L'Observatoire des Sédiments du Rhône. 12 années de recherche pour la connaissance et la gestion hydro-sédimentaire du fleuve. Bilans et perspectives scientifiques

Hervé Piégay, Olivier Radakovitch, Fanny Arnaud, Barbara Belletti, B. Camenen, Mathieu Cassel, Marina Coquery, Aymeric Dabrin, Thomas Depret, Mathieu Fressard, et al.

▶ **To cite this version:**

Hervé Piégay, Olivier Radakovitch, Bertrand Morandi, Agathe Chateauminois, Anne Clémens (Dir.). L'Observatoire des Sédiments du Rhône. 12 années de recherche pour la connaissance et la gestion hydro-sédimentaire du fleuve. Bilans et perspectives scientifiques. pp.1-72, 2022, 10.58165/osr-g471 . hal-03869998

HAL Id: hal-03869998
https://hal.science/hal-03869998

Submitted on 25 Nov 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Observatoire
des Sédiments
du Rhône

12 ANNÉES DE RECHERCHE

pour la connaissance et la gestion hydro-sédimentaire du fleuve

BILANS ET PERSPECTIVES SCIENTIFIQUES

graie
PÔLE
EAU & TERRITOIRES

Coordination scientifique

H. Piégay - *CNRS* | O. Radakovitch - *AMU, IRSN*

Contributions scientifiques

F. Arnaud - *CNRS* | B. Belletti - *CNRS* | B. Camenen - *INRAE* | M. Cassel - *CNRS* | M. Coquery - *INRAE* | A. Dabrin - *INRAE* | T. Dépret - *CNRS* | M. Fressard - *CNRS* | H. Ghaffarian Roohparvar - *CNRS* | A. Gruat - *INRAE* | P. Janssen - *INRAE* | M. Lang - *INRAE* | H. Delile - *INRAE* | J. Le Coz - *INRAE* | H. Lepage - *IRSN* | M. Lucas - *INRAE* | B. Mourier - *ENTPE* | I. Pairaud - *IFREMER* | G. Seignemartin - *CNRS* | M. Tal - *CEREGE* | A. Serlet - *CEREGE* | A. Tena - *CNRS* | D. Vázquez Tarrío - *CNRS* | T. Winiarski - *ENTPE*

Coordination éditoriale

B. Morandi | A. Chateauminois | A. Clémens - *GRAIE*

Graphisme et mise en page

Orange Vif

En 2005, les acteurs du Plan Rhône Saône, parmi lesquels l'État, ont affirmé une triple ambition pour le fleuve : prévenir les inondations, améliorer la qualité environnementale du fleuve et assurer un développement économique pérenne. Cette stratégie de développement durable autour du fleuve et de sa vallée, qui a conduit à de nombreuses réalisations, nécessitait des connaissances solides sur le Rhône et un diagnostic partagé des enjeux à relever.

Depuis 12 ans, l'Observatoire des Sédiments du Rhône contribue à la construction de cette connaissance commune du fleuve. Depuis le Lac Léman, jusqu'à la Camargue, les chercheurs observent, mesurent, expliquent la manière dont les sédiments circulent dans le fleuve et comment les formes fluviales évoluent. Ils évaluent les effets des sédiments sur la biodiversité et la diffusion des pollutions, ou encore leur incidence lors des crues. Cette démarche de recherche appliquée, qui mobilise notamment les chercheurs de la Zone Atelier Bassin du Rhône, est relativement atypique à l'échelle d'un grand fleuve comme le Rhône. Elle bénéficie du soutien du Plan Rhône Saône, de ses partenaires, et repose sur la coopération entre les chercheurs et les acteurs des territoires rhodaniens. L'OSR est un outil utile à l'échelle du fleuve pour accompagner des projets de plus en plus ambitieux pour la restauration du bon potentiel écologique. Il permet également d'améliorer la gestion à la source des polluants transportés par les sédiments. Il est enfin nécessaire pour s'adapter aux changements climatiques et hydrologiques qui commencent à montrer leurs effets sur le fleuve, en imaginant de nouvelles stratégies de gestion.

C'est un riche panorama des acquis scientifiques de l'OSR que nous proposent aujourd'hui les chercheurs. Cette synthèse peut servir de référence pour l'ensemble des acteurs politiques, techniques et scientifiques qui œuvrent pour le Rhône et sur les problématiques de gestion sédimentaire des grands fleuves. Elle fournit des enseignements utiles à la gestion sédimentaire de barrages, à la restauration d'environnements favorables à la biodiversité, à la compréhension des processus lors des inondations et à la diminution des flux de polluants. Ce bilan a d'ores et déjà permis de redéfinir collectivement une nouvelle stratégie de recherche appliquée en regard des enjeux sociaux, économiques et environnementaux que les acteurs du fleuve vont devoir gérer à l'avenir.

PASCAL MAILHOS
Préfet coordonnateur du bassin Rhône-Méditerranée
Préfet de la région Auvergne-Rhône-Alpes
Préfet du Rhône

SOMMAIRE

4

INTRODUCTION
Qu'est-ce que l'Observatoire des Sédiments du Rhône ?

8

THÉMATIQUE 1
Mesurer la continuité sédimentaire, évaluer les apports de sédiments à la mer et caractériser l'évolution de l'embouchure

14

THÉMATIQUE 2
Caractériser les évolutions historiques de la morphologie fluviale et évaluer leurs impacts sur les habitats aquatiques et riverains

20

THÉMATIQUE 3
Évaluer la faisabilité des actions de restauration et mesurer la réponse du fleuve

28

THÉMATIQUE 4
Comprendre les conséquences des évolutions morphologiques du chenal sur l'aléa inondation

34

THÉMATIQUE 5
Quantifier les flux de matières en suspension et de contaminants associés à l'échelle du fleuve et de ses affluents

40

THÉMATIQUE 6
Identifier les sources des matières en suspension et des contaminants et caractériser leurs dynamiques à l'échelle du bassin-versant

48

THÉMATIQUE 7
Évaluer les effets des opérations de gestion sédimentaire sur les flux de matières en suspension et les contaminants

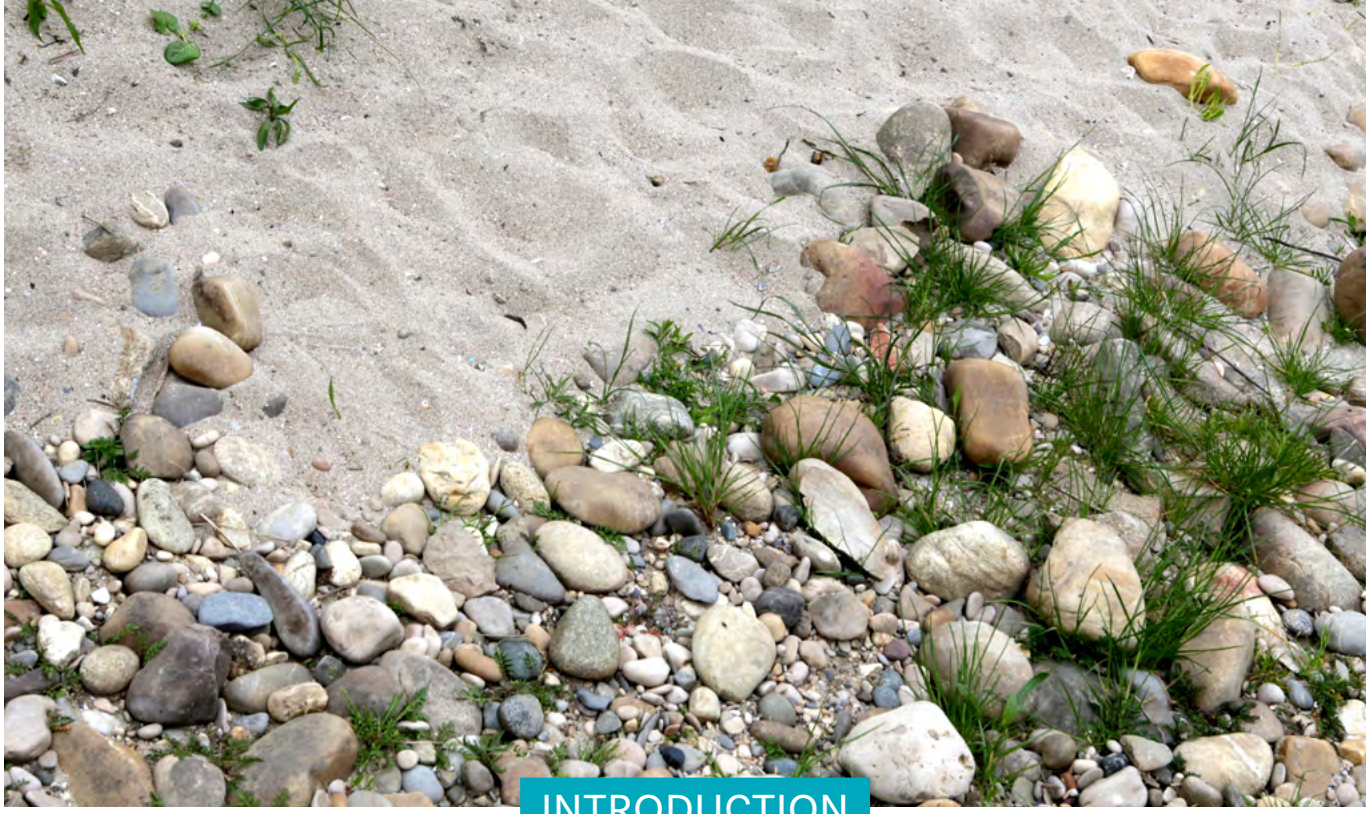
54

THÉMATIQUE 8
Structurer, pérenniser et diffuser les résultats de recherche de l'OSR

60

CONCLUSIONS
12 années de recherche pour mieux comprendre l'état et le fonctionnement du fleuve

60 > Glossaire
67 > Publications scientifiques
69 > Rapports scientifiques & techniques
71 > Collectif scientifique
72 > Partenariats



© B. Morandi

INTRODUCTION

QU'EST-CE QUE L'OBSERVATOIRE DES SÉDIMENTS DU RHÔNE ?

GÉRER LES SÉDIMENTS : UNE PROBLÉMATIQUE MAJEURE SUR LE RHÔNE

Avec un débit de 1 700 m^3/seconde, le Rhône est le plus puissant des fleuves français. Il transporte eaux et sédiments sur plus de 540 km du Léman à la Mer Méditerranée et draine un bassin versant de 98 500 km^2, alimenté par de grands affluents jurassiens (Saône, Ain), alpins (Arve, Isère, Drôme, Durance) et du Massif central (Ardèche, Gard).

La Vallée du Rhône concentre 25 % de la population du bassin. Depuis la seconde moitié du 19ème siècle, le fleuve a connu des aménagements importants et son bassin-versant des évolutions paysagères significatives. On compte aujourd'hui 22 aménagements hydroélectriques sur le Rhône en aval du Léman.

Ces évolutions ont modifié radicalement les conditions d'alimentation, de transfert et de stockage des sédiments fluviaux, changeant la nature des aléas et induisant de nouvelles questions relatives à l'usage du fleuve et à l'aménagement de la vallée. Elles sont aujourd'hui à l'origine de nouveaux enjeux de gestion des inondations, d'alimentation des champs captants d'eau potable, de maintien des activités socio-économiques (agricoles, hydroélectriques, nucléaires, navigation), de lutte contre les pollutions, de réhabilitation des milieux naturels ou encore de gestion des apports sédimentaires au littoral.

Le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) Rhône-Méditerranée-Corse de 1996, puis le Plan Rhône à partir de 2004 insistaient sur l'importance de la gestion sédimentaire, d'une part, pour la réduction des aléas et, d'autre part, pour la préservation de la qualité des eaux et de la biodiversité.

L'observation et la compréhension des processus hydro-sédimentaires constituaient dès lors des préalables à la mise en œuvre de cette gestion sédimentaire et nécessitaient le développement d'un dispositif de recherche appliqué d'envergure et adapté aux enjeux.

LA GENÈSE DE L'OBSERVATOIRE DES SÉDIMENTS DU RHÔNE

La réflexion pour la mise en place d'un observatoire a débuté en 2005, lors d'une journée thématique dédiée aux enjeux sédimentaires sur le Rhône. À l'issue de cet événement, la CNR a demandé à la Zone Atelier Bassin du Rhône (ZABR) et à l'Observatoire Régional Méditerranéen de l'Environnement (ORME), deux dispositifs scientifiques labellisés par le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), d'engager une réflexion interdisciplinaire sur la création d'un outil de recherche pour accompagner la gestion des sédiments à l'échelle du fleuve.

cf. glossaire p.64

L'étude bibliographique alors réalisée a montré que le fonctionnement sédimentaire sur le linéaire fluvial restait en partie méconnu, et que les connaissances étaient géographiquement et thématiquement très fragmentées. Les secteurs amont et aval du fleuve faisaient par exemple l'objet de plus d'attention que ceux du Rhône moyen. Sur le Rhône aval, les études se focalisaient sur le transit et le bilan sédimentaire au niveau du delta ainsi que sur la pollution liée aux activités industrielles, tandis que sur le Haut-Rhône c'étaient plutôt l'entretien des aménagements hydroélectriques et les chasses sédimentaires qui cristallisaient les attentions. Cette étude a montré également que très peu de travaux considéraient les enjeux sédimentaires et s'intéressaient aux liens entre les flux de matières, les changements morphologiques et l'état écologique et chimique du fleuve.

Fort de ces constats et des échanges entre scientifiques, la pré-configuration d'un observatoire a été présentée aux Partenaires du Plan Rhône début 2008. L'enjeu majeur affiché était de constituer un outil de recherche finalisé pluridisciplinaire permettant de combler les lacunes de connaissance et de répondre aux préoccupations de gestion. Il s'agissait notamment :

- de préciser les liens entre le dépôt et le stockage des sédiments, d'une part, et les écoulements lors des crues, d'autre part ;
- d'évaluer les interactions entre le dépôt des sédiments et la diversité des milieux d'intérêt écologique ;
- de comprendre les relations entre les eaux et les sédiments notamment dans le domaine relevant de la pollution ;
- de mieux connaître les apports sédimentaires et des contaminants associés à la mer Méditerranée ;
- d'étudier le rôle du changement climatique sur la dynamique sédimentaire.

La mise en place d'un observatoire devait également permettre de croiser les points de vue scientifiques et gestionnaires à travers une démarche transdisciplinaire effective, impliquant un groupe de chercheurs issus de différentes disciplines en interaction étroite avec les acteurs opérationnels du fleuve. L'objectif était de conduire des débats ouverts et contradictoires afin de construire une vision holistique et partagée du fonctionnement du fleuve et de sa trajectoire évolutive.

12 ANNÉES DE RECHERCHE DE L'OBSERVATOIRE DES SÉDIMENTS DU RHÔNE

En 2009, l'Observatoire des Sédiments du Rhône était créé. Il a depuis fonctionné en continu pendant 12 ans en s'appuyant sur 5 programmes d'action successifs : OSR1 à OSR5. Ce fonctionnement par programme a favorisé un échange permanent entre chercheurs et acteurs opérationnels du fleuve et un enrichissement continu des connaissances en lien avec les préoccupations de gestion.

Un dispositif de suivi sur le temps long et sur tout le continuum fluvial

Grâce au soutien continu des partenaires techniques et financiers du Plan Rhône, les actions d'instrumentation, de suivi et de mise à disposition des connaissances qui caractérisent tout observatoire ont été développées et maintenues sur toute la période de 2009 à 2020.

Un important réseau de suivi des flux de matières en suspension (MES) et de contaminants associés a été progressivement développé sur le fleuve et ses principaux affluents.

L'Observatoire des Sédiments du Rhône a aussi travaillé au développement et à l'amélioration d'un modèle hydro-sédimentaire 1D du Rhône, du Léman à la mer, et d'un code de calcul associé (MageAdisTS).

Le travail d'acquisition de données s'est accompagné d'importants investissements pour bancariser et mettre à disposition ces données. Le développement de la base de

« Le dialogue instauré dans le cadre de l'OSR pour bâtir les programmes scientifiques est très intéressant. Il y a une recherche constante d'équilibre entre ce qui intéresse les chercheurs et ce qui intéresse les gestionnaires. Le fait de cheminer ensemble, sur le temps long, permet aux scientifiques de s'approprier les questions opérationnelles. Il y a une expertise solide qui s'est constituée sur le fleuve depuis des années. Aujourd'hui, l'OSR est appuyé sur des compétences multidisciplinaires en hydraulique, en hydrologie, en géomorphologie, en sédimentologie, en chimie aussi. Les chercheurs ont acquis à la fois une connaissance à l'échelle du fleuve et une compréhension des spécificités de ce grand milieu. C'est unique. Avoir tout cet environnement de la recherche dédié au Rhône, c'est une chance pour nous ».

ISABELLE EUDES
Agence de l'eau
Rhône Méditerranée Corse

« À la Région Auvergne-Rhône-Alpes, nous sommes particulièrement sensibles à la méthode de travail mise en place par l'OSR pour développer des recherches fondées sur l'échange entre les scientifiques et les gestionnaires du fleuve. Les temps de discussion et de restitution organisés sont toujours extrêmement riches. La diffusion et l'explication des outils, des données, des résultats de recherche permet d'orienter nos partenariats sur les enjeux de gestion prioritaires. Il est important pour nous que la connaissance progresse, mais aussi que cette connaissance permette d'améliorer la gestion sédimentaire du fleuve, que ce soit en matière de protection contre les inondations ou de restauration de la qualité écologique. Est-ce qu'il faut intervenir ? À quel endroit ? Quels vont être les effets des actions ? Les connaissances produites par l'OSR doivent permettre de répondre à ces questions. C'est l'un des grands apports de l'observatoire. »

ALAIN MARTINET, LAETITIA FAURE ET YVES RONOT
Région Auvergne-Rhône-Alpes

données BDOH-OSR, du catalogue de métadonnées MétaOSR ou encore du web SIG Géo OSR sont autant d'étapes témoignant de cet effort de partage de l'information scientifique.

L'OSR a ainsi permis de structurer, pérenniser et diffuser des méthodes et des outils particulièrement innovants, ainsi que des données et des connaissances sur le fonctionnement sédimentaire du fleuve.

Une recherche problématisée autour des grands enjeux de la gestion sédimentaire

La succession des différents programmes a permis une recherche adaptative, répondant à intervalles réguliers aux questions opérationnelles initialement posées, en formulant de nouvelles, et réajustant régulièrement les axes d'études en fonction de l'évolution des besoins de gestion et de l'avancée des connaissances.

À l'origine organisées autour de trois axes de travail - les flux de sédiments, les stockages sédimentaires, et les contaminants - les activités de l'OSR ont évolué et se sont progressivement structurées autour de huit thématiques :

- Mesurer la continuité sédimentaire, évaluer les apports de sédiments à la mer et caractériser l'évolution de l'embouchure ;
- Caractériser les évolutions historiques de la morphologie fluviale et évaluer leurs impacts sur les habitats aquatiques et riverains ;
- Évaluer la faisabilité des actions de restauration et mesurer la réponse du fleuve ;
- Comprendre les conséquences des évolutions morphologiques du chenal sur l'aléa inondation ;
- Quantifier les flux de matières en suspension et de contaminants associés à l'échelle du fleuve et de ses affluents ;
- Identifier les sources des matières en suspension et des contaminants et caractériser leurs dynamiques à l'échelle du bassin-versant ;
- Évaluer les effets des opérations de gestion sédimentaire sur les flux de matières en suspension et les contaminants ;
- Structurer, pérenniser et diffuser les résultats de recherche de l'OSR.

Ce document constitue une synthèse des résultats majeurs obtenus sur chacune de ces thématiques.

La qualité et la pertinence des connaissances apportées par un observatoire se juge sur le temps long, et dès le départ l'échelle décennale était visée. Après 12 années de travail, cette synthèse est un bilan autant qu'une base de départ pour une nouvelle vision stratégique à 10 ans. La mise en œuvre de cette vision est dès à présent engagée avec le 6ème programme d'action de l'OSR (OSR 6) dont les travaux sont programmés jusqu'en 2024.

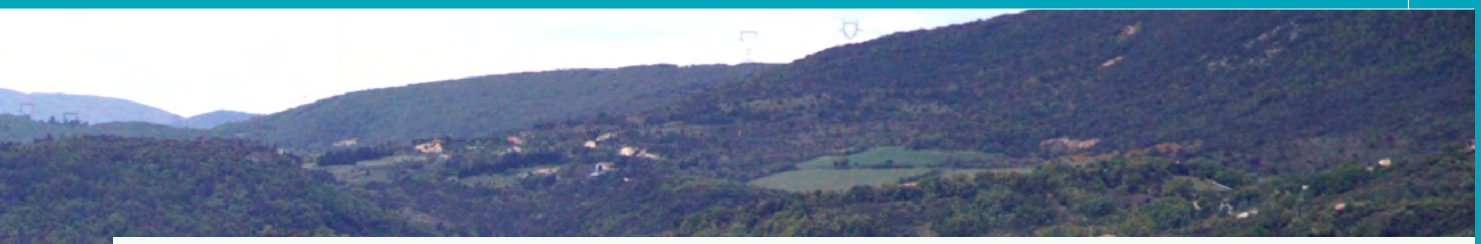
cf. glossaire p.64

CARTE DES SECTEURS D'ÉTUDE DE L'OBSERVATOIRE DES SÉDIMENTS DU RHÔNE
Haut-Rhône
LAC LÉMAN
GENÈVE
Verbois
Chancy-Pougny
Arve
Génissiat
Seyssel
Chautagne
Fier
Motz
Belley
Lavours
Savières
Champagneux
Bourbre
Guiers
Brégnier-Cordon
Villebois
Sault-Brénaz
Confluence Ain
Ain
Miribel
Saône
Jons
LYON
Rhône Médian / Rhône Moyen
Pierre-Bénite
Pierre-Bénite
GIVORS
Vaugris
VIENNE
Gier
Vaugris
Péage-de-Roussillon
Saint-Pierre-de-Boeuf
Saint-Vallier
Arras
Isère
Bourg-lès-Valence
La Roche-de-Glun
VALENCE
Beauchastel
Charmes
Baix-Le Logis Neuf
Pouzin
Drôme
Ardèche
Bas Rhône / Rhône Aval
Montélimar
Rochemaure
MONTÉLIMAR
Donzère
L'Aygues
Donzère
Mondragon
Cèze
Ouvèze
Caderousse
ORANGE
Caderousse
Avignon
Villeneuve
Sauveterre
Gardon
AVIGNON
Beaucaire
Vallabrègues
ARLES
Durance
Grand Rhône
MER MÉDITERRANÉE
Affluent du Rhône
Zonage du Rhône
Secteur aménagé du Rhône
Aménagement hydroélectrique (barrage / centrale)
VILLE
N
0
50 km

© Photothèque CNR

THÉMATIQUE 1

MESURER LA CONTINUITÉ SÉDIMENTAIRE, ÉVALUER LES APPORTS DE SÉDIMENTS À LA MER ET CARACTÉRISER L'ÉVOLUTION DE L'EMBOUCHURE



QUELS SONT LES ENJEUX DE GESTION ?

La caractérisation de l'état et du fonctionnement morpho-sédimentaire du fleuve constitue un enjeu de connaissance à l'origine de la création de l'Observatoire des Sédiments du Rhône (OSR).
Ce manque de connaissances a notamment été souligné lors des crues de 2002-2003. Les recherches conduites au sein de l'observatoire doivent ainsi permettre aux gestionnaires du fleuve de mieux évaluer la transparence sédimentaire des aménagements et de mieux comprendre les impacts de la gestion des ouvrages sur les flux grossiers (graviers et galets) et sableux. La quantification des flux sableux est également un enjeu pour établir un bilan sédimentaire global et faire le lien avec les enjeux littoraux.

QUELLES SONT LES QUESTIONS DE RECHERCHE ?

- Les sédiments grossiers franchissent-ils les ouvrages ?
- Le Rhône est-il un cours d'eau sableux ?
- Quels sont les apports sédimentaires à la mer ?
- Peut-on faire un lien entre l'évolution de ces apports et l'évolution du trait de côte ?

QUELLE EST LA ZONE D'ÉTUDE ?

Ce travail sur la continuité sédimentaire est conduit sur tout le continuum rhodanien, depuis le Haut-Rhône, jusqu'au delta et à l'embouchure du fleuve en Mer Méditerranée (CARTE 1).

- CARTE 1 -

Continuité sédimentaire à l'échelle du continuum fluvial

« Les travaux conduits sur le transport sédimentaire dans le secteur de Miribel-Jonage ont contribué à formuler des diagnostics consensuels dans un secteurs où les enjeux de gestion hydro-sédimentaires sont nombreux (prévention des inondations, alimentation en eau potable, production hydroélectrique, restauration écologique...). Grâce à des développement méthodologiques innovants pour le traçage des sédiments grossiers, l'OSR a permis d'établir des budgets sédimentaires et surtout de suivre le transit des particules qui arrivent de la rivière d'Ain et cheminent dans le canal de Miribel jusqu'à Lyon. Les mesures ont notamment montré la transparence du barrage de Jons. Il n'y a pas besoin de modifier ni la structure ni les modalités de fonctionnement du barrage pour garantir la continuité sédimentaire. Pour EDF, qui est gestionnaire de l'aménagement hydroélectrique du secteur, ce sont des enseignements importants. »

RÉMI LOIRE
EDF

TRANSPORT DES GRAVIERS ET DES GALETS

Historiquement, le Rhône est un fleuve alpin qui transportait des graviers et des galets, de l'Arve à Sault Brénaz et de l'Ain jusqu'à Arles. Il en transporte aujourd'hui en très faible quantité sur la plupart de son cours, même si certains tronçons, comme l'amont du barrage de Génissiat et l'aval de la confluence avec la rivière d'Ain, présentent une charge de fond plus importante. Cette diminution du transport de graviers et de galets est liée à la rétention des apports des affluents contributeurs du Rhône au niveau des confluences, et à la modification drastique des conditions hydrauliques permettant ce transport du fait des aménagements hydroélectriques en dérivation.

Sur tout le cours du Rhône, des données granulométriques (particules potentiellement mobilisables) et hydrauliques (crues biennales à décennales) permettant d'évaluer le transport solide pour différents scénarios sont désormais à disposition. Des capacités moyennes de transport par charriage de 2 100 m^3/an et 7 600 m^3/an ont été estimées à l'échelle des linéaires du Rhône en amont et en aval de Lyon, respectivement (**FIGURE 1.1**). Ces estimations sont en cours de validation par des observations de terrain.

La modélisation hydraulique couplée aux formules du transport a montré que la mobilité de la charge sédimentaire de fond est fortement affectée par la présence des barrages. La dérivation d'une partie de l'écoulement du fleuve dans les canaux d'amenée aux usines hydroélectriques provoque une réduction significative de l'intensité et de la fréquence des débits de crue dans les tronçons court-circuités du Rhône. Les retenues créées à l'amont des barrages sont, en outre, à l'origine d'une discontinuité longitudinale du continuum fluvial qui contribue à segmenter le transport solide. Cela constitue une perturbation importante dans le transfert de la charge de fond vers l'aval.

La transparence sédimentaire a été analysée plus finement au droit de certains ouvrages comme ceux de Bourg-lès-Valence ou de Jons. Elle est observée sur le seul barrage de Jons pour des particules dont l'axe b est compris entre 45 et 128 mm. Les distances parcourues annuellement sont de plusieurs centaines de mètres pour des crues courantes. La répartition du flux de charge grossière est maintenant mieux connue au niveau de la Brèche de Neyron (canal de Miribel) : les deux tiers de la charge sédimentant dans le delta de Neyron ; le tiers restant, transitant plus rapidement vers l'aval par le canal de Miribel.

Les effets sur la charge de fond d'une mise en transparence partielle ont été également modélisés pour le barrage de la Roche-de-Glun (retenue de Bourg-lès-Valence) (**FIGURE 1.2**). En l'état actuel, celui-ci ne peut faire transiter que des graviers fins lors d'événements exceptionnels. Une augmentation de la mobilité de la charge de fond et de la taille des particules mobiles serait possible dans cette retenue si l'on augmente la pente d'écoulement lors des crues par une baisse des niveaux d'eau au droit du barrage.

La connaissance du fonctionnement de tels ouvrages est un enjeu important pour mieux comprendre ce qu'il est possible d'envisager pour restaurer potentiellement une continuité sédimentaire. L'enjeu est aussi de comprendre les conséquences sur les usages concernés par une baisse des retenues pendant une certaine période (prises d'eau, navigation, production électrique).

TRANSPORT DES SABLES SUR LE CONTINUUM

Développements métrologiques pour la quantification des flux sableux

Dans le cadre de l'OSR, les mesures des flux de sable en suspension restent encore ponctuelles et peu distribuées sur le linéaire du Rhône. En effet, cette mesure est particulièrement complexe du fait de la forte variabilité temporelle et spatiale des concentrations en sables au sein même d'une section de rivière. Plusieurs méthodes ont été développées pour améliorer la mesure et quantifier ces flux de sables en suspension avec leurs incertitudes : choix des matériels et procédures de prélèvement, développement de méthodes

cf. glossaire p.64

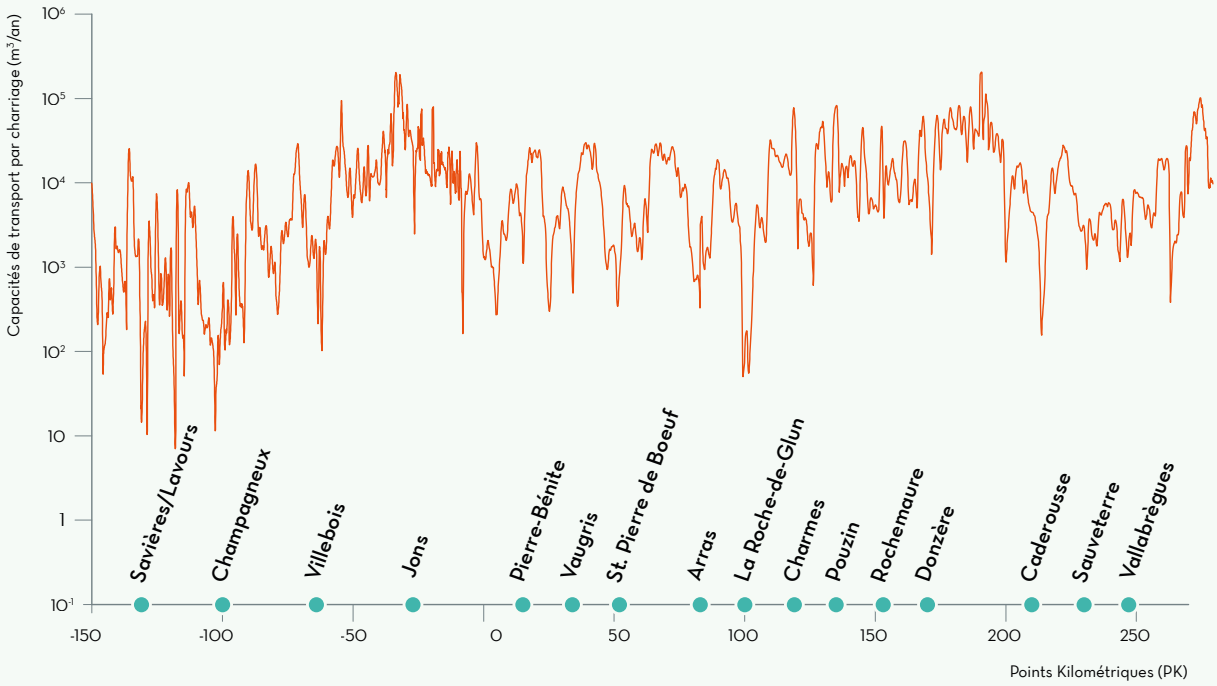


FIGURE 1.1

Estimations des capacités moyennes annuelles de transport par charriage sur tout le linéaire du Rhône.

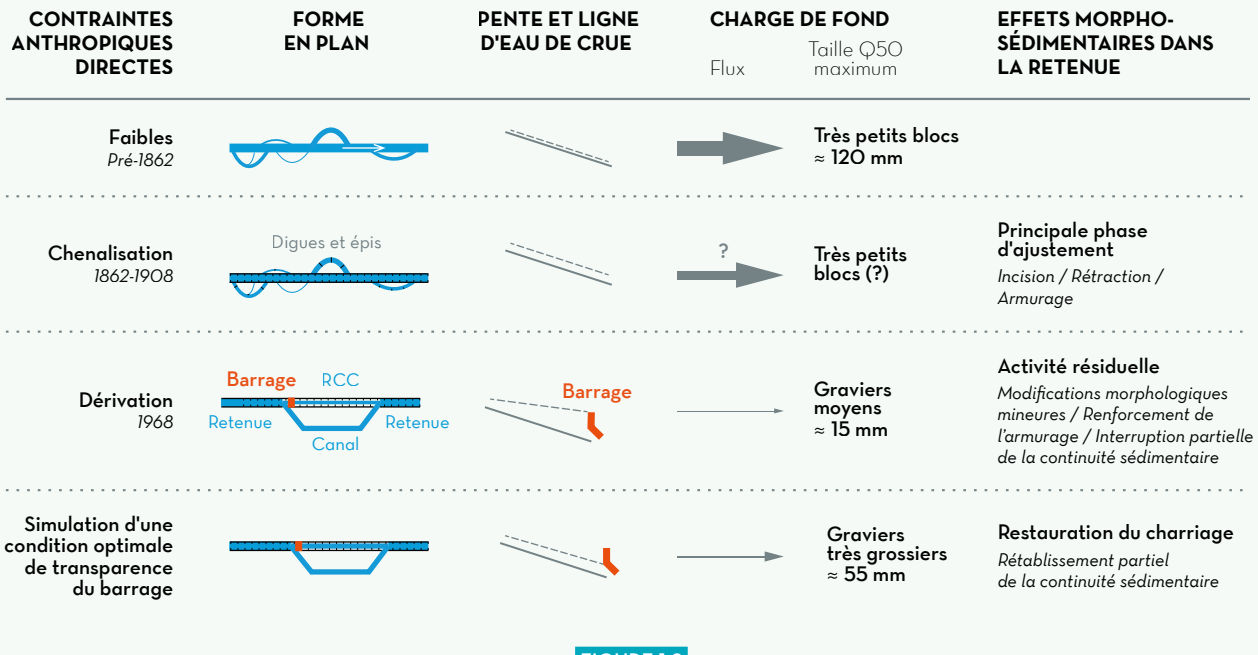


FIGURE 1.2

Synthèse de l'évolution, depuis le 19ème siècle, de la dynamique morpho-sédimentaire sur le secteur de la retenue de Bourg-lès-Valence et simulation d'une condition optimale de transparence du barrage.

