



Programme d'actions de  
l'Observatoire des Sédiments du Rhône  
OSR6 2021 - 2023



Projet définitif du 30 octobre 2020

*Amendé le 27 janvier 2021*

## ENJEUX STRATEGIQUES DE L'OSR (VISION DE 5 A 10 ANS)

Ces enjeux ont été travaillés en Comité de Pilotage OSR du 23 avril 2020 et ont été validés par l'ensemble du collectif.

- **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 monitoring du Rhône sur le long terme pour restaurer le fleuve, comprendre et modéliser les processus ; anticiper les changements

Ce programme d'actions OSR 6 - 2021 – 2023 a été construit par les scientifiques de l'OSR, en veillant à ce que chaque action réponde à un ou plusieurs enjeux stratégiques.

# SOMMAIRE

<b>AXE A : Comprendre le fonctionnement hydrosédimentaire du fleuve</b> .....	<b>5</b>
Action A1 : Mesure et quantification de la charge sableuse .....	<b>6</b>
Action A2 : Dynamique morphologique et risque inondation .....	<b>8</b>
Action A3 : Sédimentation des fines dans le lit, les retenues de barrage et les marges alluviales .....	<b>9</b>
Action A 4 : Dynamique du coin salé et dynamique sédimentaire à l'embouchure .....	<b>12</b>
<b>AXE B : Comprendre les sources et la dynamique des MES et des contaminants particulaires dans le bassin du Rhône</b> .....	<b>14</b>
Action B1 : Détermination des sources de MES et des contaminants apportés au Rhône .....	<b>15</b>
Action B2 : Identification et caractérisation des contaminants émergents .....	<b>19</b>
Action B3 : Dynamique de stockage des contaminants émergents dans les sédiments immobilisés .....	<b>21</b>
Action B4 : Étude du comportement des contaminants pour déterminer leur persistance dans le système .....	<b>24</b>
<b>AXE C : Développer des méthodes pour restaurer la qualité physique et chimique des habitats et évaluer les effets des actions</b> .....	<b>27</b>
Action C1 : Evaluation de l'état des habitats benthiques du Rhône dans les secteurs restaurés et non restaurés .....	<b>28</b>
Action C2 : Evaluation de la réponse des habitats aux actions de recharge sédimentaire .....	<b>30</b>
Action C3 : Evaluation de la durabilité et de la continuité sédimentaire à la suite d'opérations de recharge sédimentaire .....	<b>31</b>
Action C4 : Retour d'expérience des suivis de la restauration des habitats et recommandations opérationnelles .....	<b>33</b>
<b>AXE D : Prévoir les changements pour anticiper les impacts</b> .....	<b>34</b>
Action D1 : Identification des scénarios du changement .....	<b>35</b>
Action D2 : Modélisation prospective des transferts hydrologiques et des débits .....	<b>37</b>
Action D3 : Modélisation prospective des transferts sédimentaires.....	<b>38</b>
Action D4 : Modélisation de scénarios de propagation de contaminants particuliers .....	<b>40</b>
<b>AXE E : Coordonner et transférer (coordination, modélisation, bancarisation, valorisation, réseau de suivi)</b> .....	<b>42</b>
Action E1 : Réseau de suivi des flux sédimentaires du Rhône du Léman à la mer.....	<b>43</b>
Action E2 : Modélisation hydro-sédimentaire du Rhône du Léman à la mer .....	<b>46</b>
Action E3 : Bancarisation des données et métadonnées produites par l'OSR .....	<b>49</b>
Action E4 : Valorisation des produits de recherche de l'OSR .....	<b>51</b>
Action E5 : Direction et coordination financière.....	<b>53</b>



# AXE A : Comprendre le fonctionnement hydrosédimentaire du fleuve

→ Copilotes Axe A : **Benoît Camenen (INRAE-RiverLy) / Brice Mourier (ENTPE-LEHNA)**

## **Descriptif de l'axe :**

Si les connaissances sur le fonctionnement hydro-sédimentaire et morphodynamique du Rhône ont beaucoup progressé lors des cinq précédents programmes OSR, certaines lacunes demeurent. En effet, les principaux tronçons présentant une dynamique sédimentaire forte (Arve jusqu'à Génissiat, Ain-Miribel-Jonage, confluence Isère, etc.) sont identifiés et ont été étudiés pour différents types d'événement (crues, chasses de retenues) ; néanmoins, notre vision de cette dynamique et des évolutions des fonds reste très fragmentée que ce soit temporellement ou spatialement. Cette vision spatio-temporelle est fondamentale pour mieux évaluer la qualité et la dynamique du substrat - et donc des habitats sur l'ensemble du Rhône-, et pour mieux anticiper et gérer les désordres morphodynamiques causés par les érosions et dépôts de sables et graviers, qui impactent les ouvrages et aménagements.

Des efforts sont donc nécessaires pour évaluer en continu la charge de fond, en particulier pour les sables, et pour mieux comprendre la dynamique hydro-sédimentaire et les trajectoires morphodynamiques du fleuve que ce soit pour le lit mineur ou les annexes fluviales et marges alluviales.

Les principaux objectifs de cet axe sont :

- Poursuivre le développement méthodologique de suivi des sables pour une meilleure compréhension des flux sur le long-terme
- Comprendre l'évolution des fonds du lit mineur aux annexes et marges en couplant développement méthodologique, modélisation et mesures de terrain
- Appréhender l'impact des crues rares sur le modelé fluvial (dépôt/érosion) et vis-à-vis du risque inondation

## Action A1 : Mesure et quantification de la charge sableuse

Unité(s) de recherche impliquée(s) : INRAE-RiverLy

Responsables : Benoît Camenen et Céline Berni

Mots clefs : sable, flux, mesures en continu, stocks /chenal du Rhône, transport

### Descriptif général de l'action :

Cette action va permettre de pouvoir mesurer un flux continu des sables sur le Rhône et d'y associer les stocks de sable disponibles et mobilisables en crue. Il s'agira ainsi à l'échelle du Rhône de localiser (réservoir de barrage, bancs, etc.) et comprendre les excès sableux à certains endroits du continuum fluvial. Sur la première partie plus méthodologique, la mesure acoustique sera utilisée et appliquée en lien avec une thèse INRAE/EDF/CNR sur l'Isère. Cette thèse (financement EDF/CNR hors OSR) aidera au développement méthodologique de stations hydro-acoustiques (stations prévues à Grenoble et à Beaumont-Montoux) et à l'évaluation des flux de sable de l'Isère vers le Rhône.

Cette action se partagera principalement en deux tâches : la première sur la base de la modélisation hydro-sédimentaire (modèle AdisTS du Rhône, action E.2) et de mesures de terrain (en collaboration avec EDF et la CNR) se concentrera plus particulièrement sur l'évaluation des zones de stockage de sable ; la seconde sera focalisée sur la mesure acoustique dans l'objectif d'établir des outils de traitement de la mesure acoustique (codes Python dans la suite de la thèse d'Adrien Vergne avec le profileur hydroacoustique multifréquence Aquascap, intégration sur drone aquatique Pario/GPS, profileur hydroacoustique horizontal HADCP). Plusieurs campagnes de test et validation sont prévues dont une pour le suivi de la chasse du Haut-Rhône (APAVER) en 2021 incluant des mesures contradictoires avec préleveurs (bouteille de Delft, P72, pompe).

Le gros de l'effort sur cette action portera sur cette seconde tâche avec un objectif final de valider les méthodes (prélèvements, acoustique). Nous demandons un postdoc de 18 mois pour développer, appliquer et valider ces outils d'analyse de l'acoustique. Ce travail se fera par l'intermédiaire de plusieurs campagnes de terrain incluant l'APAVER 2021.

Une réflexion se fera à terme sur l'installation de stations hydro-acoustiques sur le Rhône sur des points stratégiques du réseau hydrographique pour une mesure en continu des flux de sables. Dans le cadre de la thèse sur l'Isère, deux stations hydro-acoustiques seront mises en place à Grenoble et Beaumont-Montoux pour la compréhension de la dynamique des sables à la confluence Isère-Rhône. Une station en aval de l'aménagement de Bourg-lès-Valence permettrait la compréhension des reprises des dépôts de sable sur la confluence Isère-Rhône, une station à Arles permettrait de mieux évaluer les apports de la Durance et les flux vers le delta. Enfin, les observations et prélèvements réalisés durant la crue décennale de janvier 2018 ont montré que la capacité de transport en sable pouvait être atteinte à Perrache, avec des flux sableux conséquents. Ce site pourrait aussi être une option pour évaluer les flux provenant du Rhône amont. La construction de ces stations se fera soit des financements annexes au projet, soit dans le cadre d'un projet à plus long terme (OSR7).

Le sable est aujourd'hui une problématique importante pour la CNR, en particulier pour la navigation car ces sables peuvent rapidement modifier les fonds suite à des événements majeurs (crues/chasses de l'Isère de 2008 et 2015). Il est toujours fondamental d'avoir une meilleure connaissance des flux de sable sur le Rhône, des sources et des flux en continu.

### Enjeux stratégiques de l'OSR 6 concernés : 2 et 3

- Nom de l'unité de recherche : INRAE-RiverLy

En 2021, l'objectif est de faire plusieurs campagnes de terrain pour tester et valider les outils hydro-acoustiques développés (en particulier lors de la chasse du Haut-Rhône, APAVER, où une campagne multi-outils est prévue en aval du barrage de Génissiat).

En 2022, l'objectif est de proposer des outils de traitement de l'acoustique (codes Python dans la suite de la thèse d'Adrien Vergne avec l'Aquascap, intégration Pario/GPS, HADCP) et de continuer le

suivi d'événements hydrologiques majeurs (crues Rhône et/ou Isère) où le transport solide sableux peut se révéler important. Un travail de modélisation avec Adis-TS combiné avec des mesures de terrains (bathy, granulo) permettra de plus de localiser et tenter de quantifier les stocks de sable sur la partie amont à Lyon.

En 2023, l'objectif est de préparer la mise en place (i.e. étude de faisabilité) de stations hydro-acoustiques (Lyon-Perrache, Bourg-lès-Valence, Arles) en prenant compte de l'expérience acquise au cours des deux premières années de l'OSR6 et de la thèse INRAE/EDF/CNR sur l'Isère.

## Action A2 : Dynamique morphologique et risque inondation

Unité(s) de recherche impliquée(s) : INRAE-RiverLy, CNRS-EVS

Responsables : Michel Lang et Jérôme Le Coz

Mots clefs : crue, inondation, changements fluviaux, dépôt/érosion, grossier, évènements rares et capacité de transport

### Descriptif général de l'action :

Cette action va permettre d'évaluer l'effet des changements morphologiques sur la débitance du fleuve et ainsi les conséquences pour le risque inondation.

L'objectif est tout d'abord d'améliorer localement le modèle hydraulique 1D du Rhône pour les crues rares (>Q5) afin de mieux évaluer les capacités de transport solide lors de ces crues. On se concentrera sur des scénarios sans entrer en concurrence avec la prévention des inondations (modèle actuel CNR). Action liée au modèle 1D et à son application (cf. Action E2).

Un travail important se fera aussi au travers de la thèse de Mathieu Lucas (thèse H2O/CNR) encadrée par Michel Lang sur l'étude des crues historiques sur la partie aval du Rhône, en aval de l'aménagement de Vallabrègues. Ainsi, un travail de reconstitution du débit du Rhône à Beaucaire et des incertitudes associées sera réalisé de 1300 à nos jours à l'aide d'un modèle hydraulique et de géométries historiques.

L'intérêt opérationnel réside dans l'extension du domaine d'application du modèle hydraulique actuel 1D Mage OSR, pour les crues débordantes, en intégrant sur le secteur compris entre Beaucaire et Arles un écoulement en lit majeur avec transfert dans des casiers hydrauliques. Ce modèle sera utilisé pour estimer les débits des plus fortes crues sur la période 1300-1800. Il permettra d'évaluer l'intérêt des sources documentaires sur les crues historiques pour la connaissance des crues extrêmes.

### Enjeux stratégiques de l'OSR 6 concernés : 3 et 5

- Nom de l'unité de recherche : INRAE-RiverLy

En 2021, l'objectif est de recenser les crues historiques du Rhône à Beaucaire documentées (cf. base de données historiques HistRhône) et de mettre en place un modèle hydraulique avec écoulement dans le lit majeur et des scénarios de géométrie historique pour une sélection d'événements (thèse M. Lucas)

En 2022, l'objectif est d'améliorer localement le modèle hydraulique 1D du Rhône pour les crues rares (>Q5) afin de mieux évaluer les capacités de transport solide lors de ces crues, et de reconstruire le débit des crues historiques du Rhône à Beaucaire et des incertitudes associées sera réalisé à l'aide d'un modèle hydraulique et de géométries historiques (thèse M. Lucas)

En 2023, l'objectif est d'exploiter les séries de débit reconstituées avec incertitude: 1/ sur la période 1816-2019 faire la part de la variabilité liée au climat et celle induite par les aménagements de l'homme sur le corridor fluvial (épis Girardon, endiguements, barrages sur le Rhône) et l'ensemble du bassin versant (barrages alpins, occupation du sol).; 2/ sur la période 1300-1800 évaluer l'apport et les limites de l'information historique sur les crues pour l'estimation de crues exceptionnelles.

- Nom de l'unité de recherche : CNRS-EVS

CNRS-EVS viendra en appui à INRAE-RiverLy pour l'analyse des données et l'interprétation des résultats en 2021, 2022, 2023. 5 jours par an de permanents sont prévus sur cette action

## Action A3 : Sédimentation des fines dans le lit, les retenues de barrage et les marges alluviales

Unité(s) de recherche impliquée(s) : ENTPE-LEHNA, INRAE-RiverLy, CNRS-EVS

Responsables : Brice Mourier & Benoît Camenen

Mots clefs : crues, flux et stock de MES, sédimentation fines en lien avec inondation, retenues

### Descriptif général de l'action :

Cette action va permettre de mieux comprendre la dynamique de sédimentation et de déterminer les zones à risque en terme de dépôts de sédiments fins dans le lit du fleuve (notamment les zones inter-RCC), y compris les réservoirs de barrages. Elle devrait permettre à terme de faire le lien entre les flux de MES (y compris le sable) avec les échanges avec le lit. In fine, les résultats de cette action pourront être pris en compte dans le schéma directeur de gestion sédimentaire (SDGS).

Dans la continuité de l'OSR 4 et 5, les travaux sur la sédimentation des fines dans les environnements de dépôts de 3 RCC (PBN, PDR et DZM) a permis de constater une influence majeure des aménagements (casiers Girardon au 19ème siècle et dérivation à partir des années 1950) sur la sédimentation dans le lit du fleuve et sur ses marges. Il s'agit cette fois de renseigner des compartiments du Rhône encore peu documentés: les barrages et les zones inter-RCC. Ils s'appuieront sur la méthodologie mise en œuvre lors des deux précédents programmes : analyse diachronique, sondages géophysiques, carottages. De plus une première tentative de confrontation des données sédimentaires avec une approche par modélisation hydrosédimentaire 1D est proposée en collaboration avec l'INRAE-RiverLy pour évaluer le rôle du forçage hydraulique sur la sédimentation des fines dans les annexes hydrauliques.

Un effort important sera réalisé pour mieux comprendre la dynamique de sédimentation et reprise dans les retenues de barrage à l'aide du modèle 1D, en particulier sur le Rhône en amont de Lyon, en distinguant les périodes où les retenues sont à côte haute des périodes de crue/chasse. L'estimation des volumes sédimentaires (stockés et déstockés) par acquisition et interprétation géophysique (GPR ou SBP) avant et après des événements de crue/chasse permettront de compléter le modèle 1D sur la dynamique des retenues.

- Nom de l'unité de recherche : ENTPE-LEHNA

### A3.1 - Préciser l'impact des aménagements sur la sédimentation fine en amont et aval des secteurs court-circuités (*Thierry Winiarski et Brice Mourier*)

Au cours des OSR précédents, l'accent a été mis sur la sédimentation dans des sections du Rhône court-circuité (RCC), qui sont des secteurs particulièrement aménagés. De nombreux résultats ont été obtenus sur la partie « vieux Rhône » ainsi que sur ses aménagements (casier, barrage, annexes, ...). Ces travaux ont permis de mettre en évidence l'influence des aménagements sur la sédimentation fine et de transposer le concept de « sédiments hérités » (legacy sediments) aux fleuves européens aménagés via l'exemple du Rhône (Thèse Sophia Vauclin). Des questions demeurent concernant la sédimentation fine dans les zones situées entre les RCC. Dans la mesure où les débits sont plus élevés, on peut s'attendre à ce que les dépôts sédimentaires soient influencés par des mécanismes différents et des dynamiques plus importantes que dans le vieux Rhône. D'autre part, les zones de queue de retenue et la gestion événementielle des barrages sont suspectées d'influencer la sédimentation fine entre les RCC. Cette action a pour objectif d'estimer l'influence amont et aval des RCC sur la mise en place des sédiments fins. Elle s'inscrit dans la continuité des résultats déjà obtenus sur la sédimentation fine dans les vieux Rhône (RCC de PBN, PDR et DZM), en focalisant nos efforts sur les tronçons inter-RCC actuellement sous-documentés.

En 2021, acquisition géophysique, prélèvement et analyse sédimentaire (datation et granulométrie) de 2 carottes entre les RCC de PBN et PDR.

En 2022, acquisition géophysique, prélèvement et analyse sédimentaire (datation et granulométrie) de 2 carottes entre les RCC de PDR et DZM.

En 2023, synthèse des travaux sur la répartition, mise en place spatiale et temporelle des sédiments fins depuis le 19<sup>ème</sup> siècle jusqu'à nos jours de Lyon jusqu'à Arles. Proposition d'un modèle conceptuel.

