



**HAL**  
open science

## Synthèse du séminaire du 27 Janvier 2022. “ Identifier les scénarios du changement pour anticiper les impacts sur le transfert sédimentaire dans le Rhône ”

Olivier Radakovitch, Mathieu Fressard, Marina Coquery, Bertrand Morandi,  
Patrick Boyer, Flora Branger, Anne Clémens

### ► To cite this version:

Olivier Radakovitch, Mathieu Fressard, Marina Coquery, Bertrand Morandi, Patrick Boyer, et al.. Synthèse du séminaire du 27 Janvier 2022. “ Identifier les scénarios du changement pour anticiper les impacts sur le transfert sédimentaire dans le Rhône ”. [Rapport de recherche] IRSN; CNRS; INRAE; GRAIE. 2022. hal-03750544

**HAL Id: hal-03750544**

**<https://hal.science/hal-03750544v1>**

Submitted on 24 Aug 2022

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

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



Observatoire  
des Sédiments  
du Rhône

The background of the page is a photograph of a river with white-water rapids. The water is turbulent and greyish-brown. In the upper right, there is a rocky bank with some sparse green vegetation. The text is overlaid on a semi-transparent white shape that follows the curve of the river's flow.

**Synthèse du séminaire  
27 Janvier 2022  
« Identifier les scénarios du  
changement pour anticiper les  
impacts sur le transfert  
sédimentaire dans le Rhône »**

# Synthèse du séminaire du 27 Janvier 2022

## « Identifier les scénarios du changement pour anticiper les impacts sur le transfert sédimentaire dans le Rhône »

### Rapport scientifique final

Version du 16 juin 2022

---

**Observatoire des Sédiments du Rhône – 6<sup>ème</sup> programme d'action**

---

Axe D – Prévoir les changements pour anticiper les impacts

---

Action D1 – identification des scénarios du changement

---

#### Personnes impliquées

Olivier Radakovitch (IRSN, LRTA) ; Mathieu Fressard (CNRS, EVS) ; Marina Coquery (INRAE, Riverly, LAMA); Bertrand Morandi (GRAIE), Patrick Boyer (IRSN), Flora Branger (INRAE), Anne Clemens (GRAIE).

#### Pour citer ce rapport

Radakovitch O., Fressard M, Branger F., Boyer P., Le Coz J., Coquery M. (2022). Synthèse du séminaire « Identifier les scénarios du changement pour anticiper les impacts sur le transfert sédimentaire dans le Rhône ». Rapport final. Observatoire des Sédiments du Rhône – 6<sup>ème</sup> programme d'action. 22 p.

L'OSR est un dispositif animé par le Graie. Pour toute information vous pouvez contacter Bertrand Morandi ([bertrand.morandi@graie.org](mailto:bertrand.morandi@graie.org))



---

## Résumé

Ce rapport reprend les résultats et conclusions présentés lors d'un séminaire de l'OSR 6 portant sur les évolutions attendues du changement climatique sur le bassin versant du Rhône. La matinée a été consacrée à des présentations d'experts externes et de partenaires institutionnels de l'OSR, et l'après-midi à un échange entre l'ensemble des présents. Ce document retranscrit au mieux ce que les auteurs ont reporté. L'objectif de l'atelier était de proposer des scénarios d'évolution du bassin utilisables dans la cadre des actions de l'OSR 6 pour travailler sur les futurs transferts hydrologiques, sédimentaires et de contaminants particuliers. Une synthèse des propositions est faite à la fin.

---

## Mots-clés

Rhône ; Observatoire ; Sédiments ; Scénario d'évolution, Changement climatique, Modélisation

---

## Table des matières

<b>1. Introduction.....</b>	<b>5</b>
<b>2. Présentations des experts extérieurs à l'OSR .....</b>	<b>6</b>
2.1 Joel Guiot : Risques climatique et environnementaux sur le bassin du Rhône : des drivers aux impacts .....	6
2.1.1 Questions.....	7
2.2 Julien Boé : Changements climatiques en France et impacts sur le cycle hydrologique, avec un focus sur le bassin du Rhône .....	7
2.2.1 Questions.....	9
2.3 Hélène Budzinski (& co-auteurs): Quels sont les enjeux des changements climatiques et globaux pour l'eau : focus sur le bassin du Rhône. ....	9
2.3.1 Questions.....	11
2.4 Eric Sauquet : Présentation du projet EXPLORE2.....	11
2.4.1 Questions.....	12
<b>3. Présentations des partenaires institutionnels de l'OSR .....</b>	<b>13</b>
3.1 Anne Pressurot & Isabelle Eudes (Agence de l'eau RMC) : Plan d'adaptation au changement climatique/PTGE et Etude de l'hydrologie du Rhône sous changement climatique. ....	13
3.1.1 Questions.....	14
3.2 Matthieu Le Lay, Joel Gailhard & Cécile Martinet (EDF-DTG) : Projections climatiques, hydrologiques et thermiques (et bientôt hydro-sédimentaires ?) utilisées à EDF. ....	14
3.2.1 Questions :.....	15
3.3 Rémi Taisant, Sabrina Célié (CNR) : Impact du changement climatique sur la production hydroélectrique du Rhône.....	15
3.3.1 Questions.....	16
<b>4. Sessions de travail.....</b>	<b>17</b>
4.1 Modèle J-2000 Rhône.....	17
4.2 Modèle ISC-Rhône (transferts de MES).....	17
4.3 Modèle hydro-sédimentaire 1D du Rhône du lac Léman à la mer Méditerranée .....	18
4.4 Modèle CASTEAURx (transferts des polluants) .....	18
4.5 Groupe Eau .....	18
4.5.1 Climat :.....	18
4.5.2 Occupation du sol .....	19
4.5.3 Gestion sédimentaire et gestion des barrages .....	19
4.6 Approche retenue et objectifs possibles pour l'OSR 6.....	19
4.7 Groupe Sédiment .....	20
4.8 Groupe Contaminants .....	21

---

## 1. Introduction

Les dix années de l'Observatoire des Sédiments du Rhône 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 le 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...).

L'axe D du nouveau programme OSR 6 (2021-2023) a pour 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. Dans ce contexte, une des premières actions de recherche a été la réalisation d'un atelier d'échanges dédié à l'identification de scénarios de changement des forçages auxquels pourrait être soumis le fleuve dans un futur proche.

