Observatoire des Sédiments du Rhône

Quelles sont les avancées de la modélisation des flux sédimentaires sur le continuum fluvial ?

Jérôme Le Coz (INRAE, RiverLy) | Violaine Dugué (CNR)

Journée Technique de l'OSR | ISARA Lyon

22 novembre 2022

Pourquoi la modélisation numérique dans un observatoire ?

Pour compléter et prolonger les observations :

- Simulation des mesures manquantes (passé / futur)
- Simulation des flux et du transport solide le long du continuum fluvial
- Simulation des processus sédimentaires locaux pour comprendre le fonctionnement (scénarios)

Principales applications dans l'OSR :

- Complément du réseau d'observation des flux : propagation, dépôt/reprise, sources…
- Analyse d'événements hydro-sédimentaires : crues, chasses d'hydrocurage…
- Dynamique dépôt-érosion sur certains biefs : archives sédimentaires, redynamisation sédimentaire…
- Impact de la morphodynamique sur la propagation des crues courantes

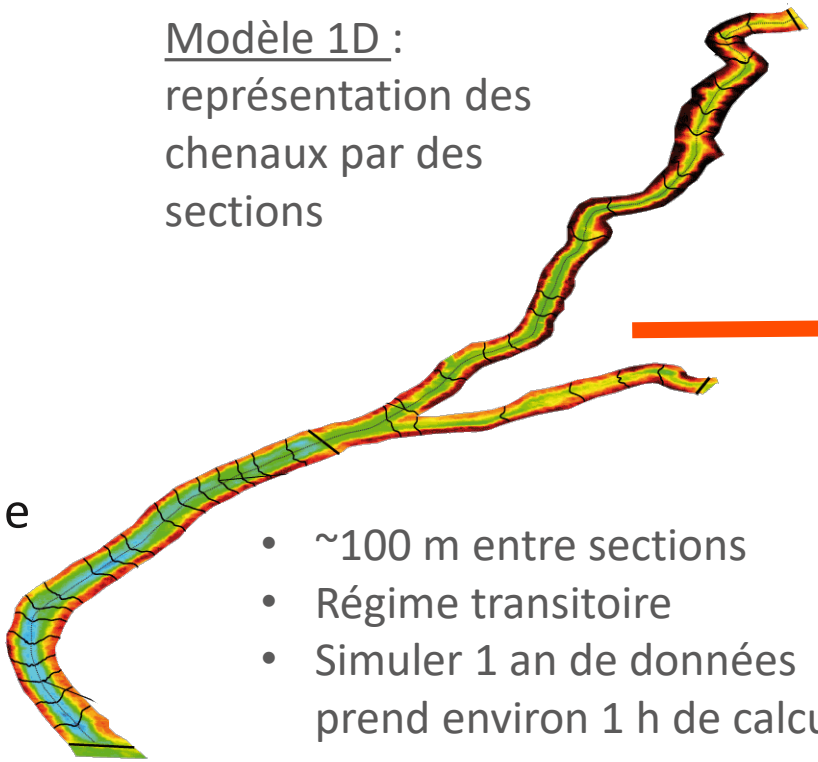
Emprise du modèle hydro-sédimentaire OSR 1D

Développement du modèle OSR 1D du Rhône du Léman à la mer

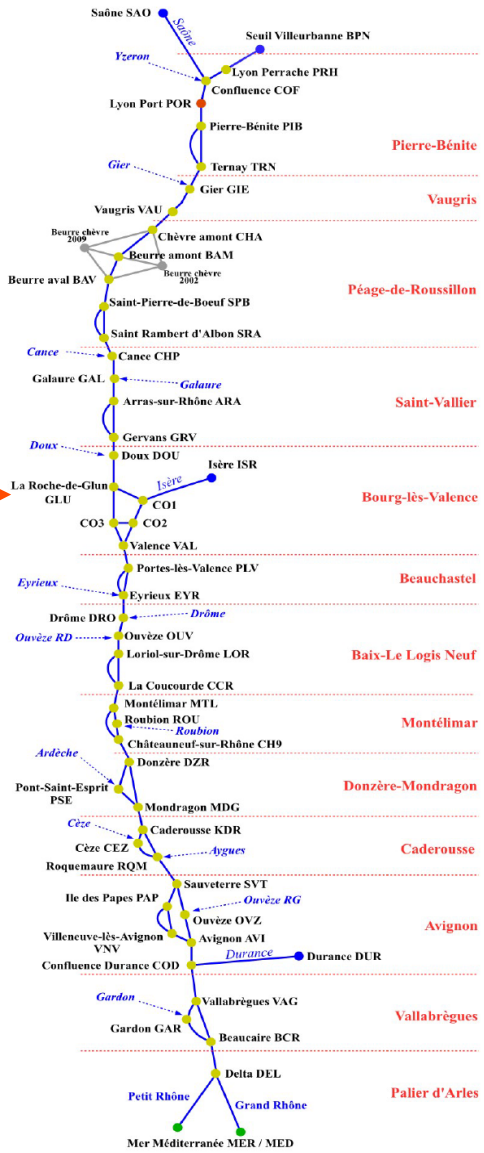
Principales données implémentées :

- **Etablissement de la géométrie** (BD Topo Rhône, compléments locaux, ouvrages)
- **Règles de gestion courante** des 21 aménagements hydro-électriques
- **Calage des lignes d'eau** par bief pour les débits fréquents (coefficients de rugosité)
- **Conditions aux limites :** apports d'eau et de MES en amont, marégraphes en aval
- **Paramètres :** dispersion longitudinale, granulométrie, dépôt/érosion

Modèle 1D : représentation des chenaux par des sections



- ~100 m entre sections
- Régime transitoire
- Simuler 1 an de données prend environ 1 h de calcul