Ces travaux permettront d'améliorer la vision globale du plan de gestion des sédiments sur l'ensemble du linéaire du Rhône. De plus, il s'agira d'identifier les zones de sédimentation active dans les secteurs où le Rhône est non court-circuité. Cette approche permettra de caractériser l'influence de l'exploitation des RCC amont et aval des secteurs court circuités.

**Enjeux stratégiques de l'OSR 6 concernés : 2, 3 et 4**

### **A3.2 - Evaluer les stocks de sédiments fins au sein des retenues inhérentes aux barrages** (Thierry Winiarski et Brice Mourier)

La mise en place et la gestion des aménagements ont considérablement perturbé les régimes hydrologiques et sédimentaires des fleuves depuis 150 ans. Sur le Rhône, la mise en place des barrages a généré des stocks de sédiments qu'il faut actuellement gérer, et potentiellement remobiliser, dans un objectif de sûreté et de navigation. A l'échelle d'un barrage, les stocks sédimentaires présentent de fortes hétérogénéités de taille, de forme et de nature. Cette organisation spatiale est contrôlée par des phénomènes naturels (crues) et par la gestion des ouvrages et du fleuve. La connaissance des stocks en présence, de leur nature et des facteurs responsables de leur mobilité n'est que partielle, c'est dans ce cadre que s'inscrit cette action.

En 2021, estimation des volumes et formes sédimentaires dans les retenues de barrage avec notamment une application avant et après l'APAVER de 2021.

En 2022, prélèvement et analyse sédimentaire (datation et granulométrie) de 2 carottes dans 2 barrages (analyse des contaminants prévus en B3).

Support de postdoc (ENTPE-LEHNA/CNR) acquis (2020-2021).

L'estimation du volume de sédiment stocké à l'amont de certaines retenues est un enjeu prioritaire pour l'exploitation et la pérennité des barrages. A l'occasion de l'APAVER prévue au printemps 2021, il s'agira d'estimer les volumes de sédiment mobilisés par acquisition géophysique avant/après opération et d'identifier les zones de sédiments non mobilisables.

**Enjeux stratégiques de l'OSR 6 concernés : 2, 3 et 4**

### **A3.3 - Évaluer le rôle du forçage hydraulique sur la sédimentation des fines dans les RCC - couplage terrain et modélisation.** (ENTPE-LEHNA/INRAE) (Thierry Winiarski, Brice Mourier et Jérôme Le Coz)

A la différence des milieux lacustres et océaniques, les mécanismes de sédimentation dans les fleuves sont très marqués par les dynamiques hydro-sédimentaires et les aménagements. Au cours des précédents OSR, il a été démontré que les stocks de sédiments sont fortement affectés par ces dynamiques. Il est donc nécessaire de pouvoir disposer d'une méthodologie permettant de mieux appréhender les processus de sédimentation dans l'espace et le temps en relation avec le forçage hydraulique modifié par les aménagements, afin de mieux décrire les environnements de dépôt de l'ensemble des compartiments du lit majeur (annexes fluviales, barrages, marges et plaines alluviales fréquemment inondées). Afin de lever ce verrou, une approche couplant des méthodes géophysiques, sédimentologie et modélisation hydrosédimentaire (modèle 1D) permettra de mieux appréhender le rôle des flux d'eau sur les dépôts de sédiments observés.

En 2021, comparer, calibrer et éventuellement valider le modèle hydrosédimentaire avec les données de carottage sur le RCC de PDR. Acquisition de données géophysiques et carottes afin de calibrer et valider le modèle. L'objectif est de comprendre la dynamique des retenues de barrage observée par la CNR sur le Rhône en amont de Lyon à l'aide de la modélisation 1D des sédiments fins en

distinguant tout particulièrement les périodes de fonctionnement normal (cote haute des retenues) aux périodes de crues/chasse (APAVÉR).

En 2022 et 2023, tester le modèle hydrosédimentaire sur un autre RCC (PBN, DZM ou Beaucaire), puis tester des scénarii de changement climatique et/ou de gestion (hydrocurage).

Thèse en cours depuis octobre 2019 (bourse ENTPE).

Une meilleure compréhension de la dynamique des sédiments fins le long du Rhône est fondamentale pour la gestion des ouvrages et la maîtrise des échanges avec le fond (érosion/dépôt). La modélisation unidimensionnelle devrait aider à la compréhension de la dynamique de sédimentation des fines, et à terme permettre de simuler divers scénarios de remobilisation.

**Enjeux stratégiques de l'OSR 6 concernés : 5 et 6**

- Nom de l'unité de recherche : CNRS-EVS

Le travail du CNRS-EVS pour l'action A3 est directement en lien avec les mesures réalisées par CNRS-EVS sur le colmatage intersticiel (action C1) et l'interprétation des données quant aux processus de stockage des sédiments fins sur le continuum fluvial et la contribution des différents compartiments. Il s'agit principalement pour cette action d'un temps passé par des permanents, de mise en relation des données et d'analyse conjointe des résultats.

## Action A 4 : Dynamique du coin salé et dynamique sédimentaire à l'embouchure

Unité(s) de recherche impliquée(s) : IRSN, IFREMER, INRAE-RiverLy

Responsables : Olivier Radakovitch et Romaric Verney

Mots clefs : coin salé, flux sédimentaire, contaminants, embouchure, estuaire

### **Descriptif général de l'action :**

A l'échelle du continuum hydrosédimentaire continental-côtier, la zone aval, de Beaucaire au prodelta du Rhône, constitue une zone critique pour les transferts terre/mer de matières, dissoutes ou particulaires. Bien qu'essentielle pour fermer les bilans, en sortie du domaine fluvial, ou en condition limite amont de la dynamique côtière, la quantification des flux charriés ou en suspension, en particulier de sédiments sableux ou fins, restent très approximative, et leur variabilité en fonction des conditions hydrologiques-météorologiques mal appréhendée. La méconnaissance des flux solides rend incertaine notre capacité à comprendre, formaliser, modéliser et donc anticiper les modifications morphologiques de l'embouchure et du prodelta et in fine le transfert de matières en aval du continuum.

Cette zone d'interface fleuve/mer est également critique par la présence d'un gradient de salinité stratifié (ou "coin salé"), à travers lequel les sédiments fins peuvent s'agréger sous forme de floccs en fonction de leur nature, conditionnant alors leur devenir dans le domaine côtier. Ces processus modifient également l'adsorption des contaminants et leurs modalités de transfert du fleuve à la mer. Les observations des matières en suspension dans le prodelta ont mis en avant la très grande variabilité événementielle, saisonnière et interannuelle et des signatures de distributions en classe de taille, contrôlée par la nature des MES via leur bassin versant producteur, leur réactivité aux processus de floculation. Observer ces processus à travers la zone de gradient de salinité permettra de mieux appréhender et modéliser les processus de floculation, les modes de transferts des sédiments fins et des contaminants entre fleuve et mer côtière.

Cette action exploratoire va permettre de mieux identifier et comprendre les processus hydrologiques et sédimentaires qui se produisent à l'embouchure du Rhône, associés au coin salé et aux flux sédimentaires. En effet, de nombreuses études ont désormais démontré que le prodelta du Rhône était le lieu d'un dépôt massif de particules, redistribué ensuite par les tempêtes. Cependant, les processus de transferts de la matière à travers cette interface ne sont toujours pas bien contraints (où se produit l'agrégation des particules fines, où chutent puis comment se propagent les sables par charriage), et il est impossible à l'heure actuelle de les modéliser

L'objectif de cette action fédératrice autour de la zone de transition eau douce-eau salée est triple :  
1/ unir les forces de plusieurs équipes pour élaborer et conduire des campagnes exploratoires de mesure multi-instruments permettant de couvrir quelques situations hydrosédimentaires (étiage et crue si possible) dans le but de comparer et recouper différents types de mesure des caractéristiques de l'eau, des MES et du sable en suspension ;  
2/ avoir une meilleure compréhension du fonctionnement de la zone de transition : dynamique du coin salé en lien avec les débits d'étiage, évolution des particules (floculation, agrégation, désorption des contaminants), distribution des flux de MES et sable et dynamique des dépôts et reprise ;

La zone aval (delta) du Rhône constitue une zone critique pour les transferts terre/mer de matières, dissoutes ou particulaires et pour finaliser les bilans. Sa complexité liée au coin salé mérite un effort expérimental pour mieux comprendre son fonctionnement, et pouvoir proposer à terme une meilleure gestion sédimentaire sur le delta et au sein du Golfe du Lion.

**Enjeux stratégiques de l'OSR 6 concernés : 4 et 5**

- Nom de l'unité de recherche : IRSN

L'IRSN sera spécifiquement impliqué sur la compréhension de la formation et propagation du coin salé (pénétration de l'eau de mer dans le Rhône). La problématique est de simuler au mieux la pénétration de l'eau de mer dans le fleuve en étiage (pénétration jusqu'à 30 km). Pour ceci, l'acquisition de données physiques (profils de vitesses, salinité et température) est encore nécessaire pour caler le modèle. L'action de l'IRSN sera de réaliser 3 missions d'une journée en 2021 puis 2022 pour acquérir ces infos, dans la zone de l'estuaire jusqu'au nord du Bac de Barcarin.

L'implémentation de ce processus physique dans le modèle Casteaur (IRSN) sera fait pour partie dans le cadre des autres actions (E2) et en collaboration avec INRAE-RiverLy (cf ci-dessous). Cette partie n'est pas comptabilisée en A4, qui ne concerne que l'acquisition et le traitement des données.

En 2021, l'objectif est de réaliser 3 missions d'une journée de mesures en été (mesures courantologiques ADCP et hydrologiques de salinité, température).

En 2022, l'objectif est de réaliser 3 missions d'une journée de mesures en été (mesures courantologiques ADCP et hydrologiques de salinité, température). Finaliser la prise en compte du processus d'intrusion saline dans le code Casteaur.

- Nom de l'unité de recherche : IFREMER

L'IFREMER contribuera à l'effort de mesure en participant à la définition de la stratégie de mesure commune, à la mise en oeuvre des campagnes et en mettant à disposition du matériel de mesure et d'échantillonnage (e.g. thermosalinographe, courantomètres, turbidimètres, granulomètre laser (LISST100x), capteur optique multifréquence (HYDROSCAT) et acoustique multi longueur d'onde (AQUASCAT)). Il contribuera également au traitement des données afin de déterminer les caractéristiques des MES dans la zone de gradient salé et les flux de sédiments, fins et sable.

Il s'agira également de fournir des données complémentaires sur la durée des campagnes issues de la station MesuRho (action E1).

Le personnel mobilisé comprendra des permanents et un stage de M2 en 2022.

En 2021 et 2022, l'objectif est de participer à deux missions par an avec IRSN et INRAE : une journée de mesures en été sur le coin salé et une campagne de 2 jours en crue (modérée) pour mesurer la dynamique des matières en suspension et du sable en suspension.

2023 sera consacré à la finalisation du traitement des données et à leur interprétation, en interaction étroite avec les partenaires de l'action (INRAE RiverLy et IRSN).

- Nom de l'unité de recherche : INRAE-RiverLy

INRAE-RiverLy prévoit de contribuer à l'effort collectif de mesure en mobilisant sa navette rapide (Boston whaler) équipée d'une potence avec treuil électrique, pour prélèvements et déploiement d'instruments de mesure (dont ADCP, Aquascats, LISST 200X). INRAE-RiverLy participera à la définition des campagnes de mesure, à leur réalisation, ainsi qu'à l'interprétation et exploitation des résultats.

Le personnel mobilisé comprend des permanents ainsi que le CDD demandé en action A1 (mesures hydroacoustiques Aquascats).

En 2021 et 2022, l'objectif est de participer à deux missions par an avec IRSN et IFREMER : une journée de mesures en été sur le coin salé et une campagne de 2-3 jours en crue (modérée) pour mesurer la dynamique des matières en suspension et du sable en suspension.

2023 sera consacré à la finalisation du traitement des données et à leur interprétation, en interaction étroite avec les partenaires de l'action (IRSN et IFREMER).

# AXE B : Comprendre les sources et la dynamique des MES et des contaminants particulaires dans le bassin du Rhône

→ Copilotes Axe B : **Aymeric Dabrin (INRAE-RiverLy) / Hugo Lepage (IRSN)**

## **Descriptif de l'axe :**

Depuis la mise en place de l'OSR en 2010, les équipes de recherche ont développé un réseau d'observation permettant une estimation robuste des flux de matières en suspension (MES) et des contaminants associés dans le bassin versant du Rhône. L'estimation de ces flux aux deux stations permanentes sur le Rhône (Jons et Arles), et en sortie des principaux affluents, a permis de calculer des bilans interannuels et saisonniers et de mettre en avant le rôle des événements particuliers (crues, chasses de barrage) sur ces flux, depuis le Lac Léman jusqu'à l'exutoire. Pour certains contaminants (ex : éléments trace métallique, hydrocarbures aromatiques polycycliques), les bilans interannuels présentent un déficit, suggérant l'existence (i) de rejets diffus ou ponctuels (agglomérations), (ii) de phénomènes d'érosion/dépôts le long du lit mineur du Rhône, et/ou (iii) d'un lien avec la réactivité des contaminants durant leur transfert le long du continuum (partition dissous/particulaire).

Ainsi, dans la continuité des précédents travaux, les approches de traçage géochimique seront poursuivies pour confirmer l'origine des MES, avec un effort qui sera porté pour déterminer la contribution des MES formées dans la colonne d'eau (autochtones) et la part des particules érodées à celles en suspension. Ces résultats, s'appuyant sur les radionucléides et la géochimie des particules, seront mis en regard des autres approches (bilan des flux du réseau de mesure, modélisation hydro-sédimentaire 1D - Axe E). En plus des contaminants historiquement suivis, les travaux porteront sur les flux et/ou les stocks de contaminants émergents (analyse non ciblée des micropolluants organiques, éléments critiques pour la technologie comme le gadolinium), et viseront notamment à évaluer l'influence des agglomérations sur ces apports. Aussi, des travaux seront menés pour déterminer les stocks de contaminants, mais aussi pour identifier les zones de dépôts de contaminants émergents, afin d'anticiper et maîtriser une dispersion à l'aval de travaux impliquant des sédiments stabilisés. Enfin, un dernier objectif dans cet axe visera à mieux comprendre comment la granulométrie et la matière organique particulaire influencent les concentrations en contaminants (métaux, radionucléides), pour notamment mieux comprendre les mécanismes d'interaction entre les contaminants et les MES, et comment ces paramètres doivent être abordés d'un point de vue opérationnel.

## Action B1 : Détermination des sources de MES et des contaminants apportés au Rhône

Unité(s) de recherche impliquée(s): INRAE-RiverLy, IRSN, CNRS-CEREGE

Responsables : Marina Coquery et Hugo Lepage

Mots clés : origine spatiale, sources anthropique/naturelle, flux, contaminants hérités/émergents, apports des agglomérations, MES

### Descriptif général de l'action :

Cette action a pour objectif de poursuivre les travaux de l'OSR-5 pour mieux préciser l'origine des MES ainsi que les sources des contaminants prioritaires partir des prélèvements des stations OSR et de prélèvements ponctuels. Une attention particulière sera portée sur l'identification de nouvelles sources d'émissions car les travaux conduits précédemment montrent que certaines sources ne sont pas clairement identifiées, conduisant à un biais dans les calculs de flux. C'est notamment le cas des agglomérations dont l'impact environnemental reste à évaluer. En parallèle, et fort des nombreux prélèvements réalisés depuis le premier OSR ainsi que de la caractérisation de plusieurs familles de contaminants, un modèle de mélange sera appliqué en utilisant l'ensemble de ces données bancarisées dans BDOH. Cette approche combinera les différentes familles de contaminants afin de mieux définir les signatures spécifiques des affluents tout en distinguant les différents états hydrologiques (base et crue) et d'affiner les contributions des différentes sources. Pour y parvenir, il est également nécessaire de mieux définir l'origine des particules qui transitent (1) pendant les étiages (production de MES autochtones) car ces événements sont susceptibles d'être de plus en plus intenses et fréquents et (2) pendant les crues en discriminant la part de particules de sols fraîchement érodées des particules de sédiments remis en suspension.

### B1.1 - Traçage de l'origine des MES

*IRSN - Lepage Hugo, INRAE-RiverLy - A. Dabrin*

Jusqu'à présent, plusieurs approches ont été utilisées pour étudier l'origine des particules (approche de traçage géochimiques via les éléments traces et majeurs dans la fraction totale ou résiduelle des particules, approche par modélisation hydro-sédimentaire, approche par bilan des flux de MES aux stations du réseau). Si les principaux affluents contributeurs aux flux de MES ont clairement été identifiés par ces différentes approches, il subsiste toujours des incertitudes sur les contributions respectives des affluents et qui ne sont pas toujours concordantes entre les diverses approches. Nous proposons à travers cette sous-action de préciser l'origine des MES en rassemblant l'ensemble des données acquises sur les MES (éléments majeurs et traces, contaminants organiques, radionucléides) pour avoir un maximum de traceurs potentiels permettant de mieux discriminer les affluents. Ces données seront notamment utilisées via un modèle de mélange (outil Finger Pro). Ce traçage sera mis au regard des analyses physico-chimiques (granulométrie, carbone particulaire - cf. Action B4) pour corriger/normaliser les données dépendantes de ces paramètres. Cette approche vise à caractériser les contributions des différentes sources au regard de différents états hydrologiques (base, crue cévenols, crue généralisée...) et sera également conduite pour les stations d'Arles et de Jons afin d'évaluer la variation spatiale des sources.

En 2021 : Constitution d'une base de données opérationnelle (extrapolation, normalisation...) et application du modèle retenu sur des cas simples et bien documentés.

En 2022 : Application du modèle sur différents états hydrologiques et comparaison avec les autres approches.