Q50 = crue cinquantennale

hydro-acoustiques, amélioration des procédures de dépouillement des jaugeages solides et développement de courbes de tarages sédimentaires.

Des flux de sables non-négligeables

Les campagnes de mesures réalisées dans le cadre de l'OSR ont déjà permis d'observer des flux sableux très importants lors de certains événements comme les opérations de gestion sédimentaires des retenues ou lors des crues. Ainsi, les flux sableux sur le Rhône à Lyon (Perrache) ont été estimés proche de la capacité de transport de la rivière lors de la crue de janvier 2018 avec un flux total de 175 000 tonnes (+/- 50 000 tonnes), soit 30% du flux de matières en suspension. Sur le Rhône moyen, des mesures ont également été réalisées à la confluence de l'Isère lors des chasses de 2015, 2018, 2021 et permettent de progresser vers une meilleure conciliation entre les enjeux amont de l'Isère et aval du Rhône. Enfin, les mesures de transport réalisées à l'Aval d'Arles, au Bac de Barcarin, à 4 km avant l'embouchure en Mer Méditerranée, ont permis d'estimer un flux de matériaux sableux équivalent à 6% du flux total en suspension (2016-2017), soit environ 400 000 tonnes/an.

Il est aujourd'hui fondamental de mieux évaluer les sources et zones de stockage afin de mieux apprécier la dynamique globale des sables le long du linéaire du Rhône.

Modélisation des interactions entre sables et aménagements

Plusieurs études se sont focalisées sur les interactions du sable avec les aménagements. Une analyse des processus sédimentaires à la confluence Rhône-Isère et à travers l'aménagement de Bourg-lès-Valence a permis de mieux appréhender les étapes et processus de transport solide prédominants lors des chasses des barrages de la Basse-Isère (FIGURE 1.3). La modélisation de la propagation et du dépôt des différentes classes granulométriques de sable à travers l'aménagement de Bourg-lès-Valence a aidé à comprendre l'impact de la retenue sur la dynamique de ces sables : un transport des sables dans le canal d'amené peut se faire pour un débit supérieur à 1 500 m³/seconde, mais varie selon l'épaisseur des dépôts. La modélisation 1D hydrosédimentaire sur la retenue de Génissiat et l'étude des apports de l'Arve ont également permis une meilleure compréhension des flux et du tri granulométrique dans la retenue : environ 50% des flux de sables issus de l'Arve (estimés à 120 000 tonnes/an) sont piégés dans la retenue de Verbois et transitent lentement le long des retenues du Rhône Genevois et du Haut-Rhône lors de l'Abaissement partiel des aménagements de Verbois (APAVER). La limite sable-limon sur la retenue de Génissiat se situe à 9 km en amont du barrage.

ÉVOLUTION DE L'EMBOUCHURE

Apport sédimentaire à l'embouchure

Depuis 150 ans, une décélération de la sédimentation est observée à l'embouchure du Grand Rhône, associée à la diminution de la charge sédimentaire y parvenant. Les apports sableux moyens à l'embouchure, proches de 400 000 m³/an au 19ème siècle, ont avoisiné 150 000 m³ en 2012 et 2013 alors que ces deux années étaient à faible débit. 50% de ces sables se seraient déposés en mer jusqu'à 10 m de profondeur. Cette valeur est sans doute un

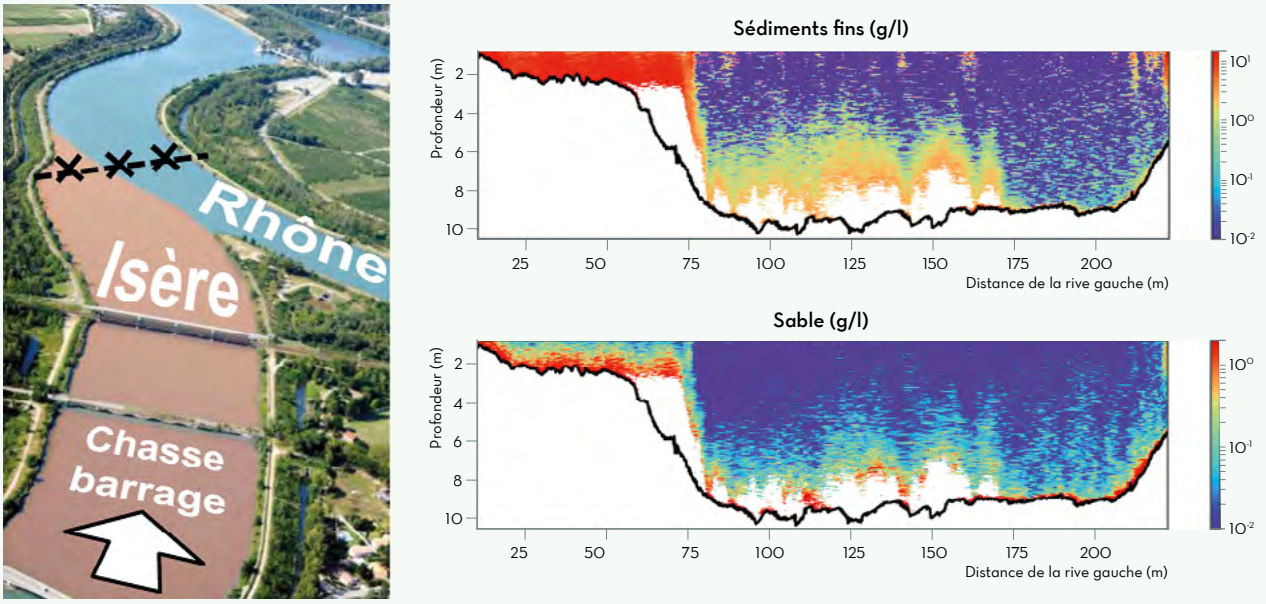


FIGURE 1.3

Estimation des concentrations en fines et en sables avec l'utilisation d'un profileur acoustique en rivière.
Exemple de résultat pour une section en travers sur le Rhône et l'Isère en crue en 2017

cf. glossaire p.64

seuil minimal des apports annuels sableux du Rhône à cette zone, mais il n'y a pas d'estimation plus récente de ces dépôts.

L'analyse des marges du fleuve montre que la sédimentation à l'embouchure était plus active et plus sableuse au 19ème siècle qu'au 20ème siècle. Les accélérations rapides de la sédimentation associée aux crues sont très marquées. Le système s'est éteint au 20ème siècle. Le flux de sédiment sablo-limoneux s'est sans doute fortement réduit. Les processus de sédimentation, devenus plus faibles, touchent les zones les plus récemment déconnectées. La sédimentation y est limoneuse.

Effet des crues et tempêtes sur la direction du flux sédimentaire en mer

L'embouchure du Grand Rhône est majoritairement soumise aux vagues de Sud-Ouest qui marquent le littoral (flèches sableuses de l'embouchure et de La Gracieuse) via un transport sédimentaire le long des plages. Toutefois, les vagues les plus fortes et les plus morphogènes proviennent du secteur Sud-Est, principalement entre octobre et janvier. L'analyse croisée des crues et tempêtes de 1979 à 2010 montre que les scénarios les plus fréquents sont de type « tempête seule » (7 événements par an) ou « tempête puis crue », (2 événements par an). Les crues sans tempêtes sont extrêmement rares (3 cas en 30 ans). L'analyse de cet aléa couplé indique que la succession temporelle de ces événements a une grande importance dans l'organisation du transport sédimentaire. Le scénario idéal pour la redistribution des sables vers les plages est « crue et tempête » ou « crue puis tempête », mais il reste rare (moins de 3% des observations). Cela explique pour partie la faible redistribution vers les plages des apports sédimentaires fluviaux. Les variations morphologiques littorales se produisent essentiellement lors des crues supérieures à 3 900 m^3/seconde à Arles et lors des tempêtes avec des hauteurs de vagues supérieures ou égales à 3 m. Ces variations sont saisonnières et affectent principalement la barre d'embouchure qui se déplace alternativement vers le large ou vers le fleuve.

Transport littoral des apports sédimentaires fluviaux

Depuis 10 ans la largeur de l'embouchure diminue sous l'effet d'une flèche sableuse qui s'allonge en rive droite. Ce rétrécissement concentre la vitesse du flux sédimentaire du fleuve qui s'étend plus au large, notamment durant les crues exceptionnelles (> 8 000 m^3/seconde). Ce phénomène prive alors en partie le littoral des apports en sables. Les modélisations historiques ont montré que cette augmentation de la concentration du panache n'existe que depuis 10 à 20 ans. Durant la majorité du 20ème siècle, le panache créé à l'exutoire se diffusait plus largement, autorisant ainsi des dépôts à proximité des plages voisines. Ces dernières devraient recevoir du sédiment depuis la barre d'embouchure, mais la morphologie de cette barre et la décroissance rapide des vitesses des courants suggèrent que des stockages temporaires se produisent sur les bordures du lobe deltaïque, ainsi que des pertes vers le large par glissements sous-marins. Ces sédiments sont alors soustraits au transport direct vers les plages.

CE QU'IL FAUT **RETENIR**

L'analyse du transport de la charge de fond souligne un déficit général des apports de sédiments grossiers dans le Rhône. Les travaux de modélisation sont dans ce cadre d'un grand intérêt opérationnel à l'heure de tester les scénarios de gestion sédimentaire car ils permettent d'évaluer la transparence des ouvrages au transit de la charge de fond. Ce travail est à prolonger par une analyse des conséquences de ces scénarios sur les usages de navigation, prélèvements d'eau, production électrique et sur la biodiversité.

Les mesures réalisées par l'OSR ont permis d'observer des flux sableux très importants, atteignant la capacité de transport du fleuve, lors de certains événements (chasses de l'Isère, Abaissement partiel des aménagements de Verbois (APAVER), événements de crues). Les progrès méthodologiques pour la mesure en continu des flux de sable en suspension vont permettre d'établir des bilans sédimentaires fiables.

Les apports sableux à la mer se sont réduits significativement au cours du 20ème siècle, un constat valable pour tous les deltas méditerranéens. L'engraissement des plages s'effectue par la redistribution de stocks sédimentaires fossiles et celle de ces apports sableux actuels (moins de 5% des apports sédimentaires du fleuve). L'orientation du delta face aux vagues et le couplage des conditions hydrodynamiques entre crues (apports) et tempête marines (resuspension) apparaissent maintenant comme des paramètres d'importance pour cette redistribution. Les conjonctions « crue et tempêtes » ou « crue puis tempête » sont particulièrement efficaces pour ceci. L'évolution morphologique de l'embouchure, qui se traduit depuis 1955 par un rétrécissement du chenal et un éloignement de la barre sableuse, est donc à suivre.

© IGN 1947

THÉMATIQUE 2

CARACTÉRISER LES ÉVOLUTIONS HISTORIQUES DE LA MORPHOLOGIE FLUVIALE ET ÉVALUER LEURS IMPACTS SUR LES HABITATS AQUATIQUES ET RIVERAINS

QUELS SONT LES ENJEUX DE GESTION ?

Les connaissances produites dans le cadre de l'Observatoire des Sédiments du Rhône (OSR) doivent permettre d'éclairer les acteurs opérationnels du fleuve dans leurs démarches de gestion visant à favoriser, de manière plus durable, une meilleure qualité écologique des habitats aquatiques et riverains. L'enjeu est notamment de promouvoir une gestion raisonnée du transit sédimentaire grossier pour préserver ou restaurer ces habitats en conciliation avec les usages existants.

QUELLES SONT LES QUESTIONS DE RECHERCHE ?

- Quelles ont été les évolutions morphologiques du Rhône durant les deux derniers siècles ?
- Quels sont les facteurs à l'origine de ces changements ?
- La morphologie du fleuve est-elle aujourd'hui altérée ?
- Quelles sont les conséquences pour la qualité et la résilience des habitats aquatiques et riverains ?

QUELLE EST LA ZONE D'ÉTUDE ?

Les travaux de l'OSR déployés pour répondre à ces questions de recherche ont porté sur l'ensemble des Rhône court-circuités (RCC) du continuum rhodanien, depuis le Lac Léman jusqu'à l'amont du delta.

- CARTE 2 -

Atlas des travaux de parachèvement et d'entretien du Rhône (1891), consultable sur la plateforme en ligne GéoOSR

UNE FORTE ALTÉRATION DE L'ÉTAT MORPHOLOGIQUE DU RHÔNE

Le travail réalisé depuis 10 ans au sein de l'OSR pour évaluer l'état morphologique du Rhône a permis de bien décrire sa transformation depuis le 19ème siècle. Le traitement des données topo-bathymétriques a notamment conduit à caractériser l'évolution verticale du lit et l'analyse de la granulométrie du thalweg sur tout le cours du fleuve rend compte de son fonctionnement morphodynamique actuel. L'étude des cartes anciennes a également permis de montrer que le fleuve a enregistré deux phases de rétraction de la section d'écoulement (CARTE 2) : la première lors de la mise en place des ouvrages Girardon au début du 19ème siècle (-40%) ; la seconde lors des aménagements hydroélectriques par déri-

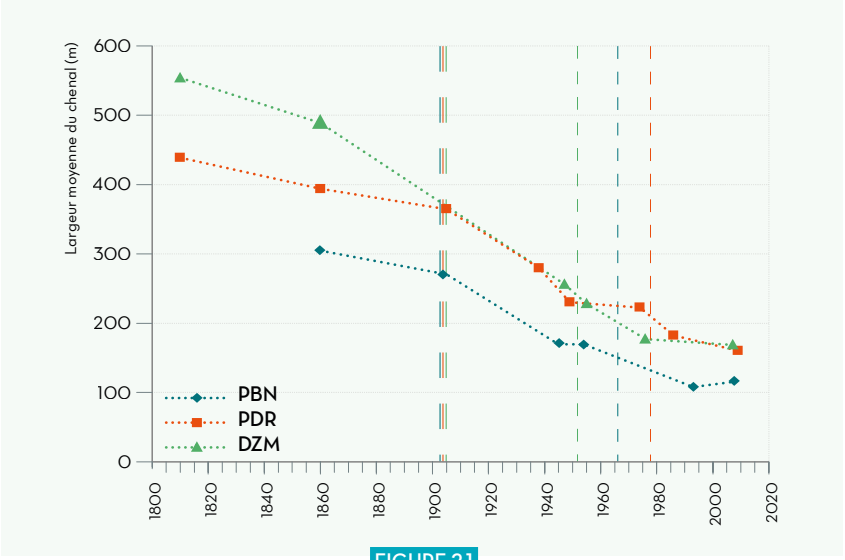


FIGURE 2.1

Évolution de la largeur moyenne de la bande active du Rhône entre 1810 et 2009.

Secteurs de Pierre-Bénite (PBN), Péage-de-Roussillon (PDR) et Donzère-Mondragon (DZM).

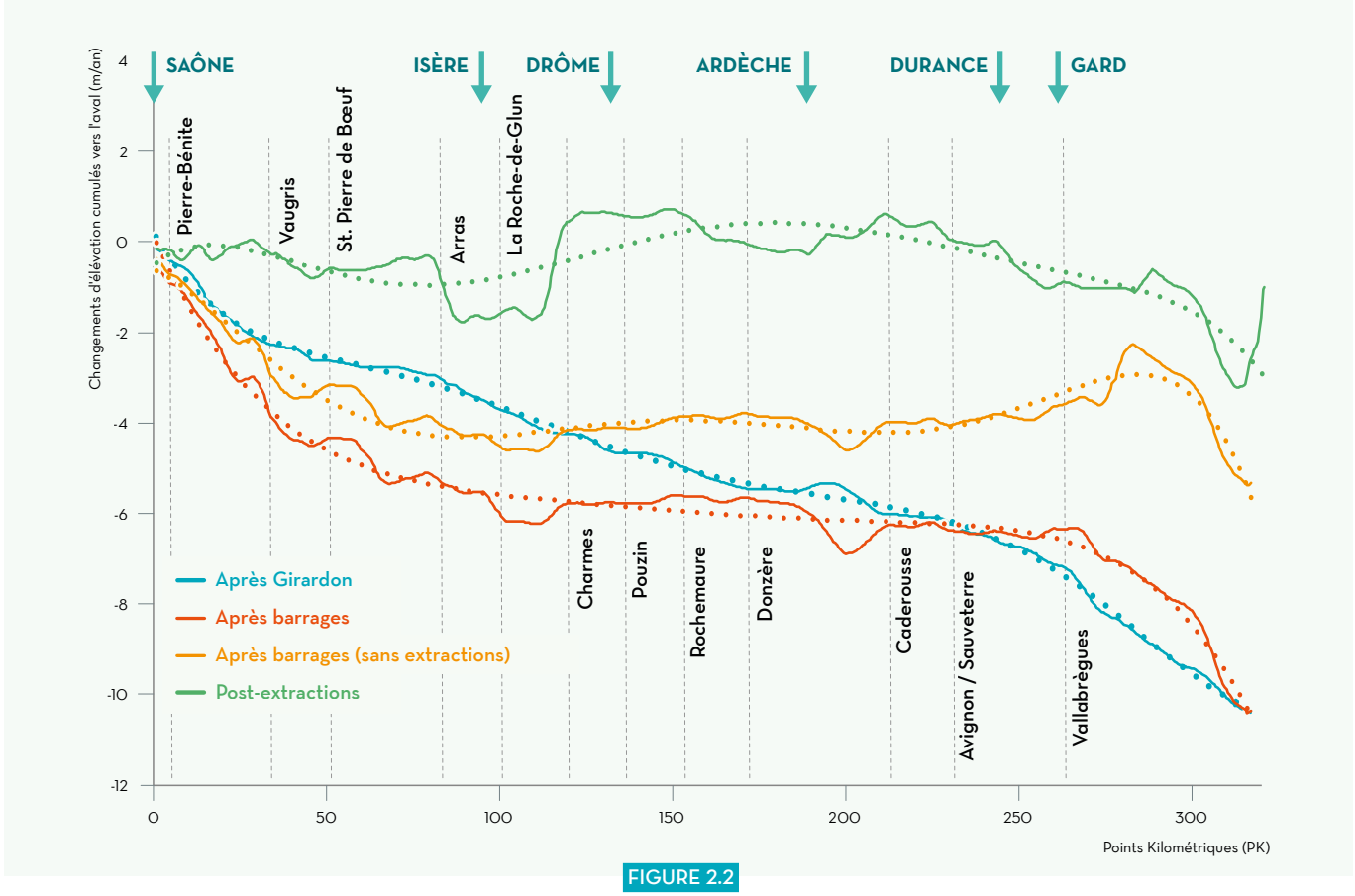


FIGURE 2.2

Cumul longitudinal de la différence altimétrique locale du thalweg du Rhône

Juste après la mise en place des ouvrages Girardon (courbe bleue),
après la phase de construction des barrages incluant l'activité extractive (courbe en rouge) ou non (courbe orange).
La courbe verte indique la situation post-extractive.

cf. glossaire p.64

vation qui ont créé des Rhône court-circuités (RCC) durant la seconde moitié du 20ème siècle (-20%). Le travail cartographique a notamment démontré que la dynamique de recoupement et d'atterrissement des bras fluviaux secondaires s'est complètement modifiée du fait du corsetage des aménagements Girardon et de l'interruption du transport de la charge grossière dans le Rhône (FIGURE 2.1).

Ces analyses combinées ont permis d'identifier et de hiérarchiser les facteurs de contrôle expliquant les changements morphologiques. Elles ont montré que le cours du fleuve est aujourd'hui majoritairement figé, incisé, rétracté et pavé. Le Rhône s'écoule bien souvent dans un chenal unique. Les travaux d'aménagement du chenal principal (casiers Girardon, aménagements hydroélectriques) et certaines pressions agissant directement sur le lit (extractions de graviers) ou sur les flux sédimentaires provenant des affluents (barrages en amont, extractions et curage des confluences) ont ainsi perturbé durablement le fonctionnement hydro-sédimentaire du fleuve.

Ce diagnostic fonctionnel a été essentiel pour définir les actions de restauration et savoir où intervenir en priorité (voir THÉMATIQUE 3).

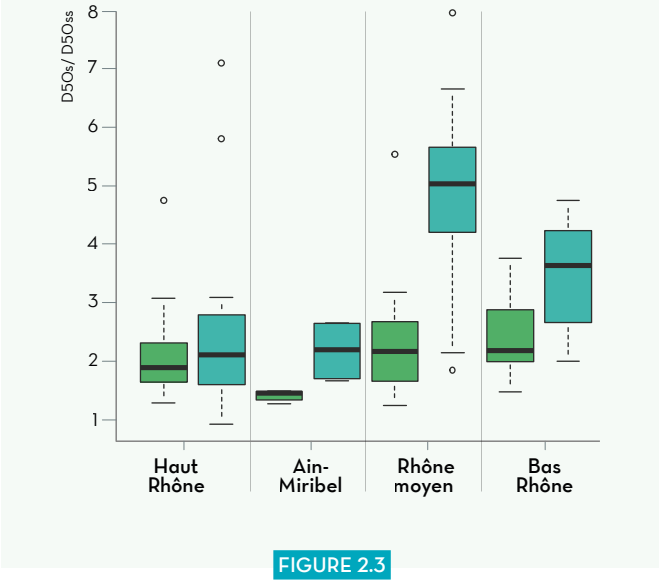


FIGURE 2.3

Indice de pavage dans les différents secteurs du linéaire rhodanien.

L'indice de pavage a été estimé à partir du rapport entre la taille médiane des sédiments de surface et la taille médiane de la couche de sous-surface sur les bancs (en vert) et dans le chenal (en bleu).

UNE PERTE DE DIVERSITÉ DES HABITATS AQUATIQUES

D'une certaine manière, les travaux Girardon ont répondu à leur objectif en provoquant une incision généralisée du lit du fleuve à l'aval de Lyon, qui a pu atteindre localement jusqu'à 7 m dans le secteur de Pierre-Bénite ou à l'aval de la confluence avec le Gard (FIGURE 2.2). L'enfoncement s'est poursuivi au 20ème siècle pendant la phase d'aménagements hydroélectriques et d'extractions de granulats mais de manière moins prononcée. Si l'on observe un enfoncement du lit, on note également une forte variabilité du phénomène entre les différents tronçons court-circuités. Sur le Rhône total (RT), l'évolution verticale est encore plus complexe avec localement et temporairement un exhaussement du lit lié aux effets des retenues des barrages qui stockent et déstockent ici et là des volumes de sables.

La caractérisation de la granulométrie du lit du Rhône a ensuite souligné que de nombreux Rhône court-circuités (RCC) sont aujourd'hui pavés (FIGURE 2.3). L'incision déclenchée par les travaux Girardon a eu pour effet un vannage des particules fines et une augmentation de la taille des sédiments du lit. La modification du régime hydrologique des RCC, consécutive à la dérivation par les canaux d'amenée aux usines hydroélectriques, a également induit une réduction de la fréquence et de la durée des débits morphogènes dans ces RCC. Les sédiments grossiers du fond du lit sont ainsi de plus en plus immobiles.

Cette mobilité faible, voire nulle, des sédiments grossiers qui aujourd'hui pavent le fond du lit affectent directement les habitats benthiques et hyporhéiques. Cette situation est potentiellement à l'origine de processus de colmatage interstitiel au fond du lit et d'une réduction des échanges entre la masse d'eau et la nappe d'accompagnement. Certaines sections sont également

« Est-ce qu'il y a des choses sur lesquelles l'OSR nous a ouvert les yeux ? Il est certain que l'expertise de la CNR et celle construite par les équipes de chercheurs se sont nourries mutuellement. Il y a des choses que l'on savait mais que l'OSR a permis de certifier. Il a confirmé par exemple que nos barrages, et notamment les retenues, ne permettent pas aux graviers et galets de passer. Il y a aussi des choses qu'on ne savait pas. Nous n'avions, par exemple, aucune idée, de par les profondeurs importantes, de quoi était constitué le fond du fleuve. Les prélèvements réalisés tous les cinq kilomètres au fond du Rhône ont apporté des connaissances utiles. CNR a profité de ces recherches conduites par l'OSR. »

SYLVAIN REYNAUD
CNR

« L'OSR nous a permis de beaucoup progresser dans la compréhension collective du fonctionnement actuel du fleuve Rhône et dans la connaissance de ses évolutions historiques. La rétraction de la bande active, l'incision, le pavage, l'évolution des formes, de la granulométrie sont des processus qui ont été précisément caractérisés par l'OSR. Certes, il y a des choses que l'on savait mais pas avec ce niveau de finesse. La trajectoire a été très bien reconstituée. Nous avons aujourd'hui une connaissance des changements hydromorphologiques du lit du Rhône, avant et après aménagement, qui nous met en capacité de mieux travailler à la restauration du bon potentiel écologique du fleuve. »

BENOÎT TERRIER
Agence de l'eau
Rhône Méditerranée Corse

caractérisées par l'affleurement du substratum. En outre, en concentrant les écoulements dans un chenal unique, les aménagements successifs ont également fortement réduit la diversité des habitats aquatiques dans les annexes fluviales.

Ces constats ont conduit, dans le cadre du Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) Rhône-Méditerranée-Corse, à recommander des opérations de recharge sédimentaire sur différents RCC.

UN RENOUVELLEMENT DIFFICILE DES HABITATS RIVERAINS

La déconnexion des milieux riverains a été bien caractérisée. Les travaux de l'OSR ont notamment montré que la fixation du lit et la construction des ouvrages Girardon ont modifié les conditions de sédimentation dans ces milieux riverains. L'accumulation des sédiments fins est forte dans les casiers Girardon et sur les marges terrestres récentes du chenal (FIGURE 2.4). À titre d'exemple, sur le secteur de Péage-de-Roussillon, on estime qu'il y a 674 000 m^3 de sédiments fins qui se sont accumulés au cours du 20ème siècle (sur 77 ha atterris au niveau des marges aménagées). Du fait de cette sédimentation, parfois d'épaisseur pluri-métrique, les milieux riverains se retrouvent perchés par rapport à la ligne d'eau en situation de débit réservé. A Donzère-Mondragon, par exemple, on observe des casiers particulièrement sédimentés et « perchés », situés en moyenne à 3,6 m au-dessus de la ligne d'eau en condition de débit réservé. Ils sont ainsi marqués par une moindre inondation et un moindre renouvellement des surfaces par érosion aréolaire.

Parallèlement à ces processus de sédimentation, la déconnexion des milieux riverains est également associée à un abaissement de la ligne d'eau lorsque le chenal s'incise. Les données d'incision mettent en évidence des spécificités inter et intra-sectorielles contrastées avec, par exemple, une incision maximale atteignant localement -9 m (et une moyenne de -4 m) à Pierre-Bénite secteur d'étude parmi les plus marqués par le phénomène contre une moyenne de -1 m à Péage-de-Roussillon, avec un maximum d'incision de -4 m et un exhaussement maximum de +4 m sur certains secteurs. Du fait de la modification des débits et des lignes d'eau, la mise en dérivation du Rhône a aussi favorisé la mise hors d'eau de bancs alluvionnaires. Par exemple, à Péage-de-Roussillon, la déconnexion entre les marges aménagées et le chenal en basses eaux varie entre de 2 et 3 m. Aussi, compte tenu de la faible dynamique des crues, certains bancs s'exhaussent du fait du dépôt de sédiments

FIGURE 2.4
Illustration photographique de la dynamique d'atterrissement et de boisement des ouvrages Girardon.

cf. glossaire p.64

fins et se végétalisent progressivement. La végétation arborée en place témoigne d'ailleurs de leur stabilité.

Ces deux processus, non-indépendants, conduisent à une déconnexion progressive des habitats riverains. Selon les Rhône court-circuités (RCC) étudiés, ces deux processus de sédimentation et d'incision jouent de manière différente. Ainsi, si la déconnexion des milieux riverains de Pierre-Bénite est fortement associée à l'incision des fonds à la suite des ouvrages Girardon, celle observée sur Donzère-Mondragon ou Montélimar est davantage associée à une sédimentation.

Ceci entraîne des conditions d'habitat différentes le long du corridor rhodanien qui se superposent au gradient climatique nord-sud et induisent une différenciation des communautés végétales riveraines entre RCC. Cette différenciation concerne à la fois la structure et la composition des communautés. Les milieux ainsi créés sont colonisés par une forêt évoluant rapidement vers des stades matures, dominés par les essences post-pionnières (peupliers, frênes, érables) et sans espoir de renouvellement par érosion latérale (**FIGURE 2.4**). Il en résulte un vieillissement généralisé des forêts alluviales et une homogénéisation des communautés au détriment des essences de début de succession (e.g. *Salicaceae*).

Aussi, l'accumulation des sédiments fins dans les ouvrages Girardon entraîne la mise à disposition d'habitats très productifs, riches en ressources, qui semblent avant tout bénéficier aux espèces exotiques envahissantes, notamment l'érable negundo.

Certains secteurs végétalisés sont localement contaminés en métaux et des transferts aux plantes (notamment aux ligneux) ont été observés. En effet, l'étude de tissus foliaires provenant des communautés végétales en place dans les casiers Girardon de Péage-de-Roussillon a notamment mis en évidence des anomalies chimiques en ce qui concerne le zinc, le plomb, l'arsenic et le cadmium. Celles-ci ne sont ni systématiques, ni extrêmes, indiquant plutôt un milieu localement et modérément contaminé en éléments traces métalliques (ETM).

Les travaux ont également porté sur des milieux pionniers, bien souvent prairiaux qui se sont établis sur certaines parties exondées de ces RCC, notamment d'anciens bancs. Ces milieux font l'objet d'interventions mécaniques par la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) visant à les rajeunir et à empêcher l'établissement d'un boisement qui pourrait poser problème en termes d'inondation en réduisant la section d'écoulement et en augmentant sa rugosité. Sur ces milieux, les successions végétales sont ainsi bloquées aux stades les plus pionniers sur des dépôts plus ou moins importants de sédiments fins. Du fait de l'absence de remobilisation, ces dépôts tendent à favoriser des communautés végétales basses dominées par des espèces pérennes compétitives à fort recouvrements (e.g. baldingère faux-roseaux, roseau commun et chiendent), au détriment des communautés pionnières rudérales (e.g. petites persicaires, bidens et petits souchets). À terme, ces processus d'atterrissement tendent à favoriser une homogénéisation biotique des communautés riveraines le long des gradients locaux d'inondation.

Ces résultats soulignent que la redynamisation des marges artificielles du fleuve associée à une réactivation du transport de la charge de fond constitue une stratégie de restauration sans doute pertinente pour envisager des processus de rajeunissement de ces milieux en voie de vieillissement et de perte de biodiversité spécifique.

CE QU'IL FAUT **RETENIR**

La capacité d'ajustement du lit du Rhône est globalement réduite dans le contexte hydraulique actuel, suite à l'incision déclenchée par les travaux Girardon au 19ème siècle, au tarissement sédimentaire des apports des affluents, à la limitation de la capacité de transport du fleuve en amont des barrages de retenue et à la réduction de la fréquence des débits morphogènes dans les Rhône court-circuités (RCC) par les aménagements hydroélectriques au 20ème siècle.

Ces modifications morphologiques du lit du fleuve ont un impact écologique fort sur la qualité des habitats aquatiques et riverains. En l'absence de dynamique fluviale, une homogénéisation des conditions d'habitats et des communautés végétales associées est à craindre.

La restauration d'habitats fonctionnels pour la biodiversité nécessite donc des actions visant à promouvoir les capacités érosives sur les berges et le transit des sédiments grossiers (graviers et galets).

© J.-M. Olivier

THÉMATIQUE 3

ÉVALUER LA FAISABILITÉ DES ACTIONS DE RESTAURATION ET MESURER LA RÉPONSE DU FLEUVE

QUELS SONT LES ENJEUX DE GESTION ?

Les travaux de recherche développés dans le cadre de l'Observatoire des Sédiments du Rhône (OSR), visent à mieux évaluer la faisabilité des actions de restauration. L'enjeu est notamment de déterminer le niveau d'intervention requis pour avoir une réponse hydromorphologique et de mesurer les risques associés à ces actions (notamment en termes de contamination des sédiments). Ils doivent également permettre de suivre et d'évaluer les bénéfices de ces actions en termes de diversité et de durabilité des habitats aquatiques et riverains.

QUELLES SONT LES QUESTIONS DE RECHERCHE ?

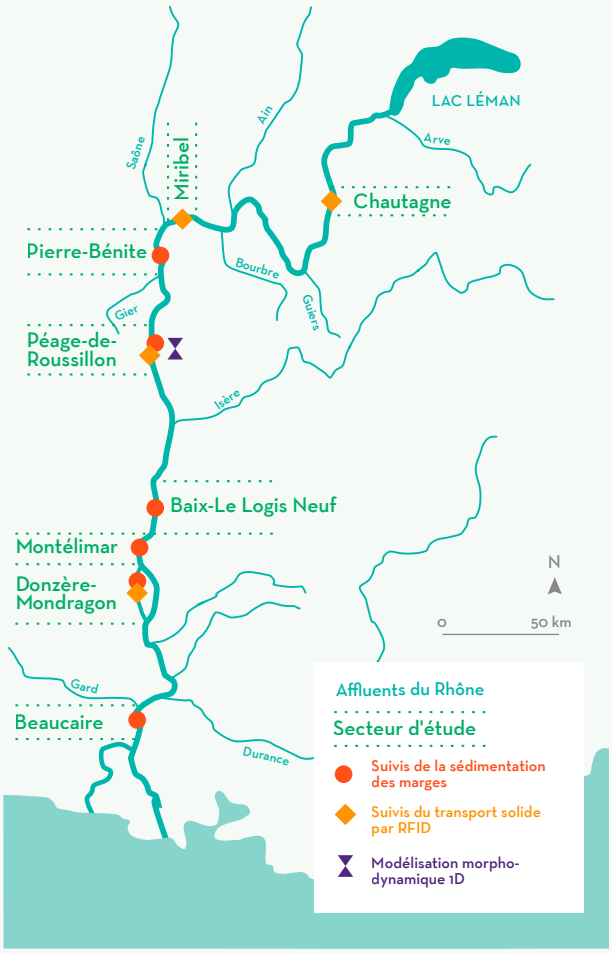
- Quelles sont les actions de restauration envisagées pour améliorer l'état écologique du fleuve ?
- Les actions de redynamisation peuvent-elles contribuer à réalimenter le flux solide du fleuve ?
- Ne sont-elles par source de nuisance en contribuant à réinjecter des contaminants dans le fleuve ?
- Quelle quantité de sédiments grossiers injecter pour avoir une diversification des conditions d'habitat ?
- N'y a-t-il pas un risque de transfert trop rapide des sédiments vers l'aval ?

