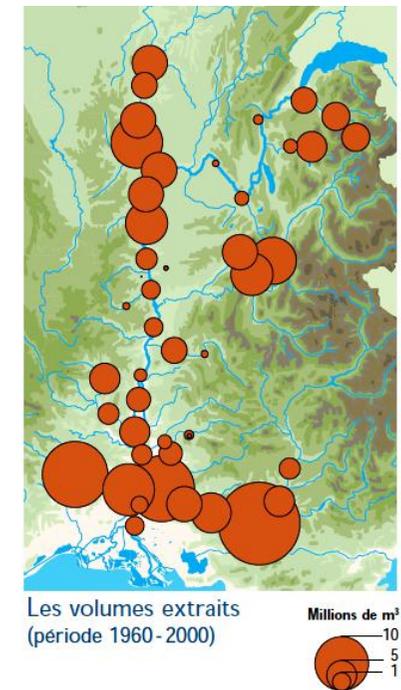


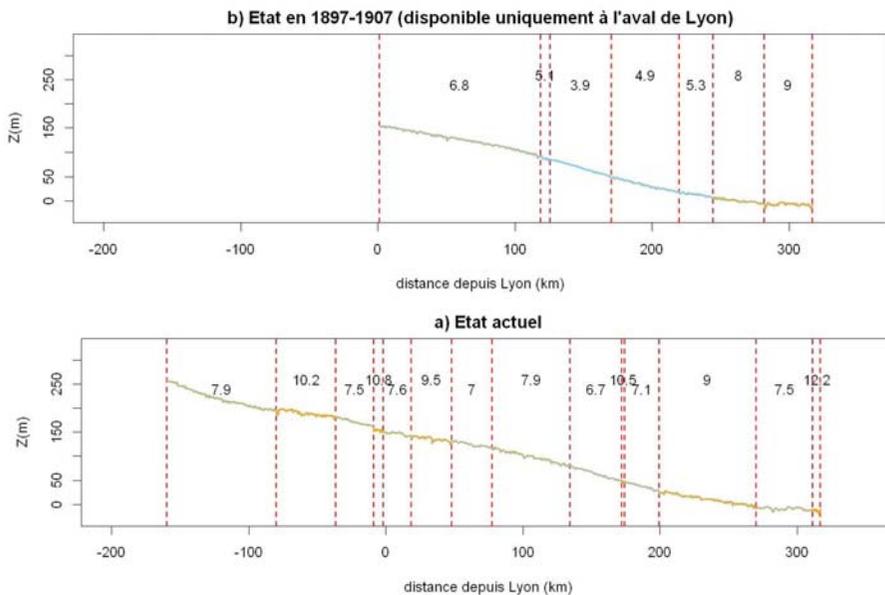
Extrait graphique de la BD de la CNR – Secteur de Donzère



EGR : Réduction par 5 des apports des affluents

... sans doute
mais déconnexion du Rhône
et de ses affluents
=> il en arrive 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)

Conclusions

- Incision la plus importante
 - Nouveau / EGR hydroélectriques
 - Mieux quantifié et relativisé par rapport à d'autres facteurs / EGR
 - Nouveau / EGR
- Rares apports grossiers depuis les affluents (Arve, Guiers, Ain, Ardèche, Gard)
- Dynamique actuelle liée au flux de sables principalement (stockage, déstockage) mais une « Figé » / EGR Oui et non
- Moindre mesurer maintenant liée au barrage

• **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

- Favoriser les flux de sables



Merci de votre attention!
 Merci à Elsa Parrot,
 Merci à tous les participants de cette action

Perspectives

- Affiner encore la BD
 - EDF
 - Données anciennes de référence
- Affiner les calculs volumétriques
- Aborder la modélisation hydraulique
 - Seuil de mise en mouvement
 - Transport solide potentiel
 - ⇒ EGR
 - ⇒ granulométrie et état global mieux connu (avant barrages)
 - ⇒ refaire les calculs dans un cadre collectif

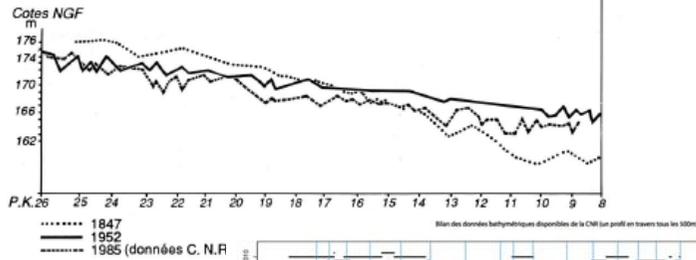
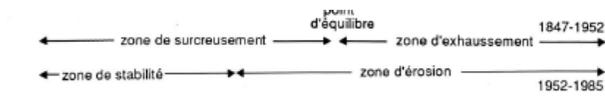
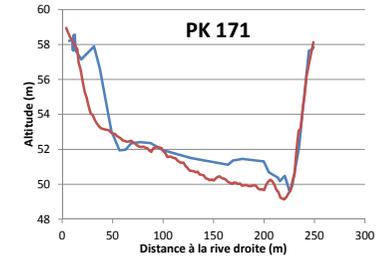
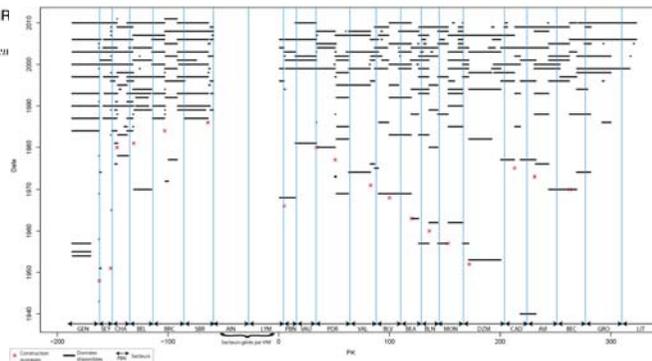
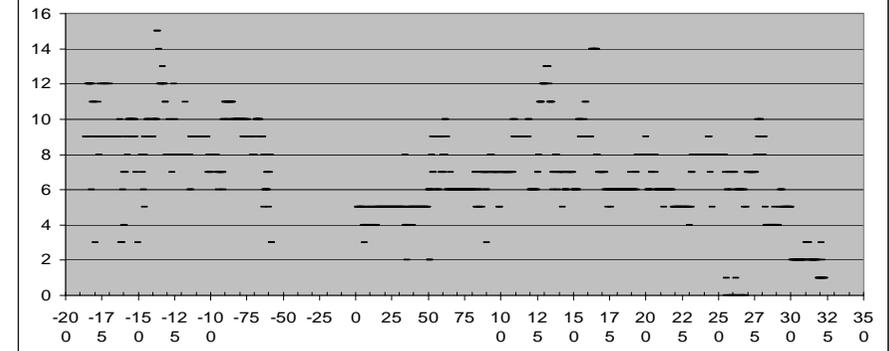
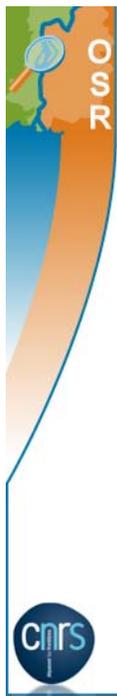


Figure 2. — Processus de basculement

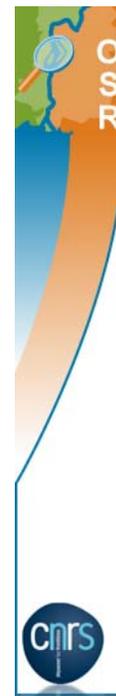


Nombre de campagnes





Les caractéristiques du fond du lit



Partie I. La granulométrie du fond

E. PARROT, H. PIEGAY, M. TAL



Retour sur l'Étude Globale du Rhône

Aménagement	Caractéristiques	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 fluvioglaciaires

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



Retour sur l'Étude Globale du Rhône

Limites et inconvénients des données existantes

- 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'Étude Globale du Rhône

Limites et inconvénients des données existantes

Objectif :

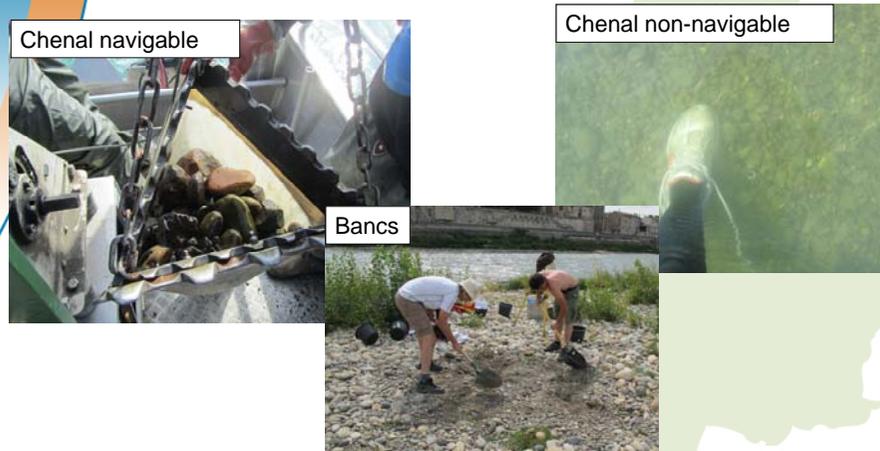
Une caractérisation détaillée de la distribution de la granulométrie du fond du lit sur tout le linéaire, à partir d'une méthode uniforme et adaptée aux différents faciès du Rhône.

- 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



Prélèvement du lit dans le cadre de l'OSR

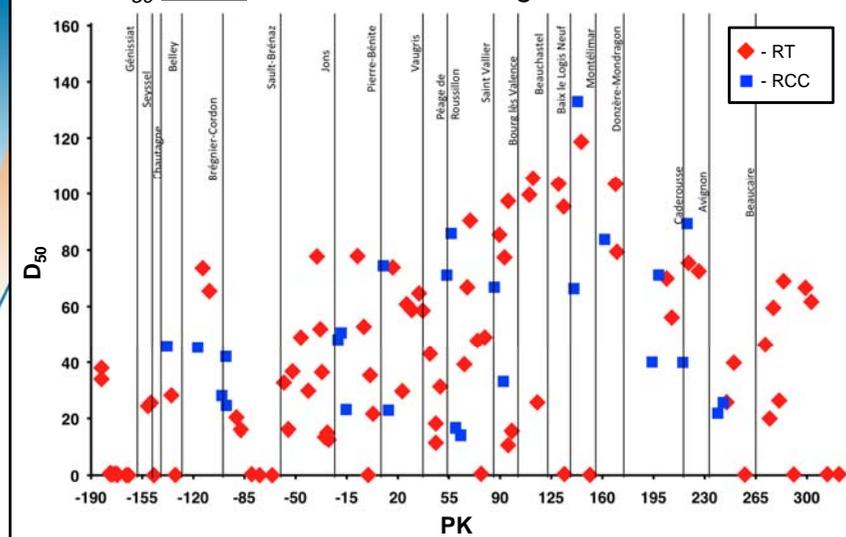
Prélèvements systématiques sur tout le linéaire navigable à partir du bateau et avec la drague de la CNR

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



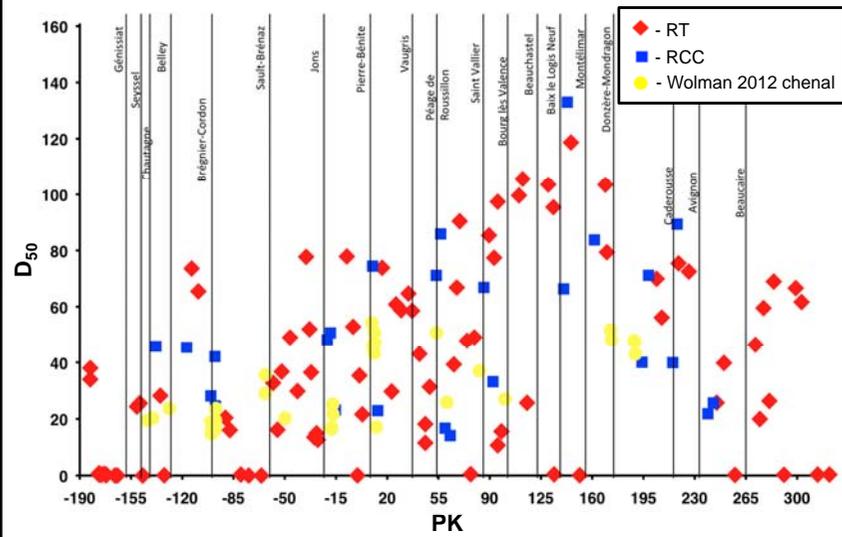
Résultats

D_{50} brutes mission bateau/drague CNR 2012-13



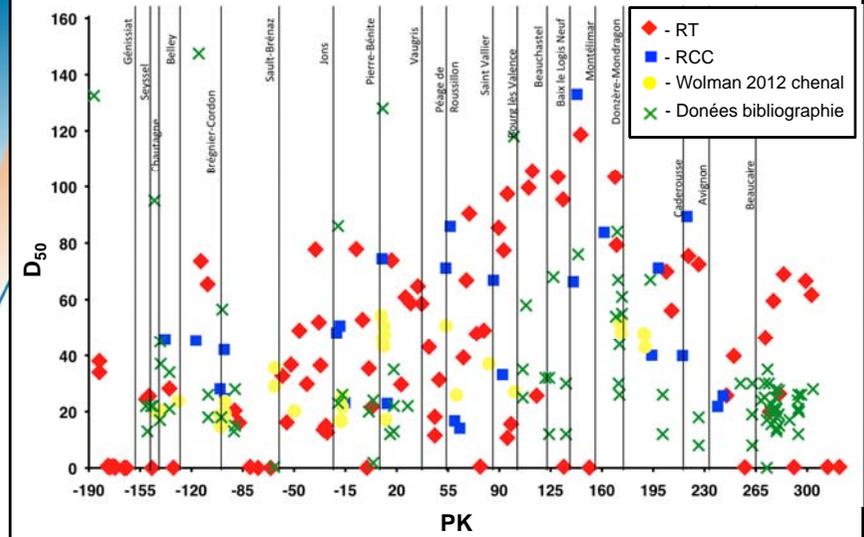
Résultats

D_{50} brutes mission CNR 2012-13 + Wolman 2012 chenal



Résultats

D_{50} brutes mission CNR 2012-13 + Wolman 2012 chenal + Données biblio

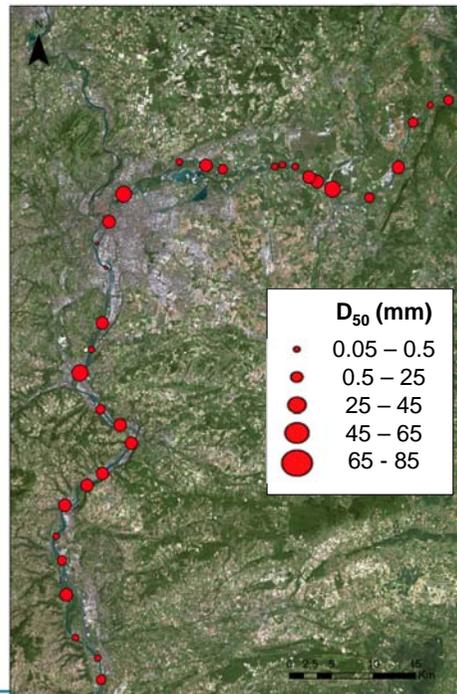


Résultats

Absence d'affinement granulométrique amont – aval due :

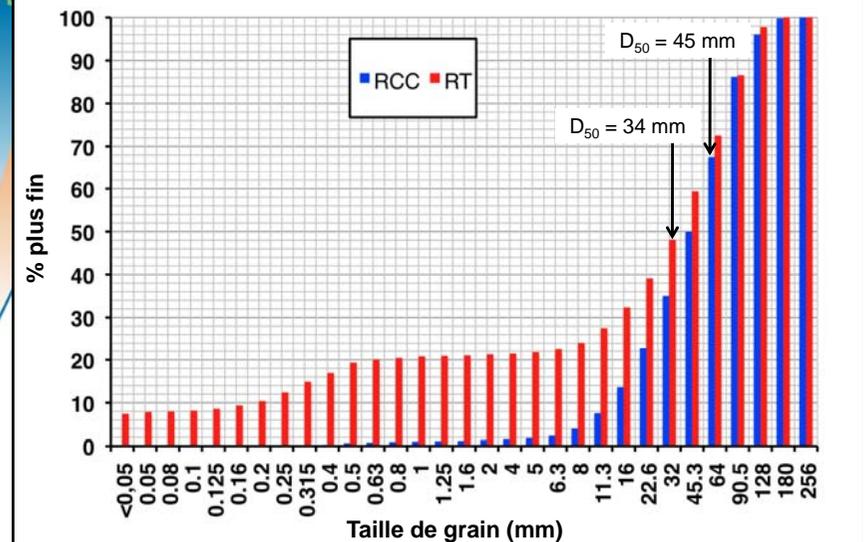
- à la recharge sédimentaire locale par les affluents
- au stock sédimentaire propre du Rhône (dépôts glaciaires ou fluvio-glaciaires, ou fluviaux anciens)

D_{50} sur le linéaire entre la confluence de l'Ain et le secteur de Péage de Roussillon



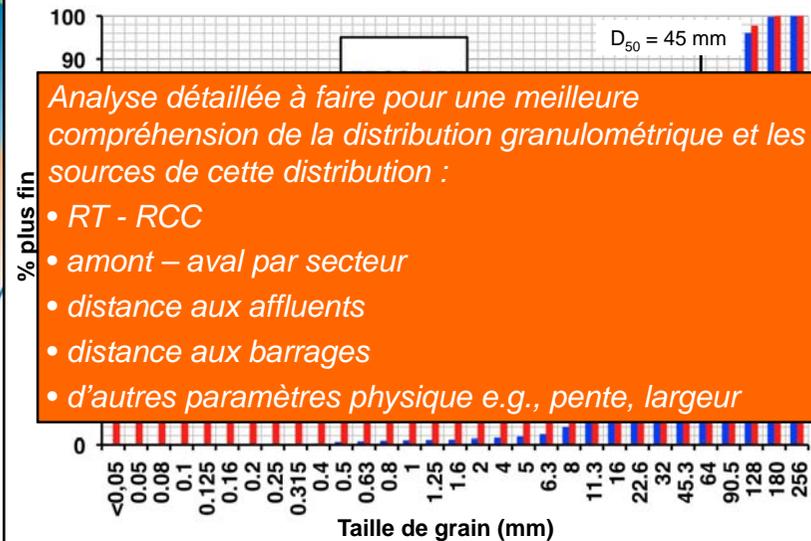
Analyse détaillée des données

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



Analyse détaillée des données

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



Conclusions et perspectives

- Plusieurs campagnes de terrain réalisées pour obtenir un échantillonnage systématique sur tout le linéaire du Rhône avec des méthodes adaptées aux différents faciès
- Résultats bruts soulignent la difficulté d'identifier des tendances globales, par exemple un affinement amont-aval (confirme EGR)
- Analyse détaillée met en valeur une distribution granulométrique différente entre le RT et le RCC
- 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

Partie II. Le transport solide par charriage

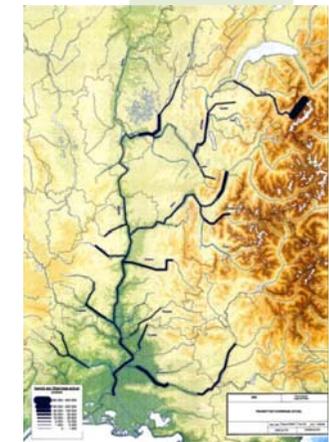
Benoît CAMENEN, Marie COURTEL,
Lucie GUERTAULT, Jérôme LE COZ,
Thierry FRETAUD, Christophe PETEUIL