En 2023 : Poursuite des travaux le cas échéant

***Cette sous-action permettra de déterminer quels sont les traceurs (métaux, radionucléides, PCB, ...) les plus pertinents à suivre pour mieux déterminer l'origine (à l'échelle des affluents) des MES/sédiments transportés/déposés/exportés dans et par le Rhône.***

**Enjeu stratégique de l'OSR 6 concernés : 6**

## **B1.2 - Contribution des zones urbaines aux flux de contaminants du Rhône : identifier et quantifier pour évaluer le risque environnemental**

*INRAE-RiverLy - Marina Coquery / Mathieu Masson*

A l'issu de l'OSR-5, des bilans inter-annuels et inter-mensuels de flux particuliers de micropolluants (organiques et inorganiques) ont été établis à l'échelle du bassin du Rhône et de ses principaux affluents. Pour certains contaminants, ces bilans sont déficitaires. La présence de tels déficits est associée à des apports de contaminants entre Jons et Arles (sources manquantes) non échantillonnés avec le réseau de l'OSR actuel. Dans le cas des contaminants organiques (HAP, PCBi, glyphosate/AMPA), ces sources correspondraient à des apports diffus ou ponctuels des zones urbaines distribuées le long du couloir rhodanien (Lyon, Vienne, Montélimar, Valence et Avignon). Cette action vise à construire une méthodologie permettant d'estimer les flux de contaminants des zones urbaines à partir de données disponibles issues des acteurs locaux et des observatoires de terrain (communauté de communes, agence de l'eau, OTHU...) et de la bibliographie. Au-delà de la perspective de boucler les bilans de flux de micropolluants à l'échelle du bassin du Rhône, cette action présente l'opportunité d'évaluer le risque environnemental porté par le tissu urbain du couloir rhodanien. Elle sera couplée avec les travaux proposés dans l'action B2.1.

Au cours de 2021, le 1er objectif est de réaliser une étude bibliographique sur l'évaluation des flux de micropolluants produits par les agglomérations, aussi bien en termes de substances (organiques et inorganiques) ou d'indicateurs caractéristiques des zones urbaines, que de stratégies expérimentales destinées à la quantification de ces flux de contamination d'origine urbaine (ruissellement sur les surfaces imperméabilisées, déversoirs d'orage...). A cette fin, un premier stage de Master 2 co-encadré par M Masson et M Coquery est sollicité. Cette action vise également à compléter l'analyse de MES du réseau de l'OSR (extraites de la base d'échantillons Banquise) pour des contaminants organiques ciblés et l'exploitation de ce premier jeu de données (concentrations en contaminants organiques et inorganiques sur les échantillons de MES des stations situées à l'amont et à l'aval de Lyon sur une année). Le 2nd objectif consiste à réaliser deux missions de terrain sur deux sites urbains de gabarit différent (ex. Rhône à Lyon et un affluent urbanisé tel que le Gier ou l'Yzeron) afin de collecter des échantillons d'eau et de MES dans lesquels des substances spécifiques aux zones urbaines seront mesurées (e.g. HAP, PCBi, glyphosate/AMPA).

Au cours de 2022, l'objectif est de poursuivre l'effort de collecte de données à partir de prélèvements de terrain sur un ou deux nouveaux sites urbains de tailles différentes et situés dans le couloir rhodanien (deux missions/an). Il s'agira ensuite d'explorer le jeu de données acquis au cours de 2021 et de mettre en œuvre la méthodologie définie pour l'évaluation des flux de micropolluants urbains (cf. objectif 1 de 2021). A cet égard, un second stage de Master 2 co-encadré par M Masson et M Coquery est sollicité.

Au cours de 2023, l'objectif est de valoriser l'ensemble des données acquises au cours des deux premières années dans le cadre d'un article scientifique.

***Cette sous action permettra d'identifier si les agglomérations constituent une source de contaminants (e.g. HAP, PCBi, glyphosate/AMPA) non négligeable et susceptible de correspondre aux bilans déficitaires à l'échelle du Rhône.***

**Enjeux stratégiques de l'OSR 6 concernés : 1 et 6**

### **B1.3 Influence de la production autochtone de MES sur l’empreinte des MES : détermination des sources non identifiées de MES**

*INRAE-RiverLy - Aymeric Dabrin, Matthieu Masson*

En 10 ans d’OSR, les concentrations en éléments traces et majeurs obtenues dans les MES ont permis d’établir des signatures spécifiques des affluents du Rhône. Dans les zones de mélange sur le Rhône (à Jons, Andancette et Arles), ces signatures ont permis d’établir un bilan des contributions relatives des affluents majeurs aux flux de MES. Toutefois, pour certains échantillons, l’évaluation de ces contributions n’est pas satisfaisante suggérant la présence de MES non identifiées, qui seraient notamment issues de la production autochtone de MES en période d’étiage. Bien qu’une méthodologie ait été mise en œuvre pour s’affranchir de cette fraction en ciblant la fraction moins réactive des particules, des développements et ajustements méthodologiques sont nécessaires pour mieux prendre en compte l’influence de ces particules autochtones très organiques sur les signatures géochimiques des MES. Cela suggère d’une part, de cibler les signatures des MES des affluents lorsqu’ils sont en crue (effort d’échantillonnage, AXE E- Action E1) et d’autre part de déterminer la signature des MES « autochtones » afin d’estimer la contribution de ces MES « formées » dans la rivière par rapport au flux des MES « érodées ».

En plus des prélèvements en crue sur les affluents (Axe E), des prélèvements de MES seront ciblés sur les stations de Jons, sur la Saône et l’Isère en période d’étiage (2021) au moyen de la centrifugeuse fixe et mobile. Sur ces échantillons et sur ceux également bancarisés depuis 10 ans pour ces périodes d’étiage, les signatures en éléments traces et majeurs dans la fraction non organique seront déterminées (2022) pour évaluer la contribution de ces MES autochtones au flux de MES sur le Haut Rhône et sur la Saône (2023). U, stage de Master 2 en 2022 et 2023 appuiera cette action.

***Cette sous-action permettra de déterminer l’importance de la contribution des MES autochtones aux flux de MES des affluents du Rhône, notamment dans le cadre d’un contexte de changement climatique et d’une intensification des épisodes d’étiage, propices à la production de ces particules.***

**Enjeu stratégique de l’OSR 6 concernés : 4**

### **B1.4 Discrimination entre les particules érodées et resuspendues**

*IRSN - Hugo Lepage, Laurent Garcia Sanchez*

Les travaux conduits sur les bilans des flux de MES et de contaminants dans les précédents OSR montrent qu’il n’y a pas systématiquement un équilibre entre ce qui entre dans le système et ce qui en sort (Action B2.a OSR5 2020). Ce déséquilibre a également été observé dans le haut Rhône de 2012 à 2016 où même avec l’occurrence des chasses des barrages de Verbois, Chancy-Pouigny et Génissiat, la quantité de sédiment injecté dans le Rhône est supérieure à la quantité mesurée en aval à Jons. A l’IRSN, les flux de radionucléides mesurés à la station SORA montrent également un déficit par rapport aux quantités de radionucléides rejetés par les industries du cycle nucléaire. De plus, si la majorité des flux de MES (et contaminants) est transportée lors des crues, la proportion de ces MES qui proviennent d’une remise en suspension de sédiments déposés le long du lit mineur reste très peu connu. La confrontation des résultats de traçage géochimique et de modélisation 1D a montré qu’une fraction non négligeable de ces sédiments remis en suspension pouvait impacter les flux de MES.

L’objectif de cette action est d’évaluer la proportion de MES (et des contaminants associés) qui provient de la remise en suspension des sédiments stockés dans le lit mineur par rapport aux MES qui sont issues de l’érosion et du lessivage du bassin versant. En premier lieu, il conviendra pour répondre à cet objectif de valider les outils dans un des affluents du Rhône avant d’étendre l’étude sur le reste du Rhône. Parmi les outils, le beryllium-7 et le plomb-210, couplés au césium-137, sont des radionucléides éprouvés pour ce type d’approche et permettent de discriminer les sédiments récents des sédiments anciens. Le <sup>7</sup>Be et le <sup>210</sup>Pb sont tous les deux déposés au sol lors des précipitations et ils sont rapidement fixés aux particules de sol de manière quasi irréversible. La faible demi-vie radioactive du <sup>7</sup>Be (53 jours) favorise la distinction entre les particules érodées récemment marquées par des pluies et les particules plus anciennes qui s’étaient déposées dans le lit du cours

d'eau. L'origine des particules est ainsi étudiée à partir du déséquilibre du rapport  $7\text{Be}/210\text{Pb}$  et des niveaux de  $137\text{Cs}$ . Pour y parvenir, ces radionucléides seront mesurés dans les MES des stations OSR mais également dans quelques échantillons d'eau de pluie afin d'évaluer la signature des particules fraîchement érodées. L'utilisation de ces marqueurs spécifiques permettra ainsi de mieux comprendre le comportement des MES (et contaminants) et d'évaluer plus précisément les flux entrants et sortants des zones d'étude. Les résultats de cette action et les nombreuses mesures conduites dans l'OSR seront mis au regard d'un modèle de lessivage basé sur des fonctions de transfert développé à l'IRSN afin de modéliser la dynamique à long terme de la contamination exportée par les bassins versants. Des tests méthodologiques seront menés la première année et appliqué sur un affluent simple (Ardèche – 2021). Cette méthodologie sera ensuite étendue à l'ensemble du Rhône (2022 et 2023).

***Cette sous-action permettra de mieux comprendre la part de sédiment qui provient de l'érosion récente des sols du bassin versant, de celle des sédiments stockés dans le lit mineur et remis en suspension. Elle apportera une meilleure compréhension de la quantité de sédiment nouveau injecté dans le système et du temps de transit des particules en mettant en évidence les zones avec une forte accumulation de sédiments.***

**Enjeu stratégique de l'OSR 6 concernés : 6**

## Action B2 : Identification et caractérisation des contaminants émergents

Unité(s) de recherche impliquée(s): INRAE-RiverLy, CNRS-CEREGE

Responsables : Jérôme Labille, Sylvain Merel

Mots clefs : gadolinium, analyse non-ciblée, risque environnemental

### Descriptif général de l'action :

Les changements récents du comportement des sociétés, des préoccupations environnementales, ainsi que l'évolution rapide des technologies de ces dernières années, nous invitent à réévaluer sans cesse les contaminants qui transitent dans l'environnement. Nous proposons au sein de cette action de mieux caractériser les contaminants émergents dont les connaissances dans l'environnement restent très lacunaires, notamment à l'échelle d'un grand fleuve comme le Rhône. Ainsi, un travail de screening (analyse non ciblée) sera conduit pour avoir une vision exhaustive des micropolluants et mettre en avant de façon ciblée d'autres familles de contaminants très faiblement caractérisés (composés perfluorés, ...) qui peuvent présenter un risque pour l'environnement. Enfin, la caractérisation des éléments critiques pour la technologie, métaux utilisés dans les nouvelles technologies (informatique, automobile, rejets hospitaliers...), permettra d'une part de mieux quantifier leurs présences dans les eaux du Rhône mais également d'autre part de contribuer à comprendre l'origine des MES (lien avec l'action B1).

### B2.1 - Analyse du Gd sur le continuum Rhôdanien comme marqueur de l'activité anthropique

*CNRS-CEREGE - Jérôme Labille et Ingénieur d'étude contractuel (CDD Sud 15%)*

Le gadolinium (Gd) sera suivi en tant que contaminant émergent, traceur de l'activité anthropique domestique et médicale. Cet élément, utilisé sous forme de complexe comme agent de contraste en IRM, est relargué dans les eaux de surface à travers les effluents hospitaliers et les eaux usées domestiques (urines). Très récalcitrant, il est mal éliminé par les stations de traitement de l'eau. Des anomalies positives au Gd sont mesurées à travers tout le cycle d'usage de l'eau, dans les cours d'eau, les nappes, et jusque dans les fontaines d'eau potable. Cela en fait un excellent traceur de l'activité anthropique dans ces différents réservoirs. D'un point de vue sanitaire, ce micropolluant est problématique car il est facilement bioaccumulé et sa forme de dégradation ultime, l'ion  $Gd^{3+}$ , est toxique car elle interfère avec les processus biologiques utilisant le calcium. Il n'existe pas ou peu de donnée sur ce micropolluant sur le continuum Rhôdanien. Le dispositif de suivi existant au sein de l'OSR est une réelle opportunité pour étudier et comprendre son devenir à grande échelle. Le Gd sera analysé et suivi sur tous les prélèvements de MES du Rhône récoltés dans l'action E1. Cela permettra de dresser son bilan de masse le long du continuum, de mettre en évidence les anomalies d'origine anthropique, et d'identifier potentiellement les sources d'apport au Rhône. Cette action est connectée à l'action B1 sur les sources de contaminants apportés au Rhône, et en particulier l'action B1.2 sur la contribution des zones urbaines. Dans cette dernière, des prélèvements de terrain sur un ou deux nouveaux sites urbains de tailles différentes et situés dans le couloir rhodanien sont envisagés. Le Gd sera également analysé dans ces prélèvements spécifiques. Dans tous les échantillons, il sera analysé au sein de la phase dissoute et particulière afin d'estimer le rôle des MES dans sa dynamique de transfert dans l'eau et de stockage dans les sédiments. D'éventuelles co-évolutions seront recherchées avec d'autres contaminants suivis dans l'action E1.

Cette action se déroulera sur les 3 années de l'OSR 6 afin d'obtenir une vision à grande échelle de temps et de distance de la dynamique de ce contaminant.

En 2021 : Suivi des concentrations en Gd dans le temps et l'espace sur les stations de l'OSR

En 2022 : Poursuite sur les stations de l'OSR + étude ciblée sur sites sous influence anthropique

En 2023 : Poursuite sur les stations de l'OSR + sites spécifiques – bilan

***Cette sous-action permettra (i) de contribuer à l'estimation du risque environnemental associé au micropolluant Gd par la mesure de l'exposition dans l'eau et les sédiments du Rhône ; (ii)***

**de tester le Gd comme traceur de l'activité anthropique le long du continuum, et de confronter ces résultats à d'autres marqueurs géochimiques.**

**Enjeux stratégiques de l'OSR 6 concernés : 4 et 6**

## **B2.2 - Nouvelle approche globale de screening pour l'identification des contaminants organiques**

*INRAE-RiverLy - Sylvain Merel, Cécile Miège*

Les 5 précédents programmes OSR ont permis de collecter des échantillons de matières en suspension (MES) reflétant la variation spatiale et temporelle de la contamination du Rhône. Ces échantillons ont été analysés par des méthodes permettant l'identification de contaminants ciblés. Cependant, en vue d'une meilleure analyse du risque environnemental, la caractérisation des substances organiques dans les MES doit être élargie pour inclure plus de contaminants émergents. Pour ce faire, nous proposons une nouvelle analyse des échantillons de MES collectés lors de la décennie d'existence de l'OSR par une nouvelle approche analytique « non-ciblée » basée sur la chromatographie et la spectrométrie de masse à haute résolution. Cette approche permet d'étudier sans a priori la contamination des sédiments du Rhône en réalisant l'empreinte chimique de chaque échantillon qui sera ensuite bancarisée pour permettre une analyse rétrospective. L'analyse de ces empreintes à l'aide de bibliothèques de spectre permettra de rechercher l'existence de nombreux contaminants, parmi lesquels les composés perfluorés utilisés par l'industrie (mention de la commune de Pierre Bénite dans le journal « Le Monde » comme une zone particulièrement contaminée), les antibiotiques et autres pharmaceutiques rejetés par les stations d'épuration ainsi que leurs potentiels produits de dégradation.

Pour cela, une demande d'une demi bourse de thèse est demandée en 2021 et en 2022, accompagné d'un Master sur 2021 et 2022. Une première année aura pour objectif d'optimiser la méthode d'analyse (préparation d'échantillon) et de traitement des données (création d'une bibliothèque de contaminants et définition de critères d'identification). Lors de la seconde année, la méthode sera appliquée en priorité aux échantillons de MES collectés aux stations de Jons et de la Saône en amont de Lyon ainsi qu'à la station d'Andancette située en aval. Au-delà de l'identification de nouveaux contaminants organiques dans les MES, cela permettra également d'estimer l'impact de la métropole lyonnaise et plus largement de la vallée de la chimie (au sud de Lyon et comportant plusieurs sites classés CEVESO II) sur la contamination du Rhône. Finalement, la troisième année sera dédiée à l'application de la même méthode sur des carottes sédimentaires (lien avec l'Action B3, demande d'une demi-bourse de thèse en 2023) afin de mieux appréhender les historiques de contamination de ces contaminants.

***Cette sous-action permettra d'obtenir, sans a priori, une vue d'ensemble de tous les composés organiques présents dans les MES et d'identifier des molécules qui seraient apportées le long du corridor Rhôdanien (agglomérations, couloir de la chimie) et non recherchées jusqu'à lors.***

**Enjeux stratégiques de l'OSR 6 concernés : 4 et 6**

## Action B3 : Dynamique de stockage des contaminants émergents dans les sédiments immobilisés

Unité(s) de recherche impliquée(s) : ENTPE-LEHNA, INRAE-RiverLy

Responsables : Brice Mourier & Sylvain Merel

Mots clefs : stocks, contaminants prioritaires/émergents, lit mineur, inter-RCC

### Descriptif général de l'action :

Cette action a pour objectif de poursuivre les travaux de l'OSR-5 pour mieux préciser les stocks de contaminants prioritaires/émergents présents dans les environnements de dépôt du fleuve Rhône et pour renforcer les interactions entre flux et stocks.