Cet atelier s'est tenu en distanciel le 27 janvier 2022. Il a permis de faire intervenir quatre chercheurs non impliqués dans l'OSR qui ont présenté les connaissances acquises sur l'évolution attendue des changements climatiques pour la région en termes de forçages majeurs, et d'aborder la question de nouvelles contaminations potentielles induites par ces changements, à l'échelle du bassin du Rhône et au-delà ? Les partenaires institutionnels et gestionnaires de l'OSR (CNR, EDF, Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse) ont également pu présenter la manière dont leur organisme appréhende ces changements. Enfin, l'après-midi a été consacré à un échange avec l'ensemble des présents (50 personnes) pour réfléchir à des scénarios de changements susceptibles d'affecter le fleuve.

Le présent rapport reprend les principaux résultats et conclusions présentés dans la matinée, puis synthétise les discussions de l'après-midi. Il retranscrit au mieux ce que les auteurs ont reporté mais ne relate pas l'intégrité de leurs présentations qui seront visibles en accès libre sur le portail documentaire de l'OSR (<https://hal.archives-ouvertes.fr/OSR>).

Ces scénarios seront ensuite utilisés pour les actions modélisation de l'OSR 6 (transfert hydrologique, transfert sédimentaire et propagation de contaminants particuliers) et une restitution des résultats sera faire lors d'un autre atelier en fin de programme.

---

## 2. Présentations des experts extérieurs à l'OSR

*NB : les présentations font référence régulièrement aux scénarios du GIEC basés sur la réduction plus ou moins importante du forçage radiatif. Ils sont notés RCP (Representative Concentration Pathway) et notés 2.6, 4.5, 6 ou 8.5, correspondant à l'augmentation attendue pour 2100 en Watt/m<sup>2</sup>. Ils sont établis sur les hypothèses de quantité de gaz à effet de serre émis dans les années à venir, soit de la plus forte réduction à la moins forte, dénommée « business as usual ». On peut considérer que le RCP4.5 est celui qui devrait correspondre au respect des accords de Paris. Les scénarios types SRES sont aussi parfois évoqués sur les diapositives.*

### 2.1 Joel Guiot - Risques climatique et environnementaux sur le bassin du Rhône : des drivers aux impacts

Joel Guiot est Directeur de recherche émérite au CNRS (CEREGE, Aix-Marseille Université). Auteur de 200 articles scientifiques, sa carrière en modélisation écologique et climatique l'a amené à prendre la co-direction du GREC-SUD, Groupe régional d'expert sur le climat en région Sud. Il est revenu dans sa présentation sur les principaux résultats de ses recherches effectuées sur la zone PACA, et qui peuvent se résumer ainsi :

- 1) Observations : les températures moyennes annuelles en Arles sont passées de 14°C à la fin des années 70 à 16°C en 2020, soit un réchauffement de 0.4°C par décennie. La moyenne des nuits hivernales et celle des après-midis estivaux ont augmenté de 3°C sur la même période. Les précipitations annuelles sont restées stationnaires autour de 580 mm/an, et on n'observe pas de tendance depuis 1970 sur les pluies extrêmes.
- 2) Scénarios futurs : les différents scénarios RCP ne montrent pas de vraie différence sur les températures annuelles projetées en Camargue jusqu'en 2040. Au-delà, ils divergent pour atteindre un réchauffement de +0.9°C en 2100 (RCP 2.6) à +4.5°C (RCP 8.5). Les canicules augmenteront en fréquence de 3 jours à 26 jours par an (RCP 2.6 à 8.5 respectivement). La réduction des pluies estivales en Camargue (mai-septembre) n'est pas significative pour le RCP 2.6 mais pourrait être de -50% pour le RCP 8.5.
- 3) L'élévation du niveau marin pour fin 2100 atteindrait 37 à 90 cm selon les scénarios. Ceci aura une conséquence directe sur la Camargue dont une grande partie du territoire protégé par la digue à la mer se trouve entre 0 et 50 cm d'altitude. Il y aura également une intrusion d'eau salée dans les nappes et le Rhône dont les conséquences et amplitudes ne sont pas évaluées.
- 4) Il existe peu d'études sur l'évolution de l'occupation/usage des sols. Les points que l'on peut retenir sur ce thème sont :
  - le fait que le nombre de jours avec IFM>40 (Indice Forêt-Météo : conditions propices aux incendies extrêmes) vont augmenter, affectant potentiellement les espèces montagnardes qui ont plus de mal à s'y adapter ;
  - l'impact des changements en cours sur les cultures a déjà entraîné une avancée des dates de récolte de 3-4 semaines par rapport à la période 1940-1970. Les effets sur les rendements agricoles varient selon les espèces ;

- le rôle des forêts sur le CO2 est complexe. Sous de fortes chaleurs, leur rôle dans la séquestration du carbone peut être largement diminué voire inversé du fait de la diminution de la photosynthèse : elles deviennent alors source de CO2.

## Questions

Q1 : Comment se comporte la forêt avec le réchauffement ?

*En région méditerranéenne il y a des signes de dépérissement, en particulier en moyenne montagne, Ventoux notamment. En comparaison, les plaines sont "habituées" aux sécheresses, mais ceci est beaucoup moins le cas des écosystèmes de moyenne montagne (espèces plus sensibles).*

Q2 : Est-ce qu'il existe des travaux sur les évolutions d'usages-occupations des sols (diminution zones de forêt, changement agriculture...), qui pourraient affecter l'érosion des sols ?

*Je n'ai pas d'idée précise. Dans la modélisation on considère l'usage des sols comme une variable d'entrée ; le changement d'utilisation des sols est beaucoup plus important du fait de l'artificialisation que des changements liés au climat.*

Q3 : A-t-on des résultats sur l'impact du réchauffement climatique sur les inondations plus en amont sur le BV du Rhône ?

*Je ne l'ai pas étudié personnellement et j'ai fait ici un focus sur le delta du Rhône.*

## 2.2 Julien Boé - Changements climatiques en France et impacts sur le cycle hydrologique, avec un focus sur le bassin du Rhône

Julien Boé est Directeur de recherche CNRS à l'UMR CECI (Climat, Environnement, Couplage et incertitudes). Chercheur en climatologie, il travaille sur les modèles numériques qui simulent le cycle hydrologique et propose des scénarios pour l'avenir en quantifiant leurs incertitudes.