QUELLE EST LA ZONE D'ÉTUDE ?

Les travaux liés à la restauration portent sur différents tronçons de Rhône court-circuités (RCC) le long du continuum rhodanien, depuis le secteur de Chautagne à l'amont, jusqu'au secteur de Beaucaire à l'aval (CARTE 3).

- CARTE 3 -

Évaluation de la faisabilité et des effets de la redynamisation des marges alluviales et des recharges sédimentaires



« Les mesures prévues par le SDAGE 2022-2027 pour l'atteinte du bon potentiel écologique du fleuve, s'appuient sur les connaissances produites par l'OSR. Au niveau de l'Agence de l'eau, le Schéma directeur de ré-activation de la dynamique fluviale des marges du Rhône sert notamment de feuille de route pour la planification des opérations de restauration qui touchent aux sédiments. Au plan opérationnel nous avons pu, grâce aux collaborations avec les équipes de recherche, évaluer la faisabilité mais aussi orienter et prioriser, par secteur, les actions de remobilisation des marges. Nous avons également progressé sur les expérimentations en matière de réinjection sédimentaires. Où réinjecter ? Quels volumes ? Comment les sédiments remis au fleuve se propagent ? L'OSR a un rôle assez fondamental pour lever ces interrogations. »

BENOÎT TERRIER
Agence de l'eau
Rhône Méditerranée Corse

UNE CLARIFICATION DES TYPES DE RESTAURATION ENVISAGEABLES SUR LE FLEUVE

De nombreuses actions de restauration sont aujourd'hui conduites ou envisagées sur le fleuve :

- relèvement et modulation saisonnière du débit réservé (suivi dans RhônEco) ;
- restauration des bras secondaires (suivi dans RhônEco) ;
- réélargissement du chenal par enlèvement d'ouvrages latéraux ;
- redynamisation de marges par une intervention sur les ouvrages latéraux afin d'augmenter leur fréquence de connexion ;
- recharge sédimentaire par érosion maîtrisée en lien avec des opérations de redynamisation ou de réélargissement ;
- recharge sédimentaire par réinjection mécanique.

Les recherches réalisées dans le cadre de l'OSR ont contribué à clarifier la nature de ces actions. Elles ont notamment permis de distinguer les opérations de réélargissement et les opérations de redynamisation. Les premières visent à retirer des ouvrages Girardon afin d'élargir une section pour augmenter notamment sa débitance tout en recréant des milieux riverains pionniers. Dans le cas de la redynamisation, l'enlèvement des ouvrages vise à reconnecter des milieux riverains terrestres afin qu'ils soient plus souvent inondables ou plus humides. Réélargissement et redynamisation peuvent également conduire à fragiliser la berge afin de la rendre érodable et réinitier un transport de charge de fond dans le chenal.

Le travail collectif a permis de valider l'intérêt écologique de démanteler les casiers Girardon terrestres (espaces et alluvions remis à disposition du fleuve), d'envisager la conservation de certains casiers encore en eau car ils peuvent présenter un potentiel écologique, voire leur redynamisation en modifiant les conditions de connexion.

En tenant compte d'une série d'enjeux et d'opportunités identifiée dans le Schéma directeur de réactivation de la dynamique fluviale des marges du Rhône réalisé par l'OSR, il a été possible de mieux sélectionner les secteurs sur lesquels des opérations de redynamisation peuvent être programmées. Celles-ci peuvent s'accompagner ou non d'opérations de restauration du transport solide.

RISQUES ET OPPORTUNITÉS DE LA REDYNAMISATION DES MARGES ET DU RÉÉLARGISSEMENT DU FLEUVE

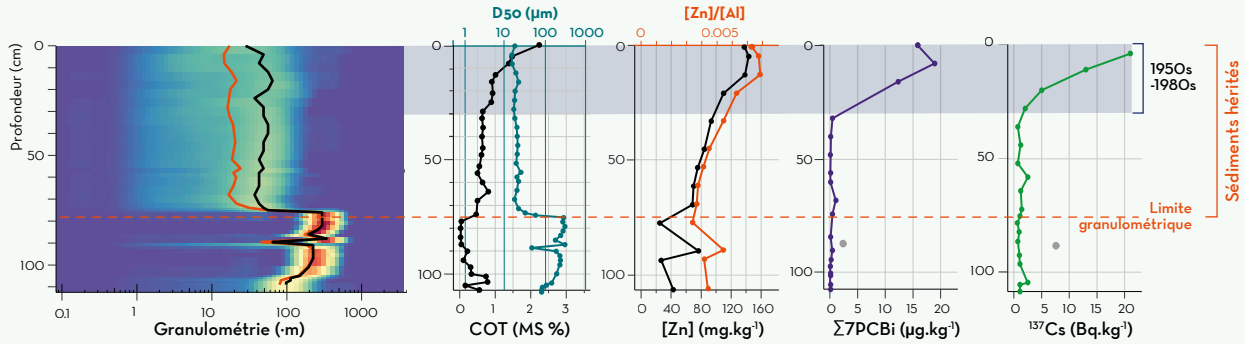
Plusieurs actions ont été engagées dans ce cadre. Un diagnostic des processus d'atterrissement a été réalisé. Les réponses géomorphologiques des marges aux aménagements (ouvrages Girardon et ouvrages en dérivation) ont été caractérisées sur les Rhône court-circuités (RCC) de Pierre-Bénite, Péage-de-Roussillon, Baix-Le Logis Neuf, Montélimar, Donzère-Mondragon ainsi que sur le secteur de Beaucaire. Une méthodologie a été développée afin d'établir un diagnostic des stocks sédimentaires en place, d'analyser leurs caractéristiques granulométriques et leur contamination par les Éléments Traces Métalliques (ETM) et les polychlorobiphényles (PCB). Cette analyse spatio-temporelle des dépôts sédimentaires a été développée à partir de la combinaison de 3 types d'analyses : géophysiques (radar géologique), sédimentaires (sondage à la perche, carottage, analyses physico-chimique) et géomatiques (**FIGURE 3.1**).

Les travaux de l'OSR montrent que la sédimentation a été influencée par la

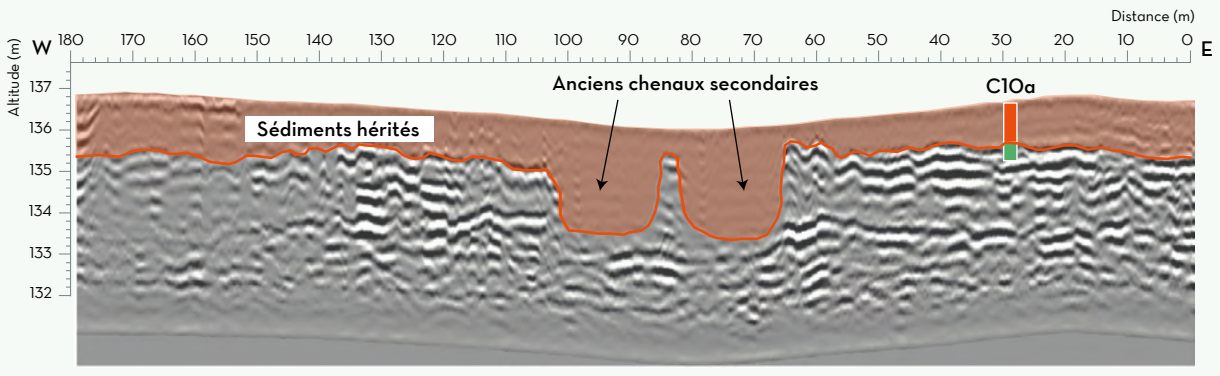
cf. glossaire p.64

mise en place des casiers Girardon et ensuite des barrages en dérivation. Les ouvrages Girardon sont à l'origine d'une rupture granulométrique nette entre des sédiments sableux anciens (de 100 à 1 000 µm) au-dessus desquels repose une couche de 0,5 m à 1 m de particules fines (de 10 à 100 µm), ces dernières étant particulièrement homogènes verticalement. La mise en place des barrages, quant à elle, a provoqué une nette baisse de la connectivité latérale qui s'est traduite par une diminution de la sédimentation sur les marges des RCC, voire un arrêt total sur certains secteurs des RCC, notamment les plus hauts, les plus anciens et les plus éloignés de l'axe principal. Le lit majeur inondé pour des événements plus que décennaux n'a pas enregistré de sédimentation fine au cours du 20ème siècle.

FIGURE 3.1



A. Caractérisation d'une carotte de sédiments (C10a) prélevée sur le secteur de Péage-de-Roussillon
(de gauche à droite : taille des grains, concentration en zinc, concentration en PCB et activité du ^{137}Cs)



B. Exemple de profil réalisé par radar géologique (GPR) sur le secteur de Péage-de-Roussillon
(d'après Vauclin et al., 2020)

« La restauration du bon potentiel écologique du fleuve passe nécessairement par des actions sur les sédiments du fleuve, afin de restaurer une dynamique fluviale et diversifier les habitats des vieux Rhône. La réglementation demande également à ce que les matériaux issus des dragages soient réinjectés prioritairement au fleuve. Mais techniquement, de nombreuses questions se posent encore sur les modalités de réalisation de ces recharges sédimentaires. Où déposer ces sédiments excédentaires ? Comment les restituer pour satisfaire au mieux les différents enjeux (plus-value écologique, non aggravation des crues, gestion des sédiments contaminés, ...). L'OSR a permis d'apporter de premiers éléments de réponses très intéressants. »

FANNY TROUILLARD DREAL Auvergne-Rhône-Alpes.

Les travaux ont également montré que si les couches de surface sont constituées de sédiments fins, elles reposent bien souvent sur des alluvions grossières qui peuvent être localement abondantes, y compris dans les casiers Girardon du fait de l'incision du lit. Ces sédiments grossiers sont des ressources d'intérêt pour la redynamisation du transport solide (**FIGURE 3.2**).

Les réponses en termes de contamination historique (ETM et PCB) des sédiments déposés sur les marges alluviales ont elles aussi été caractérisées sur les RCC de Pierre-Bénite, Péage-de-Roussillon et Donzère-Mondragon. On constate une tendance à l'augmentation des concentrations en ETM depuis la fin du 19ème siècle, ainsi qu'une augmentation des concentrations en PCB depuis les années 1950 jusqu'à la mise en place des barrages. Sur la plupart des sites, ces concentrations restent toutefois inférieures aux seuils écotoxicologiques couramment utilisés ; tels que la « concentration d'effet probable » (PEC) et la « concentration seuil d'effet avéré » (TEC). Les RCC les plus affectés sont ceux qui ont enregistré une forte sédimentation au moment où les flux de contaminants étaient les plus importants, soit dans les années 1980-1990. C'est principalement le cas de certains casiers de Péage-de-Roussillon.

Outre les casiers et les plaines d'inondation, les annexes fluviales se déconnectent plus ou moins progressivement après la mise en place des dérivations (années 1950-1980), et accumulent des sédiments plus fins. Ces environnements ont enregistré des contaminations nettement plus importantes que les plaines d'inondation, qui sédimentent peu depuis les aménagements Girardon.

Les travaux de l'OSR ont ainsi permis de mieux identifier les risques et les opportunités dans le cadre du démantèlement de certains casiers atterris. Les casiers n'ont pas uniquement été comblés par des fines mais présentent aussi, pour certains, des stocks importants d'alluvions grossières. A titre d'exemple, sur 77 ha atterris au niveau des marges aménagées de Péage-de-Roussillon, on estime qu'il y a plus de 720 000 m³ de sédi-

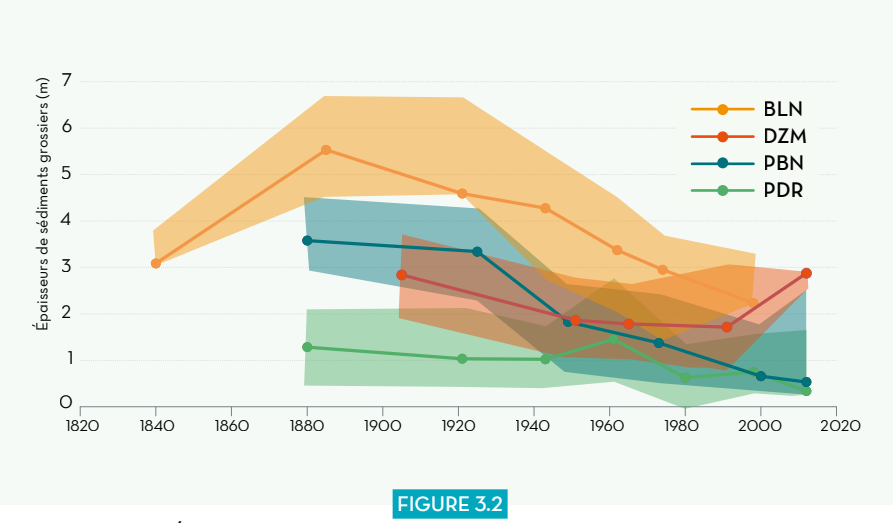


FIGURE 3.2

Épaisseurs de sédiments grossiers stockés sur les marges du Rhône en fonction du début de la phase d'atterrissement.

Secteurs de Pierre-Bénite (PBN), Péage-de-Roussillon (Péage-de-Roussillon), Baix-Le Logis Neuf (BLN), Montélimar (MON), Donzère-Mondragon (DZM). Les zones en transparence représentent l'intervalle inter-quartile.

cf. glossaire p.64

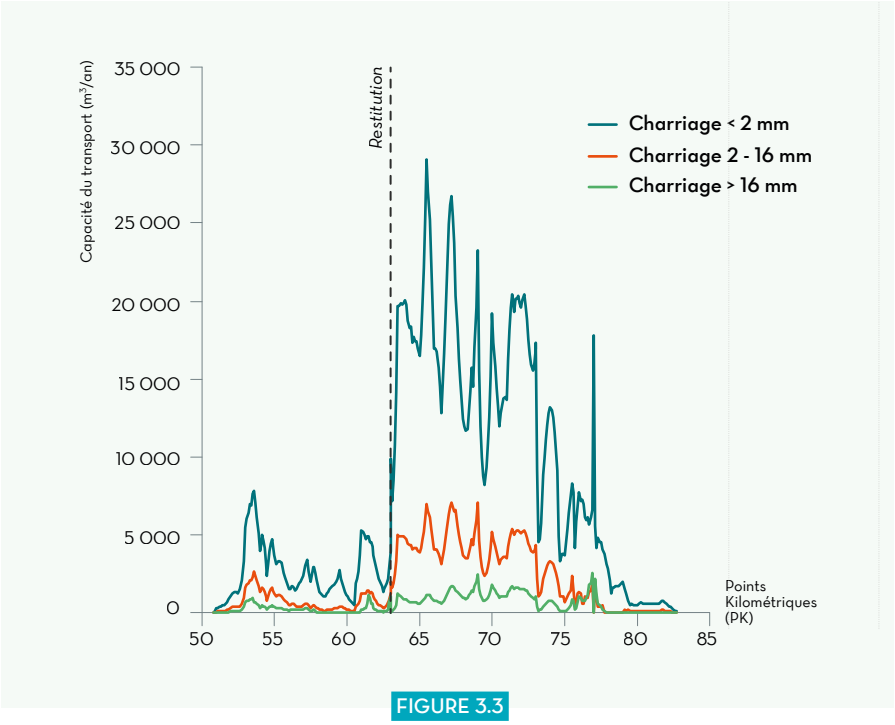


FIGURE 3.3

Capacité annuelle de transport par charriage estimée pour le secteur du Péage-de-Roussillon pour différentes classes de taille granulométrique.

ments grossiers stockés en dessous d'une couche de sédiments fins dont le volume est lui-même évalué à 674 000 m³. Ces casiers peuvent ainsi être ciblés pour des démantèlements stratégiques visant des érosions contrôlées et une reprise des matériaux susceptibles d'améliorer le substrat grossier du lit mouillé et les habitats riverains pionniers. Ceci est d'autant plus pertinent que ces milieux artificiels présentent une dynamique de renouvellement des espèces ripicoles qui est bloquée : disparition d'essences à bois tendre (e.g. *Populus alba*, *Populus nigra*, *Salix alba*) typiques des milieux alluviaux en faveur d'essences à bois dur typique des successions secondaires (e.g. *Fraxinus angustifolia*, *Ulmus minor*) mais aussi le développement d'invasives (e.g. *Acer negundo*, *Fallopia japonica* pour la strate herbacée et arbustive). L'érosion contrôlée permet ainsi d'envisager un renouvellement de ces milieux, une recolonisation par des peuplements pionniers.

SUIVI DES RECHARGES SÉDIMENTAIRES PAR RÉINJECTIONS MÉCANIQUES

Le thème de la recharge sédimentaire est abordé sous deux angles principaux :

- une évaluation des volumes et des tailles de sédiments potentiellement mobilisables dans un contexte hydraulique donné ;
- un suivi de la mobilité permettant notamment d'alimenter des modèles de prédiction des vitesses de transfert et des temps d'évacuation des volumes injectés au sein d'un tronçon donné. Ce travail permet d'évaluer les risques associés à la mobilité et la durabilité des actions envisagées. Les modèles permettent également de valider les évaluations des volumes et des tailles mobilisables.

Les diamètres mobilisables ont été déterminés en fonction de la granulométrie du fond du lit et des débits estimés et observés. Les capacités de transport par charriage ont été estimées par classes granulométriques à différents débits au sein des Rhône court-circuités (RCC) et des retenues en aval susceptibles de bénéficier de recharges (FIGURE 3.3). L'analyse des zones potentielles d'érosion et de dépôt via un modèle morpho-dynamique a également permis d'aboutir à une meilleure compréhension des transferts de charge de fond en fonction des

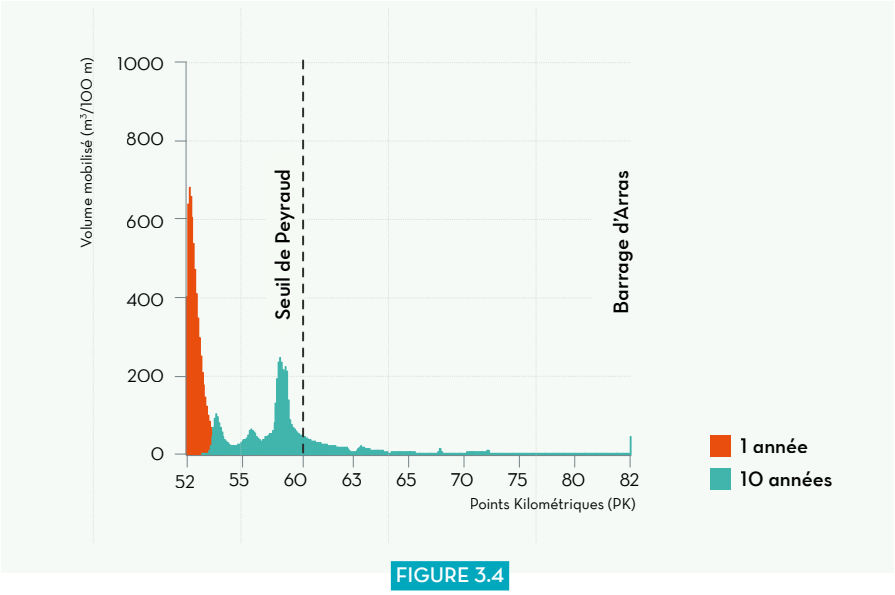


FIGURE 3.4

Estimation de la propagation du sédiment réinjecté.

Opération de recharge sédimentaire (~7000 m³) réalisée en 2018 dans le secteur du Péage-de-Roussillon.

© V. Matznek

Échantillonnage des sédiments grâce à une tarière pédologique manuelle afin d'obtenir des profils sédimentaires verticaux.

conditions hydrauliques actuelles au sein des RCC.

Le suivi des recharges sédimentaires par réinjection[?] mécanique a été réalisé sur plusieurs RCC, notamment à Péage-de-Roussillon et à Donzère-Mondragon, à partir des techniques de traçage par RFID[?]. Ces techniques sont également utilisées pour suivre le transport solide en dehors des secteurs de restauration du transit[?] comme à Chautagne ou à Miribel où il existe encore un transport de charge de fond[?]. L'ensemble des sites suivis qu'ils fassent l'objet d'une réinjection ou non alimente une base de données qui est utilisée pour la modélisation.

Ces suivis rendent compte de la vitesse de propagation du sédiment injecté vers l'aval. Ils nourrissent également les modèles existant dans la littérature pour prédire les distances de transport des sédiments réinjectés dans le Rhône et les temps d'évacuation de la charge en dehors d'un tronçon donné (FIGURE 3.4). Des vitesses de propagation moyennes autour de 300-1000 m/an ont été estimées pour les secteurs de Donzère-Mondragon et Péage-de-Roussillon. Les suivis permettent aussi d'observer la taille des particules mobiles et de les analyser au regard des tailles estimées par modélisation et des tailles disponibles (dépôts injectables), permettant ainsi de valider les calculs préalables en termes de volume et de taille mobilisables.

Un modèle morphodynamique 1D[?] préliminaire et simplifié (profils rectangulaires, pente uniforme, granulométrie moyenne) a également été réalisé pour estimer les évolutions morphologiques résultant du transfert aval des matériaux injectés. Pour un scénario d'une injection de 6 500 m³ à Péage-de-Roussillon évaluée 50 ans post-réinjection, le modèle indique que la charge se diffuse légèrement en aval et se dépose en amont du seuil de Peyraud, mais que l'exhaussement[?] reste très faible (1 - 2 cm maximum). De plus, la granulométrie de surface baisse très légèrement par rapport à la condition avant la réinjection (22 mm et 25 mm respectivement). Ce volume semble ainsi trop faible pour diversifier la morphologie[?] du lit. Il peut cependant diversifier le substrat et avoir des effets sur la faune benthique. La réponse biotique à la suite des changements physiques n'a toutefois pas encore été validée par des suivis ad hoc.

? cf. glossaire p.64

© N. Noclin

Sondage géophysique par GPR embarqué sur la lône de Limony, en aval du barrage de Saint-Pierre-de-Bœuf.

CE QU'IL FAUT **RETENIR**

Des réflexions transdisciplinaires ont été engagées par l'équipe scientifique de l'OSR en lien étroit avec les gestionnaires du fleuve. Elles ont permis de préciser les différentes formes d'action de restauration qui peuvent être envisagées sur le Rhône en fonction des différents contextes d'intervention.

L'analyse des stocks sédimentaires sur les marges a permis de mieux identifier les secteurs pertinents en termes de recharge par des sédiments grossiers (volume disponible, position des stocks sur le continuum, quantités de fines). Par exemple, à Péage-de-Roussillon, le ratio des volumes estimés de sédiments fins sur les alluvions grossières rend certains sous-secteurs particulièrement intéressants (720 000 m^3 de sédiments grossiers stockés en dessous de 674 000 m^3 de sédiments fins sur 77 ha atterris). L'OSR a également montré que les risques de réintroduction de sédiments potentiellement contaminés étaient limités. Cependant, certains dépôts se forment dans les années 1970-1980 au moment où les flux de contaminants sont les plus importants (e.g. PCBi, ETM). Cela concerne notamment certains secteurs de Péage-de-Roussillon où les dépôts associés aux périodes potentiellement les plus « chargées » en Zinc et en Plomb correspondent à un volume total cumulé d'environ 80 000 m^3 de sédiment fins (réparti non uniformément). Ainsi, des volumes potentiellement contaminés existent sur le continuum mais il est possible de les localiser si l'on connaît bien l'histoire de la sédimentation des marges. Cela permet de choisir stratégiquement les structures à démanteler, tout en tenant compte des capacités érosives du chenal au droit des zones ciblées.

Les recharges sédimentaires réalisées sur le fleuve font l'objet d'un suivi par des techniques RFID. Ces travaux permettent de mieux identifier les secteurs pertinents de recharge et de mieux évaluer les volumes nécessaires, les tailles mobilisables et les vitesses et les temps de transit dans les Rhône court-circuités (RCC). Les premiers résultats soulignent que la vitesse de propagation des sédiments réinjectés n'est pas très rapide (quelques centaines de mètres par an) et permet potentiellement une diversification du fond de lit à condition que la quantité de matériaux soit suffisante.

© J.-M. Olivier

THÉMATIQUE 4

COMPRENDRE LES CONSÉQUENCES DES ÉVOLUTIONS MORPHOLOGIQUES DU CHENAL SUR L'ALÉA INONDATION

QUELS SONT LES ENJEUX DE GESTION ?

La caractérisation de l'évolution de l'aléa inondation est un enjeu important pour la gestion du risque à l'échelle du corridor fluvial. Les travaux conduits dans le cadre de l'Observatoire des Sédiments du Rhône (OSR) permettent de questionner le lien entre les aménagements historiques du Rhône (ouvrages Girardon au 19ème siècle et aménagements hydroélectriques au 20ème siècle) et la modification de la débitance[?] du fleuve et du régime de crue.

QUELLES SONT LES QUESTIONS DE RECHERCHE ?

- La géométrie du lit du fleuve a-t-elle changé au cours du dernier siècle ?
- Quel est l'effet des aménagements dans cette potentielle évolution ?
- La sédimentation fine modifie-t-elle significativement cette géométrie au point d'affecter la débitance du lit ?
- Le régime de crue du fleuve a-t-il changé au cours de la période ?
- Quelle est la conséquence de ce changement sur l'aléa inondation ?

QUELLE EST LA ZONE D'ÉTUDE ?

La zone d'étude couvre le continuum rhodanien, depuis Lyon jusqu'à Arles. Un travail particulier est réalisé sur les secteurs de Péage-de-Roussillon et de Donzère-Mondragon (CARTE 4).

- CARTE 4 -

Caractérisation des effets des évolutions morphologiques du fleuve sur l'aléa inondation

EFFET DES CHANGEMENTS MORPHOLOGIQUES HISTORIQUES SUR LA DÉBITANCE DU FLEUVE

La géométrie du lit du Rhône a fortement évolué au cours du 20ème siècle. Les chercheurs de l'OSR ont caractérisé l'évolution verticale du lit de Lyon à Arles en réponse aux grandes phases d'aménagements (voir THÉMATIQUE 2). Ils ont également caractérisé l'évolution en plan (largeur, nombre de bras actifs) sur plusieurs secteurs (Pierre-Bénite, Péage-de-Roussillon, Donzère-Mondragon, Montélimar, Baix-Le Logis Neuf, Beaucaire) montrant un important processus de rétraction du lit mouillé (60% en moyenne). Le processus de sédimentation a également été caractérisé. Il n'a pas véritablement affecté le lit majeur existant au début du 20ème siècle mais s'est avant tout manifesté dans les casiers Girardon et les bras fluviaux qui ont été déconnectés par ces ouvrages. La granulométrie du fond du lit a également changé, celle-ci étant aujourd'hui beaucoup plus grossière sur les secteurs de Rhône court-circuités (RCC), affectant de fait la rugosité du chenal. L'évolution des conditions hydrauliques à la suite de ces changements morphologiques a fait l'objet d'une analyse fine sur les secteurs de Péage-de-Roussillon et de Donzère-Mondragon. Cette analyse modélise de manière séquencée l'effet des différents changements : rétraction du lit liée aux casiers et à la sédimentation fine sur les marges ; incision et rétraction du lit principal ; déconnexion des bras secondaires ; dérivation (FIGURE 4.1).

La géométrie du modèle a été développée à partir des cartes numérisées de 1897 (les scénarios i à iii) et du LIDAR 2015 (les scénarios iv à v). Les paramètres hydrauliques (Strickler et coefficients de débit) ont été calculés à partir des données enregistrées sur

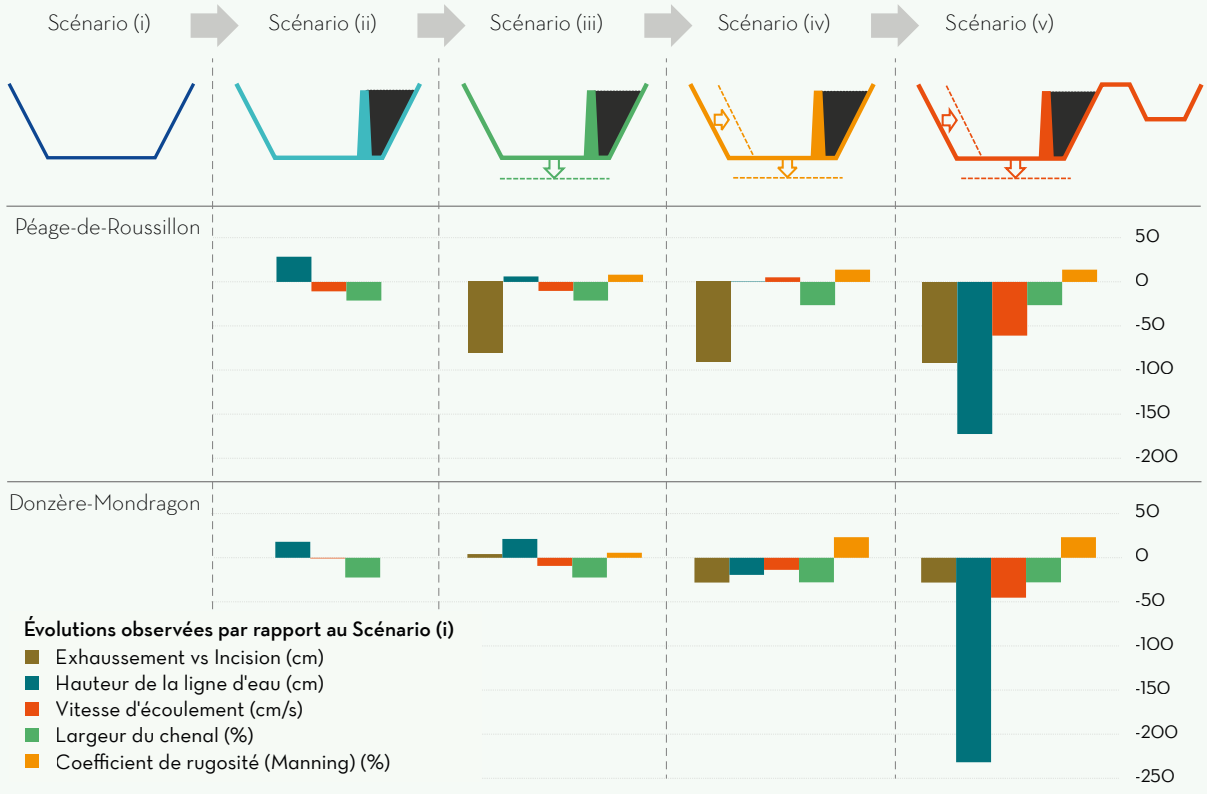
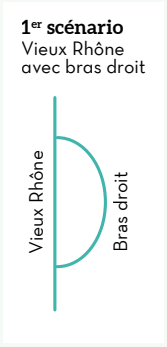


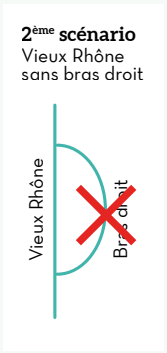
FIGURE 4.1

Incision et évolutions de la ligne d'eau, de la largeur, de la vitesse d'écoulement et de la rugosité du chenal sur les secteurs de Péage-de-Roussillon et Donzère-Mondragon en fonction de différents scénarios :

(i) avant la réalisation des Casiers Girardon correspondant à l'état initial ;
(ii) tout de suite après la construction des casiers ;
(iii) 30 ans après la construction des casiers (intégrant ainsi l'effet des casiers et les ajustements morphologiques séculaires) ;
(iv) aujourd'hui sans les aménagements hydro-électriques (ouvrages et dérivations) ;
(v) aujourd'hui avec les aménagements hydro-électriques.

cf. glossaire p.64





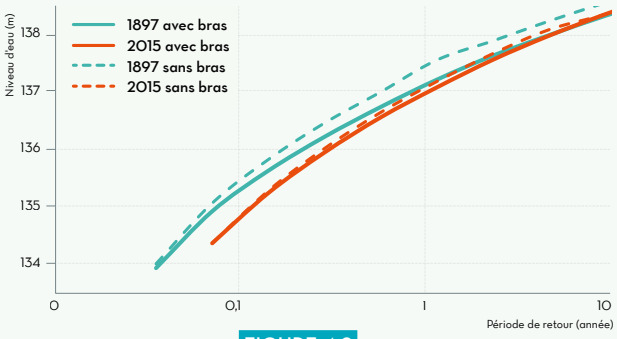


FIGURE 4.2

Différences entre les niveaux d'eau moyens dans le Vieux Rhône selon le caractère actif ou non d'un bras secondaire.

Bras de la Platière, secteur de Péage-de-Roussillon.