Les sédiments stockés dans des structures stables (hors événement hydrologique exceptionnel) sont généralement des sédiments dont les dépôts remontent à plusieurs décennies. Ils ont pu être marqués par des épisodes de pollution anciens pendant lesquels les contraintes règlementaires n'existaient pratiquement pas et/ou les rejets étaient opérés la plupart du temps directement dans les cours d'eau. Les tendances historiques enregistrées dans les dépôts sédimentaires fournissent des informations essentielles pour comprendre l'état présent d'une contamination et permettent l'évaluation de mesures d'atténuation ou de restauration (cf. documents de synthèse OSR5 sur les tendances longitudinales et temporelles des PCB et des métaux). D'autres structures sédimentaires stables, récentes et toujours actives, sont propices à l'accumulation de contaminants émergents.

Actuellement, la contamination des sédiments couvre une large gamme de substances qui va bien au-delà des substances prioritaires. De nouvelles substances sont constamment mises sur le marché, et certaines se retrouvent préférentiellement stockées dans les dépôts sédimentaires. L'introduction et le stockage de ces substances émergentes nous invitent sans cesse à réévaluer les techniques de détection et de quantification, ainsi que les risques sanitaires associés / cumulés. Or, les données quantifiées disponibles concernant les contaminants émergents tels que des substances bromées, fluorées, iodées ou les microplastiques (et leurs additifs) demeurent quasi-inexistantes à l'échelle des sédiments d'un fleuve comme le Rhône. Ces données sont pourtant essentielles pour (i) déterminer les secteurs à enjeux en terme de stocks de contaminants et de risque sanitaire et (ii) pour maîtriser une remobilisation / dispersion des contaminants à l'aval, notamment dans le cas de travaux et opérations impliquant des sédiments immobilisés (dragage, restauration).

L'objectif de cette action est d'identifier les environnements de dépôt sédimentaire propices au stockage des contaminants émergents et d'évaluer le risque environnemental associé à partir d'analyses quantitatives (GS/HRMS) et de screening non-ciblé. Des échantillons issus d'archives sédimentaires préalablement caractérisées et datées dans l'action A3 seront sélectionnés et conditionnés en adéquation avec la technique analytique utilisée. Les environnements étudiés sont les zones de sédimentation active comme les annexes hydrauliques, les zones inter-RCC et les dépôts stabilisés à l'amont des barrages dans les secteurs de Pierre Bénite (PBN) et de Péage de Roussillon (PDR).

### B3.1 - Influence des environnements de dépôt sur le stockage des contaminants émergents ENTPE-LEHNA - *Brice Mourier, Thierry Winiarski*

Au cours de l'OSR5, l'accent a été mis sur le stockage de contaminants émergents dans des sections du Rhône court-circuité (RCC), qui sont des secteurs particulièrement aménagés. De nombreux résultats ont été obtenus sur les dépôts sédimentaires de la partie « vieux Rhône » (thèse Sophia Vauclin, OSR5). Ils ont mis en évidence que la fréquence de connexion des marges et plaines alluviales avec le Rhône est quasi-inexistante de nos jours, alors que certains compartiments du lit mineur ont une sédimentation fine active et stockent une multitude de contaminants émergents - principalement émis par les industries localisées dans les zones riveraines du corridor rhodanien. Ils montrent également que les concentrations de certaines substances émergentes – comme les retardateurs de flamme bromés (RFB), les composés per- et polyfluoroalkylés (PFAS) ou certains additifs présents dans les matières plastiques comme les phtalates – présentent des niveaux élevés dans les sédiments récents. Cependant, les mesures sont encore trop peu renseignées à l'échelle

d'un fleuve comme le Rhône. Un autre enseignement de ces travaux met en évidence que l'archive sédimentaire est un outil essentiel pour déterminer la variabilité des niveaux de concentrations et interpréter les tendances temporelles d'une famille de contaminants à forte affinité particulière. Une bonne connaissance du fonctionnement hydro-sédimentaire des environnements de dépôt ainsi que de la chronologie des dépôts sont également des prérequis déterminants.

L'objectif de cette action est de poursuivre les travaux engagés dans l'OSR5 concernant l'influence des environnements de dépôt sur le stockage des contaminants émergents. En lien étroit avec l'action A3, le positionnement des carottes sera localisé sur les zones de sédimentation active qui sont les plus propices au stockage des contaminants émergents. Au sein des secteurs de PBN et PDR, les annexes hydrauliques, les zones entre les RCC (ou le Rhône est non divisé) ainsi que les dépôts sédimentaires stabilisés à l'amont des barrages seront échantillonnés. Plusieurs familles de polluants organiques persistants – phtalates, chloroparaffines, pesticides organochlorés (POC), polychlorobiphényles (PCB), retardateurs de flamme bromés (RFB), substances per- et polyfluoroalkylées (PFAS) - seront quantifiées par GC/HRMS sur des échantillons issus de 4 à 6 carottes sédimentaires qui auront été préalablement datées et caractérisées dans l'action A3. Des analyses de screening non ciblé (lien avec l'action B2.2) seront réalisées en parallèle sur une sélection d'échantillons.

En 2021 - 2022 : Synthèse de données sur les contaminants émergents dans les sédiments de surface ou les carottes de sédiments dans le monde et comparaison avec la qualité des sédiments du Rhône (Stage M2).

En 2023 : Quantification de polluants organiques persistants (POP) par chromatographie en phase gazeuse et spectrométrie de masse à haute résolution (GC/HRMS) sur 2 carottes de retenue de barrage caractérisées (granulométrie, matières organiques) et datées dans l'action A3.

**Enjeux opérationnels : Une meilleure compréhension de la répartition des stocks de contaminants émergents présents dans les dépôts sédimentaires stabilisés permettra (i) de déterminer les niveaux de concentrations de substances peu quantifiées jusqu'à présent sur le Rhône pour la gestion des sédiments, (ii) d'identifier des zones à enjeux en terme de risque environnemental et (iii) d'anticiper et maîtriser une dispersion de contaminants à l'aval lors de travaux ou opérations impliquant des sédiments stabilisés (dragage, restauration).**

**Enjeux stratégiques de l'OSR 6 concernés : 1, 4 et 6**

### **B3.2 - Comparaison des flux de contaminants déposés par rapport aux flux qui transitent** ENTPE-LEHNA - *Brice Mourier, INRAE-RiverLy - Jérôme Le Coz*

Afin de poursuivre les interactions entre les analyses des flux et des stocks, initiées dans l'OSR5, cette action vise à déterminer les ordres de grandeur des quantités de contaminants actuellement stockés dans les dépôts sédimentaires et de les comparer aux flux particuliers qui transitent. La dynamique de stockage des contaminants particuliers étant variable d'un environnement de dépôt à un autre (barrage, annexes hydrauliques, zones inter-RCC), il est nécessaire de s'appuyer sur les connaissances acquises par l'OSR sur l'évolution morphologique des marges et leur fonctionnement hydro-sédimentaire. Dans les zones de sédimentation active de MES, la détermination des volumes sédimentaires, des chronologies de remplissage et des niveaux de contamination associés permettront d'accéder pour la première fois à des ordres de grandeur de flux de contaminants déposés. Le développement du modèle hydrosédimentaire 1D sur les annexes fluviales (action A3.3) permettra également d'estimer, pour un tronçon donné, les flux de contaminants déposés à l'échelle d'un secteur court circuité (PDR). Ces flux de contaminants stockés seront comparés à ceux qui transitent pour les périodes et zones couvertes par le réseau de suivi de l'OSR.

En 2021 : Synthèse de donnée « terrain » (géophysique, carottage, datation et contaminant) pour estimer les flux de contaminants déposés (PCB, RFB, métaux) et leur variabilité dans le temps. RCC de PBN et/ou PDR. Stage de M2.

En 2022 : Modélisation des flux de contaminants déposés à l'aide du modèle sédimentaire 1D, RCC de PBN et/ou PDR. Fin de thèse de Nicolas Noclin (action A3.3).

En 2023 : Synthèse et rédaction d'articles sur les flux déposés en prenant en compte les données des stations de mesures des flux de contaminants.

**Enjeux opérationnels : Quantifier des flux de contaminants déposés à l'échelle de plusieurs environnements de dépôts d'un RCC et les comparer par rapport aux flux de contaminants qui transitent (quels ordres de grandeur ?) pour avoir une meilleure compréhension des bilans de contaminants. Développer le modèle 1D pour identifier les zones / volumes à risques pour la gestion des sédiments fluviaux.**

**Enjeux stratégiques de l'OSR 6 concernés : 4 et 6**

### **B3.3 - Historique des contaminants émergents**

*INRAE-RiverLy - Sylvain Merel, Cécile Miège*

La contamination d'un cours d'eau et des sédiments reflète la société et ses activités à un moment précis. La composition des sédiments déposés au fil des années permet donc de réaliser un historique de la contamination des eaux qui peut être mis en relation avec des faits marquant tels que le développement de l'industrie chimique depuis l'après-guerre en région lyonnaise, l'évolution des usines de traitement d'eau usées, l'autorisation de nouvelles molécules ou l'interdiction de certaines autres.

Lors de la seconde année de l'OSR6, une étude bibliographique sera réalisée sur l'étude des contaminants dans les sédiments ainsi que sur leur évolution en amont et en aval de Lyon aboutissant sur la création d'un plan expérimental.

Lors de la troisième année de l'OSR6, la méthode d'analyse non-ciblée des contaminants (développée dans l'action B2.2, années 1 et 2) sera appliquée sur des carottes de sédiments prélevées dans le cadre de l'OSR (programmes précédents ou actuel) et/ou ARCHEORHONE (2017-2018, ZABR/AERMC). Seront mobilisés pour conduire cette action, les permanents, une demi bourse de thèse et un master 2 de 6 mois.

L'objectif est d'établir un historique de la contamination du Rhône depuis 3 décennies en aval de Lyon (lien action B1-Contributions des zones urbaines/industries). En particulier, cette méthode d'analyse innovante permettra de rechercher les composés marquant les rejets de station d'épuration (pharmaceutiques), mais également les biocides et des composés marquant l'activité industrielle tels que les molécules perfluorées. Les résultats seront interprétés aussi au regard de la connaissance sur les historiques de contamination dans le bassin du Rhône.

***Cette sous-action permettra d'obtenir, sans a priori, une vue d'ensemble de tous les composés organiques historiquement déposés et d'identifier des molécules qui reflèterait la mise en place des mesures réglementaires sur les rejets à l'échelle du Rhône (exemple : PFOS, aliskirène).***

**Enjeux stratégiques de l'OSR 6 concernés : 3, 4 et 6**

## Action B4 : Étude du comportement des contaminants pour déterminer leur persistance dans le système

Unité(s) de recherche impliquée(s) : INRAE-RiverLy, IRSN, CNRS-CEREGE

Responsables : Matthieu Masson + Frédérique Eyrolle

Mots clefs : phases porteuses particulaire, partition dissous/particulaire, granulométrie, matière organique particulaire, contaminants émergents,

### Descriptif général de l'action :

L'objectif de cette action est de mieux comprendre le devenir des contaminants particulaires dans le système du Rhône et de ses affluents. Cette action met l'accent sur une meilleure compréhension de la partition des contaminants entre les fractions dissoutes et particulaires en s'appuyant sur des approches expérimentales en laboratoire. La taille des particules et leurs compositions font partie des facteurs principaux qui contrôlent le comportement des polluants dans les cours d'eau. Ainsi, cette action visera également à mieux comprendre le rôle de la granulométrie et de la matière organique particulaire sur la variabilité des concentrations en contaminants afin de pouvoir comparer les concentrations de façon temporelle et spatiale.

### B4.1 - Affinité des contaminants pour les matières en suspension en fonction de la composition organo-minérale

*CNRS-CEREGE - Jérôme Labille, Daniel Borschneck et Ingénieur d'étude contractuel (CDD Sud 15%)*

Le devenir des contaminants dans l'eau à l'échelle du continuum Rhodanien est fortement dépendant des interactions bio-physicochimiques qui prennent place à petite échelle entre le contaminant et les MES. Différents scénarios d'adsorption, de vectorisation colloïdale ou d'agrégation sont susceptibles d'intervenir et d'impacter le temps de séjour du contaminant en suspension. Or l'affinité d'un contaminant pour les MES dépend non seulement de la nature chimique du contaminant, mais aussi des propriétés de surface de la MES (minérales : argile, quartz, calcite ; organiques : voir action B4.3). Afin d'identifier les profils de MES les plus susceptibles d'interagir avec les contaminants d'intérêt, des expériences d'isothermes d'adsorption / désorption sur la MES seront réalisées en laboratoire. Des MES de compositions organo-minérales contrastées, provenant de différentes stations du Rhône et de ses affluents, seront utilisées. Des compositions simplifiées seront ensuite recherchées afin de mettre en exergue, par exemple, le rôle des différentes argiles ou des carbonates dans le mécanisme d'adsorption. Pour cela, en 2022, des MES issues d'épisode pluvieux local sur un bassin versant de pédologie particulière seront récupérées dans l'affluent du Rhône réceptacle (ex : Durance, Ardèche). Cette approche permettra in fine de mieux appréhender l'effet de la géologie et pédologie du bassin versant sur la dynamique de transport des polluants dans le Rhône.

Ces expériences seront menées sur des contaminants inorganiques prioritaires (As, Pb, Gd), mais aussi sur des contaminants organiques d'intérêt pour l'OSR, en collaboration avec les partenaires équipés pour leur analyse.

L'approche analytique proposée est basée sur des expériences en batch liquide contenant les MES, dans lequel le polluant est injecté à une dose connue. Afin d'estimer la proportion de polluant adsorbée sur la MES, la fraction libre est analysée sur la phase dissoute. L'isotherme d'adsorption est réalisée à l'équilibre et à dose de contaminant variable. La pente de la courbe obtenue informe sur l'affinité du polluant pour la MES. Dans un deuxième temps, la cinétique de désorption est mesurée afin d'analyser la réversibilité de l'interaction entre le polluant et les MES lors d'un changement de condition (ex: apport d'un affluent changeant la physicochimie subitement). Pour cela un échantillon issu de l'isotherme d'adsorption est centrifugé et sa phase particulaire est redispersée dans un nouveau milieu dispersant. L'éventuel relargage du contaminant dans la phase dissoute est analysé au cours du temps. De plus, afin de mieux cerner le rôle de la vectorisation colloïdale sur la dynamique de transfert des contaminants, des mesures de cinétique de sédimentation seront réalisées après adsorption sur les amalgames MES-contaminant (Turbiscan Lab).

Ces expériences de laboratoire s'inscrivent en complémentarité d'autres sous-actions B4 menées sur des échantillons de terrain non dopés en contaminant, et permettront de vérifier les mécanismes

d'interaction MES - contaminant en conditions de laboratoire contrôlées. Le financement d'un stage de Master est demandé sur 2022, qui sera dédié à cette étude.

En 2021 : Isothermes d'adsorption de polluants inorganiques sur les MES du Rhône et de ses affluents

En 2022 : Financement d'un stage de Master 2 - isotherme d'adsorption / désorption sur des analogues de MES à composition organo-minérale simplifiée + mesure de cinétique de sédimentation

En 2023 : Isothermes d'adsorption de polluants organiques sur des analogues de MES à composition organo-minérale simplifiée

***Cette sous-action permettra de mieux comprendre les mécanismes d'interaction entre contaminants et MES, qui déterminent leur dynamique de transport dans le Rhône. En particulier, elle permettra d'appréhender l'effet de la géologie et pédologie du bassin versant, ainsi que de la physicochimie de l'eau, sur ces interactions.***

**Enjeu stratégique de l'OSR 6 concernés : 6**

#### **B4.2 - Effets de la nature des particules (granulométrie et matière organique) sur la concentration des contaminants.**

*INRAE-RiverLy - Mathieu Masson et IRSN - Hugo Lepage*

Les variations de granulométrie et de composition en matière organique (MO) influencent les concentrations en contaminants. Lors d'étude des tendances temporelles et des distributions spatiales des concentrations de contaminants dans les sédiments et les matières en suspension (MES), il est essentiel d'évaluer les effets de la variation de ses deux paramètres (e.g. variations de granulométrie dans différentes conditions hydrologiques) sur les concentrations en contaminants. Dans cette action, nous proposons de documenter les relations entre contaminants, granulométrie et composition MO dans les MES du Rhône et de ses affluents afin de proposer une méthodologie de normalisation des concentrations en contaminants pour s'affranchir des effets de la variabilité de ces paramètres dans les MES et les sédiments. Des travaux seront également conduits pour évaluer la distribution de la contamination au sein de plusieurs classes granulométriques pour caractériser les phases porteuses principales.

Pour cela, nous proposons d'étudier (2021) les relations entre les concentrations en contaminants (métaux, PCBi, HAP, radionucléides), la distribution granulométrique, et la concentration (via les analyses de carbone organique particulaire, COP) et la nature (via le rapport C/N entre carbone et azote dans les particules) de la MO présente dans les MES le long du Rhône (Jons, Andancette, Arles) et de chacun des principaux affluents (affluents du Haut-Rhône, Gier, Isère, Ardèche, Durance). Cette étude se basera majoritairement sur les données bancarisées sur BDOH mais aussi sur des données non bancarisées comme l'azote particulaire analysé avec le COP (quelques analyses complémentaires d'azote particulaire seront réalisées pour valider les données récupérées). Un focus sera apporté sur le choix de la meilleure méthode de description des distributions granulométriques (grain médian D50, texture, démodulation... ; cf. OSR4) pour l'étude de ces relations. Des échantillons de MES seront également prélevés dans les stations du réseau de suivi OSR puis séparés en plusieurs classes granulométrique à l'aide d'un tamisage en milieu humide. Les principaux contaminants seront mesurés sur chaque classe pour déterminer les classes qui portent le plus de contaminants en fonction des conditions hydrologiques et des autres paramètres physico-chimiques (MO...).