Il participe aux travaux du CMIP (Coupled Model Intercomparison Project) sous la tutelle du WCRP (World Climate Research Program). Le CMIP est un cadre expérimental standard pour étudier la sortie des modèles de circulation générale couplés atmosphère-océan. Cela facilite l'évaluation des forces et des faiblesses des modèles climatiques qui peuvent améliorer et orienter le développement de futurs modèles. Par exemple, si les modèles indiquent une large gamme de valeurs régionales ou mondiales, les scientifiques peuvent alors être en mesure de déterminer la ou les causes de cette incertitude. Le CMIP5 a été défini par des suites d'expériences réparties en trois catégories : (I) Simulations décennales rétrospectives et prédictions ; (II) simulations "long terme" ; et (III) des simulations "atmosphère uniquement" (SST prescrites) pour des modèles particulièrement exigeants en termes de calcul. Les objectifs étaient d'évaluer le degré de réalisme des modèles dans la simulation du passé récent, de fournir des projections du changement climatique futur sur deux échelles de temps, à court terme (jusqu'en 2035 environ) et à long terme (jusqu'en 2100 et au-delà) et de comprendre certains des facteurs responsables des différences dans les projections des modèles, y compris la quantification de certaines rétroactions clés telles que celles impliquant les nuages et le



cycle du carbone. Le CMIP 6 est l'inter-comparaison la plus récente, mais elle ne fait pas encore de projections régionales.

Les scénarios d'émission sont utilisés par ces modèles climatiques globaux puis désagrégés afin de travailler sur des modèles hydrologiques d'échelle spatiale plus fine. Les scénarios sont ceux du GIEC avec les 4 scénarios RCP et les scénarios de Trajectoires communes d'évolution socio-économique mondiale (SSP, Shared Socio-economic Pathway). Ces derniers associés à différentes politiques climatiques comprennent 5 scénarios : SSP1-Durabilité ; SSP2 - Milieu de la route ; SSP3 - Rivalités régionale ; SSP4 - Inégalités ; SSP5 - Développement alimenté par les combustibles fossiles.

- 1) Pour les températures à l'échelle de la France, les scénarios à impact maximum (SSP 5-8.5) prédisent une augmentation en hiver et été respectivement de 2 et 3°C pour 2050, mais de 5 et 8°C pour 2100 (en référence à la période 1902-1931) ;
- 2) Pour les précipitations à l'échelle de la France, ces scénarios à impact maximum prédisent une variation en hiver et été respectivement de 0.2 et -0.3 mm/jour pour 2050, et de +0.5 et -0.7 pour 2100. Il faut toutefois noter que l'on n'a pas d'accord réel entre modèle et données, et que l'on pourrait donc avoir de fortes variations ;
- 3) Bien sûr le choix du scénario est majeur sur les valeurs atteintes, mais ils montrent tous la même tendance à l'échelle du pays : augmentation des températures en hiver et été (plus marqué au Nord), augmentation des précipitations en hiver et diminution en été ;
- 4) La désagrégation à des échelles spatiales plus fines révèle que ces tendances à l'échelle du pays sont en réalité contrastées entre le Nord et le Sud. Toujours pour les scénarios maximum, les pluies hivernales augmenteront dans le Nord et seront stables au Sud, les pluies estivales diminueront partout. Dans ce dernier cas le bassin du Rhône pourrait voir une réduction autour de 30%. Ces précipitations dans le Sud seront moins fréquentes sur l'année, et leur intensité augmentera mais assez faiblement (autour de +5% sur le bassin du Rhône).

La publication de Dayon et al. (2018<sup>1</sup>) présente les évolutions attendues sur la France selon cette méthode de désagrégation avec le modèle Isba-Modscou (qui ne simulent pas les barrages sur les fleuves). Les débits moyens annuels du Rhône à Beaucaire diminueraient de 20±15% sur la période 2070-2100 pour le scénario RCP8.5, mais seraient quasi stables pour le RCP2.6. Ceci est associé à une baisse des précipitations et à la diminution du manteau neigeux qui serait réduit de 50 à 90% selon les scénarios pour 2100 (pour une baisse déjà de 30% par rapport à la référence 1960-1990). Toujours avec ce RCP8.5, les variations au long de l'année du débit se caractérisent par une forte diminution en été pouvant aller jusqu'à -50 %, et une augmentation modérée en hiver. Cette augmentation hivernale des débits s'explique par le fait que les précipitations tomberaient sous forme de pluie et pas de neige, alimentant directement les rivières, mais il y a de très fortes incertitudes dans les têtes de bassin.

---

<sup>1</sup> Dayon, G., Boe, J., Martin, E., & Gailhard, J. (2018). Impacts of climate change on the hydrological cycle over France and associated uncertainties. *Comptes Rendus Geoscience*, 350(4), 141-153.

A la fin de son exposé, Julien Boé a discuté des incertitudes encore importantes qui pèsent toujours. Celles sur les modèles hydrologiques notamment sont importantes, avec des inconnues tel que l'effet physiologique du CO<sub>2</sub> (si le CO<sub>2</sub> augmente les plantes diminuent leur évapotranspiration) ou les changements anthropiques non climatiques (usages des sols et de l'eau). Il y a des progrès également à faire sur le passage des modèles globaux aux régionaux, car on constate que ces derniers se réchauffent moins et perdent moins de pluie. Enfin, de nouveaux modèles climatiques sont à venir, avec une résolution très fine (10-3 km) et prise en compte des convections atmosphériques. Les principaux apports de ces modèles concerneront notamment les précipitations extrêmes.

## Questions

Q1 : Quelles sont les règles pour choisir les périodes de référence et quel est l'impact de ce choix sur les résultats ?

*Dans l'idéal en effet, il faudrait pouvoir conserver la même référence, mais toutes les simulations commencent à des dates différentes, donc on est obligé de faire avec cela. On privilégie les références les plus anciennes (1850-1900) car l'impact total peut être mesuré par rapport à la période pré-industrielle. Si on prend des périodes plus récentes, on compare à des périodes où il y a déjà eu du changement. C'est notamment très important pour la température, cela peut induire des différences futures importantes. Il n'y a pas vraiment de règle à ce sujet, cela dépend des données dont on dispose et de ce que l'on veut regarder, mais il faut l'avoir en tête.*

Q2 : Quelle est l'évolution précise de la composante glacière par rapport au Rhône, vu qu'elle joue un rôle majeur ?

*Bonne remarque, la composante glacière n'est pas représentée dans nos modèles globaux par un modèle de glacier, mais un tel modèle détaillé est complexe. C'est une voie de progrès sur laquelle il faudrait travailler. (cf focus fait ensuite sur la présentation de M. Gailhard, EDF).*

Q3 : Y a-t-il des travaux de projections sur l'évolution des flux solides dans les bassins et cours d'eau ?

*Non cela n'a jamais été fait, à ma connaissance en tout cas.*

Q4 : A-t-on plus de détails sur les potentielles variations des événements pluvieux basse fréquence forte intensité ?

*Pour les événements de type méditerranéen, ce détail n'est pas accessible avec des modèles globaux, et pas forcément facile avec des modèles régionaux. Les Modèles RPCM à échelle régionale ont des potentiels de progrès très importants sur ces questions, mais ils sont très gourmands en termes de calcul, et il est difficile d'avoir les incertitudes associées. C'est tout de même l'outil d'avenir.*

## 2.3 Hélène Budzinski (& co-auteurs) - Quels sont les enjeux des changements climatiques et globaux pour l'eau : focus sur le bassin du Rhône.