« L'OSR produit et partage des données sur le fonctionnement hydro-sédimentaire du fleuve. C'est aussi, pour les acteurs du Rhône, un lieu d'échange et de construction d'une culture commune autour des enjeux de la gestion sédimentaire. Côté DREAL nous sommes particulièrement intéressés par les travaux que l'OSR mène sur les effets de la sédimentation des marges du Rhône sur le niveau de la ligne d'eau. Il est important pour nous de comprendre le phénomène et aussi prévoir son évolution. C'est pourquoi nous suivons aussi avec intérêt les résultats des études menées sur les élargissements du Rhône et la suppression des casiers Girardon menés par la CNR. Quel est l'effet positif de ces travaux de restauration écologique sur la ligne d'eau à une échelle locale mais également à une plus large échelle ? L'OSR apporte des éléments de connaissance qui nous sont utiles pour protéger les territoires du risque d'inondation. »

FANNY TROUILLARD
DREAL Auvergne-Rhône-Alpes

le terrain et contrôlés à partir du modèle hydrodynamique 1D validé (INRAE) et des mesures de granulométrie de subsurface pour les trois premiers scénarios et de surface pour les scénarios suivants. Le modèle a été exécuté pour une gamme de débits dans le Rhône total (RT) de 500 à 4 700 m³/seconde à Péage-de-Roussillon et de 500 à 6 179 m³/seconde à Donzère-Mondragon, le débit maximal retenu sur chacun des RCC correspondant au débit décennal. Il n'est pas nécessaire d'aller au-delà du débit décennal pour évaluer l'effet des changements morphologiques sur la débitance dans la mesure où le lit d'inondation pour les événements extrêmes n'a pas évolué morphologiquement au cours du 20ème siècle.

Cette analyse souligne que les changements de débitance auraient varié selon les sites en fonction de l'emprise des casiers dans le lit mouillé et des évolutions morphologiques de ce dernier. Sur Péage-de-Roussillon et sur Donzère-Mondragon, la ligne d'eau pourrait avoir augmenté significativement (+28 cm sur Péage-de-Roussillon et +18 cm sur Donzère-Mondragon) après la construction des casiers du fait de l'obstruction qu'ils génèrent.

Au-delà de la construction des casiers, les changements morphologiques observés au cours du 20ème siècle pourraient avoir joué un rôle majeur dans l'évolution des lignes d'eau. Sur Donzère-Mondragon, la ligne d'eau augmente encore légèrement

(+3 cm) du fait d'un exhaussement du fond du lit (+4 cm) et d'une réduction des vitesses (-9 cm/seconde). Sur Péage-de-Roussillon, les effets hydrauliques des casiers sédimentés semblent pondérés par les ajustements morphologiques (+80 cm d'incision). La ligne d'eau après ces ajustements rejoint celle observée à l'état initial à la suite notamment d'une incision du lit. Dans les deux cas, les ouvrages Girardon, du fait des ajustements morphologiques qui ont suivi leur construction, ne semblent pas exacerber les niveaux d'eau pour les crues fréquentes (en dessous de la crue décennale).

L'analyse montre également qu'à Donzère-Mondragon et Péage-de-Roussillon la dérivation lors des aménagements hydroélectriques joue un rôle clé dans la réduction des niveaux, des vitesses et des profondeurs d'eau. Le débit à plein bord augmente en raison de la dérivation (de ~ 2 000 à ~ 3 500 m^3/seconde) et la dérivation réduit ainsi entre 10 et 100 fois la fréquence de la crue annuelle du vieux Rhône.

La variation de la débitance du Rhône est également liée à la réduction du nombre de bras. L'effet de la déconnexion du bras latéral de la Platière a également été analysé (FIGURE 4.2). Le fleuve a été modélisé selon quatre conditions, avec et sans le bras, dans la géométrie initiale et actuelle. Les résultats montrent qu'en 1897 le chenal secondaire de la Platière présentait une débitance sans doute plus importante que celui d'aujourd'hui et influençait plus significativement les niveaux d'eau dans le chenal principal. Lorsque le débit est inférieur à 1 000 m^3/seconde (~Q0.1), le bras latéral est aujourd'hui déconnecté alors qu'avant les casiers Girardon ce bras était connecté pour des débits inférieurs à 500 m^3/seconde (~Q0.03).

EFFETS DES AMÉNAGEMENTS SUR L'ÉVOLUTION DU RÉGIME DE CRUE

Des limnigrammes du moyen et bas Rhône, antérieurs aux aménagements Girardon et à ceux de la Compagnie Nationale du Rhône (CNR), ont été récoltés dans diverses archives afin de mettre en évidence d'éventuels effets de ces travaux sur la dynamique des crues. Ils viennent s'ajouter à une chronique exceptionnellement ancienne mesurée à Beaucaire et débutant en 1816. L'analyse conduite s'est ainsi limitée au linéaire fluvial entre Lyon et Beaucaire, considérant que les aménagements à l'amont de Lyon n'ont eu que peu d'influence sur la dynamique des crues du fait de leur forme différente et de leur moindre présence.

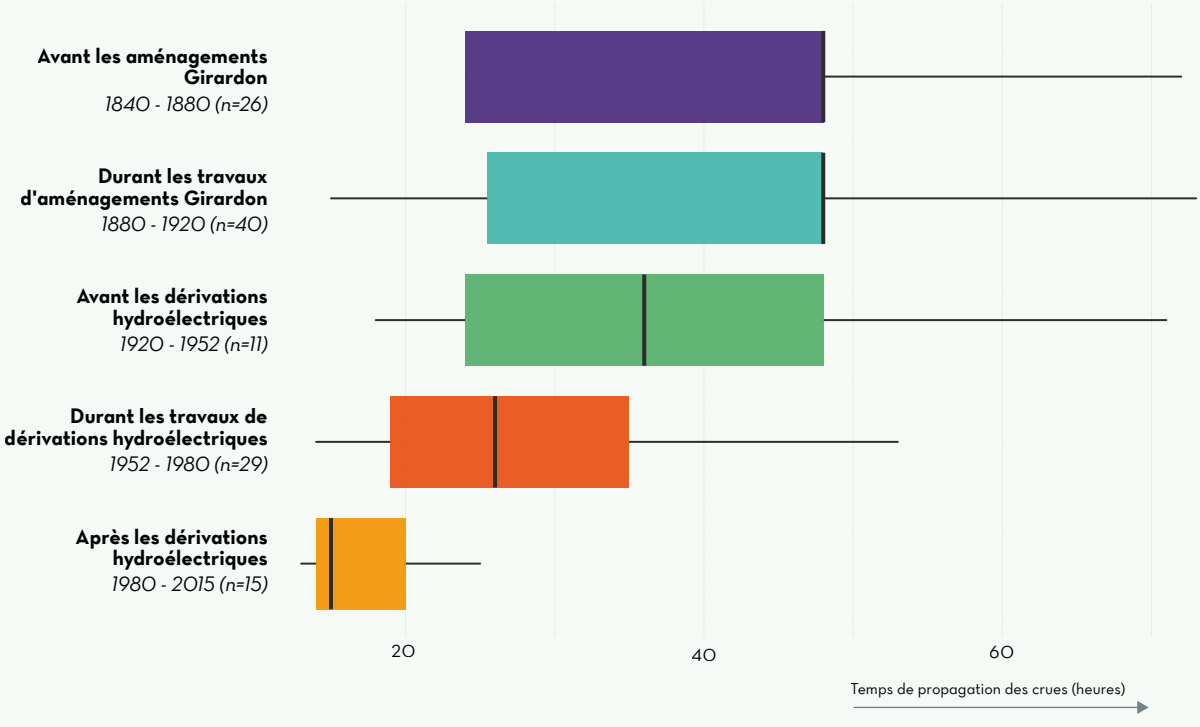


FIGURE 4.3

Distributions des temps de propagation, entre Lyon et Beaucaire, de 130 événements de crues océaniques pour 5 périodes d'aménagements entre 1840 et 2015.

cf. glossaire p.64

Ont été ainsi compilés les temps de transfert, entre Lyon et Beaucaire, des crues d'origine océanique et de périodes de retour entre 2 et 20 ans (événements non ou peu débordants). Ces événements océaniques proviennent de l'amont de Lyon et se propagent jusqu'à la mer. Lors de ces épisodes, les affluents du fleuve à l'aval de Lyon n'ont que peu d'influence sur les crues. L'analyse du déplacement de l'onde de crue est ainsi facilitée.

Entre 1840 et 2015, le temps de propagation de 121 événements a été compilé. Si le temps moyen mis par les ondes de crue pour parcourir les 250 km qui séparent Givors et Beaucaire est de 35h pour l'ensemble de la période, on constate des variations de cette durée au cours des deux siècles d'aménagement du corridor fluvial. La précision des valeurs de temps de propagation est à relativiser, principalement pour les périodes anciennes au cours desquelles les relevés limnimétriques étaient effectués une ou trois fois par jour, causant un arrondi important. Le passage à trois données par jour en 1910, puis à des données horaires à partir de 1949, permet d'améliorer la précision de l'estimation du temps de propagation. On considère ici que la médiane des événements de chaque période est un indicateur pertinent.

Le temps de transfert des crues est en constante diminution depuis le début du 19ème siècle (**FIGURE 4.3**). En 175 ans, il est passé en valeur médiane de 48h avant la construction des casiers Girardon, à 16h après la construction des aménagements CNR. Les ouvrages Girardon semblent avoir, dès la fin du 19ème siècle, amorcé la réduction de ce temps de propagation des crues. La diminution importante des temps de propagation des deux dernières périodes d'étude indique que les aménagements hydroélectriques ont eu un impact encore plus important que les premiers aménagements en lit mineur. Les conséquences de ces ouvrages sur la dynamique des crues peuvent être diverses. La forme moyenne des hydrogrammes peut avoir été modifiée et le pic de crue amplifié par une propagation devenue plus rapide. Mais la concomitance entre le pic de crue du Rhône et celui de ses affluents (en retard sur le fleuve dans la majorité des cas) peut également avoir été atténuée, causant un pic de crue plus faible à l'aval. L'étude de la forme des hydrogrammes à Beaucaire est envisagée pour mieux caractériser encore le phénomène et l'interpréter.

L'approche locale des changements de débitance combinée à l'approche hydrologique centrée sur le temps de propagation des crues montre que le système actuel stocke sans doute moins d'eau dans sa plaine et est plus efficace à évacuer les écoulements au plus vite vers l'aval. Le concept de ralentissement dynamique de l'écoulement est encore à appliquer au Rhône.

CE QU'IL FAUT **RETENIR**

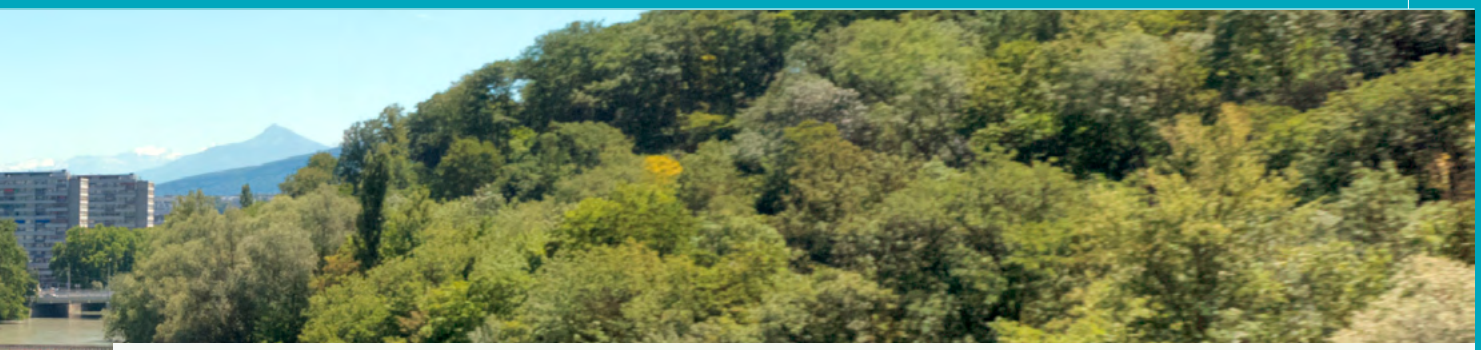
Les travaux de modélisation de l'OSR montrent qu'au cours du 20ème siècle, la débitance du lit du Rhône pourrait avoir fluctué ; la ligne d'eau sur Péage-de-Roussillon augmentant de 28 cm juste après les casiers et plus légèrement ensuite pour finalement se stabiliser au cours de la période récente. Sur Donzère-Mondragon, la ligne d'eau aurait d'abord augmenté de 18 cm puis se serait réduite de 19 cm. Cette fluctuation serait liée à la rétraction du chenal principal associée à une sédimentation et un boisement des milieux riverains atterris. Elle serait également liée à un approfondissement du lit par incision (jusqu'à 90 cm à Péage-de-Roussillon et 28 cm à Donzère-Mondragon) qui a accompagné localement la rétraction du chenal (jusqu'à 26% à Péage-de-Roussillon et 28% à Donzère-Mondragon) et la déconnexion des bras secondaires.

Ces changements morphologiques ont des réponses hydrauliques variables selon les secteurs, compte tenu notamment de leur histoire morphologique. Ils n'auraient pas augmenté significativement le niveau d'eau ou la vitesse au sein du chenal. La dérivation d'une partie du débit par les aménagements hydroélectriques du 20ème siècle contribue par contre très significativement à réduire la fréquence d'inondation dans les Rhône court-circuités (RCC) pour les crues courantes. L'analyse des séries hydrologiques souligne qu'une crue biennale avant dérivation présente aujourd'hui une fréquence de retour décennale

Des changements significatifs du temps de propagation ont également accompagné les différentes phases d'aménagements en lit mineur depuis 1850. La réduction de ce temps de propagation, débutée dès les aménagements Girardon, a été à nouveau impactée par les aménagements hydroélectriques du 20ème siècle. Cette durée caractéristique a été divisée environ par deux en l'espace de deux siècles. La diminution du temps de transfert pourrait être associée à une modification de l'atténuation des pics de crue le long du corridor fluvial. C'est un point qui reste encore à explorer.

THÉMATIQUE 5

QUANTIFIER LES FLUX DE MATIÈRES EN SUSPENSION ET DE CONTAMINANTS ASSOCIÉS À L'ÉCHELLE DU FLEUVE ET DE SES AFFLUENTS



QUELS SONT LES ENJEUX DE GESTION ?

Les apports de matières en suspension (sédiments fins) et des contaminants associés sur le linéaire du Rhône constituent un enjeu pour la gestion sédimentaire des flux et dépôts et la conduite des aménagements sur le linéaire du Rhône.

QUELLES SONT LES QUESTIONS DE RECHERCHE ?

- Comment mesurer et quantifier les flux de matières en suspension (MES) et de contaminants associés à l'échelle du fleuve ?
- Quels sont les principaux affluents et événements qui contribuent à ces flux ?
- Comment varient ces flux au cours de l'année et dans le continuum fluvial ?
- Comment prendre en compte les différentes temporalités des flux, de la crue au bilan interannuel ? Quels sont les bilans sédimentaires à ces échelles ?

QUELLE EST LA ZONE D'ÉTUDE ?

L'effort de quantification porte sur l'ensemble du linéaire du Rhône, du lac Léman à la mer, ainsi que sur les principaux affluents (Arve, Fier, Guiers, Ain, Bourbre, Saône, Gier, Isère, Drôme, Ardèche, Durance, Gard) (CARTE 5).

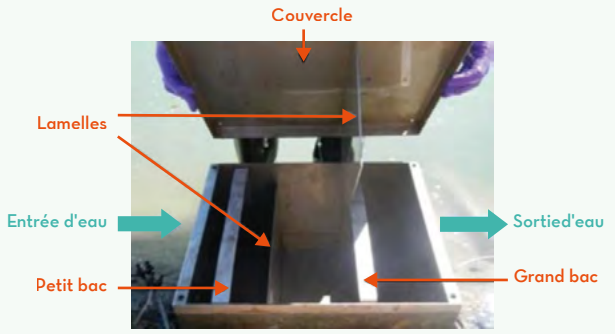
- CARTE 5 -

Réseau des stations de mesures hydro-sédimentaires de l'OSR

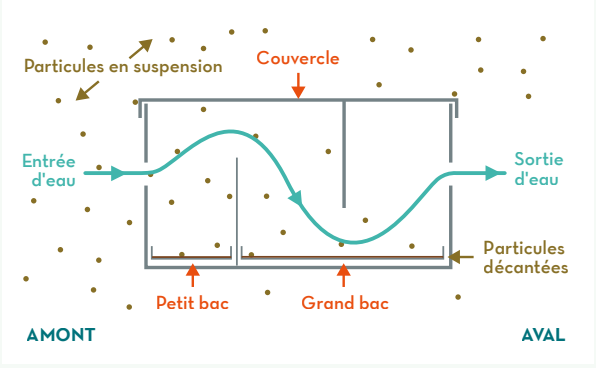
FIGURE 5.1

Schémas explicatifs du fonctionnement d'un piège à particules (PAP), dispositif de prélèvement de matières en suspension.

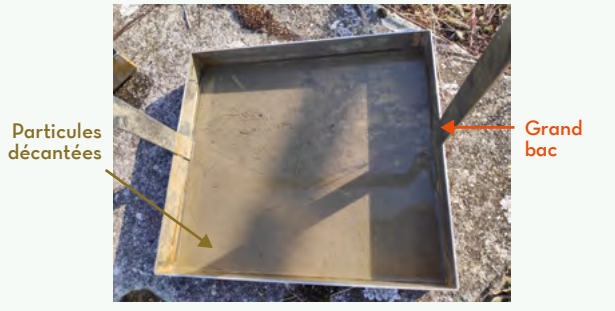
A. PHOTOGRAPHIE DE L'INTÉRIEUR DU PAP



B. COUPE LATÉRALE SCHÉMATIQUE



C. PHOTOGRAPHIE DE L'UN DES BACS DE DÉCANTATION DU PAP



LE RÉSEAU DE SUIVI DES FLUX

Les stations de suivi hydro-sédimentaire de l'OSR équipent le Rhône et ses principaux affluents depuis 2011 (CARTE 5) et ont permis de constituer un réseau de collecte. Chacune comporte un turbidimètre pour suivre à très haute fréquence la concentration de matières en suspension (MES) et un préleveur automatique d'eau pour réaliser l'étalonnage (turbidité-concentration). La station d'Arles est la seule à ne compter qu'un préleveur automatique haute fréquence.

La plupart des stations sont aussi équipées d'un piège à particules (PAP) (FIGURE 5.1). Ces pièges intégratifs et « passifs » sans besoin électrique collectent les particules en continu : un fonctionnement testé et validé par l'OSR. Ils sont relevés environ tous les mois et plus fréquemment en période de crue.

En mer, les MES sont évaluées à la station MesuRho située à 2 km au sud-est de l'embouchure, sur des fonds de 17 m (FIGURE 5.2). La mesure se fait à l'aide de sondes de turbidité in-situ, positionnées dans le panache de surface, et de prélèvements ponctuels.

Les échantillons collectés par le réseau sont désormais sauvegardés dans la banque d'échantillons BANQUISE (congélation -75°C), mise en place par l'OSR pour des analyses futures de contaminants.

BILAN INTER-ANNUEL ET DÉCENNAL DES FLUX

L'exploitation des données du réseau sur la décennie 2008-2018 a permis de comparer différentes approches pour calculer des flux de matières en suspension (MES) à l'échelle du Rhône, de développer des méthodes pour combler des données manquantes de concentrations en MES et en contaminants (lacunes) et d'estimer les flux moyens interannuels sur 10 ans avec leurs incertitudes associées. Les séries temporelles harmonisées sont mises à disposition des partenaires et du public via la base de données BDOH/OSR (voir THÉMATIQUE 8).

L'export de MES du bassin du Rhône à la Méditerranée est quantifié avec le débit de la station de Beaucaire et les concentrations mesurées à la station voisine d'Arles. Entre 2009 et 2021, cet export est en moyenne de 5,5 millions de tonnes (Mt) par an. Cette moyenne cache de fortes variations inter- annuelles entre 1,78 Mt en 2010-2011 et 12,8 Mt en 2012-2013.

Sur 2009-2021, les apports des 4 principaux affluents suivis en continu permettent d'expliquer 98% de cet export en mer. Toutefois les bilans annuels peuvent être excédentaires ou déficitaires selon les années et les événements hydrosédimentaires (TABLEAU 5.1). L'Isère et la Durance apportent respectivement 33% et 47%. Le Haut-Rhône à l'amont de Jons 12% (essentiellement par les apports de l'Arve) et la Saône 6%. Le suivi plus récent d'affluents méditerranéens comme l'Ardèche, le Gardon, la Drôme confirme que leur apport est faible en moyenne mais potentiellement important lors de crues.

cf. glossaire p.64

Station	Débit moyen (m^3 /s)	% pour Beaucaire	Flux MES (Mt/an)	% pour Beaucaire
Jons	575	36%	0,66	12%
Saône	386	24%	0,33	6,1%
Isère	315	20%	1,8	33%
Durance	101	6,3%	2,6	47%
Total Affluents	1 377	86%	5,4	98%
Beaucaire	1 595	100%	5,5	100%

TABLEAU 5.1

Débits et flux annuels de MES mesurés sur les stations permanentes de l'OSR.

Valeurs moyennes sur la période 2009-2021.

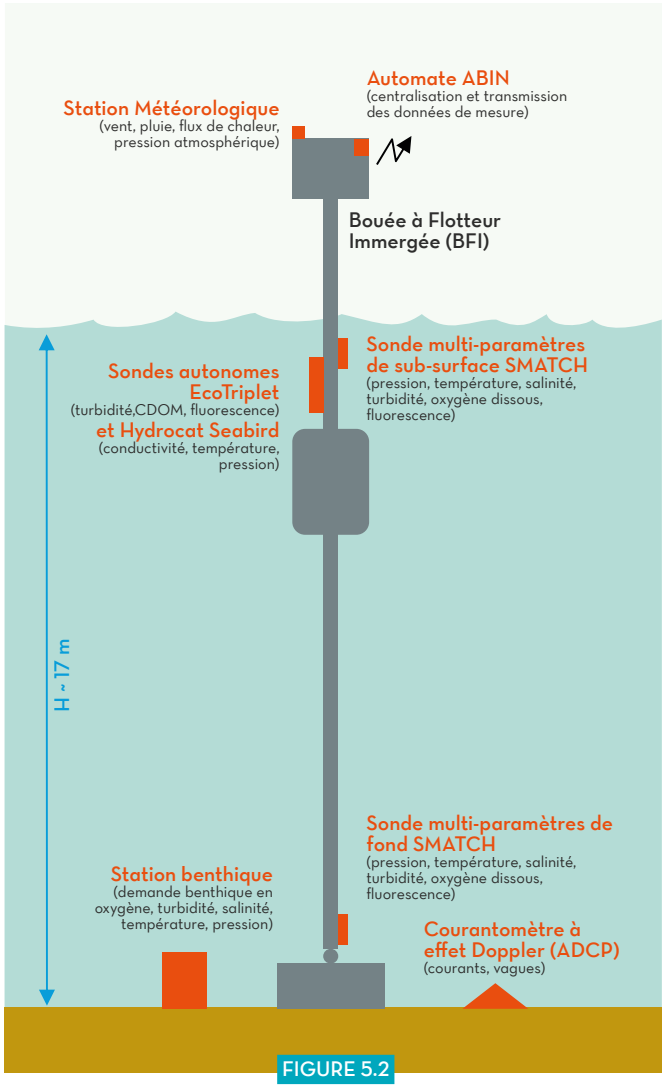


FIGURE 5.2

Schéma de la station MesuRho.

Localisée à l'embouchure du Rhône, à la bouée de balisage maritime Roustan Est. Cette plateforme permet de collecter des données physico-chimiques en temps quasi réel et à haute fréquence dans la zone de transition entre eaux douces et eaux salées.

Le fleuve entre Jons et Arles présente donc un bilan sédimentaire proche de l'équilibre. Toutefois, des stockages ou déstockages de sédiments peuvent se produire certaines années ou certains mois, en fonction de l'intensité et de la localisation des crues. Ainsi de mai à août les bilans sédimentaires mensuels interannuels sont excédentaires, c'est-à-dire qu'on observe des flux de MES entrants plus élevés que la sortie à l'embouchure. Cet excédent doit se déposer dans le corridor fluvial, sans doute dans les retenues de barrages et les marges alluviales.

Les données du réseau collectées sur la période 2008-2018 permettent également de dresser un bilan des flux interannuels pour 29 contaminants étudiés, soit 5 polychlorobiphényles (PCB), 13 hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), 9 éléments traces métalliques (ETM), l'acide aminométhylphosphonique (AMPA) et le glyphosate (produit de dégradation et pesticide). Les contributions moyennes à Beaucaire pour l'ensemble des flux de contaminants sont de 21% pour l'Isère, 12% pour la Saône, 10% pour la Durance et 9% pour le Haut-Rhône. Ces proportions diffèrent de celles des flux de MES à cause des différences de contamination entre les affluents. Ainsi la Saône contribue plus significativement (18%) aux flux de glyphosate et d'AMPA que les autres affluents. À l'inverse, les flux de HAP se répartissent à proportions égales entre l'Isère, la Durance, le Haut-Rhône et la Saône (11% chacun) en dépit des très fortes différences de flux de MES existant entre ces affluents.

Un point important est que pour les différentes familles de contaminants, les apports cumulés du Haut-Rhône, de la Saône, de l'Isère et de la Durance ne constituent que 34% (PCB) à 75% (AMPA) du flux sortant à Beaucaire. Il existe donc d'autres sources à rechercher, plus ou moins importantes selon les familles de contaminants (voir THÉMATIQUE 6).

© M. Répécaud

Intervention sous-marine sur les sondes de sub-surface de la station MesuRho.

« Sur le Rhône et ses affluents, il y a eu de très grosses avancées avec la mutualisation des réseaux de suivi des matières en suspension. Il y a eu des développements méthodologiques remarquables sur un certain nombre de questions. Comment mesure-t-on des turbidités ? Des granulométries ? Des érodabilités ? Il y a également eu tout un travail pour la calibration des turbidimètres pour mesurer les flux de sédiments fins. L'effort réalisé au niveau de BDOH-OSR pour que les mesures soient disponibles. Tout ça c'est formidable. Que ce soit au niveau de la métrologie, de l'analyse ou de la bancarisation, l'OSR a beaucoup apporté. Aujourd'hui, à CNR, nous pouvons développer notre réseau de stations de mesures en lien avec l'OSR et nous passons beaucoup de temps sur les mesures sédimentaires. »

SYLVAIN REYNAUD
CNR

SAISONNALITÉ DES FLUX

La dynamique mensuelle et annuelle des flux de ces 29 contaminants est principalement déterminée par celle des flux de matières en suspension (MES). Ainsi, sur la période 2008-2018, les deux tiers des flux annuels de contaminants sont rejetés en Méditerranée durant les mois de novembre, janvier, mai et juin (FIGURE 5.3). En outre, 75% de ces flux transitent en période de crue, soit durant seulement 12% du temps écoulé au cours d'une année. La temporalité des flux de contaminants reproduit ainsi l'hydrologie du fleuve et de ses débits les plus forts. Elle est marquée en novembre par une composante méditerranéenne (24% du flux annuel) ; en janvier par une composante pluvio-océanique (15%) ; et en mai-juin par une composante nivale (24%). La dynamique des flux actuels de contaminants à l'échelle du bassin est donc contrôlée par ses conditions hydro-climatiques.

A la différence des crues, les opérations de chasses de retenue n'affectent pas tout le linéaire à cause du dépôt rapide des sédiments (voir THÉMATIQUE 7).

DYNAMIQUE DES MATIÈRES EN SUSPENSION À L'EMBOUCHURE

La dynamique des matières en suspension (MES) dans le panache de surface qui se forme à la sortie du Rhône en mer est contrôlée par les apports du bassin versant puis les courants marins. Leur dilution est très rapide puisqu'on mesure à la station MesuRho (à 2 km de l'embouchure) des concentrations maximales en période de crue, atteignant au maximum 50 mg/litre, contre des valeurs de l'ordre de 1 g/litre sur Arles.

Une partie des particules fines est exportée vers le large dans ce panache, une autre dont les plus grossières sédimentent rapidement près de l'embouchure (voir THÉMATIQUE 1). Ces dernières et leurs contaminants associés sont en partie remises en suspension lors des épisodes de tempêtes marines qui se produisent surtout en hiver et parfois au printemps. Ces événements induisent un transport vers le large ou le littoral, indépendant de celui qui se produit directement lors des crues. Au final, une accrétion du fond de plus de 2 m a été observée sur la station MesuRho entre 2010 et 2019, représentant un taux de sédimentation d'un peu plus de 20 cm par an. Ce taux élevé correspond bien à ce que l'on connaît de l'accumulation sur cette zone, qui diminue très rapidement de plusieurs dizaines de centimètres par an dans les profondeurs entre 1 à 30 m à moins de 1 cm par an au-delà de 60 m de fond.

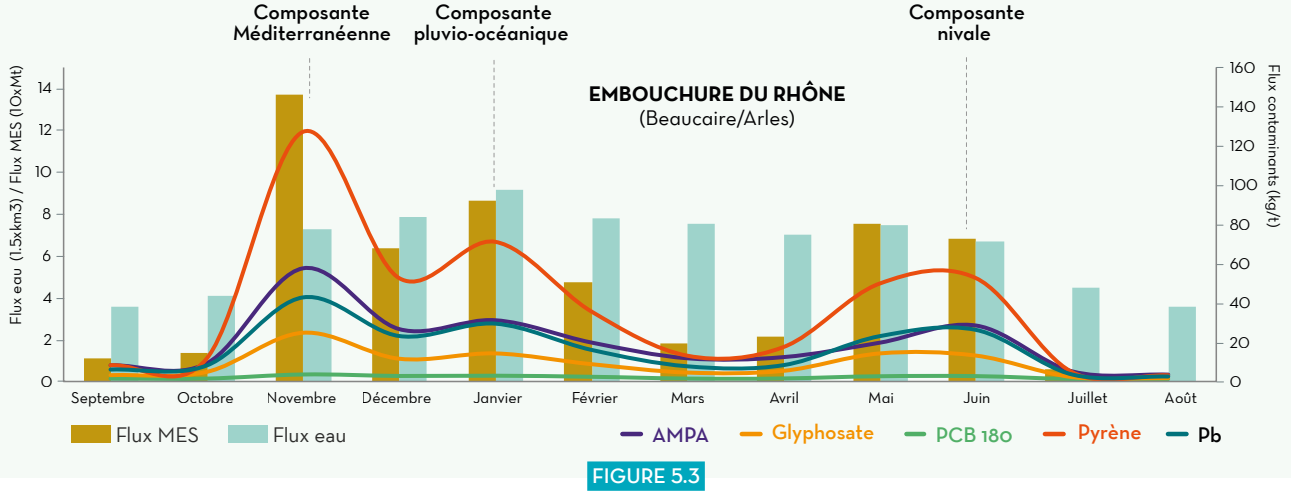


FIGURE 5.3

Variations saisonnières des flux d'eau, de matières en suspension (MES) et de contaminants particulaires à l'exutoire du bassin du Rhône (Beaucaire/Arles).

cf. glossaire p.64

© A. Gruat

Centrifugeuse mobile pour le prélèvement de matières en suspension sur le Rhône à Lyon

CE QU'IL FAUT **RETENIR**

Le réseau de suivi des flux de matières en suspension (MES) et de contaminants développé par l'OSR a permis d'établir des bilans de masse événementiels, annuels et interannuels à l'échelle du Rhône, du Léman à la mer.

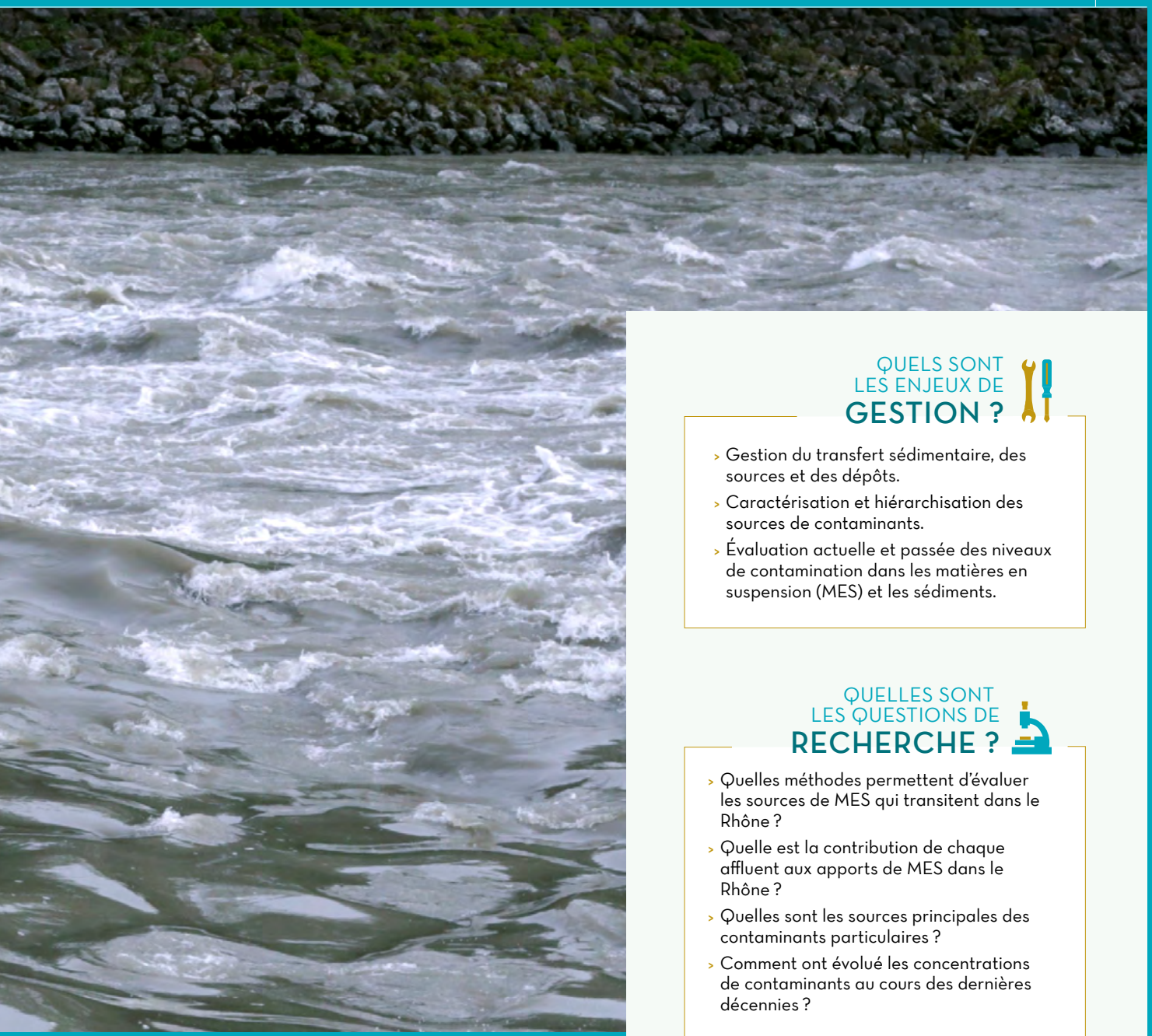
L'export sédimentaire en Méditerranée est en moyenne de 5,5 millions de tonnes (Mt) par an avec de très fortes variabilités annuelles entre 1,8 et 12,8 Mt. Les deux tiers de cet export transitent avec les crues durant les mois de novembre, janvier, mai et juin. Le bilan sédimentaire dans le fleuve (apports par les affluents versus sortie en mer) est équilibré sur le long terme, avec des variations temporaires liées au stockage et déstockage des MES au sein du réseau hydrographique lors des crues et des chasses de retenues.