Réseau de biefs du modèle de Lyon à la mer

Emilie Andries

Carla Walter

Violaine Dugué

Marina Launay

Laura Troudet

Léa Kieffer

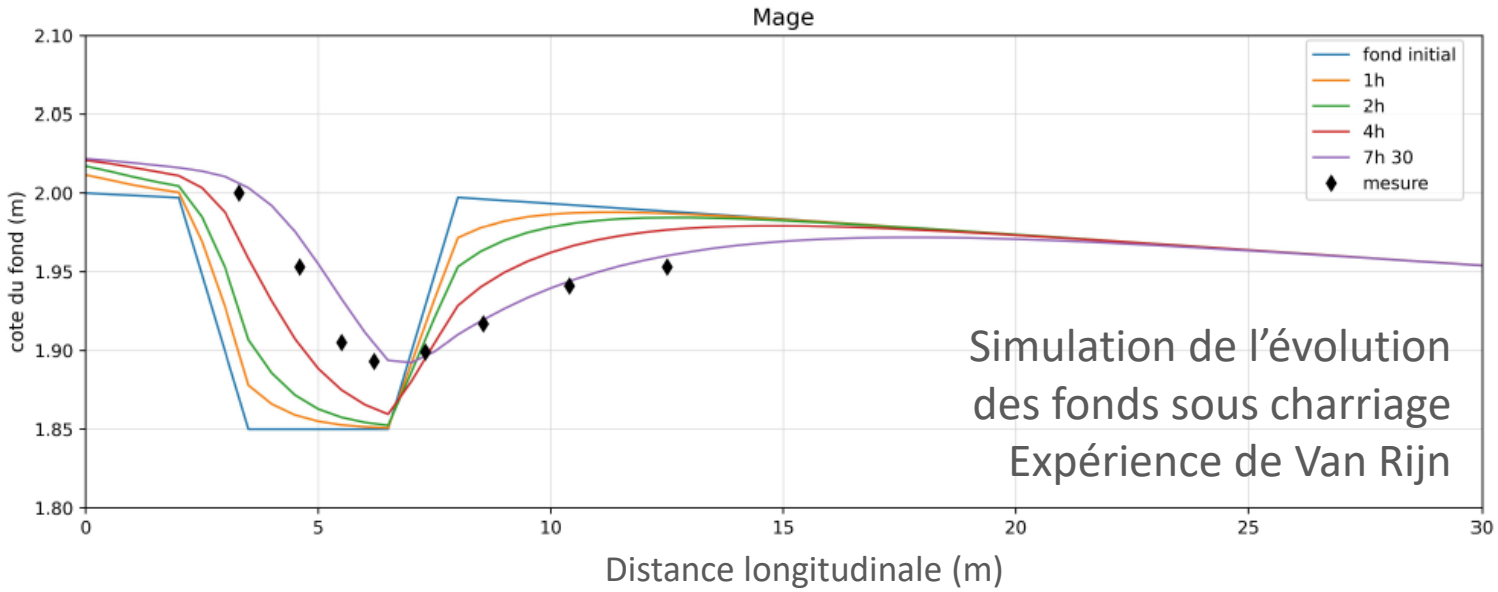
Développement du modèle OSR 1D du Rhône du Léman à la mer

Jean-Baptiste Faure

Théophile Terraz

Principales évolutions des <u>codes de calcul</u> :

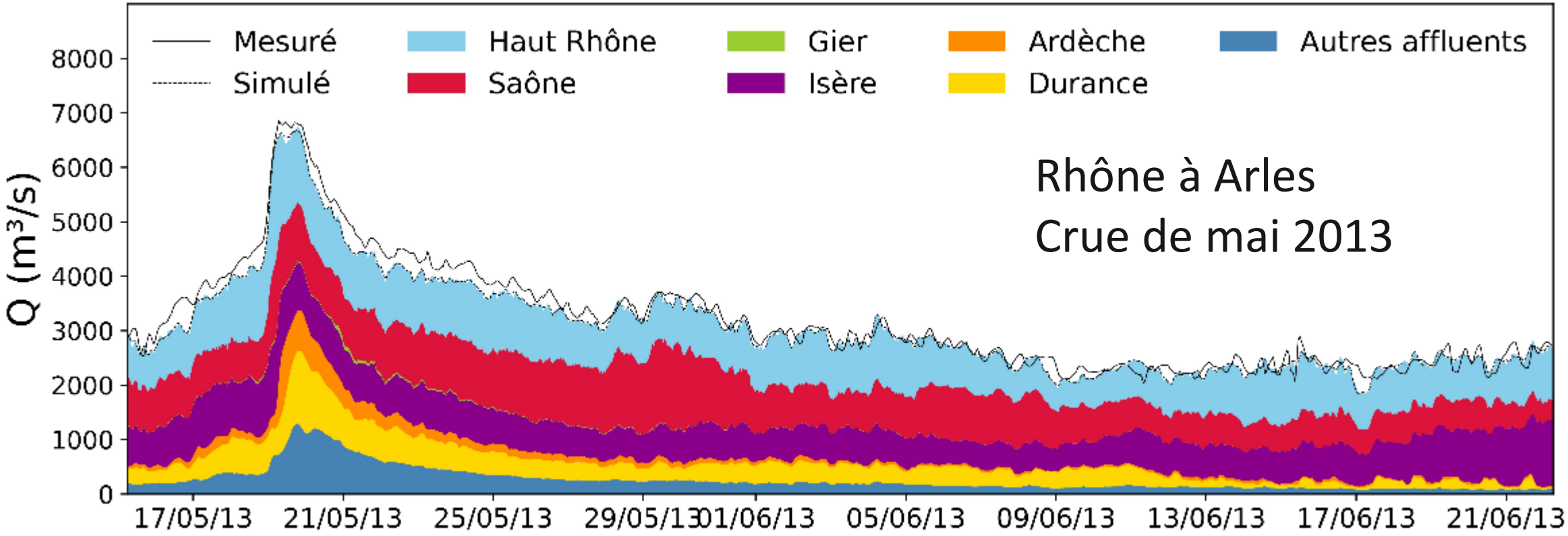
- Codes **MAGE** (hydraulique et morphodynamique) et **AdisTS** (MES et contaminants) développés par INRAE, gratuits et bientôt open-source
- Gestion automatique ou temporelle des règles d'aménagements (MAGE)
- Lois de dépôt-érosion pour la suspension et évolution des fonds (AdisTS)
- Traçage « numérique » des flux selon leur source (AdisTS)
- Représentation sédimentaire du barrage de haute-chute de Génissiat (AdisTS)
- Charge de fond, tri granulométrique et évolution des fonds (MAGE)



Simulation de l'évolution des fonds sous charriage
Expérience de Van Rijn

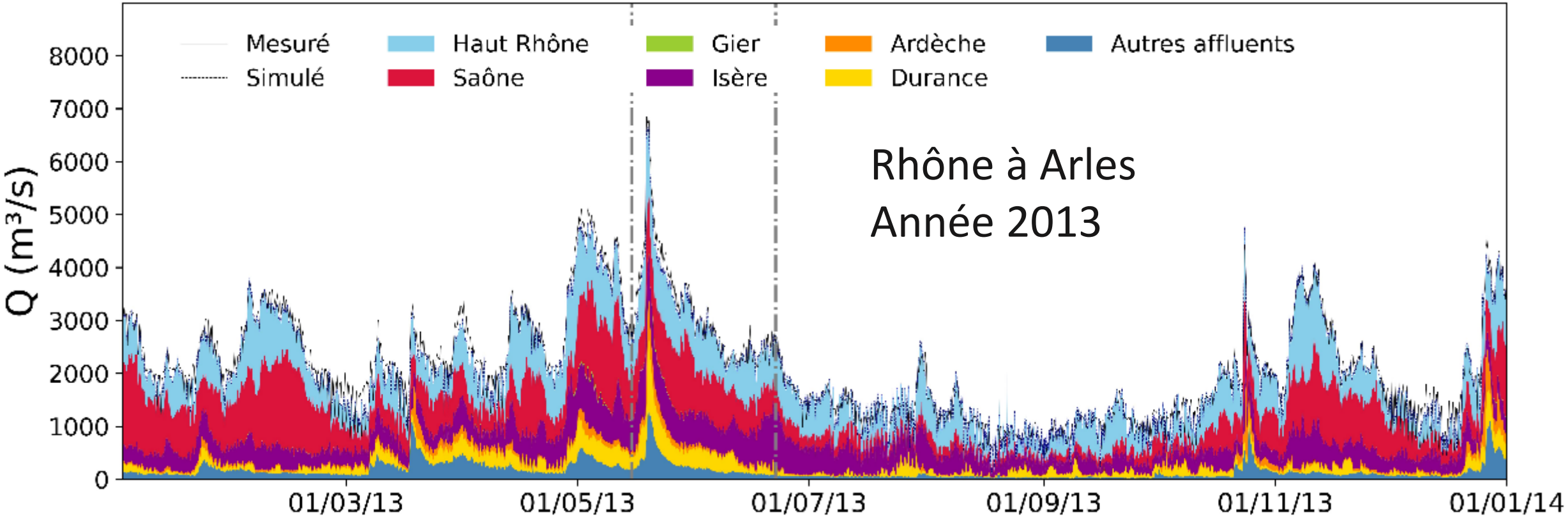
Exemples d'applications du modèle OSR 1D

