



HAL
open science

ZABR-OSR - Livrable action V.2: Modélisation hydrosédimentaire 1D du Rhône

M. Launay, V. Dugué, Jérôme Le Coz, B. Camenen, J.B. Faure

► **To cite this version:**

M. Launay, V. Dugué, Jérôme Le Coz, B. Camenen, J.B. Faure. ZABR-OSR - Livrable action V.2: Modélisation hydrosédimentaire 1D du Rhône. [Rapport de recherche] irstea. 2017, pp.28. hal-02607085

HAL Id: hal-02607085

<https://hal.inrae.fr/hal-02607085v1>

Submitted on 16 May 2020

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.

OSR4 2015-2017

Modélisation hydrosédimentaire 1D du Rhône



Observatoire
Sédiments
Rhône

Action V.2

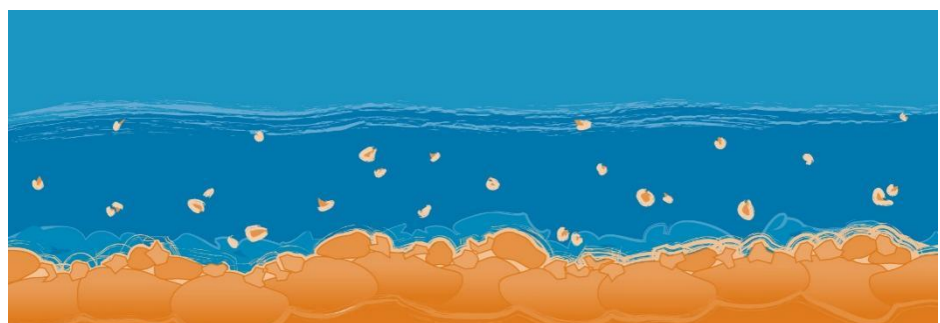
Version finale - décembre 2017



2015 - 2020



Donnons un avenir à notre fleuve



Personnes impliquées	Équipe de recherche
M. Launay, V. Dugué, J. Le Coz, B. Camenen, J.-B. Faure	Irstea - Centre de Lyon-Villeurbanne

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

Résumé

Ce document décrit les améliorations effectuées sur le modèle hydro-sédimentaire 1D du Rhône développé dans le cadre de l'Observatoire des Sédiments du Rhône entre 2015 et 2017 (OSR 4). Les travaux présentés dans ce document viennent à la suite de ceux présentés dans les livrables « Modélisation hydro-sédimentaire 1-D du Rhône de Lyon à la mer Méditerranée – Bilan 2014 » et « Rapport sur le développement, le calage et l'amélioration du modèle hydro-sédimentaire 1D du Rhône du Lac Léman à la Mer Méditerranée - 2016 ». Ils complètent également le livrable « Suivi scientifique des opérations de chasses sur le Haut-Rhône de juin 2012 » (OSR 3).

Les travaux effectués en 2015-2017 se sont concentrés sur la reprise du modèle du Haut-Rhône (amont de Lyon) ainsi que sur la connexion du modèle du Haut-Rhône avec celui à l'aval de Lyon. La modélisation de plusieurs événements hydrologiques a permis d'étudier l'impact des paramètres hydro-sédimentaires du modèle entre Lyon et la mer Méditerranée.

Mots-clés

Observatoire des Sédiments du Rhône, flux, modèle hydro-sédimentaire 1D, matières en suspension, événements hydrologiques.

Contexte

L'action « Modélisation » (axe V.2) de l'Observatoire des Sédiments du Rhône (OSR) a été poursuivie en 2015/2017. La modélisation du flux sédimentaire en Matières en Suspension (MES) sur le réseau hydrographique du Rhône a été traitée de l'exutoire du Lac Léman jusqu'à la Mer Méditerranée. Les différents travaux menés au cours de cette période comprennent :

- la reprise du calage et la validation du modèle hydraulique entre le Lac Léman et Lyon avec l'intégration des consignes d'ouvrage « automatiques » sur les aménagements du Haut-Rhône,
- le calage du seuil de Villeurbanne / Caluire et la reconnexion des modèles du Haut-Rhône et des Rhône moyen et aval,
- la décomposition des flux d'eau et de sédiments en fonction des apports des affluents,
- des tests de sensibilité du modèle aux paramètres sédimentaires.

Ce document, réalisé dans le cadre du programme OSR4, fait la synthèse des principales modifications apportées au modèle numérique 1-D hydro-sédimentaire du Rhône. La dernière version du modèle est mise à disposition du Grand Lyon (Burgeap / ROSALY) et de tout partenaire OSR qui le souhaite.

SOMMAIRE

1. Amélioration du modèle du Haut-Rhône.....	5
a. Amélioration de la géométrie et calage des lignes d'eau	5
b. Intégration des affluents	7
c. Consignes automatiques des ouvrages hydroélectriques.....	8
2. Reconnexion des modèles amont et aval du Rhône	9
a. Calage du seuil de Villeurbanne / Caluire.....	9
b. Validation sur les événements de mai 2015.....	11
3. Calage du coefficient de dispersion.....	12
4. Décomposition des flux d'eau et de sédiments.....	14
5. Tests de sensibilité du modèle du Rhône.....	17
a. Tests de sensibilité du modèle à la granulométrie des sédiments	18
b. Tests de sensibilité aux débits.....	20
6. Applications du modèle par actions thématiques	22
7. Suite et perspectives	23
8. Références.....	23

1. Amélioration du modèle du Haut-Rhône

Le développement du modèle du Haut-Rhône a été initié dans le cadre du projet Axelera (Andriès et al., 2012a ; 2012b) et poursuivi dans le cadre de l'OSR2 et l'OSR3 (Launay, 2014). Le contenu du modèle a été repris et modifié afin d'être en accord avec les développements du modèle en aval de Lyon (Dugué et al, 2015).

La description du modèle de départ est incluse dans le livrable « Suivi scientifique des opérations de chasses sur le Haut-Rhône de juin 2012 ». Le présent rapport répertorie les modifications apportées depuis.

a. Amélioration de la géométrie et calage des lignes d'eau

Le Rhône du Lac Léman à Jons est représenté dans la Figure 1. Les affluents ainsi que les aménagements inclus dans le modèle sont représentés sur la carte.

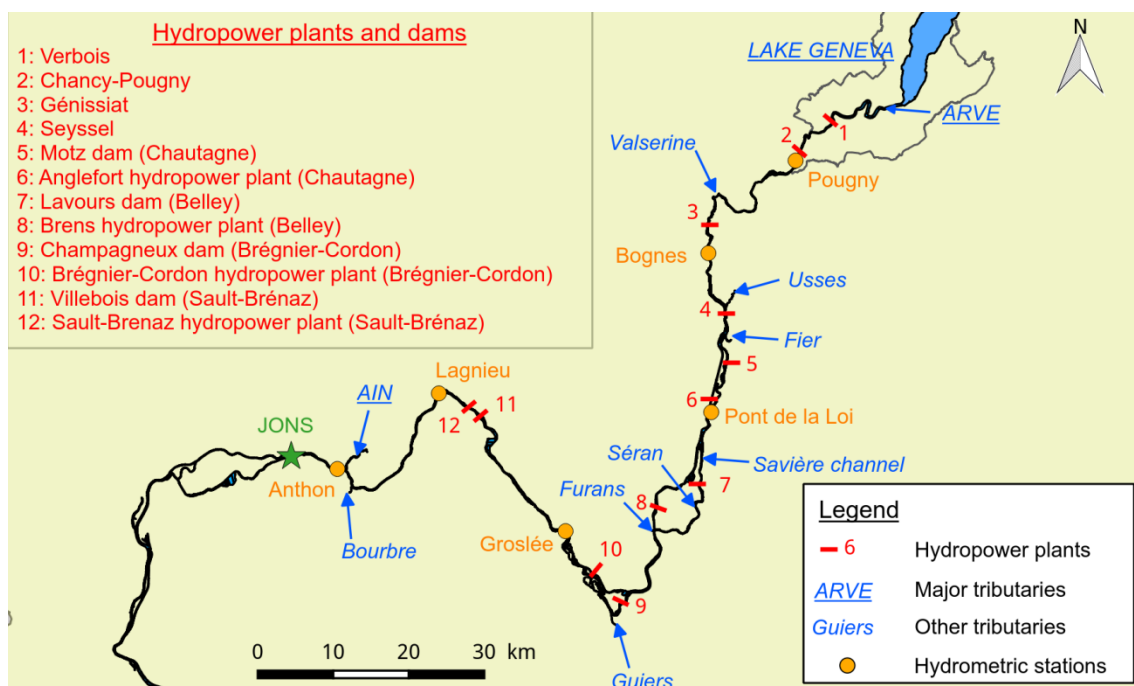


Figure 1 : Haut-Rhône entre le Lac Léman et la station de Jons. Les affluents et les ouvrages inclus dans le modèle sont représentés.

La géométrie du lit mineur des transects n'a pas été modifiée (même date et producteur que dans la précédente version du modèle). Les principales modifications sont :

- des compléments de géométrie sur les lits majeurs à l'aide des Lidar mis à disposition par la BDTopo Rhône.
- L'ajout de seuils dit « fictifs ». Ces seuils qui n'existent pas sur le terrain permettent d'éviter que le modèle fasse des calculs en régime torrentiel. En effet, ces derniers augmentent considérablement les temps de calcul du modèle. L'ajout de ces seuils « fictifs » s'est fait en respectant le calage des lignes d'eau.
- La vérification de la régularité du pas d'espace entre chaque profil en travers. Les profils représentant les confluences/diffuences ont également été corrigés.

- L'ajout de nœuds dans le modèle pour améliorer la position spatiale des confluences avec les affluents. L'ajout de ces nœuds est susceptible d'augmenter le temps de calcul du modèle mais permet d'améliorer le temps de propagation des pointes de débit des affluents.
- Un maillage avec un pas d'espace longitudinal de 50m. Ce maillage est plus fin que sur le Rhône à l'aval de Lyon. Des tests devront être effectués afin de vérifier qu'il n'y a pas d'influence du changement de pas d'espace dans le modèle.

Sur la partie Génissiat-Seysssel, le modèle calé et validé par Lucie Guertault dans sa thèse (2015) a été repris. La géométrie et les coefficients de Strickler de son modèle ont été pris en compte dans le modèle du Rhône.

Aucun casier n'a été ajouté au modèle actuel. A long terme, il serait intéressant d'ajouter un casier pour représenter les échanges entre le Lac du Bourget et le Rhône via le canal de Savière. En effet, lorsque les débits du Rhône sont importants, le sens d'écoulement du canal de Savière s'inverse et le niveau du Lac du Bourget augmente. En l'état actuel, le modèle hydraulique Mage permet d'inclure les débits du canal de Savière mesuré par CNR. Ces débits sont négatifs lorsque l'eau va du Rhône vers le Lac du Bourget.

Le schéma du modèle est représenté dans la Figure 2. Les aménagements hydroélectriques sont représentés par des barres rouges. A ces emplacements, une loi d'ouvrage permet d'augmenter ou de diminuer le débit passant sur le tronçon. Les nœuds ajoutés au modèle sont ceux représentant les confluences de la Bourbre, du Fier et du Séran.