Pour les contaminants, les bilans de flux sont souvent déficitaires, ce qui suggère que d'autres sources d'apports doivent être recherchées (e.g. affluents cévenols, zones urbaines) (voir THÉMATIQUE 6). Ces flux de contaminants varient principalement avec ceux des MES et leur saisonnalité suit le régime hydrologique des crues du Rhône.

© B. Morandi

THÉMATIQUE 6

IDENTIFIER LES SOURCES DES MATIÈRES EN SUSPENSION ET DES CONTAMINANTS ET CARACTÉRISER LEURS DYNAMIQUES À L'ÉCHELLE DU BASSIN-VERSANT



QUELS SONT LES ENJEUX DE GESTION ?

- Gestion du transfert sédimentaire, des sources et des dépôts.
- Caractérisation et hiérarchisation des sources de contaminants.
- Évaluation actuelle et passée des niveaux de contamination dans les matières en suspension (MES) et les sédiments.

QUELLES SONT LES QUESTIONS DE RECHERCHE ?

- Quelles méthodes permettent d'évaluer les sources de MES qui transitent dans le Rhône ?
- Quelle est la contribution de chaque affluent aux apports de MES dans le Rhône ?
- Quelles sont les sources principales des contaminants particulaires ?
- Comment ont évolué les concentrations de contaminants au cours des dernières décennies ?

QUELLE EST LA ZONE D'ÉTUDE ?

Tout le bassin versant et ses principaux affluents, du lac Leman à la mer.

CARACTÉRISATION DES SOURCES DE MATIÈRES EN SUSPENSION DANS LE BASSIN

Une première cartographie du potentiel érosif dans le bassin versant du Rhône a été proposée sur la base d'une approche par analyse spatiale qualitative et croisement d'indicateurs (topographie, géologie, sols, occupation du sol, climat). Les résultats montrent que les zones de montagnes alpines sont les plus productives devant les zones cévenoles, un constat en adéquation avec les observations du suivi des flux de matières en suspension (MES) (voir THÉMATIQUE 5).

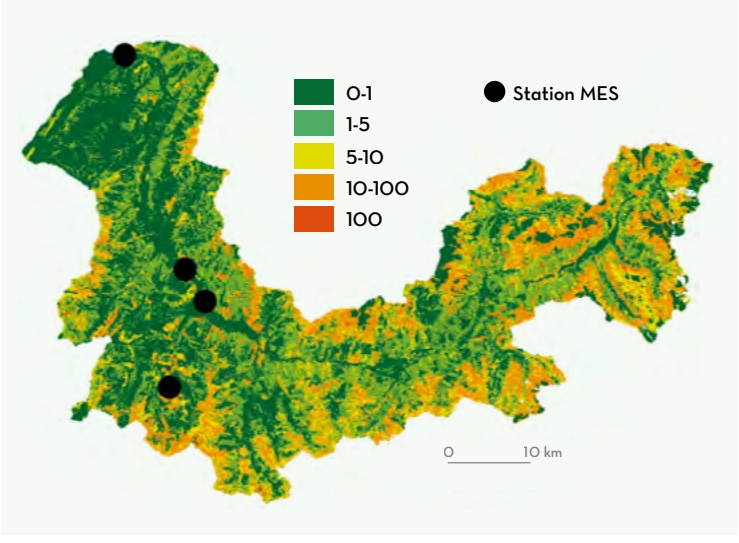
Pour compléter cette approche qualitative, une première modélisation quantitative spatialisée a été testée (modèle RUSLE-SDR) sur les sous bassins de l'Arc-Isère, du Gier et de la Drôme. Elle permet de spatialiser l'érosion des versants et les flux sédimentaires vers les cours d'eau. Les cartes obtenues montrent que les apports sédimentaires aux cours d'eau se font principalement dans les têtes de bassins versants (FIGURE 6.1). L'érosion dans ces zones apporte aux cours d'eau entre 10 et 100 tonnes de sédiments par hectare et par an, et ce malgré une connectivité au réseau hydrographique relativement faible. Par opposition, les bas de versants et les secteurs proches du chenal principal, ont une contribution sédimentaire limitée malgré une forte connectivité au réseau hydrographique. Ces cartes ont pu être validées sur la zone Arc-Isère, par comparaison avec les flux de MES mesurés sur des stations hydro-sédimentaires.

Une autre technique développée par l'OSR pour la caractérisation des sources concerne le traçage de l'origine des MES à partir de leurs concentrations en éléments chimiques. Des signatures spécifiques ont été déterminées pour chaque affluent à partir des concentrations totales de 18 éléments trace métalliques (ETM) analysées de 2011 à 2018, et comparées à celles mesurées à Arles. Selon cette méthode, les plus gros contributeurs au flux de MES mesuré à Arles sont la Durance (29%), l'Isère (26%), la Saône (21%) et le Haut-Rhône en amont de la station de Jons (10%). Ce résultat reste à préciser en prenant en compte la contribution des affluents cévenols.

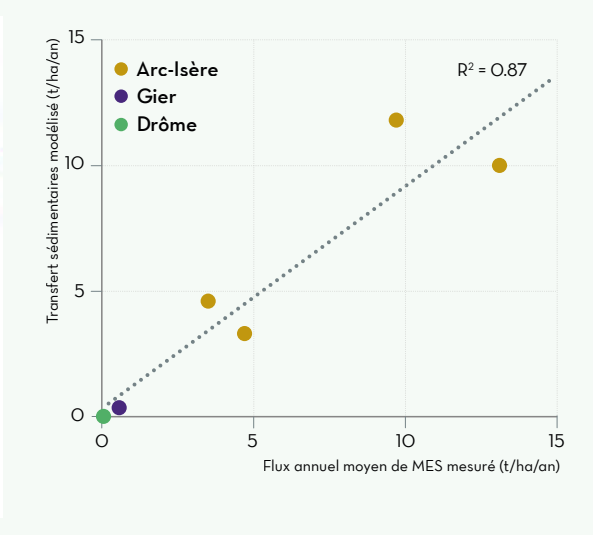
Cette approche géochimique a aussi été utilisée en 2016 pour spécifier l'origine des sables lors des crues sur la confluence Rhône-Isère. À cette période, tous les sables récoltés entre l'aval de la confluence et le garage portuaire de Bourg-lès-Valence révélaient une signature très largement associée aux apports sableux de l'Isère et non du Rhône amont.

FIGURE 6.1

Résultat de la modélisation RUSLE-SDR des transferts sédimentaires des bassins versants aux cours d'eau.

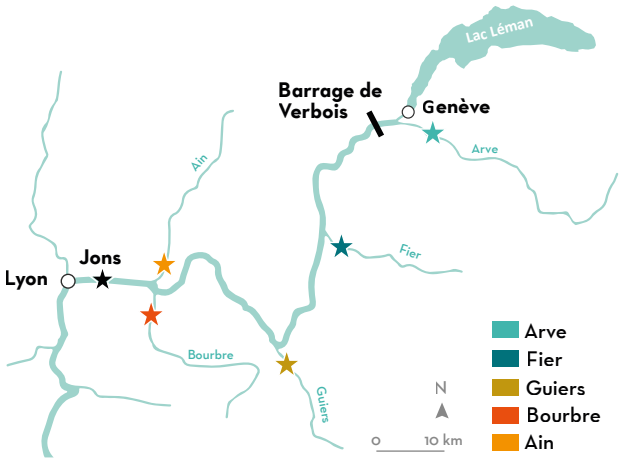


A.
Carte modélisée des transferts sédimentaires des bassins versants aux cours d'eau dans le bassin de l'Arc (Isère)



B.
Corrélation entre les valeurs prédites de transferts sédimentaires (versant vers cours d'eau) et les flux de matières en suspension (MES) mesurés en station (bilans moyens annuels exprimés en tonnes/hectare/an)

cf. glossaire p.64



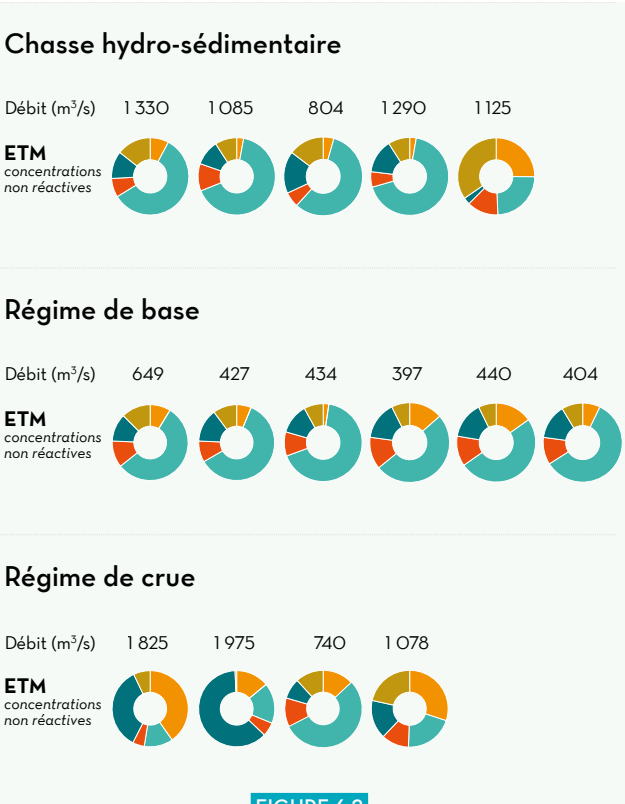


FIGURE 6.2

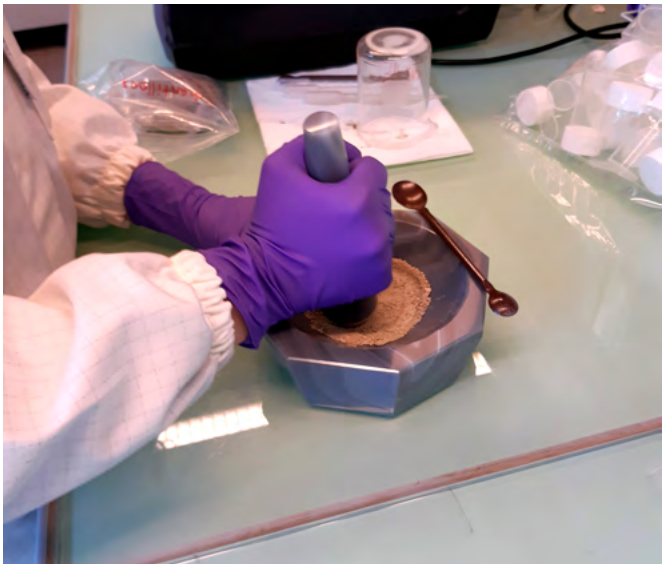
Comparaison des contributions relatives des affluents du Haut-Rhône aux flux de matières en suspension (MES) à Jons lors d'une chasse hydro-sédimentaire, en régime de base et en régime de crue.

Ces contributions ont été estimées à partir des concentrations non-réactives des éléments traces métalliques (ETM).

Une limite de cette technique de traçage est l'altération possible des signatures géochimiques lors du transport des particules, à cause de phénomènes d'adsorption ou de désorption des ETM sur leur surface. Une autre méthode a donc été mise en place pour s'affranchir de ce biais, en particulier pour étudier les contributions lors d'événements hydrologiques particuliers (crues, régime de base, chasses hydro-sédimentaires). Cette approche consiste à déterminer les signatures dans la fraction « non réactive » dite résiduelle des particules, c'est-à-dire les concentrations non modifiées durant leur transport. Elle a été testée à la station de Jons en évaluant les contributions estimées des affluents du Haut-Rhône (FIGURE 6.2). Elle est aussi appliquée sur des carottes sédimentaires pour retracer dans le temps l'origine des contributions de MES aux dépôts.

Enfin, l'analyse des radionucléides naturels et artificiels offre une dernière méthode de traçage pour les sources de MES sur le Rhône aval, car les affluents présentent des signatures différentes notamment lors des crues. Selon ces signatures, 53% des MES à Arles proviendrait des bassins pré-alpins (incluant la Durance et l'Isère), contre 35% pour le Haut-Rhône (amont de Jons) et la Saône, et 11% pour les affluents cévenols.

Toutes ces approches basées sur des méthodologies différentes sont en bon accord (à la dizaine de pourcent) avec les estimations tirées des mesures directes de MES sur les sources principales du bassin, que ce soit à l'échelle inter-annuelle où à l'échelle des événements (voir THÉMATIQUE 5).



© Y. Anice

Broyage à la main des matières en suspension collectées afin de réaliser les analyses de contaminants

« Au niveau de l'Agence de l'eau, nous sommes intéressés par tous les progrès dans la connaissance des contaminants transportés par les sédiments. Le réseau de suivi de l'OSR apporte sur ce plan une complémentarité utile aux mesures de concentrations dans l'eau que nous réalisons via notre réseau de stations. Cette double vision, qualité de l'eau et qualité des sédiments, est intéressante pour nous. L'OSR apporte également une analyse en flux qui est particulièrement importante sur un grand fleuve comme le Rhône où les dilutions sont importantes. Il nous permet de voir comment les affluents contribuent respectivement à l'apport des différents polluants qu'on va retrouver dans le fleuve. Cela permet de remonter vers l'origine de la pollution des sédiments et d'agir à la source. »

ISABELLE EUDES
Agence de l'eau
Rhône Méditerranée Corse

SOURCES DE CONTAMINANTS PARTICULAIRES DANS LE BASSIN ET NIVEAUX DE CONTAMINATION

Les bilans de masse des flux de micropolluants particulaires ont été estimés à l'échelle mensuelle sur 10 ans. Ils montrent des déséquilibres avec des flux entrants par les affluents qui sont inférieurs aux flux sortants à Arles (voir THÉMATIQUE 5). Ces déséquilibres révèlent l'existence de sources d'éléments traces métalliques (ETM), d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et de polychlorobiphényle indicateurs (PCBi, soit 7 PCB indicateurs constituant l'essentiel des teneurs) qui n'ont pas encore été localisées précisément. Ces sources pourraient être respectivement les affluents cévenols, les agglomérations urbaines du couloir rhodanien et les marges alluviales de la vallée du Rhône (qui cependant sont assez stables).

Parmi les ETM suivis, le chrome (Cr), le nickel (Ni) et le cobalt (Co) ont une origine naturelle, tandis que le plomb (Pb), le zinc (Zn), le cadmium (Cd) et le cuivre (Cu) ont des concentrations deux fois supérieures au fond géochimique pré-industriel (ante 19ème siècle). Tous les métaux sont toutefois dans la gamme basse des seuils écotoxicologiques ou au-dessous, sauf pour quelques échantillons prélevés en étiage (Haut-Rhône et Gier) ou issus des affluents cévenols en crue.

Pour le mercure (Hg) les concentrations sont proches des fonds géochimiques sur l'Arve et le Fier, mais 2 à 3 fois plus élevées sur la Saône et le Gier que dans le Rhône à Jons. Le risque environnemental associé à cet ETM reste cependant négligeable sur toutes les stations. Néanmoins, les premières données de concentrations en méthymercure (CH_3Hg), une forme chimique du mercure, ont clairement identifié le Gier comme un des affluents les plus problématiques vis-à-vis de cette molécule, et elles alertent sur un potentiel transfert dans la chaîne trophique.

En ce qui concerne les contaminants organiques dans les matières en suspension (MES), l'état des lieux de 310 substances prioritaires et émergentes a montré que les HAP, les PCB, le di(2-éthylhexyl) phtalate (DEHP), le glyphosate, et surtout l'acide aminométhylphosphonique (AMPA) ont une présence généralisée sur l'ensemble des stations du bassin. De plus, les stations de l'Isère, de la Saône et d'Arles se distinguent par une présence marquée de pesticides organochlorés. Les principales sources de HAP sur les stations du Rhône et les affluents du Haut Rhône sont reliées essentiellement au processus de combustion du trafic routier et du chauffage résidentiel.

La Bourbre, le Gier et dans une moindre mesure la Saône sont les affluents avec les concentrations les plus élevées en contaminants prioritaires (e.g. HAP, PCBi, Polybromodiphényléthers (PBDE), DEHP) et émergents (e.g. pharmaceutiques). Ces micropolluants sont moins fréquemment quantifiés sur le Rhône à Jons et Arles. L'Arve et la Durance sont les stations les moins contaminées.

Sur toutes les stations de l'OSR, au moins un micropolluant présente un risque environnemental « moyen » à « élevé » (FIGURE 6.3). Les contaminants les plus souvent concernés par ces dépassements de seuils environnementaux sont les PCBi, les HAP, les organoétains, l'AMPA et le nonylphénol. Pour les PCBi ces dépassements sont fréquents sur le Gier et la Bourbre, et s'observent sporadiquement sur le Rhône. Ces composés sont très réglementés au niveau national et européen, et leurs usages sont fortement restreints depuis le milieu des années 1980.

Concernant la radioactivité, les MES du Rhône sont marquées en tritium organiquement lié en relation avec les anciens ateliers d'horlogerie du Haut

cf. glossaire p.64

Rhône (Doubs et Saône). Cependant la forme exacte de ce tritium reste à déterminer pour évaluer son écotoxicité. Quelques échantillons présentent sporadiquement des concentrations en carbone 14 (^{14}C) témoignant des rejets liquides autorisés des industries nucléaires. La somme des activités des 18 radionucléides naturels et artificiels suivis sur le Rhône à Arles reste toutefois très largement sous les seuils d'écotoxicité.

TENDANCES TEMPORELLES ET NIVEAUX HISTORIQUES DES CONTAMINANTS

Sur le Rhône, la plupart des contaminants suivis depuis 2011 montrent des concentrations stables ou en diminution. Les variations de ces concentrations entre régime de crue et hors-crue sont maintenant bien évaluées. Pour les éléments traces métalliques (ETM) par exemple, elles sont minimes sauf pour les affluents cévenols et la Saône qui ont parfois des teneurs plus élevées en crue. Le mercure se distingue avec des concentrations 20 à 25% en moyenne plus faibles en crue qu'en régime hydrologique de base sur Arles, Jons et la Saône.

Les HAP, PCBi, glyphosate et AMPA eux aussi ne varient que peu ou pas lors des crues sur le Rhône et la Saône. À l'échelle de la saison par contre, les concentrations de glyphosate sur la Saône sont plus élevées au printemps en lien avec la saisonnalité d'utilisation de cet herbicide. En hiver ce sont les concentrations de quelques HAP qui augmentent sur le Rhône, en lien probable avec le chauffage résidentiel.

Si les matières en suspension (MES) sont souvent étudiées sous un angle dynamique, elles constituent aussi un objet d'étude remarquable une fois déposées grâce à leur capacité d'enregistrement des tendances de contami-

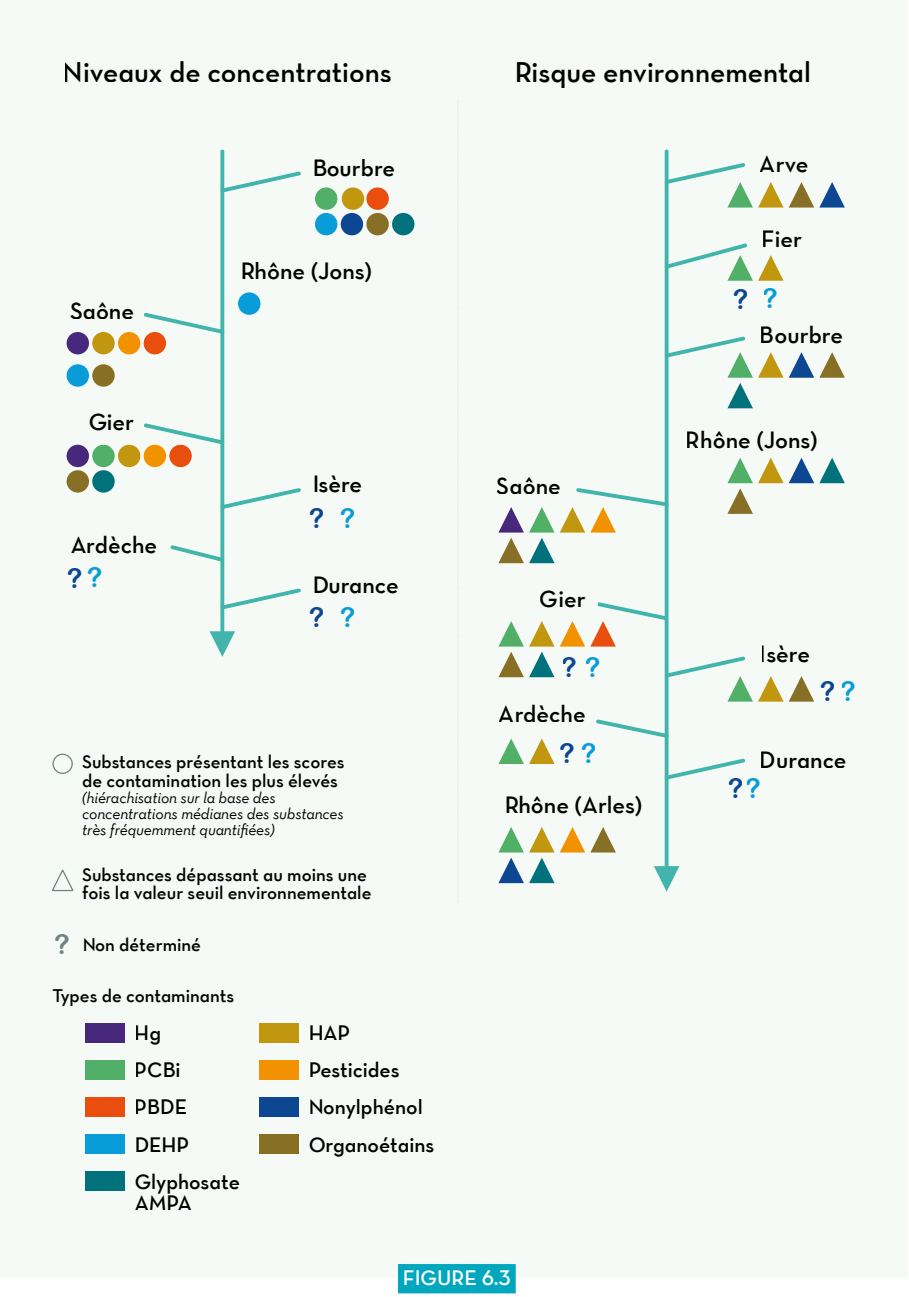


FIGURE 6.3

Tendances spatiales des concentrations en contaminants particulaires et du risque environnemental associé.

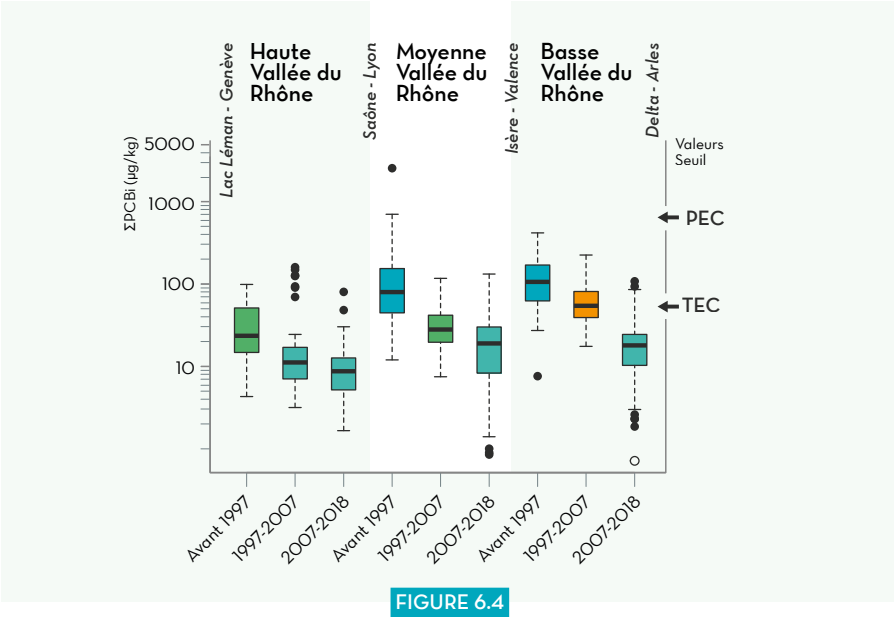


FIGURE 6.4

Comparaison des concentrations en PCB indicateurs (sommes des PCBi) dans les sédiments, obtenues à partir d'archives sédimentaires dans les différentes sections du Rhône depuis 1947.

La « concentration seuil d'effet avéré » (TEC) correspond à la valeur en dessous de laquelle il n'y a aucun effet écotoxicologique attendu, et la « concentration d'effet probable » (PEC) correspond à la valeur au-dessus de laquelle un effet est très probable.

« Dans le cadre de l'OSR, les connaissances produites sur les contaminants connus et émis depuis longtemps sont utiles. Elles permettent de situer le niveau actuel de pollution par rapport au passé. Ce regard sur le temps long a été très intéressant, par exemple, concernant les PCB puisque l'OSR a montré une diminution globale des concentrations. Ces résultats ont eu des applications opérationnelles très concrètes en termes d'évaluation du risque de remobilisation de ces contaminants lors des opérations de réactivation des marges alluviales et de réinjections sédimentaires. L'OSR a permis de rassurer tout en soulignant les points de vigilance à avoir. »

ISABELLE EUDES
Agence de l'eau
Rhône Méditerranée Corse

nation. Souvent émis en masse avant les années 1990, les contaminants ont suivi des trajectoires différentes au cours des dernières décennies. Les archives sédimentaires étudiées sur le Rhône confirment que les contaminants ont connu une augmentation après la Seconde Guerre Mondiale, atteignant un maximum dans les années 1970 pour les ETM et les années 1990 pour les PCB. L'état de la contamination s'est ensuite significativement amélioré jusqu'aux valeurs modérées et stables mesurées depuis 2010.

À l'échelle du corridor, les concentrations en PCBi dans les sédiments ont diminué sur tous les secteurs entre les années 1990 et 2010. La diminution moyenne est de 65% pour le Rhône amont, 76% pour le Rhône médian et 80% pour le Rhône aval (FIGURE 6.4). Le seuil d'écotoxicité « concentration d'effet probable » (PEC) n'a été dépassé que ponctuellement et seulement avant 1997 sur les secteurs à l'aval de Lyon. Le constat est similaire pour les ETM. Les concentrations en cadmium (Cd), cuivre (Cu), plomb (Pb) et zinc (Zn) ont nettement diminué depuis la fin des années 1990. En comparaison, les retardateurs de flamme bromés (PBDE) sont marqués par des émissions maximales entre 2000 et 2010.

cf. glossaire p.64

© A.-M. Dendievel

Carottage dans une annexe fluviale à proximité de la lône de Ciselande, en aval du barrage de Pierre Bénite

CE QU'IL FAUT **RETENIR**

Différentes méthodes ont été testées sur des échelles temporelles et spatiales variées pour estimer les sources de matières en suspension (MES) et de contaminants associés. Elles ont permis de conforter nos connaissances sur les contributions relatives des affluents au Rhône, qui montrent des niveaux de contaminations particulaires contrastés suivant les molécules ciblées.

La Bourbre et le Gier sont les cours d'eau les plus contaminés en contaminants prioritaires (hydrocarbures aromatiques polycycliques HAP, polychlorobiphényles indicateurs PCBi, polybromodiphényléthers PBDE, di(2-éthylhexyl) phtalate DEHP, éléments traces métalliques ETM) et émergents (e.g. pharmaceutiques), suivis par la Saône. L'Arve et la Durance sont les moins contaminés. Cependant, au moins un micropolluant présente un risque environnemental « moyen » à « élevé » sur toutes les stations hydrosédimentaires de l'OSR.

Sur le Rhône, les concentrations des contaminants particulaires ont globalement diminué depuis dix ans ainsi que sur le plus long terme (e.g. PCB, ETM). Elles restent plus élevées à l'exutoire qu'à l'amont et des sources sont encore à caractériser pour expliquer ces différences. Maintenir un suivi complet sur une temporalité longue reste primordial pour confirmer ou informer les tendances observées et évaluer les politiques mises en œuvre pour la gestion de ces contaminants.

© C.Moirenc / Photothèque CNR

THÉMATIQUE 7

ÉVALUER LES EFFETS DES OPÉRATIONS DE GESTION SÉDIMENTAIRE SUR LES FLUX DE MATIÈRES EN SUSPENSION ET LES CONTAMINANTS

QUELS SONT LES ENJEUX DE GESTION ?

- Gestion hydro-sédimentaire intégrée.
- Conduite et maintenance des aménagements hydro-électriques.
- Suivi et prévention des impacts environnementaux.

QUELLES SONT LES QUESTIONS DE RECHERCHE ?

- Comment mesurer les flux de matières en suspension (MES) et de contaminants associés pendant les chasses ou les abaissements de retenues (APAVER) ?
- Quelle est l'importance de ces opérations sur les flux de MES et de contaminants associés à différentes échelles de temps ?
- Est-ce que les chasses de retenues ont une influence sur la présence de contaminants dans l'eau ?
- Quel est l'influence d'un dragage sur les MES et contaminants remis en suspension ?

QUELLE EST LA ZONE D'ÉTUDE ?

Les travaux de recherche ont porté sur trois zones d'étude : le Haut-Rhône du lac Léman jusqu'à Lyon (station de Jons) ; la Basse-Isère, confluence Isère-Rhône et son aval ; l'aval de la confluence de l'Ouvèze au Pontet (CARTE 7).

- CARTE 7 -

Évaluation des effets des opérations de gestion sédimentaire

« Avant l'OSR, tout le monde avait sa propre idée sur le sujet des sédiments et sur la manière dont fonctionnait le Rhône. Lorsque nous discutions entre entités, nous n'arrivions pas toujours à nous comprendre. L'OSR a permis d'objectiver des éléments factuels sur la base desquels les acteurs du fleuve ont pu s'aligner et échanger. En lien étroit avec EDF et CNR, un effort de mesure très important a, par exemple, été réalisé pour comprendre le déplacement des flux de sable à la confluence entre l'Isère et le Rhône. L'OSR a également porté un travail d'objectivation concernant les effets des opérations de gestion sédimentaire conduites par CNR sur le Rhône, que ce soit sur les dragages ou sur l'accompagnement des chasses sédimentaires suisses (APAVER). L'OSR nous a permis de mieux communiquer sur les raisons et les impacts de nos opérations. »

SYLVAIN REYNAUD
CNR

LES CHASSES ET ACCOMPAGNEMENTS DU BARRAGE DE VERBOIS ET DE LA BASSE ISÈRE

Les opérations de chasses du barrage de Verbois avec les accompagnements sur les barrages aval (2012, 2016) et les chasses sur la Basse-Isère (2008, 2016, 2018) ont fait l'objet de suivis conséquents et d'études de modélisation. Ces travaux ont été coordonnés avec la CNR, en complément des suivis réglementaires menés par les opérateurs des aménagements hydro-électriques (SIG-Suisse, EDF, CNR).

Impact sur le transport sédimentaire

Le modèle numérique 1D MAGE (IRSTEA) a permis de reproduire les dépôts sédimentaires liés aux chasses de la basse Isère en 2008. Ce modèle révèle la forte sensibilité des dépôts à la taille des particules, notamment des sables qui constituent la problématique majeure dans le canal d'amenée de l'aménagement de Bourg-lès-Valence (FIGURE 7.1).

Le suivi d'autres chasses en 2015 a permis de montrer que les eaux froides et denses de l'Isère plongeaient sous celles du Rhône à la confluence, avec des concentrations de matières en suspension (MES) pouvant atteindre 10 à 20 g/litre contre quelques g/litre dans le Rhône. Les modélisations 2D et 3D

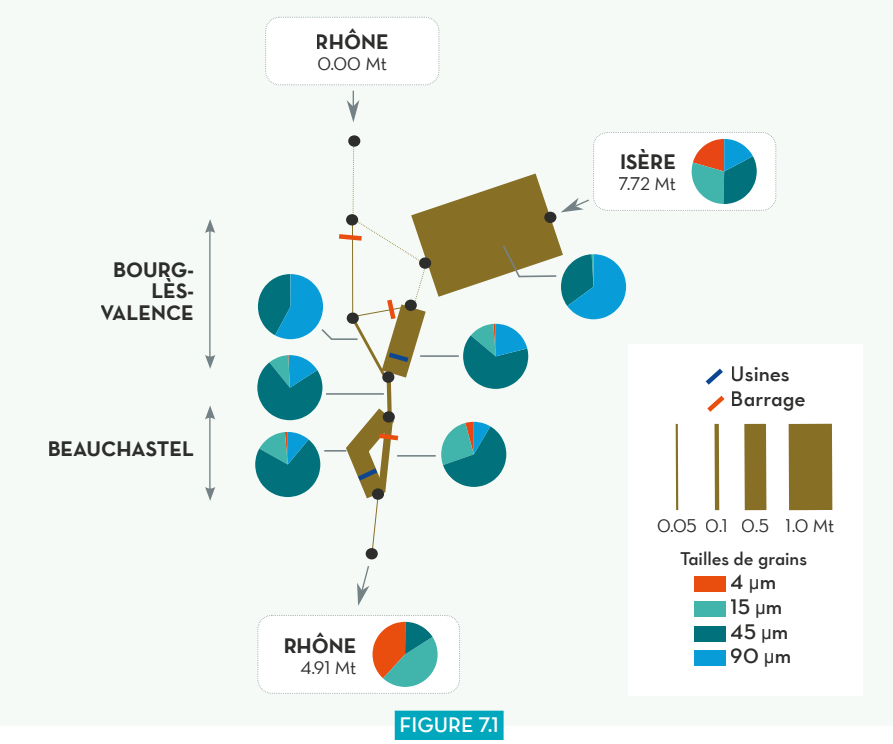


FIGURE 7.1

Masse et composition granulométrique des dépôts de matières en suspension (MES) à la confluence Isère-Rhône et dans les aménagements du Rhône (Bourg-lès-Valence et Beauchastel) lors de la chasse (accompagnée d'une crue) de mai-juin 2008.