Décomposition des flux d'eau, MES, contaminants selon leurs sources
Traçage « numérique » de l'origine des eaux et des particules



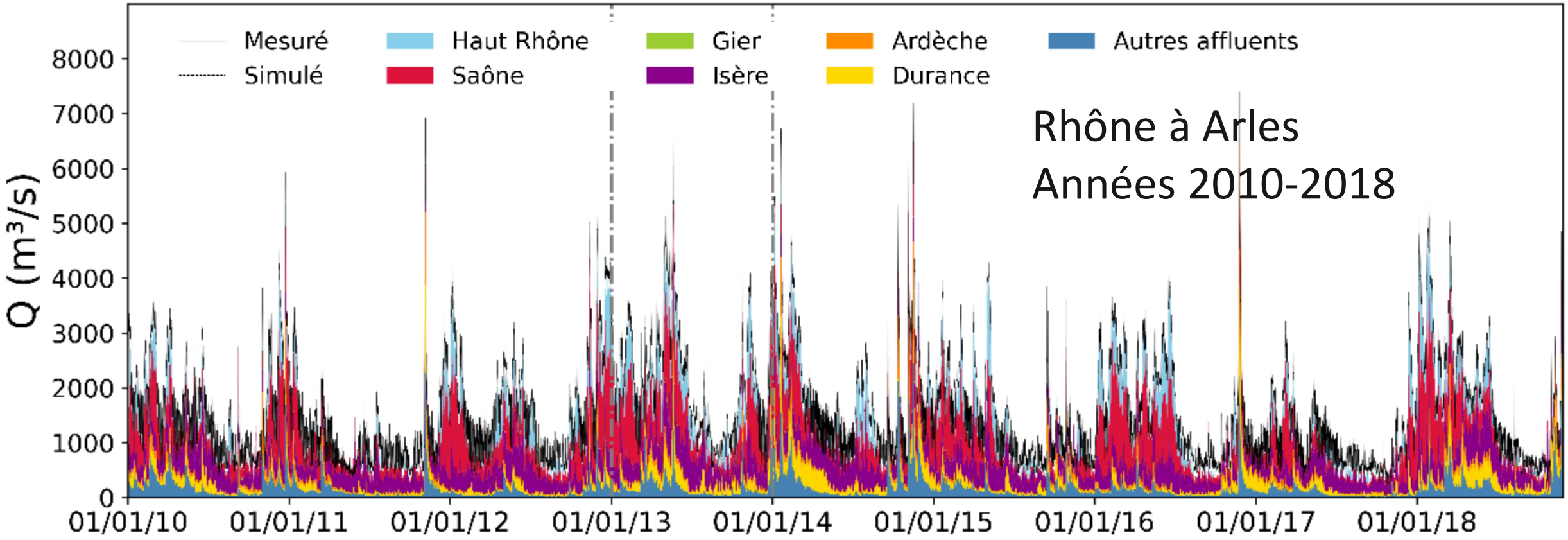
Exemples d'applications du modèle OSR 1D

Décomposition des flux d'eau, MES, contaminants selon leurs sources
Traçage « numérique » de l'origine des eaux et des particules



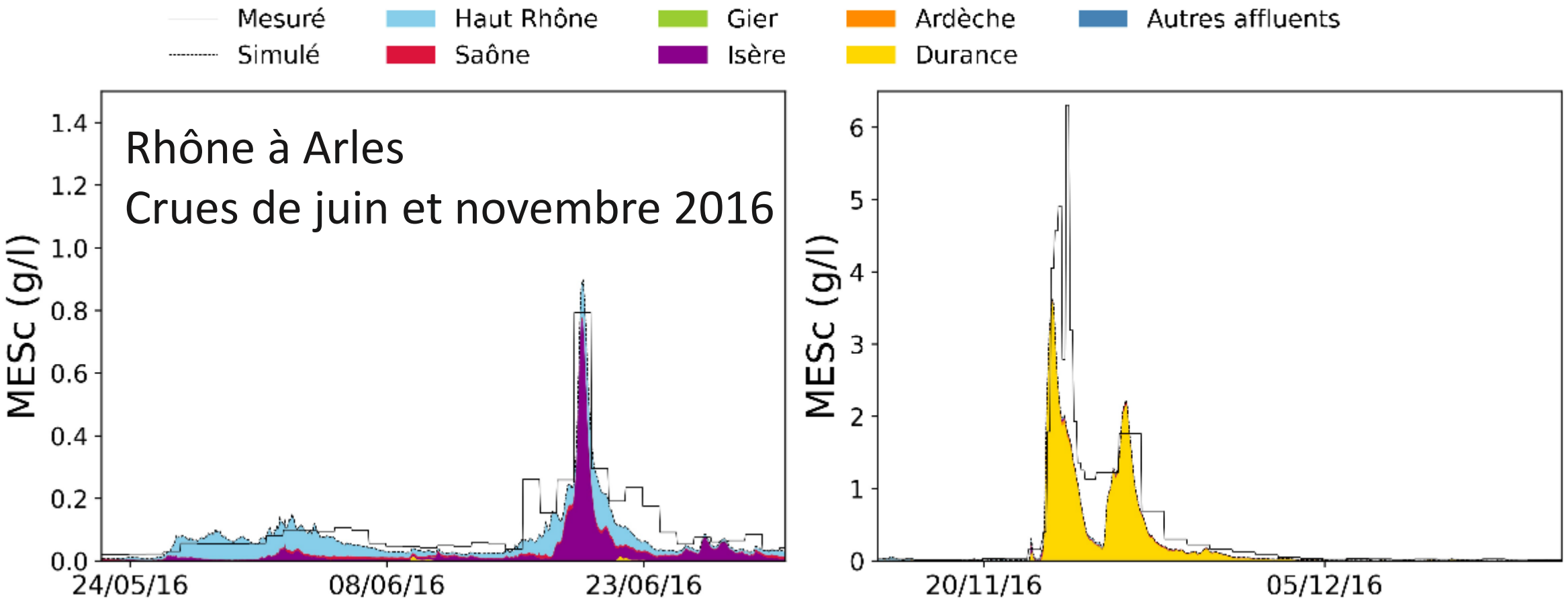
Exemples d'applications du modèle OSR 1D

Décomposition des flux d'eau, MES, contaminants selon leurs sources
Traçage « numérique » de l'origine des eaux et des particules