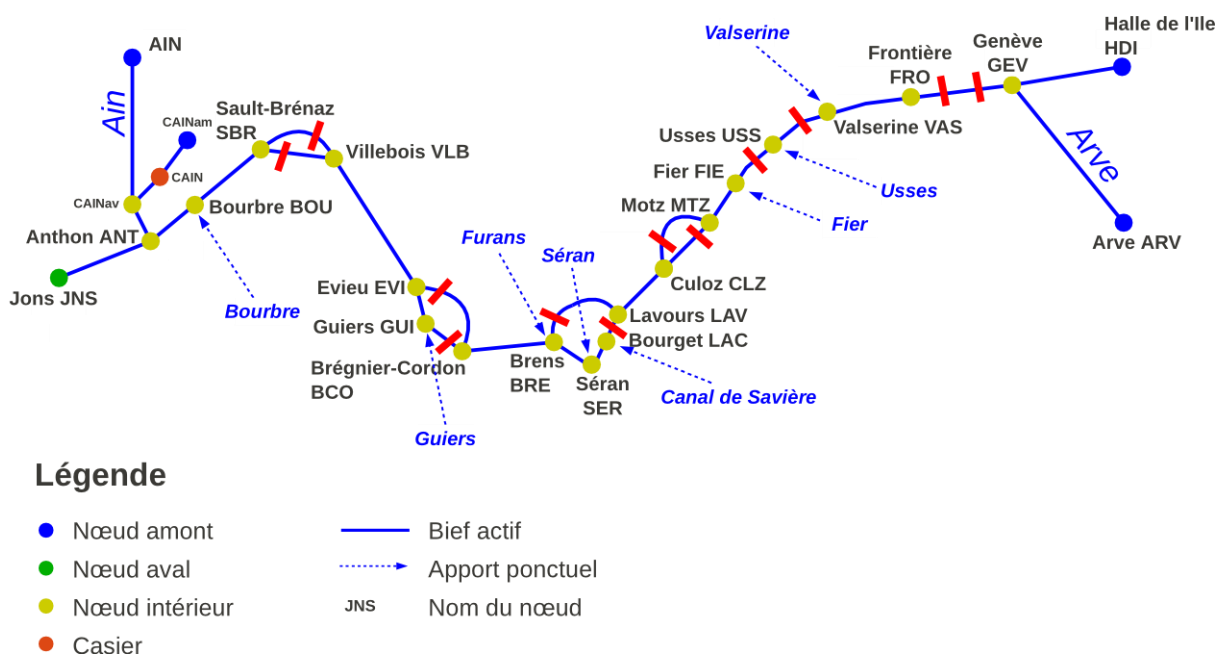


Figure 2 : Réseau du modèle 1D hydro-sédimentaire utilisé pour simuler les flux hydro-sédimentaires sur le Haut-Rhône.

Suite à ces changements de géométrie, le calage des lignes d'eau a été vérifié sur les tronçons où des lignes d'eau étaient disponibles. Les données utilisées sont récapitulées dans l'Annexe 4 du livrable OSR3. Pour information, les coefficients de Strickler du modèle sont disponibles dans l'Annexe 2 du présent rapport. Le calage a uniquement porté sur les coefficients de Strickler du lit mineur. Les valeurs ayant été modifiées sont indiquées en rouge.

b. Intégration des affluents

Les affluents du Haut-Rhône actuellement inclus dans le modèle du Rhône sont listés dans l'Annexe 1. Les principales modifications apportées au modèle sont l'ajout du Furans au nœud BRE (déjà existant et représentant la confluence entre le canal de fuite et le Vieux Rhône de Belley). L'Annexe 1 indique également la station dont les mesures de débit sont utilisées pour alimenter le modèle, le producteur des données ainsi que la distance entre la station et la confluence.

Plusieurs nœuds ont été ajoutés au modèle afin de représenter l'emplacement des confluences avec les affluents : c'est le cas pour la Bourbre, le Sérán et le Fier. Le nœud du Sérán était déjà existant mais placé sur le canal usinier de l'aménagement de Belley. En réalité, le Sérán passe dans un siphon sous le canal usinier avant de se jeter dans le Vieux Rhône.

Le temps de propagation entre la station de mesure d'un affluent est calculé pour chaque affluent de la manière suivante :

- Décalage temporel entre plusieurs pointes de débit sur deux stations de mesure situées sur le même affluent (Figure 3) ;
- Estimation de la vitesse de propagation à partir de la distance entre les deux stations ;
- Estimation du temps de propagation entre la station référence et la confluence à partir de la vitesse de propagation et de la distance station-confluence. Les temps de propagation pour chacun des affluents sont indiqués dans l'Annexe 1. Ils sont renseignés en minutes dans Mage et en secondes dans Adis-TS.

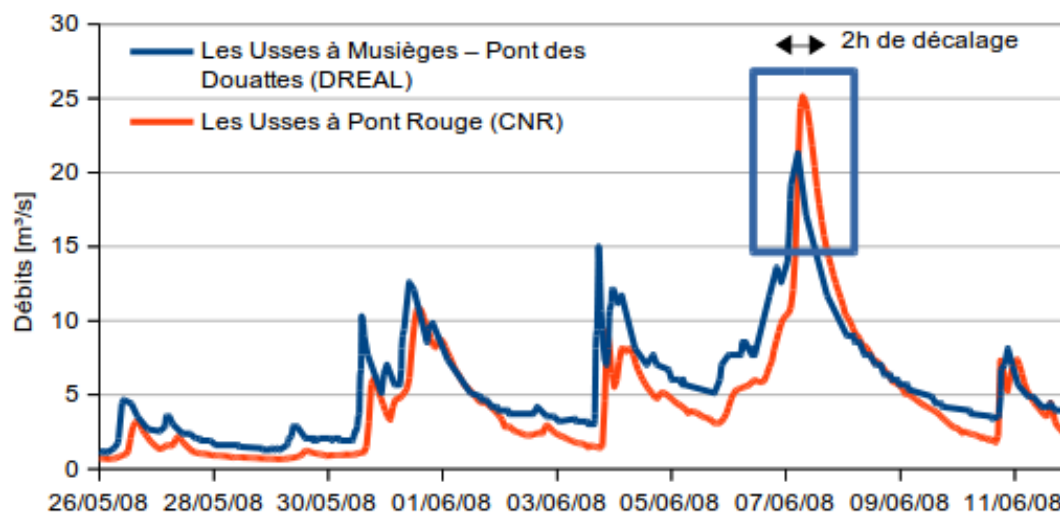


Figure 3 : Estimation du temps de propagation d'un affluent jusqu'à la confluence. Application au cas des Usses.

La géométrie de l'Arve a été modifiée avec l'ajout de seuils « fictifs » afin d'éviter que le modèle passe en torrentiel lorsque la retenue de Verbois est abaissée.

c. Consignes automatiques des ouvrages hydroélectriques

De la même manière que pour le Rhône à l'aval de Lyon, des consignes d'ouvrage ont été ajoutées au modèle. Pour chaque aménagement à dérivation du Haut-Rhône, deux règles d'ouvrage sont utilisées en accord avec les règles théoriques appliquées par les opérateurs :

- la répartition du débit : cette règle définit les débits passant dans le canal usinier et dans le Vieux Rhône. Elle inclut le débit réservé à respecter sur le Vieux Rhône ainsi que le débit maximum turbinable par l'usine. Les petites variations de débit dues aux éclusées ou aux opérations de maintenance ne sont pas incluses dans le modèle ;
- le niveau d'eau dans le réservoir : l'ouvrage fixe la hauteur d'eau au point de réglage (PR) de l'aménagement.

Les deux consignes peuvent être appliquées de manière automatique. La gestion de l'ouvrage dépend alors uniquement du débit entrant dans l'aménagement. Autrement, il est toujours possible de donner une consigne temporelle à l'ouvrage. Ce deuxième type de consigne permet de modéliser des événements ponctuels nécessitant une gestion particulière des ouvrages (abaissement des retenues pour les chasses,...).

L'intégration des consignes d'ouvrage dans le modèle du Rhône a été décrite dans un article de conférence et présentée à la conférence IAHR (The Hague, 2015).

Dugué V., Walter C., Andriès E., Launay M., Le Coz J., Camenen B., and Faure J.-B. (2015). Accounting for hydropower schemes' operation rules in the 1D hydrodynamic modeling of the Rhône River from Lake Geneva to the Mediterranean Sea. *Proceedings of the 36th IAHR World Congress*, The Hague, The Netherlands.

La Figure 4 présente une comparaison de l'impact des consignes d'ouvrage temporelles ou automatiques sur l'aménagement de Sault-Brénaz pendant la chasse de juin 2012. La gestion automatique ou temporelle de l'aménagement n'a pas d'impact sur les hydrogrammes et la répartition des débits. En revanche, la consigne temporelle permet de représenter plus fidèlement le niveau d'eau mesuré dans la retenue au cours de la chasse (Figure 4d). Si l'ouvrage avait suivi un mode de gestion automatique, l'abaissement de la retenue aurait été mal représenté. Cela aurait eu peu d'impact sur les débits comme le montrent les Figures 4a et 4b. En revanche, la différence de hauteur d'eau dans la retenue aura un impact important sur le transport sédimentaire.

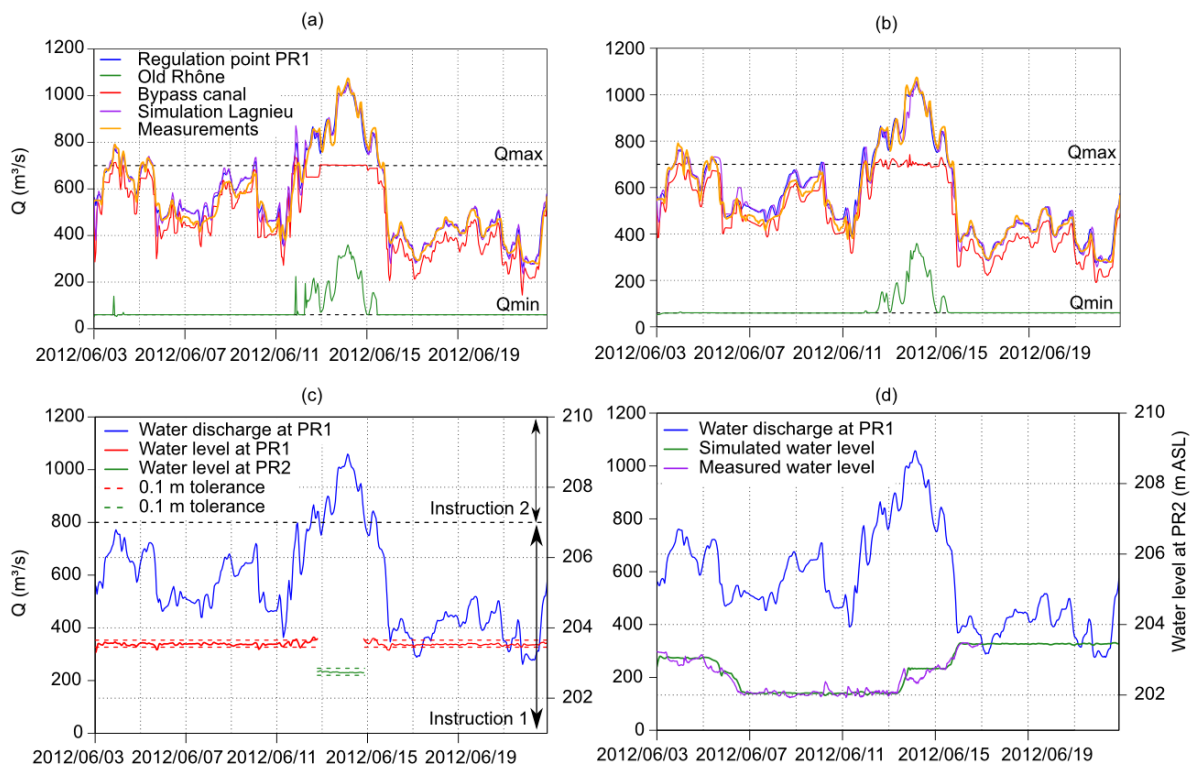


Figure 4 : Comparaison des consignes automatiques et temporelles de l'aménagement de Sault-Brenaz sur les débits et les hauteurs d'eau au point de consigne. Répartition des débits pour (a) la loi automatique et (b) la loi temporelle. Niveau d'eau dans la retenue pour (c) la loi automatique et (d) la loi temporelle.