Hélène Budzinski est Directrice de Recherche au CNRS, à l'UMR EPOC où elle dirige l'équipe Physico et toxico-chimie de l'environnement. Co-auteurice de plusieurs centaines de publications, elle étudie le devenir et l'impact des contaminants organiques, notamment les polluants organiques persistants.

Les contaminants chimiques relargués dans l'environnement représentent un risque extrêmement complexe à maîtriser et encore plus à prédire. Depuis 1950 la production de produits chimiques a été multipliée par 50, et elle risque de tripler encore d'ici 2050. La production de plastique par exemple a augmenté de 79% entre 2000 et 2015. Cette production constante fait que, selon certains chercheurs (Persson et al. 2022<sup>2</sup>), nous avons dépassé les « limites planétaires », n'ayant plus la capacité de suivre et tester les effets de ces apports à l'échelle de la planète.

La difficulté d'avoir une vision globalisée de l'effet de ces contaminants vient de leur origine multi-sources (agriculture, industrie, domestique, hospitalier, transport, ...), de leur association à des usages multiples et de leur complexité chimique (milliers de composés).

Pour les hydrosystèmes, les évolutions climatiques attendues auront sûrement un rôle sur le cycle des contaminants. Les débits et niveaux en baisse devraient favoriser une augmentation des concentrations (à apport similaire à l'actuel). Ceci est particulièrement important pour l'été qui est la période où l'on utilise des fongicides, et celle de la reproduction ou croissance des juvéniles. Dans les zones où les pluies augmenteront (nord de la France potentiellement), il y aura de plus forts ruissellements et peut-être une mobilisation des stocks accumulés.

Les différents travaux scientifiques ou de l'Agence de l'Eau présentés montrent que, grâce aux préconisations prises à l'échelle nationale, les contaminants « historiques » mesurés dans les eaux continentales ont diminué sur le temps long ( $\Sigma$ PCB, et composés fluorés  $\Sigma$ EPFA,  $\Sigma$ EPFCA) et sur la dernière décennie : HAP et pesticides dans les eaux. Malgré ces efforts, les concentrations restent très au-dessus des seuils d'alerte pour ces contaminants. L'amélioration des techniques de laboratoires a cependant permis la détection de nouvelles substances dans le milieu (composés fluorés PFOA et PFOS par exemple), avec un impact toxique supérieur à celui connu jusqu'alors.

Une grande partie des contaminants organiques sont dégradés par différents processus biotiques et abiotiques, entraînant la formation de produits de dégradation dont le comportement et les concentrations restent pour beaucoup inconnus. Le nombre de ces composés ainsi créés est particulièrement important pour les PBDE (polybromodiméthyléther), les pesticides polaires et les composés fluorés. Ces processus de dégradation pourraient eux aussi être affectés par les changements climatiques.

De nombreux inconnus existent sur les attendus de l'impact du changement climatique sur la qualité des eaux. L'augmentation des températures pourrait favoriser la volatilisation et/ou

---

<sup>2</sup> Persson, L., Carney Almroth, B. M., Collins, C. D., Cornell, S., de Wit, C. A., Diamond, M. L., ... & Hauschild, M. Z. (2022). Outside the Safe Operating Space of the Planetary Boundary for Novel Entities. *Environmental science & technology*.

l'augmentation de leur dégradation par les micro-organismes et peut-être la production de nouveaux composés. Leur biodisponibilité pourrait aussi augmenter, sachant que la température joue sur le métabolisme des organismes.

## Questions

Q1 : Y a-t-il des travaux qui débutent dans votre région sur ces questions d'impact des changements climatiques sur le devenir des contaminants ?

*On regarde surtout les pesticides et la question de leurs produits de dégradation avec la question de la contamination des eaux dans les nappes souterraines (ces produits sont persistants et très mobiles). Il y a aussi de nombreux projets de restauration de la qualité de l'eau en utilisant des zones humides. Il s'agit de développer ou redévelopper les ZH pour traiter cette question de l'impact des changements climatiques et l'utilisation en ressource d'eau potable, car la métropole de Bordeaux va avoir besoin de suppléer au manque d'eau (potable) des nappes profondes.*

Q2 : On a le sentiment d'être en retard sur la modélisation du devenir des contaminants / chimie dans les eaux de surface, notamment par rapport au modèle hydrologiques. Il me semble que l'on est attentiste devant l'avancée des connaissances ; alors que l'on ne devrait pas.

*Pour les contaminants organiques, on peut modéliser les HAP, PCB, mais on est un peu perdu par la multiplicité des contaminants et de leurs propriétés physicochimiques. Il faudrait arriver à classer les comportements, travailler sur des modèles de classe de polluant.*

Q3 : Les grands cycles biogéochimiques C N P seront perturbés aussi, et ceci devrait avoir une influence sur les contaminants. Qu'en est-il des connaissances sur ce point ?

*Cette perturbation est bien mise en avant par l'article 2022 de Person et al. Bien sûr tout est lié, la perturbation de ces grands cycles aura des conséquences sur tout le reste (ex. rôle des micro-organismes). A cause des pesticides par exemple on a des sols qui ne fonctionnent plus. Mais quand même la notion de qualité - micropolluants elle-même est un enjeu en soi à cause des impacts des produits toxiques et des dysfonctionnements que cela va entraîner pour la suite (sur les milieux aquatiques, sur la ressource en eau...).*

## 2.4 Eric Sauquet - Présentation du projet EXPLORE2

Eric Sauquet est Directeur de Recherche à l'INRAE de Villeurbanne. Il y dirige l'équipe AQUA et est spécialisé en analyses statistiques appliquées à l'hydrologie, évaluation du risque hydrologique et des impacts du changement climatique sur la gestion de la ressource en eau. Co-auteur de 200 publications, il coordonne le projet Explore2 « Anticiper les changements climatiques et hydrologiques en France » financé pour partie par le Ministère de la Transition écologique et l'Office Français pour la Biodiversité. Il a coordonné le programme R2D2-2050 qui s'intéressait à la gestion durable de la ressource en eau sur la Durance.

Le projet Explore2 (2021-2024) fait suite à l'étude Explore2070, grâce à laquelle des premiers scénarios prospectifs de disponibilités de la ressource en eau avaient été proposés à l'échelle de la France pour l'échéance 2070 (Chauveau et al 2013<sup>3</sup>). A l'issue de ce projet, une volonté collective à renouveler cet exercice national émerge avec plusieurs objectifs : (1) reprendre les calculs sur la base des données récentes du GIEC, (2) engager une forte concertation avec les utilisateurs, (3) étendre le nombre de points de simulation, (4) inclure plus de modèles et (5) donner une vision du climat et de l'hydrologie sur tout le territoire et au pas de temps journalier pour le 21<sup>ème</sup> siècle.