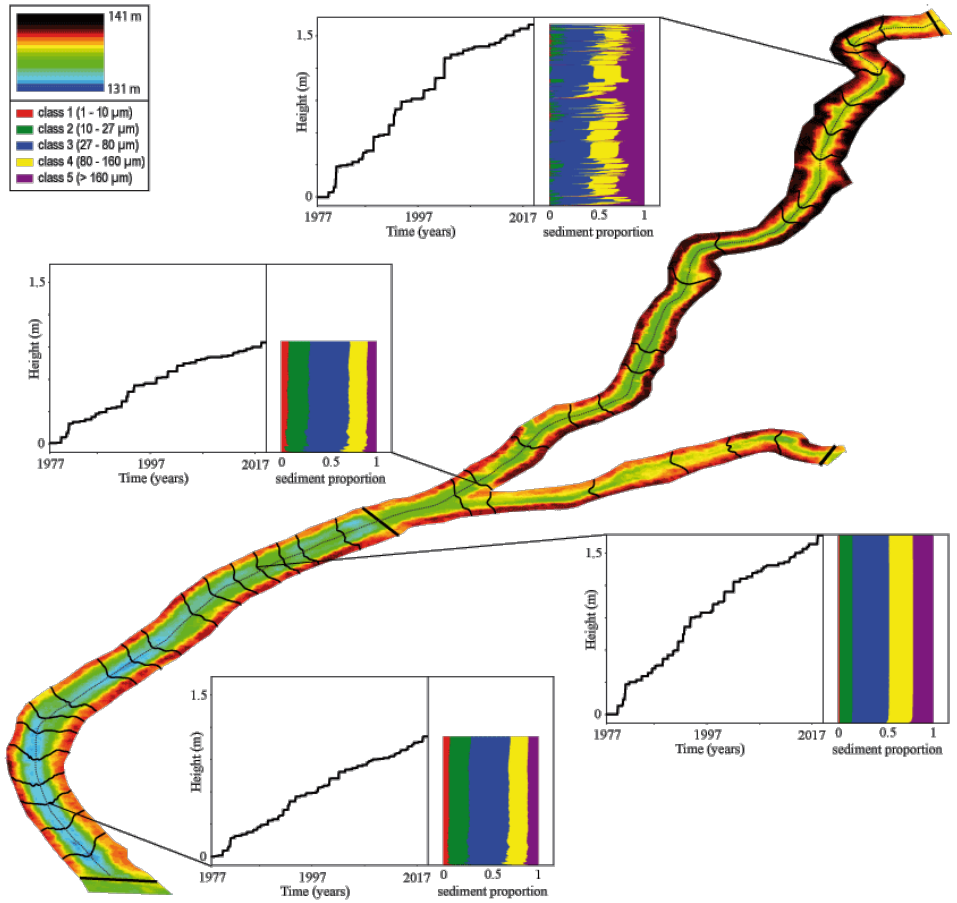
Exemples d'applications du modèle OSR 1D

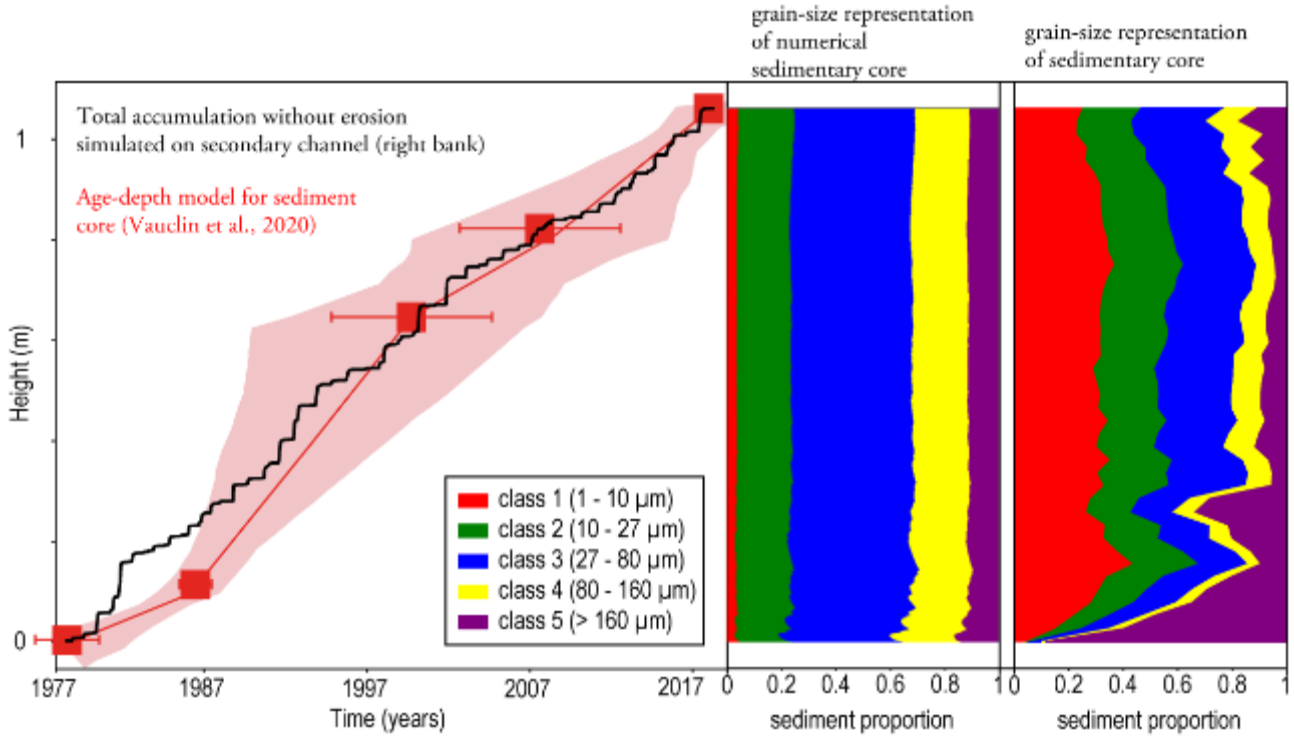
Décomposition des flux d'eau, MES, contaminants selon leurs sources
Traçage « numérique » de l'origine des eaux et des particules



Exemples d'applications du modèle OSR 1D

Simulation de la dynamique temporelle des dépôts dans le secteur de Péage-de-Roussillon et création de « carottes numériques » pour affiner la datation des archives sédimentaires (thèse Nicolas Noclin)