Une des difficultés dans la modélisation du Rhône est la représentation des barrages de Génissiat et de Seyssel. En effet, Génissiat est le seul aménagement ne fonctionnant pas « au fil de l'eau » pour les faibles débits. En fonction des prévisions météorologiques et des prix de l'électricité, des consignes d'écluse particulières sont appliquées. Il n'y a pas de fonctionnement type ou automatique journalier. L'aménagement de Seyssel sert d'une façon générale de tampon pour démoduler les éclusées et avoir un débit sortant le plus lisse possible.

Il y a dans Mage une option permettant de reproduire des éclusées. Cette option pourrait être appliquée à Génissiat mais la difficulté serait alors reportée sur l'atténuation des éclusées par Seyssel.

Dans l'état actuel, le modèle ne prend pas en compte les éclusées journalières des aménagements. Son utilisation est donc moins adaptée au période de faibles débits. Pour les forts débits (crue et/ou chasse), les cotes des retenues de Génissiat et de Seyssel sont relativement constantes et la modélisation numérique peut être faite tout en respectant les consignes d'ouvrage.

2. Reconnexion des modèles amont et aval du Rhône

a. Calage du seuil de Villeurbanne / Caluire

Les modèles du Haut-Rhône et du Rhône à l'aval de Lyon ont été reconnectés via l'intégration du seuil de Villeurbanne. Avant cette modification, le modèle du Haut-Rhône

avait pour condition limite aval la hauteur d'eau sur le seuil de Villeurbanne tandis que la condition amont du Rhône à l'aval de Lyon était fixée à la station hydrométrique CNR de Perrache.

Le nœud BPN (Boulevard Périphérique Nord) a été supprimé et les tronçons JAV (Jonction aval canal de Miribel et canal de Jonage)- BPN et BPN-PRH ont donc été fusionnés en un seul transect et le seuil de Villeurbanne-Caluire a été ajouté au modèle. Aucune donnée géométrique du seuil n'étant disponible, la création de celui-ci s'est basée sur les lignes d'eau du bief de Pierre-Bénite mesurées par la CNR (Figure 5).

La loi Hauteur-débit du seuil a été formée via l'utilisation de deux seuils. Le premier a une cote de déversement de 163.32 m NGF (calé d'après les mesures) et une largeur mesurée sur Géoportail de 142 m.

Lorsque la hauteur d'eau sur le seuil dépasse 165.5 m NGF (pour $750 < Q_{\text{Rhône}} < 1000$ m³/s), un deuxième seuil se met à fonctionner (cote de déversement à 165.5 m NGF et largeur 150 m). Ce deuxième seuil a été ajouté afin de mieux représenter les plus grands débits mesurés. En effet, pour les plus forts débits, la courbe $H = f(Q)$ a tendance à s'infléchir.

Le débit maximum des données de lignes d'eau est de 1784 m³/s. Au delà de cette valeur, le modèle n'a pas été validé.

Une nouvelle loi $H = f(Q)$ a donc été établie à partir du nouveau seuil inclus dans le modèle. Cette courbe a été extrapolée pour les débits plus grands. Lorsque le modèle du Haut-Rhône fonctionne seul, cette nouvelle loi $H = f(Q)$ est utilisée comme condition limite aval. Il serait néanmoins nécessaire de vérifier le calage des coefficients de frottement de la zone de Miribel-Jonage pour vérifier que l'ajout de cette nouvelle condition aval n'influence pas les écoulements dans cette zone.

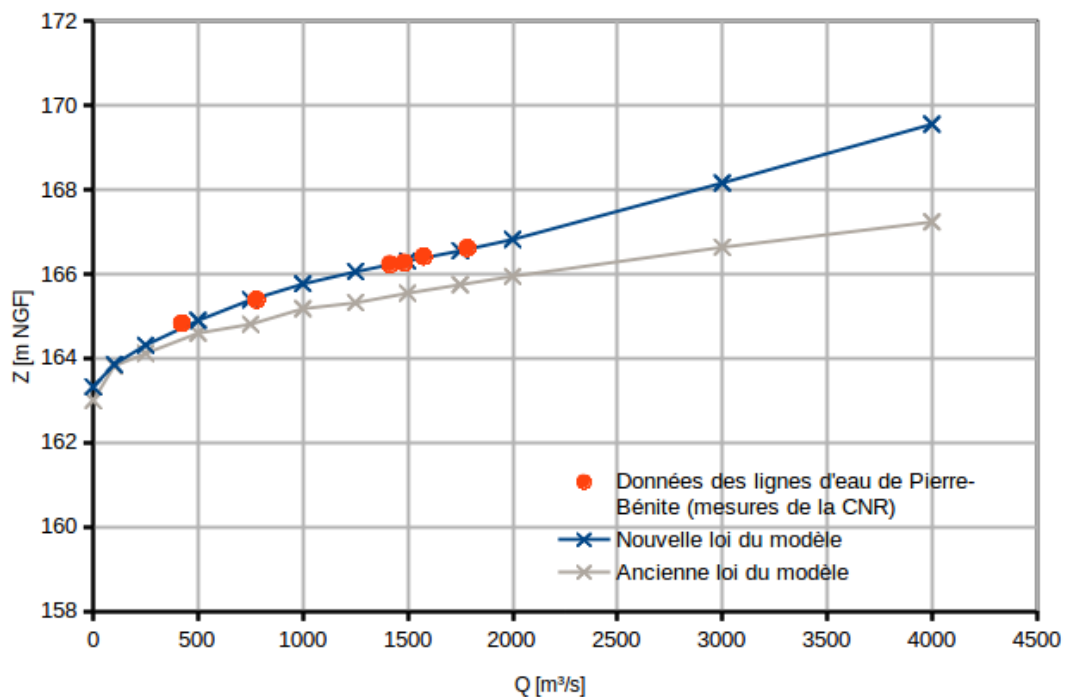


Figure 5 : Loi Hauteur-Débit du seuil de Villeurbanne-Caluire. Comparaison avec l'ancienne loi $H = f(Q)$ utilisée dans le modèle (Etude Burgeap) et avec les mesures des lignes d'eau de Pierre-Bénite.

b. Validation sur les événements de mai 2015

La validation de la bonne reconnexion des modèles amont et aval de Lyon a été faite sur l'événement de mai 2015. En effet, le mois de mai 2015 a été marqué par les crues concomitantes de l'Arve, de la Saône et de l'Isère. Sur l'Isère, les barrages de la Basse-Isère ont profité de la crue pour chasser le sédiment accumulé dans les retenues. Un contrôle provisoire des concentrations de MES a été mis en place par EDF à la station de la Roche-de-Glun (Figure 6) en amont de la confluence avec l'Isère.

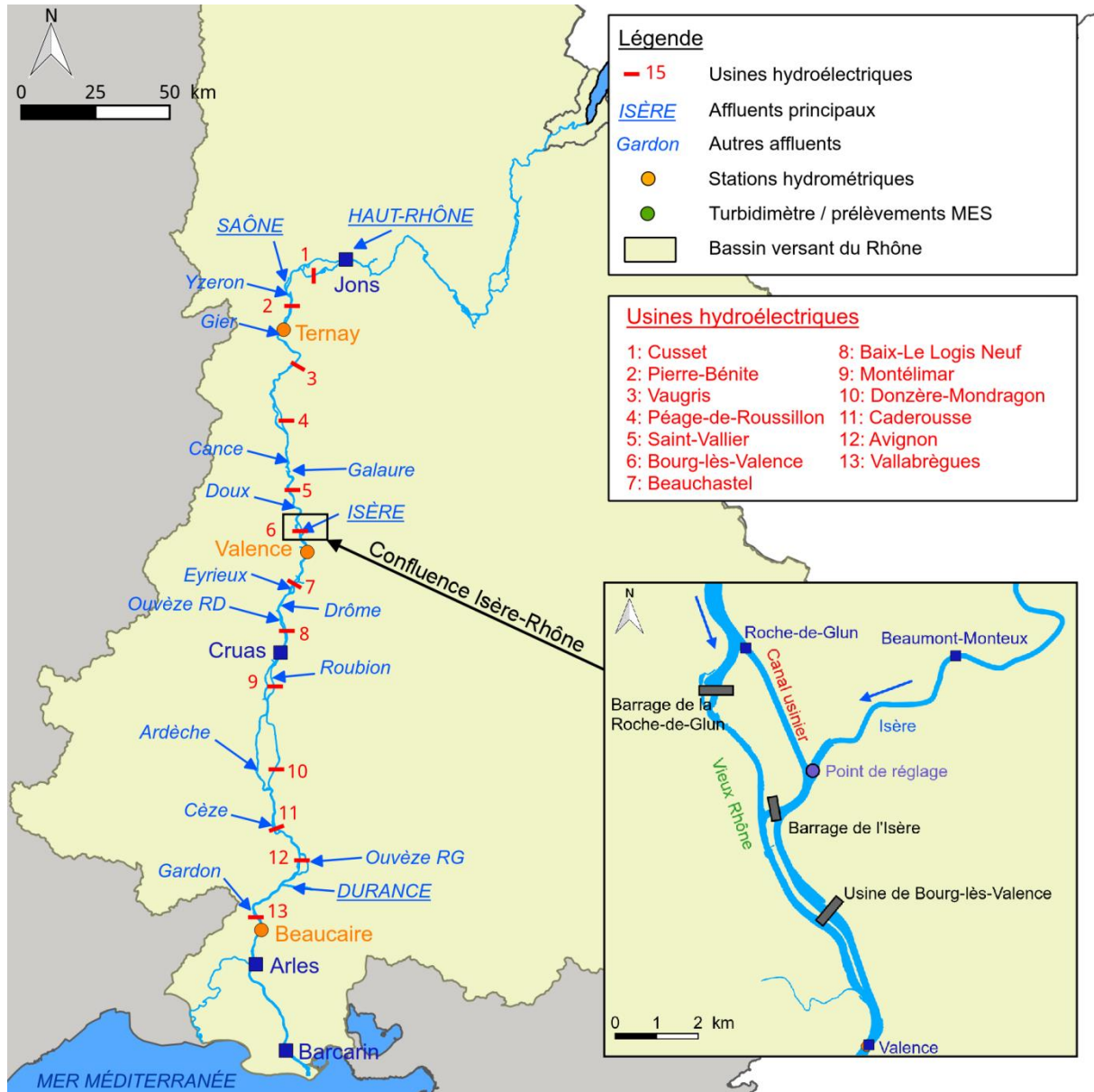


Figure 6: Zone concernée par la modélisation entre Jons et la Roche-de-Glun.