Les relations obtenues précédemment permettront dans un second temps (2022) d'estimer la part maximale de variations de concentrations en contaminants due à des variations de granulométrie ou de teneur/nature de matière organique observée le long du Rhône et dans chaque affluent. Ces résultats seront aussi appliqués aux échantillons de MES prélevés à Jons par centrifugation et par piège à particules afin de s'assurer que les biais granulométriques observés entre les deux modes de prélèvements n'influencent pas significativement les concentrations en contaminants. Une méthode de normalisation des concentrations sera proposée (en se basant sur une des méthodes de description des distributions granulométriques) pour permettre la comparaison de niveaux de concentrations dans des échantillons de granulométries très différentes (par exemple dans des carottes sédimentaires).

***Cette sous-action permettra de proposer une méthode opérationnelle visant à comparer les données de contaminants particulières à l'échelle spatiale et temporelle en s'affranchissant de la variabilité liée à la qualité des particules. Cette approche, couplée avec les travaux sur l'origine des particules permettra de mettre en regard le fractionnement dans les affluents et d'étudier si des changements ont lieu lorsque les particules se rencontrent dans les eaux du Rhône. Enfin, ces travaux, une fois finalisé, pourrait servir à améliorer les modèles de transport en modélisant plus finement les interactions granulométriques au sortir des confluences.***

**Enjeux stratégiques de l'OSR 6 concernés : 5 et 6**

# AXE C : Développer des méthodes pour restaurer la qualité physique et chimique des habitats et évaluer les effets des actions

→ Copilotes Axe C : **Hervé Piégay (CNRS-EVS)**

## **Descriptif de l'axe :**

La restauration du bon fonctionnement physique et chimique est un enjeu clé pour atteindre le bon état écologique du fleuve. Plusieurs actions de restauration ont été engagées depuis quelques années (relèvement du débit réservé, installation d'ouvrages de franchissement pour les migrateurs, recreusement et reconnexion des bras secondaires) et de nouvelles sont également programmées qu'il s'agisse de la redynamisation des marges ou encore de recharges sédimentaires.

Les réponses à attendre de ces actions sur les habitats doivent faire l'objet d'un suivi pour pouvoir les évaluer. La question se pose aussi de savoir si le niveau d'ambition affiché est suffisant pour avoir une réponse satisfaisante et si ces actions sont potentiellement durables et peuvent toucher un linéaire fluvial significatif. La présence notamment des réservoirs et leurs effets sur les forces tractrices interrogent sur la longueur du linéaire susceptible de bénéficier de ces actions de restauration.

## Action C1 : Evaluation de l'état des habitats benthiques du Rhône dans les secteurs restaurés et non restaurés

Unité(s) de recherche impliquée(s) : CNRS-EVS, INRAE-RiverLy, en lien avec ENTPE-LEHNA / IRSN (action B2)

Responsables : H. Piégay et B. Camenen

Mots clefs : habitats, recharge sédimentaire, colmatage, état écologique

### Descriptif général de l'action :

Cette action va permettre de déterminer quel est l'état du fond du lit du Rhône dans les secteurs restaurés et non restaurés. Le colmatage interstitiel est une question sensible en matière d'évaluation des habitats benthiques car il régit les échanges entre les écoulements hyporhéiques et les écoulements de surface, et concourt à la bonne santé de ces habitats. Dans les cours d'eau caractérisés par un déficit sédimentaire et la formation d'un pavage, le colmatage interstitiel peut être marqué. Ce phénomène est complexe car il est dynamique et peut varier grandement en fonction des observations, selon que l'on se situe avant ou après une crue ou une chasse par exemple. De fait, évaluer le colmatage interstitiel nécessite un suivi temporel à assez haute fréquence en lien avec les épisodes critiques et l'état supposé du fond du lit.

L'évaluation de la réponse du compartiment interstitiel au mode de gestion des ouvrages, à l'histoire des ajustements du chenal et aux changements du fond du lit suite aux événements de crue passe par un suivi haute fréquence du colmatage des fonds. La méthode des cylindres telle que décrite par Lambert et Walling (1988) et utilisée sur la Garonne à Plan d'Arem sera mise en œuvre sur le Rhône, afin d'apprécier l'intensité et la nature du colmatage, via notamment la distribution granulométrique de celui-ci. Le colmatage fera l'objet de 5 campagnes de terrain par an sur une dizaine de stations, plusieurs étant localisées dans des secteurs de recharge sédimentaire afin d'évaluer l'effet de ces actions de restauration sur les habitats aquatiques. Les autres stations seront situées sur des secteurs à fort transport solide afin de disposer d'une référence en termes de bon fonctionnement, et enfin sur des secteurs très affectés par le déficit sédimentaire permettant de fournir une référence en termes d'état dégradé. Le protocole est bien établi et a déjà été appliqué en aval du barrage de Plan d'Arem sur la Garonne, démontrant notamment la faible perturbation des habitats (thèse de T. Bulteau, CNRS-EVS). Sur une partie des stations d'échantillonnage, les mesures seront complétées par la mise en place de tests d'infiltration proposés par IRSTEA lors de l'OSR4 (action I.2). Ces mesures avaient donné des résultats encourageants et complémentaires à la méthode des cylindres.

Cette action repose sur des campagnes de terrain prévues annuellement réalisées avec l'appui d'un ingénieur de recherche (1 mois/an pendant 3 ans) et d'un ingénieur d'étude (1 mois/an pendant 3 ans)

Cette sous-action permettra de déterminer quel est l'état du fond du lit du Rhône dans les secteurs restaurés et non restaurés concourant à mieux évaluer quel est la qualité des habitats benthiques et hyporhéiques et l'effet des actions de restauration sur leur état. C'est une action importante pour pouvoir caractériser l'état morphologique du fleuve qui influence la biodiversité.

### Enjeux stratégiques de l'OSR 6 concernés : 1 et 2

- Nom de l'unité de recherche : CNRS-EVS

2021 : 5 campagnes de terrain sur 10 stations réparties sur le Rhône (3 sites d'injection : PDR, CHA, DZM ; 3 sites dynamiques (MIR + REF Confl. Ain ou Drôme) ; 4 sites pavés : PDR (amont injection, PBN, DZM, MON)

2022 : même programme

2023 : même programme et synthèse des résultats

- Nom de l'unité de recherche : INRAE-RiverLy

L'objectif est de compléter les mesures réalisées par le CNRS-EVS sur quelques sites particuliers (MIR, Confl. Ain, PBN, ?).

En 2021, 2022 et 2023, l'objectif est de participer à quelques campagnes de mesure de CNRS-EVS et de les compléter.

En 2023, l'objectif sera en plus de faire une synthèse des résultats dans le cadre d'un stage de Master.

## Action C2 : Evaluation de la réponse des habitats aux actions de recharge sédimentaire

Unité(s) de recherche impliquée(s) : CNRS-EVS, AMU-CEREGE

Responsables : H. Piégay

Mots clefs : habitats, recharge sédimentaire, chenal actif, granulométrie, évolution des formes fluviales

### Descriptif général de l'action :

Cette action va permettre de déterminer quelle est la réponse des habitats aquatiques aux actions de restauration. Quelles sont les réponses morphologiques et granulométriques du chenal aux réinjections mécaniques ou via des ré-érosions : est-ce que le sédiment réinjecté va interagir avec le sédiment du lit, en recréant des morphologies/facies/habitats ou, à l'inverse, va-t-il transiter rapidement sans interagir avec le pavage (bypass sédimentaire) ? Cette question est essentielle en vue d'estimer la pérennité ou la durée des effets bénéfiques engendrés par les différentes opérations de restauration (réinjection et/ou réactivation des marges). Il s'agit notamment de suivre la granulométrie des fonds en eau là où il y a eu des injections pour mieux comprendre le processus de dégradation et la réponse potentielle du lit à la restauration (les caractéristiques interstitielles des secteurs non restaurés et restaurés sont encore à établir), et la réponse des peuplements benthiques (renforcer le lien entre les mesures physiques faites dans l'OSR et les observations de RhonEco).

La réponse des habitats aquatiques et des bancs aux actions de restauration n'a pour l'instant pas fait l'objet d'analyses fines. Une première action propose un suivi du colmatage interstitiel (C1). L'objet de l'action C2 est de suivre l'évolution granulométrique des fonds et la bathymétrie. Les réinjections de sédiments et la redynamisation des marges alluviales doivent permettre de complexifier la morphologie du chenal, notamment de recréer des bancs latéraux ou médians et des zones présentant une granulométrie plus grossière, permettant ainsi de renforcer les échanges eau de surface - eau souterraine et diversifier les habitats. Sur deux secteurs où les conditions morphologiques ont significativement changé à la suite de recharges, nous proposons de mesurer l'évolution de la granulométrie et des formes fluviales. Nous suivrons la granulométrie et la bathymétrie en nous appuyant sur des transects réalisés tous les 60 m sur lesquels les hauteurs d'eau seront relevés à partir d'un échosondeur et une série de photographies aquatiques seront prises à partir d'un suivi vidéo sur perche. Le protocole d'acquisition des données a été testé sur le Vieux Rhin à Kembs dans le cadre de la thèse de V. Chardon (CNRS-EVS) et a démontré son potentiel en grande rivière. Ce travail dans le chenal en eau s'accompagnera d'acquisitions aéroportées par ULM, permettant de caractériser la morphologie émergée par photogrammétrie SfM.

**Cette sous-action permettra de** déterminer quel est l'état du fond du lit du Rhône dans les secteurs restaurés, concourant à mieux évaluer quel est la qualité des habitats aquatiques et riverains, principalement les bancs naissants, et l'effet des actions de restauration sur leur état. C'est une action importante pour pouvoir caractériser l'état morphologique du fleuve qui influence la biodiversité.

### Enjeux stratégiques de l'OSR 6 concernés : 1 et 2

- Nom de l'unité de recherche : CNRS-EVS

Contenu détaillé prévu par cette unité de recherche pour l'action C2 :

Il a été décidé que cette action ne serait pas portée par l'OSR mais pourrait s'inscrire dans les actions conduites dans le cadre du suivi du schéma de redynamisation sédimentaire. 4 jours par an d'appui / expertise de chercheurs permanents EVS ont ainsi été provisionnés en 2021, 2022 et 2023 pour apporter un appui méthodologique pour lancer ces suivis et intégrer les résultats dans la synthèse OSR et les recommandations opérationnelles qui en découlent.

### Action C3 : Evaluation de la durabilité et de la continuité sédimentaire à la suite d'opérations de recharge sédimentaire

Unité(s) de recherche impliquée(s) : CNRS-EVS, AMU-CEREGE

Responsables : O. Navratil, H. Piégay, M. Tal

Mots clefs : durabilité, continuité, recharge sédimentaire, restauration des habitats, chenal, sédiments grossiers

#### **Descriptif général de l'action :**

Cette action va permettre de mieux évaluer la durabilité des actions de recharge sédimentaire et la longueur du linéaire fluvial qui peut potentiellement bénéficier de ces actions.

Il s'agit de coupler les approches de monitoring du flux sédimentaire par RFID/géophones low cost et la modélisation morphodynamique. Il s'agira notamment de valider les prédictions des distances de mobilité et de transport solide par classe granulométrique par un suivi du transport solide, et ce afin de pouvoir utiliser ces modèles pour établir des scénarios de restauration. Il s'agira aussi de mieux évaluer le niveau de fragmentation du Rhône en terme de transit sédimentaire. Comment fonctionne le transport de la charge de fond au niveau des retenues ? Quelle est la transparence sédimentaire des retenues ? Une étude plus fine du transport solide au niveau des retenues permettra de valider les modèles et mieux identifier les secteurs en fonction d'un gradient de dysfonctionnement. Est-il possible de prédire l'évolution moyen à long-terme de la continuité sédimentaire du Rhône suite à différents scénarios d'injection ou de gestion des ouvrages dans un continuum affluent-fleuve-embouchure ?

L'objectif de cette action est également de coupler traçages sédimentaires RFID passifs (parfois aussi actifs) et géophones afin de déterminer, en fonction des caractéristiques hydrauliques locales, les conditions de transfert des sédiments réinjectés soit par érosion latérale soit par injection mécanique. Le suivi RFID permettra d'évaluer les distances de transport en fonction de l'intensité des événements de crue, le temps nécessaire à l'évacuation complète de la charge injectée en dehors du tronçon court-circuité et la possibilité de transit dans les réservoirs aval. Ce suivi est envisagé annuellement sur 3 sites parmi ceux équipés à ce jour, et nous prévoyons également d'équiper un nouveau site sur le secteur de Baix-le-Logis-Neuf ou de Pierre-Bénite.

Nous proposons de compléter le dispositif RFID avec un suivi par géophone low cost. Les suivis sismiques par géophone low cost permettent de mesurer le transport solide par charriage sur les torrents à laves et les rivières de montagne (Navratil et al., 2011 ; Misset et al., 2020). Ils permettent de quantifier la dynamique de charriage (e.g. estimation du seuil de transport, sa variabilité) et de fournir une estimation des flux charriés en continu (Bakker et al., 2020). Cette technologie n'a toutefois jamais été déployée sur des rivières plus larges, à pente et granulométrie plus faible, comme le Rhône. Nous proposons de le mettre en place pour la première fois sur le Rhône dans le cadre du programme OSR6. Le site de Jons sera privilégié pour tester cette approche et la coupler avec les mesures en cours (RFID et géophones classiques réalisés par Burgeap). A partir de cette première expérience, nous déploierons un suivi low cost sur 4 autres sites localisés à proximité de sites d'injection de galets équipés de RFID. Ce dispositif nous permettra ainsi 1) d'obtenir des chroniques sismiques long terme dans des environnements variés et de les comparer avec les données RFID et 2) de définir les avantages et limites de cette méthode en grandes rivières, grâce à l'analyse du rapport signal/bruit de fond (e.g. bruits liés aux transports terrestres et à la navigation, activités humaines, hydraulique de la rivière). Si les conditions de déploiement du géophone sont maîtrisées sur le Rhône, cette méthode devrait à terme remplacer le suivi RFID pour un monitoring au long cours beaucoup moins coûteux que le monitoring RFID, permettant ainsi de détecter les périodes avec un transport solide actif et les périodes sans transport solide (vidange du système).

L'action s'appuie également sur une modélisation morphodynamique conduite par le CEREGE. Un modèle morphodynamique met à jour l'élévation locale du lit et la composition du lit à chaque étape en réponse à la capacité de transport locale par rapport à l'apport de sédiments et permet de prédire l'évolution des tronçons à l'échelle décennale (élévation, distribution granulométrique du lit et de la charge du fond, les capacités de transport par fraction granulométrique). Ce type de modèle est donc bien adapté à la prévision de l'évolution du lit (aggradation et dégradation) ainsi que des changements de la distribution granulométrique en réponse aux

sédiments réinjectés. Un avantage majeur de l'utilisation d'un modèle numérique est la capacité à faire varier les conditions initiales ainsi que les caractéristiques des sédiments réinjectés. Ainsi, il est possible de simuler différents scénarios, tels que les conditions d'un lit plus fin ou plus grossier (et plus pavé) et les réinjections de divers volumes et distributions granulométriques.

**Cette sous-action permettra de** déterminer le transport solide dans les secteurs restaurés et notamment la dispersion de la charge injectée mécaniquement pour améliorer l'état écologique du fleuve. C'est une action importante pour pouvoir caractériser l'état morphologique du fleuve qui influence la biodiversité et l'effet des actions de restauration (durabilité des effets, risque aval résultant du transfert de ces sédiments).

**Enjeux stratégiques de l'OSR 6 concernés : 1 et 2**

- Nom de l'unité de recherche : CNRS-EVS

En 2021, l'objectif est d'installer 5 géophones sur les secteurs de Jons, Donzère-Mondragon et Pierre-Bénite, d'injecter de nouveaux traceurs RFID sur un site à définir avec les partenaires et réaliser 3 suivis de leurs déplacements (les 3 sites étant à choisir en fonction des crues enregistrées : DZM, PBN, JON, CHA, PDR...). Il y aura donc 1 suivi sur 3 des 5 sites déjà équipés et 1 nouveau site équipé.

En 2022, l'objectif est de suivre les enregistrements par géophone et de réaliser un suivi RFID sur 3 des sites d'injection listés précédemment. Il y aura donc 1 suivi sur 3 des 6 sites déjà équipés

En 2023, l'objectif est de suivre les enregistrements par géophone, et réaliser un suivi RFID sur 3 des sites d'injection listés précédemment

Cette action repose sur des campagnes de terrain très importantes que nous prévoyons de réaliser avec la CNR afin de réduire les coûts et mutualiser l'effort collectif. Il y a également un temps de traitement des données important et un travail de modélisation et de validation assez long en lien avec la modélisation morphodynamique ce qui nécessite pour chaque année un IR 10 mois (7 mois RFID et 3 mois géophones) et un assistant ingénieur de 1 mois.

- Nom de l'unité de recherche : AMU-CEREGE

En 2021, l'objectif est de poursuivre la validation du modèle morphodynamique 1D (OSR5) sur le tronçon de PDR à partir des données bathymétriques et des données des traceurs RFID disponible et de construire et valider un modèle pour 1 – 2 tronçons supplémentaires avec des données adéquates disponibles (à déterminer en fonction des priorités de gestion). Ce travail nécessite la mobilisation d'

## Action C4 : Retour d'expérience des suivis de la restauration des habitats et recommandations opérationnelles

Unité(s) de recherche impliquée(s) : CNRS-EVS

Responsables : H. Piégay et O. Navratil

Mots clefs : fréquence d'injection, indicateurs et monitoring, évaluation de l'efficacité et de l'efficacités des opérations, restauration, recommandations

### **Descriptif général de l'action :**

Cette action va permettre de formuler des recommandations opérationnelles pour la mise en oeuvre des futures opérations de restauration (volume et taille des sédiments injectés, fréquence d'injection, indicateurs d'évaluation). Il s'agit d'une action de synthèse qui s'appuie sur les résultats acquis dans les actions C1, C2 et C3 et répondre à la question 3.8. Quels sont les retours d'expérience sur les conditions de mise en œuvre des opérations de recharge sédimentaire/ redynamisation et les différents scénarios opératoires : volumes et granulométrie à réinjecter ? Fréquences et éventuelles répétitions des réinjections ? Géométrie de la recharge et mode opératoire à privilégier ? Indicateurs de succès en termes de réponse écologique potentielle (diversification des habitats) et de durabilité (vitesses de transfert, temps de résidence de la charge introduite dans le RCC).