Le projet est donc multi-scénarios (RCP 2.6, 4.5 et 8.5), multi-modèle (12 couples Global/Regional GCM/RCM) et fournira des sorties sur une grille 8\*8 km au pas de temps journalier. 5 modèles d'hydrologie de surface seront utilisés, et la plateforme de modélisation hydrogéologique nationale Aquif-Fr sera complétée de modèles hydrogéologiques régionaux. Il travaille sur le CMIP5 car le 6 est trop récent et ne dispose pas de scénarios régionaux. Les résultats seront fournis sur un grand nombre de point dont des stations hydrométriques, des bassins non jaugés et des points à enjeu de gestion. Ils seront disponibles via le portail « DRIAS Les futurs du climat » [www.drias-climat.fr](http://www.drias-climat.fr), et dans le futur proche sur une extension DRIAS-eau. Les débits simulés seront « naturels » : ils ne reproduiront pas les usages, pour lesquels il faut des scénarios de prospectives territoriales.

Au final, ce projet offrira un cadre commun pour faciliter l'évaluation de la chaîne de modélisation du climat à l'hydrologie, l'analyse et l'interprétation des résultats et la caractérisation des incertitudes.

## Questions

Q1 : Quelles sont les données / résultats obtenus in fine et à quelle échelle ?

*Les variables climatiques (précipitations...) et hydrologiques (débits moyens journaliers, utilisation des points du RCS (réseau des AE) sur le bassin RMC. Il y aura une implication des utilisateurs durant le projet pour la définition de ces données de sortie.*

*JP Vidal précise que la production de résultats se fait sur les débits "naturels", produits par les changements du climat, et hors influence humaine sur le bassin. Il ne s'agit donc pas des débits liés aux évolutions des usages de l'eau et gestion des barrages par exemple. Ces données doivent être "corrigées" ensuite. Il est en effet difficile de produire des scénarios influencés dans la mesure où la dépendance aux usages est forte. Cela nécessiterait de mettre en place des scénarios de prospective territoriale et de trajectoires socio-économiques qui dépassent le cadre de ce projet.*

---

<sup>3</sup> Chauveau, M., S. Chazot, C. Perrin, P.-Y. Bourgin, E. Sauquet, J.-P. Vidal, N. Rouchy, E. Martin, J. David, T. Norotte, P. Maugis et X. De Lacaze, 2013. Quels impacts des changements climatiques sur les eaux de surface en France à l'horizon 2070 ? (What will be the impacts of climate change on surface hydrology in France by 2070?). La Houille Blanche(4): 5-15, doi: 10.1051/lhb/2013027.

---

### 3. Présentations des partenaires institutionnels de l'OSR

#### 3.1 Anne Pressurot & Isabelle Eudes (Agence de l'eau RMC) - Plan d'adaptation au changement climatique/PTGE et Etude de l'hydrologie du Rhône sous changement climatique.

L'Agence de l'eau RMC a mis en place une démarche pour prendre en compte l'adaptation au changement climatique en matière de gestion de l'eau. Dans un premier temps, il s'agit d'identifier les scénarios de changement, pour ensuite caractériser la vulnérabilité des territoires à ce changement (anticiper les impacts sur l'eau, les milieux aquatiques et les usages - stratégie d'adaptation). Dans un second temps, il s'agit de déployer une démarche multi-scalaire de qualification et quantification de la vulnérabilité pour s'inscrire dans une démarche prospective. L'Agence doit éclairer la décision avant tout et a besoin pour cela des données les plus larges, mais aussi les plus précises possibles sur les tendances.

Il est important pour l'Agence de l'eau de concevoir l'adaptation comme un continuum de mesures qui peut s'étaler depuis des mesures dites « sans regret » (avec une faible sensibilité à l'incertitude) à celles à « fort regret » (très sensible à une forte incertitude). Les mesures « sans regret » sont rentables et utiles en soi, quelle que soit l'amplitude du changement qu'elles doivent atténuer.

Les plans de bassin d'adaptation au changement climatique (PBACC) de Rhône-Méditerranée (2014) et de Corse (2018) s'appuient sur cette démarche. Ils sont basés sur un bilan des connaissances scientifiques et une caractérisation des vulnérabilités des territoires. La vulnérabilité est abordée par 5 thématiques : (1) disponibilité en eau, (2) assèchement des sols, (3) perte de biodiversité, (4) eutrophisation des eaux et (5) perte d'enneigement. Il s'agit ensuite de partager les grandes solutions et leurs déclinaisons concrètes (e.g. limiter l'assèchement des sols, lutter contre le gaspillage, préserver des milieux humides fonctionnels, rendre les usages moins sensibles aux aléas, limiter la submersion marine), puis de les territorialiser si besoin.

Sur la base de ces plans, des études de vulnérabilité et de prospective peuvent être menées. La prospective permet notamment de construire une réponse du territoire au changement avec une stratégie d'adaptation locale qui est discutée.

L'étude de l'hydrologie du fleuve Rhône sous changement climatique est un diagnostic global à l'échelle du fleuve ciblée sur les étiages. Cette étude qui a démarré en février 2021 pour deux ans est faite pour préparer une gestion de la rareté de la ressource. Elle ne s'intéresse pas aux prospectives sur les usages ou inondations.

Elle est découpée en trois missions : un diagnostic actualisé de la situation hydrologique du fleuve, une évaluation de la vulnérabilité et de la criticité de la ressource Rhône, un test et une évaluation d'une capacité de prélèvements supplémentaires.

Les premiers résultats sur l'actualisation montrent que les prélèvements d'irrigation sur le bassin sont en légère baisse depuis 2010 ; que les prélèvements AEP sont stables, et que les

usages industriels ont baissé de 14%. Au total 16 milliards de m<sup>3</sup> sont prélevés, dont 20% seulement dans le Rhône, le reste sur le système des affluents et Durance.

Le modèle J2000-Rhône, fondé sur le concept des HRUs, va être utilisé. L'analyse rétrospective faite entre 1960 et 2020 révèle que des changements majeurs ont affecté l'hydrologie des bassins à régime glacio-nival, avec des pics plus précoces et atténués, un volume annuel d'écoulement plus faible de la Durance amont et une baisse des débits estivaux en Durance mais aussi à Beaucaire. Quasiment tous les bassins de plaine, alpins et pré-alpins montrent des tendances négatives sur les 40-50 dernières années sur le débit annuel. En termes de saisonnalité les bassins alpins voient leur débit hivernal, et printanier augmentés, tout le reste est en baisse et tout particulièrement les débits estivaux.