Par conséquent, le modèle a été testé en utilisant en conditions d'entrée :

- la concentration en MES mesurée à la station de Jons sur le Rhône (apports de la crue centennale de l'Arve inclus) ;
- la concentration en MES mesurée à la station de Saint-Georges sur la Saône.

Le mélange des deux apports et la propagation des pics de matière en suspension sont comparés à la station de la Roche-de-Glun (Figure 7). Les simulations ont été réalisées en supposant qu'il n'y ait ni dépôt, ni érosion sur le secteur. Cette hypothèse paraît acceptable. En effet, les sédiments observés à Jons proviennent de la crue centennale de l'Arve et la partie grossière s'est déjà déposée notamment dans les retenues de Verbois et de Génissiat.

Les résultats des simulations sont cohérents avec les mesures. Celles-ci reproduisent bien les 3 pics de concentration en MES mesurés entre le 3 mai et le 9 mai 2015, malgré un pic qui est sous-estimé par le modèle numérique autour du 07 mai 2015. En revanche, en descente de crue, les concentrations mesurées sont plus fortes que les concentrations simulées. Il est possible qu'un des apports ait été sous-estimé ou que les forts débits du Rhône aient remis du sédiment en suspension dans Miribel-Jonage ou dans les ouvrages en aval.

Il faut néanmoins noter l'incertitude liée à la mesure de la Roche de Glun. En effet, celle-ci a été réalisée de deux manières différentes (prélèvement automatique et prélèvement manuel). Ceci peut expliquer la dispersion des points de mesure autour d'une même date.

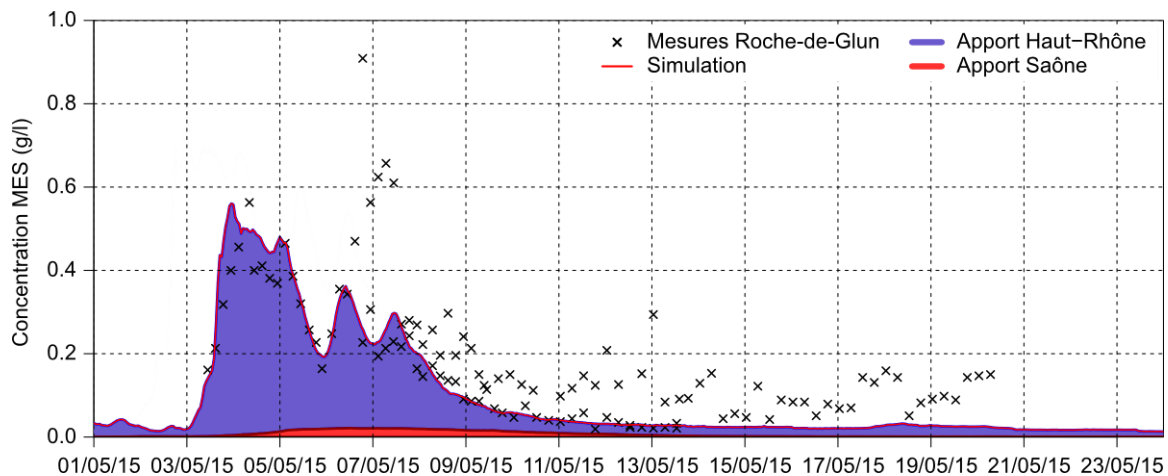


Figure 7 : Concentration en matières en suspension à la station provisoire de la Roche-de-Glun. Comparaison des résultats de la modélisation avec les mesures (EDF).

Le modèle numérique reproduit bien la propagation temporelle des MES entre Jons et la Roche-de-Glun, sur un linéaire d'environ 100 km, incluant Miribel-Jonage. La reconnexion des modèles du Haut-Rhône et du Rhône à l'aval de Lyon semble bien reproduire la propagation des MES sur ce secteur.

3. Calage du coefficient de dispersion

Le calage et la validation de la dispersion d'un traceur a été étudié par Launay et al. (2015). Les résultats de campagnes de mesures réalisées sur le canal de la Gentille ainsi que sur les canaux de Miribel-Jonage (novembre 2011) ont été utilisés afin que le modèle numérique représente au mieux la dispersion.

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

Adis-TS permet à l'utilisateur, soit de fixer une valeur pour le coefficient de dispersion longitudinale D_L , soit d'utiliser une formule prédictive basée sur l'Equation 1.

$$\frac{D_L}{HU_*} = a \left(\frac{U}{U_*}\right)^b \left(\frac{W}{H}\right)^c \quad \text{Eq. 1}$$

où W est la largeur de la rivière, H la hauteur d'eau moyennée sur la section, U la vitesse moyenne sur la section, U_* la vitesse de frottement. Les paramètres a , b et c dépendent du choix du modèle de dispersion. Les valeurs correspondant aux différents modèles sont présentées dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Valeurs des paramètres permettant d'estimer la dispersion longitudinale via l'Equation 1.

Auteurs	a	b	c
Elder (1959)	5,93	0	0
Fischer (1975)	0,011	2	2
Liu (1977)	0,18	0,5	2
Iwasa and Aya (1991)	2	0	1,5
Seo and Cheong (1998)	5,915	1,428	0,62
Koussis and Rodriguez-Mirasol (1998)	0,6	0	2

Pour chacune des deux campagnes de mesures, le coefficient de dispersion longitudinale a été calculé avec les différentes formules de la littérature et comparé aux résultats des mesures (Figure 8). La meilleure correspondance a été obtenue pour la formule d'Iwasa and Aya (1991), suivi de la formule de Liu (1977).

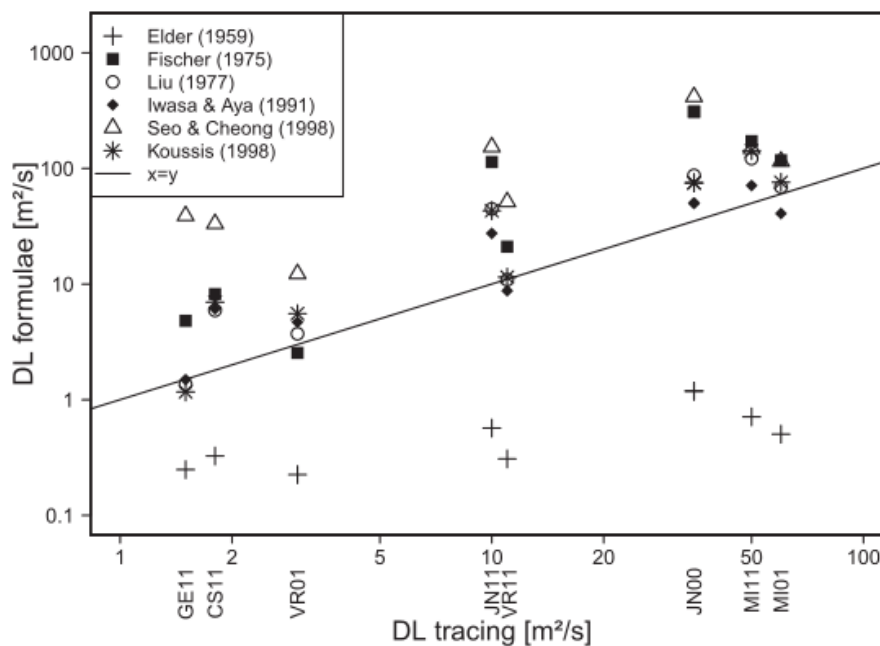


Figure 8 : Coefficient de dispersion longitudinale calculé avec les formules de la littérature et mesuré lors des expériences avec traceurs (canal de la Gentille et canaux de Miribel-Jonage) (Launay et al., 2015).

L'impact des différentes formules sur la propagation d'un pic de polluant est représenté sur la Figure 9 (application à Miribel-Jonage). Cet exemple montre l'importance du choix du modèle théorique dans la modélisation hydro-sédimentaire. Les résultats les plus réalistes sont ceux produits par les formules d'Iwasa and Aya (1991), Liu (1977), et Koussis and Rodriguez-Mirasol (1998) qui produisent des résultats très similaires. La formule d'Iwasa and Aya (1991) est celle qui a été retenue dans le modèle 1D du Rhône.

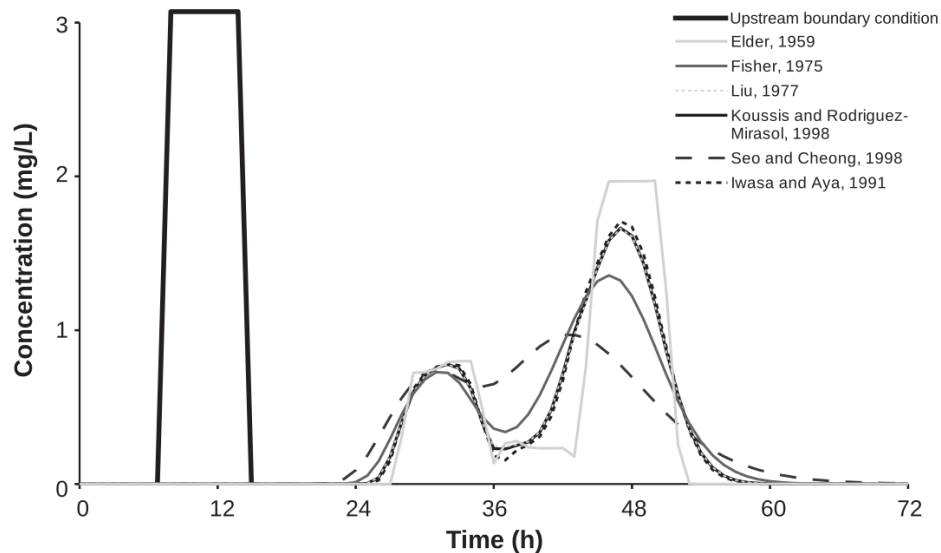


Figure 9 : Simulation de la propagation d'un pic de pollution à travers Miribel-Jonage en utilisant les six formules répertoriées dans le Tableau 1 (Launay et al., 2015).

4. Décomposition des flux d'eau et de sédiments

Le modèle numérique 1D du Rhône permet de modéliser les flux d'eau et de sédiments sur le linéaire du Rhône. Cette section décrit les résultats qu'il est possible d'obtenir avec le modèle d'un point de vue hydro-sédimentaire.

Pour un événement donné et sous réserve de connaître les différentes conditions d'entrée (hydrogramme et concentration en MES) du modèle, celui-ci permet en un point donné du réseau de connaître :

- le débit en fonction du temps,
- la concentration en MES en fonction du temps,
- la quantité d'eau provenant de chaque affluent (origine de l'eau),
- l'origine des pics de concentration en MES (origine du sédiment),
- la granulométrie du sédiment encore en suspension (sous réserve de connaître la granulométrie des conditions amont).

Le modèle permet également de déterminer la quantité de sédiment stocké ou repris dans chacun des biefs (délimités par deux nœuds) ainsi que l'origine des sédiments (affluent) et la granulométrie du sédiment stocké (sous réserve de connaître les données d'entrée).