Les cercles reportent les proportions de particules par classes de tailles centrées sur les diamètres 4, 15, 45, 90 µm. Résultats obtenus par modèle numérique 1D.

cf. glossaire p.64

MAGE-ADIS (IRSTEA) révèlent que les sables (d ≈ 0.2 mm) se déposent préférentiellement dans la partie aval de l'Isère (FIGURE 7.2). Dans le canal d'amenée, le transport de sables est plus faible avec une évacuation lente par charriage. Une fois validée, l'approche par modélisation permet d'évaluer les conséquences des futures opérations.

Sur le Haut Rhône, les apports sédimentaires de l'Arve conduisent le gestionnaire à nettoyer par hydrocurage les ouvrages de Verbois et de Chancy-Pougny. Ces chasses engendrent une forte augmentation de la charge en suspension jusqu'à Belley, mais elle diminue ensuite rapidement avec la distance car les sables qui la composent se déposent majoritairement dans les retenues CNR de Chautagne, Belley et Brégnier-Cordon.

A Jons, les apports des chasses en 2012 et 2016 ont constitué respectivement 37 et 21% des flux totaux annuels de MES (FIGURE 7.3). La dynamique de transport de ces MES est différente de celle observée lors des crues car, à débit équivalent, la quantité transportée lors des chasses est plus importante. La taille des particules reste par contre similaire pour les deux types d'événements. Elle est plus grossière qu'en débit hydrologique normal.

Le bilan sédimentaire du Haut Rhône a été calculé en comparant la quantité de MES qui transite sur le Rhône à Jons (sortie) avec celle qui arrive par les affluents amont (entrée). Ce bilan est excédentaire les années des chasses, indiquant une reprise sédimentaire efficace. Il est déficitaire les autres années, traduisant alors un stockage sédimentaire. Sur le moyen terme (2011-2016), la quantité de MES qui se dépose dans le secteur du Haut-Rhône est néanmoins supérieure à celle remise en suspension et transportée en aval de Jons.

Impact sur la qualité des sédiments

Lors des opérations de chasses de Verbois (avec accompagnements des barrages aval) les concentrations suivies en éléments traces métalliques (ETM)et polychlorobiphényles (PCB) étaient proches de celles observées lors des crues, et plus faibles que celles en régime hydrologique normal. Ceci s'explique par la différence de granulométrie qui est plus grossière, ces grains possédant moins de surface pour fixer les contaminants. En effet, la taille des particules est, avec leur origine (voir THÉMATIQUES 5 ET 6), l'un des facteurs qui gouverne la qualité des sédiments lors de ces événements.

De rares augmentations de concentration observées pour d'autres contaminants (hydrocarbures aromatiques polycycliques HAP, di(2-éthylhexyl) phtalate DEHP, tritium technogénique) seraient liées à une reprise des contaminations historiques stockées dans les réservoirs des barrages amont (Verbois et Chancy-Pougny). Ces augmentations sont toutefois très faibles et sans risque écotoxicologique. L'augmentation des flux de contaminants particulaires transportés sur le Rhône à Jons pendant les chasses résulte donc essentiellement de l'augmentation des concentrations en MES durant ces événements, et non pas de celles des contaminants qui leur sont associés. Lors des chasses, aucun impact n'a été constaté sur les concentrations de MES et de contaminants à l'embouchure du Rhône (station d'Arles).

Impact sur le relargage des contaminants

Le relargage est un mécanisme qui fait que des contaminants fixés en surface des particules peuvent passer en phase dissoute, notamment lors de resuspension de sédiments. Durant la chasse de 2016, le relargage de certains ETM - arsenic (As), cobalt (Co), manganèse (Mn) et nickel (Ni) - a été observé jusqu'à la station de Jons, 160 km en aval du barrage de Verbois. Le relargage d'arsenic sous sa forme réduite (AsIII), plus

« Sur les opérations de chasses de la Basse Isère et les problématiques qu'elles ont pu poser à la confluence avec le Rhône, la collaboration avec les équipes de l'OSR a été importante. Elle nous a permis d'avancer sur des solutions de gestion coordonnée entre CNR et EDF. L'OSR a notamment joué un rôle de facilitateur. Nous avons pu mutualiser nos moyens et conduire des études partagées afin de disposer d'éléments de connaissance objectifs en termes de quantification des flux et de compréhension des dépôts de sables. Le travail de définition de nouvelles modalités de gestion des chasses de l'Isère n'est pas encore terminé mais a bien progressé. »

SÉBASTIEN MENU
EDF

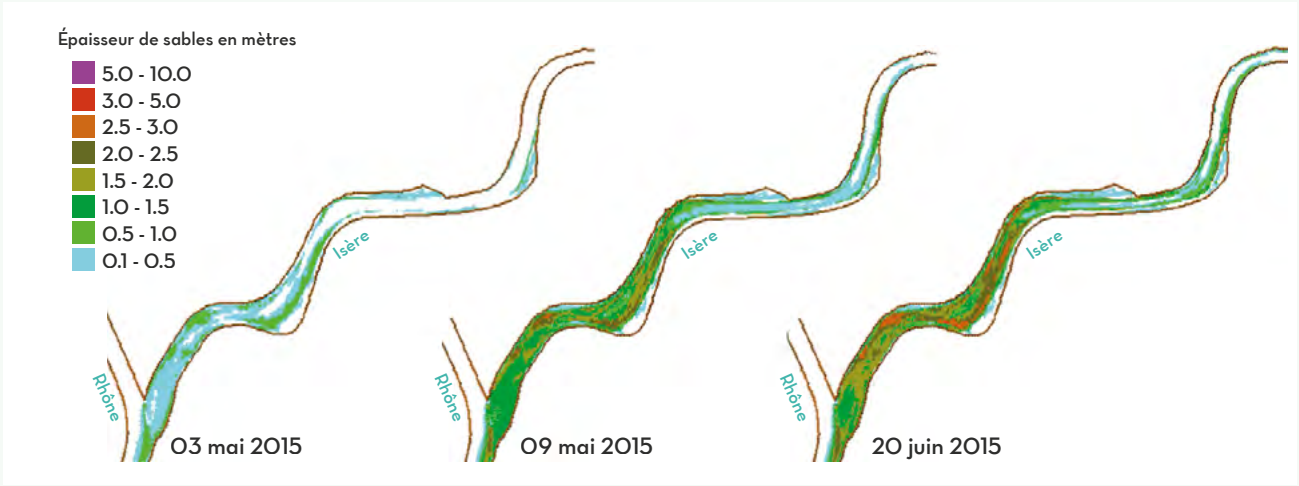


FIGURE 7.2

Épaisseurs (m) de dépôts sableux simulées par modélisation 2D (code Rubar20TS) à la confluence entre l'Isère et le canal d'amenée du Rhône pendant la chasse des barrages de la Basse-Isère de 2015.

FIGURE 7.3

Flux de matières en suspension (MES) (Mt) annuel transitant à Jons entre 2011 et 2016.

Les flux sont répartis selon 3 états hydrologiques : débit normal, crue et chasse.
Le flux annuel total est donné par la barre grise (sortie du système),
la barre en pointillés jaune correspondant à la somme des flux issus des affluents amont (entrée).

cf. glossaire p.64

toxique, a également été démontré. Il est dû aux changements des conditions chimiques (oxydo-réduction) durant la resuspension.

L'exposition de crevettes d'eau douce (gammares) encagés a aussi révélé une faible augmentation des concentrations de certains ETM - cobalt (Co), nickel (Ni) et plomb (Pb) - dans ces organismes à l'aval immédiat des barrages. Ces concentrations sont inférieures ou proches des seuils de contamination biodisponible. Il n'y a eu par contre aucune augmentation significative des concentrations en contaminants pharmaceutiques dissous également testés.

RECOMMANDATIONS POUR LE SUIVI DES OPÉRATIONS DE CHASSE

Plusieurs recommandations générales pour le suivi hydro-sédimentaire et environnemental des chasses de retenues sont proposées suite à ces travaux :

- Sélectionner avant l'opération les paramètres physico-chimiques à suivre ainsi que les contaminants d'intérêt. Cela passe par l'étude bibliographique de la zone impactée.
- Mesurer la concentration et les flux de matières en suspension (MES) en continu pendant l'événement (utilisation de stations de mesure, turbidimètres...).
- Étendre le suivi à moyen terme et à distance du lieu de l'événement.
- Connaître l'impact des autres événements hydrologiques (étiage, crue...) sur le bassin pour mieux interpréter celui des chasses. La présence d'une station de suivi à long terme en aval permet ainsi de faire des comparaisons plus poussées.
- Connaître les débits et flux de MES des principaux affluents dans le tronçon concerné et sur la période d'étude afin d'établir le bilan sédimentaire.

DRAGAGES ET REMOBILISATION DE SÉDIMENTS ET CONTAMINANTS ASSOCIÉS

Les dragages sont des opérations de moindre ampleur. L'un d'entre eux, réalisé au Pontet, en aval de la confluence de l'Ouvèze, a été suivi en novembre 2011 avec pour objectif d'évaluer la remise en suspension engendrée par ce type de travaux. Ces sédiments, notamment les particules fines, ont été observés seulement jusqu'à 2-3 km en aval, et l'impact sur les flux sédimentaires a été évalué négligeable par rapport aux crues. L'opération a entraîné un peu de relargage pour certains éléments traces métalliques (ETM) à proximité du rejet. Les teneurs de ces ETM sur les matières en suspension (MES) sont restées en dessous des moyennes observées sur Arles et n'ont pas montré de contamination marquée.

CE QU'IL FAUT **RETENIR**

Les suivis de dragage montrent un impact sur un échelle de 2 à 3 kilomètres maximum. Ceux conduits lors des opérations de gestion sédimentaire (chasses et abaissements d'ouvrages) montrent que les flux de matières en suspension (MES) et de contaminants associés qui transitent durant l'événement sont significatifs sur des échelles de plusieurs dizaines de kilomètres.

L'impact de ces événements sur la qualité des sédiments est négligeable, principalement parce qu'il s'agit de particules grossières généralement peu porteuses de contaminants. Il faut cependant noter que l'OSR n'a pas étudié l'effet des teneurs en MES sur les communautés biologiques (poissons, invertébrés par exemple).

Le retour d'expérience a permis de proposer une méthodologie spécifique pour le suivi de ces événements afin de mieux comprendre l'impact de ces gestions d'ouvrages. Parmi les outils à mettre en œuvre, la modélisation est désormais cruciale pour anticiper au mieux les conséquences des opérations.

© D. Roux-Michollet

THÉMATIQUE 8

STRUCTURER, PÉRENNISER ET DIFFUSER LES RÉSULTATS DE RECHERCHE DE L'OSR

QUELS SONT LES ENJEUX DE GESTION ?

Depuis 10 ans, les connaissances scientifiques produites dans le cadre de l'Observatoire des Sédiments du Rhône (OSR) n'ont cessé de croître, posant la question de leur pérennisation et de leur diffusion. La centralisation et la bancarisation des données collectées et des métadonnées est notamment un enjeu majeur pour les acteurs du Rhône. De même, le développement et le partage d'une modélisation hydro-sédimentaire 1D constitue l'un des grands objectifs de l'observatoire.

QUELLES SONT LES QUESTIONS DE RECHERCHE ?

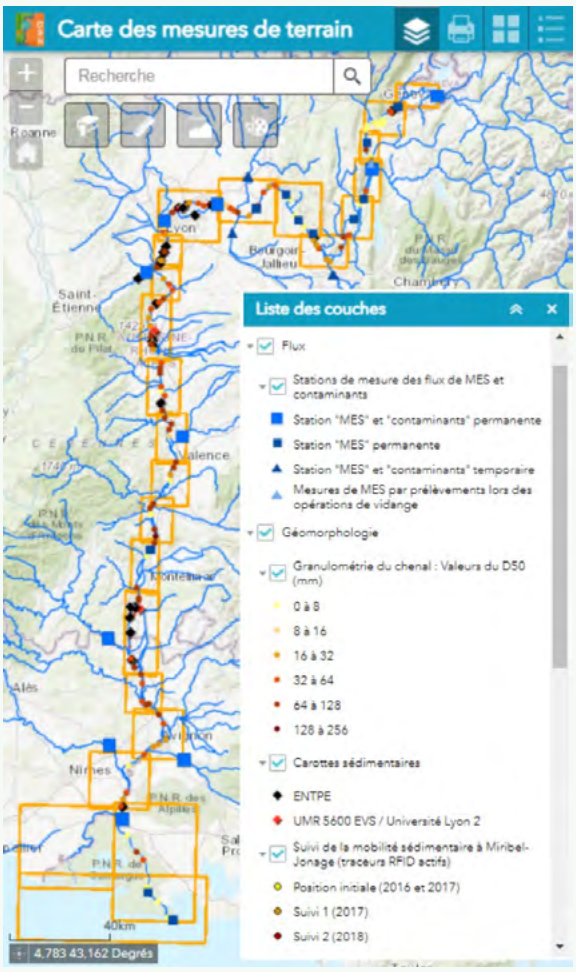
- Comment pérenniser et rendre disponibles les données produites par l'OSR ? Quels sont les outils les plus adaptés ?
- Comment calculer et qualifier les séries temporelles de concentrations et de flux de matières en suspension (MES) et contaminants associés ?
- Comment modéliser la propagation des flux sur tout le linéaire et sur plusieurs décennies ?

QUELLE EST LA ZONE D'ÉTUDE ?

Ensemble du linéaire du Rhône, de la frontière suisse à la mer, en incluant la confluence des principaux affluents (Fier, Guiers, Isère, Durance, etc.).

– CARTE 8 –

Cartographie web des mesures de terrain de l'OSR sur la plateforme en ligne GéoOSR



En tant que dispositif d'observation et de mutualisation des résultats de la recherche, l'Observatoire des Sédiments du Rhône s'engage dans le mouvement de la Science Ouverte. Les bases de données, les outils développés et les publications réalisées dans l'OSR tendent ainsi à répondre aux principes « FAIR » : Facile à trouver, Accessible, Interopérable, Réutilisable. Ces principes garantissent une large dissémination des connaissances au sein de la communauté scientifique et auprès des partenaires et acteurs du Rhône.

STOCKAGE ET DESCRIPTION DES DONNÉES

L'OSR a vocation à mutualiser les données scientifiques produites par l'ensemble du collectif et à garantir leur bancarisation et leur accessibilité sur le long terme.

Un serveur de stockage mutualisé

Le serveur de stockage de l'UMR 5600 EVS remplit cette fonction. Sa capacité de stockage augmente chaque année, et un administrateur de données assure la collecte et le dépôt des données. Elles sont organisées par types (données spatiales, données tabulaires, images aériennes, etc.) et par thèmes (topo-bathymétrie, morphologie, hydrographie, etc.). Une procédure d'affectation de DOI aux données (identifiant numérique d'objet) est en cours d'élaboration avec l'INIST CNRS afin de valoriser le travail de collecte et production des données de la recherche.

MétaOSR : un géo-catalogue de métadonnées

Chaque donnée stockée est décrite par une fiche de métadonnées dans MétaOSR, le géo-catalogue de l'OSR basé sur l'outil Open Source Geonetwork. Il contient actuellement 103 fiches OSR et ne cesse de s'enrichir.

Chaque fiche de métadonnées renseigne sur l'auteur de la donnée, son mode de collecte, son emprise spatiale et temporelle, sa qualité et les contraintes légales de sa réutilisation. Compatible avec les normes de description des données européennes (INSPIRE) et internationales (ISO19139), le géo-catalogue de l'OSR alimente d'autres catalogues de données grâce à des protocoles de moissonnage. Il contribue ainsi à disséminer l'information scientifique à des échelles régionale (Zone Atelier Bassin du Rhône), nationale, et européenne.

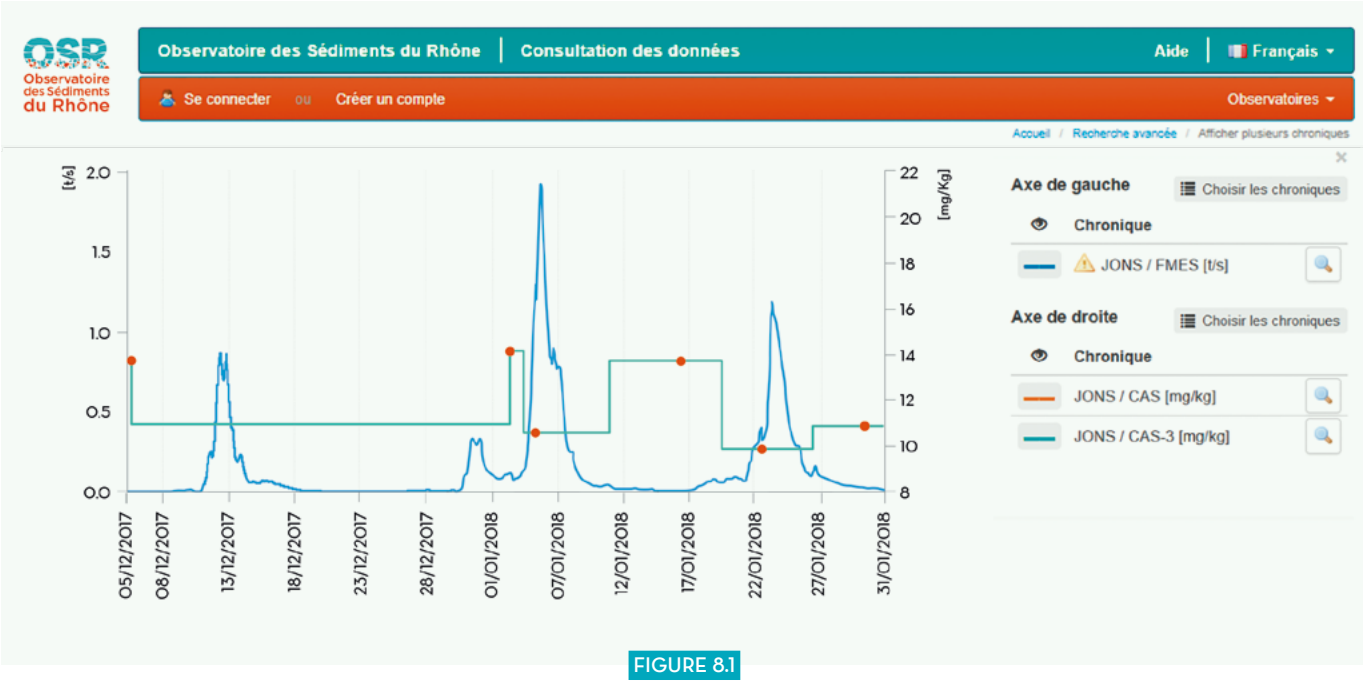


FIGURE 8.1

Base de données BDOH/OSR.

Exemple de visualisation des chroniques de flux de matières en suspension (MES) et de concentration en Arsenic particulaire (prélèvements à la centrifugeuse et interpolation en plateaux). Station du Rhône à Jons.

cf. glossaire p.64

BDOH/OSR : un outil de bancarisation et de diffusion des données

L'OSR dispose également d'une base de données et d'un outil de diffusion dédiés aux données de suivi issues de ses stations de mesure : BDOH/OSR. Cet outil permet de calculer, capitaliser et diffuser les séries temporelles (chroniques) de flux particulaires et de contaminants pour l'ensemble du réseau d'observation de l'OSR (FIGURE 8.1). Il est basé sur l'application Base de Données des Observatoires en Hydrologie (BDOH) développée par l'INRAE pour différents observatoires.

Des fonctionnalités particulièrement utiles pour les chroniques de flux de contaminants particulaires ont été développées. Elles permettent de : convertir les séries de turbidité en concentrations de matières en suspension (MES), indiquer clairement la qualité des données et leur caractère mesuré ou estimé, automatiser le calcul des flux à partir de mesures de concentrations par pièges à particules, mettre à jour l'ensemble des calculs de flux quand de nouvelles données sont bancarisées, calculer un cumul de flux entre deux dates et enfin trier les données disponibles par familles de paramètres.

L'outil BDOH/OSR permet ainsi aux différents producteurs de données de gérer, dans un cadre homogène, un grand nombre de chroniques correspondant aux familles de paramètres mesurés sur les stations : débit, caractéristiques sédimentaires, familles de substances chimiques suivies. Les chroniques de concentrations de matières en suspension ou les flux peuvent être calculés dans la base en transformant ou en multipliant des chroniques existantes (turbidité, débit...). Les différences des pas de temps (variables ou constants), fuseaux horaires, unités, etc. y sont harmonisés. L'utilisateur peut visualiser, comparer, transformer (pas de temps, cumuls, moyennes) et exporter les chroniques. L'outil assure une transparence et une traçabilité de la production des données évitant pertes de temps et erreurs.

DIFFUSION ET VALORISATION DES CONNAISSANCES

L'OSR est un lieu d'échange de connaissances et de pratiques scientifiques entre les équipes de recherche et leurs partenaires techniques et institutionnels. La visualisation des données est libre sur internet, tandis que le téléchargement nécessite de créer un compte et de demander un accès aux données (gratuit). Une vingtaine de demandes de données et de retours d'expérience est gérée annuellement. Elles émanent du collectif OSR et d'organismes extérieurs.

GéoOSR : une plateforme cartographique en ligne

Une partie du contenu de la base de données de l'OSR est visualisable sur la plateforme de cartographie web GéoOSR où plusieurs cartes thématiques sont consultables. L'une d'elle permet de localiser les différentes mesures de terrain réalisées dans le cadre de l'OSR (CARTE 8) tandis qu'une autre géoréférence des atlas et cartes anciennes (1760, 1831, 1860). D'autres cartes présentent les données produites sur les marges alluviales du Rhône au cours des différents programmes OSR.

Une photothèque mutualisée sur le Rhône

L'Observatoire des Sédiments du Rhône dispose également d'une photothèque publique permettant aux scientifiques et aux partenaires de partager et ainsi valoriser leurs images de terrain et d'archives. Cette photothèque utilise l'interface Photo-DRIIHM. Elle est alimentée et mutualisée dans le cadre de l'Observatoire Hommes-Milieux Vallée du Rhône.

« Nous sommes très attachés, Région Occitanie, à soutenir des actions de connaissances qui permettent d'améliorer l'état de nos cours d'eau et de leur redonner un fonctionnement plus naturel. L'OSR conduit des recherches nécessaires à la gestion du Rhône, ressource à préserver pour notre territoire. Il produit aussi des connaissances utiles pour comprendre plus largement le fonctionnement hydro-sédimentaire des cours d'eau et améliorer leur gestion. La Région Occitanie porte une politique de l'eau sur plusieurs bassins-versants. Les activités de diffusion et de valorisation conduites au sein de l'OSR sont donc particulièrement importantes pour nous. Elles permettent de partager des questionnements, des outils scientifiques et des méthodes de recherche appliquée. Ces transferts d'expériences engagés par l'OSR sont à élargir. Ils constituent des perspectives particulièrement stimulantes pour les acteurs des cours d'eau de notre territoire. »

C. RICHEROL
A. PAILLET
Région Occitanie

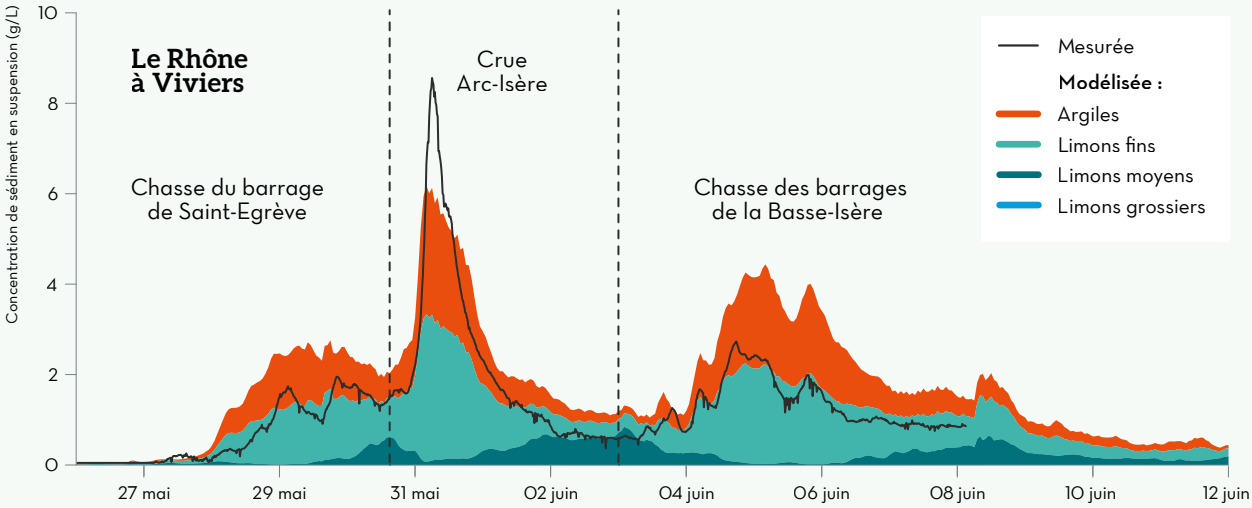


FIGURE 8.2

Concentration en matières en suspension (MES) mesurée et calculée avec le modèle numérique 1D à la station du Rhône à Viviers pour différentes classes granulométriques.

La simulation est faite pour l'événement hydro-sédimentaire de mai-juin 2008 sur l'Isère.

Elle contient aujourd'hui 587 images, et notamment 350 images d'archives cartographiques et topo-bathymétriques, utilisables librement à des fins non commerciales.

Chrono-Rhône : une application interactive et collaborative sur l'histoire du Rhône

Les travaux de l'OSR sont également valorisés par l'application Chrono-Rhône développée dans le cadre de l'incubateur de technologie PULSALYS. Interactive et collaborative, cette application synthétise, dans une frise chronologique et thématique, les événements qui ont marqué l'évolution socio-environnementale du Rhône (politique de bassin, construction de barrages, crues majeures, pollutions, etc.). Les différents événements sont également localisés sur une carte, pour permettre à l'utilisateur d'explorer les changements survenus sur son territoire de gestion ou dans son périmètre d'étude.

Le site web OSR : une plateforme de mise à disposition des ressources

Ces différents outils sont accessibles via le Site Web OSR, Plateforme d'information scientifique et technique qui met également à disposition l'ensemble des productions de l'OSR : rapports de recherche, travaux académiques (thèses, mémoires) et publications scientifiques. Il propose aussi des supports de diffusion opérationnelle, via par exemple des vidéos de terrain et de laboratoire, et donne accès aux contenus des événements de restitution et de discussion. Les Journées de l'Observatoire des Sédiments du Rhône, organisées régulièrement, sont des temps d'échanges privilégiés entre les scientifiques et les acteurs du fleuve. Des séminaires techniques sont également proposés ponctuellement afin de partager les avancées méthodologiques et les outils développés dans l'OSR.

cf. glossaire p.64

MODÉLISATION HYDRO-SÉDIMENTAIRE 1D

Le collectif scientifique met aussi à disposition des partenaires le modèle hydro-sédimentaire 1D du Rhône du Léman à la mer et son code de calcul Mage-AdisTS qui ont été développés et appliqués pour différentes actions de l'OSR. Ce modèle intègre le fonctionnement moyen des 21 aménagements hydro-électriques du Rhône. Il a été validé pour les débits allant de l'étiage aux crues courantes, sans débordement dans la plaine d'inondation. Le code de calcul est optimisé et parallélisé pour permettre la simulation haute-résolution sur plusieurs décennies et sur l'ensemble du linéaire, en quelques heures de calcul seulement. Outre les paramètres hydrauliques (hauteurs d'eau, vitesses, débits), il est possible de simuler le transport de plusieurs substances dissoutes ou particulaires, sous la forme de classes granulométriques transportées en suspension (FIGURE 8.2). Le transport sédimentaire par charriage et l'évolution des fonds ont été ajoutés récemment et font l'objet de tests de validation.

La modélisation permet de décomposer les flux eau-MES-contaminants selon leur origine par affluent, et de calculer les érosions et les dépôts par classe granulométrique, notamment au niveau des retenues et aménagements. Des simulations continues (données d'entrée horaire) pour l'eau et les matières en suspension (MES) ont été réalisées pour la période 2010-2019. Des événements de crues ou de chasses de retenues ont également fait l'objet de simulations spécifiques (THÉMATIQUE 7). Ces différentes simulations ont permis d'améliorer la compréhension de nombreux points : la saisonnalité des flux particulaires et des apports, les conditions hydrodynamiques menant à des dépôts dans les retenues ou les marges, l'impact des changements morphologiques sur les lignes d'eau, la capacité de transport par charriage en crue ou encore la mobilité potentielle des graviers pour différents scénarios de gestion.

CE QU'IL FAUT **RETENIR**

Toutes les productions (données, applications web, modèle numérique, publications) de l'Observatoire des Sédiments du Rhône sont accessibles publiquement ou sur demande. Le site web de l'OSR est la plateforme privilégiée pour accéder à l'ensemble des ressources.

Les données (et métadonnées) capitalisées dans le cadre de l'OSR sont mises à disposition au travers des outils pérennes (BDOH/OSR, MétaOSR, GéoOSR, Photo-DRIIHM).

Le modèle hydro-sédimentaire 1D est un outil commun et partagé, de même que les résultats de simulations qui contribuent à différentes actions de l'OSR et de ses partenaires. Avec des temps de calcul très courts, le modèle permet la simulation des flux de matières en suspension (MES), des dépôts et bientôt de l'évolution des fonds sur l'ensemble du Rhône du Léman à la mer et sur de longues périodes.

Ces ressources et outils sont un socle solide pour les recherches des différentes équipes scientifiques, et ils alimentent les études menées par les partenaires techniques de l'OSR. Enfin, ils nourrissent, à des échelles régionales, nationales et internationales, les recherches conduites sur les processus hydro-sédimentaires et les flux de contaminants dans les grands fleuves.

© B. Morandi

CONCLUSIONS

12 ANNÉES DE RECHERCHE POUR MIEUX COMPRENDRE L'ÉTAT ET LE FONCTIONNEMENT DU FLEUVE

Après 12 ans d'activités, l'Observatoire des Sédiments du Rhône (OSR) est un dispositif de recherche reconnu au niveau régional mais aussi national et international. Il est aujourd'hui porté par un collectif scientifique interdisciplinaire (chimie, géoarchéologie, hydraulique, hydrologie, sédimentologie, géomorphologie...) et bénéficie de solides partenariats avec les acteurs du Plan Rhône. Il a fourni des résultats inédits permettant de répondre aux questions posées par les acteurs du fleuve et d'en formuler de nouvelles. La trajectoire évolutive et le fonctionnement hydro-sédimentaire du fleuve sont aujourd'hui mieux connus. L'OSR repose en outre sur un réseau de mesures des flux d'eau et de matières qui est pérenne et dispose maintenant de longues chroniques de données à l'échelle du Rhône et de ses principaux affluents. Enfin, l'observatoire a permis de développer les outils permettant le partage des données et des connaissances et le dialogue entre les chercheurs et les acteurs du bassin.

cf. glossaire p.64

QUELS BILANS DE L'OSR DEPUIS 2009 ?

Les connaissances acquises sur le fonctionnement hydrosédimentaire du Rhône

Ces 12 années d'activités scientifiques ont permis d'établir un diagnostic partagé de l'évolution du fleuve et de son état physique.

L'évolution morphologique du Rhône est maintenant mieux comprise, notamment à l'aval de Lyon, tout comme le rôle respectif des deux phases successives d'aménagement (phase Girardon et phase de dérivation CNR) dans cette évolution. Les recherches de l'observatoire ont également permis de mieux comprendre le transport solide fluvial et les impacts de la gestion des ouvrages sur les flux grossiers (graviers et galets) et sableux. Les apports à la mer ont été précisés et l'OSR a montré qu'au-delà de la question d'un déficit d'apport, il existait aussi un problème de géométrie de l'embouchure modifiant la redistribution des sables sur le littoral. En s'appuyant sur la mise en œuvre d'un réseau de stations de mesure, l'OSR a quantifié les flux de matières en suspension et de contaminants associés à l'échelle du fleuve et de ses affluents, établi des bilans sédimentaires inter-annuels et un bilan décennal de ces flux, et permis de comprendre leur saisonnalité ou encore la dynamique des matières en suspension à l'embouchure. Le réseau de mesure des flux de matières en suspension (MES) a montré que le bilan sédimentaire est équilibré sur le long terme, avec des variations temporaires liées au stockage et déstockage de MES au sein du réseau hydrographique lors des crues et des chasses de retenues.

Au-delà du bilan proprement dit, qui est déjà un acquis inédit à l'échelle d'un fleuve de cette taille, l'objectif était également d'identifier les sources de matières en suspension et des contaminants particulaires associés, et de caractériser leurs dynamiques à l'échelle du bassin-versant. Différentes méthodes ont été testées sur des échelles temporelles et spatiales variées pour estimer les flux de MES et leurs sources, apportant une meilleure connaissance des contributions relatives des affluents au Rhône, lesquels présentent des niveaux de contamination particulaire contrastés. La Bourbre et le Gier sont les cours d'eau les plus contaminés, suivis par la Saône. L'Arve et la Durance sont les moins contaminés.