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
- 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 avec la difficulté supplémentaire du débit critique Q_{cr} de mise en mouvement des sédiments

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

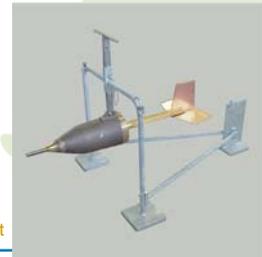


Préleveurs testés

Préleveur de charriage de type Helley-Smith



Préleveur de suspension sableuse : bouteille de Delft



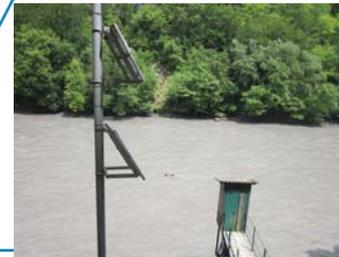
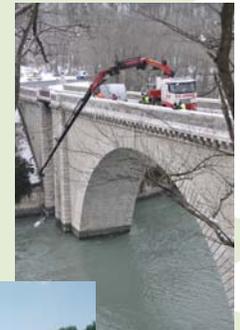
Préleveur de charriage de type Ehrenberger

Photos: B. Camenen, Eijkelpamp Agrisearch Equipment

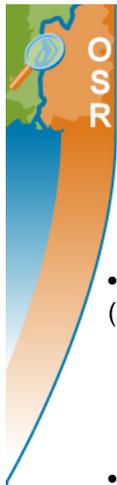


Différentes méthodologies de prélèvement

- 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 traille
 - Coûteux à mettre en place
- Mesure à partir d'un bateau
 - Difficultés liés à la navigation
 - Stabilité de l'embarcation lors de la mesure



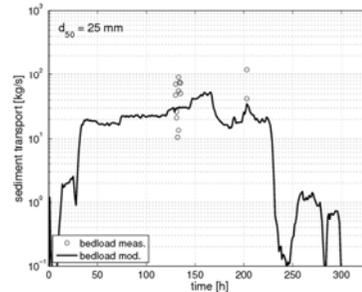
Photos: B. Camenen, J. Le Coz et T. Pollin



Quelques premiers résultats: chasse du Haut-Rhône de 2012

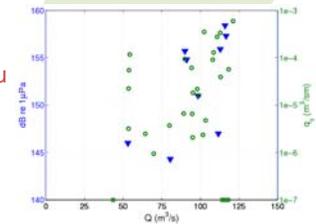
→ Transport solide a priori proche de la capacité pendant la chasse

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

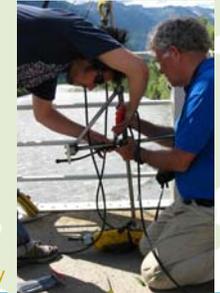
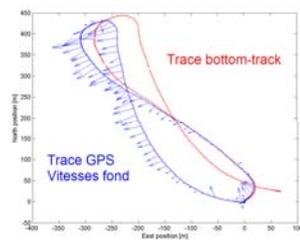
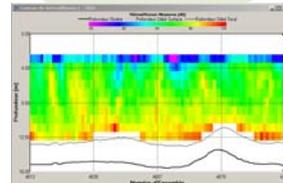


Photo P. Belleudy



Mesures ADCP

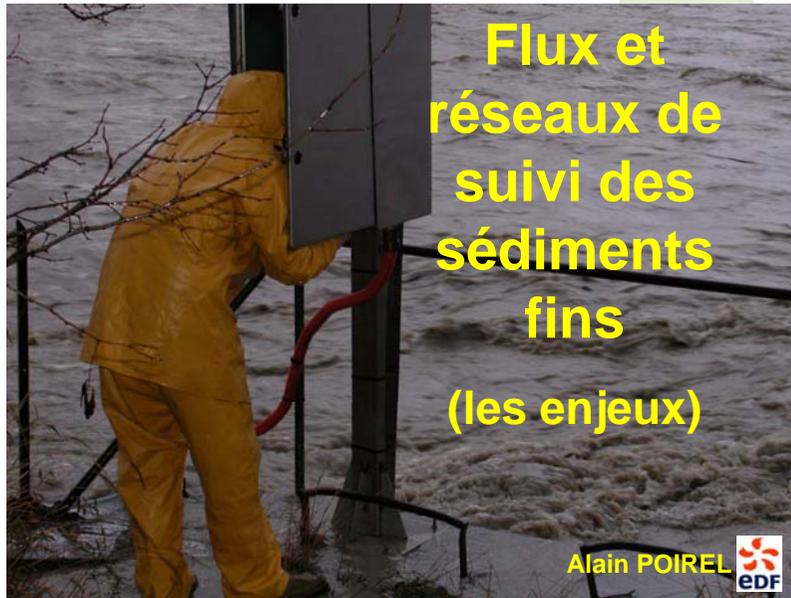
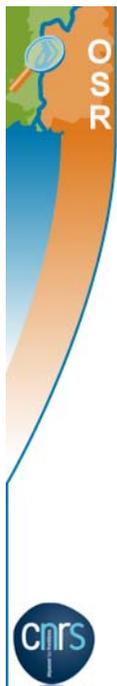
- Mesure spatialisée des concentrations en sables
 - Estimation de la suspension graduée en sable à partir de la rétrodiffusion du signal ADCP (concentration en argiles et limons supposée homogène sur la section)
- Mesure spatialisée du charriage
 - Extraction de la vitesse apparente de déplacement du 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



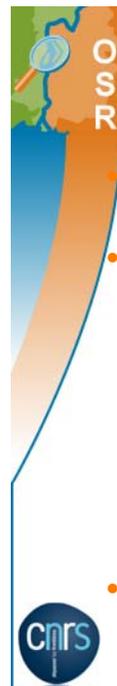


Flux et réseaux de suivi des sédiments fins (les enjeux)

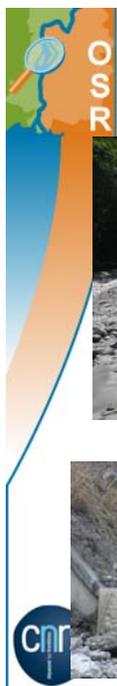
Alain POIREL EDF

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

- Agronomes, Constructeurs/Exploitants de barrages, Environnementalistes : une mesure « nomade ».
- Perception évolutive des sédiments fins avec le temps :
 - les riches limons des rivières à capter par des ouvrages majeurs pour « atterrir » les vallées (les colmatages)
 - le dimensionnement des retenues en fonction de l'envasement et la perte de capacité/patrimoine
 - les colmatants des frayères et la perte de capacité biogène
 - le support préférentiel de nombreux polluants
 - le matériau des roselières/vasières (et la biodiversité associée)
 - le support majeur des chaînes trophiques marines
- dans des bassins versants en évolution (RTM, barrages, pratiques agricoles, évolutions climatiques...)



Les sédiments fins



Le suivi des sédiments fins : une mesure 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 des 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 flux de sédiments fins ont à peine une dizaine d'années

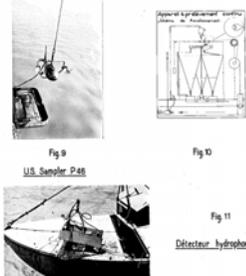




Le suivi des sédiments fins : une histoire chaotique

DATES.	ISÈRE. SABLE ET LIMON par litre.	DRAC. SABLE ET LIMON par litre.
1815. Avril.....	7 92	22 12
Mai.....	15 08	16 72
Juin.....	21 40	30 76
Juillet.....	16 38	7 28
Août.....	9 02	6 10
Septembre.....	11 24	6 84
Octobre.....	5 84	30 05
Novembre.....	1 30	26 18
Décembre.....	6 04	35 42
1816. Janvier.....	8 44	33 76
Février.....	4 20	9 24
Mars.....	12 96	16 41
Pour douze mois.....	128 32	213 02
Moyenne d'un mois.....	10 71	20 23
Moyenne d'un jour.....	0 332	0 666
1 mètre, cube d'eau coulé.....	332 "	666 "
2 ^{me} 84 de l'Isère.....	1000 "	" "
1 ^{me} 201 du Drac.....	" "	1000 "
1 mètre, cube sable et limon non tassé.....	983 kil. "	1380 kil. "
Tasse.....	2222 kil. "	2222 kil. "

Les débits liquides et solides de la Durance



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

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



Les caractéristiques des chroniques de flux de sédiments fins

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

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

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

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

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

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

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



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



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/km²) => **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 où la cohésion, la végétalisation, etc... apparaissent rapidement => **Actions de gestion au plus près de l'événement**

Conclusion : 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 transformation des mesures en données et en métriques,
- la connaissance des effets sur l'écologie (mal connus, parfois antagonistes)
- la connaissance des effets sur les usages (hydroélectricité, AEP, Agriculture)
- la connaissance des réponses du BV à l'échelle pluri-décennale (réponses du BV au Changement Climatique, au Changement Occupation des sols,...)



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

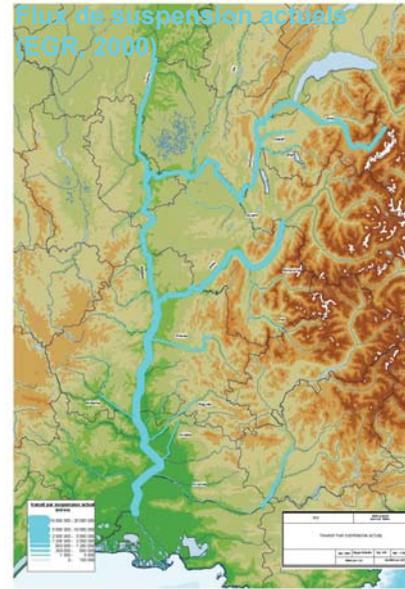
J. Le Coz et M. Coquery

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

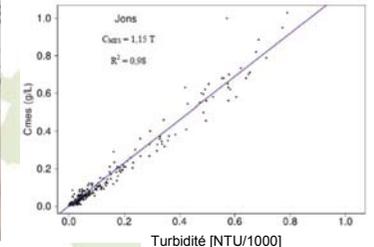
Des techniques de mesure et de prélèvement adaptés à :

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 ●

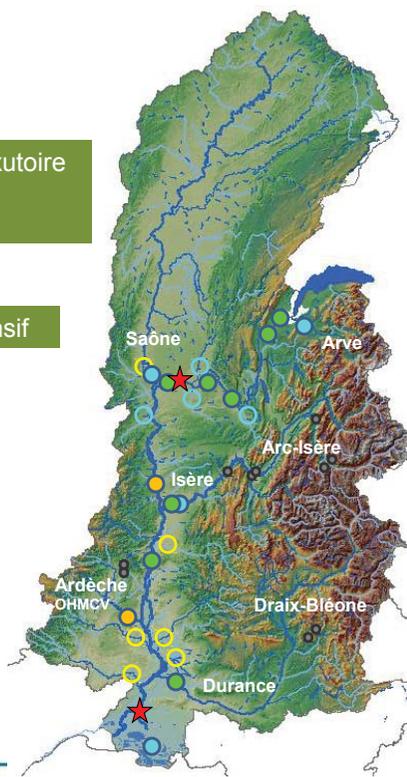
Partenaire ●

Turbidimètres mobiles : ○

Possible turbidimètres fixes : ●

Possible turbidimètres mobiles : ○

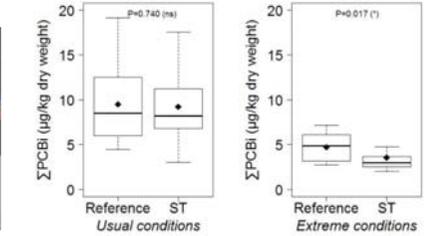
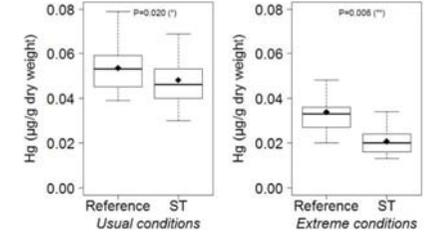
Autres points de mesure : ●



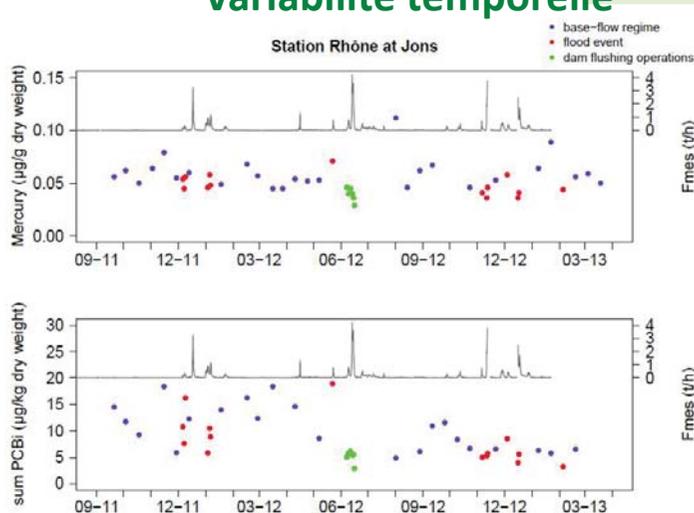
Les teneurs en contaminants dans les MES : méthodes de prélèvement et d'analyse

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

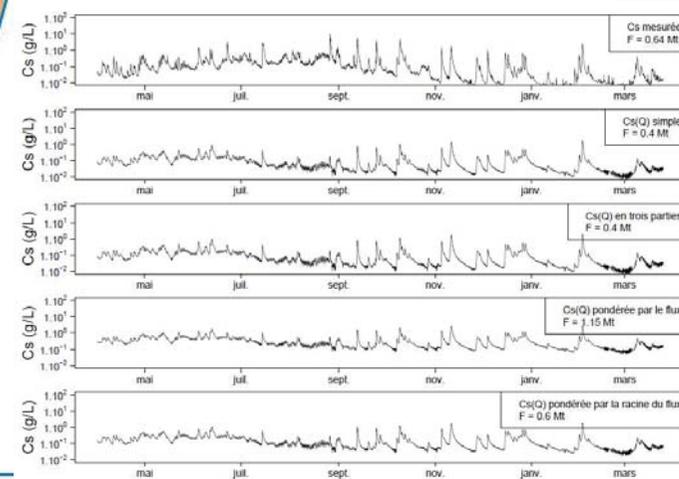


Variabilité des teneurs Hg/PCBi à Jons modérée mais corrélée aux événements et changements de nature des particules → à prendre en compte pour l'établissement des flux

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



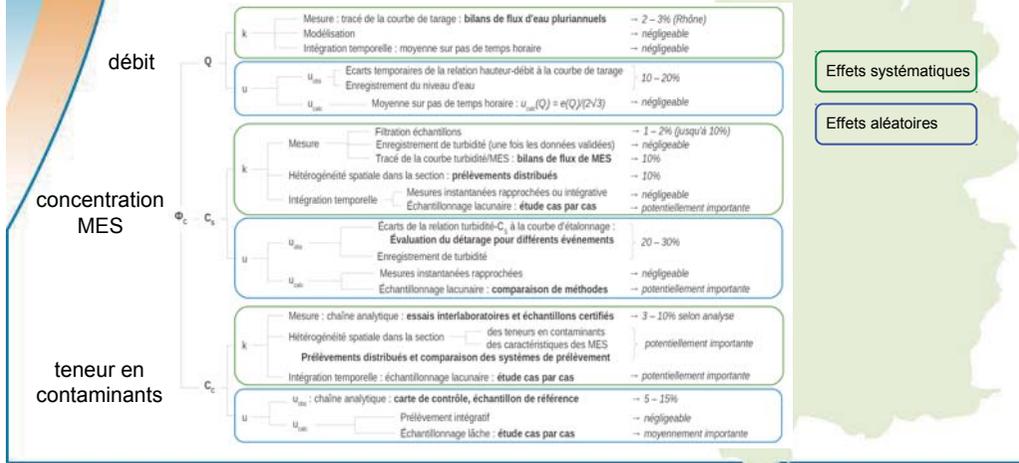
Evaluation de courbes de tarage sédimentaires sur l'Arve à Genève en 2012-2013

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)

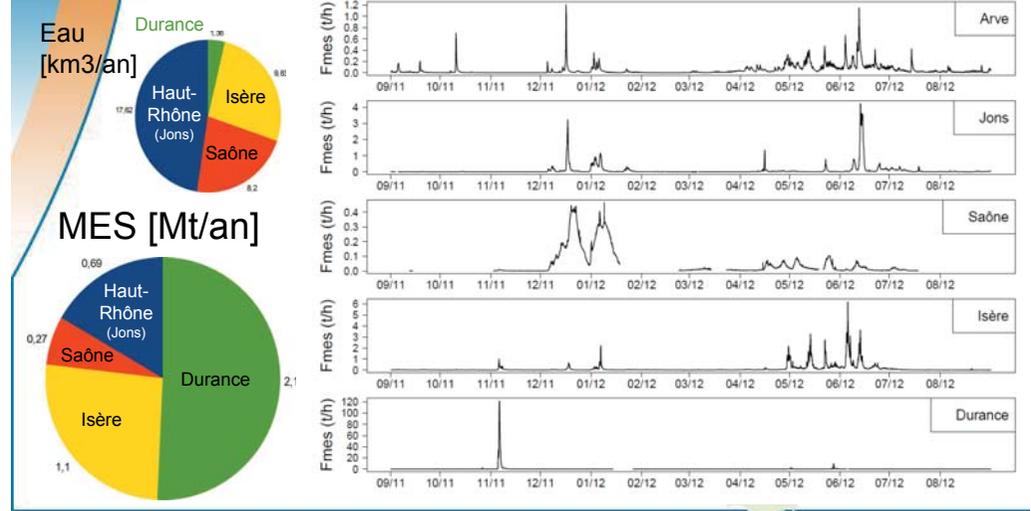
- mise en équation du modèle d'erreur
- identification des sources d'incertitudes
- hiérarchisation et quantification des composantes d'incertitude
- estimation de marges d'incertitude sur les flux mesurés (pas reconstitués)



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

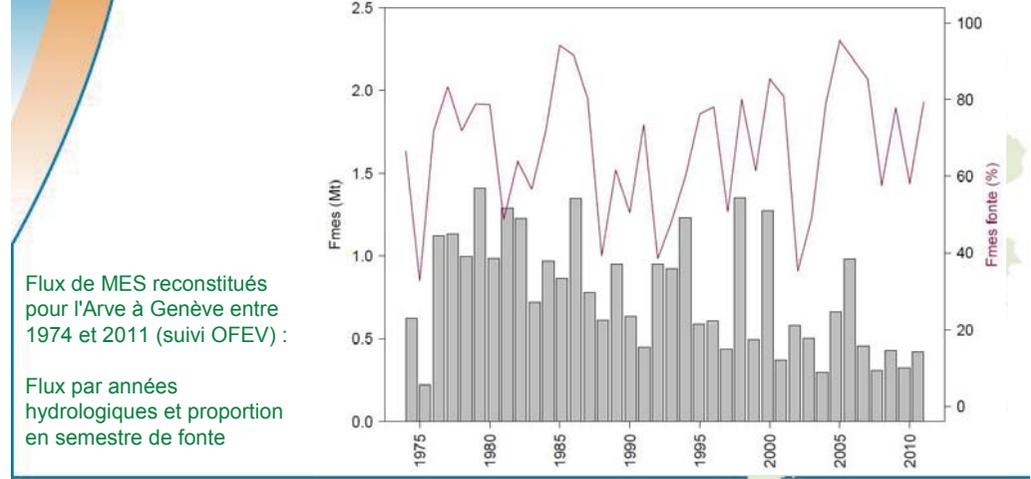
Station	Flux de MES (Mt/an)		Flux de Hg (kg/an)		Flux de PCB _i (kg/an)	
	Arles	Jons	Arles	Jons	Arles	Jons
Année 2011	2,7	0,21	300	13	30	1,4
Année 2012	5,6	0,89	610	47	80	6,2