A partir de ces différents résultats, le modèle permet de décomposer les flux d'eau et de sédiments en tout point du réseau. Il permet également de faire des bilans de flux. Cette application du modèle a été présentée à la conférence internationale IS Rivers à Lyon (2015) :

Dugué V., Le Coz J., Camenen B., Faure J.-B., Walter C., Andriès E. and Launay M. (2015). A 1-D hydro-sedimentary numerical model to improve the understanding of suspended particulate matters and contaminant fluxes in the Rhône River, *IS Rivers 2015*, Lyon, France.

Un exemple d'application sur le traçage de l'origine des MES est présenté dans la Figure 10. Le modèle numérique 1D a été utilisé dans le cadre de l'axe IV « Source des contaminants ». L'origine des MES prélevées dans différents échantillons collectés à Jons en 2012 a été déterminée de deux façons :

- D'une part, en analysant les signatures métaux des échantillons et en les comparant à des échantillons des différents affluents du Haut-Rhône.
- D'autre part, en propageant les MES depuis les stations de mesure de chaque affluent jusqu'à Jons via le modèle 1D.

La Figure 10a présente ainsi la décomposition des différents apports en eau à la station de Jons sur un épisode de forts débits sur le Guiers et le Fier. Cette figure permet de déterminer la quantité d'eau provenant des différents affluents ainsi que l'heure d'arrivée des pics de débit correspondant à chacun des affluents. La Figure 10b présente de la même façon la propagation des MES sur le Haut-Rhône au cours du même épisode. Cette première simulation a été réalisée en considérant qu'il n'y ait ni dépôt, ni érosion des sédiments sur le réseau modélisé (surestimation de la concentration en MES à Jons). Les pics de MES du Guiers (en rose) ainsi que du Fier (en vert) correspondent avec les fortes concentrations mesurées à Jons. En revanche, pour les faibles débits, les apports de l'Arve sont prépondérants.

La Figure 10c présente les résultats des simulations effectuées avec dépôt-érosion. Les concentrations de l'Arve et du Fier sont ainsi plus faibles que pour les simulations sans dépôt-érosion. En effet, les sédiments de l'Arve se déposent majoritairement dans les retenues de Verbois et de Génissiat. Le Fier traverse 4 aménagements avant d'arriver à Jons, tandis que le Guiers ne traverse que l'aménagement de Sault-Brenaz (d'où le peu de différence constaté entre les deux simulations avec/sans dépôt-érosion).

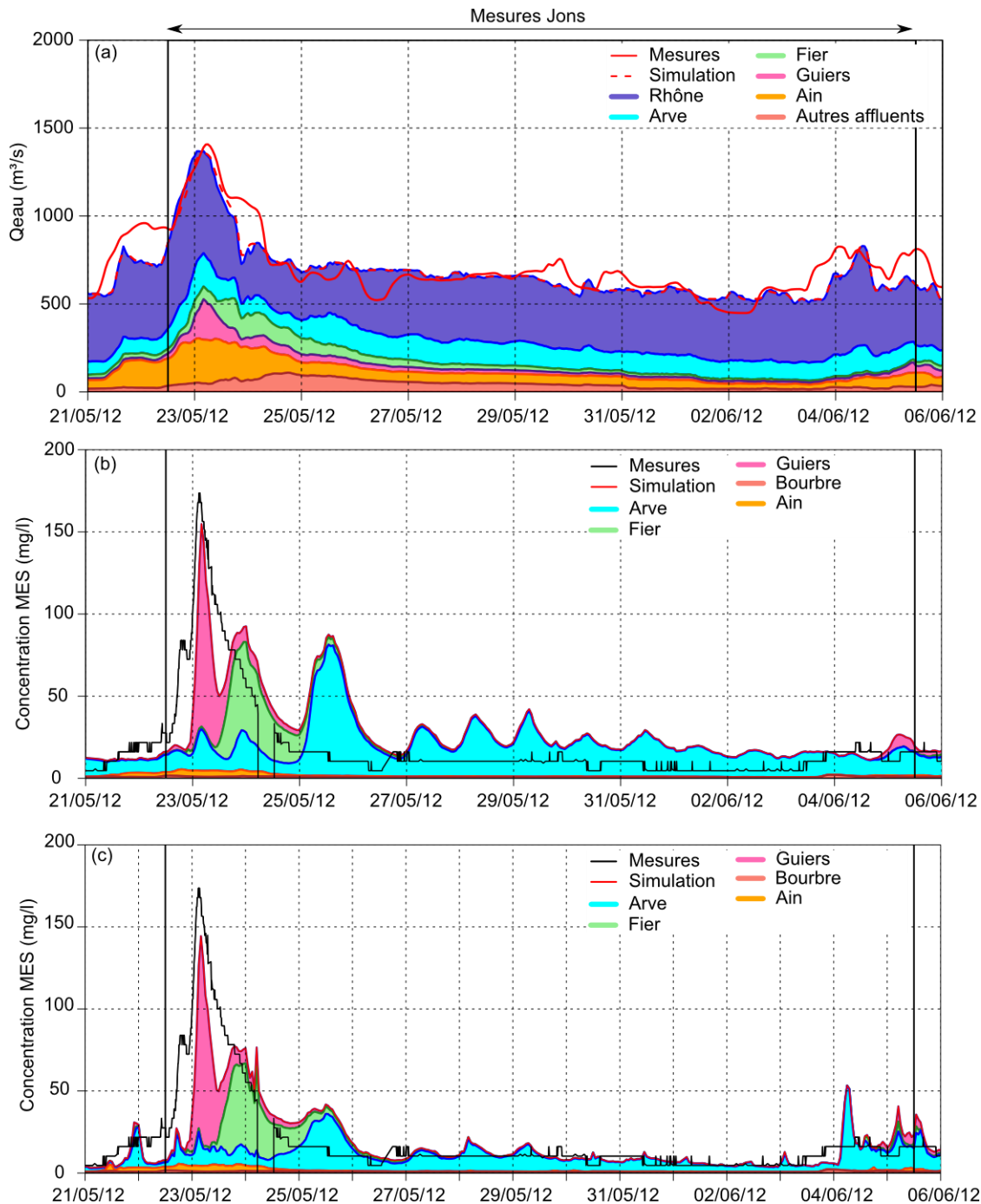


Figure 10 : (a) : Décomposition de l'hydrogramme en fonction des apports ; (b) Simulation du transport en MES sans dépôt ni érosion ; (c) Simulation du transport en MES avec dépôt-érosion.

La concentration en MES mesurée est supérieure à celle simulée notamment lorsque le débit augmente. Ceci peut s'expliquer par une remise en suspension de dépôts présents dans les barrages mais non renseignés pour l'instant dans le modèle numérique ou bien par l'apport en sédiment d'un affluent non mesuré.

Pour l'année 2012, une grande quantité de données était disponible grâce aux études faites dans le cadre de la thèse de Marina Launay. Sur les données utilisées pour la modélisation de la Figure 10, seuls les apports du Fier n'avaient pas été mesurés. Lorsque les données ne sont pas disponibles, des formules empiriques (Launay, 2014) ont été utilisées.

De même pour le paramétrage du modèle sédimentaire Adis-TS, les données de la thèse de Lucie Guertault (2015) sur l'aménagement de Génissiat ont été reprises (coefficients de calage, classes de sédiments et paramètres sédimentaires). En plus de ces calages déjà disponibles, des tests de sensibilité aux paramètres sédimentaires ont été effectués et les résultats sont présentés dans la Section 5.

5. Tests de sensibilité du modèle du Rhône

Les tests de sensibilité ont été faits sur le secteur de Bourg-lès-Valence dans le cadre de l'étude de la Confluence Isère. L'objectif de l'étude était de propager les flux de MES de l'Isère et de la Durance au cours de l'événement de mai-juin 2008. Cet événement a été marqué par les crues de l'Isère et de la Durance la première semaine, puis par les chasses des barrages de la Basse-Isère la deuxième semaine. Cet événement ainsi que les données utilisées dans la modélisation sont présentés dans la thèse de Launay (2014) et dans l'article en cours de préparation (2018) :

Launay M, Dugué V., Faure J.-B., Coquery M., Camenen B. and Le Coz J. (2018), 1D numerical modelling of suspended particulate matters dynamics in a regulated river. Soumis à Water Resources Research, en révision.

Le tronçon modélisé correspond à celui présenté dans la Figure 11.

Dans cette section, les tests de sensibilité au coefficient de diffusion, à la granulométrie ainsi que l'impact du débit sur la réponse hydro-sédimentaire sont présentés.

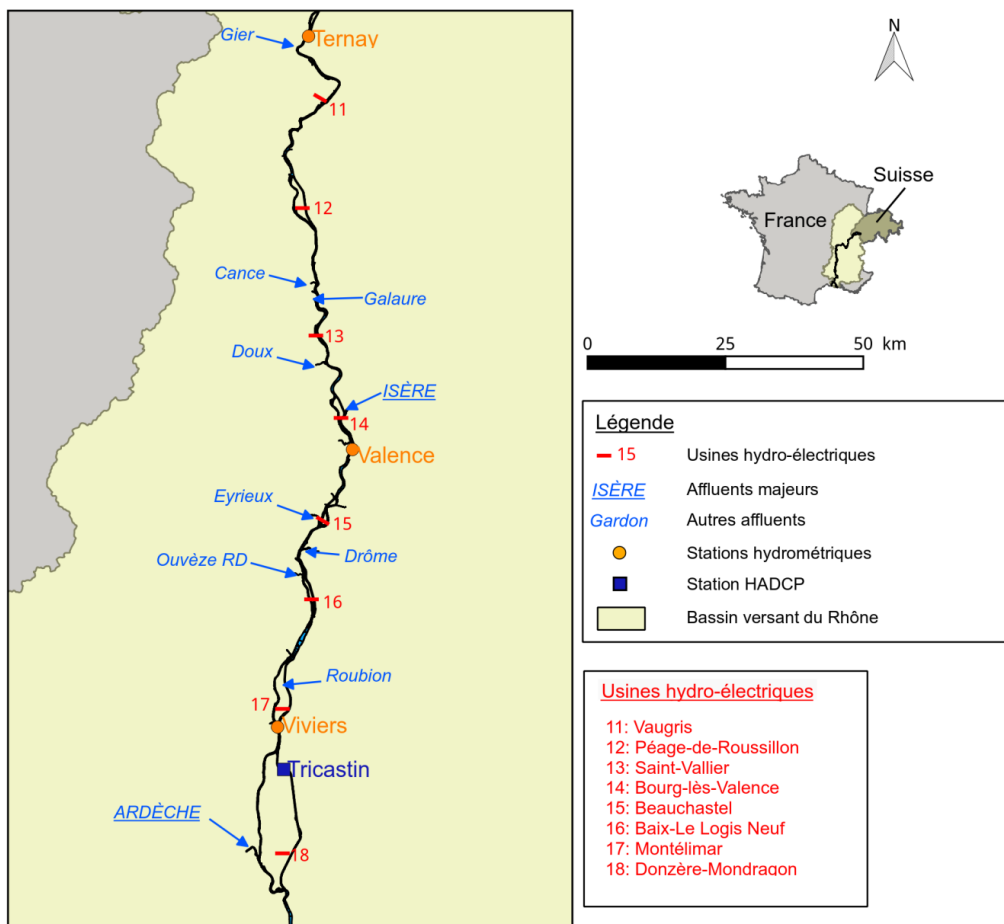


Figure 11 : Plan de situation du bief modélisé.

a. Tests de sensibilité du modèle à la granulométrie des sédiments

Des tests de sensibilité du modèle ont été faits sur le modèle du Rhône au niveau de la confluence avec l'Isère. Les tests sont effectués sur les paramètres de calibration d'Adis-TS a_{pd} et a_c (Camenen et al., 2013).