***Cette sous-action permettra de formuler des recommandations opérationnelles pour la mise en œuvre d'actions de restauration***

**Enjeux stratégiques de l'OSR 6 concernés : 1 et 2**

- Nom de l'unité de recherche : CNRS-EVS

Il s'agit d'une action de synthèse des données résultant des actions C1, C2 et C3, incluant du traitement de données et de la rédaction. Deux mois de CDD IR sont prévus chaque année.

En 2021, l'objectif est de faire la synthèse des données résultant des actions C1, C2 et C3

En 2022, l'objectif est de faire la synthèse des données résultant des actions C1, C2 et C3

En 2023, l'objectif est de faire la synthèse des données résultant des actions C1, C2 et C3 et de formuler des recommandations

# AXE D : Prévoir les changements pour anticiper les impacts

→ Copilotes Axe D : **Olivier Radakovitch (IRSN) et Mathieu Fressard (CNRS-EVS)**

## **Descriptif de l'axe :**

Les dix années de l'OSR ont permis de construire une importante base de données sur des domaines associés au transfert sédimentaire (apports, stocks, contamination, cartographies, flux...) et de développer des modèles numériques capables de reproduire les processus et les flux hydrosédimentaires tout au long du corridor. Cette acquisition de connaissances et d'outils est désormais suffisante pour élaborer et travailler des scénarios prospectifs permettant d'anticiper les changements qui pourraient affecter, à moyen terme, le transfert de sédiments et contaminants associés. Trois grands domaines sont à prendre en compte :

1) les changements climatiques, affectant directement le régime des précipitations sur le bassin et les épisodes de crue (fréquence, localisation, débit) et d'étiage (coin salé, changement physico-chimique sur les particules).

2) les changements d'occupation des sols (pratiques agricoles, urbanisation, etc.), qui sont susceptibles d'entraîner des évolutions de la production sédimentaire et des contaminations sur tout le bassin et in fine sur le corridor.

3) l'apparition de « nouvelles contaminations », telles que : la résurgence de sources passées (remobilisation de stocks affectés par les PCB ou les métaux), l'urbanisation croissante, des déversements accidentels (accidents routiers, industriels, portuaires...).

Cet axe a pour double objectif de fédérer les connaissances d'experts sur ces sujets afin de créer des scénarios plausibles, puis de poser les bases d'une modélisation de ces scénarios, seul outil permettant de les anticiper et donc d'en évaluer l'impact.

## Action D1 : Identification des scénarios de changement

Unité(s) de recherche impliquée(s) : IRSN, CNRS-EVS, INRAE-RiverLy

Responsables : O Radakovitch et M Fressard

Mots clefs : séminaires de début et de fin, scénarios d'experts

### Descriptif général de l'action :

Cette action va permettre de réaliser deux séminaires de travail dédiés à l'identification de scénarios de changement des forçages auxquels pourrait être soumis le fleuve dans un futur proche.

Le premier séminaire aura lieu au début de l'OSR6 sur une journée. Il permettra de faire intervenir 2 à 3 experts extérieurs qui viendront présenter les connaissances acquises sur l'évolution attendue des changements climatiques pour la région en termes de forçages majeurs : répartition des précipitations au cours de l'année, périodes de sécheresse, évolutions des écosystèmes terrestres et de l'occupation des sols. La question de nouvelles contaminations potentielles sera également abordée. L'après-midi sera consacré à un échange avec les scientifiques et partenaires financiers de l'OSR qui le souhaiteront afin de définir, sur cette base, des scénarios de changements susceptibles d'affecter le fleuve. Ces scénarios seront ensuite utilisés pour les actions D2, D3 et potentiellement D4.

Le deuxième séminaire se tiendra en fin de programme OSR6 et aura pour but de confronter les sorties et résultats obtenus dans les actions D2, D3 et D4 afin de dresser un catalogue des changements possibles et de leurs impacts.

Le financement de ces séminaires ne sera pas inclus dans le budget de l'OSR6, mais fera l'objet d'une demande d'animation spécifique par le GRAIE.

Cette action permettra de disposer des avis d'experts scientifiques et d'acteurs du territoire sur les évolutions du milieu à attendre dans le contexte du changement climatique, et de débattre des conséquences possibles. La forme "séminaire" permettra d'en faire un événement de communication.

### Enjeu stratégique de l'OSR 6 concerné : 4

- Nom de l'unité de recherche : IRSN

En 2021, l'objectif est de participer à l'organisation du premier séminaire, rechercher et contacter les experts extérieurs, rédiger le livrable à l'issue du séminaire.

En 2023, l'objectif est de participer à l'organisation du deuxième séminaire et diriger la rédaction du livrable à l'issue du séminaire.

- Nom de l'unité de recherche : GRAIE

En 2021, l'objectif est de participer à l'organisation du premier séminaire : trouver le lieu et les dates adéquates, organiser les missions des experts extérieurs et leur prise en charge, s'occuper de la gestion des inscriptions et des repas.

En 2023, l'objectif est de participer à l'organisation du deuxième séminaire : trouver le lieu et les dates adéquates, organiser les missions des experts extérieurs et leur prise en charge, s'occuper de la gestion des inscriptions et des repas.

- Nom de l'unité de recherche : CNRS-EVS

En 2021, l'objectif est de participer à l'organisation du séminaire et à la rédaction du livrable.

En 2023, l'objectif est de participer à l'organisation du séminaire et de contribuer à la rédaction du livrable.

- Nom de l'unité de recherche : INRAE-RiverLy

En 2021, l'objectif est de participer à l'organisation du premier séminaire et à la rédaction du livrable

En 2023, l'objectif est de participer à l'organisation du deuxième séminaire et de contribuer à la rédaction du livrable.

## Action D2 : Modélisation prospective des transferts hydrologiques et des débits

Unité(s) de recherche impliquée(s) : INRAE-RiverLy, CNRS-EVS

Responsables : Flora Branger et Mathieu Fressard

Mots clefs : changement climatique, scénarios, impact

### Descriptif général de l'action :

Cette action va permettre de disposer de simulations prospectives de débits sur l'ensemble des affluents du Rhône, élément essentiel à l'élaboration de scénarios hydro-sédimentaires, dans la complémentarité d'actions en cours ou démarrant prochainement (notamment : projet MDR Usages financé par l'AERMC, Etude de l'Hydrologie du Fleuve Rhône sous changement climatique pilotée par l'Agence, projet EPYC de réactualisation des projections climatiques et hydrologiques - Explore 2070 - au niveau national). Elle s'appuiera sur la mise en œuvre du modèle hydrologique distribué J2000-Rhône. Des simulations seront conduites pour différents scénarios de référence de réchauffement, ainsi qu'en utilisant plusieurs chaînes de modélisation (modèle global – méthode de descente d'échelle) de façon à disposer d'une estimation de la variabilité des scénarios. En lien avec ces projets, on s'appuiera sur la base de données DRIAS Climat ainsi que sur les résultats de plusieurs projets de recherche sur le futur du climat : EUROCORDEX (précipitations), ADAMONT (montagne pluvio-nival), CLIMSEC (hydro-climatique /sols). Il s'agira notamment de compléter les simulations qui seront réalisées en ajoutant des points de simulation spécifiques à l'OSR (ensemble des affluents du Rhône) et d'associer aux scénarios climatiques des scénarios impactant les transferts sédimentaires et impliquant les grands usages de l'eau (par ex. les stratégies de gestion des barrages hydroélectriques) qui sont pris en compte dans le modèle J2000-Rhône.

Cette action permettra de proposer des scénarios spatialisés documentant les effets potentiels du changement climatique sur l'évolution des débits liquides du Rhône et de ses principaux affluents. Actuellement inexistant à cette échelle, ces scénarios constitueront une première projection de référence régionale applicable dans différents domaines scientifiques et opérationnels. Les résultats de cette action permettront de disposer de données de base indispensables pour la modélisation prospective des transferts sédimentaires développée dans l'action D3.

### Enjeux stratégiques de l'OSR 6 concernés : 4 et 5

- Nom de l'unité de recherche : INRAE-RiverLy

En 2021, l'objectif est de constituer la base de données (forçages sous changement climatique)

En 2022, l'objectif est de réaliser les simulations.

En 2023, l'objectif est d'intégrer ces résultats de simulation à la modélisation hydro-sédimentaire (inclus dans action D3).

(moyens demandés : 6 mois de CDD IR pour la conduite des simulations dans J-2000).

- Nom de l'unité de recherche : CNRS-EVS

En 2021, l'objectif est de contribuer à la constitution des bases de données pour l'identification des scénarios de changement dans les forçages climatiques (en lien avec l'action B1).

En 2023, l'objectif est de contribuer au transfert des résultats de modélisation hydrologique prospective vers le modèle des transferts sédimentaires (action B3).

### Action D3 : Modélisation prospective des transferts sédimentaires

Unité(s) de recherche impliquée(s): CNRS-EVS, INRAE-RiverLy

Responsables : Mathieu Fressard, Flora Branger

Mots clefs : Modélisation hydrosédimentaire spatialisée, sous-bassins/bassin, multiscalaire, base de données, prospective

#### Descriptif général de l'action :

La construction d'un modèle hydro-sédimentaire spatialement distribué à l'échelle du bassin versant du Rhône a été initiée dans le cadre de l'OSR5 (action C1.2) et a montré des résultats prometteurs pour l'estimation des flux depuis les versants vers le chenal et dans le chenal. Cette modélisation a été construite via le couplage de trois modèles élémentaires : (1) *INVEST-Sediment* (transferts sédimentaires des versants au cours d'eau) ; (2) *J-2000 Rhône* (transferts hydrologiques en versant et débits dans le réseau hydrographique) et (3) *CASCADE* (transferts de sédiments dans le réseau hydrographique: transport, dépôt, remobilisation, ouvrages et géométrie du cours d'eau). Ce travail a été appliqué au sous-bassin test de l'Arc et a permis de reproduire les ordres de grandeur de flux mesurés en station MES. Ces résultats montrent le potentiel et la plus-value d'une approche à moyenne échelle (par sous-bassin) par comparaison aux approches dites régionales (bassin entier) du fait de la qualité des données d'entrée utilisées et du couplage de modèles de type grille (sources sédimentaires des versants) avec des modèles de type vectoriel (circulations dans les linéaires).

Dans une logique de mise à disposition d'un outil permettant d'estimer l'influence des changements globaux (climat, gestion des ouvrages hydroélectriques) sur les transferts hydro-sédimentaires, il est nécessaire de poursuivre le travail d'application de ce modèle à l'ensemble du Rhône. L'objectif est de développer une approche à l'échelle des sous-bassins (*INVEST-Sediment*) qui seront ensuite connectés à une modélisation hydrologique et du linéaire (*modèles J-2000* et *CASCADE*). A terme, ce travail permettra de mieux intégrer le rôle des affluents dans la dynamique hydro-sédimentaire et de prendre en compte l'effet dépôt/remobilisation en incluant l'effet des ouvrages et de la géomorphologie du cours d'eau (bras morts, largeur de la plaine alluviale, etc.).

Trois phases principales structurent cette action D3 :

- Constitution d'un jeu de données d'entrée sur le bassin versant (topographie, géologie/sols, occupation des sols, recensement des données MES disponibles sur l'ensemble du bassin du Rhône ; OSR et autres observatoires de recherche...) : ce travail préliminaire constitue le socle de base indispensable à la bonne conduite de la modélisation distribuée. Il sera déployé en priorité sur les affluents principaux contributeurs (Durance, Isère, Saône, etc.). Cette base de données permettra d'aller au-delà des modélisations hydro-sédimentaires classiques pour de grands bassins versants (réalisées à partir de données directement disponibles), pour lesquelles la précision est souvent limitée (par ex. Delmas et al., 2009 ; Launay et al., 2014).
- Application du modèle sur les sous-bassins et le corridor fluvial : cette tâche sera réalisée à la suite de l'acquisition des données de base sur l'ensemble du bassin.
- Introduction des scénarios de changement climatique et hydrologiques : l'action D3 est en forte interaction avec l'action D2 (scénarisation des changements de débits) et D1 (variation de la fourniture sédimentaire des sources via l'occupation des sols).

Cette action complètera la D2 en proposant des scénarios pour l'évolution des débits solides du Rhône et ses affluents dans le contexte du changement climatique. Ils constitueront la première projection de ce type sur le territoire national et pourront servir de support aux réflexions sur la gestion sédimentaire sur le temps long. L'action D3 est, par ailleurs, en forte interaction avec les axes A, D et E de l'OSR (par ex. mesure de la charge sableuse et de la granulométrie grossière, traçage de l'origine des MES, érosion/re-suspension et modèle OSR 1D), qui permettront de disposer de données pour la validation/discussion des résultats à l'échelle du bassin.

**Enjeux stratégiques de l'OSR 6 concernés : 4 et 5**

- Nom de l'unité de recherche : CNRS-EVS

En 2021, l'objectif est de construire la base de données SIG pour la modélisation de la production sédimentaire des versants sur les principaux sous-bassins contributeurs du Rhône. Aucune base de données harmonisée et disponible à une résolution suffisante n'existe (ou est en cours de construction) pour représenter les principaux facteurs nécessaires à la modélisation de l'érosion, à l'exception du modèle numérique de terrain IGN. Trois principales bases de données devront être acquises et seront valorisées/bancarisées dans le cadre de l'axe E : (1) la sensibilité intrinsèque des sols et des roches à l'érosion ; (2) l'érosivité des pluies ; (3) l'occupation du sol. Cette base de données sera produite de manière harmonisée pour l'ensemble du bassin et sera construite progressivement, en priorité sur les principaux affluents.

Quatre principales tâches seront effectuées : (1) harmonisation des données d'érodibilité des sols (croisement des données géologiques, cartes des sols, carte des formations superficielles etc.) ; (2) acquisition et harmonisation des données des stations pluviométriques de Météo France en vue de la cartographie de l'érosivité des pluies à échelle fine ; (3) cartographie de l'occupation du sol, (4) harmonisation des données vectorielles de linéaires de cours d'eau sur le Rhône et principaux affluents en vue de leur intégration dans CASCADE.

En 2022, l'objectif est de poursuivre et compléter la constitution de la base de données sur les petits sous-bassins (6 mois) ; et de déployer le modèle d'érosion (*INVEST-Sediment*) sur les principaux affluents, puis sur l'ensemble du Rhône. Une première validation du modèle à partir des mesures des stations MES de l'OSR pourra être conduite.

En 2023, l'objectif est de proposer un couplage des modèles *INVEST-Sediment* et *CASCADE* sur les principaux affluents (Durance, Isère, Saône) et le Rhône. De même, les premiers scénarios prospectifs issus des résultats de la modélisation J-2000 (action D2) seront intégrés au modèle.

En 2024, l'application du modèle sera progressivement étendue à d'autres sous-bassins versants jusqu'à l'obtention d'une couverture complète du bassin du Rhône.

(Moyens demandés : CDD (IE) de 12 mois pour l'aide à l'acquisition et à la construction des bases de données).

- Nom de l'unité de recherche : INRAE-RiverLy

En 2021, l'objectif est de contribuer à la construction de la base de données SIG en partageant notamment les données utilisées pour la construction du modèle hydrologique distribué J2000-Rhône et en contribuant à leur interprétation (données pluviométriques notamment)

En 2022, l'objectif est de réaliser formellement le couplage entre le modèle hydrologique distribué J2000 et les modèles sédimentaires (chaînage des modèles et variables échangées) pour permettre la reproductibilité des simulations, et les appliquer sur les principaux affluents.

En 2023, l'objectif est de poursuivre l'application du modèle et proposer des premiers scénarios prospectifs à partir des résultats de la modélisation hydrologique J-2000 réalisés dans le cadre de l'action D2. L'application progressive du modèle à l'ensemble du bassin du Rhône sera poursuivie en 2024.

#### Action D4 : Modélisation de scénarios de propagation de contaminants particulaires

Unité(s) de recherche impliquée(s) : IRSN, INRAE-RiverLy

Responsables : Patrick Boyer et Jérôme Le Coz

Mots clefs : modélisation, contaminants particulaires, déversements

##### **Descriptif général de l'action :**

La modélisation du transfert d'eau et de matière en suspension a grandement avancé au cours des dix années écoulées, mais la modélisation du transfert de contaminants associés aux particules n'a fait l'objet que de quelques premières simulations de faisabilité avec le modèle 1D OSR. L'intérêt de la prédiction par un tel modèle est relative dans l'état actuel de la contamination du fleuve (peu de variabilité dans le temps et l'espace), mais elle devient majeure dans le cas d'une contamination accidentelle (par exemple accident de camion ou de péniche, déversement industriel accidentel). Un apport ponctuel issu de sources diverses (déversement industriel, accident routier, de transport fluvial ou portuaire,...) induirait un panache de contamination dont les transferts par dispersion et sédimentation/reprise dépendraient de paramètres tels que le débit dans les différentes branches du fleuve, la concentration en MES, la granulométrie et l'affinité du contaminant pour les particules. Une connaissance anticipée de ce transfert et des risques pour les écosystèmes (par l'absence de dilution ou le dépôt dans des zones clé) peut maintenant être proposée par l'OSR. Elle intéresserait certains des enjeux du Plan Rhône 2021-2027 : lutter contre les pollutions toxiques, encourager une écologie industrielle et renforcer l'acceptabilité des zones industrielles, anticiper des risques liés au développement du transport fluvial.