- importance des apports de MES entre Jons et Arles (facteur 6 à 12)
- différences accrues pour Hg et PCB_i: 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





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
Flux MES mesuré sur année hydrologique 2011-2012 [Mt/an]	0,35	0,69	0,27	1,1	2,1	3,9	4,1	8%
<i>concentration mesurée [g/L]</i>	0,168	0,039	0,033	0,110	1,544	2002-2012		
Flux MES moyen sur les 10 dernières années hydrologiques [Mt/an]	0,49	0,61	0,39	2,3	1,65	4,2	4,9	18%
<i>Min - Max</i>	0,30 - 0,96	0,28 - 1,36	0,30 - 0,52	0,82 - 8,1	0,60 - 3,2	0,98 - 9,1		
<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%		
Flux spécifique [t/an/km²]	248	30	13	400	116	35		
<i>concentration moyenne [g/L]</i>	0,245	0,036	0,030	0,254	1,100	0,100		
<i>concentration mesurée [g/L]</i>	0,248	0,029	0,026	0,254	2,033			
Flux MES moyen long-terme [Mt/an]	0,78	0,80	0,45	2,3	?	6,7	3,6	-47%
<i>Min - Max</i>	0,22 - 1,4	0,25 - 2,0	0,07 - 1,1	0,82 - 8,1		0,98 - 20		
<i>concentration moyenne [g/L]</i>	0,390	0,047	0,035	0,256	0,160	0,159		
Flux EGR min [Mt/an]	1	1,4	1,5	3,5	0,1	6,7	6,5	-2%
<i>concentration moyenne [g/L]</i>	0,500	0,082	0,116	0,389	0,067	0,159		
Flux EGR max [Mt/an]	3,6	4,1	3	3,5	1,8	10	12	23%
<i>concentration moyenne [g/L]</i>	1,600	0,240	0,233	0,389	1,200	0,240		

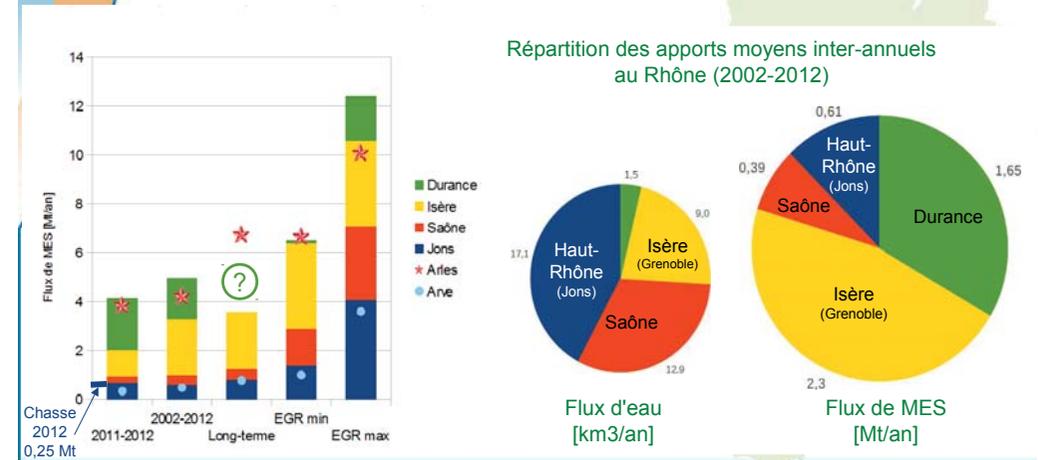
Notes. Pour l'Isère, les flux 10 ans et long-terme sont mesurés à Grenoble-Campus. Pour EGR flux Arles, on a considéré 90 % de Beaucaire. La moyenne 10 ans sur la Durance est établie à partir des années civiles 2002-2003-2008-2009-2011-2012 (données EDF).



Une nouvelle image des flux particuliers moyens inter-annuels

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

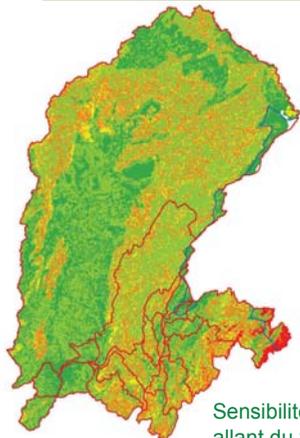
- les flux de MES annoncés par l'EGR apparaissent fortement surestimés
- les teneurs moyennes en contaminants obtenues avec des protocoles d'analyse documentés et sensibles permettent de préciser certaines valeurs pré-existantes



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



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

- 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



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



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

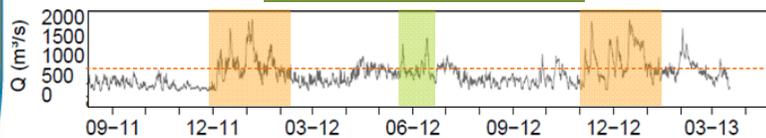
Qu'entend-on par « événements extrêmes » ?

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

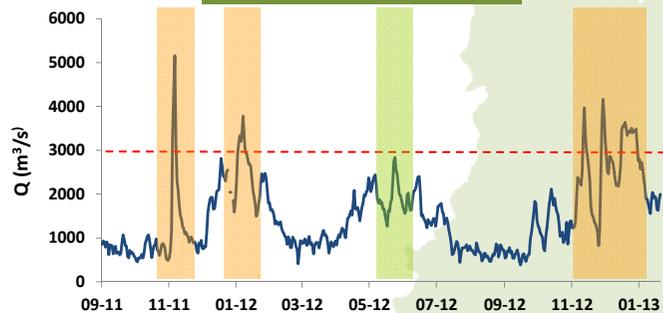
Pourquoi s'y intéresser ?

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

Station du Rhône à Jons



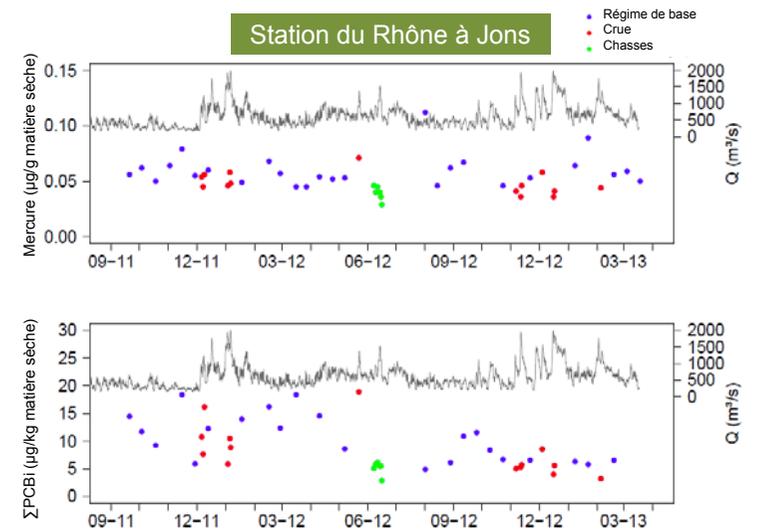
Station du Rhône à Arles

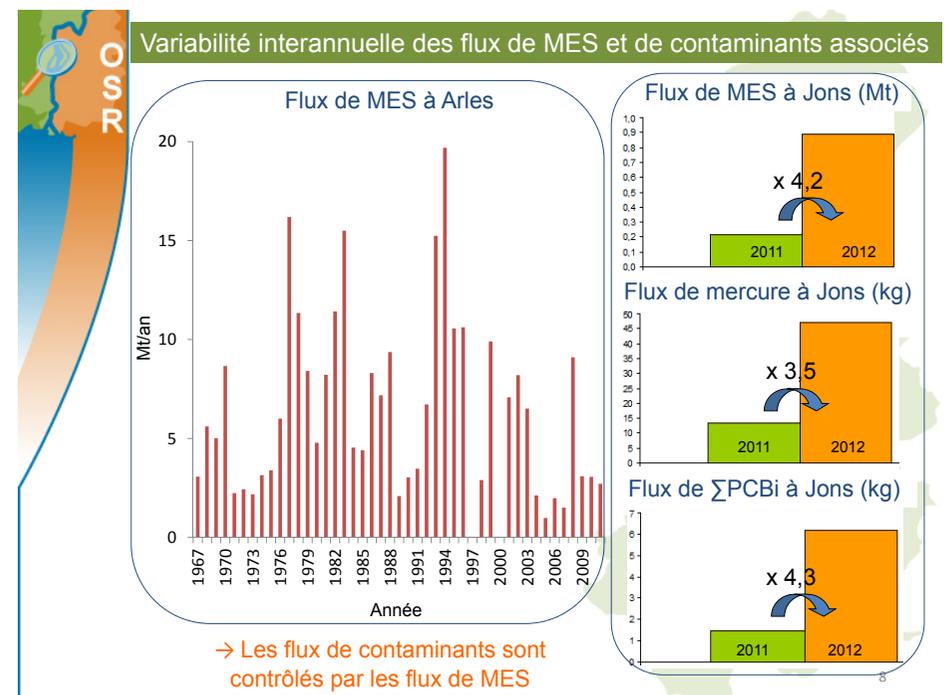
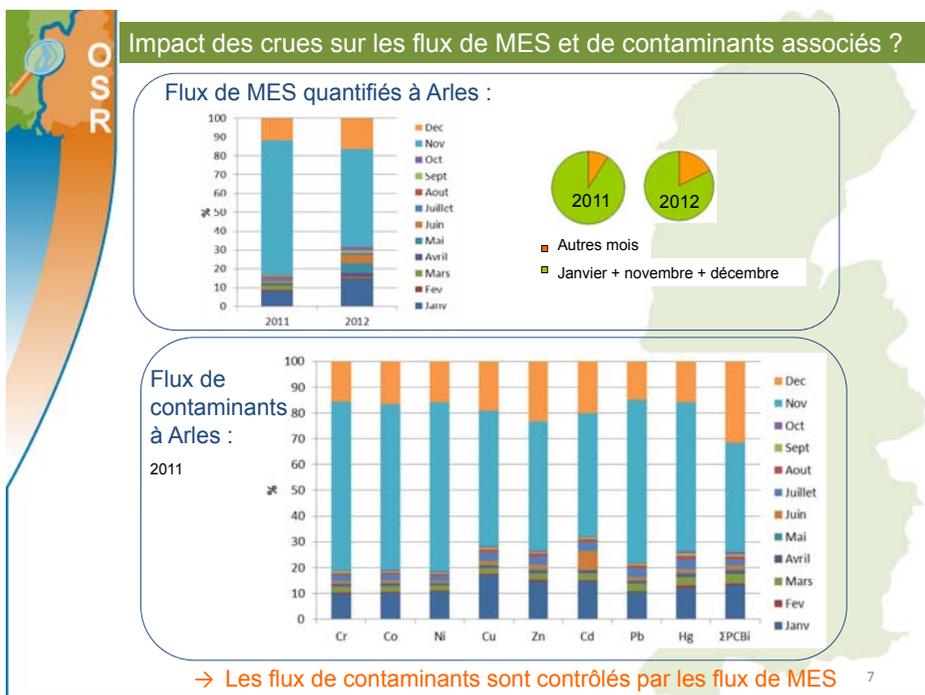
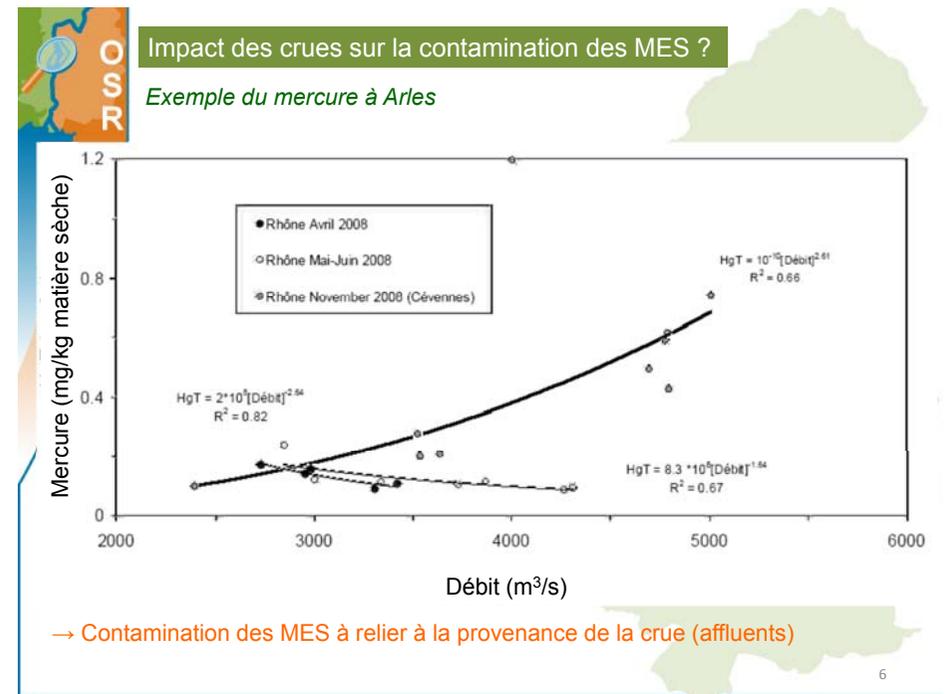
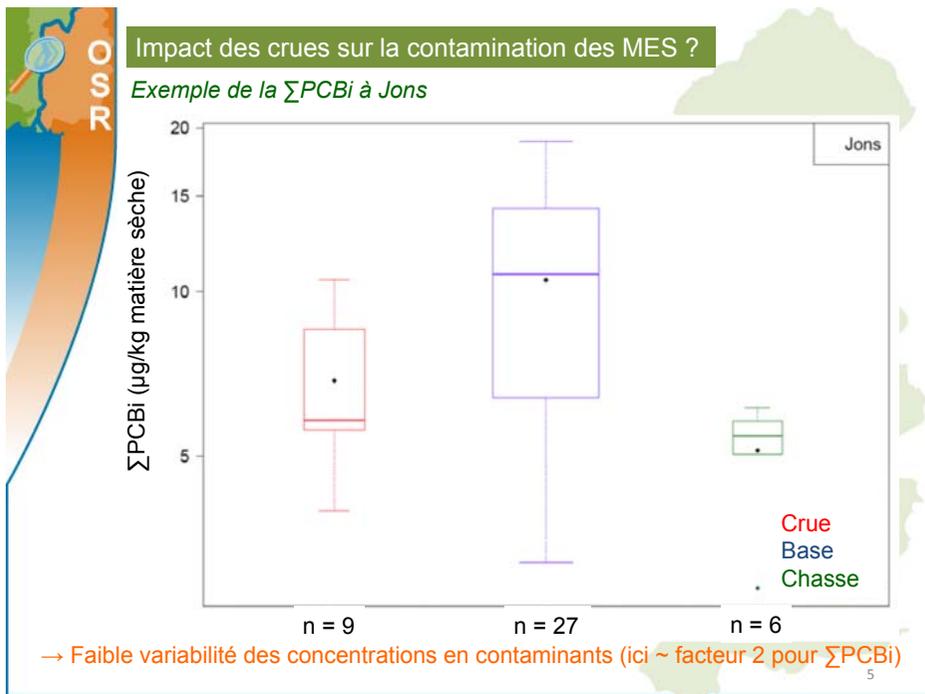


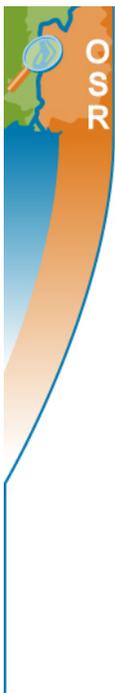
Crue : débit > 800 m³/s à Jons et 3 000 m³/s à Arles
Opérations de chasse sur le Haut-Rhône (juin 2012)

Suivi des crues du Rhône

Station du Rhône à Jons

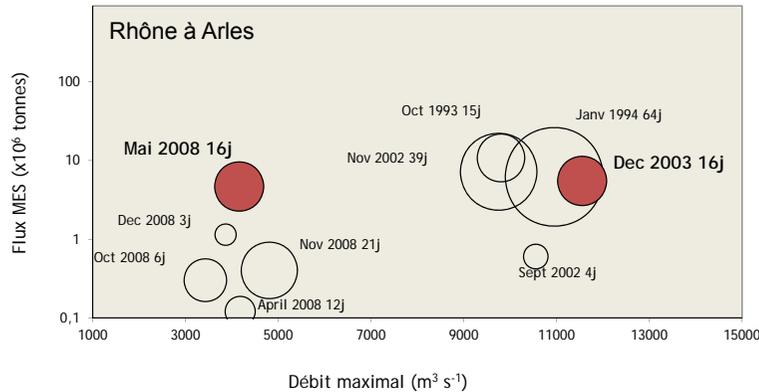




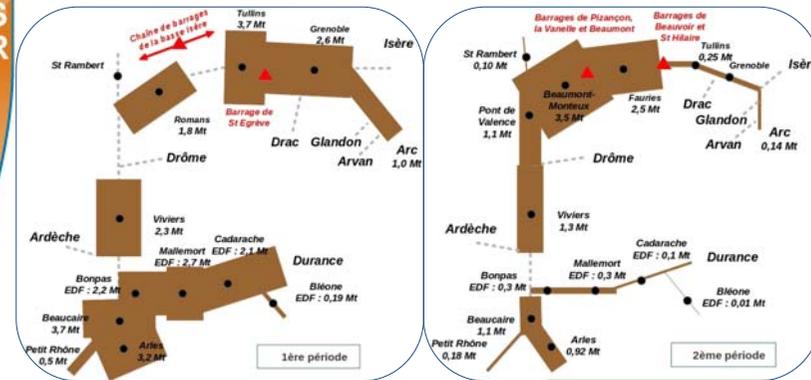


Crue semi-anthropique de mai-juin 2008

Objectif : reconstituer la cinétique de l'évènement à l'échelle régionale



Reconstitution de l'évènement et quantification des flux de MES

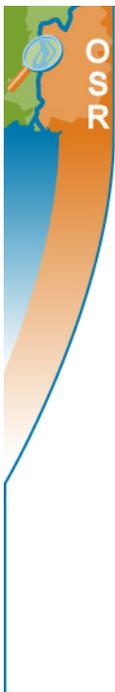
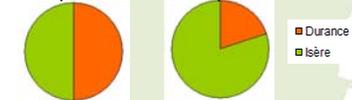


Flux de MES quantifiés à Beaucaire :

1^{ère} période : 3,7.10⁶ tonnes
2^{ème} période : 1,1.10⁶ tonnes

Origine des flux de MES à Arles:

1^{ère} période 2^{ème} période



Evènements particuliers : dragage du Pontet

Objectif : observer l'influence d'une remise en suspension de sédiments fins à l'échelle locale (quelques centaines de mètres)

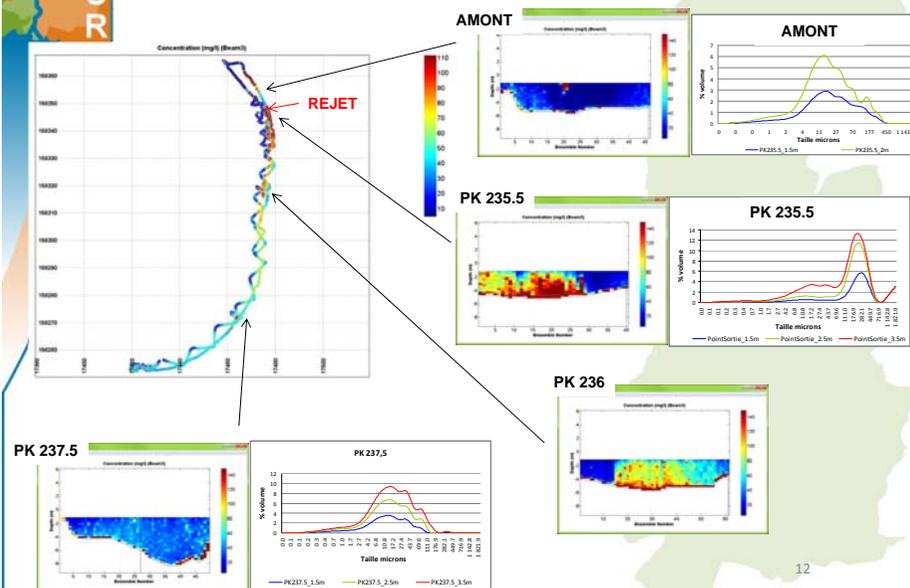


Zone de dragage

- Zone de suivi
- Vitesses,
 - Concentrations en MES
 - Radionucléides
 - Éléments traces
 - Mercure

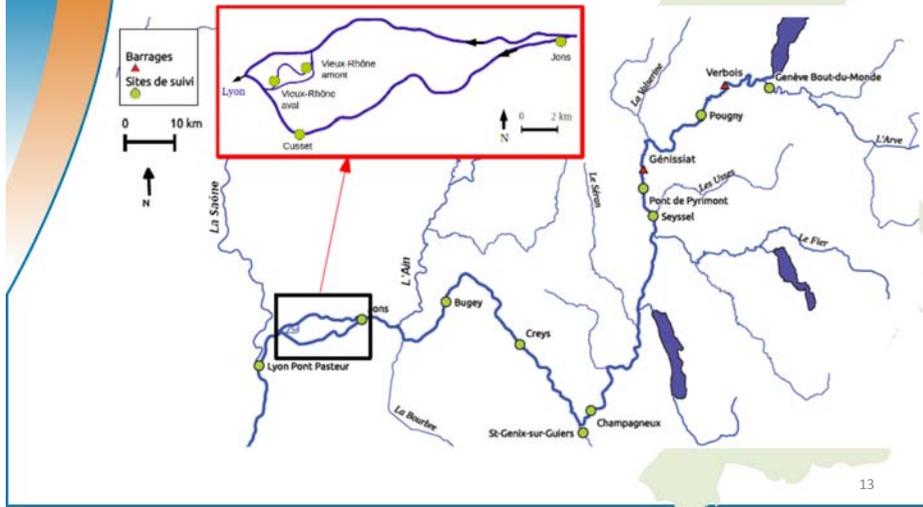


Suivi de l'évolution des concentrations en MES et de la granulométrie



Chasses du Haut-Rhône

Objectif : observer l'influence d'une gestion d'ouvrage sur les flux de MES et de contaminants associés à l'échelle régionale



Impact des opérations de chasse sur la nature de la phase porteuse ?