Plusieurs simulations ont été faites en utilisant six types de sédiment différents, allant de l'argile jusqu'au sable grossier. Ces types de sédiments sont répertoriés dans le Tableau 2. Les 3 premières classes de sédiments ont été déterminées sur des échantillons du Rhône dans le cadre de la thèse de Launay (2014). Guertault (2016) a divisé la classe des sables en trois nouvelles classes.

Tableau 2 : Classes de sédiments considérées et paramètres du modèle hydrosédimentaire Adis-TS. d_m est le diamètre caractéristique, défini plus bas et a_{pd} et a_c sont des paramètres de calibration d'Adis-TS (Camenen et al., 2013, Guertault, 2016).

Type	Argile	Limon fin	Limon grossier	Sable très fin	Sable fin	Sable moyen
Classe (μm)	(1 - 10)	(10 - 27)	(27 - 80)	(80 - 160)	(160 - 300)	(300 - 500)
d_{50} (μm)	4	15	45	90	200	400
d_m (μm)	7	20	50	100	220	460
a_{pd}	1	1	1	1	1	1
a_c	1	1	0,5	0,2	0,2	0,2

Le calage des paramètres sédimentaires du modèle a été effectué sur l'aménagement de Génissiat pour chacune des classes de sédiment modélisées (Guertault, 2016). A partir d'échantillons de sédiments en suspension collectés pendant la chasse de 2012, six modes granulométriques ont été mis en évidence dont les d_{50} sont répertoriés dans le Tableau 2. Utiliser directement le d_{50} dans le modèle sous-estime la vitesse de chute pour les sédiments les plus fins. Par conséquent, le diamètre caractéristique d_m , correspondant à la vitesse moyenne de la population de sédiment, est utilisé dans le modèle.

Le calage et la validation des paramètres sédimentaires ont été effectués pour chacune de ces classes et ces paramètres ont donc été repris dans cette étude. En effet, aucune granulométrie n'a été mesurée au cours de l'événement de 2008. Le calage des paramètres sédimentaires pour différents diamètres représentatifs n'est donc pas faisable sur cet événement.

L'objectif de ces premières simulations est d'observer le comportement de chacune des classes de sédiment dans le tronçon étudié (Bourg-lès-Valence jusqu'à Tricastin). Chaque simulation correspond donc à un seul type de sédiment (argile, limon grossier et sable fin). La Figure 12 compare les résultats de ces 3 simulations avec les mesures à la station de Tricastin en utilisant la chronique de concentration de Beaumont-Montoux pour l'Isère comme donnée d'entrée (Mesures), et avec les résultats d'une simulation ne transportant qu'un soluté (Simulation traceur).

La première classe de sédiments (Figure 12a), les argiles, ne se dépose pas au cours des deux périodes étudiées. Les résultats de la simulation sont similaires à ceux de la modélisation d'un transport de soluté.

En revanche, pour les limons grossiers (Figure 12b), la concentration simulée est plus faible que celle mesurée à Tricastin. Une partie des sédiments s'est donc déposée dans les quatre retenues qui séparent Beaumont-Monteux de Tricastin.

Pour le sable fin (Figure 12c), la totalité du sédiment s'est déposée dans les retenues en aval de la confluence Rhône-Isère. Aucun sable fin n'est observé à Tricastin.

Ces résultats permettent de voir la propagation des différentes classes de sédiment de manière indépendante.

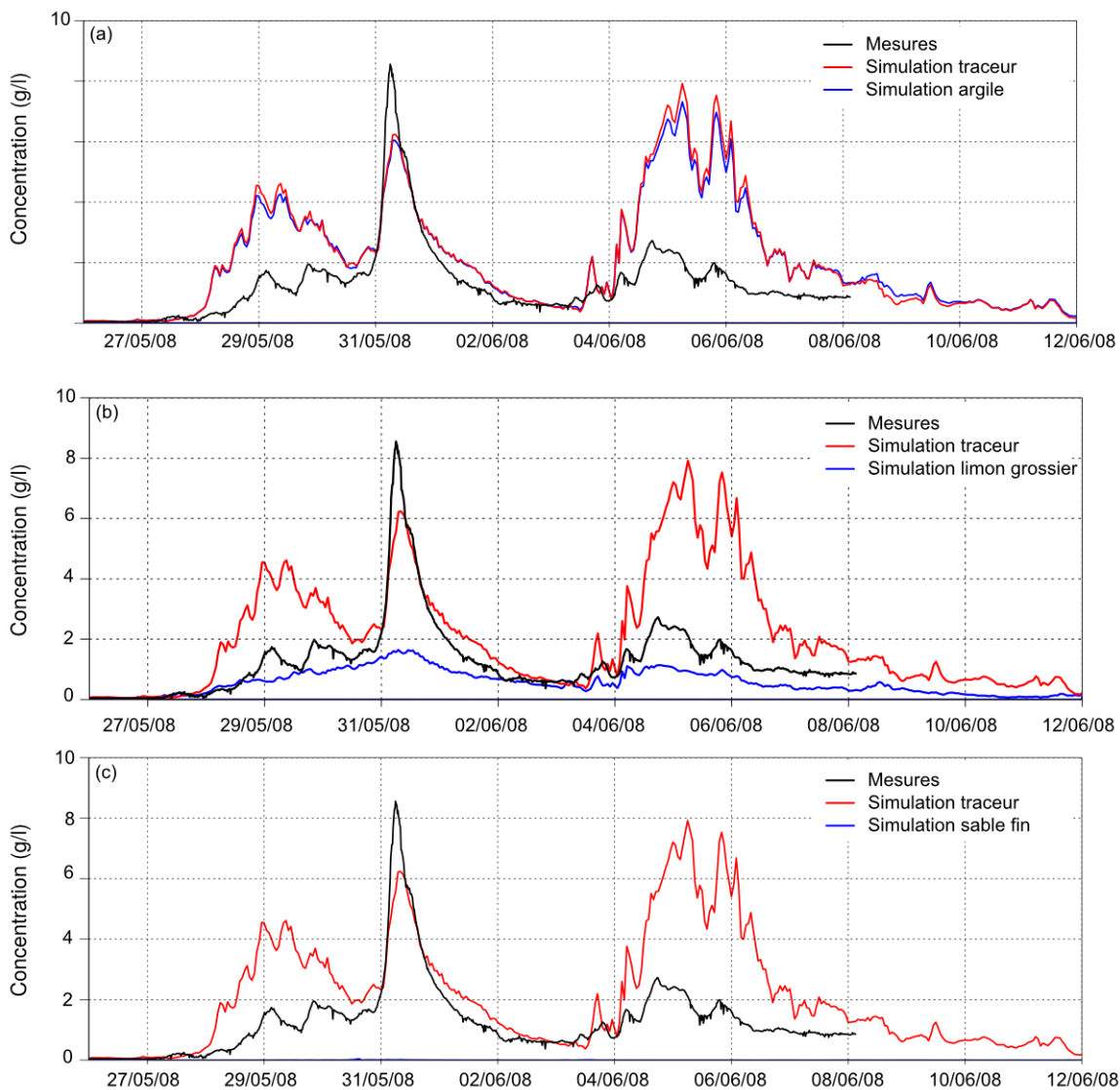


Figure 12 : Comparaison de la mesure de concentration en MES et de la simulation à Tricastin pour différents types de sédiments. (a) argile $d_{50} = 4 \mu\text{m}$, (b) limon grossier $d_{50} = 45 \mu\text{m}$, (c) sable fin $d_{50} = 200 \mu\text{m}$.

Dans le cadre de l'étude de la crue de 2008, ces tests ont permis d'établir que la granulométrie des particules transportées au cours des deux semaines de l'évènement avait varié. Les particules transportées par les crues venant de l'amont du bassin versant, et notamment de l'Arc et de la Haute-Isère, étaient plus fines que les particules mobilisées lors des chasses des barrages de la Basse-Isère. Une granulométrie différenciée a ainsi été définie pour simuler au mieux la dynamique sédimentaire de cet évènement. La Figure 13

représente les concentrations en MES mesurées et simulées à Arles au cours de l'événement de 2008. La part des MES provenant de la Durance et de l'Isère est précisée.

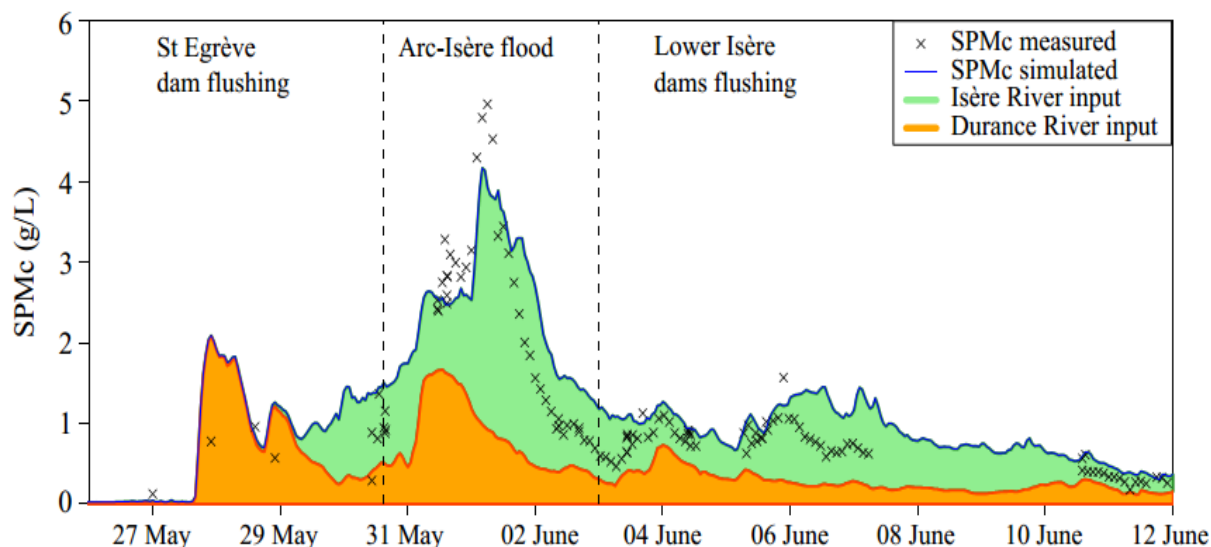


Figure 13 : Concentrations en MES mesurées et simulées à Arles au cours de la crue de mai-juin 2008.

b. Tests de sensibilité aux débits

Dans le cadre de cette même étude, des tests de sensibilité du modèle au débit du Rhône ont été effectués. Ces tests ont pour objectif de déterminer les conditions d'écoulement du Rhône les plus favorables pour évacuer le sédiment provenant des chasses de l'Isère vers l'aval et éviter qu'il ne se dépose dans les retenues de Bourg-lès-Valence et de Beauchastel.