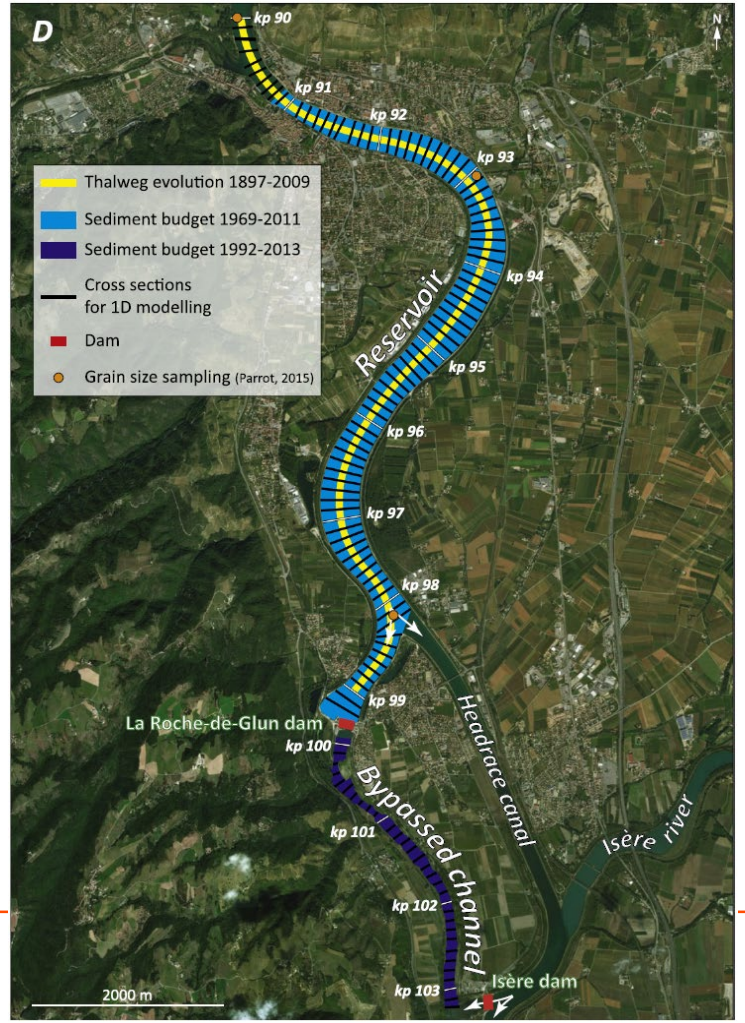


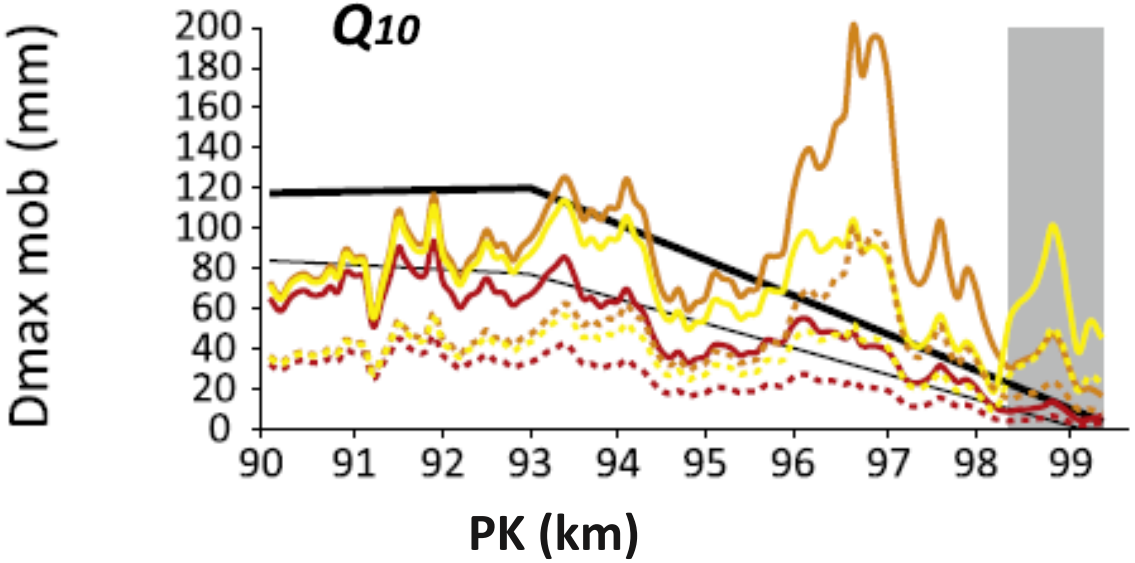
Estimation de la granulométrie et de l'épaisseur des dépôts de sédiments fins dans les annexes fluviales

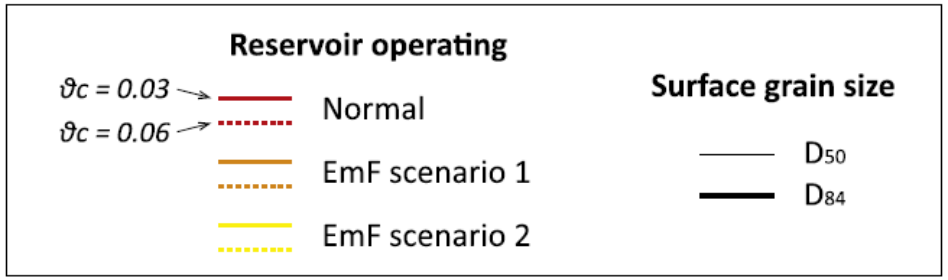
Couplage des données de carottage et de simulation permettant d'affiner le modèle âge-profondeur des dépôts

Exemples d'applications du modèle OSR 1D

Evaluation de la mobilité de graviers réinjectés selon différents scénarios de gestion du barrage, de granulométrie, de débit, et d'hypothèses sur la contrainte critique de mise en mouvement (Dépret et al., 2019)







Retour opérationnel (CNR) sur le modèle OSR 1D

Applications Chasses / APAVER Haut-Rhône

2012

2016

2012 – 2015 : Phase de développement du modèle et calage sur les données mesurées lors de la chasse du Haut-Rhône 2012 (Thèse Lucie Guertault co-encadrée CNR) - *Génissiat*

APAVER 2016:

- Retour d'expérience de l'utilisation du modèle sur un nouvel évènement - *Génissiat*
- Retour vers INRAE pour modification et amélioration du code (évolution de la bathymétrie prise en compte)
- **Analyse comparative des modèles hydro-sédimentaires 1D** - *Seyssel*

Retour opérationnel (CNR) sur le modèle OSR 1D

Comparaison et interaction avec d'autres modèles (stage CNR Emilio Corrales Lalinde)

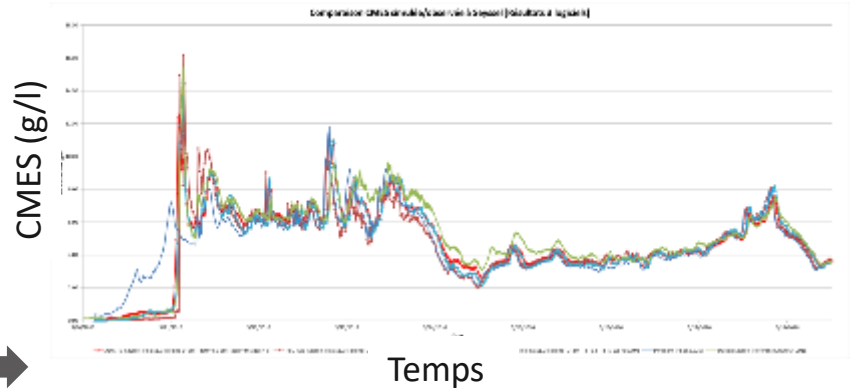
Objectif de modélisation:
Retenue de Seyssel pendant l'APAVER 2016

- Propagation des sédiments amont
- Dépôt des sédiments avant ouverture du barrage
- Reprise des sédiments de la retenue à l'ouverture

Modélisation 1D hydro-sédimentaire

- HEC-RAS
- Telemac-Mascaret / Courlis
- Mage / Adis-TS

Capacité des trois modèles similaire



- Le calage sur des mesures est primordial
- Paramètres différents selon les modèles
- Les paramètres de calage peuvent varier d'un site à l'autre et d'un événement à l'autre (prédiction difficile)

Utilisation Mage / Adis-TS retenue

Retour opérationnel (CNR) sur le modèle OSR 1D

Applications Chasses / APAVER Haut-Rhône

2012

2016

2021

2012 – 2015 : Phase de développement du modèle et calage sur les données mesurées lors de la chasse du Haut-Rhône 2012 (Thèse Lucie Guertault co-encadrée CNR) - *Génissiat*

APAVER 2016:

- Retour d'expérience de l'utilisation du modèle sur un nouvel évènement - *Génissiat*
- Retour vers INRAE pour modification et amélioration du code (évolution de la bathymétrie prise en compte)
- **Analyse comparative des modèles hydro-sédimentaires 1D** - *Seyssel*

APAVER 2021:

<u>Phase préparatoire de l'APAVER</u>

- Préconisations sur les consignes d'exploitation de Génissiat pendant l'APAVER
- Analyse de sensibilité des concentrations à différents paramètres (signal amont, granulométrie, cote de Génissiat)

<u>Phase opérationnelle</u>

- Utilisation du modèle pendant l'évènement pour anticiper l'arrivée des sédiments amont

<u>Retour d'expérience sur l'évènement 2021 en cours</u>

Retour opérationnel (CNR) sur le modèle OSR 1D

Préparation APAVER 2021 – Retenue de Génissiat

Etude de sensibilité à différents paramètres:

- Impact de la cote de Génissiat
- Impact du signal MES amont
- Impact de la bathymétrie initiale dans la retenue
- Autres paramètres de caractérisation sédimentaire

Modélisation 1D hydro-sédimentaire

Mage / Adis-TS

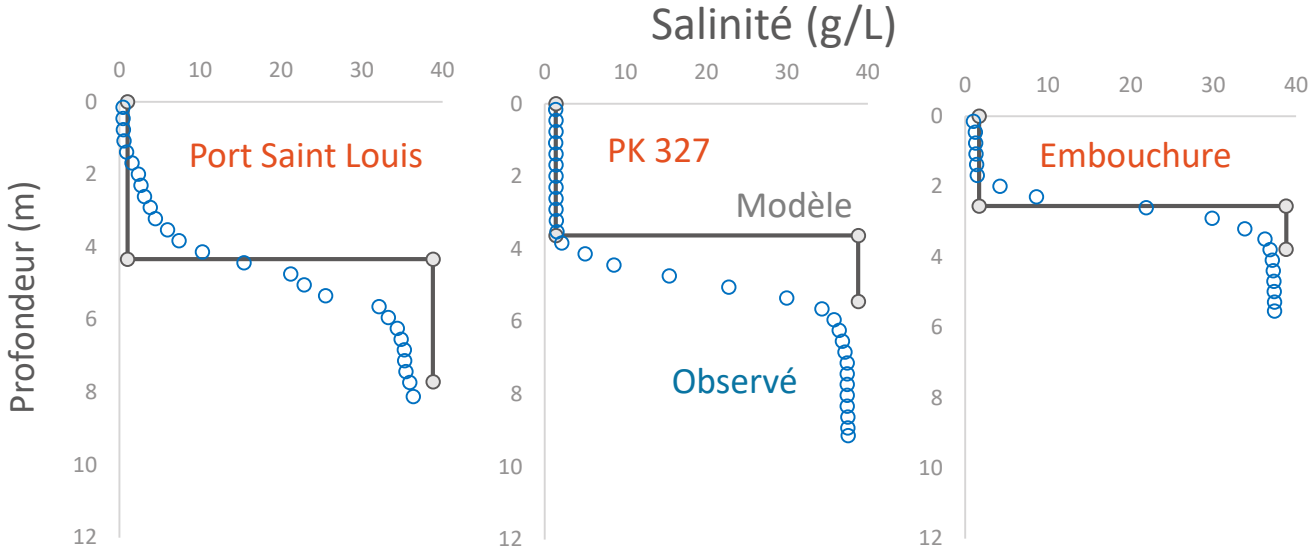
Les résultats ne peuvent pas être utilisés de manière prédictive mais permettent:

- De donner des préconisations au poste de pilotage
  - Timing de l'abaissement de Génissiat
  - Gestion des vannes de Génissiat
  - Valeur minimum d'abaissement
- D'anticiper des phénomènes
  - Reprise des sédiments non similaire d'une opération à l'autre
  - Evolution des consignes suisses
  - Origine des sédiments (reprise – propagation)

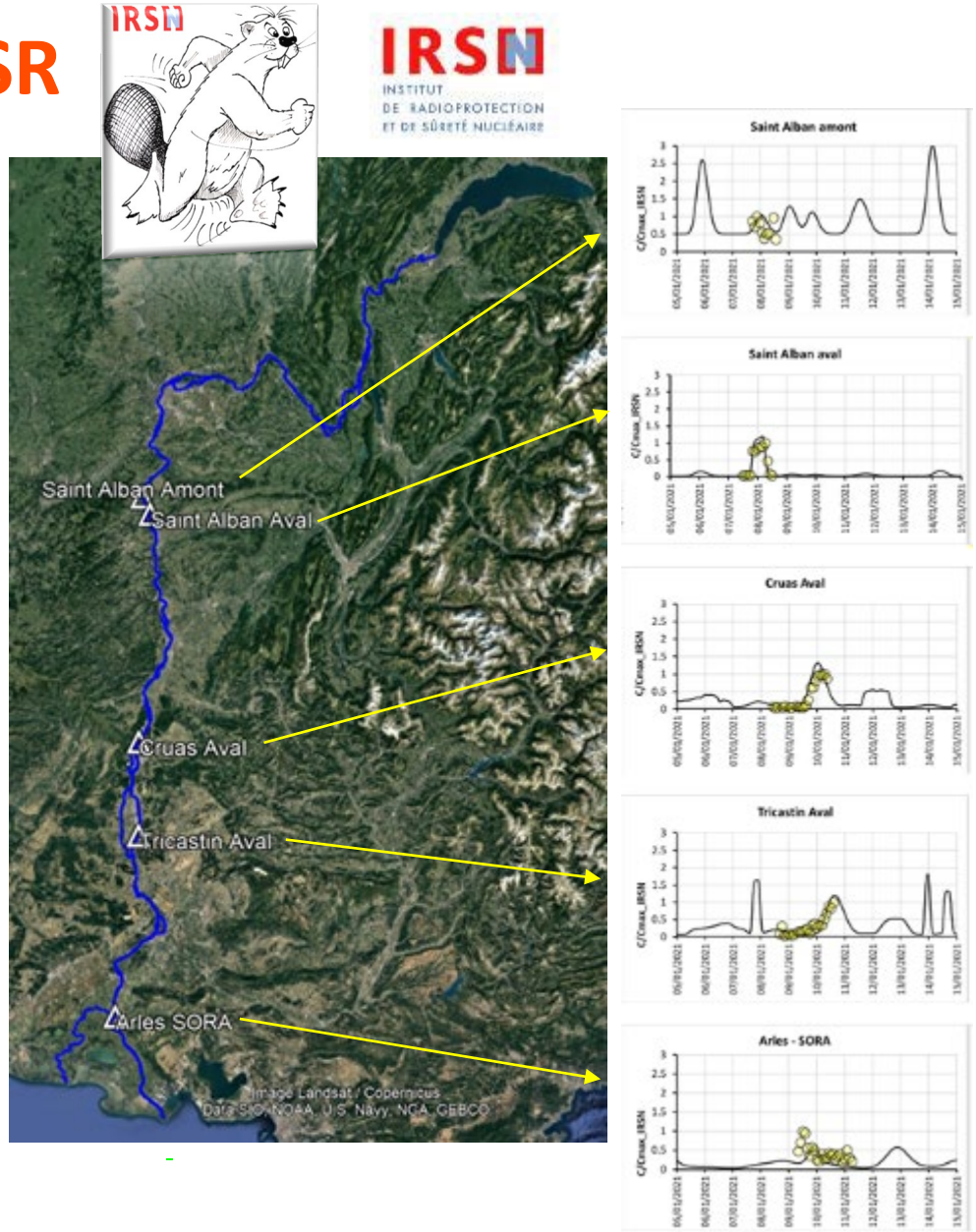
Autres modèles utilisés dans l'OSR

Code CASTEAURx développé par l'IRSN pour simuler le transfert des pollutions radioactives dans les réseaux hydrographiques