## Questions

Q1 : Quelles sont les actions déployées dans le cadre de l'augmentation de la rétention de l'eau dans les sols, et quels en sont les effets attendus?

*L'objectif est à la fois de travailler sur le dés-imperméabilisation des surfaces urbanisées et sur les changements de pratiques agricoles (agroécologie, travail du sol, rotations culturales etc.). La quantification de l'économie d'eau possible reste assez variable et difficile à appréhender de manière globale pour le moment.*

### **3.2 Matthieu Le Lay, Joel Gailhard & Cécile Martinet (EDF-DTG) - Projections climatiques, hydrologiques et thermiques (et bientôt hydro-sédimentaires ?) utilisées à EDF.**

EDF réalise des projections climatiques, hydrologiques et thermiques (de l'eau) sur la base de reconstruction de données passées et d'observations récentes et actuelles. Il s'agit d'évaluer les débits au droit des 18 aménagements hydro-électriques et les débits et températures au droit des CNPE. Il faut également anticiper l'évolution des autres usages et les devenirs du partage de l'eau.

Les projections climatiques sont issues du GIEC, de services climatiques institutionnels et de celui d'EDF. Elles utilisent le CMIP5, 17 modèles à l'échelle globale, les scénarios RCP4.5 et 8.5 et des analyses en désagrégation. Les données obtenues sont ensuite introduites dans le modèle hydrologique MORDOR pour estimer différents paramètres (débits, évapotranspiration, enneigement, ...) sur plusieurs échelles spatiales (vallée, bassin versant).

Les projections thermiques combinent celles du climat et de l'hydrologie à travers le modèle PROTEAU.

L'exemple de projection sur le bassin de l'Isère (RCP 8.5) montre que l'on peut s'attendre à une hausse de l'évapotranspiration, une baisse des écoulements et de l'enneigement et donc une modification du régime de débit. Le régime de pluie n'est pas affecté par des modifications majeures à échéance 2100, mais la température de l'air augmente de 4 à 5°C.

Pour l'Arve à Chamonix, les projections (RCP 4.5 et 8.5) tablent sur une diminution des débits à partir de 2040, suite à une diminution de l'enneigement et une poursuite de la fonte glaciaire. Il y a une vraie difficulté à faire des projections sur ces bassins.

Les projections sur les bassins anthropisés sont particulièrement complexes et présentent donc de fortes incertitudes. C'est le cas par exemple pour l'amont du Rhône, fortement influencé par la gestion des aménagements, ou pour la Durance avec les demandes associées aux différents usages (agriculture, tourisme, hydroélectricité).

Pour EDF les pistes d'amélioration de ces prévisions résident dans l'utilisation de nouvelles projections climatiques (DRIAS/CMIP6), la prise en compte des effets de l'évapotranspiration et des changements d'occupation des sols.

La modélisation hydro-sédimentaire devrait être utilisée pour mieux gérer les ouvrages et les apports solides à l'étang de Berre, mais EDF n'en réalise que de manière très simple. Il n'y a pas actuellement d'attente sur des projections à partir de ces modèles, mais plusieurs questions se posent : quelle est leur sensibilité aux précipitations intenses, à l'occupation des sols, aux influences anthropiques, et comment qualifier les tendances sur un phénomène à caractère évènementiel ?

## Questions

Q1 : L'année 2040 est-elle un point de basculement pour les glaciers dans vos scénarios ?

*Oui, on touche à la dynamique glacière ; c'est le point d'inflexion lié aux stocks que l'on a sur le bassin de l'Arve. Les Suisses travaillent beaucoup là-dessus car ils sont très concernés, et on s'appuie sur leurs travaux qui permettent notamment de valider nos prédictions/modèles.*

Q2 : Sur la partie hydro et modélisation sédimentaire, est-ce que le réseau est présenté dans les modèles ?

*Le module sédimentaire associé à Mordor n'a pas de formulation du transfert, si ce n'est un effet dépôt-reprise dans le bassin. Nous sommes en train de développer une version spatialisée de ces modèles hydrosédimentaires ; pour l'instant on s'est arrêté au volet production spatialisée de sédiments (érosion dans le bassin) ; pas de propagation des effets anthropiques pour l'instant.*

### **3.3 Rémi Taisant, Sabrina Célié (CNR) - Impact du changement climatique sur la production hydroélectrique du Rhône.**

La CNR présente les résultats d'une étude sur l'impact du changement climatique sur le Rhône en 2050, avec un focus sur les débits et la capacité de production des aménagements. Ces points sont particulièrement importants pour l'entreprise dont les activités dépendent du climat et des ressources en eau du bassin. Elle doit donc anticiper l'impact de ce changement sur sa capacité de production, évaluer quelles parties du bassin seront les plus touchées et définir les tendances pour plusieurs horizons temporels, et ce pour mettre en œuvre une



stratégie adaptée. Un point d'attention est le « productible hydroélectrique », à savoir la quantité maximale d'énergie électrique que l'ensemble des apports d'eau corrigés pendant un intervalle de temps donné permet de produire dans les conditions d'exploitation les plus favorables.

La CNR utilise comme données les débits moyens journaliers au droit de 7 grandes stations le long du Rhône, et le productible de chacune de ces centrales. Elle prend ensuite en compte les sorties du projet Explore2070 et un chainage des modèles Safran-isba-Modcou. Les projections pour 2046-2065 sont faites avec le scénario intermédiaire A1B (nb équivalent au RCP6) et 7 GCM, en utilisant la période 1961-2011 comme contrôle.

Pour passer d'une modélisation de débits naturels à une modélisation des débits influencés par les ouvrages, le modèle GR4J (INRAE) a été utilisé. Sur la base d'un processus de calage (1961/1986) et de validation (1985/2011), une estimation du productible hydroélectrique (outil CNR) est présentée pour les différents scénarios retenus.

## Questions

Q1 : Ce type d'étude peut-il amener à prévoir des modifications dans les ouvrages et installations pour, par exemple, améliorer la production ?

*Oui, il peut être envisageable de prévoir des adaptations, notamment pour pallier aux déficits attendus, mais pour le moment rien n'est encore envisagé du côté de la CNR.*

---

## 4. Sessions de travail

L'après-midi du séminaire a été consacré à un travail en sessions parallèles pour prioriser les scénarios les plus intéressants à traiter dans le cadre de l'OSR. Les personnes étaient regroupées sur les trois paramètres majeurs impliquant chacun une modélisation spécifique : eau, sédiments et contaminants. Il s'agissait autant que possible de faire également un tri dans les scénarios traitables avant la fin de l'OSR 6 et ceux nécessitant un travail à long terme. Un rappel des outils de modélisation utilisés dans le cadre de l'OSR pour chacune de ces grandes thématiques a été fait en amont des discussions.