Cette action a pour but d'appliquer des modèles numériques du Rhône déjà existants à des scénarios d'apports épisodiques de contaminants à forte et faible affinité pour les particules et d'évaluer sur l'ensemble du fleuve : les vitesses de transfert, les facteurs de dilution et les zones de stockages sédimentaires. Les modèles (équations) seront appliqués avec deux codes de calcul (MAGE-AdisTS et CASTEAUR) pour tester leur robustesse et valider leur utilisation possible par d'autres codes (EDF, CNR s'ils le souhaitent). Les scénarios seront traités pour différentes conditions hydrologiques et différentes zones sources afin de présenter ces paramètres pour différents cas types : crue, étiage, débit normal, injection en amont ou aval des affluents principaux, conduite des aménagements. Les résultats seront géo-référencés ce qui permettra de restituer sous des formes géographiques les distributions des variables recherchées et des risques potentiellement induits. Les résultats produits à l'exutoire du Rhône pourront à terme être utilisés pour simuler la propagation des polluants dans le Golfe du Lion.

Cette action s'intéresse à la modélisation du transfert de contaminants rejetés dans le Rhône de façon chronique et/ou accidentelle. Elle permettra de travailler cette question pour la première fois à l'échelle de tout le linéaire, et d'initier des outils et des réflexions pour certains enjeux du Plan Rhône 2021-2027 (cf ci-dessus).

##### **Enjeux stratégiques de l'OSR 6 concernés : 4 et 5**

- Nom de l'unité de recherche : IRSN

En 2021, l'objectif est de finaliser le codage du modèle Casteaur qui sera utilisé pour traiter de scénario de propagation de contaminants particulaires dans le fleuve. Des scénarios types d'apports seront définis.

En 2022, l'objectif est de faire tourner le modèle Casteaur sur les scénarios types et de produire les premières sorties numériques (Stage Master demandé)

En 2023, l'objectif est de traiter les sorties obtenues pour établir une classification des risques et une représentation adaptée.

- Nom de l'unité de recherche : INRAE-RiverLy

En lien avec l'action transversale E2 (modélisation), cette action permet de réaliser les simulations des scénarios de pollution établis par l'IRSN à l'aide du modèle 1D OSR Mage-AdisTS du Rhône et de contribuer ainsi au stage et à l'étude sur la propagation des contaminants particuliers.

En 2022, l'objectif est de faire tourner le modèle 1D OSR Mage-AdisTS sur les scénarios types et de produire les premières sorties numériques (en lien avec l'action E2 et le stage Master IRSN).

En 2023, l'objectif est de traiter les sorties obtenues pour établir une classification des risques et une représentation adaptée.

# AXE E : Coordonner et transférer (coordination, modélisation, bancarisation, valorisation, réseau de suivi)

→ Copilotes Axe E : Jérôme Le Coz (INRAE-RiverLy) et Fanny Arnaud (CNRS – EVS)

## Descriptif de l'axe :

L'Axe E est un axe méthodologique transversal qui permet de coordonner l'ensemble du programme, et de pérenniser, valoriser et transférer les données, les modèles et les connaissances produites dans les différents axes du programme OSR, au sein du collectif scientifique, pour les partenaires techniques, et en direction des publics extérieurs. Les actions de cet axe sont importantes à la fois pour optimiser la production du collectif scientifique en partageant et en validant des méthodes et données communes, et pour assurer la capitalisation des avancées de l'observatoire sur le long terme.

L'Axe E regroupe 5 actions transversales qui soutiennent l'ensemble des actions de recherche menées dans les autres axes A, B, C et D du programme OSR6 :

**Le réseau de suivi des flux sédimentaires** (MES et contaminants associés) du Léman à la mer est aujourd'hui opérationnel avec les stations de mesure en continu établies sur le Rhône à Jons (amont Lyon), Saint-Vallier (amont confluence Isère) et Arles (exutoire du bassin), ainsi que sur les principaux affluents (Arve, Fier, Saône, Gier, Isère, Drôme, Ardèche, Durance, Gardon), et complétées par la bouée MesuRho située en mer en face du panache du Rhône. Il s'agira de maintenir et renforcer ce réseau de mesure pour acquérir des séries temporelles continues sur les échelles pluri-annuelles et événementielles (crues, chasses de retenue, etc.). **Le modèle hydrosédimentaire 1D** du Rhône et son code de calcul Mage-AdisTS ont été développés et appliqués au fil des précédents programmes OSR. Cet outil de modélisation permet de simuler rapidement, au pas de temps horaire et sur plusieurs décennies, la propagation des flux et les érosions/dépôts à travers les biefs et les 21 aménagements hydroélectriques du Rhône du Léman à la mer. Les améliorations prévues portent notamment sur l'implémentation du charriage et de l'évolution des fonds associé, sur la représentation des marges et annexes fluviales, sur la modélisation des débordements lors des crues fréquentes, et sur les capacités de simulation des flux et dépôts sur le long terme. **La bancarisation des données et métadonnées** produites par l'OSR sera poursuivie, en améliorant l'automatisation et l'interopérabilité des services pour augmenter la visibilité des productions de l'OSR. En particulier, les fonctionnalités de l'application BDOH seront optimisées.

La **coordination** des différentes instances de gouvernance (comité de pilotage, comité scientifique, équipe de direction, groupes de travail par axe), la **valorisation** des produits de recherche sous la forme de nouveaux outils (frise chrono-systémique), en renforçant la visibilité au niveau national (publications dans des revues scientifiques et techniques en français) et à l'international (affecter des DOI aux données, traduire les sites en anglais) sont aussi des enjeux forts de l'Axe E.

L'Axe E répond directement aux enjeux OSR suivants (il contribue indirectement à tous les autres) :

Enjeu 5 : Avoir des outils numériques performants pour scénariser, anticiper, partager et pérenniser l'information

Enjeu 6 : Pérenniser le monitoring du Rhône sur le long terme pour restaurer le fleuve, comprendre et modéliser les processus ; anticiper les changements

## Action E1 : Réseau de suivi des flux sédimentaires du Rhône du Léman à la mer

Unité(s) de recherche impliquée(s) : INRAE-RiverLy, IRSN, IFREMER, CNRS-CEREGE

Responsables : Jérôme Le Coz et Jérôme Labille

Mots clefs : station hydro-sédimentaire, concentration, flux, série temporelle, mesure, métrologie, MES fines, contaminants

### Descriptif général de l'action :

**Cette action va permettre de maintenir le réseau de stations de mesure et de continuer à produire et partager les chroniques continues de concentrations et flux en MES et contaminants associés utiles à différentes actions du programme.** Cette action comprend les tâches suivantes :

- Implémentation et maintenance de stations hydro-sédimentaires et contaminants sur le Rhône (Jons, St-Vallier, Arles) et ses principaux affluents sédimentaires (Arve, Fier, Saône, Gier, Isère, Drôme, Ardèche, Durance, Gardon), en partenariat avec les autres gestionnaires (CNR, EDF, DREAL, OFEV/SIG, Veolia/Grand Lyon, MIO) ; la plupart des stations comportent un turbidimètre étalonné avec un préleveur automatique de MES et un piège à particules pour les analyses physico-chimiques (plus deux centrifugeuses fixes à Jons et Arles, et une centrifugeuse mobile)
- Evaluation et amélioration des systèmes de prélèvement et de mesure (concentrations MES et contaminants, granulométrie). Veille technologique et test/implémentation de dispositifs de mesure innovants et efficaces. Rédaction et diffusion de documents et modes opératoires pour ces différents équipements, et de protocoles de mesure.
- Installation des équipements de la station MesuRho située à l'embouchure du Rhône sur la nouvelle bouée des Phares et Balises à Roustan Est, suite à sa disparition en janvier 2021, puis mise en œuvre de la station, équipée de sondes multiparamètres pour la mesure en sub-surface et au-dessus du fond des variables physico-chimiques (température, salinité, pression, turbidité, oxygène dissous, fluorescence), d'un ADCP (mesure des courants, vagues, et proxy de la turbidité), et d'une station météorologique.
- Gestion de la banque d'échantillons Banquise pour ré-analyses et analyses futures ; les échantillons de MES de l'OSR sont bancarisés sous logiciel « Collec » depuis 2010 (1428 échantillons au total, dont 951 stockés à -80°C, de janvier 2013 à juin 2020). Evaluation périodique du système de prétraitement et de conservation des échantillons pour les nouveaux contaminants de l'OSR (en lien avec axe B).
- Méthodologie pour calculer les flux de MES et contaminants particulières sur les stations de l'OSR automatiquement au sein de la base de données BDOH.
- Gestion de la production des données et mise à disposition publique des enregistrements via BDOH/OSR (chroniques de concentrations et de flux de MES et de contaminants associés).
- Valorisation du réseau de suivi (national et international) et de transfert des méthodes (cf. Action E4)

Cette action transversale soutient différentes actions de recherche du programme OSR6 :

Action A3 : Sédimentation des fins dans le lit, les retenues de barrage et les marges alluviales

Action B1 : Détermination des sources de MES et de contaminants apportés au Rhône

Action B2 : Dynamique des MES et des contaminants associés le long du corridor fluvial

Action B3 : Dynamique de stockage des contaminants particulières et sa contribution par rapport aux flux qui transitent

Action B4 : Étude du comportement des contaminants pour déterminer leur persistance dans le système

Action D2 : Modélisation prospective des changements

Action D3 : Nouvelles connaissances pour alimenter l'anticipation des changements

Action E2 : Modélisation hydro-sédimentaire du Rhône du Léman à la mer

Action E3 : Bancarisation des données et métadonnées produites par l'OSR

Action E4 : Valorisation des produits de recherche de l'OSR

## Enjeux stratégiques de l'OSR 6 concernés : 6

- Nom de l'unité de recherche : INRAE-RiverLy

INRAE-RiverLy intervient techniquement sur les stations "OSR nord" depuis le Léman jusqu'à l'Isère incluse, les stations "OSR sud" étant gérées par le CNRS-CEREGE et l'IRSN, ce qui n'empêche évidemment pas de constants échanges et interventions croisées. Les échantillons de MES de l'ensemble du réseau sont mis en commun. INRAE-RiverLy intervient principalement sur les analyses granulométriques, COP, mercure et micropolluants organiques. INRAE-RiverLy gère et supervise pour l'ensemble du réseau, en lien avec les différents producteurs internes et externes, le rapatriement des données produites par les partenaires (et les conventions ad hoc), la maintenance et l'étalonnage des turbidimètres en concentration MES, ainsi que la bancarisation des échantillons dans Banquise et des séries temporelles de données dans BDOH/OSR.

Cette action de base est récurrente avec la rédaction d'un rapport annuel sur le réseau de mesure. Elle est assurée grâce à la mobilisation de permanents (chercheurs, ingénieurs et techniciens) et au recrutement d'un(e) assistant-ingénieur(e) dédié(e) à cette action (30 mois). Les 6 mois manquants seront compensés en partie par l'intervention accrue de permanents en fin de programme et par le report de certaines tâches. Il n'est plus prévu d'ajouter des stations de mesure permanentes au réseau constitué, mais de consolider l'existant et de l'améliorer pour continuer à produire des données de suivi continu de qualité adéquate.

En 2021, l'objectif est de maintenir et gérer le réseau de mesure.

En 2022, l'objectif est de maintenir et gérer le réseau de mesure.

En 2023, l'objectif est de maintenir et gérer le réseau de mesure.

- Nom de l'unité de recherche : CNRS-CEREGE

Le CNRS-CEREGE assurera l'échantillonnage mensuel des points du bassin du Rhône Sud (Arles, Durance, Ardèche, Gardon et Drôme) en interaction avec l'IRSN. Cela inclut sur le terrain le relevé des pièges à sédiments, la mesure de pH et de conductivité, ainsi que le prélèvement des eaux pour la filtration et pesée des MES. Le relevé des échantillons est prévu à minima sur une fréquence mensuelle + en période de crue. Ces échantillons seront mis en commun avec les partenaires de l'OSR en charge de leur analyse (granulo, polluants) et alimenteront la banque d'échantillons (Banquise). Les mesures réalisées sur le terrain seront bancarisées dans la base de données BDOH.

Les contaminants inorganiques, notamment Pb, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, sont analysés par le CNRS-CEREGE dans les sédiments prélevés sur l'ensemble des stations de prélèvement du Rhône et de ses affluents, (stations Sud + Nord), afin de poursuivre le suivi existant. Ces analyses s'inscrivent en complémentarité avec celles assurées par INRAE-RiverLy sur les contaminants organiques, le COP et la granulométrie sur les mêmes échantillons. Ces séries temporelles seront bancarisées dans BDOH/OSR.

Ces actions récurrentes seront assurées grâce au recrutement d'un(e) ingénieur(e) d'études dédié(e) sur 32 mois à 70%. Cette personne sera également en charge d'actions proposées en B2 et B4 par le CNRS-CEREGE sur les 30% de son temps restant (même durée). De plus, les missions de prélèvement sur le terrain doivent être réalisées en binôme. Souvent, une personne de l'IRSN se déplacera également sur les stations du Sud. Dans les autres cas, un personnel permanent du CNRS-CEREGE (ex : Jérôme Labille, chercheurs CNRS) assurera le binôme avec le CDD IE Sud. En dehors des 4 derniers mois, la charge de travail se répartit de manière égale sur les 3 années de l'OSR6. Durant les 4 derniers mois, l'absence de CDD IE au CEREGE impliquera une réorganisation de la tâche E1 : du personnel permanent sera mobilisé au CEREGE, à l'IRSN ou à l'INRAE pour maintenir le relevé des pièges à particules en binôme ; et l'analyse des contaminants inorganiques sera temporisée pendant cette période pour être reportée au début de l'OSR7.

En 2021, 2022 et 2023, l'objectif est de maintenir et gérer le réseau de mesure sur l'ensemble des stations OSR existantes, en complémentarité avec INRAE-RiverLy.

- Nom de l'unité de recherche : IFREMER

La bouée des Phares et Balises Roustan Est située face au Rhône, et sur laquelle était positionné la station MesuRho, a disparu entre le 13 et le 14 janvier 2021, emportant avec elle tous les instruments. Durant l'année 2021 et le début de l'année 2022, un nouveau dispositif de mesures sera élaboré puis mis en place sur la nouvelle bouée. L'IFREMER assurera ensuite le maintien en situation opérationnelle de la station MesuRho. De façon à maintenir à minima l'acquisition de données d'hydrologie et de turbidité en subsurface durant l'année 2021, un dispositif autonome basé sur l'installation de sondes de hydrologiques et de turbidité sera positionné vers le mois de juin 2021, sous réserve de la présence de la nouvelle bouée prévue pour être installée au printemps. Suite à l'installation du nouveau dispositif plus complet d'instruments au plus tard début 2022, des sorties terrain auront lieu tous les deux à trois mois pour effectuer la rotation des sondes et toute réparation utile. L'ifremer procédera également à l'étalonnage et la préparation des sondes. Lors des sorties, des profils hydrologiques seront réalisés à l'aide d'une sonde CTD, et des prélèvements d'eau seront réalisés au niveau du système de mesure en subsurface, pour effectuer des filtrations des MES en laboratoire.

Les données des séries temporelles de turbidité et des mesures ponctuelles de concentrations en MES seront bancarisées dans BDOH/OSR. Un contrôle qualité des données est effectué à posteriori sur les séries annuelles. Cette action est récurrente et contribue au rapport annuel sur le réseau de mesure. Elle est assurée grâce à la mobilisation de permanents (ingénieurs, techniciens, chercheurs).

- Nom de l'unité de recherche : IRSN

L'IRSN participera avec le CNRS-CEREGE aux missions de prélèvements du réseau SUD. Le tritium organiquement lié et le carbone-14 seront mesurés sur certaines stations (Arles, Durance, Ardèche, Isère, Jons et Saône) pour poursuivre les travaux entamés dans l'OSR5 et en lien avec l'action B4.

## Action E2 : Modélisation hydro-sédimentaire du Rhône du Léman à la mer

Unité(s) de recherche impliquée(s) : INRAE-RiverLy, IRSN, CEREGE-AMU, ENTPE-LEHNA, IFREMER

Responsables : J. Le Coz et P. Boyer

Mots clefs : modélisation numérique, hydraulique, MES, contaminants

### Descriptif général de l'action :

Cette action va permettre de poursuivre le développement et l'amélioration du modèle 1D OSR du Rhône du Léman à la mer et de son code de calcul, et de l'appliquer à différents sites, périodes et paramètres (eau, MES, contaminants) pour produire des données utiles à différentes actions du programme, notamment :

Action A3 : Sédimentation des fins dans le lit, les retenues de barrage et les marges alluviales

Action A4 : Capacité de transport du Rhône et risque inondation lors des crues rares

Action B1 : Détermination des sources de MES et de contaminants apportés au Rhône

Action B3 : Dynamique de stockage des contaminants particuliers et sa contribution par rapport aux flux qui transitent

Action C2 : Evaluation de la durabilité et de la continuité sédimentaire à la suite d'opération de recharge sédimentaire

Action D2 : Modélisation prospective des changements hydrologiques

Action D3: Modélisation prospective des transferts sédimentaires

Il est à noter que le modèle 1D OSR n'a pas pour objectif de simuler les inondations (lignes d'eau, zones submergées) lors des crues rares mais uniquement les conditions de transport sédimentaire et les évolutions morphologiques associées en lien avec les crues fréquentes à rares, ce qui nécessite une meilleure représentation des zones de stockage dans la plaine alluviale.