- Modèle hydro-sédimentaire 1D simplifié du Rhône: **gestion de crise**
- Transfert des formes liquide/solide des contaminants radioactifs (**eau, sediment, chaîne trophique**)
- Représentation du mélange des eaux dans l'**estuaire** et la désorption des radionucléides (Thèse Adrien Delaval 2021)



Reconstitution de la stratification eau douce/salée (débit 1022 m³/s Arles)



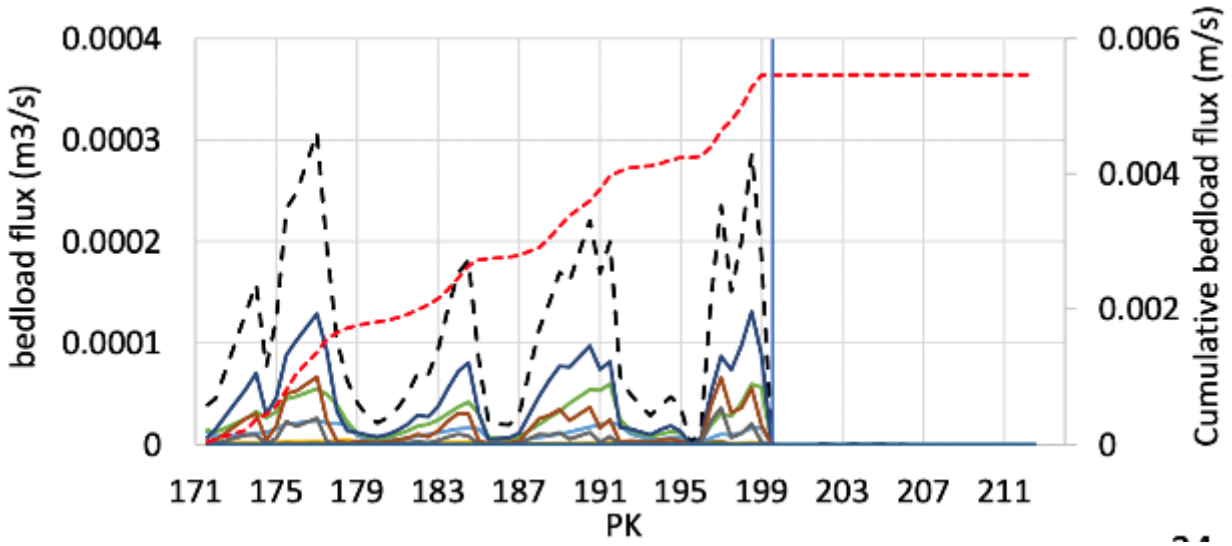
Modélisation d'un rejet liquide du CNPE de Saint Alban
(Mesures ; CASTEAURx)

Autres modèles utilisés dans l'OSR

SGR / Basement

Pour l'étude du fonctionnement morpho-granulométrique historique et actuel
Péage-de-Roussillon et Donzère-Mondragon
(Post-doc Alyssa Serlet)

Flux sédimentaire par fraction granulométrique à Q10



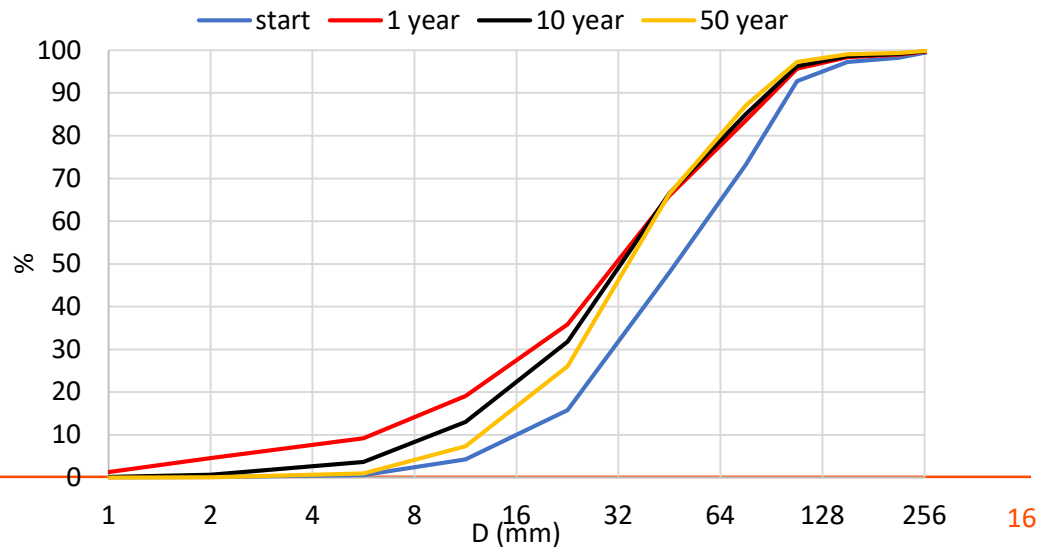
Spawning Gravel Refresher model (Viparelli et al., 2011). Pour étudier l'impact de :

- Rétrécissement (endiguements)
- Modification de l'hydraulique (dérivations)
- Modifications d'apport de sédiments

Basement Model (ETH Zürich). Pour étudier :

- L'effet de retenue / backwater (réservoirs)
- Taux de transport actuels par fraction granulo
- Réinjections