### 4.1 Rappel des outils de modélisation utilisés dans le cadre de l'OSR

#### 4.1.1 *Modèle J-2000 Rhône*

J2000-Rhône est un modèle hydrologique distribué construit sur le bassin versant du Rhône. Il s'appuie sur le concept de HRUs (Hydrological Response Units), obtenues par croisement d'informations géographiques (topographie, géologie, pédologie, occupation des sols) et supposées homogènes du point de vue des processus. Il permet la simulation, à partir d'entrées climatiques (précipitations, température, évapotranspiration), des débits dans l'ensemble du réseau hydrographique du bassin versant (fleuve Rhône et affluents jusqu'à une surface drainée de 50 km<sup>2</sup> environ), au pas de temps journalier. Il prend également en compte les principaux usages de l'eau sur le bassin (stockages / déstockages liés aux barrages hydroélectriques, prélèvements pour l'irrigation et l'alimentation en eau potable). Le modèle a été validé sur 234 stations de contrôle en temps présent, et est utilisé pour simuler des scénarios prospectifs (climat / usages) dans le cadre de plusieurs projets (MDR Usages financé par AERM&C, Explore 2).

#### 4.1.2 *Modèle ISC-Rhône (transferts de MES)*

Le modèle des transferts de MES spatialement distribué à l'échelle du bassin versant du Rhône (ISC-Rhône) a pour objectif l'estimation des flux transférés depuis les versants vers le chenal puis dans le chenal. Cette modélisation a été construite via le couplage de trois modèles élémentaires : (1) *INVEST-Sediment* (érosion et 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). Le jeu de données d'entrée sur le bassin versant comprend la topographie, géologie/sols, occupation des sols et la pluviométrie sur le bassin. Sur la base d'un calage/validation du modèle à partir des données de transferts de MES disponibles sur l'ensemble du bassin du Rhône, l'objectif est ensuite d'y introduire des scénarios de changement climatique, hydrologiques et d'occupation/usage des sols.

### 4.1.3 *Modèle hydro-sédimentaire 1D du Rhône du lac Léman à la mer Méditerranée*

Ce modèle hydraulique 1D a été développé dans le cadre de l'OSR depuis 2009 pour calculer sur tout le linéaire du Rhône du Léman à la mer : les niveaux d'eau, vitesse, débit, concentrations et flux de matières en suspension et contaminants dissous et particuliers, en instantané et de l'événement à plusieurs décennies. Les 21 aménagements hydro-électriques sont représentés (réglages usuels en automatique ou réglages spécifiques à spécifier) ainsi que quelques bras secondaires et zones de stockage. Le calage et le domaine d'application du modèle se limitent néanmoins aux débits inférieurs au débordement en lit majeur, et donc aux crues fréquentes seulement, pas aux événements d'inondation. Les codes de calcul utilisés pour ce modèle sont développés par INRAE : MAGE pour l'hydraulique en régime instationnaire en réseau ramifié (multi-biefs avec diffluences/confluences), Adis-TS pour le transport (advection-dispersion) de substances dissoutes/particulaires et de matières en suspension (avec dépôt/érosion possibles). Plus récemment, un module de transport solide par charriage avec évolution des fonds a été ajouté dans MAGE. Les conditions limites à spécifier sont les apports liquides et solides des affluents (et autres entrées) ainsi que les niveaux à l'aval du système. Les temps de calcul sont courts et permettent des simulations sur tout le domaine et sur plusieurs décennies (des applications en temps réel sont également envisageables).

### 4.1.4 *Modèle CASTEAURx (transferts des polluants)*

Le code CASTEAURx est un outil de l'IRSN pour évaluer la propagation des pollutions radioactives introduites en routine et/ou accidentellement dans les réseaux hydrographiques. Il associe un module hydrographique pour décrire les réseaux hydrographiques, un module hydraulique pour représenter les déplacements des masses d'eau, un module sédimentaire pour évaluer les flux solides en suspension et les échanges avec les sédiments de fond et un module radioécologique pour évaluer les transferts dans le réseau des formes dissoutes et particulières des contaminants radioactifs. Développés pour un contexte opérationnel, ces différents modules appliquent des modélisations qui répondent à des critères de robustesse et de simplicité de paramétrage et de rapidité des calculs.

## 4.2 Travail en sessions parallèles

### 4.2.1 *Groupe Eau*

Les discussions du groupe « Eau » se sont concentrées sur les drivers du changement perçus comme d'intérêt pour la problématique du transport sédimentaire et des apports au fleuve Rhône. Ces drivers sont le climat, l'occupation des sols et les influences anthropiques.

#### **Climat**

Il y a trois paramètres particulièrement importants : la saisonnalité, la fonte de neige et les événements pluvieux extrêmes.

Pour les pluies extrêmes, les projections climatiques ne sont pas encore au point, mais il serait intéressant de sélectionner des événements remarquables dans une série journalière et de les simuler à pas de temps plus fin type horaire. Ceci n'est toutefois pas faisable à l'échelle de l'OSR6.

Pour la fonte des neiges, des travaux commencent à les aborder avec les forçages climatiques. C'est prometteur et intéressant mais il n'y a pas de retour immédiat à attendre, on est sur une problématique qui demande un temps plus long que l'OSR6.

Dans l'OSR actuel, il faudrait donc se concentrer sur la partie saisonnière, et faire une sous-sélection de projections contrastées issues d'Explore2, en utilisant des anomalies et des analyses de sensibilité. Une possibilité est de sous-échantillonner des scénarios Explore 2 en les choisissant sur un diagramme changement du stock de neige / cumul des précipitations (ou débits de pointe) pour faire une première exploration des aspects neige / précipitations extrêmes.

### **Occupation du sol**

Le retrait glaciaire apparaît comme un phénomène qui pourrait être important en libérant des surfaces de sols fortement érodables. Il y a des travaux en cours dans J2000 pour intégrer la composante de ce retrait, mais ce ne sera pas abouti pour OSR6. A court terme il serait peut-être possible d'exploiter des scénarios de retrait glaciaire issus de la thèse de Jordi Bolibar (2020) et de s'en servir pour des hypothèses sur l'occupation des sols (passage de l'occupation des sols glacier à roches nues, à paramétrer à la main). La faisabilité concrète dans J2000 doit encore être examinée.