Les implications opérationnelles des recherches de l'OSR

L'OSR a ainsi fourni des connaissances utiles aux acteurs du fleuve. L'effet de l'évolution morphologique sur les habitats aquatiques et riverains est mieux compris tout comme le risque de relargage de polluants ou encore le risque d'inondation associé à la sédimentation des marges. Ces éléments sont importants pour mieux évaluer localement la faisabilité des actions de restauration et identifier certaines opportunités pour préserver et restaurer la qualité des habitats aquatiques et riverains. Il est également possible de mieux évaluer la réponse morphologique potentielle du fleuve aux actions envisagées et de savoir quel niveau d'ambition il faut définir pour atteindre tel ou tel objectif de restauration. Cette base de connaissances a alimenté un premier Schéma directeur pour la réactivation des marges fluviales, et les orientations en matière de restauration du fleuve formulées dans le cadre du Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) 2016-2021.

Les résultats scientifiques fournissent en outre des éléments de connaissance sur lesquels s'appuie le Schéma Directeur de Gestion Sédimentaire du fleuve en cours de finalisation et qui va permettre une gestion raisonnée du transit sédimentaire grossier.

Enfin, l'OSR a permis d'évaluer les effets d'opérations de gestion sédimentaire sur les flux de matières en suspension (MES) et les contaminants associés, comme l'abaissement du barrage de Verbois, les chasses de la basse Isère ou certaines opérations de dragage. Les résultats montrent que les flux de MES et de contaminants associés qui transitent durant ces événements sont significatifs sur des échelles de plusieurs dizaines de kilomètres au maximum. Ces travaux ont fourni des connaissances inédites pour la gestion et l'entretien des aménagements hydro-électriques ou encore le suivi et la prévention des impacts environnementaux de ces ouvrages, et ils ont permis de proposer des recommandations pour le suivi.

Les outils de l'OSR pour suivre le fonctionnement du fleuve sur le temps long et évaluer les effets des politiques et des actions

L'OSR est un observatoire. Sa mission de suivi est également importante afin de comprendre comment a évolué et va évoluer le fleuve dans un contexte de changement et en réponse aux actions de restauration et de gestion qui sont engagées. L'OSR ayant maintenant 12 ans, il dispose d'un actif en matière de suivi sur lequel s'appuyer pour mieux évaluer les évolutions futures.

Les chercheurs ont élaboré des outils et des protocoles pour suivre et évaluer les bénéfices des actions de restauration en termes de diversité et de pérennité des habitats aquatiques et riverains.

L'observatoire a aussi permis de voir que les concentrations des contaminants particulaires ont globalement diminué sur le fleuve, notamment depuis dix ans mais aussi sur le plus long terme. Elles restent plus élevées à l'exutoire qu'à l'amont.

Au total, une trentaine de contaminants prioritaires ont été régulièrement suivis, soit 5 polychlorobiphényles (PCB), 13 hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), 9 éléments traces métalliques (ETM), des glyphosate et acide aminométhylphosphonique (AMPA) (pesticide et produit de dégradation), ainsi que des radionucléides naturels

« Du fait de la position géographique de notre Région, sur l'aval du fleuve et à l'embouchure, nous sommes intéressés par les travaux que l'OSR conduit à l'échelle de l'axe rhodanien. Les chercheurs ont bien mis en avant la faiblesse du transport solide et ses conséquences potentielles en termes de fonctionnement naturel et de biodiversité. Ils ont aussi apporté des connaissances sur les impacts des baisses du transit sédimentaire sur les apports en mer et l'érosion du trait de côte. L'OSR nous permet d'avoir une compréhension de ce qui passe sur notre territoire en regard aussi de ce qui se passe à l'amont. Cette approche globale s'articule à des analyses plus sectorisées, par exemple pour les facteurs de déconnexion des milieux humides latéraux. Pour nous qui portons la compétence biodiversité, cette précision est utile pour flécher les restaurations. L'OSR apporte vraiment une double vision, à la fois sur les grandes dynamiques à l'échelle du fleuve et sur la compréhension de problématiques plus locales, qui est importante dans la conduite de nos politiques. »

OLIVIER NALBONE
Région SUD PACA

Enjeu 1	Restaurer des habitats de qualité pour promouvoir une biodiversité digne d'un grand fleuve
Enjeu 2	Appuyer un plan de gestion sédimentaire raisonnée et durable
Enjeu 3	Concilier le bon fonctionnement hydrosédimentaire du fleuve avec la maîtrise des risques sanitaires et d'inondation
Enjeu 4	Anticiper l'impact des changements à venir sur la dynamique sédimentaire et les risques associés
Enjeu 5	Avoir des outils numériques performants pour scénariser, anticiper, partager et pérenniser l'information
Enjeu 6	Pérenniser le suivi du Rhône sur le long terme pour restaurer le fleuve, comprendre, modéliser les processus et anticiper les changements

TABLEAU 9.1
Les enjeux stratégiques de l'OSR 2020-2030.

et artificiels.

QUELLE VISION DE L'OSR À L'HORIZON 2030 ?

Fort de ses 12 années d'expériences et d'acquis, et du soutien renouvelé de ses partenaires techniques et financiers, l'OSR est déjà engagé dans une nouvelle séquence de recherche à horizon 2030.

Répondre aux nouveaux enjeux socio-environnementaux sur le Rhône

Les enjeux stratégiques ont été redis-cutés par le collectif chercheurs-gestionnaires afin de proposer des questions scientifiques originales, pertinentes et toujours en phase avec les attentes opérationnelles des acteurs du fleuve et les documents réglementaires (comme le SDAGE par exemple qui est en cours d'élaboration). Six enjeux ont ainsi été redéfinis (TABLEAU 9.1).

Afin de « restaurer la santé écologique du fleuve », des connaissances supplémentaires sont encore nécessaires pour retrouver des habitats écologiques de qualité et promouvoir une biodiversité digne d'un grand fleuve. Il convient notamment de tenir compte de la diversité des pressions exercées sur les écosystèmes fluviaux, dont celles des apports de contaminants. Dans cette perspective, il est important de renforcer encore la coordination des actions de recherche conduites au sein de l'Observatoires Hommes-Milieux Vallées du Rhône (OHM VR), et notamment de consolider les liens avec le programme RhônEco. L'objectif est de mieux lier les réponses physiques, chimiques et écologiques aux actions réparatoires.

L'OSR poursuivra également son appui technique dans la mise en œuvre du Schéma Directeur de Gestion Sédimentaire du fleuve, en cherchant à mieux évaluer les apports en sédiments des affluents, les zones de stockage sur le continuum et l'évolution des fonds à travers la constitution de bilans sédimentaires. Plus globalement, l'OSR continuera à alimenter les réflexions pour la gestion intégrée du fleuve dans le cadre du SDAGE.

Enfin, les jeux de données acquis au cours de ces 12 ans d'observation et les avancées en modélisation permettent désormais de travailler sur de la pré-

cf. glossaire p.64

diction pour anticiper les évolutions du fleuve. Différents scénarios de pressions seront testés (changement climatique, hydrologique, modification des pollutions) pour appréhender les réponses du fleuve et les risques associés qu'il conviendra d'anticiper.

DÉFINIR DES OBJECTIFS DE RECHERCHE EN COHÉRENCE AVEC LES ENJEUX OPÉRATIONNELS

L'objectif de l'Observatoire des Sédiments du Rhône n'est pas uniquement de « suivre » mais aussi d'analyser et de « comprendre » les réponses du fleuve ou la propagation des contaminants et leurs effets sur l'écosystème. Pour explorer ces nouvelles questions et répondre aux enjeux sur la décennie, l'OSR6 engage une nouvelle phase de recherche sur les 3 années qui viennent (2021-2023). Ce nouveau programme s'articule autour des objectifs suivants :

- renforcer la compréhension du fonctionnement hydrosédimentaire du fleuve (notamment de la dynamique des sables) et faire le lien avec les processus hydro-sédimentaires littoraux ;
- suivre les effets des actions de restauration pour s'assurer de leur réussite, renforcer encore leurs effets bénéfiques au long court et proposer des mesures complémentaires lorsque les réponses observées sont en deçà des objectifs fixés ;
- affiner la connaissance des sources de contaminants et de la dynamique des matières en suspension et des contaminants associés pour réduire les apports au fleuve, mieux identifier et quantifier par exemple les apports des zones urbaines en temps de pluie ;
- engager une démarche pour définir des scénarios hydro-sédimentaires intégrant le changement climatique afin de mieux anticiper ses impacts à venir.

Il est enfin nécessaire de consolider les bases d'un observatoire 3.0, permettant de continuer à développer des outils performants et innovants pour transférer les données et les connaissances acquises, proposer des scénarios d'évolution, et ainsi mieux anticiper les changements.

© C. Le-Bescond

La station de suivi hydro-sédimentaire du Rhône au barrage de Jons, en amont de Lyon

GLOSSAIRE

AMPA - Acide aminométhylphosphonique
Substance chimique organique, produit de dégradation de l'herbicide glyphosate et aussi des phosphonates organiques qui sont des détergents d'usage industriel et domestique.

Adsorption et désorption
Processus chimiques de fixation (adsorption) ou de relargage (ou libération) (désorption) d'éléments chimiques ou de molécules dissoutes sur les surfaces des particules en suspension ou déposées au fond.

Analyse géophysique
Analyse s'appuyant sur les propriétés physiques des roches et des sédiments. Elle fournit une information continue, fiable et en profondeur des structures sédimentaires alluvionnaires. Pour ce qui concerne l'OSR, ce type d'analyse est réalisé via des techniques terrestres (topographie électrique, radar géologique) et aquatiques (sondeur de sédiments, radar géologique aquatique). Elle permet notamment d'aider au bon positionnement des prélèvements sédimentaires (carottages).

APAVER - Abaissement partiel des aménagements de Verbois
Opération de gestion sédimentaire sur le Haut-Rhône qui consiste à diminuer le niveau d'eau dans les retenues suisses de Verbois et de Chancy-Pougny pour remettre en suspension les sédiments stockés. À la différence des chasses le niveau d'eau n'est pas diminué totalement.

Atterrissement
Dépôt de sédiments dans un cours d'eau, une marge alluviale ou une retenue, conduisant à l'apparition d'une surface terrestre pérenne. Le terme désigne également le processus de mise en place de ce dépôt.

Barre d'embouchure ou **barre sableuse** B
Banc sableux littoral à l'embouchure d'un fleuve.

BDOH - Base de Données des Observatoires en Hydrologie
Outil permettant de calculer, de capitaliser et de diffuser les séries temporelles (chroniques) de flux particulaires et de contaminants pour l'ensemble du réseau d'observation de l'OSR.

Bilan sédimentaire ou **bilan de masse**
Somme, pour une portion du linéaire fluvial donnée, des flux sédimentaires entrants et sortants (comptés négativement) et du stockage sédimentaire interne.

Carottage
Prélèvement vertical et continu de sédiments non perturbés opéré par un carottier manuel ou motorisé. Pouvant atteindre plusieurs mètres, la succession des niveaux sédimentaires déposés au fil des années permet d'étudier le fonctionnement du fleuve des dernières décennies ainsi que l'évolution des molécules chimiques accumulées. On parle alors d'archives sédimentaires.

CH3Hg - Méthylmercure
Principale forme chimique organique du mercure, particulièrement toxique et bioaccumulable dans les chaînes trophiques.

Charge grossière ou **charge de fond**
Ensemble de particules sédimentaires restant le plus souvent en contact avec le fond du chenal et dont le mode de transport est le charriage. La charge de fond est constituée des sédiments dits grossiers c'est-à-dire appartenant aux 4 classes granulométriques supérieures : les graviers (2 – 16 mm), les galets (16 – 64 mm), les pierres (64 -256 mm) et les blocs (256 – 2014 mm).

Chasse sédimentaire
Opération de gestion sédimentaire qui consiste à vider une retenue pour en chasser les sédiments stockés.
À la différence de l'APAVER, le niveau d'eau est diminué totalement lors d'une chasse.

Colmatage
Processus d'infiltration des sédiments fins (particules en suspension) au travers du lit caillouteux du cours d'eau. Lorsque le colmatage est excessif, il réduit la perméabilité du substrat caillouteux, ce qui diminue les vitesses interstitielles et par conséquent l'apport d'oxygène nécessaire à la survie des communautés d'invertébrés et des embryons de poissons lithophiles.

Continuité sédimentaire
État du processus de transport sédimentaire lorsqu'il n'est pas perturbé par un obstacle infranchissable dans sa propagation vers l'aval, tel qu'un barrage par exemple.

Continuum fluvial
Section amont-aval continue d'un linéaire de cours d'eau. Dans l'OSR, le continuum fluvial considéré s'étend du lac Léman à la Mer Méditerranée.

Débitance
Caractéristique d'un chenal déterminant le débit maximum qu'il peut évacuer en régime hydrologique permanent uniforme.

DEHP - di(2-éthylhexyl) phtalate
Substance chimique organique dérivée de l'acide phtalique et couramment utilisée pour augmenter la flexibilité des plastiques. Le DEHP est un contaminant hydrophobe très souvent retrouvé dans les sédiments. C'est une substance toxique (perturbateur endocrinien), bioaccumulable, dont l'usage est dorénavant fortement réglementé.

Delta ou **lobe deltaïque**
Forme morphologique littorale créée par l'accumulation rapide de sédiments au débouché d'un fleuve en mer.

Érosion aréolaire
Érosion de surface (érosion par exemple de la plaine alluviale par des écoulements débordants) distincte d'une érosion de la berge.

ETM - Éléments traces métalliques
Ensemble des éléments chimiques qui peuvent se transformer en cations et ont un comportement de métaux. Leurs concentrations sont normalement faibles dans l'environnement. Les ETM sont toxiques au-delà d'un certain seuil. Pour ce qui concerne l'OSR, il englobe les éléments suivants, qui font l'objet de suivis réglementaires (certains

étaient auparavant regroupés dans le terme « métaux lourds », terme inapproprié car mal défini) : l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le cobalt (Co), le cuivre (Cu), le manganèse (Mn), le mercure (Hg), le nickel (Ni), le plomb (Pb) et le zinc (Zn).

Exhaussement
Variation verticale du fond d'un cours d'eau vers le haut. Le processus inverse est l'incision.

Flèche sableuse
Accumulation sédimentaire meuble de sables, ancrée à la terre ferme sur une de ses extrémités tandis que l'autre s'avance vers la mer.

Fond géochimique
Concentrations naturelles en ETM pour une zone donnée. Il s'agit des concentrations que l'on devrait trouver dans les MES ou les sédiments en l'absence d'activités humaines.

Fraction non réactive ou **résiduelle**
Fraction du sédiment qui est inerte vis-à-vis des modifications environnementales du milieu (comme le pH, oxygène, conductivité). Cette fraction correspond majoritairement à la matrice cristalline des sédiments. Les concentrations en éléments majeurs et traces associés à cette fraction sont donc invariables.

GéoOSR
Plateforme de cartographie web de l'OSR.

Glyphosate
Herbicide qui, du fait de son utilisation généralisée (désherbant le plus utilisé au monde), est retrouvé couramment dans les eaux et également dans les sédiments. C'est une substance chimique organique très polaire (non hydrophobe). Il se dégrade généralement en AMPA.

Granulométrie
Classement (en volume ou en masse) des particules sédimentaires selon la longueur de leur diamètre. Dans le cadre de l'OSR, la mesure se fait généralement à l'aide d'un granulomètre par diffraction laser et permet de mesurer les particules de quelques micromètres (≈0,01 µm) jusqu'au centimètre. Les particules sont ensuite classées en trois groupes avec les argiles (< 1,95 µm), les limons (1,95–62,5 µm) et les sables (62,5–2000 µm). La charge de fond quant à elle peut être définit en 4 classes : les graviers (2 – 16 mm), les galets (16 – 64 mm), les pierres (64 - 256 mm) et les blocs (256 – 2014 mm)

Habitats
L'habitat constitue le milieu de vie d'une espèce donnée lui permettant d'assurer toutes ses fonctions vitales. Selon les exigences des espèces lors de certains stades de développement de leurs cycles de vie, l'habitat peut être aquatique, benthique (au fond du lit des cours d'eau) ou hyporhéique (dans les interstices des alluvions fluviatiles), ou riverain (sur le bord des cours d'eau).

HAP - Hydrocarbures aromatiques polycycliques
Composés organiques hydrophobes résultant des processus de combustion incomplète de produits pétroliers ou de matière organique (e.g. transport, chauffage, feux de forêt), ou formés à partir de produits pétroliers ou dérivés (rejets essence, huile...).

Incision
Variation verticale du fond d'un cours d'eau vers le bas. Le processus inverse est l'exhaussement.

LIDAR - Light detection and ranging
Technique de mesure topographique, en général par laser aéroporté, permettant de couvrir de grands domaines rapidement et à haute résolution spatiale.

Ligne d'eau
Profil longitudinal de niveau d'eau dans un cours d'eau.

Limnigramme
Série temporelle de niveaux d'eau dans un cours d'eau.

Marges alluviales
Bandes riveraines de quelques dizaines à quelques centaines de mètres, très connectées au cours d'eau, fréquemment inondées, et en voie d'alluvionnement. Ces marges peuvent être naturelles ou construites (champ d'épis, casiers...).

MES - Matières En Suspension ou **charge en suspension**
Ensemble des particules organiques ou minérales en suspension dans le milieu aquatique, typiquement d'une taille supérieure à 0,45-0,7 µm. Il s'agit d'un vecteur important de transport des contaminants, notamment lors des crues où leurs concentrations dans l'eau peuvent atteindre plusieurs grammes par litre. À titre d'exemple, dans le Rhône à Arles (2005-2018), la concentration moyenne horaire est de 40 mg/litre avec un minimum de 0,5 mg/litre et un maximum de 6 300 mg/litre.

MesuRho
Station de l'OSR en mer Méditerranée, située à 2 km au sud-est de l'embouchure du Rhône, sur des fonds marins de 17 m.

MétaOSR
Géo-catalogue de l'OSR permettant de décrire, par une fiche de métadonnées, chaque donnée OSR stockée. Il est basé sur l'outil Open Source Geonetwork.

Modèle hydraulique 1D
Modèle mathématique représentant les variables d'un écoulement (niveau d'eau, charge, vitesse, etc.) uniquement selon l'axe longitudinal, soit la distance curviligne selon la direction principale de l'écoulement.

Morphogène
Se dit d'un événement hydrologique ou d'un débit suffisamment intense pour modifier la morphologie du cours d'eau sous l'effet des processus d'érosion et de dépôt.

Morphologie
Formes en plan et en travers des différents types des chenaux de cours d'eau. La morphologie désigne également l'étude de ces formes.

Nonylphénol
Composé organique synthétique appartenant à la famille des alkylphénols, largement utilisés dans l'industrie (propriétés tensioactives). Les nonylphénols sont théoriquement biodégradables mais toxiques, bioaccumulables et relativement persistants.

Onde de crue
Signal de niveau, vitesse et débit qui se propage de l'amont vers l'aval, et s'amortit éventuellement, lors d'une crue dans un cours d'eau.

Organoétains
Formes organiques de l'étain comprenant notamment le tributylétain, composant des peintures antifooling pour bateaux, dont l'usage est actuellement très réglementé du fait de sa forte toxicité pour les organismes aquatiques.

Panache
Jet ou écoulement se propageant dans une masse d'eau de propriétés physico-chimiques différentes. Par exemple, rejet d'eau chaude ou polluée dans le Rhône, ou export d'eau douce et chargée en MES du Rhône vers la mer.

PAP - Piège à particules
Boîte en inox (25 cm x 30 cm x 40 cm) utilisée pour prélever les matières en suspension (MES) de manière passive. Le piège est immergé dans le cours d'eau à une profondeur définie, l'eau y circule et les MES décantent par un système de chicane qui sépare le piège en trois parties. Dans le réseau de suivi de l'OSR, les PAP sont généralement exposés sur des périodes de 1 mois.

Pavage
Surface alluvionnaire caractérisée par des particules grossières protégeant un matériau sous-jacent (moins grossier) de l'érosion. Ce processus ségrégatif, nommé vannage vers l'aval, implique une mobilisation sélective des particules fines à la faveur de débits trop faibles pour mobiliser les particules plus grossières. C'est notamment le cas en aval des barrages qui entraînent une artificialisation des débits.

PBDE - Polybromodiphényléthers
Agents ignifuges bromés appartenant à la classe des retardateurs de flamme et présents dans un large éventail de produits de consommation d'usage courant depuis les années 1970. Les PBDE sont des substances hydrophobes et certains congénères sont particulièrement persistants, bioaccumulables et toxiques pour l'environnement.

PCB - Polychlorobiphényles
Famille de composés organiques aromatiques chlorés (209 congénères), synthétisés sous forme de mélanges, qui ont été utilisés par l'industrie pour leurs propriétés isolantes (transformateurs électriques) ainsi que leur stabilité chimique et physique (encres, peintures). Aujourd'hui interdits, ces contaminants chimiques ont été largement répandus dans le bassin du Rhône et persistent dans les sédiments. Ce sont des composés hydrophobes qui sont bioaccumulables et toxiques.

PCBi - Polychlorobiphényles indicateurs
Parmi les 209 PCB, sept congénères ont été sélectionnés du fait de leur persistance et car ils sont particulièrement retrouvés dans l'environnement et notamment dans les sédiments contaminés. Leur quantification est ainsi utilisée comme indicateur de la contamination pour l'ensemble de la famille des PCB.

PEC – Concentration d'effet probable
« Probable Effect Concentration », valeur guide sur la qualité des sédiments, développée par McDonald *et al.* en 2000 pour évaluer la toxicité des ETM dans les sédiments des écosystèmes d'eau douce.

Potentiel érosif
Capacité d'un facteur hydro-climatique donné (pluie, ruissellement de surface, écoulement fluviatile) à éroder une surface.

Radionucléide
Isotope radioactif et instable d'un élément chimique. Ex : ^{14}C, ^{137}Cs... Ces éléments peuvent être naturels (issus de la croûte terrestre ou de l'interaction avec le rayonnement cosmique) ou artificiels (conséquence de l'accident de Tchernobyl, rejet des centrales nucléaires...).

RCC - Rhône Court-Circuité ou **Vieux-Rhône**
Tronçon naturel du Rhône court-circuité par le canal usinier (et de navigation) d'un aménagement hydro-électrique avec dérivation, comme la majorité des aménagements du Rhône.

Réinjection ou **recharge sédimentaire**
Action de réintroduire dans le chenal, ou de rendre à nouveau disponible, une masse sédimentaire rapportée ou inaccessible au cours d'eau avant cela. De telles actions sont généralement entreprises pour ralentir les processus d'incision du chenal ou pour restaurer des habitats aquatiques.

Resuspension ou **reprise sédimentaire**
Soulèvement physique des sédiments et remise en suspension dans la colonne d'eau.

Rétraction
Processus de réduction de la largeur du lit mineur ou de la bande active d'un cours d'eau.

RFID - Identification par ondes radiofréquence
« Radio Frequency Identification », désigne un ensemble de technologies utilisées dans le cadre de l'OSR pour suivre le transport des sédiments grossiers et notamment des galets.

RT - Rhône Total
Tronçon du Rhône qui n'est pas court-circuité par un canal usinier, dans le cas d'un aménagement sans dérivation, ou d'un secteur à écoulement libre (sans aménagement).

Rudérale
Plante colonisatrice des espaces ouverts, perturbés ou instables, comme les bancs de galets par exemple.

Rugosité - Coefficient de Manning/Strickler
Propriété caractérisant les pertes de charge par dissipation d'énergie le long d'un tronçon de cours d'eau. On parle plus justement de résistance hydraulique ou « résistance à l'écoulement ».

SDAGE - Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
Outil d'orientation et de planification de la politique de l'eau à l'échelle de chacun des grands bassins français (Loi sur l'eau du 3 janvier 1992).

Sédiments
Aussi désignés comme particules sédimentaires, les sédiments sont les particules minérales ou organiques aux tailles hétérogènes transportées ou déposées par la force de gravité ou l'action d'agents de transport externes (glaciers, cours d'eau, vent, ...)

Signature géochimique
Ensemble des concentrations d'ETM ou de radionucléides sur les MES ou sédiment que l'on peut associer à une origine ou une zone particulière et qui permettent ainsi de retracer leur devenir dans l'espace et le temps (assimilable à une « empreinte »).

Sondage à la perche
Mesure des épaisseurs de sédiments à l'aide d'une perche ou d'une canne.

SORA - Station Observatoire du Rhône en Arles
Locaux dans lesquels des prélèvements d'eau et de MES du Rhône sont réalisés à Arles.

Station hydro-sédimentaire
Point de mesure sur un cours d'eau réunissant une détermination en continu du débit (station hydrométrique) et de la concentration en MES (station turbidimétrique étalonnée ou prélèvements automatiques) afin d'établir une série temporelle de flux de MES. En général, les concentrations en contaminants dans les MES sont déterminées par prélèvements passifs (pièges à particules) ou centrifugation à flux continu.

Substratum (affleurement du substratum)
Le substratum (rocheux) est la roche-mère, c'est-à-dire, la couche minérale superficielle de la croûte terrestre. Un affleurement du substratum est une zone spatiale où la roche-mère est dégagée de tout sédiment et exposée à l'air ou à l'eau.

Succession végétale
Évolution de la végétation caractérisée par différents stades (pionniers, post-pionniers, matures) au cours desquels certaines espèces disparaissent et d'autres apparaissent au fur et à mesure de la déconnexion hydrologique de l'unité et de son vieillissement (réduction de la luminosité au fur et à mesure du développement d'une strate haute, exhaussement par les fines, réduction de la fréquence et de l'intensité des inondations, augmentation de la distance à la nappe).

Système d'Information Géographique (SIG)
Outil informatique de recueil, stockage, gestion et traitement de données spatialisées.

TEC – Concentration seuil d'effet avéré
« Threshold Effect Concentration », valeur guide sur la qualité des sédiments développée par McDonald *et al.* en 2000 pour évaluer la toxicité des ETM dans les sédiments des écosystèmes d'eau douce.

Transit ou transport sédimentaire Circulation des flux de sédiments dans un cours d'eau.

Transparence sédimentaire
Propriété d'un ouvrage ou aménagement lorsqu'il n'a aucun impact significatif sur le transit sédimentaire.

Tritium technogénique
Le tritium est un élément radioactif naturel (issue du rayonnement cosmique) et artificiel (rejet des installations nucléaires). Dans le Rhône, la fraction de tritium lié à la matière organique a aussi pour origine son utilisation au cours du siècle dernier dans des ateliers d'horlogerie situés sur le Rhône amont en France et en Suisse (bassin du Doubs notamment). On parle alors de tritium technogénique pour désigner cette source de contamination.

Turbidité Propriété optique d'un liquide qui traduit l'atténuation de la lumière par le liquide et les matières en suspension. La turbidité dépend notamment de la charge en suspension, qu'elle permet de mesurer après calibration.

LISTE DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Piégay, H., Radakovitch, O. (Coord.) (2019). The Rhône Sediment Observatory (2008-2017) : main results and challenging issues after 10 years. Special issue. ***Science of the Total Environment***

THÉMATIQUE 1
Mesurer la continuité sédimentaire, évaluer les apports de sédiments à la mer et caractériser l'évolution de l'embouchure

Boudet, L. (2017). ***Modélisation du transport sédimentaire lié aux crues et aux tempêtes à l'embouchure du Rhône.*** Thèse de Doctorat, Aix-Marseille Université.

Boudet, L., Sabatier, F., Radakovitch, O. (2017). Modelling of sediment transport pattern in the mouth of the Rhone delta : Role of storm and flood events. ***Estuarine, Coastal and Shelf Science,*** 198, 568-582.

Camenen, B., Naudet, G., Dramais, G., Le Coz, J., Paquier, A. (2019). A multi-technique approach for evaluating sand dynamics in a complex engineered piedmont river system. ***Science of The Total Environment,*** 657, 485-497.

Dépret, T., Piégay, H., Dugué, V., Vaudor, L., Faure, J. B., Le Coz, J., Camenen, B. (2019). Estimating and restoring bedload transport through a run-of-river reservoir. ***Science of the Total Environment,*** 654, 1146-1157.

Dramais, G. (2020). ***Observation et modélisation des flux de sable dans les grands cours d'eau.*** Thèse de Doctorat, Université de Lyon - INRAE

Vergne, A. (2018). ***Mesure acoustique des sédiments en suspension dans les rivières.*** Thèse de Doctorat. Université de Grenoble Alpes.

Vergne, A., Le Coz, J., Berni, C., Pierrefeu, G. (2020). Using a down-looking multifrequency ABS for measuring suspended sediments in rivers. ***Water Resources Research,*** 56(2), e2019WR024877.

THÉMATIQUE 2
Caractériser les évolutions historiques de la morphologie fluviale et évaluer leurs impacts sur les habitats aquatiques et riverains

Dépret, T., Riquier, J., Piégay, H. (2017). Evolution of abandoned channels : Insights on controlling factors in a multi-pressure river system. ***Geomorphology,*** 294, 99-118.

Janssen, P., Stella, J., Piégay, H., Räpple, B., Pont, B., Faton, J.-M., Cornelissen, H., Évette, A. (2020). Divergence of riparian forest composition and functional traits from natural succession along a degraded river with multiple stressor legacies. ***Sciences of the Total Environment,*** 721, 137730.

Janssen, P., Stella, J.C., Räpple, B., Gruel, C.-R., Seignemartin, G., Pont, B., Dufour, S., Piégay, H. (2020). Long-term river management legacies strongly alter riparian forest attributes and constrain restoration potential along a large, multi-use river. ***Journal of Environmental Management,*** 279, 111630

Notebaert, B., Berger, J.-F., Brochier, J.-L. (2014). Characterization and quantification of Holocene colluvial and alluvial sediments in the Valdaine Region (southern France). ***The holocene,*** 24(10), 1320-1335.

Parrot, E., (2015). ***Analyse spatiale et temporelle de la morphologie du chenal du Rhône du Léman à la Méditerranée.*** Thèse de Doctorat, Géographie, Université Lyon 3.

Provansal, M., Dufour, S., Sabatier, F., Anthony, E. J., Raccasi, G., Robresco, S. (2014). The geomorphic evolution and sediment balance of the lower Rhône River (southern France) over the last 130 years : Hydropower dams versus other control factors. ***Geomorphology,*** 219, 27-41.

Räpple, B. (2018). ***Patron de sédimentation et caractéristiques de la ripisylve dans les casiers Girardon du Rhône. Approche comparative pour une analyse des facteurs de contrôle et une évaluation des potentialités écologiques.*** Thèse de Doctorat, Géographie, Université Lyon 2.

Seignemartin, G. (2020). ***Évolution contemporaine des « casiers Girardon » du Rhône : approche géohistorique à partir d'indicateurs morpho-sédimentaires, géochimiques et phytoécologiques.*** Thèse de Doctorat, Géographie, Université Lyon 2.

Singer, M.B., Stella, J.C., Dufour, S., Piégay, H., Wilson, R.J.S., Johnstone, L. (2012). Contrasting water - uptake and growth responses to drought in co-occurring riparian tree species. ***Ecohydrology,*** 6(3), 402-412.

Tena, A., Piégay, H., Seignemartin, G., Barra, A., Berger, J. F., Mourier, B., Winiarski, T. (2020). Cumulative effects of channel correction and regulation on floodplain terrestrialisation patterns and connectivity. ***Geomorphology,*** 354, 107034.

Vázquez-Tarrío, D., Tal, M., Camenen, B., Piégay, H. (2019). Effects of continuous embankments and successive run-of-the-river dams on bedload transport capacities along the Rhône River, France. ***Science of The Total Environment,*** 658, 1375-1389.

Vauclin S., Mourier B., Piégay H., Winiarski T. (2020) Legacy sediments in a European context : The example of infrastructure-induced sediments on the Rhône River. ***Anthropocene,*** 31, 100248.

THÉMATIQUE 3
Évaluer la faisabilité des actions de restauration et mesurer la réponse du fleuve

Cassel, M., Piégay, H., Lavé, J. (2017). Effects of transport and insertion of radio frequency identification (RFID) transponders on resistance and shape of natural and synthetic pebbles : applications for riverine and coastal bedload tracking. ***Earth Surface Processes and Landforms,*** 42(3), 399-413.

Janssen, P., Piégay, H., Evette, A. (2020). Fine-grained sediment deposition alters the response of plant CSR strategies on the gravel bars of a highly regulated river. ***Applied Vegetation Science,*** 23(3), 452-463.

Janssen, P., Piégay, H., Pont, B., Evette, A. (2019). How maintenance and restoration measures mediate the response of riparian plant functional composition to environmental gradients on channel margins : Insights from a highly degraded large river. ***Science of the Total Environment,*** 656, 1312-1325.

Thorel, M., Piégay, H., Barthélémy, C., Räpple, B., Gruel, C.-R., Marmonier, P., Winiarski, T., Bedell, J.-P., Arnaud, F., Roux, G., Stella, J.C., Seignemartin, G., Tena, A., Wawrzyniak, V., Roux-Michollet, D., Oursel, B., Fayolle, S., Bertrand, C., Franquet, E. (2018). Socio-environmental implications of process-based restoration strategies in large rivers : should we remove novel ecosystems along the Rhône (France)? ***Regional Environmental Change,*** 18(7), 2019-2031.

Vauclin, S. (2020). ***Influence des aménagements et des contaminations sur les héritages sédimentaires des fleuves anthropisés : le cas du Rhône.*** Thèse de Doctorat, Chimie Environnement, Université de Lyon - ENTPE.

Vauclin, S., Mourier, B., Dendievel, A.-M., Noclin, N., Piégay, H., Marchand, P., Vénisseau, A., de Vismes, A. , Lefèvre, I., Winiarski, T. (2021). Depositional environments and historical contamination as a framework to reconstruct fluvial sedimentary evolution. ***Science of the Total Environment,*** 764, 142900.

Vauclin, S., Mourier, B., Tena, A., Piégay, H., Winiarski, T. (2019). Effects of river infrastructures on the floodplain sedimentary environment in the Rhône River. ***Journal of Soils and Sediments,*** 1-12.