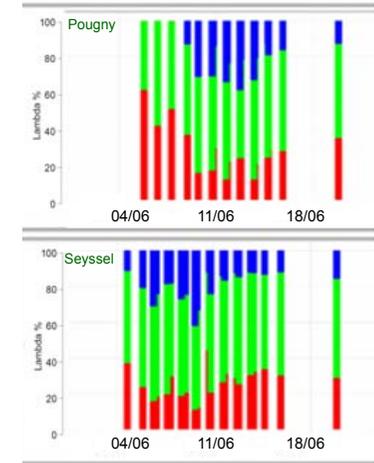
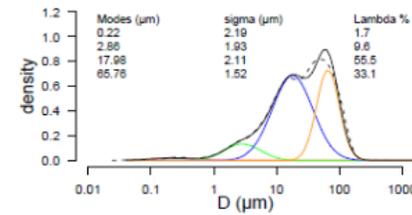
Distribution granulométrique

→ A l'amont, particules plus grossières

4 sous-populations :

- 1) rouge : $1 < d \leq 10 \mu m$
- 2) vert : $10 \mu m < d \leq 27 \mu m$
- 3) bleu : $27 \mu m < d \leq 80 \mu m$
- 4) jaune : $80 \mu m < d \leq 2500 \mu m$

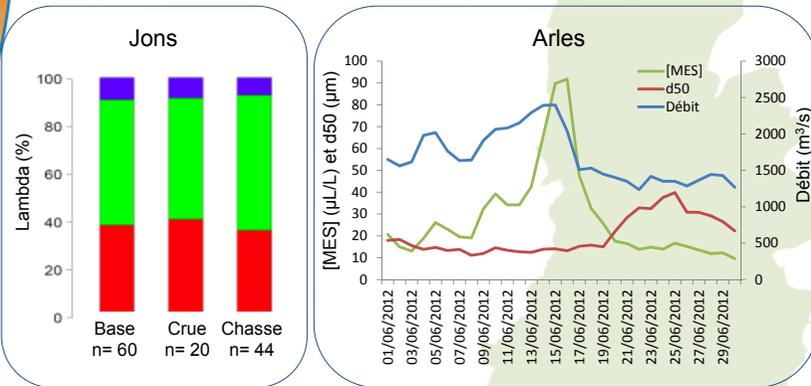
Décomposition :



Impact des opérations de chasse sur la nature de la phase porteuse ?

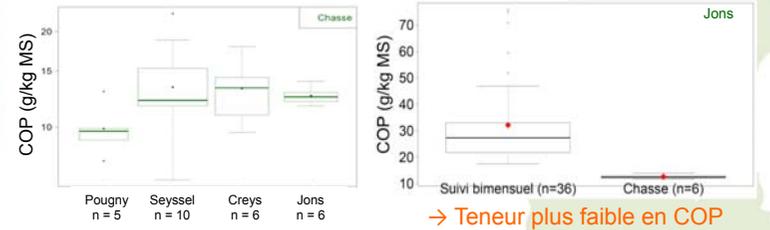
Distribution granulométrique

→ A Jons et Arles, pas d'évolution de la granulométrie pendant les opérations de chasse



Impact des opérations de chasse sur la nature de la phase porteuse ?

Teneur en carbone organique (COP)



Impact des opérations de chasse sur la contamination des MES ?

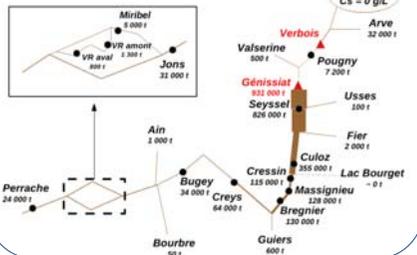
Exemple de la ΣPCBi



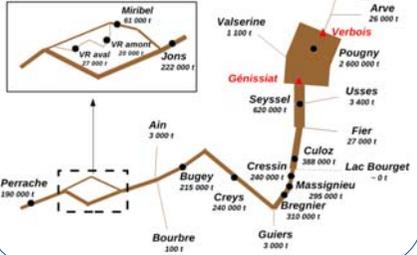
→ Contamination moindre des MES à relier à la nature différente des particules ayant transité

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

Semaine 1 :



Semaine 2 :



Flux de MES quantifiés à Jons :

Semaine 1 : 0,03.10⁶ tonnes

Semaine 2 : 0,22.10⁶ tonnes

Total : 0,25.10⁶ tonnes

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



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



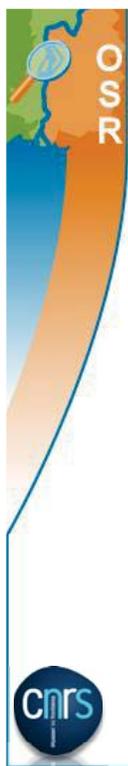
→ Les flux de contaminants sont contrôlés par les flux de MES

17

Conclusions et perspectives :

- Evénements générateurs de flux importants de MES (jusqu'à 80% du flux annuel selon les secteurs / années);
- Ce sont les flux de MES qui pilotent les flux de contaminants organiques particuliers, 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



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

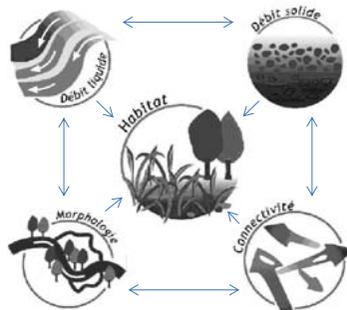
- Volet Qualité, Ressource et Biodiversité du Plan Rhône



- ✓ La **lutte contre les toxiques** dissous et particuliers ;
- ✓ 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^e du module ;
- ✓ **L'amélioration de la gestion des sédiments** à l'échelle du fleuve et sur les Vieux Rhône prioritaires

Améliorer la qualité biologique

- Améliorer la diversité et la qualité des organismes vivants
- Importance d'un bon fonctionnement hydromorphologique pour développer le potentiel biologique.



Améliorer la qualité biologique

- **Actions charge de fond/géométrie chenal** (interventions matin) :
 - Intérêt opérationnel : pouvoir modéliser les transferts de charge grossière et établir des bilans sédimentaires à large échelle notamment pour aider les acteurs dans leur gestion des sédiments grossiers lors des travaux de restauration.
- **Actions liées à la morphologie et sédimentation en lit majeur** :
 - Intérêt opérationnel :
 - 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.*
 - disposer d'éléments permettant d'estimer les polluants potentiellement remobilisés lors des travaux de restauration (intervention ENTPE)

Améliorer la qualité chimique (MES et sédiments)

- **Actions de mesure des flux de matière en suspension et polluants associés**
 - **Contribution des BV affluents à la pollution, origine de la pollution** (intervention Cerege)
 - Intérêt opérationnel : Prioriser les actions contre la pollution par les substances toxiques, rejetées par les entreprises et les collectivités.
 - **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.



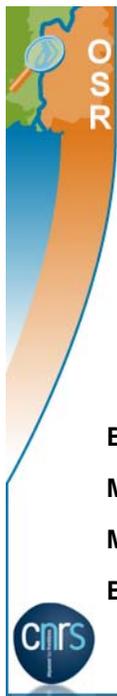
Améliorer la qualité chimique

- **Contribution du fleuve à la Mer : suivi long terme et haute fréquence**
 - Intérêt opérationnel : mesurer pour protéger le milieu marin et le littoral méditerranéen - évaluer la charge de pollution transférée dans l'environnement marin.



Les questions posées à l'OSR

- Quelles quantités de matériaux transitent annuellement dans le Rhône ? Quels sont les affluents participant le plus au transport solide ?
- Quels sont les flux de pollution particulaire à la Mer et en provenance des principaux affluents ?
- Quels sont les niveaux de pollutions des sédiments dans le chenal et sur ses marges ?



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

Le cas des polluants hydrophobes

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



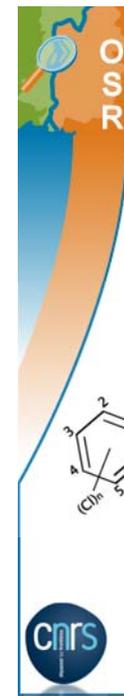
M. Desmet



M. Babut



B. Malher, P. van Metre



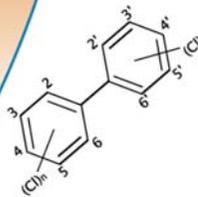
Contexte



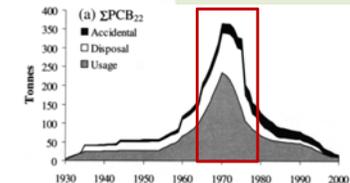
Depuis 2005, le souci de l'exposition humaine aux PCB a pris de l'ampleur (consommation de poisson, qualité de l'eau...)

Principales propriétés physico-chimiques des PCB

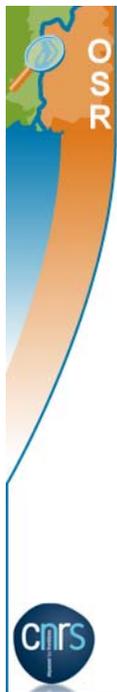
- Faiblement biodégradables
 - Lipophiles (transfert vers les êtres vivants & bioaccumulation)
 - Peu volatils
 - Hydrophobes
- Adorption sur les particules



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

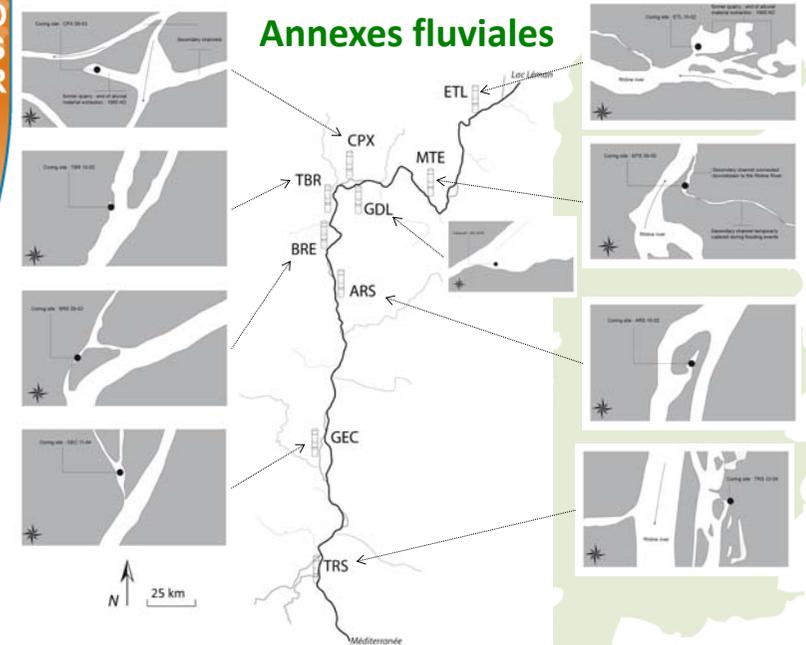
Caractériser (datation, granularité, polluants...) les stocks sédimentaires du lit majeur et établir une typologie des remplissages.

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

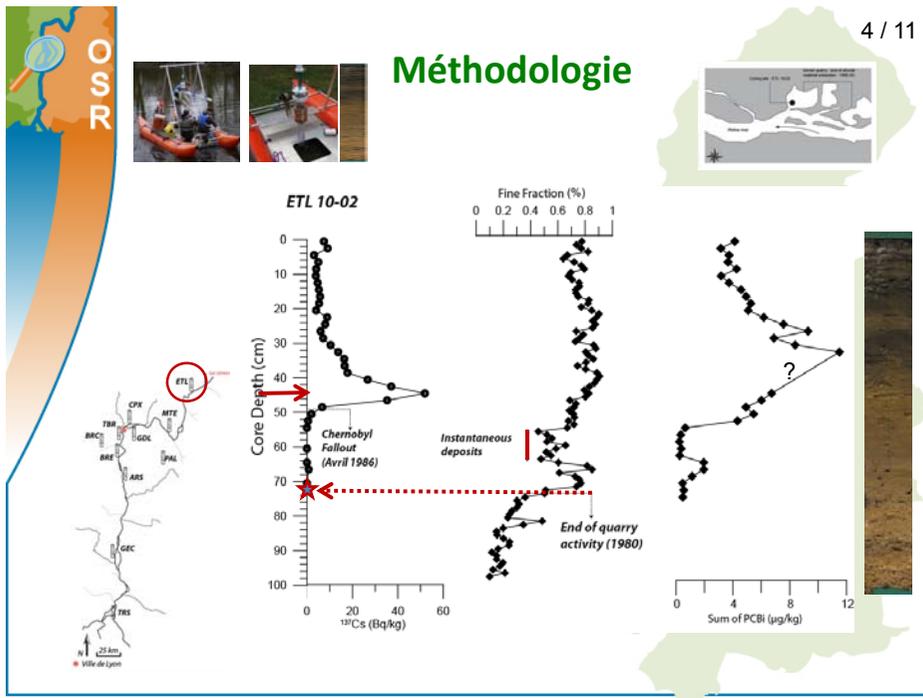
Donner des éléments utiles pour les opérations de gestion sur les stocks