Deux granulométries différentes ont été utilisées pour représenter le sédiment plus fin de la crue ainsi que le sédiment plus grossier de la chasse.

Les débits issus de l'étude EDF/CNR (Negrello et al., 2012) ont été réutilisés à savoir $Q_{\text{Rhône}} = 600, 750, 1000, 1500, 2000$ et $2500 \text{ m}^3/\text{s}$. Les débits supérieurs à $2500 \text{ m}^3/\text{s}$ ne semblent pas très pertinents. En effet, le débit maximal du canal usinier de Bourg-lès-Valence, en amont de la confluence avec l'Isère, est fixé à $2000 \text{ m}^3/\text{s}$. Pour les débits supérieurs à $2000 \text{ m}^3/\text{s}$, l'excédent est évacué par le Vieux Rhône.

Les résultats des différents tests (hydrauliques + sédimentaires) sont présentés dans la Figure 14. Pour $Q_{\text{Rhône}} = 600$ et $2500 \text{ m}^3/\text{s}$, cette figure répertorie les dépôts obtenus à la fin de la période totale de simulation (jusqu'au 12/06/2008) dans chacun des biefs présents dans le modèle. Les volumes entrants et sortants du système sont également indiqués sur la figure. Enfin, la proportion de chacune des classes de sédiment est indiquée sous forme de camembert à côté de chaque bief où le dépôt est suffisamment important.

La Figure 14 montre que plus le débit du Rhône est important, plus le flux de MES transitant à la sortie de Beauchastel est important. D'un volume sortant de $1,49 \text{ M m}^3$ pour un débit du Rhône de $600 \text{ m}^3/\text{s}$ (Figure 14a), celui-ci passe à $2,34 \text{ M m}^3$ pour un débit de $2500 \text{ m}^3/\text{s}$ (Figure 14b). De plus le sédiment sortant devient plus grossier avec l'augmentation du débit du Rhône.

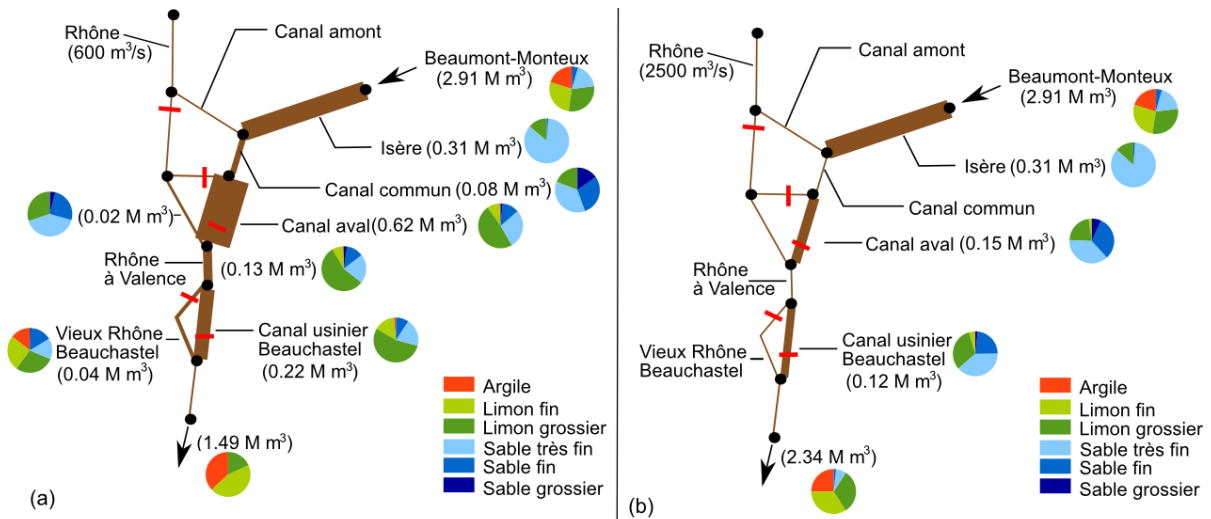


Figure 14 : Etude de sensibilité au débit du Rhône à l'amont de Bourg-lès-Valence pour (a) 600 m³/s et (b) 2500 m³/s. Dépôt total de MES obtenus par simulation entre le 26/05/2008 et le 12/06/2008. Les volumes entrant à Beaumont-Montoux et sortant à l'aval de Beauchastel sont également indiqués. Epaisseur des traits proportionnelle au dépôt de MES. Les camemberts indiquent la proportion de chaque classe de sédiments au sein des dépôts et des apports.

Les résultats obtenus sur le flux de sédiments piégés dans le réseau pour des débits compris entre 600 m³/s et 2500 m³/s sont présentés dans la Figure 15. La propagation des argiles et des limons fins est très peu sensible au débit du Rhône. Ils ne se déposent pas dans les retenues de Bourg-lès-Valence et Beauchastel pour les débits testés. La totalité du sable grossier se dépose dans les retenues pour des débits inférieurs ou égaux à 2000 m³/s. Pour les classes intermédiaires (limons fins à sables fins), la quantité de sédiment piégée dans le réseau est directement reliée au débit du Rhône. Plus le débit du Rhône est important, moins il y a de dépôt dans les retenues de Bourg-lès-Valence et Beauchastel.

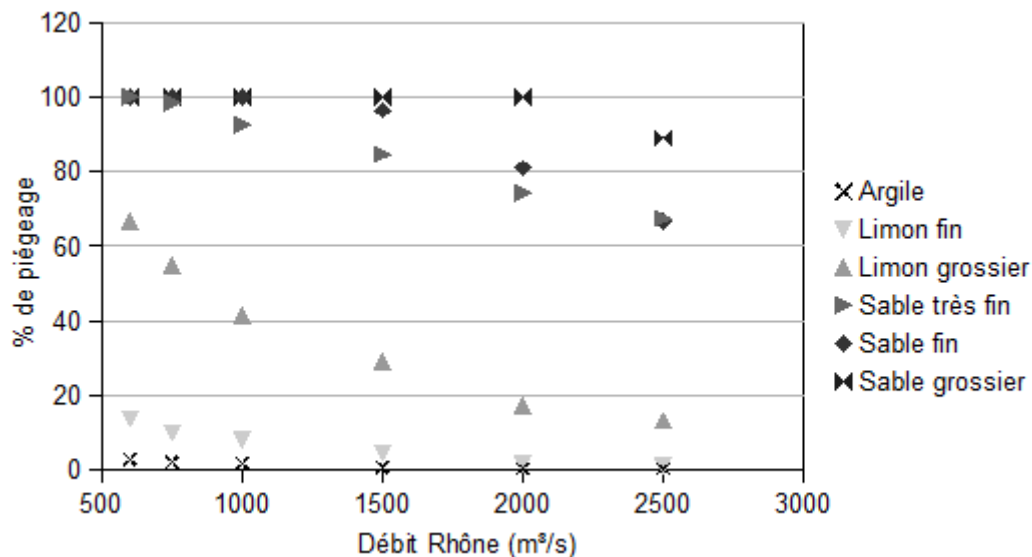


Figure 15 : Evolution du piégeage des sédiments dans le réseau entre Beaumont-Montoux et la sortie de Beauchastel pour différents débits du Rhône et classes de sédiments.

Cette étude de sensibilité montre que le modèle reproduit correctement les comportements attendus et représente donc un outil pour modéliser le transport par suspension au sein d'un aménagement hydroélectrique.

6. Applications du modèle par actions thématiques

Les résultats des applications du modèle 1D sont traités de manière plus approfondie dans les livrables des axes concernés.

Pour récapituler, le modèle 1D du Rhône a été utilisé :

- Action I.2 : Pour étudier la mobilité sédimentaire en lien avec les suivis RFID à la confluence Ain-Rhône et dans le secteur de Miribel-Jonage.
- Action I.3 : Pour étudier l'efficacité des recharges sédimentaires dans le secteur de Bourg-lès-Valence et à la confluence avec le Doux.
- Action I.4 : Pour reconstituer et prédire les évolutions du chenal en fonction des apports, des recharges et des aménagements.
- Action II.2 : Pour établir l'impact des aménagements Girardon sur les lignes d'eau dans le secteur de Péage de Roussillon.
- Action III.1 : Pour la détermination des débits à Jons et le comblement des lacunes sur les chroniques de concentration en MES de certains événements.
- Action III.4 : Pour la modélisation de la crue-chasse de l'Isère et la crue concomitante de la Durance en mai-juin 2008. Le modèle a permis de décomposer les apports à la station d'Arles.
- Action III.4 : Pour la modélisation de la crue-chasse de l'Isère en mai 2015. L'étude s'est principalement concentrée sur la confluence Rhône-Isère mais les simulations ont été faites entre Jons et la mer Méditerranée. L'objectif était de déterminer la quantité de sédiments déposée dans la retenue de Bourg-lès-Valence ainsi que l'origine des apports (crue concomitante de l'Arve).
- Action III.4 : Pour la modélisation des laves torrentielles de l'Arc-en-Maurienne en août 2014. Les pics de concentrations en MES ont permis de vérifier la propagation des MES dans le Rhône en aval de la confluence avec l'Isère.
- Action IV.1 : Dans le cadre de la décomposition des apports en Matières en Suspension (MES) sur le Haut-Rhône entre le Lac Léman et Jons. Plusieurs types de conditions hydrauliques (faible ou fort débit et chasses) ont été choisies sur l'année 2012. Le modèle 1D permet de déterminer la part de MES provenant de la remise en suspension des sédiments stockés dans le réseau de celle provenant d'un apport direct d'un affluent. Dans le cas d'un apport direct, le modèle permet de déterminer l'affluent contributeur (Arve, Fier, Guiers, Bourbre ou Ain). Les résultats du modèle 1D ont été comparés à ceux obtenus avec les signatures métaux (Article en préparation et conférence EGU 2016).

7. Suite et perspectives

Dans le cadre de l'OSR5, les futures applications du modèle porteront sur la modélisation des flux (action D1) en vue d'alimenter les problématiques suivantes :

- A2 : l'évaluation des capacités de transport solide du Rhône et du potentiel d'érosion-dépôt sur différents sites clés.
- B2 : le suivi des flux de MES et de contaminants au cours d'événements majeurs (crues, chasses) et au niveau de zones cibles (confluence Arve-Rhône)
- B3 : la modélisation du chenal du Grand Rhône pour préparer la modélisation 3D du delta du Rhône.
- C1 : l'aide à l'interprétation des concentrations, des flux et des sources de MES et de contaminants.
- C2 : l'estimation de la mise en place des stocks sédimentaires et revenir à l'historique des flux de MES par croisement avec les carottes sédimentaires.
- C4 : l'évaluation de la morphodynamique du chenal.