THÉMATIQUE 4
Comprendre les conséquences des évolutions morphologiques du chenal sur l'aléa inondation

Seignemartin, G. (2020). ***Évolution contemporaine des « casiers Girardon » du Rhône : approche géohistorique à partir d'indicateurs morpho-sédimentaires, géochimiques et phytoécologiques.*** Thèse de Doctorat, Géographie, Université Lyon 2.

THÉMATIQUE 5
Quantifier les flux de matières en suspension et de contaminants associés à l'échelle du fleuve et de ses affluents

Delile, H., Masson, M., Miège, C., Le Coz, J., Poulier, G., Le Bescond, C., Radakovitch, O., Coquery, M. (2020). Hydro-climatic

drivers of land-based organic and inorganic particulate micropollutant fluxes : The regime of the largest river water inflow of the Mediterranean Sea. ***Water Research***, 185, 116067.

Launay, M. (2014). ***Flux de matières en suspension, de mercure et de PCB particulaires dans le Rhône, du Léman à la Méditerranée.*** Thèse de Doctorat, Chimie-Environnement. Université de Lyon, Irstea. 432 p.

Launay, M., Dugué, V., Faure, J. B., Coquery, M., Camenen, B., Le Coz, J. (2019). Numerical modelling of the suspended particulate matter dynamics in a regulated river network. ***Science of the Total Environment,*** 665, 591-605.

Launay, M., Le Coz, J., Angot, H., Dramais, G., Andries, E., Camenen, B., Coquery, M. (2014). Numerical and physical simulation of soluble contaminant transport through complex large river systems. ***J. Hydro-engineeing Res,*** 9 :120-132.

Launay, M., Le Coz, J., Camenen, B., Walter, C., Angot, H., Dramais, G., Faure, J.B., Coquery, M. (2015). Calibrating pollutant dispersion in 1-D hydraulic models of river networks. ***Journal of Hydro-environment Research,*** 9(1), 120-132.

Launay, M., Le Coz, J., Diouf, S., Camenen, B., Thollet, F., Coquery, M. (2019). Réévaluation des apports moyens de matières en suspension de l'Arve au Rhône. ***La Houille Blanche,*** (2), 89-100.

Le Bescond, C., Thollet, F., Poulier, G., Gairoard, S., Lepage, H., Branger, F., Jamet, L., Raidelet, N., Radakovitch, O., Dabrin, A., Coquery, M., Le Coz, J. (2018). Des flux d'eau aux flux de matières en suspension et de contaminants associés : gestion d'un réseau de stations hydro-sédimentaires sur le Rhône. ***Houille Blanche-Revue Internationale de l'Eau,*** (3), 63-70

Le Coz, J., Bechon, P. M., Camenen, B., Dramais, G. (2014). Quantification des incertitudes sur les jaugeages par exploration du champ des vitesses. ***La Houille Blanche,*** (5), 31-39.

Le Coz, J., Chaléon, C., Bonnifait, L., Le Boursicaud, R., Renard, B., Branger, F., Diribarne, J., Valente, M. (2013). Analyse bayésienne des courbes de tarage et de leurs incertitudes : la méthode BaRatin. ***La Houille Blanche,*** (6), 31-41.

Lepage, H., Masson, M., Delanghe, D., Le Bescond, C. (2019). Grain size analyzers : results of an intercomparison study. ***SN Applied Sciences,*** 1(9), 1-14.

Masson, M., Angot, H., Le Bescond, C., Launay, M., Dabrin, A., Miège, C., Le Coz, J., Coquery M. (2018). Sampling of suspended particulate matter using particle traps in the Rhône River : Relevance and representativeness for the monitoring of contaminants. ***Science of the Total Environment,*** 637, 538-549.

Poulier, G., Launay, M., Le Bescond, C., Thollet, F., Coquery, M., Le Coz, J. (2019). Combining flux monitoring and data reconstruction to establish annual budgets of suspended particulate matter, mercury and PCB in the Rhône River from Lake Geneva to the Mediterranean Sea. ***Science of the Total Environment,*** 658, 457-473.

Sakho, I., Dussouillez, P., Delanghe, D., Hanot, B., Raccasi, G., Tal, M., Sabatier, F., Provansal, M., Radakovitch, O. (2019). Suspended sediment flux at the Rhone River mouth (France) based on ADCP measurements during flood events. ***Environmental Monitoring and Assessment,*** 191(8), 1-15.

THÉMATIQUE 6
Identifier les sources des matières en suspension et des contaminants et caractériser leurs dynamiques à l'échelle du bassin-versant

Bégorre C. (2021). ***Origine des matières en suspension et des sédiments déposés dans le bassin versant du Rhône : historique des apports et réactivité des traceurs.*** Thèse de Doctorat, Chimie environnementale, Université de Lyon - INRAE.

Bégorre C., Dabrin, A., Morereau A., Lepage H., Mourier B., Masson, M., Eyrolle F., Coquery M. (2021). Relevance of using the non-reactive geochemical signature in sediment core to estimate historical tributary contributions. ***Journal of Environmental Management,*** 292, 112775.

Dabrin, A., Bégorre, C., Bretier, M., Dugué, V., Masson, M., Le Bescond, C., Le Coz, J., Coquery, M. (2021). Reactivity of particulate element concentrations : apportionment assessment of suspended particulate matter sources in the Upper Rhône River, France. ***Journal of Soils and Sediments,*** 1-19.

Dendievel, A. M., Mourier, B., Coynel, A., Evrard, O., Labadie, P., Ayrault, S., Debret, M., Koltalo, F., Copard, Y., Faivre, Q., Gardes, T., Vauclin, S., Budzinski, H., Grosbois, C., Winiarski, T., Desmet, M. (2020). Spatio-temporal assessment of the polychlorinated biphenyl (PCB) sediment contamination in four major French river corridors (1945–2018). ***Earth System Science Data,*** 12(2), 1153-1170.

Dendievel, A.M., Mourier, B., Dabrin, A., Barra, A., Begorre, C., Delile, H., Hammada, M., Lardaux, G., Berger, J.F (2020). Dataset of natural metal background levels inferred from pre-industrial palaeochannel sediment cores along the Rhône River (France). ***Data in Brief,*** 32.

Dendievel, A.M, Mourier, B., Dabrin, A., Delile, H., Coynel, A., Gosset, A., Liber, J., Berger, J.F., Bedell, J.F. (2020). Metal pollution trajectories and mixture risk assessed by combining dated cores and subsurface sediments along a major European river (Rhône River, France). ***Environment International,*** 144.

Eyrolle-Boyer, F., Claval, D., Cossonnet, C., Zebracki, M., Gairoard, S., Radakovitch, O., Calmon, P., Leclerc, E. (2015). Tritium and 14C background levels in pristine aquatic systems and their potential sources of variability. ***Journal of Environmental Radioactivity,*** 139, 24-32.

Eyrolle, F., Lepage, H., Antonelli, C., Morereau, A., Cossonnet, C., Boyer, P., Gurriaran, R. (2020). Radionuclides in waters and suspended sediments in the Rhone River (France)-Current contents, anthropic pressures and trajectories. ***Science of The Total Environment,*** 723, 137873.

Eyrolle, F., Lepage, H., Copard, Y., Ducros, L., Claval, D., Saey, L., Cossonnet, C., Giner, F., Mourier, D. (2018). A brief history of origins and contents of Organically Bound Tritium (OBT) and ^{14}C in the sediments of the Rhone Watershed. ***Science of the Total Environment,*** 643, 40-51.

Ferrand, E., Eyrolle, F., Radakovitch, O., Provansal, M., Dufour, S., Vella, C., Raccasi, G., Gurriaran, R. (2012). Historical levels of heavy metals and artificial radionuclides reconstructed from overbank sediment records in lower Rhône River (South-East France). ***Geochimica et Cosmochimica Acta,*** 82, 163-182.

Liber, Y., Mourier, B., Marchand, P., Bichon, E., Perrodin, Y., Bedell, J. P. (2019). Past and recent state of sediment contamination by persistent organic pollutants (POPs) in the Rhône River : Overview of ecotoxicological implications. ***Science of the Total Environment,*** 646, 1037-1046.

Lopes, C., Persat, H., Babut, M. (2012). Transfer of PCBs from bottom sediment to freshwater river fish : A food-web modelling approach in the Rhône River (France) in support of sediment management. ***Ecotoxicology and Environmental Safety,*** 81, 17-26.

Morereau, A. (2020). ***Reconstitution à partir d'archives sédimentaires des concentrations et des sources des radionucléides ayant transité dans le Rhône et la Loire au cours de l'ère nucléaire.*** Thèse de Doctorat, Université Aix-Marseille, IRSN.

Mourier, B., Desmet, M., Van Metre, P. C., Mahler, B. J., Perrodin, Y., Roux, G., Bedell, J.-P., Lefevre, I., Babut, M. (2014). Historical records, sources, and spatial trends of PCBs along the Rhône River (France). ***Science of the total environment,*** 476, 568-576.

Provansal, M., Ferrand, E., Eyrolle, F., Raccasi, G., Monaco, M., Gurriaran, R. (2012). Spatial variability in sedimentation rates and artificial radionuclide storage in alluvial banks of the lower Rhône River. ***Aquatic sciences,*** 74(4), 735-750.

Vauclin, S., Mourier, B., Dendievel, A. M., Marchand, P., Vénisseau, A., Morereau, A., Lepage, H., Eyrolle, F., Winiarski, T. (2021). Temporal trends of legacy and novel brominated flame retardants in sediments along the Rhône River corridor in France. ***Chemosphere,*** 271, 129889.

Zebracki, M., Cagnat, X., Gairoard, S., Cariou, N., Eyrolle-Boyer, F., Boulet, B., Antonelli, C. (2017). U isotopes distribution in the Lower Rhone River and its implication on radionuclides disequilibrium within the decay series. ***Journal of Environmental Radioactivity,*** 178, 279-289.

Zebracki, M., Eyrolle, F., Cagnat, X., Antonelli, C., De Vismes-Ott, A., Boullier, V. (2013). Characterisation of naturally occurring radionuclides in the lower Rhone River (France) : preliminary results from suspended solid monitoring. ***WIT Trans Ecol Environ,*** 171, 235-245.

THÉMATIQUE 7
Évaluer les effets des opérations de gestion sédimentaire sur les flux de matières en suspension et les contaminants

Bretier M. (2019). ***Évaluation de la variabilité spatio-temporelle du mercure et de l'arsenic dans les eaux de surface par échantillonnage passif.*** Thèse de Doctorat, Chimie environnementale, Université de Lyon - Irstea.

Bretier, M., Dabrin, A., Bessueille-Barbier, F., Coquery, M. (2019). The impact of dam flushing event on dissolved trace elements concentrations : Coupling integrative passive sampling and discrete monitoring (2019). ***Science of the Total Environment,*** 656, 433-446.

Guertault, L. (2015). ***Évaluation des processus hydro-sédimentaires d'une retenue de forme allongée : application à la retenue de Génissiat sur le Haut-Rhône.*** Thèse de Doctorat. Université Lyon 1.

Guertault, L., Camenen, B., Peteuil, C., Paquier, A. (2014). Long term evolution of a dam reservoir subjected to regular flushing events. ***Advances in Geosciences,*** 39, 89-94.

Guertault, L., Camenen B., Peteuil, C., Paquier, A. (2018). A one-dimensional process-based approach to study reservoir sediment dynamics during management operations. ***Earth Surface Processes & Landforms,*** 43(2) : 373-386.

Guertault, L., Camenen, B., Peteuil, C., Paquier, A., Faure, J. B. (2016). One-dimensional modeling of suspended sediment dynamics in dam reservoirs. ***Journal of Hydraulic Engineering,*** 142(10), 04016033.

Lepage, H., Launay, M., Le Coz, J., Angot, H., Miège, C., Gairoard, S., Radakovitch, O., Coquery, M. (2020). Impact of dam flushing operations on sediment dynamics and quality in the upper Rhône River, France. ***Journal of Environmental Management,*** 255, 109886.

THÉMATIQUE 8
Structurer, pérenniser et diffuser les résultats de recherche de l'OSR

Arnaud, F., Sehen Chanu, L., Grillot, J., Riquier, J., Piégay, H., Roux-Michollet, D., Carrel, G., Olivier, J. M. (2021). Historical cartographic and topo-bathymetric database on the French Rhône River (17th–20th century). ***Earth System Science Data,*** 13(5), 1939-1955.

Branger, F., Thollet, F., Crochemore, M., Poisbeau, M., Raidelet, N., Farissier, P., Lagouy, M., Dramais, G., Le Coz, J., Guérin, A., Tallec, G., Peschard, J., Mathys, N., Klotz, S., Tolsa, M. (2014). Le projet base de données pour les observatoires en hydrologie : un outil pour la bancarisation, la gestion et la mise à disposition des données issues des observatoires hydrologiques de long terme à Irstea. ***La Houille Blanche,*** (1), 33-38.

Thollet, F., Le Bescond, C., Lagouy, M., Gruat, A., Grisot, G., Le Coz, J., Coquery, M., Lepage, H., Gairoard, S., Gattacceca, J., Ambrosi, J.-P., Radakovitch, O. (2018). ***Observatoire des Sédiments du Rhone.*** INRAE.

RAPPORTS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

Les résultats scientifiques et techniques des différents programmes d'actions de l'Observatoire des Sédiments du Rhône font l'objet d'un rapportage approfondi. L'ensemble des rapports est disponible sur le portail documentaire Hal, dans la collection de l'OSR ou directement sur le site web de l'observatoire.

5ème Programme d'actions (OSR5 - 2018-2020)

AXE A Redynamisation des marges alluviales : faisabilité, risques, opportunités

- Carottages et géophysique des annexes fluviatiles de Donzère et Baix-le-Logis-Neuf
- Évolution morphologique des marges alluviales et évaluation des stocks de sédiments grossiers
- Évaluation du transport solide : synthèse globale et validation d'un protocole de mesure de la granulométrie
- Suivi de l'effet morphologique du démantèlement des marges

AXE B Monitoring des flux

- Rapport annuel sur le fonctionnement d'observation des flux 2018
- Rapport annuel sur le fonctionnement d'observation des flux 2019
- Rapport annuel sur le fonctionnement d'observation des flux 2020
- Évaluation multi-échelle des flux de MES et de contaminants associés dans le bassin du Rhône
- Suivi événementiel des flux de MES à la station MesuRho
- Mesure de la charge sableuse
- Mesure de la charge sableuse : méthodologies

AXE C Approfondissement des connaissances pour établir le diagnostic de l'état fonctionnel du Rhône

- Estimation des contributions relatives des affluents aux flux de MES sur le Rhône
- Analyse spatiale des zones sources de MES
- Approfondissement d'une méthodologie pour l'évaluation des tendances spatiales de contamination – Spécificité du Rhône vis-à-vis des grands fleuves français
- Tendances temporelles des contaminations, historique des flux et estimation des stocks (approches MES vs carottes)
- Contribution relative des flux de contaminants particulaires et dissous dans le Gier
- Réactivité des contaminants avec la matière organique
- Transfert particulaire-dissous des radio-isotopes à l'embouchure
- Analyse rétrospective de l'évolution contemporaine des niveaux d'eau dans les secteurs de Péage-de-Roussillon et Donzère-Mondragon
- Modélisation morphodynamique 1D du secteur Péage-de-Roussillon
- Étude et amélioration de l'efficacité d'échantillonnage des pièges à particules

AXE D Modélisation, bancarisation et valorisation des données

- Modélisation des flux – modèle hydrosédimentaire 1D
- Développement de l'application informatique BDOH 2018
- Développement de l'application informatique BDOH 2019
- Développement de l'application informatique BDOH 2020

4ème Programme d'actions (OSR4 - 2015-2017)

AXE I Charge de fond et géométrie du chenal

- Quantification de la charge sableuse
- Test d'infiltration dans le vieux-Rhône de Miribel-Jonage
- Mesures et modélisations des apports de l'Ain sur la morphodynamique de Miribel-Jonage
- Mesures et modélisations du fonctionnement hydrosédimentaire du secteur de Bourg-lès-Valence
- Modélisation des évolutions morphodynamiques du chenal sur le long terme
- Modélisation des évolutions morphodynamiques de l'embouchure

AXE II Sédimentation et morphologie du lit majeur

- Synthèse des connaissances morphosédimentaires des marges fluviales des secteurs de Péage-de-Roussillon, Donzère-Mondragon et Pierre-Bénite
- Traitement et analyse des radargrammes sur le secteur de Péage-de-Roussillon
- Traitement et analyse des radargrammes sur le secteur de Donzère-Mondragon
- Traitement et analyse des radargrammes sur le secteur de Pierre-Bénite
- Développement du GPR aquatique - étude de faisabilité
- Détermination de la dynamique sédimentaire spatiale et temporelle de la plaine alluviale pour le secteur de Péage-de-Roussilon
- Détermination de la dynamique sédimentaire spatiale et temporelle de la plaine alluviale pour le secteur de Donzère-Mondragon
- Détermination de la dynamique sédimentaire spatiale et temporelle de la plaine alluviale pour le secteur de Pierre-Bénite
- Détermination de la dynamique sédimentaire des marges anciennes des secteurs de Péage-de-Roussillon

et de Donzère-Mondragon

> Stocks sédimentaires des marges actives – Méthodologie générale et application sur Péage-de-Roussillon

> Stocks sédimentaires des marges actives – Approche comparée inter-sites DZM – PDR – PBN

AXE III Flux de MES et contaminants associés

> Rapport sur le fonctionnement du réseau d'observation des flux 2015

> Rapport sur le fonctionnement du réseau d'observation des flux 2016

> Rapport sur le fonctionnement du réseau d'observation des flux 2017

> Synthèse sur les techniques granulométriques

> Étude du fonctionnement des pièges à particules dans le canal hydraulique

> Bilan actualisé des flux de matières en suspension et micropolluants associés sur le bassin du Rhône pour la période 2011-2016

> Interprétation des données de flux existantes aux stations de Jons et Arles

AXE IV Sources de contaminants

> Utilisation des traceurs géochimiques pour déterminer les sources de contaminants particulaires à l'échelle du bassin du Rhône

> Évaluation des sources de contaminants organiques dans les MES

> Évaluation des sources de contaminants métalliques dans les MES

> État des lieux des contaminants prioritaires et émergents sur le bassin du Rhône - Quantification des niveaux de contaminants dans les MES

> État des lieux des radionucléides émergents sur le bassin du Rhône - Quantification des niveaux de Tritium lié et C14 dans les MES

> Réseau de mesure de flux sur les nouveaux polluants - Proposition d'actions pour mesurer les flux de polluants émergents à l'échelle du bassin

AXE V Modélisation et outils numériques

> Implémentation du charriage et de la morphodynamique dans Adis-TS

> Rapport sur le développement, le calage et l'amélioration du modèle hydrosédimentaire 1D du Rhône du Lac Léman à la Mer Méditerranée

> Outils de stockage et visualisation des données du réseau OSR d'observation des flux de matières en suspension et de contaminants particulaires

> Tutoriel d'utilisation de la Base de Données pour les Observatoires en Hydrologie (BDOH)

3ème Programme d'actions (OSR3 - 2014-2015)

AXE I Charge de fond et géométrie du chenal

> Rapport de mesures : Mesures de terrain pour l'acquisition d'images subaquatiques sur le Rhône

AXE II Sédimentation et morphologie du lit majeur

> Analyse des processus de sédimentation dans le lit majeur et les annexes fluviales du RCC de Péage-de-Roussillon

AXE III Flux de MES et contaminants associés

AXE IV Sources de contaminants

> Rapport sur le réseau OSR flux (2013-2014)

> Estimation des flux de contaminants particulaires à Arles et Jons (2013)

> Estimation des flux de MES et contaminants associés sur le Rhône et ses affluents

AXE V Modélisation et outils numériques

> Modélisation hydro-sédimentaire 1-D du Rhône de Lyon à la mer Méditerranée - Bilan 2014

2ème Programme d'actions (OSR2 - 2010-2013)

ACTION 1 Analyse de l'évolution de la géométrie du chenal de Genève à la mer

ACTION 2 Caractérisation du continuum sédimentaire

ACTION 3 Caractérisation et dynamique de la charge de fond en transit à l'embouchure du Grand Rhône

ACTION 4 Caractérisation et devenir des stocks sédimentaires pollués

> Dynamique hydro-sédimentaire des annexes fluviales et caractérisation de la capacité d'archivage

> Essais d'écotoxicité et préconisation de gestion de sédiments déposés à terre

ACTION 5 Finalisation du schéma directeur de ré-activation de la dynamique fluviale des marges du Rhône

> Rapport de synthèse

> Atlas de synthèse

ACTION 6 Consolidation du réseau de mesure de flux de MES et des contaminants associés

> Analyse des données de surveillance de l'Agence de l'Eau RMC pour le calcul de flux de contaminants

> Recommandations pour la quantification des flux particulaires sur le Rhône et ses affluents

ACTION 7 Caractérisation bio-physico-chimique et traçage des sédiments et des polluants associés

> Synthèse des travaux réalisés : Caractérisation bio-physico-chimique et traçage des sédiments et des polluants associés

> Rapport du Pôle Radioprotection, environnement, déchets et crise : Origine des sédiments en transit dans le Rhône aval

ACTION 8 Suivi scientifique des opérations de chasses sur le Haut-Rhône de juin 2012

ACTION 9 Station hydrophone à Pougny : rapport d'équipement du site instrumenté

ACTION 10 Modélisation numérique 1-D du transport solide en suspension sur le Rhône

ACTION 11 Gestion et exploitation de la base de données géographiques de l'OSR

1er Programme d'actions (OSR1 - 2009-2010)

> Rapport Scientifique du 1er Programme d'actions

> Métrologie des flux sédimentaires

Étude de préconfiguration

> Accompagnement scientifique pour la mise en place d'un observatoire pour la gestion des sédiments du Rhône. Étude préliminaire : recherches documentaires sur les sédiments du Rhône et premiers éléments de réflexion.

UN COLLECTIF SCIENTIFIQUE INTERDISCIPLINAIRE

De nombreux chercheur.se.s, thésard.e.s, ingénieur.e.s et stagiaires sont intervenu.e.s tout au long de ces années. Ils et elles ont permis de construire un dispositif unique, une plateforme transdisciplinaire de partage de connaissances et d'élaboration de diagnostics sur le transit sédimentaire à l'échelle du fleuve tout entier.

Direction scientifique

M. Provansal
M. Desmet
H. Piégay
O. Radakovitch
M. Coquery

Coordination et animation

A. Chateauminois
A. Clémens
G. Fantino
B. Morandi
L. Pelisson
D. Roux-Michollet

Personnels de recherche impliqués

THÉMATIQUE 1
Mesurer la continuité sédimentaire, évaluer les apports de sédiments à la mer et caractériser l'évolution de l'embouchure

C. Berni
L. Boudet
B. Camenen
M. Cassel
G. Dramais
T. Dépret
V. Dugué
P. Dussouillez
J.B. Faure
M. Launay
J. Le Coz
A. Paquier
E. Parrot
H. Piégay
O. Radakovitch
F. Sabatier
I. Sakho
M. Tal
L. Troudet
L. Vaudor
D. Vázquez-Tarrío
A. Vergne
C. Walter

THÉMATIQUE 2
Caractériser les évolutions historiques de la morphologie fluviale et évaluer leurs impacts sur les habitats aquatiques et riverains

B. Camenen
A. Barra
J.-F. Berger
J.-L. Brochier
S. Dufour
A. Evette
J. Fleury
C.-R. Gruel
P. Janssen
B. Mourier
B. Notebaert
E. Parrot
H. Piégay
M. Provansal
G. Raccasi
B. Räpple
J. Riquier
F. Sabatier
G. Seignemartin
M.B. Singer
J. Stella
M. Tal
A. Tena
S. Vauclin.
D. Vázquez-Tarrío
T. Winiarski

THÉMATIQUE 3
Évaluer la faisabilité des actions de restauration et mesurer la réponse du fleuve

M. Bertrand
J.P. Bravard
L. Bultingaire
M. Cassel
A.-M. Dendievel
A. Evette
P. Gaydou
P. Janssen
I. Lefèvre
K. Michel
B. Mourier
N. Noclin
B. Noirot
H. Piégay
B. Räpple
G. Seignemartin
A. Serlet
M. Tal
A. Tena
S. Vauclin
D. Vázquez Tarrío
T. Winiarski

THÉMATIQUE 4
Comprendre les conséquences des évolutions morphologiques du chenal sur l'aléa inondation

F. Arnaud
B. Belletti
H. Ghaffarian
M. Lang
J. Le Coz
M. Lucas
H. Piégay
G. Seignemartin

THÉMATIQUE 5
Quantifier les flux de matières en suspension et de contaminants associés à l'échelle du fleuve et de ses affluents

JP. Ambrosi
B. Angeletti
H. Angot
M. Arhor
C. Berni
F. Branger
A. Buffet
B. Camenen
M. Coquery
D. Cossa
A. Dabrin
D. Delanghe
H. Delile
G. Dramais
V. Dugué
G. Dur
P. Dussouillez
J.B. Faure
M. Fornier
S. Gairoard
J. Gattacceca
G. Grisot
A. Gruat
L. Guertault
B. Hanot
J. Labille
M. Lagouy
M. Launay
C. Le Bescond
J. Le Coz
H. Lepage
M. Masson
C. Miège
D. Mourier
I. Pairaud
J. Panay
G. Poulier
M. Provansal
G. Raccasi
O. Radakovitch
N. Raidelet
P. Raimbault
L. Richard
F. Sabatier
I. Sakho
M. Tal
F. Thollet
R. Verney
C. Walter

THÉMATIQUE 6
Identifier les sources des matières en suspension et des contaminants et caractériser leurs dynamiques à l'échelle du bassin-versant

J.P. Ambrosi
B. Angeletti
C. Antonelli
M. Babut
A. Barra
J.-P. Bedell
C. Bégorre
J.-F. Berger
M. Bretier
B. Boulet
V. Boullier
P. Boyer
X. Cagnat
N. Cariou
D. Claval
M. Coquery
C. Cossonnet
A. Dabrin
A. Daval
H. Delile
A.-M. Dendievel
M. Desmet
L. Ducros
S. Dufour
V. Dugué
O. Evrard
F. Eyrolle
M. Fornier
M. Fressard
S. Gairoard
F. Giner
R. Gurriaran
M. Hammada
G. Lardaux
C. Le Bescond
J. Le Coz
I. Lefevre
H. Lepage
B.J. Mahler
C. Margoum
M. Masson
C. Miège
M. Monaco
A. Morereau
B. Mourier
D. Mourier
Y. Perrodin
G. Poulier
M. Provansal
G. Raccasi
O. Radakovitch
P. Raimbault
E. Resongles
P.C. Van Metre
S. Vauclin
A. Veron
T. Winiarski
M. Zebracki

THÉMATIQUE 7
Évaluer les effets des opérations de gestion sédimentaire sur les flux de matières en suspension et les contaminants

H. Angot
C. Antonelli
M. Bretier
B. Camenen
M. Coquery
A. Dabrin
F. Eyrolle
J.-B. Faure
L. Guertault
M. Launay
J. Le Coz
H. Lepage
S. Gairoard
C. Miège
B. Mourier
A. Paquier
T. Winiarski

THÉMATIQUE 8
Structurer, pérenniser et diffuser les résultats de recherche de l'OSR

J.-P. Ambrosi
A. Antonio
F. Arnaud
F. Branger
B. Camenen
M. Coquery
G. Dramais
V. Dugué
J.-B. Faure
S. Gairoard
J. Gattacceca
A. Gruat
M. Lagouy
C. Le Bescond
J. Le Coz
H. Lepage
H. Piégay
O. Radakovitch
N. Raidelet
F. Thollet
L. Troudet
C. Walter

PARTENARIATS

DES PARTENARIATS FORTS AVEC LES ACTEURS DU FLEUVE

**L'OSR est un programme de recherche soutenu dans le cadre du Plan Rhône.
Il s'appuie sur un Comité de pilotage où scientifiques et acteurs opérationnels co-construisent les programmes d'actions, partagent et discutent les connaissances acquises par l'OSR.
Ce comité de pilotage est animé par le GRAIE.**

Membres du comité de pilotage (2009-2020)

J.-P. Ambrosi *(CEREGE)*
C. Antonelli *(IRSN)*
F. Arnaud *(CNRS EVS)*
L. Alzate *(Région RA)*
M. Babut *(Cemagref)*
K. Bazouin *(SGAR)*
J.-P. Bedell *(ENTPE)*
F. Beignon *(EDF)*
C. Berni *(INRAE)*
F. Berthier *(CNRS)*
C. Bourg *(DREAL Rhône-Alpes)*
C. Boyer *(EDF)*
J.-P. Bravard *(Université Lyon 2 EVS ZABR)*
Y. Caillot *(DIREN Rhône-Alpes)*
B. Camenen *(INRAE)*
E. Capdevielle *(CNRS)*
M. Cassel (CNRS EVS)
D. Cathala *(DREAL Rhône-Alpes)*
B. Chastan *(Cemagref)*
A. Chateauminois *(GRAIE)*
A. Citterio *(ZABR)*
A. Clémens *(GRAIE ZABR)*
L. Clottes *(Agende de l'Eau RMC)*
M. Coquery *(INRAE)*
D. Cossa *(IFREMER)*
J. Crosnier *(DREAL Rhône-Alpes)*
A. Dabrin *(INRAE)*
T. Datry *(CEMAGREF)*
S. Descotes *(Région RA)*
M. Desmet *(ENTPE)*
E. Doutriaux *(CNR)*
V. Dugué *(INRAE)*
I. Eudes *(Agence de l'Eau RMC)*
F. Eyrolle-Boyer *(IRSN)*
G. Fantino *(CNRS EVS)*
M. Fressard *(CNRS EVS)*
R. Fuchs *(IFREMER)*
L. Garnier *(Région PACA)*
L. Gasnier *(Agence de l'Eau RMC)*
J.-P. Gautier *(Région PACA)*
P. Gaydou *(CNRS EVS)*
R. Gentili *(Région PACA)*
G. Golaszewski *(DIREN)*
G. Gontier *(EDF)*
Y. Gouisset *(DREAL Rhône-Alpes)*
K. Guemain *(CNR)*
H. Guyllot *(Région Rhône-Alpes)*
A.-M. Helle *(CNRS)*
I. Jacquelet *(EDF)*
J. Labille *(CEREGE)*
C. Le Bescond *(INRAE)*
J. Le Coz *(INRAE)*
H. Lepage *(IRSN)*
L. Levasseur *(CNR)*
W. Ludwig (CEFREM ORME)
S. Magnetto *(CEREGE)*
F. Malard *(CNRS LEHNA)*
J.-R. Malavoi *(EDF)*
P. Marmonier *(Univ. Lyon 1 LEHNA)*
A. Martinet *(Région AURA)*
A. Monaco *(CNRS)*
C. Montchal *(CNRS)*
J. Monereau *(DREAL)*
B. Mourier *(ENTPE)*
O. Nalbone *(Région SUD)*
O. Norotte *(DREAL)*
P. Pagherini *(CNR)*
A. Paillet *(Région Occitanie)*
I. Pairaud *(IFREMER)*
P. Pautrat *(Agence de l'Eau RMC)*
C. Payen *(Région RA)*
L. Pelisson *(INRAE)*
T. Pelte *(Agence de l'Eau RMC)*
Y. Perrodin *(ENTPE)*
C. Pesle *(Région RA)*
E. Peurois *(GRAIE)*
A. Pfitzmann *(CEREGE)*
A. Picot *(Région PACA)*
H. Piégay *(CNRS EVS)*
A. Poirel *(EDF)*
T. Pollin *(CNR)*
C. Pornon *(DREAL)*
M. Provansal *(CEREGE)*
S. Reynaud *(CNR)*
O. Radakovitch *(CEREGE)*
Y. Ronot *(Région AURA)*
G. Rousset *(SGAR)*
D. Roux-Michollet *(GRAIE)*
F. Sabatier *(CEREGE)*
E. Sivade *(Agence de l'Eau RMC)*
A.-L. Soleilhavoup *(DREAL RA)*
R. Taisant *(CNR)*
M. Tal *(CEREGE)*
P. Tourasse *(EDF)*
C. Vassas *(CEREGE)*
S. Vigneron *(DREAL Rhône-Alpes)*
E. Vitorge *(EDF)*
T. Winiarski *(ENTPE)*

OSR
Observatoire des Sédiments du Rhône

L'Observatoire des Sédiments du Rhône (OSR) est un dispositif de recherche créé en 2009 à la suite de questions sur la gestion sédimentaire du fleuve qui ont émergé dans le cadre du Plan Rhône. Il a été co-construit par les scientifiques et les gestionnaires du fleuve. Il bénéficie du soutien technique et financier des partenaires du Plan Rhône.

Cet observatoire a pour mission de produire, rassembler et diffuser des connaissances afin de caractériser les processus hydro-sédimentaires, ainsi que les pollutions associées aux stocks et aux flux de sédiments.

L'OSR a été créé dans le cadre de la Zone Atelier Bassin du Rhône (ZABR). Il nourrit les problématiques scientifiques de l'Observatoire Hommes-Milieux Vallée du Rhône (OHM VR) et apporte des connaissances robustes sur le fonctionnement du fleuve. La ZABR et l'OHM VR sont deux dispositifs labellisés par le CNRS. Le GRAIE a en charge leur animation et accompagne la coordination et la valorisation de l'OSR.

Dispositifs scientifiques cadres

OHM Vallée du Rhône – Observatoire Hommes-Milieux

Zones Ateliers – LTSER France – Bassin du Rhône

Partenaires scientifiques

cnrs · EVS · cerege · Université de Lyon · ENTPE · INRAE · IRSN – Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire · Ifremer · mio – Institut Méditerranéen d'Océanologie

Partenaires techniques et financiers

Plan Rhône Saône

République Française – Liberté, Égalité, Fraternité

agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse

Région Sud Provence Alpes Côte d'Azur

CNR

EDF

La Région Auvergne-Rhône-Alpes

La Région Occitanie Pyrénées · Méditerranée

Avec le soutien de l'Union européenne

L'Europe s'engage pour le Rhône et la Saône avec le FEDER

Union européenne