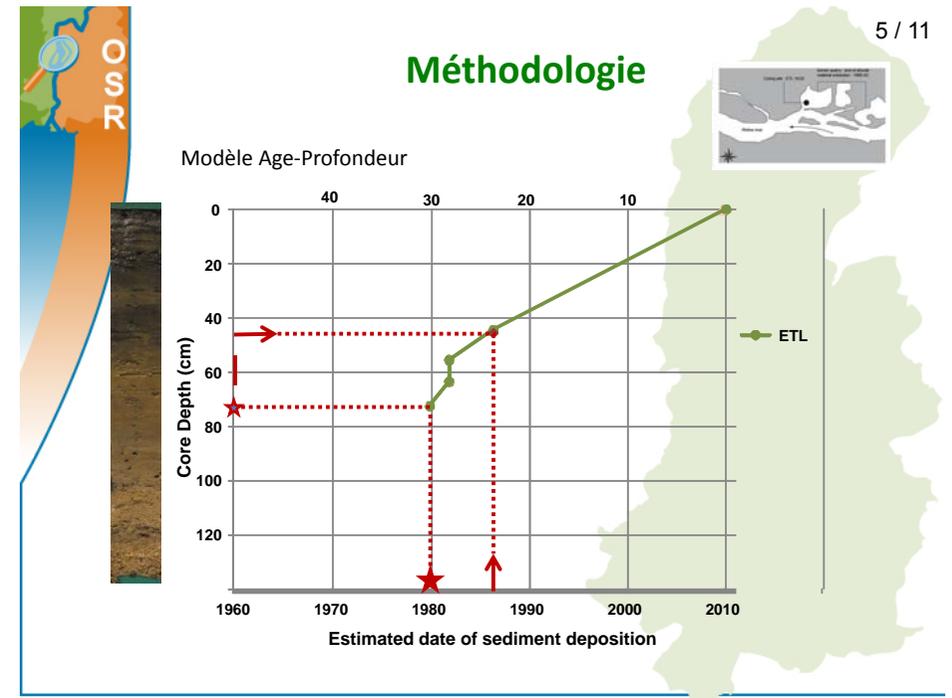
Annexes fluviales



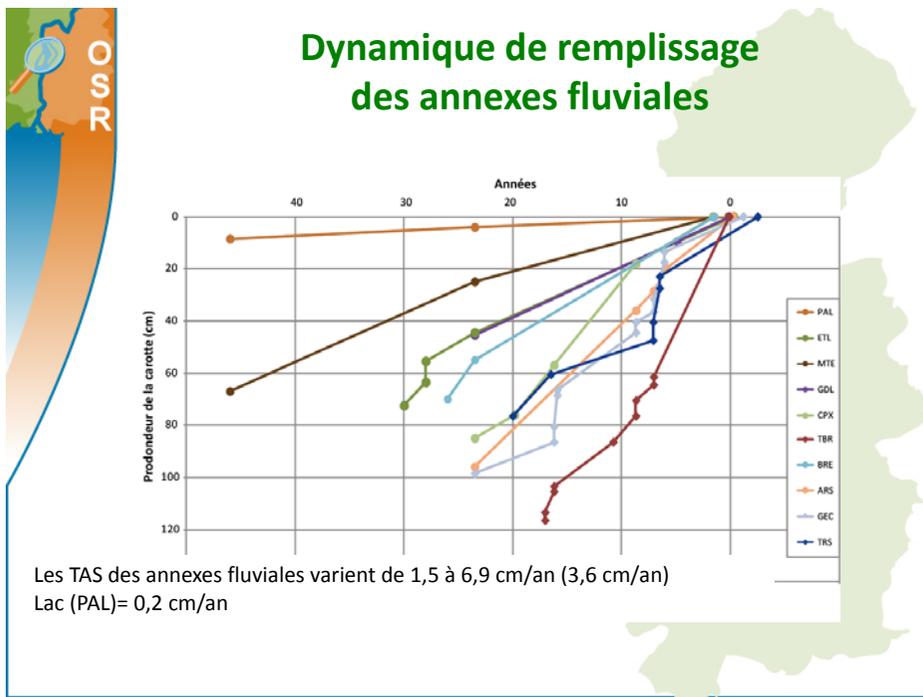
Méthodologie



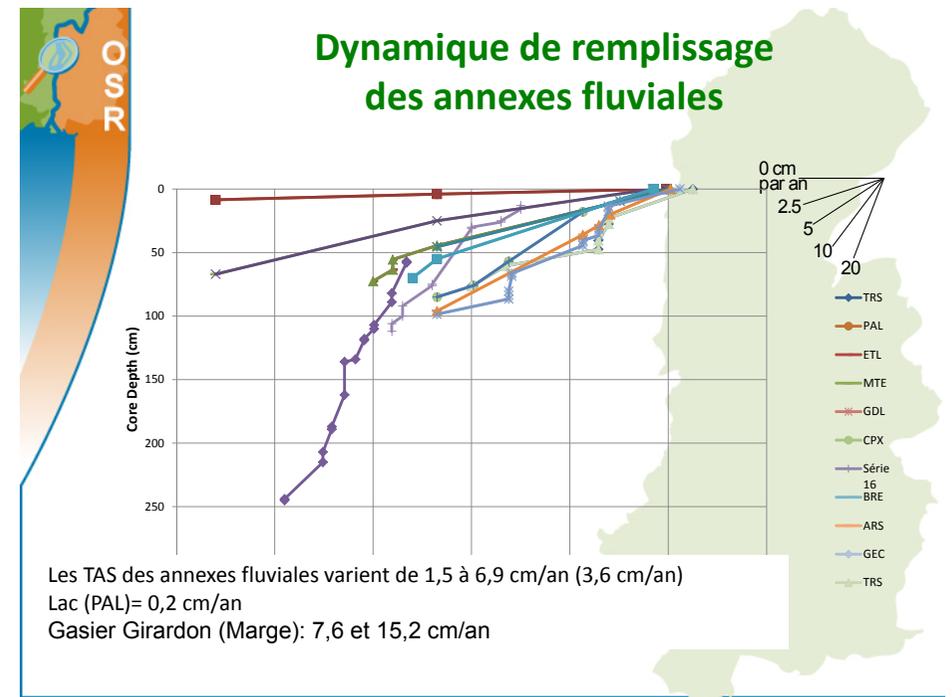
Méthodologie

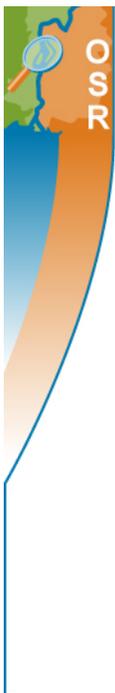


Dynamique de remplissage des annexes fluviales



Dynamique de remplissage des annexes fluviales





Bilan sur la sédimentation en lit majeur: le cas des annexes fluviales

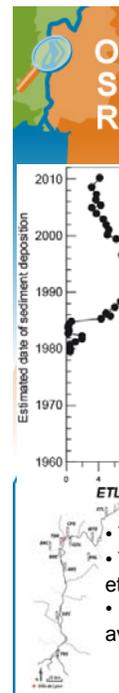
Les zones de remplissage peu perturbées, à sédimentation lente et continue, qui agissent comme des décanteurs.

Les zones de remplissages en connexion indirecte avec le chenal actif et avec un signal granulométrique fortement contrasté.

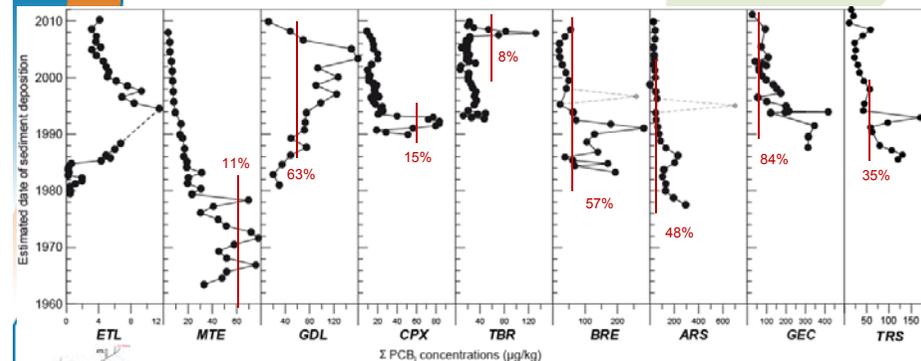
Enregistrement en continu optimal

l'influence des dynamiques hydro-sédimentaires sur le transport et la remobilisation des polluants.

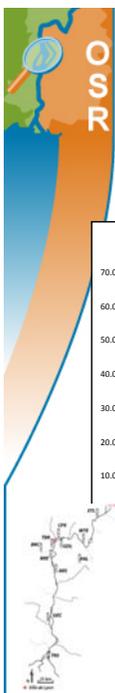
les taux d'accumulation sédimentaire calculés à partir des 9 carottes fournissent des indications chiffrées de la dynamique de remplissage de ces annexes fluviales.



Profils de concentration en PCB

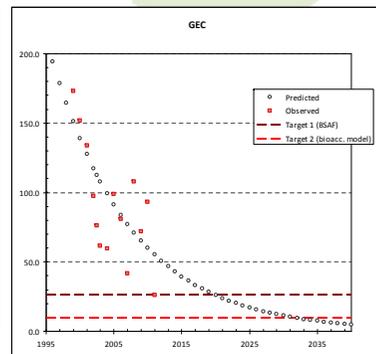
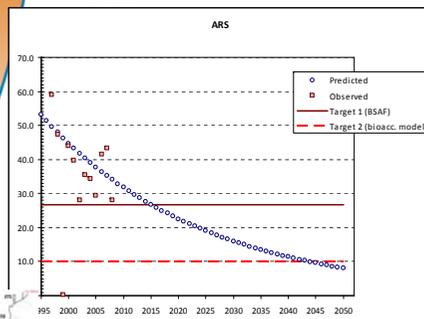


- Variabilité des teneurs en PCB intra- et inter-sites
- Tendence générale de diminution par rapport aux années 70 (production max. et utilisation et interdiction (systèmes ouverts 1986) avec l'existence d'émission récentes (GDL, TBR)
- Les teneurs dépassant le seuil de recommandation à 60µg/kg sont plus importantes en aval



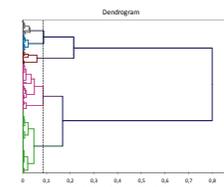
Implication pour les poissons

Trend models – prediction of the delay to reach a sediment benchmark at ARS.

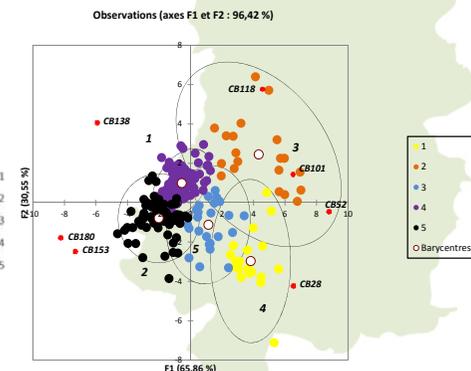
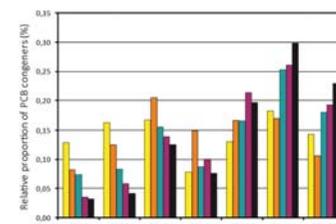


Analyse multivariée des congénères

Méthode CAH sur les congénères



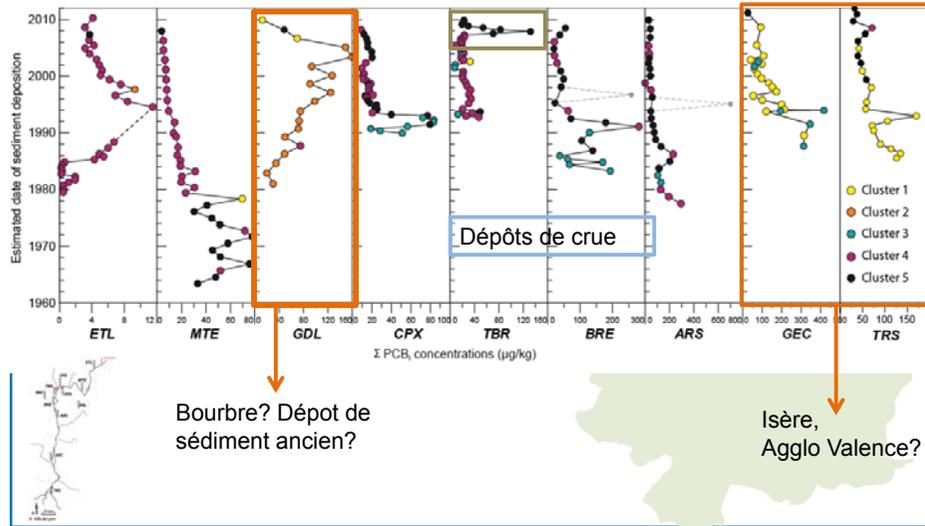
Composition des clusters



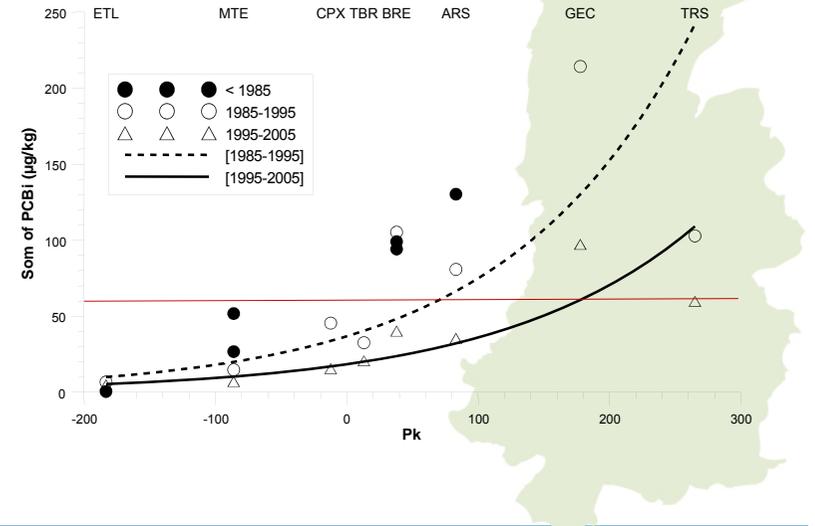


Composition des congénères un traceur de source?

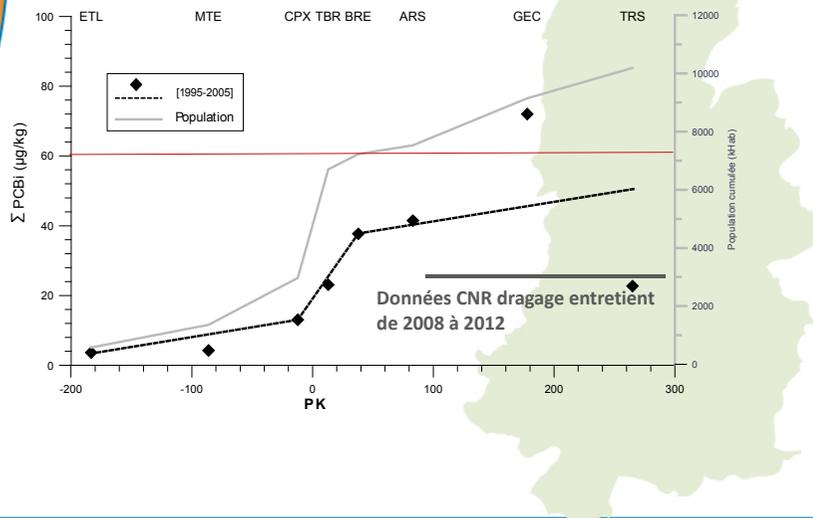
Source Ponctuelle



Tendances spatiales à l'échelle du corridor Avant 2005

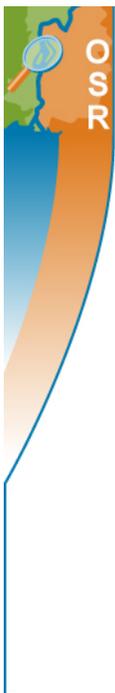


Tendances spatiales à l'échelle du corridor Après 2005



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 pollution anciennes
Stabilisation des teneurs actuellement
- Zones sources toujours actives (agglomération lyonnaise et en aval)
- Atténuation importante entre 1990 et 2005 (effet régulation), plus lente sur le récent
- Éléments pour la gestion des stocks pollués

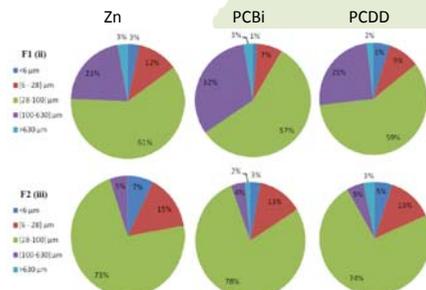


Actuellement...

Mieux caractériser l'Aval → carotte à terre longue

Mesure d'autres polluants sur la collection
 → PCDD/F
 → Paraben, hormones...
 (collab Sébastien Sauvé)
 → Métaux

Fractionnement des polluants



Délibrables Toxicité et Mobilité



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

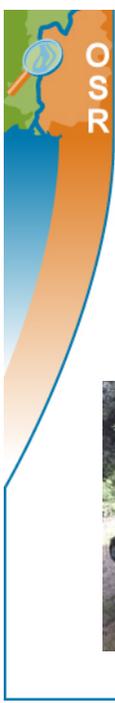
OBSERVATOIRE DES SÉDIMENTS DU RHÔNE
 CONVENTION CNRS N°2010-1078
 ACTION 4

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

Délibrable :
 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 (LEINA)
 Juin 2022 (LEINA - CNRS-ENTPE) - Juin 11
 Ecole INRAE de Bordeaux sur les Ecovallées
 2, Rue Maurice Audin
 33133 Villenave-d'Ornon, France.

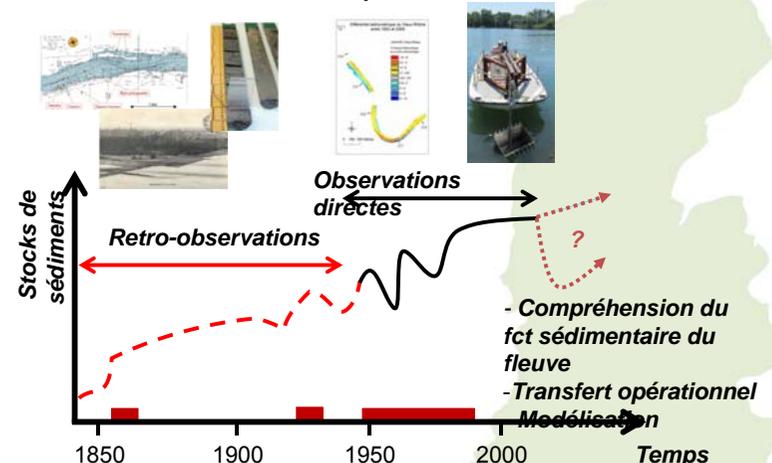
Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat (ENTPE)
 Laboratoire d'Ecologie des Hydrosystèmes Naturels et Anthropisés (LEINA)
 Juin 2022 (LEINA - CNRS-ENTPE) - Juin 11
 Ecole INRAE de Bordeaux sur les Ecovallées
 2, Rue Maurice Audin
 33133 Villenave-d'Ornon, France.



Merci



→ Echelle d'intervention temporelle



Changement dans l'occupation et l'aménagement du fleuve

- épis et des digues construites 1860 et 1930
- barrages entre 1948 et 1986

Méthodologie

Exemple du site de Mas des Tours

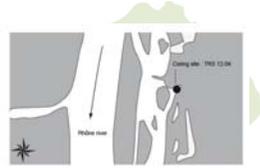
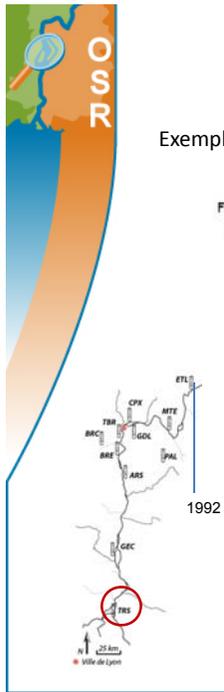
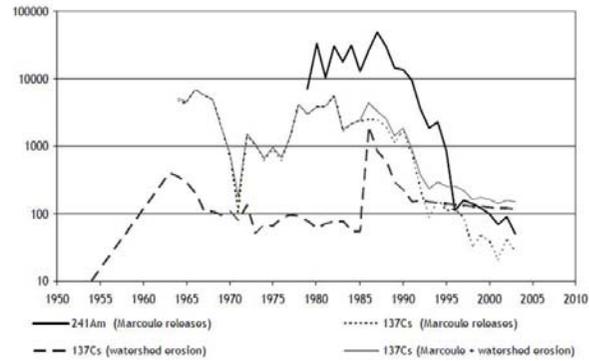


Figure 5 : Comparaison des apports en ^{137}Cs par érosion du bassin versant (watershed erosion) et par les rejets liquides de l'usine de Marcoule (Marcoule releases) en MBq. an^{-1} de 1954 à nos jours (Eyrolle et al., 2006 ; Provansal et al., 2009)



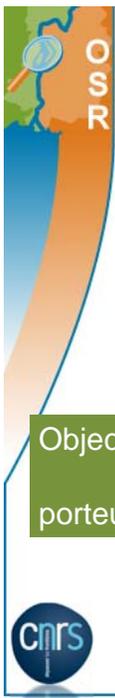
Cadrage et objectifs

Depuis 2005, le souci de l'exposition humaine aux PCBs (consommation de poisson, qualité de l'eau...) a pris de l'ampleur. La qualité chimique des sédiments stockés représente donc une préoccupation importante pour les pouvoirs publics et un indicateur important de la qualité de l'eau.

- Peu de chroniques en continu à l'échelle pluridécennale (20 à 50 ans)
- Représentation dans l'espace et le temps des stocks de sédiments pollués
- Temps de réponse des hydrosystèmes aux changements de régulation en matière de contaminants



→ Mise en place d'une méthodologie à l'échelle du fleuve pour la caractérisation (forme, âge, niveau de pollution) des stocks de sédiments observés dans les différents compartiments du lit majeur.
 → Eléments pour la gestion des stocks sédimentaires pollués (restauration, dragage, chasse...)

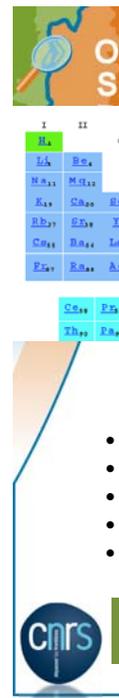


Dynamique spatiale des contaminants métalliques sur le Rhône

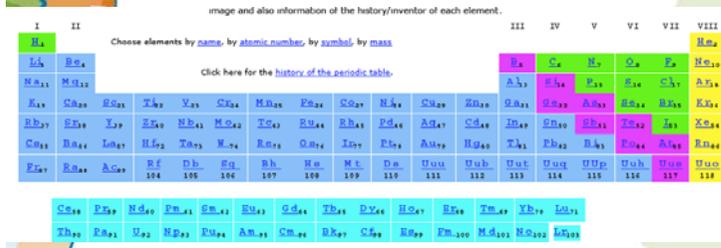
Radakovitch O., Eyrolle-Boyer F.