8. Références

- Andriès E., Camenen B., Faure J.-B., Launay M., and Le Coz J. (2012). Modélisation hydro-sédimentaire du site de Miribel-Jonage à l'aide des modèles numériques Mage et Adis-TS, Rapport scientifique, Irstea Lyon-Villeurbanne.
- Andriès E., Camenen B., Faure J.-B., Le Coz J., and Launay M. (2012). Modélisation hydro-sédimentaire du Rhône à l'aide des modèles numériques Mage et Adis-TS, Rapport scientifique, Irstea Lyon-Villeurbanne.
- Camenen B., Andriès E., Faure J.-B., de Linares M., Gandilhon F., and Raccasi G. (2013). Experimental and numerical study of long term sedimentation in a secondary channel : example of the Beurre island on the Rhône river, France. In *ISRS Kyoto*, Japan.
- Dugué V., Walter C., Andriès E., Launay M., Le Coz J., Camenen B., and Faure J.-B (2015). Accounting for hydropower schemes' operation rules in the 1D hydrodynamic modeling of the Rhône River from Lake Geneva to the Mediterranean Sea, 36th IAHR 2015 World Congress, The Hague, The Netherlands.
- Dugué V., Le Coz J., Camenen B., Faure J.-B., Walter C., Andriès E., and Launay M. (2015). A 1-D hydro-sedimentary numerical model to improve the understanding of suspended particulate matters and contaminant fluxes in the Rhône River, IS Rivers 2015, Lyon, France.
- Elder J. (1959). The dispersion of marked fluid in turbulent shear flow. *Journal of Fluid Mechanics*, 5(4), 544-560.
- Fischer H. (1975). Discussion of simple method for predicting dispersion in stream by R. S. McQuivey and T. N. Keefer, *Journal of Environmental Engineering Division*, 101(3), 453-455.

- Guertault L. (2015). Evaluation des processus hydro-sédimentaires d'une retenue de forme allongée : application à la retenue de Génissiat sur le Haut-Rhône. Thèse de Doctorat, Université Lyon 1, Lyon, France.
- Guertault, L., B. Camenen, C. Peteuil, A. Paquier, and J.-B. Faure (2016), One-dimensional modeling of suspended sediment dynamics in dam reservoirs, *Journal of Hydraulic Engineering-ASCE*, 142(10), doi:10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001157.
- Iwasa Y., and Aya S. (1991). Predicting longitudinal dispersion coefficient in open channel flows. *International Symposium on Environmental Hydraulics*, Hong-Kong, China.
- Koussis A., and Rodriguez-Mirasol J. (1998). Hydraulic estimation of dispersion coefficient for streams. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*, 124(3),317-320.
- Launay M. (2014). Flux de contaminants particuliers dans un grand cours d'eau anthropisé : dynamique des PCB et du mercure transportés par les matières en suspension du Rhône, du Léman à la Méditerranée. Thèse de Doctorat, Université Claude Bernard, Lyon, France.
- Launay M., Le Coz J., Camenen B., Walter C., Angot H., Dramais G., Faure J.-B., Coquery M. (2015). Calibrating pollutant dispersion in 1-D hydraulic models of river networks, *Journal of Hydro-environment Research*, 9, pp 120-132.
- Launay M, Dugué V., Faure J.-B., Coquery M., Camenen B. and Le Coz J. (2018), 1D numerical modelling of suspended particulate matters dynamics in a regulated river. Soumis à *Water Resources Research*, en révision.
- Liu H. (1977). Predicting dispersion coefficient of streams. *Journal of Environmental Engineering Division*, 103(1), 59-69.
- Observatoire des Sédiments du Rhône (2013). Suivi scientifique des opérations de chasses sur le Haut-Rhône de juin 2012. Rapport technique. Livrable OSR3.
- Observatoire des Sédiments du Rhône (2015). Modélisation hydro-sédimentaire 1-D du Rhône de Lyon à la mer Méditerranée – Bilan 2014. Rapport technique. Livrable OSR.
- Negrello, P., Menu, S. and Reynaud, S. (2012). Evolution de la consigne de chasse des ouvrages de la Basse Isère – Analyses complémentaires de la modélisation hydrosédimentaire du bief Rhône. Rapport technique EDF/CNR.
- Seo I., and Cheong T. (1998). Predicting longitudinal dispersion coefficient in natural streams. *Journal of Hydraulic Engineeringf ASCE* ; 124(1), 25-32.

ANNEXE 1 : Affluents du Haut-Rhône inclus dans le modèle

Cours d'eau	Nom station	Distance à la confluence [km]	Producteur	Délai de propagation [h]	Nom du noeud
L'Arve	Bout-du-Monde	4,6	OFEV	-	ARV
La Valserine	Lancrans	1,8	CNR	0,42	VAS
Les Usses	Pont Rouge	7,1	CNR	1,32	USS
Le Fier	Motz	1,3	CNR	0,23	FIE
Le Canal de Savière	Savière*	1,55	CNR	0,43	LAC
Le Séran	Belmont-Luthézieu	18,1	DREAL	5,03	SER
Le Furans	Arbignieu	3,3	DREAL	1,80	BRE
Le Guiers	Belmont-Tramonet	5,6	CNR	1,05	GUI
La Bourbre	Tignieu-Jameyzieu	7,8	DREAL	1,45	BOU
L'Ain	Port-Galland	4,1	CNR	-	AIN

Modélisé comme un bief

Modélisé comme un apport ponctuel

* Les eaux du canal de Savière peuvent s'écouler dans les deux sens. Lorsque le Rhône est en crue et que son niveau dépasse celui du canal de Savière, l'eau du fleuve reflue alors en direction du lac du Bourget. Sur la chronique mesurée, les débits sont négatifs. A long terme, l'ajout d'un casier pour représenter le lac du Bourget devrait être envisagé.

ANNEXE 2 : Coefficients de Strickler issus du calage hydraulique

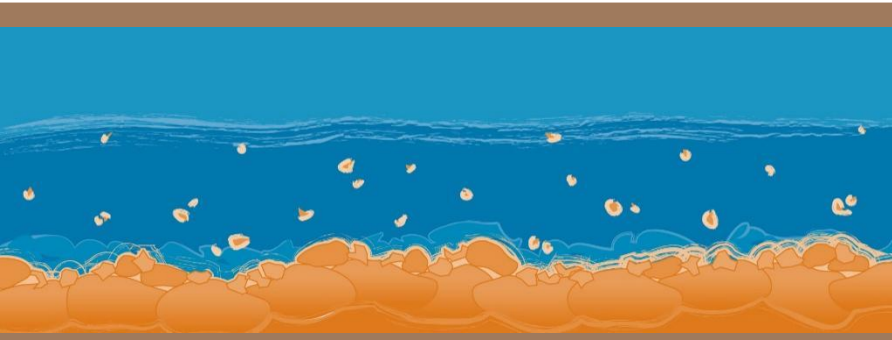
Les valeurs indiquées en rouge ont été modifiées depuis le dernier rapport sur le calage du Haut-Rhône (OSR3).

Tronçon	Moyen de calage	Pk amont	Pk aval	Strickler du lit mineur [m ^{1/3} /s]	Strickler du lit moyen [m ^{1/3} /s]
Le Seujet – frontière franco-suisse	Données du bureau d'études AquaVision	208,954	207,210	30	15
		207,210	200,710	35	20
		200,710	195,360	32	20
		195,360	194,425	38	20
		194,425	193,925	37	20
		193,925	192,925	35	20
		192,925	192,175	37	20
		192,175	191,175	40	20
Frontière franco-suisse – Barrage de Génissiat	Lignes d'eau de la CNR	186,420	185,550	30	20
		185,550	183,940	33	20
		183,940	181,900	35	20
		181,900	178,300	20	20
		178,300	174,050	35	20
		174,050	162,200	40	20
		162,200	161,510	15	10
Barrage de Génissiat – Barrage de Seyssel	Lignes d'eau de la CNR	161,510	159,300	32	20
		159,300	151,950	40	20
		151,950	151,600	30	15
Barrage de Seyssel – Barrage de Motz	Lignes d'eau de la CNR	151,600	146,025	40	20

Tronçon	Moyen de calage	Pk amont	Pk aval	Strickler du lit mineur [m ^{1/3} /s]	Strickler du lit moyen [m ^{1/3} /s]
Barrage de Motz – Usine de Brens	Lignes d'eau de la CNR	146,025	136,730	30	20
		136,980	135,000	30	15
		135,000	131,710	35	20
		131,710	116,995	38	20
Barrage de Lavours – Usine de Brégnier-Cordon	Lignes d'eau de la CNR	131,710	127,000	30	15
		127,000	126,000	25	15
		126,000	122,000	30	15
		122,000	118,000	35	15
		118,000	114,600	35	15
		114,600	103,080	35	15
		103,080	95,610	40	20
Barrage de Brégnier-Cordon – Usine de Sault-Brénaz	Lignes d'eau de la CNR	103,080	95,000	22	15
		95,000	94,000	28	20
		94,000	91,710	35	15
		91,710	89,000	37	20
		89,000	63,700	37	20
		63,700	62,100	40	20
Vieux Rhône de Sault-	Littérature	63,700	61,900	30	20
Confluence Vieux Rhône / Rhône aménagé de Sault-Brénaz – Barrage de Jons	Lignes d'eau d'Irstea	61,900	54,000	39	20
		54,000	47,000	30	20
		47,000	44,000	39	20
		44,000	37,500	38	20
		37,500	36,000	32	20
		36,000	35,000	37	20
		35,000	34,000	39	20
		34,000	26,750	37	20

ANNEXE 3 : Débits turbinables maximum et débits réservés actuels (2014) des aménagements hydroélectriques du Haut-Rhône

N°	Nom aménagement	Nom usine	Nom barrage	Q _{max} [m ³ /s]	Q _{res} [m ³ /s] avant 01/01/2014	Q _{res} [m ³ /s] après 01/01/2014
1	Verbois	Barrage-usine de Verbois		630	Oct. - Avr. : 60 Mai - Sept. : 110	Oct. - Avr. : 60 Mai - Sept. : 110
2	Chancy-Pougny	Barrage-usine de Chancy-Pougny		620	Sans objet	Sans objet
3	Génissiat	Barrage-usine de Génissiat		750	5	18
4	Seysssel	Barrage-usine de Seysssel		600	Sans objet	19
5	Chautagne	Anglefort	Motz	700	Mai - Août : 70 Sept. - Avr. : 50	Mai - Août : 70 Sept. - Avr. : 50
6	Belley	Brens	Lavours	700	Sept. - Févr : 60 Mars et Mai : 90 Avr. : 100 Juin - Août : 80	Sept. - Févr : 60 Mars et Mai : 90 Avr. : 100 Juin - Août : 80
7	Brégnier-Cordon	Brégnier-Cordon	Champagneux	700	Entre le barrage et la confluence du Guiers : 65 En aval de la confluence avec le Guiers : Nov. - Mars : 80 Avr. - Mai et Sept. - Oct. : 100 Juin - Août : 150	Entre le barrage et la confluence du Guiers : 65 En aval de la confluence avec le Guiers : Nov. - Mars : 80 Avr. - Mai et Sept. - Oct. : 100 Juin - Août : 150
8	Sault-Brénaz	Sault-Brénaz	Villebois	700	16/09 – 14/06 : 20 15/06 – 05/09 : 60	16/09 – 14/06 : 20 15/06 – 05/09 : 60



Observatoire des Sédiments du Rhône



Provence-Alpes-Côte d'Azur



Observatoire des Sédiments du Rhône

GRAIE – OHM Vallée du Rhône

66 bd Niels Bohr – CS 52132

69603 Villeurbanne Cedex

www.graie.org/osr/

Contact : dad.roux@graie.org