Il faut bien distinguer développement du code de calcul (uniquement fait dans l'OSR par INRAE-RiverLy sur le code Mage-AdisTS) et modélisation des processus de charriage et morphodynamique (uniquement fait dans l'OSR par le CEREGE-AMU à l'aide du code BASEMENT). CEREGE-AMU utilise le code de simulation existant BASEMENT (en 1D et à l'avenir en 2D, ce que ne permet pas Mage-AdisTS, uniquement 1D) car la simulation du charriage n'était pas encore opérationnelle dans le code Mage-AdisTS. De même, l'IRSN développe depuis longtemps une expertise de modélisation des processus associés aux contaminants, à travers son code de calcul CASTEAURx. Dans les trois cas, la collaboration entre équipes dans cette action E2 permettra de valoriser et capitaliser l'expertise de modélisation en développant le code Mage-AdisTS et le modèle 1D du Rhône.

Cette action va également permettre, à travers l'organisation de workshops annuels et de formations, d'assurer la coordination et les échanges techniques entre les modélisateurs des différents partenaires de l'OSR (notamment CNR), sans se limiter au modèle 1D OSR mais en incluant les autres modèles hydro-sédimentaires appliqués sur le Rhône, ainsi que la modélisation distribuée du bassin versant et la modélisation du Golfe du Lion.

### Enjeux stratégiques de l'OSR 6 concernés : 5

- Nom de l'unité de recherche : INRAE-RiverLy

Il s'agit à la fois de développer les outils de simulation numérique (Mage-AdisTS, interface Pamhyr) et le modèle du Rhône lui-même (meilleure représentation de la géométrie et des processus hydrauliques et sédimentaires). Il s'agit en outre d'appliquer le modèle pour différentes actions des axes A, B, C, D de l'OSR6 et/ou d'accompagner les partenaires pour réaliser eux-mêmes les calculs, à travers la formation et l'appui méthodologique.

Un objectif transversal est la modélisation des concentrations et flux de MES au niveau des stations d'Arles et Beaucaire afin de combler les lacunes des séries temporelles plus précisément qu'avec

les relations débit-concentration, en exploitant les enregistrements sur les stations du réseau de mesure (cf. action E1). Une fois validée (par comparaison avec les mesures à la station d'Arles), cette série continue depuis 2010 sera fournie comme donnée de référence (via BDOH/OSR, cf. action E3) pour toutes les études sur le milieu côtier et marin, d'autant plus que la décomposition des flux de MES par sous-bassin versant pourra être fournie.

Le code de calcul Mage-AdisTS du modèle OSR 1D sera étendu au charriage et aux évolutions morphodynamiques associées. Une fois le code de calcul validé, on reprendra et capitalisera l'expertise de modélisation du charriage développée par AMU-CEREGE en utilisant le code BASEMENT sur le bief de Péage-de-Roussillon et sur d'autres tronçons-clés (sélectionnés dans les axes A et C). L'objectif est de développer le modèle OSR 1D du Rhône sur ces tronçons (paramétrage de casiers simplifiés pour le débordement, du charriage et des options de répartition des dépôts et érosions) et de le comparer/valider sur les modèles AMU-CEREGE existants, pour pouvoir à terme (horizon OSR7) généraliser ce type de modélisation à davantage de tronçons du Rhône, avec une continuité de la modélisation sédimentaire de l'amont à l'aval.

Le code de calcul Mage-AdisTS du modèle OSR 1D sera également testé pour couplage avec le modèle de transfert des polluants qui sera développé par l'IRSN, avec des applications communes avec le modèle CASTEAURx de l'IRSN, pour comparaison/validation.

Le développement des codes est assuré par des personnels permanents (J.-B. Faure et son futur remplaçant demandé).

Le développement du modèle du Rhône, son application et sa diffusion sont assurés par un CDD Ingénieur de Recherche (36 mois), incluant la compilation et préparation des données de contaminants nécessaire à l'action IRSN (2 mois). On peut estimer que le temps de travail du CDD sera partagé comme suit : 50% axe E (E1, E2), 25% axe A (A1, A2, A3, A4), 10% axe B (B1, B3), 5% axe C (C2), 10% axe D (D2, D3).

En 2021, l'objectif est de finaliser les développements déjà engagés du code de calcul Mage-AdisTS et améliorer, appliquer et diffuser le modèle.

En 2022 et 2023, l'objectif est d'améliorer, appliquer et diffuser le modèle.

- Nom de l'unité de recherche : AMU-CEREGE

En 2021, 2022 et 2023, nos objectifs sont les suivants :

- Comparer les résultats du modèle BASEMENT avec ceux du code Mage-AdisTS en cours de développement par INRAE-RiverLy.
- Partager notre expérience et expertise sur la modélisation morphodynamique du Rhône avec les collègues d'INRAE-RiverLy.

- Nom de l'unité de recherche : IRSN

L'objectif est de proposer un modèle de transfert des polluants qui puisse être couplé aux outils de simulation hydro-sédimentaire du Rhône. L'action E2 s'articule selon 4 étapes :

- 1) Etablissement d'une liste réduite de radionucléides d'intérêt pour l'IRSN (3 à 5).
- 2) Développement du modèle de transfert des polluants.
- 3) Compilation et mise en forme des données nécessaires à la calibration et au paramétrage :
  - Bruits de fond géochimique et anthropique du bassin versant.
  - Termes sources spécifiques dans le Rhône.
  - Données de concentrations particulières et liquides disponibles sur la zone et/ou dans la littérature.
- 4) Calibration et paramétrisation du modèle.

Le modèle concernera le transfert dans la colonne d'eau des phases particulières et liquides des contaminants en intégrant les processus de transport/dispersion et de fractionnement liquide/solide avec les MES. Le couplage avec les modèles hydro-sédimentaires se fera via le débit pour la

dilution, les vitesses débitantes et les coefficients de dispersion pour le transport et les relations charge-débit et diamètre médian-débit pour le fractionnement liquide/solide.

Le développement du modèle et l'exploitation des données pour sa calibration et son paramétrage seront réalisés par les permanents de l'IRSN, et la compilation et la mise en forme des données seront effectuées par le CDD INRAE-RiverLy E2 (2 mois). Cette compilation s'appuiera essentiellement sur les informations issues des précédents travaux de l'OSR, sur les données acquises à la station SORA ou sur d'autres sources.

En 2021, l'objectif de développer le modèle de transfert des contaminants et de recenser les contaminants d'intérêt et les données à réunir.

En 2022, l'objectif est de compiler et mettre en forme le jeu de données.

En 2023, l'objectif est d'exploiter ce jeu de données à travers l'implémentation du modèle de transfert des contaminants dans les codes Casteaux (IRSN) et Mage-AdisTS (INRAE-RiverLy).

### Action E3 : Bancarisation des données et métadonnées produites par l'OSR

Unité(s) de recherche impliquée(s) : CNRS-EVS, INRAE-RiverLy

Responsables : Fanny Arnaud et Flora Branger

Mots clefs : base de données, métadonnées, séries temporelles, débits, MES, contaminants, concentration, flux

#### Descriptif général de l'action :

Cette action va permettre de maintenir et renforcer le processus de description et de partage des données produites, en améliorant l'automatisation et l'interopérabilité des services (BDOH, catalogue de métadonnées, serveurs de stockage) pour augmenter la visibilité des productions de l'OSR.

L'objectif est d'améliorer les fonctionnalités de l'application BDOH hébergée sur un serveur d'INRAE-RiverLy pour son utilisation par l'OSR : exports de données, édition de synthèses, interface cartographique, amélioration des représentations graphiques, refonte de l'interface d'administration, concept d'échantillon, création automatique de fiches de métadonnées au format standard INSPIRE, comblement de lacunes, solution de packaging, etc.

Cette action va également permettre d'améliorer la bancarisation des données qui ne se trouvent pas dans BDOH, à l'échelle de l'ensemble des équipes de l'OSR et de ses partenaires : données géographiques, tabulaires, relevés LiDAR, etc. stockées sur le serveur de l'UMR 5600 EVS.

#### Enjeu stratégique de l'OSR 6 concerné : 5

- Nom de l'unité de recherche : INRAE-RiverLy

Cette action va permettre d'améliorer les fonctionnalités de l'application BDOH pour son utilisation par l'OSR : exports de données, édition de synthèses, interface cartographique, refonte de l'interface d'administration, concept d'échantillon, comblement de lacunes, solution de packaging, etc.

Cette action comprend les développements suivants :

- une refonte de l'interface d'administration des chroniques et une amélioration des fonctionnalités d'export de données.
- l'ajout d'une fonctionnalité d'édition automatique de récapitulatifs sur les chroniques (cumuls et moyennes mensuels et annuels par exemple) de façon à pouvoir visualiser en un clic l'état des données dans les stations, faire des bilans, et aider à la constitution des annuaires et des rapports d'activité.
- le développement d'une interface cartographique intégrant, outre les données de base mentionnées ci-dessus (positions des stations, cours d'eau, contours des sous-bassins), d'autres données cartographiques d'intérêt, de façon à améliorer la convivialité de la navigation et de l'exploration des données de BDOH. Ce projet, nommé GeoBDOH, est à un stade avancé de préparation (identification des solutions techniques déjà faite), mais est actuellement en stand by faute de moyens.
- l'implémentation dans la structure de la base du concept d'échantillon, en parallèle des stations et des chroniques, en suivant par exemple les recommandations du CUAHSI. Cela permettrait de relier entre elles les données de chimie, actuellement considérées comme totalement indépendantes chronique par chronique.
- l'amélioration des fonctionnalités de comblement de lacunes, notamment sur les chroniques calculées, de façon à ne plus avoir à faire à la main un travail fastidieux d'ajout de plages d'import manuel.

Ces développements informatiques nécessitent le recrutement d'un CDD Ingénieur d'études de 9 mois, en plus du suivi projet réalisé par Flora Branger et Fabien Thollet et des tests et validations par les différents utilisateurs.

En 2021, l'objectif est de réaliser une première tranche de développement, qui comprendra l'interface cartographique, ainsi que les fonctionnalités utilisateur (interfaces d'administration de chroniques, interface d'export de données)

En 2022, l'objectif est de valider les développements effectués et de poursuivre une seconde phase de développement: édition automatique de récapitulatifs, implémentation du concept d'échantillon, métadonnées (en lien avec la participation EVS).

En 2023, l'objectif est de recueillir les retours utilisateurs.

- Nom de l'unité de recherche : CNRS-EVS

Cette action va permettre d'améliorer la bancarisation des données autres que les données de flux de MES et contaminants qui sont dans BDOH : données géographiques, données tabulaires, sondages terrain, relevés LiDAR, etc. L'OSR a vocation à mutualiser et pérenniser les données sur le long terme. Le serveur de stockage de l'UMR 5600 EVS remplit cette fonction pour l'ensemble du collectif. La capacité de stockage augmente chaque année, et un administrateur de données permanent (F. Arnaud) assure la collecte et le dépôt des données. L'enjeu sera de mobiliser les chercheurs et les partenaires techniques (CNR notamment) pour fournir leurs données, éviter la perte d'informations et faciliter le partage.

Cette action va aussi permettre d'accompagner les chercheurs dans la saisie de leurs métadonnées sur le géo-catalogue <http://elvis.ens-lyon.fr/> (Geonetwork). L'automatisation de la procédure est envisagée, en concertation avec les développements de BDOH et dans le cadre du projet ANR SO-DRIIHM : "Promoting Open Science within the LabEx DRIIHM and improving its Research Data Infrastructure" (2020-2022), dans lequel l'OSR / l'OHM Vallée du Rhône sont impliqués.

La maintenance des outils est assurée par un informaticien permanent (A. Antonio). La bancarisation des données et métadonnées nécessite le recrutement d'un CDD Ingénieur d'études de 3 mois ( 1 mois en 2021 et 2 mois en 2023), en plus du suivi projet réalisé par F. Arnaud.

En 2021, l'objectif est de bancariser les données et métadonnées de l'OSR5. Un décalage temporel est systématiquement observé entre la production des données et leur bancarisation/description.

En 2022 et 2023, l'objectif est de bancariser les données et métadonnées de l'OSR6 et intégrer les développements du projet SO-DRIIHM.

## Action E4 : Valorisation des produits de recherche de l'OSR

Unité(s) de recherche impliquée(s) : GRAIE, CNRS-EVS, INRAE-RiverLy

Responsables : Fanny Arnaud et Agathe Chateauminois

Mots clefs : valorisation, web SIG, photothèque, site web, frise chrono-systémique, DOI, FAIR

### Descriptif général de l'action :

Cette action va permettre de valoriser les produits de recherche via les services web existants (GéoOSR, photothèque, site web OSR) et développer de nouveaux outils et services (frise chrono-systémique, DOI aux jeux de données) et de nouvelles formes de publications (synthèses en français, data papers), en renforçant la visibilité au niveau national et international (traductions en anglais plus systématiques).

### Enjeux stratégiques de l'OSR 6 concernés : 5

- Nom de l'unité de recherche : CNRS-EVS

En soutien à l'action E3, cette action va permettre d'accompagner les chercheurs dans la FAIRisation de leurs jeux de données (données Faciles à trouver, Accessibles, Interopérables, Réutilisables), en accord avec les principes de la Science Ouverte. Une procédure d'affectation de DOI aux données (identifiant numérique d'objet) sera mise en place avec l'INIST CNRS afin de valoriser le travail de collecte et production des données de la recherche.

Cette action va également permettre de poursuivre l'alimentation de la plateforme cartographique GéoOSR. Elle fonctionne sur la solution ESRI Portal for ArcGIS et contient actuellement 5 cartes thématiques qui donnent à voir des couches vecteur (chenal en eau multi-dates, points de sondages terrain, profils géophysiques, etc.) et raster (cartes anciennes) produites et collectées dans les précédents programmes OSR. La publication de nouvelles cartes thématiques et de nouvelles données est prévue ainsi que le développement de nouvelles fonctionnalités, notamment l'export de données.

Cette action va aussi permettre d'alimenter la photothèque <http://photo.driihm.fr/>. Elle est disponible aux chercheurs et aux partenaires de l'OSR pour valoriser leurs images de terrain et d'archives. Un versement des images de la photothèque (privée) de l'INRAE-RiverLy est prévu.

Une application web « frise chrono-systémique » est en cours de construction dans l'OHM VR (livraison du prototype : déc. 2020). Elle bénéficiera directement à l'OSR6 pour valoriser les résultats de recherche, explorer les liens de causalité entre les événements temporels et spatiaux, faire dialoguer les chercheurs et les partenaires.

Enfin, cette action va permettre d'améliorer la visibilité des productions de l'OSR en envisageant de traduire les différents sites en anglais (GéoOSR, Frise, etc.).

La maintenance des outils web est assurée par un informaticien permanent (A. Antonio).

L'alimentation de GéoOSR, de la photothèque et de l'application Frise nécessite le recrutement d'un CDD Ingénieur d'études de 8 mois répartis sur 2022 et 2023, en plus du suivi projet réalisé par F. Arnaud. La traduction des sites en anglais est prévue via une sous-traitance.

En 2021, l'objectif est d'alimenter la photothèque, mettre en place la procédure d'attribution de DOI aux jeux de données et traduire les sites en anglais.

En 2022 et 2023, l'objectif est d'alimenter la plateforme GéoOSR, la frise et la photothèque, d'accompagner les chercheurs dans la FAIRisation de leurs données et de traduire les sites en anglais.

- Nom de la structure : GRAIE

Le GRAIE assure la valorisation des productions de l'OSR en conduisant les actions suivantes :

- vérifier le contenu des livrables et les résultats, en étant le garant du travail produit et de leur compréhension par les pilotes de l'OSR et les partenaires du Plan Rhône.
- amender le contenu, le graphisme et la mise en page des documents de synthèse.
- diffuser largement les connaissances acquises.
- mettre à jour le site internet de l'OSR : actualités, mise à disposition des livrables.
- réfléchir à une refonte partielle du site internet OSR et enrichir la version anglaise.
- réfléchir à de nouvelles publications dans des revues scientifiques et techniques en français, par ex. un numéro spécial dans La Houille Blanche, envisager de nouvelles formes de publications (data papers).

Cette mission fait l'objet d'une demande de subvention du GRAIE, distincte de celle portée par les équipes de recherche.

- Nom de l'unité de recherche : INRAE-RiverLy

Cette action va permettre d'améliorer la visibilité des productions de l'OSR en augmentant la diffusion des productions scientifiques et techniques de l'OSR en français et en anglais.

En 2021, l'objectif est de contribuer à alimenter le site de l'OSR avec des productions vulgarisées selon les publics ciblés et de prioriser les productions à traduire en anglais.

En 2022, l'objectif est de poursuivre l'alimentation du site de l'OSR (productions en français et en anglais), et de suivre la traduction en anglais du site de l'OSR.

En 2023, l'objectif est de poursuivre la diffusion nationale et internationale des livrables et autres productions, notamment sous la forme de publications en français et en anglais.

## Action E5 : Direction et coordination financière

Unité(s) de recherche impliquée(s) : GRAIE, CNRS-EVS, INRAE-RiverLy

Responsables : Hervé Piégay et Marina Coquery

Mots clefs : coordination, animation, gouvernance

### **Descriptif général de l'action :**

La direction de l'OSR est portée par Hervé Piégay et Marina Coquery.

Etant donné la complexité du projet (7 partenaires scientifiques et 7 partenaires financiers, soit minimum 10 conventions de partenariat chaque année), une demande d'appui administratif et financier est portée par INRAE-RiverLy pour le collectif.

La coordination technique et l'animation des différentes instances de gouvernance est portée par l'équipe du GRAIE, qui consiste en :

- la préparation et l'animation du Comité de Pilotage (COPIL).
- la préparation et l'animation du Conseil Scientifique (CS).
- la gestion des interactions entre équipes de recherche (ex : réunions d'axes, ateliers thématiques, séminaires action D1), et entre scientifiques et opérationnels.
- la gestion au quotidien de l'OSR (animation courante).

Cette mission fait l'objet d'une demande de subvention du GRAIE, distincte de celle portée par les équipes de recherche.