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 porteuses - caractériser les sources et les phases 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

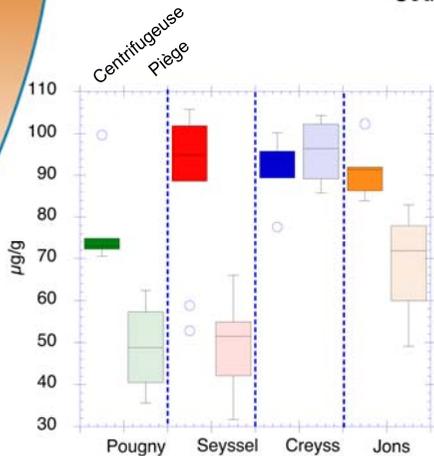
- Listés par la DCE 2008 : Ni, Pb, Cd et Hg
- Apports anthropiques globaux: Cu, Zn
- Contaminations plus spécifique: As, Sb, Cr, Co
- Connaissances relativement faibles : Ag, Sn, Terres rares (Nd, Dy, Gd, ...)
- Radioisotopes artificiels et naturels: ¹³⁷Cs, ^{239,240}Pu, ²³⁸U, ²³⁵U, ²³²Th...

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



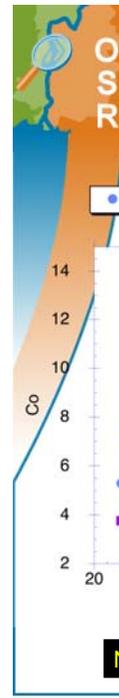
Les matrices étudiées à l'OSR

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



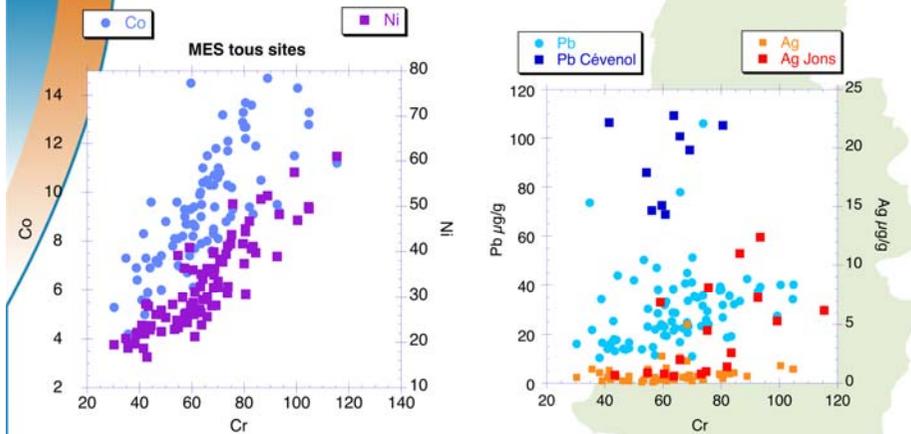
Teneurs en Zn durant les chasses 2012

La comparaison de ces matrices requiert des précautions de normalisation.



Teneurs naturelles vs anthropiques

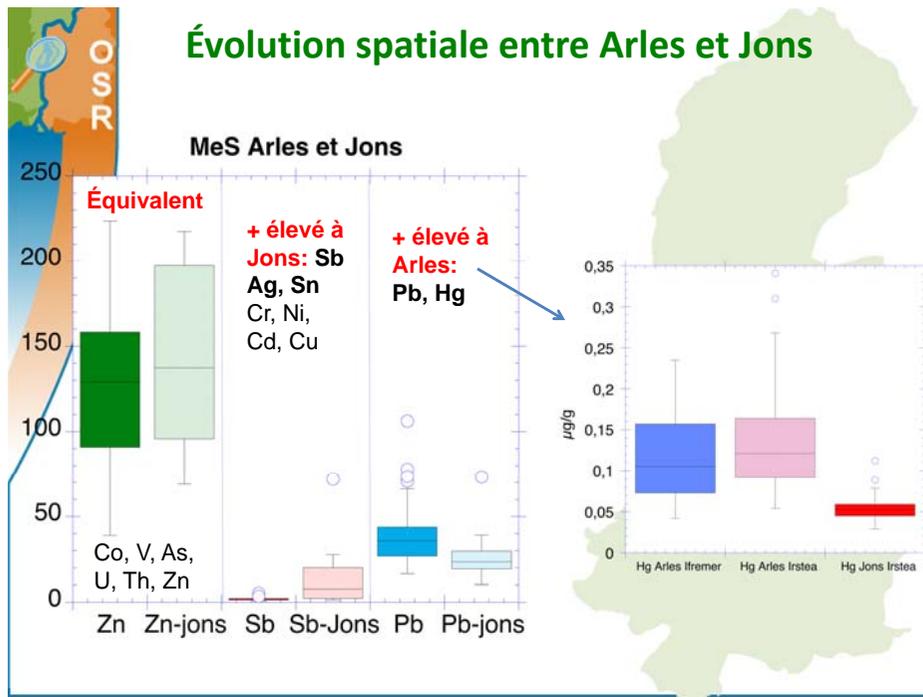
La possibilité de distinguer entre teneurs naturelles ou liées à des apports anthropiques à une échelle globale peut se faire sur la base des relations entre métaux, mais l'évaluation des fonds géochimiques de chaque affluent offrira une meilleure précision.



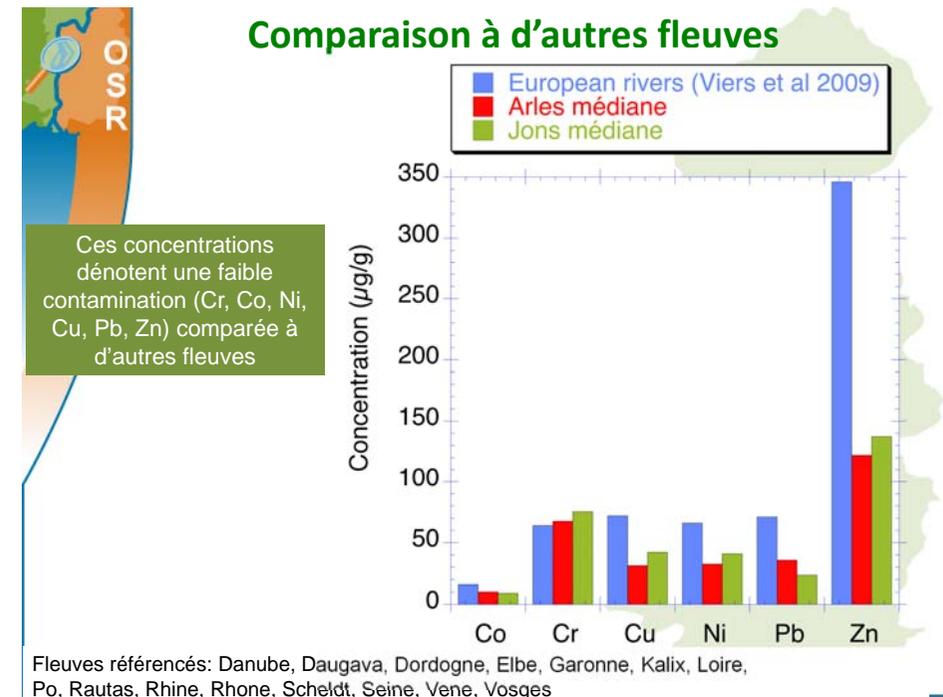
Naturels: Cr, Co, Ni, V

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

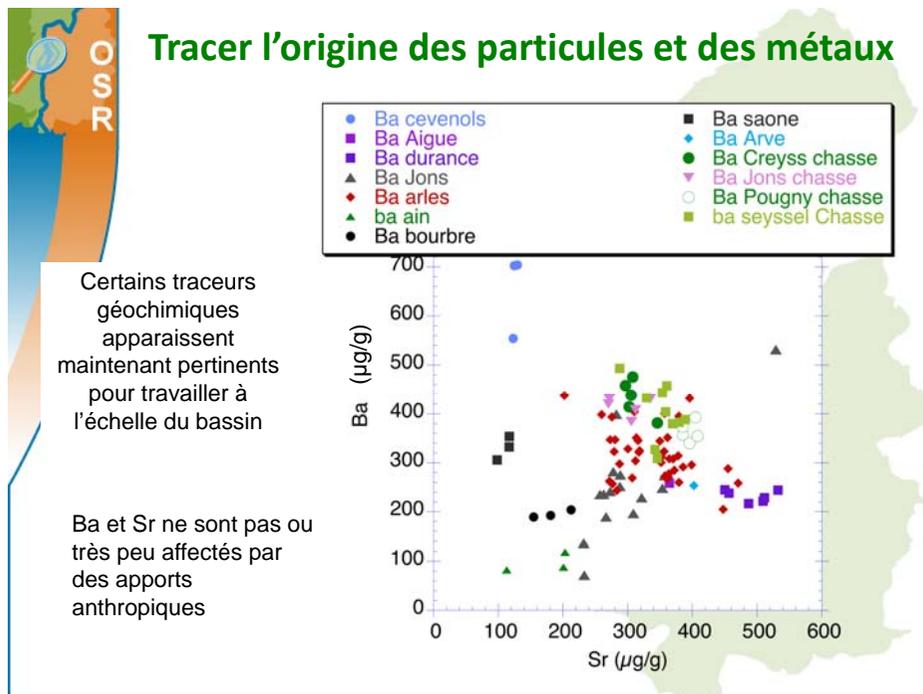
Évolution spatiale entre Arles et Jons



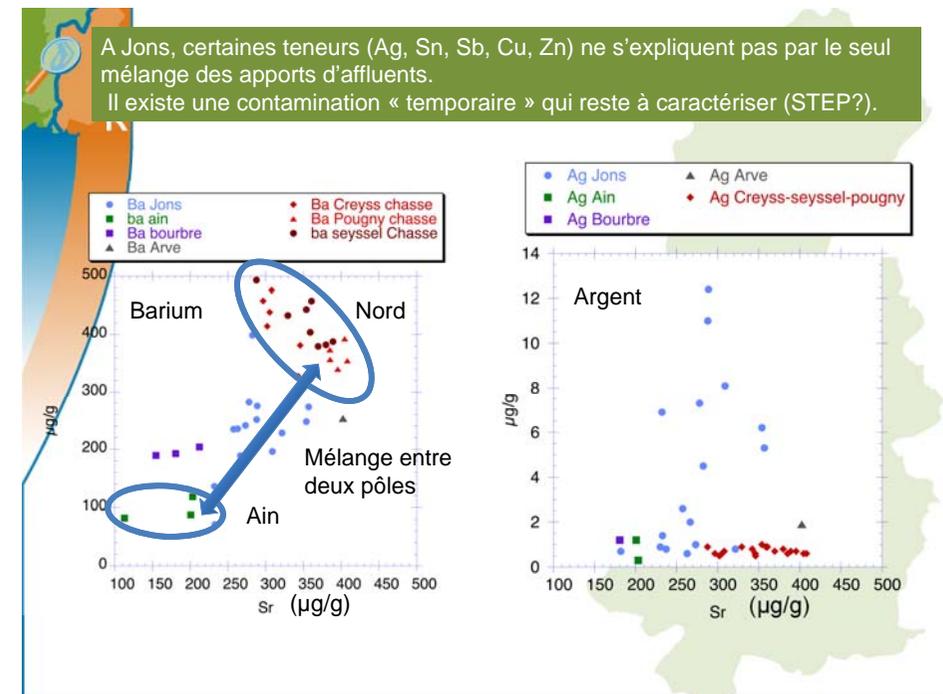
Comparaison à d'autres fleuves

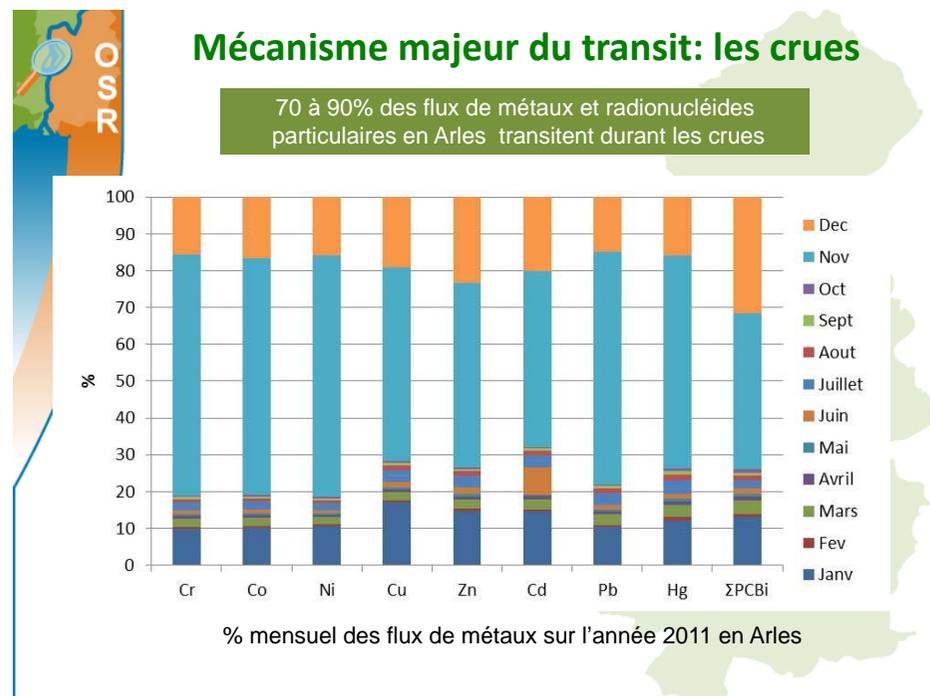
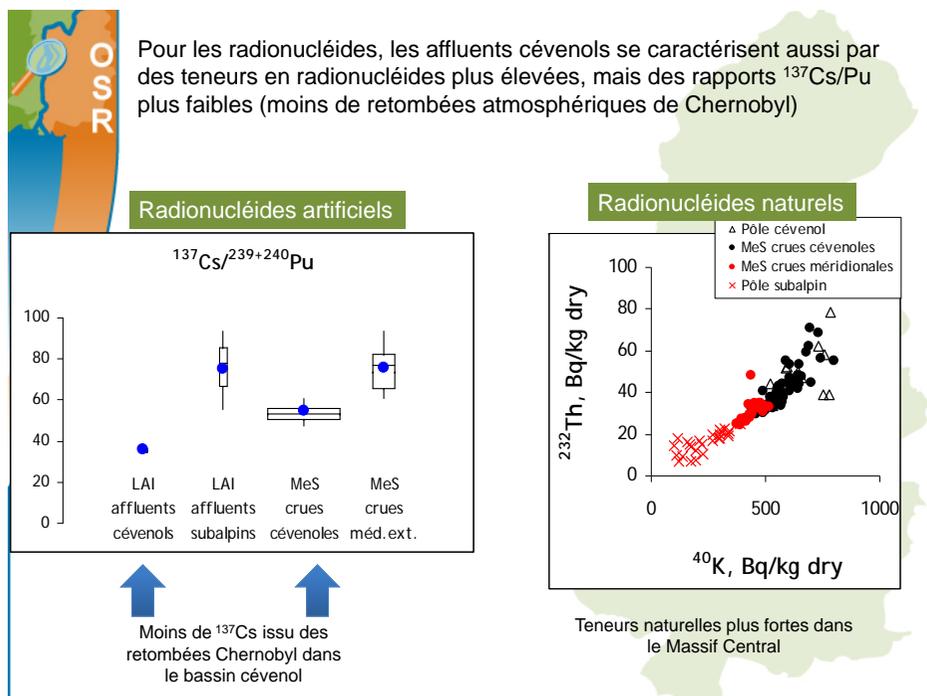
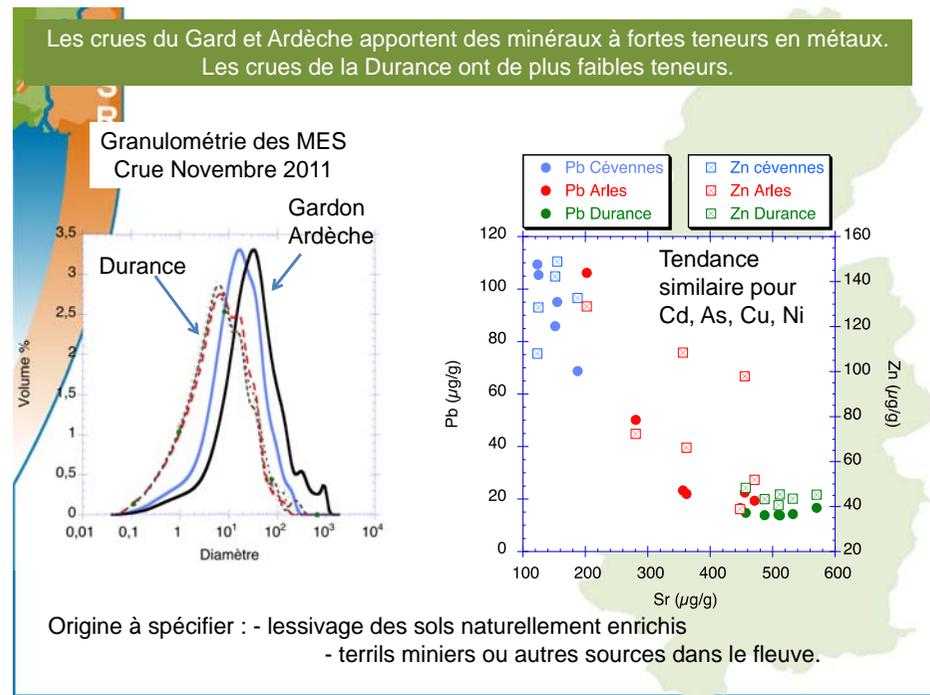
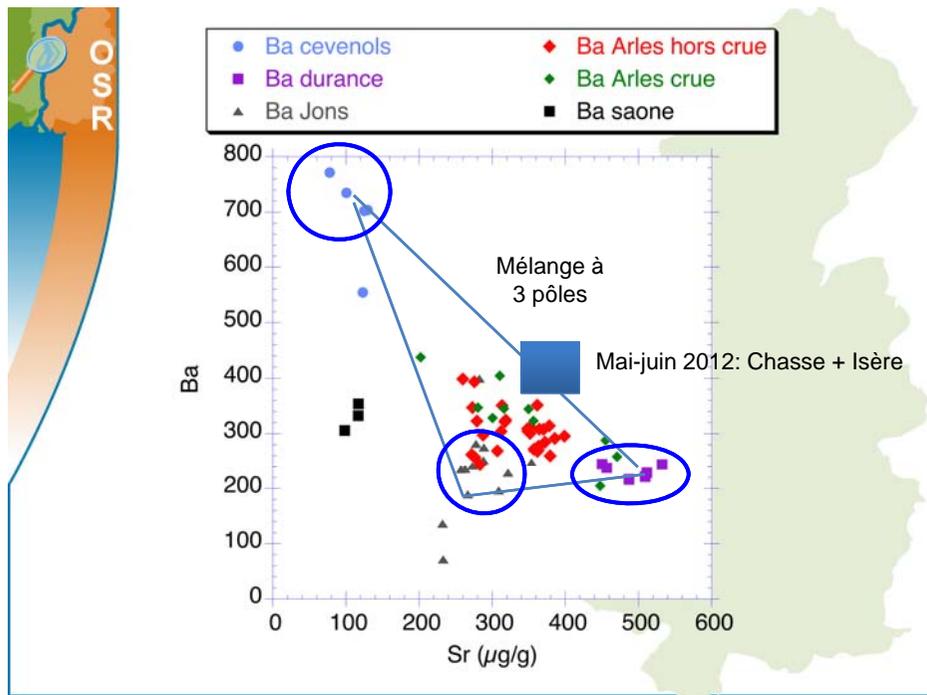


Tracer l'origine des particules et des métaux



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?).