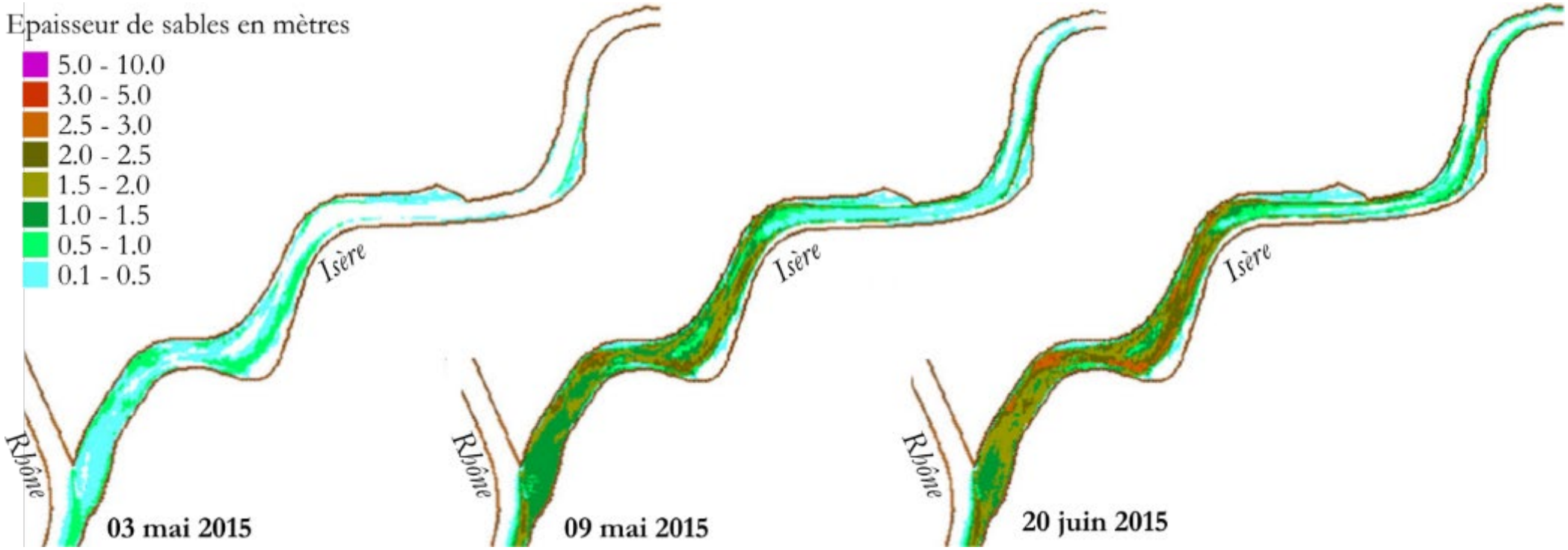
Simulation réinjection 6500 m3



Autres modèles utilisés et comparés dans l'OSR

Code hydro-sédimentaire 2D Rubar20ts (INRAE) : distribution spatiale en plan

Devenir des sédiments de l'Isère lors des chasses de barrage de la Basse-Isère



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

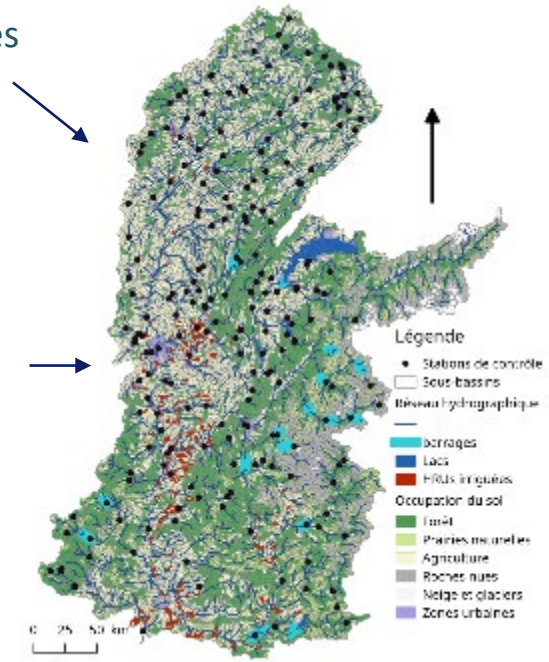
Modélisation intégrée du continuum terre-mer

Action ContinuumMES financée par AERMC, collaboration INRAE / IFREMER

- Quelle dynamique future des flux de MES à travers le continuum?
- Chaînage de 3 modèles : bassin versant (hydrologie spatialisée), fleuve (hydraulique 1D), golfe du Lion (hydraulique 3D)

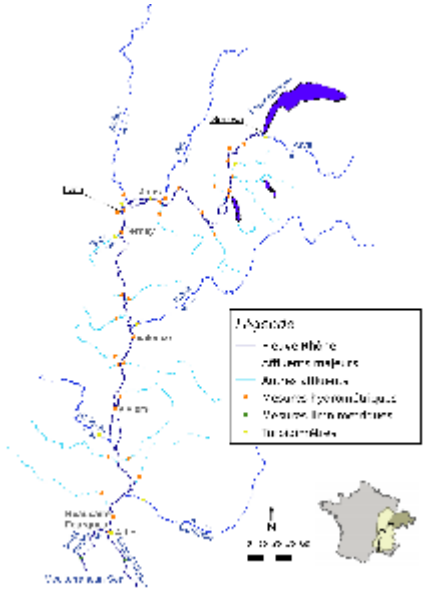
Forçages météo

Scénarios climat et usages de l'eau



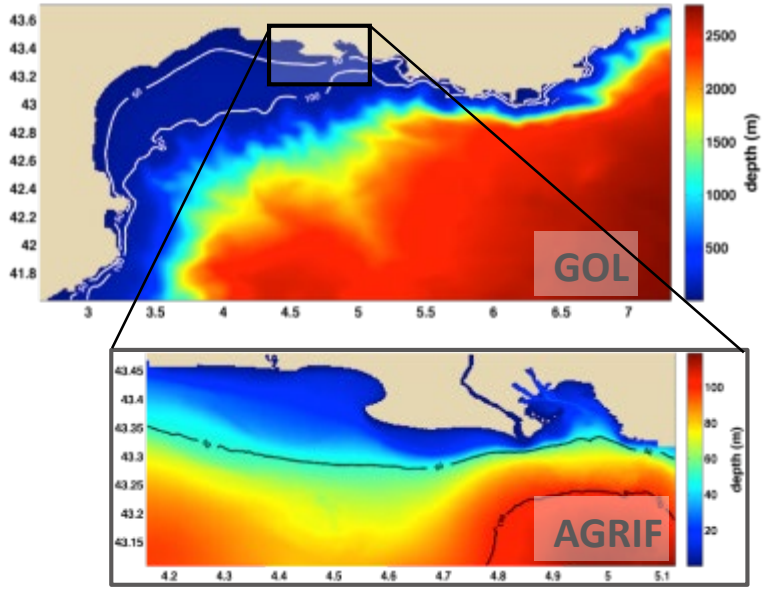
J2000 Rhône

Long terme et scénarios



MAGE-ADIS TS

Source eau et MES



MARS-MUSTANG 3D

Simulation 2010-2018 au pas de temps horaire

Conclusions et perspectives

Observatoire des Sédiments du Rhône

Performances et limites du modèle OSR 1D

- Simulations à grandes échelles (Rhône entier, plusieurs décennies) à haute résolution spatio-temporelle
- Résultats hydrauliques validés pour les débits non débordants (pas pour le risque inondation!)
- Propagation des flux MES/contaminants validée si les apports amont sont connus
- Tendances de la dynamique sédimentaire (mobilité, dépôt/érosion) mais le calage reste délicat

Diffusion des outils numériques

- Passage des codes en open-source et développement d'une nouvelle interface graphique (Pamhyr)
- Formations et intégration dans la plateforme de modélisation internationale iRIC

Validation et applications

- Validation charriage et simulations morphodynamiques à grande échelle
- Calage dépôt/érosion : bilan bathymétrique pluri-annuel des retenues du Haut-Rhône
- Comparaison et couplage avec d'autres codes de simulation sur le continuum terre-mer
- Scénarios du changement : simulation du devenir des sédiments et des contaminants

Observatoire
des Sédiments
du Rhône

Dispositifs scientifiques cadres

OHM VALLÉE DU RHÔNE

Zone Atelier LTSER FRANCE BASSIN DU RHÔNE

Partenaires techniques et financiers

Plan Rhône Saône

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

agence de l'eau RHÔNE MÉDITERRANÉE CORSE

CNR

EDF

RÉGION SUD PROVENCE ALPES CÔTE D'AZUR

La Région Auvergne-Rhône-Alpes

La Région Occitanie Pyrénées - Méditerranée

AVEC LE SOUTIEN DE L'UNION EUROPÉENNE

L'EUROPE S'ENGAGE pour le Rhône et la Saône avec le FEDER

UNION EUROPÉENNE