Le reste de l'occupation des sols (scénarios plus larges, reforestation, changement agriculture etc), est sans doute moins prioritaire. Une piste pour aborder cette question serait de récupérer des scénarios d'évolution à l'échelle globale (projet LUMIP <https://www.cesm.ucar.edu/projects/CMIP6/LUMIP/>).

### **Gestion sédimentaire et gestion des barrages**

On peut différencier deux types de questions, celles sur la gestion sédimentaire par les barrages des chasses/accompagnement de crues et celles sur les gros réservoirs d'altitude. Le premier type concerne plutôt les barrages dans les vallées et sur le fleuve Rhône, qui ne sont pas représentés dans J2000, et elle est donc hors de portée pour l'OSR6. Pour les réservoirs d'altitude, J2000 travaille à partir de fonctions objectifs de stockage / déstockage, issues de la moyenne historique. L'enjeu serait donc de construire des fonctions objectifs « alternatives » qui resteraient plausibles dans le futur. Une idée peut être de s'inspirer d'une gestion typique sur une année sèche. Dans tous les cas, les scénarios produits seraient à valider par des hydroélectriciens (EDF en particulier).

### **Approche retenue et objectifs possibles pour l'OSR 6**

- ⇒ Sous-échantillonner des scénarios Explore 2 pour faire une première exploration des variations possibles de la saisonnalité neige/précipitations extrêmes
- ⇒ Exploiter des scénarios de retrait glaciaire déjà traités et s'en servir pour des hypothèses sur l'occupation des sols.
- ⇒ Construire des fonctions objectifs « alternatives » des réservoirs d'altitude, plausibles pour le futur.

#### 4.2.2 Groupe Sédiment

##### **Stratégie de modélisation à adopter pour explorer les effets des changements**

A court terme, il faudrait travailler sur le couplage RUSLE et CASCADE uniquement sur les particules fines, afin de réaliser un bilan sur tout le corridor du Léman à la mer, avec la possibilité de sortir des résultats en des nœuds intermédiaires. La limitation aux particules fines au lieu de traiter l'ensemble du spectre granulométrique sera sûrement plus pratique pour traiter des scénarios climatiques. Il s'agit aussi de réfléchir, en accord avec des objectifs opérationnels, sur les objectifs de gestion d'ouvrage. Ainsi la saisonnalité pour la gestion des événements et des opérations d'ampleur est importante et doit être abordée. Il faudra donc jouer entre le fait de devoir traiter de l'évènementiel (obligatoire pour chasses ou crues et les fines) et de l'annuel. Un autre exercice serait de simuler des chroniques avec MAGE-AdisTS sous différents scénarios et de refaire des bilans (export à la mer, apports aux ouvrages). On pourrait pour ceci modifier des chroniques mesurées pour respecter les évolutions moyennes prédites par ISC-Rhône. Enfin, il faudrait à long terme développer des modules dérivés de RUSLE et CASCADE dans J2000R, couplé avec Mage-AdisTS.

##### **Identification des variables à prendre en compte en priorité**

Il faut identifier les variables du changement à prioriser, la question étant de définir si le changement climatique seul est si important que cela pour l'érosion ? Dans le cadre du modèle RUSLE la variable « occupation du sol » joue également un rôle très important. Selon des travaux en Suisse (référence non donnée), le recul de glaciers crée des sources de sédiments, et l'impact pourrait être important sur certaines têtes de bassin. Mais il faudrait aussi évaluer la possibilité des changements dans les massifs forestiers (avec de plus fortes probabilités d'incendie, un changement de gestion, une reconquête de la forêt en altitude) et celle des pratiques sylvicoles. Ces points qui sont très difficiles à cerner méritent d'être abordés par une analyse de sensibilité par exemple.

##### **Approche retenue et objectifs possibles pour l'OSR 6**

- ⇒ Focalisation sur le transfert de MES à l'échelle du bassin
- ⇒ Intégration des scénarios de changements climatiques dans un premier temps, malgré les réserves sur leur précision pour les événements extrêmes (les données sont disponibles)

et l'évolution des moyennes et des types de temps peut tout de même renseigner l'érosivité des pluies). Scénarios 4.5 et 8.5.

- ⇒ Définir un cadre méthodologique pour intégrer la fonte des glaciers et la baisse de l'enneigement dans les Alpes (essais sur une ou deux études de cas).
- ⇒ Envisager des changements d'occupation des sols reste difficile à l'échelle du bassin en raison de manque de données et de la difficulté de produire des scénarios régionalisés.

### 4.2.3 Groupe Contaminants

Les effets des changements peuvent être attendus sur deux items importants : les sources et les transferts. Dans les deux cas, les prévisions ont une très grande marge d'incertitude.

Pour les sources, on peut s'attendre à des changements des usages dans le futur par les comportements sociétaux et la question de la santé de plus en plus prégnante. L'histoire montre que tous les contaminants ont répondu à des apports dans le temps de forme gaussienne, disparaissant lorsque l'on met en place des contre-mesures. Pour les contaminants actuels il est donc difficile d'anticiper leur décroissance, et impossible d'imaginer les contaminants futurs. La fonte des glaciers pourrait libérer des contaminants anciens, mais aucune donnée n'est disponible à ce jour. Si c'est le cas, on peut s'attendre à des pics de concentrations lors des fontes, phénomènes qui n'existent pas à l'heure actuelle.

Pour les transferts, il faut intégrer en priorité un bon couplage hydro-sédimentaire, puis lui associer des processus spécifiques à chaque contaminant tels que le fractionnement liquide/solide et les mécanismes de dégradation. Par exemple, la prise en compte de ces derniers permettrait d'évaluer comment les changements de température pourraient agir sur la persistance de certains contaminants dans le milieu. Enfin, il faut travailler sur des scénarios prenant en compte les contrastes crues/étiages.

Pour faciliter l'approche on devrait catégoriser les contaminants en fonction de leur propriété : affinité dissous/particulaire, dégradation... Pour chaque catégorie on pourra alors identifier un ou plusieurs contaminants pertinents ou mesurables et rechercher des zones ateliers qui pourraient être intéressantes pour enclencher un suivi et une modélisation.

Enfin, les apports par les villes devront être intégrés dans ces modèles, alors qu'ils ne le sont pas ou très peu pour l'eau et les particules.

### Approche retenue et objectifs possibles pour l'OSR 6

- ⇒ Catégoriser les contaminants en fonction de leur propriété physico-chimique pour une approche généralisante de leur devenir. Identifier les plus pertinents pour une modélisation.
- ⇒ Réfléchir à l'intégration des apports des villes dans les modèles.
- ⇒ Démarrer le couplage contaminants/hydro-sédimentaire.



## Observatoire des Sédiments du Rhône

### Dispositifs scientifiques cadres



### Partenaires scientifiques



### Partenaires techniques et financiers