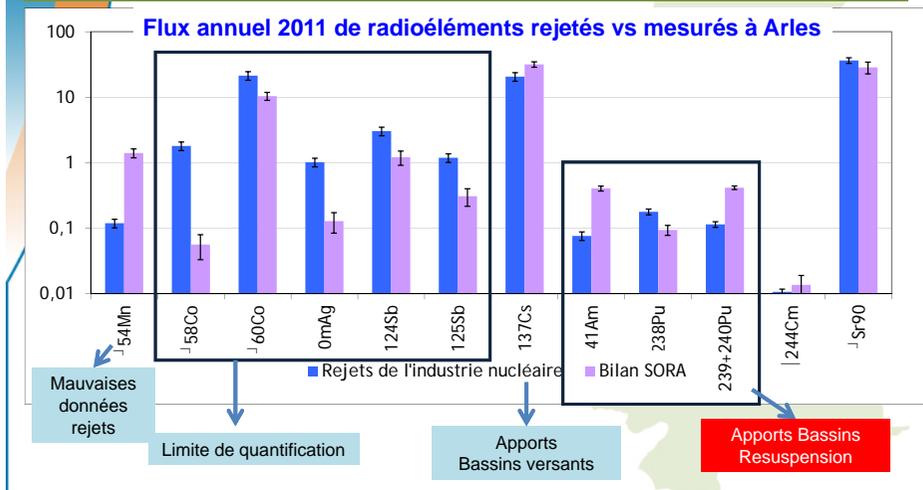




Bilan radionucléides artificiels

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

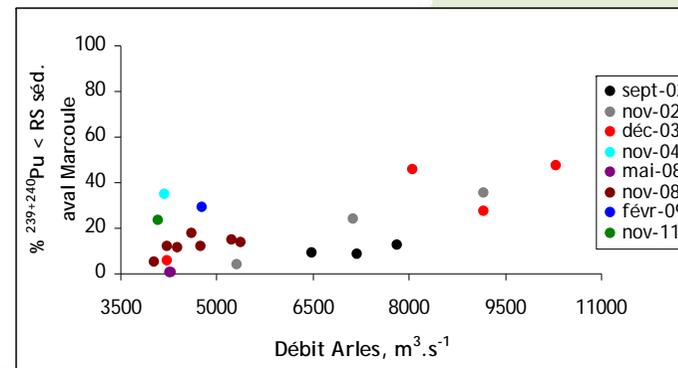
Les différentes valeurs du rapport du Plutonium permettent d'évaluer en Arles la part de sédiment issu de resuspension entre Arles et Marcoule. Cette remobilisation varie en général autour de 10-20%.

$${}^{239+240}\text{Pu}_{\text{sed}} = \frac{\text{Pu}_{\text{ARsample}} - \text{Pu}_{\text{ARcatchment}}}{\text{Pu}_{\text{Marseille}} - \text{Pu}_{\text{ARcatchment}}} \times 100$$

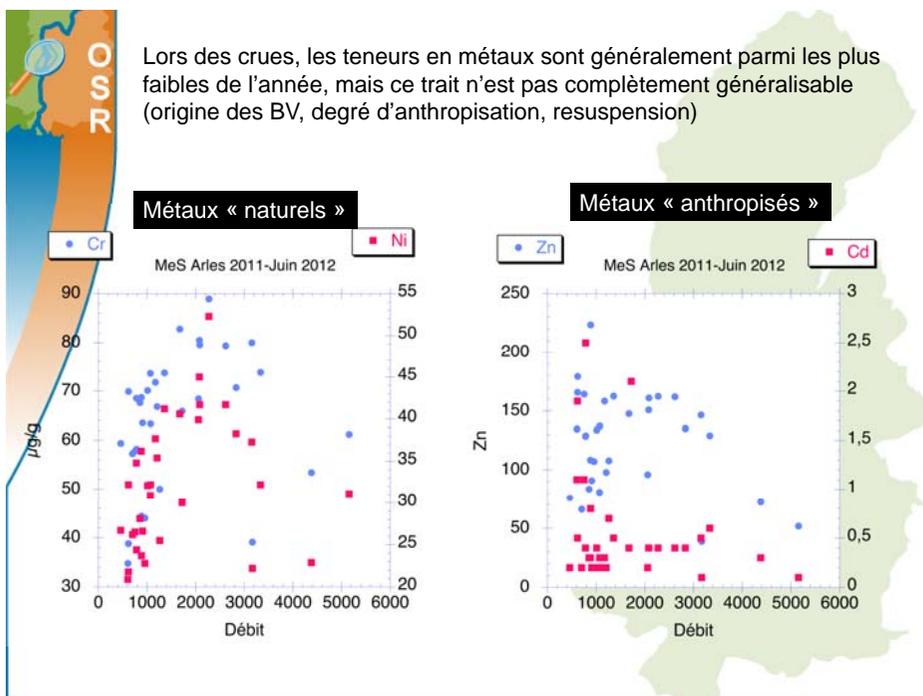
$$\frac{{}^{238}\text{Pu}_{\text{MES}}}{{}^{239+240}\text{Pu}_{\text{MES}}} = \frac{{}^{238}\text{Pu}_{\text{Marseille}} + {}^{238}\text{Pu}_{\text{BV}}}{{}^{239+240}\text{Pu}_{\text{Marseille}} + {}^{239+240}\text{Pu}_{\text{BV}}}$$

0,3 0,03

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

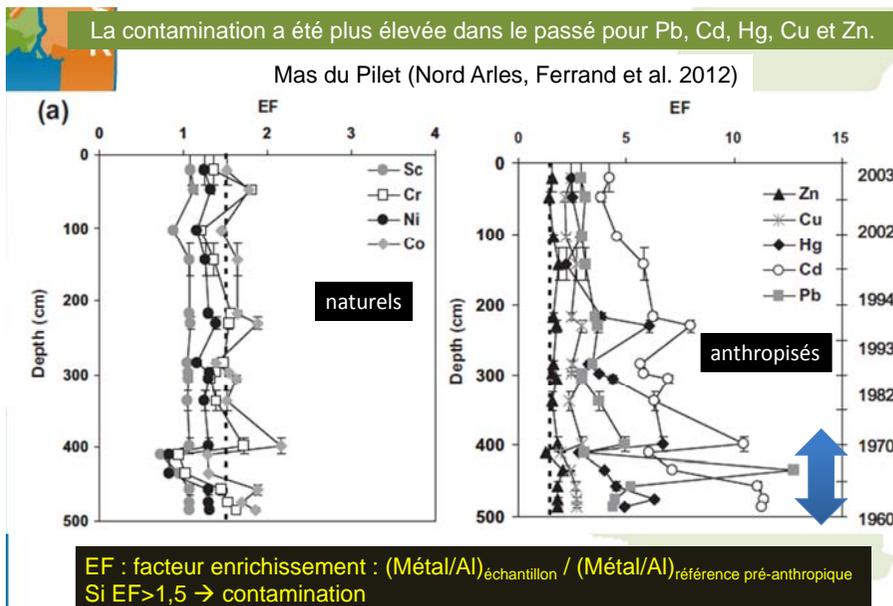


Lors des crues, les teneurs en métaux sont généralement parmi les plus faibles de l'année, mais ce trait n'est pas complètement généralisable (origine des BV, degré d'anthropisation, resuspension)

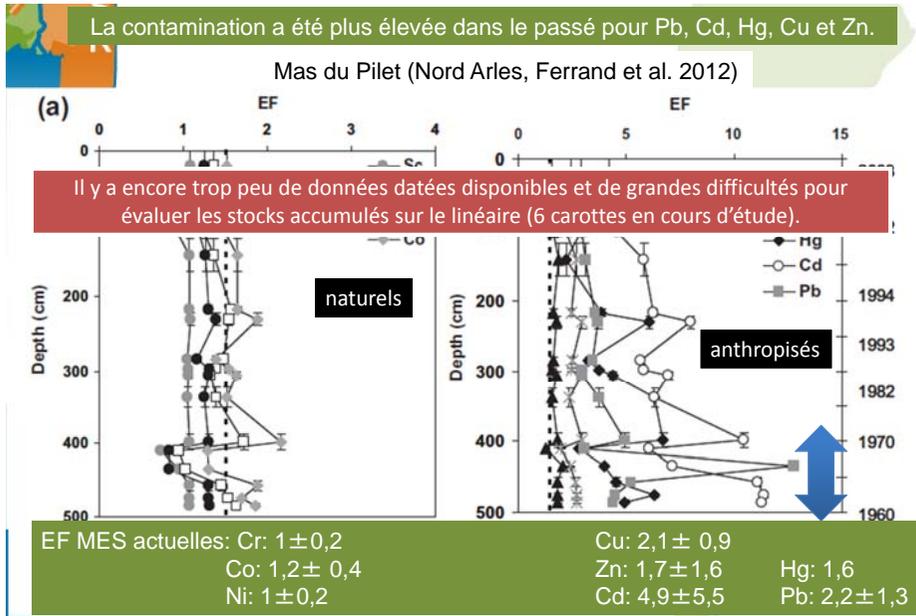


Quel historique et quels stocks dans les sédiments ?

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

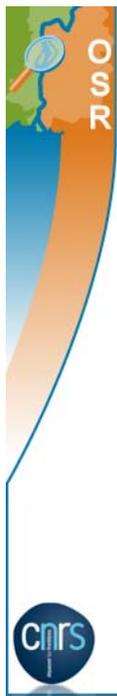


Quel historique et quels stocks dans les sédiments ?



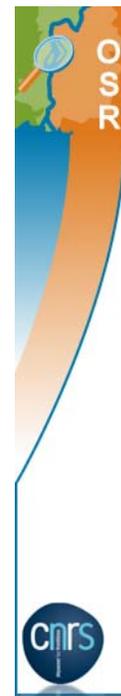
Conclusions

- 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



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 ?



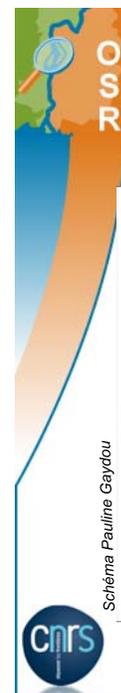
Photo DREAL

- Quel rôle des aménagements dans le processus de sédimentation dans les marges ?



Photo CNR

- Quels effets ont ces engraisements de marges sur la biodiversité ? Sur la ligne d'eau et le risque d'inondation ?



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 ?

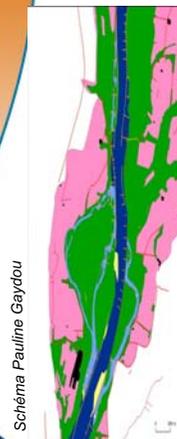
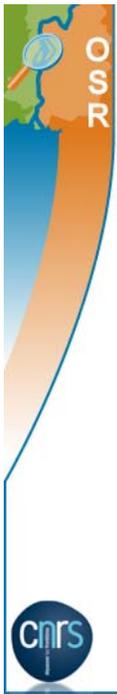
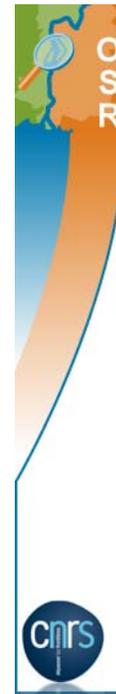


Schéma Pauline Gaydou



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

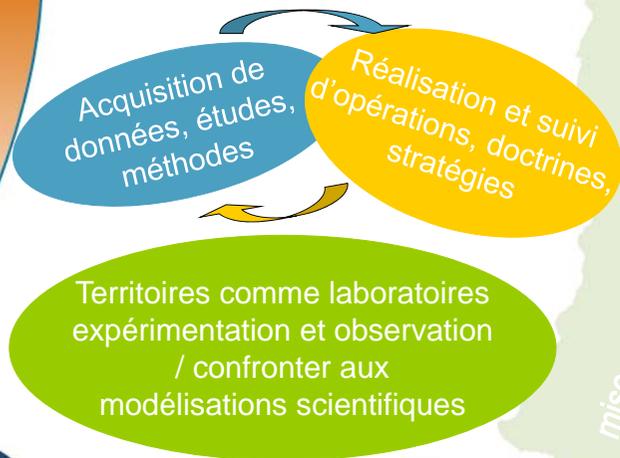


Photo DREAL

- 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 du lit moyen et enjeux de restauration

Journée de restitution, 17 oct. 2013, Lyon

Guillaume 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

Ac11: Gestion des bases de données et outils communs

Ac12: Valorisation

Axe III : Outils

Axe II : Métrologie des flux

Ac6: Réseau de mesure MES et polluants

Ac7: Analyse bio-physico-chimique des MES et traçage

Ac8: REX et suivi d'évènements

Ac9: Suivi de la charge de fond

Ac10: Modélisation

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

Réalisation [P. Gaydou](#) sous la dir. scientifique de [JP. Bravard](#)



Méthode proposée :

A l'intérieur des vieux Rhône, remobiliser les sédiments stockés dans les marges par démantèlement des digues obsolètes qui servaient à la navigation.

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.

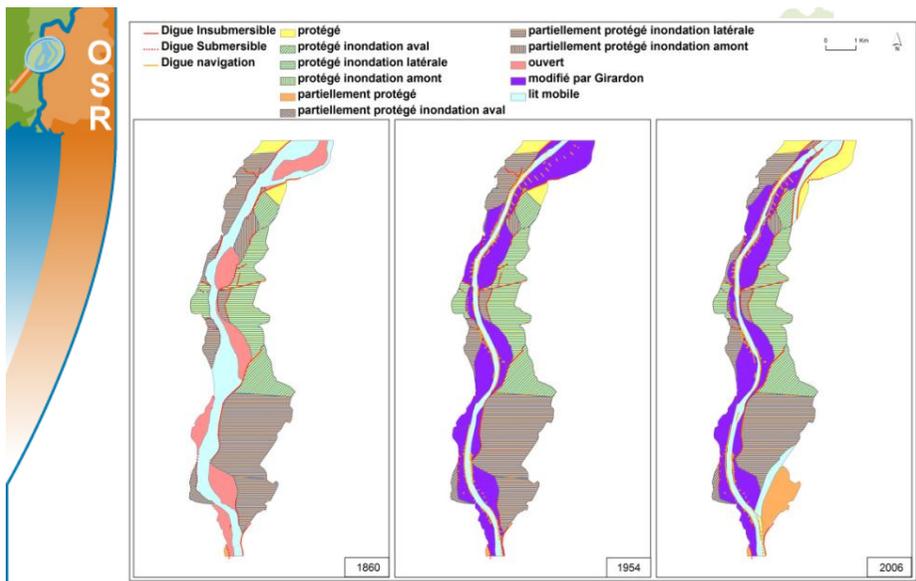
Tout en...

- 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

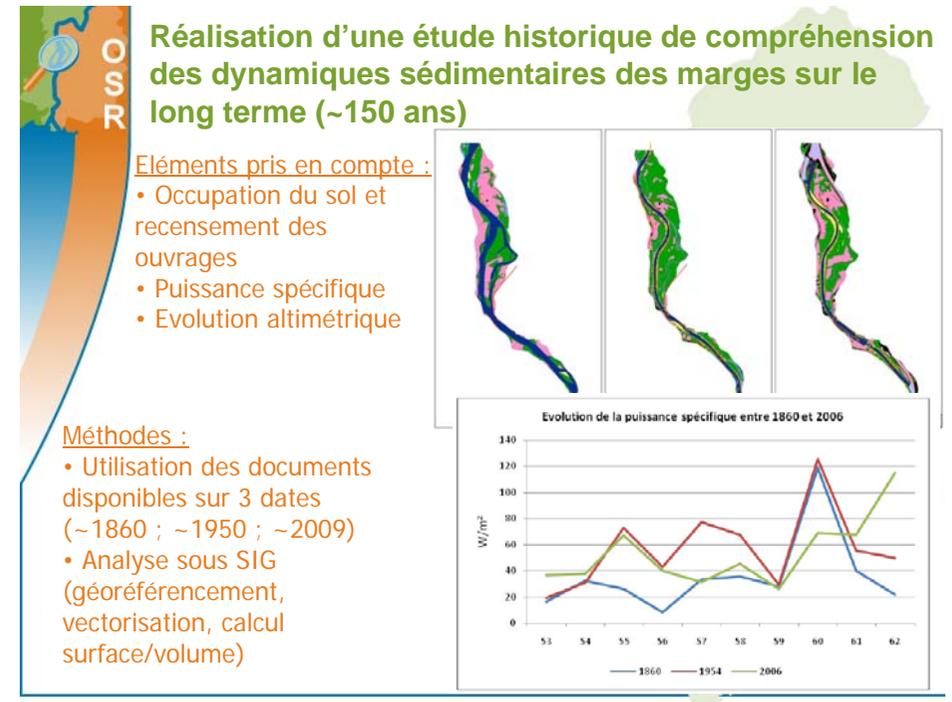
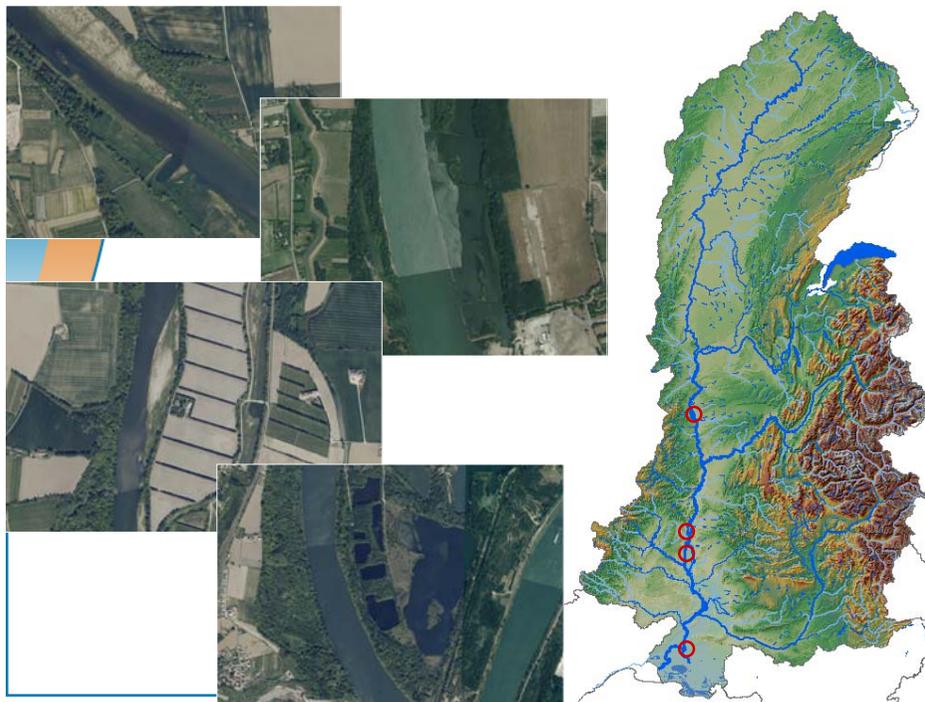
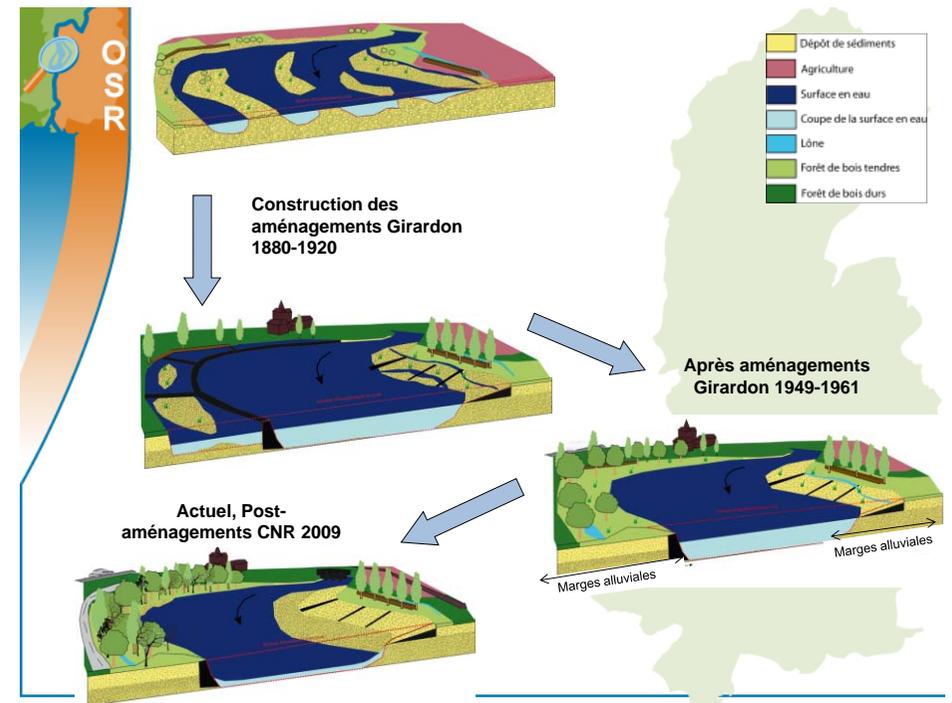
Rappel / Définition

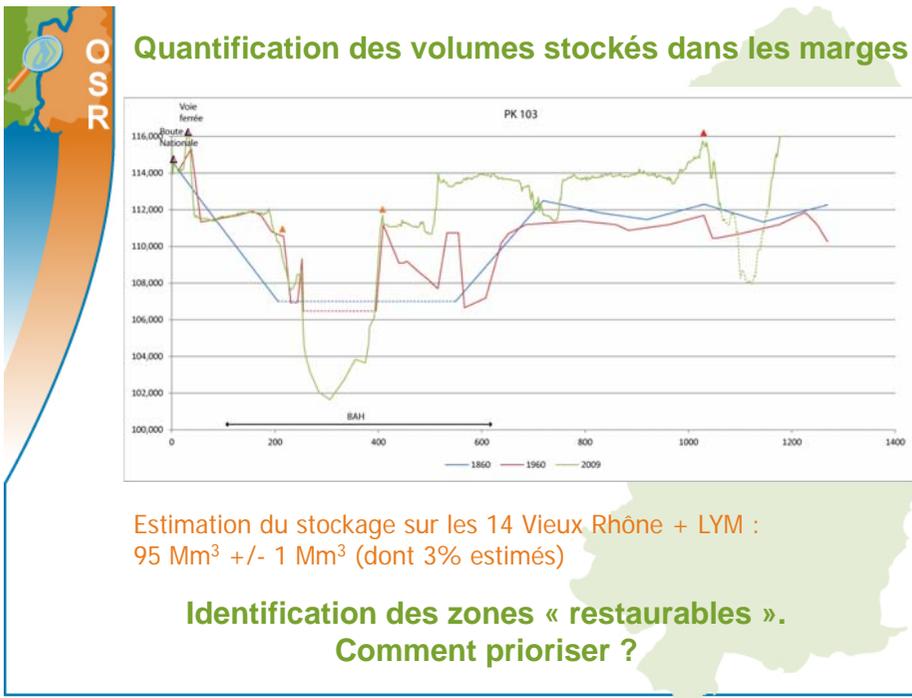
les marges alluviales : espace correspondant à la bande active historique de 1860 (délimité par l'atlas des paléo-environnement de la vallée du Rhône ; DIREN 2007)





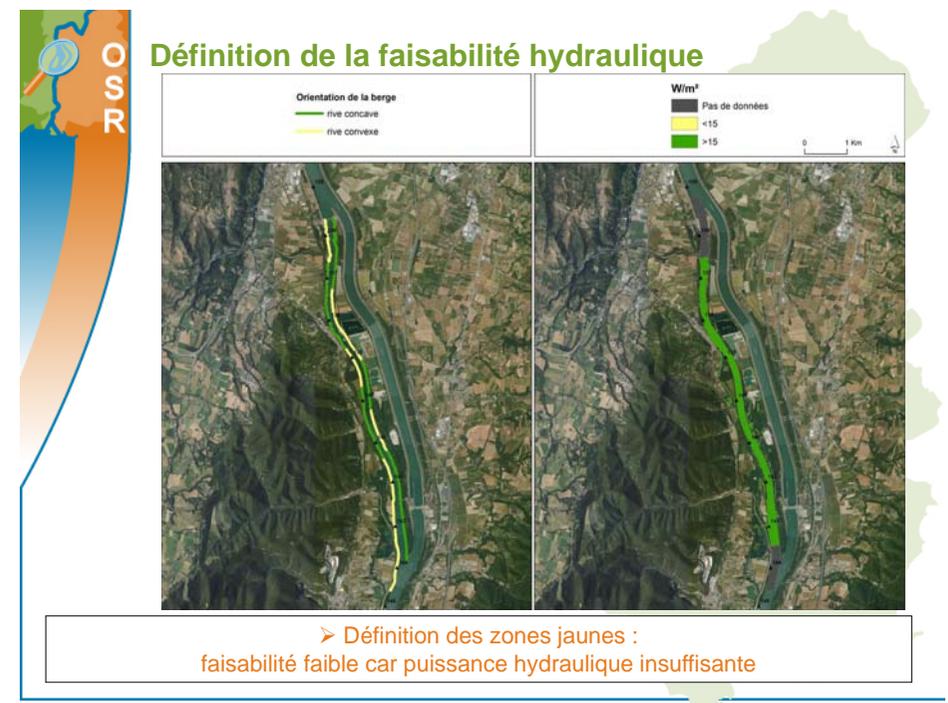
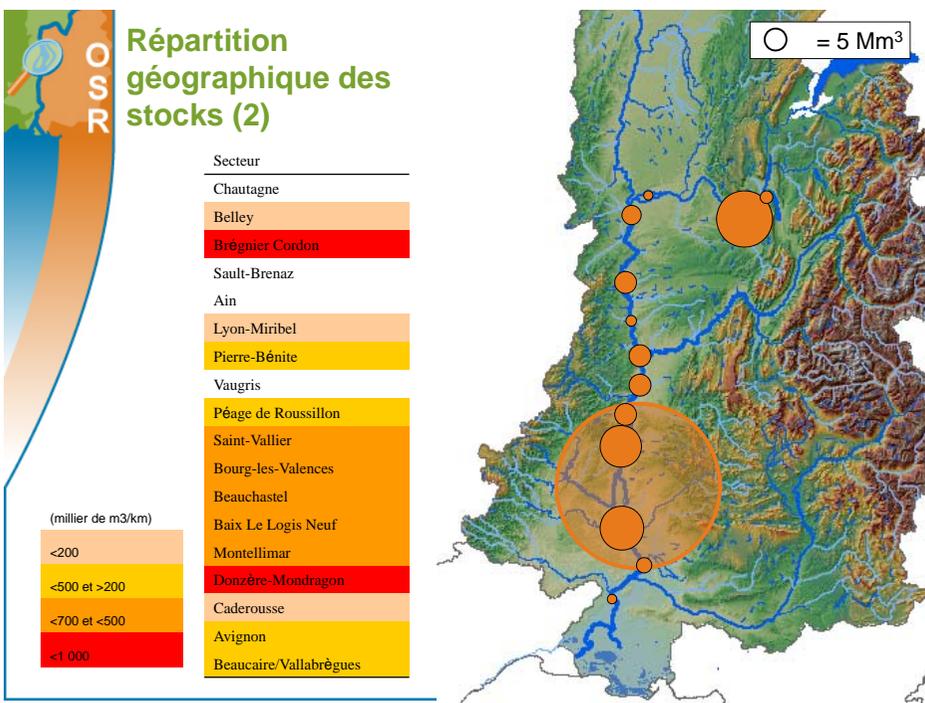
78 % du linéaire des Vieux Rhône ont été aménagé pour la navigation
101 unités sont identifiées





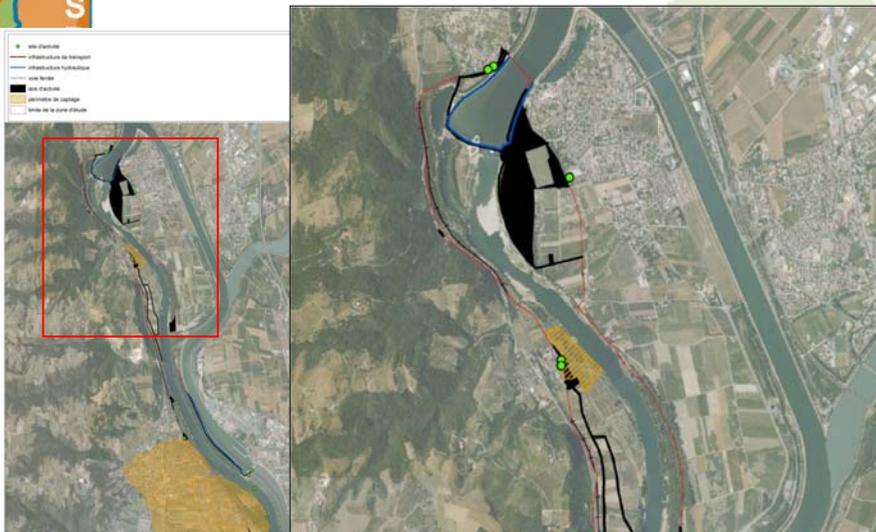
Répartition géographique des stocks (1)

Secteur	m ³ stockés depuis 1860	% non mesuré (m ³ hypothétique)
Chautagne	---	---
Belley	2 945 178	86%
Brégnier Cordon	12 878 575	0%
Sault-Brenaz	---	---
Ain	---	---
Lyon-Miribel	2 133 743	0%
Pierre-Bénite	4 451 881	4%
Vaugris	---	---
Péage de Roussillon	4 866 490	15%
Saint-Vallier	2 469 538	0%
Bourg-les-Valences	5 035 881	0%
Beauchastel	5 132 041	0%
Baix Le Logis Neuf	5 997 492	0%
Montellimar	9 519 466	0%
Donzère-Mondragon	37 001 060	0%
Caderousse	10 16 105	0%
Avignon	3 511 226	0%
Beaucaire/Vallabrègues	2 203 155	0%
Total	99 161 831*	3%





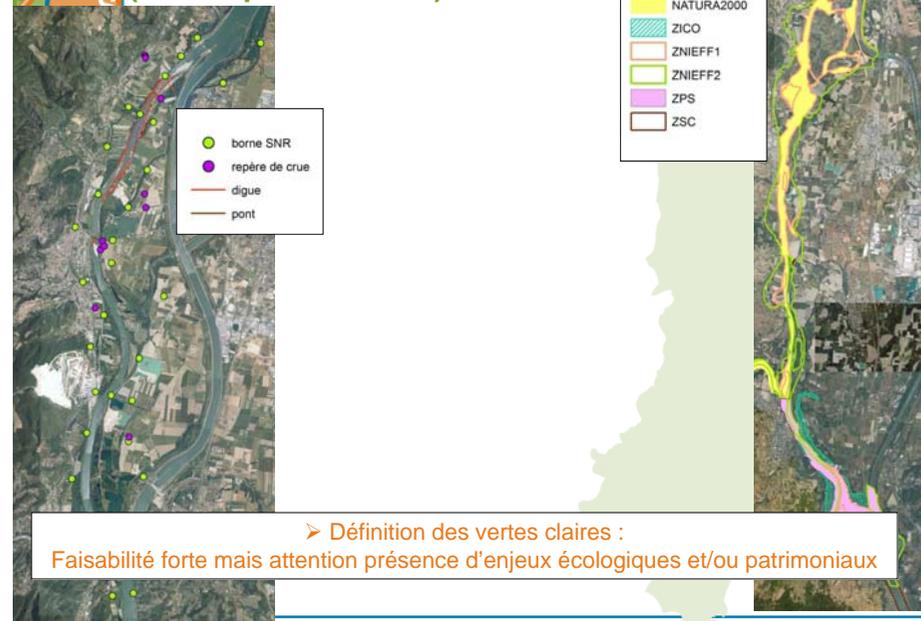
Recensement des enjeux socio-économiques



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



Recensement des éléments de patrimoine (historique et naturel)

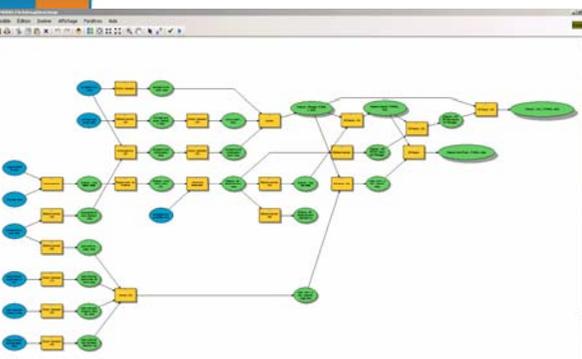


➤ Définition des vertes claires :
Faisabilité forte mais attention présence d'enjeux écologiques et/ou patrimoniaux



Obtention automatique des zonages

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



➤ Définition des zones :
-Jaunes
-Rouges
-Vertes claires
-Vertes (zones n'appartenant pas au trois autres catégories)

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



Carte de synthèse

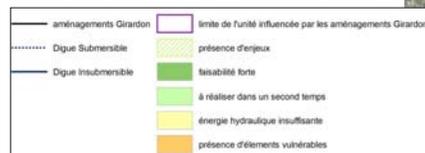




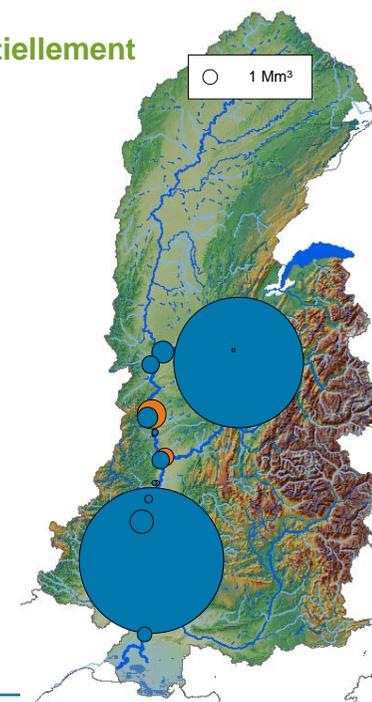
Tableau de synthèse

VR	Unité Girardon	Volume et superficie de l'unité modifiée par Girardon délimitée par l'étude historique					Amenagements Girardon	Espaces		Espace retenu		
		TYPE1 volume m ³	TYPE2 volume m ³	TYPE4 volume m ³	Superficie m ²	volume/ha		enjeux écologiques	enjeux patrimoniaux	Surface m ²	Volume m ³	Commentaire
20	Arcoüles	439968			283580	15374	1 digue longitudinale 14 tenons 1 épi 3 seuils de fond	ZNEFF 1, ZNEFF 2, ZICO, Réserve Naturelle, Natura 2000	digue Girardon, bac, borne SNR	83173	439968	Dépense des engendres possible. Prévoir une protection en retrait si l'érosion latérale s'avérait forte.
21	Oves			260920	274471	9506	10 épis	ZNEFF 1, ZNEFF 2, ZICO, Réserve Naturelle, Natura 2000	digue Girardon, bac	114345	175200	L'énergie est probablement assez faible du fait de l'orientation de la berge (convexe).
22	Lirony			997411	1033004	9655	2 digues longitudinales 3 tenons 18 épis	ZNEFF 1, ZNEFF 2, ZICO, Réserve Naturelle, Natura 2000	digue Girardon, bassin de joute, borne SNR, repère de crue	416483	771407	Dépense des épis possible. Étant donné l'orientation de la berge (convexe), les enjeux sont protégés par une faible énergie.
23	Graviers	150400			469222	3205	1 digue longitudinale 10 tenons 24 épis	ZNEFF 1, ZNEFF 2, ZICO, Réserve Naturelle, Natura 2000	digue Girardon, borne SNR	469222	150400	La faisabilité est forte du fait de l'absence d'éléments vulnérables et de l'orientation de la berge (convexe) qui devrait permettre une forte érosion latérale.
24	Platière	1765981			2380891	7743	digues du Graviers épi village Sablons	ZNEFF 1, ZNEFF 2, ZICO, Réserve Naturelle, Natura 2000	borne SNR	2231157	1765981	Dans une certaine mesure, la faisabilité est forte. Prévoir une protection au niveau de la borne SNR. Étant donné l'orientation de la berge (convexe), les enjeux sont protégés par une faible énergie. À envisager la faisabilité d'une restauration dans le cadre du PIS.
25	Serrières	78525			103724	7571	3 digues longitudinales 11 tenons 17 épis	ZNEFF 1, ZNEFF 2, ZICO, Réserve Naturelle, Natura 2000	digue Girardon	103724	78525	La faisabilité est forte du fait de l'absence d'éléments vulnérables et de l'orientation de la berge (convexe) qui devrait permettre une forte érosion latérale.
26	Boussard	556624			499992	11333	3 digues longitudinales 15 tenons 13 épis	ZNEFF 1, ZNEFF 2, ZICO, Réserve Naturelle, Natura 2000	digue Girardon, repère de crue, borne SNR	241175	556624	État donné la présence d'engins à l'Ouest, seule une étroite bande peut être soumise à l'érosion latérale. Une protection en retrait doit être prévue dans le cas d'une érosion latérale forte. Ce secteur a déjà fait l'objet d'une restauration dans le cadre du PIS.
27	Village de Serrières	0			37956	0	5 tenons	ZNEFF 2	digue Girardon	0	0	Étant donné la présence d'engins à l'Ouest, seule une étroite bande peut être soumise à l'érosion latérale. Une protection en retrait doit être prévue dans le cas d'une érosion latérale forte. Ce secteur a déjà fait l'objet d'une restauration dans le cadre du PIS.
27b	St Saturnin	79710			228275	3229	2 digues longitudinales 7 épis 2 seuils de fond	ZNEFF 2	digue Girardon	0	0	Étant donné la présence d'engins, le démantèlement d'ouvrages n'est pas envisageable.
28	Peuvraud RD	43206			179359	2420	2 digues longitudinales 5 tenons 10 épis	ZNEFF 1, ZNEFF 2	digue Girardon	0	0	Du fait de la situation du site, en amont du seuil de Peuvraud, l'érosion latérale n'est pas possible.
29	Dolon	257868			342700	7525	2 digues longitudinales 7 tenons 8 épis	ZNEFF 1, ZNEFF 2	digue Girardon	80780	257868	Dépense possible des épis mais il faudra prévoir une forte consolidation en amont des secteurs considérés comme érodables.
30	Peuvraud	245875			295707	8315	1 digue longitudinale 8 tenons 6 épis	ZNEFF 1, ZNEFF 2	digue Girardon	91545	245875	Dépense possible des épis mais il faudra prévoir une forte consolidation en amont des secteurs considérés comme érodables.
31	La Sainte	714270			87921	81240	2 digues longitudinales 11 épis	ZNEFF 1, ZNEFF 2	digue Girardon	87921	714270	La dépense d'épis est possible mais l'énergie est faible dans ce secteur.



Résultats : Volumes potentiellement remobilisables

- 1^{er} niveau de priorité :
14 millions de m³
- 2^e niveau de priorité :
27 millions de m³



Conclusions et perspectives (1)

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



Conclusions et perspectives (2)

- Des liens sont à construire avec les résultats des autres actions :
 - Action 1 Géométrie du chenal
 - Action 4 Géo-histoire de la pollution aux PCB
- Certains éléments de connaissance restent à acquérir avant des opérations de restauration :
 - Nature des sédiments (granulométrie) et épaisseurs des dépôts par nature
 - Niveaux de pollution des dépôts
- L'histoire et la chronologie de la sédimentation permet de mieux appréhender les niveaux de pollution (cf. étude BRGM)
- Évaluer l'efficacité des opérations de restauration, pour cela :
 - Mieux comprendre les patterns de sédimentation
 - Modéliser l'histoire des dépôts
 - Modéliser les fréquences de mise en eau

